

Trockene Waldböden am Vinschgauer Sonnenberg (Südtirol / Italien)

Hanspeter Staffler, Klaus Katzensteiner, Herbert Hager, Gerhard Karrer

Abstract

„The forest soils of the Vinschgau Sonnenberg“

The dry forest soils of the Vinschgau Sonnenberg were analyzed by means of in field, physical and chemical methods. Three characteristic soil types could be determined, the pararendzina, the brown ranker and the brown pararendzina soil. The dry pararendzina pH ranges from slightly acidic to slightly alkaline whereby pH rises with increasing soil depth.

The brown pararendzina is to be considered as developed from the pararendzina soil. The lower pH values, higher humus and nitrogen contents as well as a slightly brown colour in the upper soil layer lead to this conclusion.

In profile, the soil type called brown ranker is even more acidic and drier than the brown pararendzina and its skeletal content is considerably higher.

Humus forms basically depend on vegetation and on the site's water supply. Under red and black pines develops xeromorphic moder, under larch stands moder whereas under Downy oak and mixed Downy oak stands mull like moder predominates.

1. Einleitung

Am Vinschgauer Sonnenberg, der von BRAUN-BLANQUET (1961) als „Sanktuarium der ostalpinen Trockenvegetation“ bezeichnet wurde, wachsen heute auf ehemaligen Trockenrasenstandorten Schwarzföhren (*Pinus nigra* ARNOLD). Diese Bestände sind das Ergebnis intensiver Aufforstungen in den fünfziger und sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts. Bereits am Ende des 19. Jahrhunderts wurde die forstliche Tauglichkeit der Schwarzföhre für extrem trockene Böden erkannt. Damals wurden rund 115 ha zwischen den Ortschaften Mals und Vetzan bei Schlanders aufgeforstet (FLORA 1879; DEUTSCH 1955; SUMEREDER 1959).

Mittlerweile bedecken die Schwarzföhrenforste eine Fläche von rund 940 ha und vermindern den Oberflächenabfluss sowie die damit verbundene Erosion. Somit scheint das ehemalige Ziel der Aufforstungspioniere, nämlich die Abtragserscheinungen am Sonnenberg zu vermindern (DEUTSCH 1959), erreicht worden zu sein.

Nun haben sich aber in letzter Zeit neue Schwierigkeiten ergeben: Neben den jährlichen Kalamitäten des Kiefernprozessionsspinnners (HELLRIGL 1995) ist neuerdings auch die Waldbrandgefahr zu beachten. Die schwer abbaubare, harzreiche Nadelstreu der Schwarzföhre ist ein gutes Nährmedium für Feuer. Deshalb beabsichtigt die Forstbehörde, die anfälligen Bestände in naturnähere und weniger anfälligere umzuwandeln.

Um rechtzeitig eine Alternativstrategie für die waldbauliche Behandlung dieser Bestände zur Verfügung zu haben, wurde mit der Forstbehörde ein Projekt gestartet, das in seiner Synthese zur Ermittlung der potentiell natürlichen Vegetation (PNV) an jenen Standorten führen soll, die heute von der Schwarzföhre bewachsen sind. Als wichtige Referenz für die PNV dienen die noch bestehenden naturnahen Flaumeichen-, Rotföhren- und Lärchenwälder am Vinschgauer Sonnenberg, die bereits im Vorfeld vegetations- und

standortskundlich untersucht worden sind (STAFFLER & KARRER 2001). Waldbaulich lässt sich die PNV als Bestockungsziel oder als Soll-Bestandestyp definieren. Da es sich bei den Schwarzföhrenforsten nicht um Wirtschafts- sondern um Schutzwälder handelt, verspricht das PNV-Konzept eine möglichst hohe Stabilität und Vitalität der zukünftigen Bestände.

In vorliegender Arbeit sollen die Hauptbodentypen der obgenannten Wälder erhoben und mit chemischen bzw. physikalischen Parametern charakterisiert werden. Diese Ergebnisse fließen in einen der folgenden Arbeitsschritte ein, in dem die Standortfaktoren der Schwarzföhrenbestände mit jenen der naturnahen Flaumeichen-, Rotkiefer- und Lärchenbestände zu vergleichen sind. Es wird dabei die Frage geprüft werden, ob und wo sich auf heutigen Schwarzföhrenstandorten durch gezielte waldbauliche Steuerung autochthone Flaumeichen-, Rotkiefern- oder Lärchenbestände entwickeln können.

2. Das Untersuchungsgebiet

2.1 Lage

Das Untersuchungsgebiet (Abb. 1) erstreckt sich von der Ortschaft Laatsch bei Mals talabwärts bis nach Naturns, wo am Sonnenhang ausgedehnte Flaumeichen-Blumeneschen-Bestände gedeihen. Die bodenkundlichen Erhebungen wurden am Sonnenberg in einer Höhe von 740 bis 1540 m ü. M. durchgeführt, wobei das Augenmerk einerseits auf die naturnahen Rotföhren-, Flaumeichen- und Lärchenbestände als Referenzbestände einer PNV und andererseits auf die Schwarzföhrenforste gerichtet war.

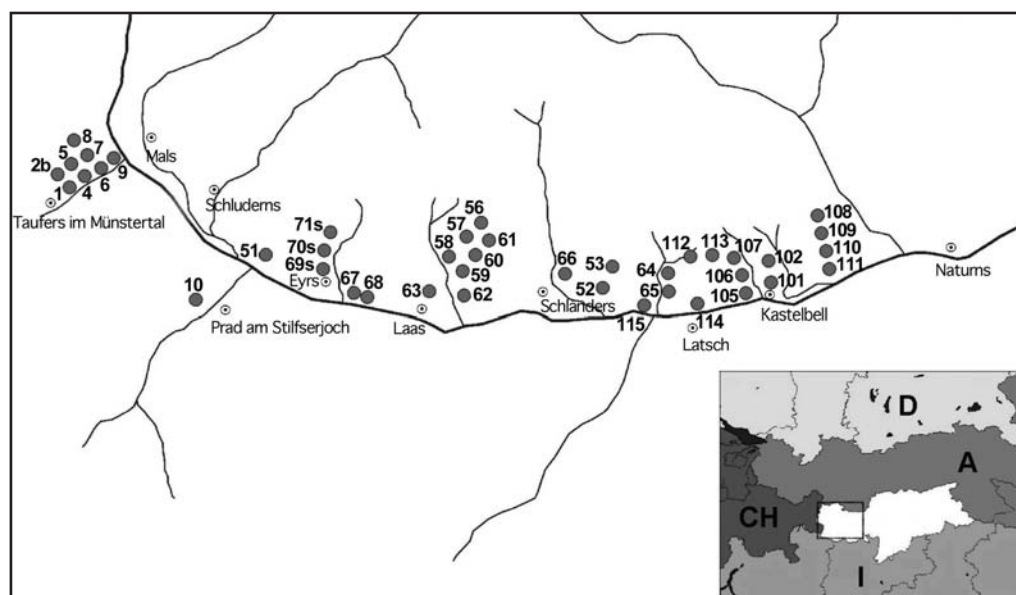


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet am Vinschgauer Sonnenberg von Mals bis nach Naturns. An insgesamt 40 Punkten wurden Bodenprofile bis 50 cm Tiefe gegraben und feldbodenkundlich beschrieben. Pro Horizont (0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm) wurden Bodenproben für Laboranalysen entnommen.

2.2 Klima

Über das Klima im Vinschgau wurde schon viel geschrieben. SCHENK (1951) prägte den Begriff „Die Klima-Insel Vinschgau“. Das Tal nimmt demnach eine klimatische Sonderstellung ein und gilt als das niederschlagsärmste Gebiet der gesamten Alpen (OTTO 1974; SCHENK 1951).

Die durchschnittlichen jährlichen Niederschlagssummen in der Periode 1931 – 1960 betragen in Glurns (915 m ü. M.) 442 mm und in Naturns (551 m ü. M.) 483 mm (FLIRI 1975). Diese geringen Niederschläge bedingen gemeinsam mit den steilen, südexponierten Hängen die extrem trockenen Standortverhältnisse am Sonnenberg.

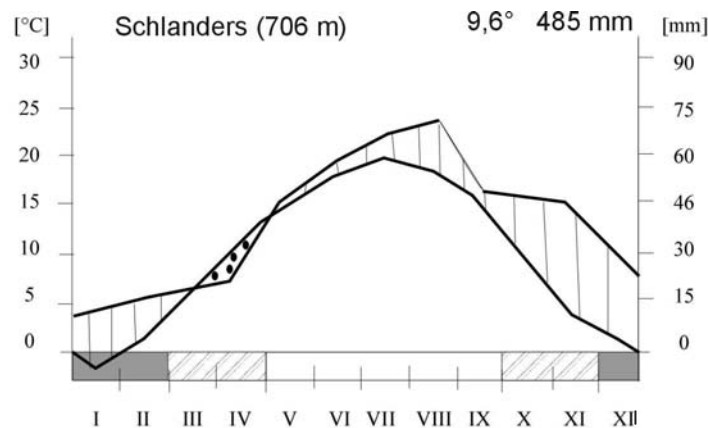


Abb. 2: Klimadiagramm von Schlanders aus den Jahren 1931-1960. Punktiert: Trockenzeit, vertikalschraffiert: humide Jahreszeit, grau: kalte Jahreszeit (mittleres Tagesminimum unter 0 °C). Absolutes Temperaturmaximum: 35 °C, absolutes Minimum: - 16 °C. mittlere Jahrestemperatur: 9,6°, mittlerer Jahresniederschlag: 485 mm (nach STRIMMER 1974).

2.3 Geologie

Der Vinschgau liegt in den Zentralalpen und damit in einem Gebirgsabschnitt von wenig variablem Gesteinsbestand und verhältnismäßig einheitlichem geologischen Schicksal. Die Vinschgauer Zentralalpen können folgendermaßen gegliedert werden (STACUL 1966/67/68; THÖNI 1980; THÖNI 1981):

1. Ötztal-Stubai Kristallin
2. Die Vinschgauer Schieferzone oder die Eyrser Phyllite
3. Ortler Altkristallin mit Laaser Serie
4. Marteller Quarzphyllitkomplex
5. Ortler Trias

Die ersten vier Einheiten bestehen aus kristallinen Gesteinen mit einzelnen Bändern und Linsen aus Marmor; die Ortler Trias hingegen setzt sich im Wesentlichen aus carbonatischen, meist dolomitischen Gesteinen zusammen.

Das Untersuchungsgebiet liegt größtenteils im Bereich der Vinschgauer Schieferzone. Lediglich die Gegend am Eingang des Münstertales gehört zur Münstertaler Augengneismasse, welche als kristalline Basis der Unterengadiner Dolomiten gilt. Diese Münstertaler

Augengneismasse ist durch die Schlingigüberschiebung von der Vinschgauer Schieferzone und dem Ötztal-Stubai-Kristallin getrennt (HAMMER 1922).

Die Vinschgauer Schieferzone – ein West-Ost streichender Gesteinsstreifen bunter Zusammensetzung – kann zwischen Schluderns und Naturns in zwei Komplexe gegliedert werden: Von Schluderns bis Latsch dominieren Phyllite und Phyllonite, von Latsch bis nach Naturns kommen Orthogneise wie Augen- und Flasergneise unterschiedlichen Mineralgehalts vor (POTRO 1982; THÖNI 1980). Die augenscheinlichen Landschaftsformen des Sonnenberges können direkt von der unterschiedlichen Verwitterbarkeit der beiden Gesteinskomplexe abgeleitet werden: Die Phyllite verwittern sehr leicht und plattig, so dass sich weiche und ausgeglichene – wenn auch steile – Hangformen bilden. Im Bereich der kompakteren Orthogneise, zwischen Latsch und Naturns, erheben sich plötzlich senkrechte Felswände, welche den Hängen einen schroffen Charakter verleihen.

Um nun bodenbildende und bodenchemische Prozesse richtig einschätzen zu können, bedarf es einer genaueren Betrachtung der Petrographie und Mineralzusammensetzung dieser Gesteine.

2.3.1 Komplex der Orthogneise

Wie bereits oben angeführt, kommt diese West-Ost streichende Gesteinsgruppe zwischen Latsch und Naturns vor, wobei sie vom Talboden bis auf Hanghöhen von 2000 m ü. M. reicht. Diese Augen- und Flasergneise sowie Granit-Gneise bestehen hauptsächlich aus Quarz, K-Feldspat, Plagioklas, Muskovit und Biotit (HAMMER & JOHN 1909). Zu diesen Hauptmineralien gesellt sich akzessorisch unter anderem noch Calcit hinzu, welcher gelegentlich auch in sekundärer Form auftritt (POTRO 1982).

2.3.2 Komplex der Phyllite

Die Phyllite beschränken sich auf den stark durchbewegten Gebirgstheil, welcher sich von Schluderns bis Latsch erstreckt. HAMMER (1912) nennt diese Gesteine „Phyllite des Eyrser und Schlanderser Sonnenbergs“ und beschreibt sie als „... lichtgrünlichgraue oder silberglänzende, schwach flaserige, dünnblättrige Schiefer, deren Flächen mit feinsten lichten Glimmerschuppenaggregaten überdeckt sind, ...“. Quarz, Serizit-Muskovit sowie Chlorit sind die wichtigsten Mineralien, dazu gesellen sich als Nebengemengteile Carbonate, Epidot-Klinozoisit und lagenweise kohliges Pigment. POTRO (1982) teilt den Phyllitkomplex in elf Gesteinsvarietäten ein, wobei mehrere davon neben den Hauptmineralien Carbonate führen. So kommen in den Serizitphylliten gut verzwilligte Calcit-Aggregate und faustgroße carbonatführende Quarzlinsen vor. Ebenso tritt Calcit in den Quarzphylliten auf. Auch in den Kohlenstoffphylliten oberhalb von Spondinig und Eyr gibt es quarzbetonte Lagen, welche örtlich neben Chlorit reichlich Carbonat führen. Als Carbonate wurden Ankerit ($\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$), Siderit (FeCO_3) und Calcit (CaCO_3) festgestellt. Lagenweise besitzt das Gestein durch die Beimengung von primär-sedimentärem Calcit den Charakter eines Kalkphyllites (POTRO 1982), wobei der Calcitgehalt bis zu zehn Modalprozent ausmachen kann (MAIR mündl.).

2.3.3 Marmor und Kalksinter

Neben den besprochenen Orthogneisen und Phylliten gibt es im Untersuchungsgebiet noch Marmorlagen, welche einige Millimeter bis maximal zwei Meter mächtig sind. Bei näherer Betrachtung erweist sich das Gestein als metamorpher Kalk (HAMMER 1912; POTRO 1982).

An einigen Stellen des Untersuchungsgebietes finden sich rezente oder vertrocknete Kalksinterquellen. HAMMER (1912) führt an, dass Sickerwässer den Kalk aus höhergelegenen

carbonathaltigen Moränen aufnehmen und ihn durch kleine Quellen zu Tage fördern, wo er dann verkrustet und mit vorhandenen Schutt Breccien oder Konglomerate bildet.

2.4 Geomorphologie und Gesteinsbestand quartärer Ablagerungen

2.4.1 Glaziale und spätglaziale Moränen

Der glaziale und spätglaziale Etschgletscher hat Reste seiner Moränenmassen in Form von Grund- und Ufermoränen an den Hängen des Vinschgaues zurückgelassen. Grundmoränen finden sich auf Felsterrassen, welche dem präglazialen Talboden oder den glazialen Schriffkehlen entsprechen. Beispielgebend dafür sind die Terrassen oberhalb von Mals und Eyrs, bei Tanas und Schlandersberg sowie oberhalb Vetzan. Es handelt sich dabei um ziemlich stark verarbeitete Grundmoränen, welche kleine Geschiebeteile aus Triasdolomit vom Ortler oder aus dem Münstertal führen (HAMMER 1912). Einige hundert Höhenmeter tiefer, am Sonnenberg, bilden Ufermoränen des Gschnitzstadiums eine ausgesprochene Terrassierung, die sich talabwärts senkt (PENCK und BRÜCKNER 1909). Die angeführten Moränen sind allesamt wichtige Carbonatlieferanten für bodenbildende Prozesse.

2.4.2 Terrassenschotter und Hangschutt

Neben den durch unregelmäßige Lagerung charakterisierbaren Moränendecken finden sich vor allem an Weganschnitten schön geschichtete Lagen, wo sich Sedimente unterschiedlicher Körnung abwechseln. Obwohl heute weit und breit kein Bach mehr fließt, müssen diese Formen – wahrscheinlich am Ende der letzten Vereisung – durch Wassertransport entstanden sein. Teils wurde dabei autochthones Gesteinsmaterial, teils aber auch Moränenmaterial verlagert.

Weite Bereiche des Untersuchungsgebietes zeichnen sich durch Hangschutt aus. An den Wänden von Profilgruben lassen sich die hangparallel eingerichteten Gesteine erkennen, welche auf Solifluktion im ausgehenden Pleistozän hindeuten. Im Holozän kam es aller Wahrscheinlichkeit nach an Stelle der Solifluktion zu anderen gravitativen Prozessen wie Muren, Erd- und Schuttkriechen. Anscheinend wurde im Laufe dieser Prozesse autochthones Gesteins- und Schuttmaterial mit Moränenmaterial stark durchmischt, da sich in Profilgruben immer wieder ortsfremde Gesteine finden. Somit sind die heute anzutreffenden Schuttdecken nach HÖLLERMANN (1963) als polygenetische Formen anzusprechen.

2.4.3 Erosionsformen

Die Erosionsformen am Vinschgauer Sonnenberg wurden von HÖLLERMANN (1963) ausführlich beschrieben. Bei Eyrs und Spondinig ist der Hang eindrucksvoll durch Schluchten und Gräben gegliedert. Ähnliche Erosionsformen – allerdings in abgeschwächter Form – finden sich aber im gesamten Untersuchungsgebiet. Die Gräben haben sich entweder in die weichen Moränendecken oder in das wenig widerstandsfähige Gestein eingetieft. Früher müssen diese Gerinne bei sommerlichen Starkniederschlägen, gespeist durch die anliegenden, stark beweideten und deshalb gehölzarmen Trockenrasen, reichlich Geschiebe zum Hangfuß befördert haben. Heute sind Erosionsprozesse kaum mehr zu beobachten, vor allem wegen der Aufforstungen und durch den Rückgang der Beweidungsintensität.

2.5 Böden

BRAUN-BLANQUET (1961) zählt die Böden des Vinschgauer Sonnenberges zu den inneralpinen, humusarmen Trockenböden und vergleicht sie mit „schwarzerdeähnlichen Profilen“ aus dem Wallis und Aosta. Obschon – wird weiters angemerkt – diese Böden auf kristallinen Gesteinen und kalkarmen Fluss- und Moränenschottern liegen, sind sie in ihrer Bodenreaktion neutral bis schwach basisch und nur selten schwach sauer.

Ein gutes Jahrzehnt später beschäftigten sich STRIMMER (1974) und FLORINETH (1974) mit den Bodenverhältnissen des Vinschgauer Sonnenberges. Als häufigsten Bodentyp schieden die Autoren eine Pararendzina aus, welche durch Humushorizonte, Migrationschutthorizonte und Kalkanreicherungshorizonte charakterisiert wurde. Auch wies FLORINETH (1974) darauf hin, dass sich aus den Pararendzinen durch Entkalkung verbrauchte Pararendzinen oder gar Braunerden entwickeln können.

2.6 Vegetation

BRAUN-BLANQUET (1961), STRIMMER (1974) und FLORINETH (1974) setzten sich mit der Vegetation des Vinschgauer Sonnenberges auseinander. Die beiden letzten Autoren konzentrierten sich hauptsächlich auf die floristisch hochinteressanten Trockenrasen wie das *Festuceto-Poetum xerophilae*, das *Festuceto-Caricetum supinae*, das *Stipeto-Seselietum variae* und streiften die Wälder des Sonnenberges nur am Rande. BRAUN-BLANQUET (1961) beschrieb den *Orneto-Ostryon*-Gürtel und die *Astragalo-Pinetum*-Gesellschaft im Vinschgau. PEER (1993; 1995) stellte den Vinschgauer-Tragant-Föhrenwald zum *Ononido-Pinion*-Verband und konnte die ökologische Sonderstellung dieses Waldtyps übersichtlich aufzeigen. KÖLLEMANN (1979; 1981) beschäftigte sich umfassend mit dem Flaumeichenbuschwald im unteren Vinschgau. PEER (1983; 1995) benannte die kontinentalen Flaumeichenbuschwälder des Vinschgaus als *Festuceto valesiacae-Quercetum pubescentis*. Eine zusammenfassende Arbeit über die wärmeliebenden Flaumeichen-, Rotföhren- und Lärchenwälder im Vinschgau wurde erst kürzlich aufgelegt (STAFFLER & KARRER 2001).

2.7 Siedlungsgeschichte und Landnutzung

Wahrscheinlich sind bereits im 9. Jahrtausend v. Chr. die ersten Jäger und Sammler in den Vinschgau vorgedrungen. Die ältesten jungsteinzeitlichen Siedlungsspuren von zumindest teilweise landwirtschaftlich geprägten Gemeinschaften reichen in die Zeit um 4500 v. Chr. zurück. Jüngste Funde von verkohlten Sämereien und von Tierknochen erlauben einen guten Einblick in die bäuerliche Kultur der Bronze- und Eisenzeit. Römerzeitliche Siedlungsspuren findet man im Bereich der Dörfer Mals, Schlanders, Latsch, Naturns und Partschins (GLEIRSCHER 1991; DAL RI & TECCHIATI 1995; GAMPER & STEINER 1999).

Im Frühmittelalter scheint das Tal eher dünn besiedelt gewesen zu sein. Die hoch- und spätmittelalterliche Binnenkolonisation hat erst nach 1150 eingesetzt, vermutlich erst in der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts unter dem Tiroler Landesfürsten Meinhard II. In der Neuzeit, bis herauf in die Mitte des 20. Jahrhunderts waren die Milch- und Viehwirtschaft sowie etwas Obst- und Weinbau die typische landwirtschaftliche Wirtschaftsform (LOOSE 1976, FISCHER 1974).

Somit dürfte die Weidewirtschaft am Vinschgauer Sonnenberg schon um 4500 vor Christi Geburt eingesetzt haben. Sie hat die Landschaft und die Böden maßgeblich geprägt.

3. Methode

3.1 Untersuchungsdesign

Um einen waldbaulichen Soll-Zustand der Schwarzföhrenforste definieren zu können, wurde in mehreren Schritten vorgegangen: Zu Beginn galt es die Schwarzföhrenforste und die umliegenden naturnahen Waldtypen wie Flaumeichen-, Rotföhren- und Lärchenwälder bodenkundlich zu erheben. Insgesamt wurden genau 100 Aufnahmeflächen bearbeitet. Auf allen Aufnahmeflächen wurden Bodenprofile bis 50 cm Tiefe gegraben und Proben aus den obersten 10 Zentimetern des Mineralbodens gezogen. Mit Hilfe eines Aufnahmeblattes erfolgte die Beschreibung der Profilhorizonte. Bei 40 Aufnahmepunkten wurden zusätzlich Materialproben für Laboranalysen aus den Horizonten 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm und 31 – 50 cm und der Auflage entnommen. Aus diesem Probenmaterial stammen die Daten für die vorliegende Beschreibung der Hauptbodentypen im Untersuchungsgebiet.

3.2 Auswahl der Probeflächen

Es war wegen der sehr reich strukturierten Kulturlandschaft im Untersuchungsgebiet nicht möglich, eine systematische Auswahl der Probeflächen zu treffen. Jeder noch so kleine und isolierte naturnahe Waldbestand musste deshalb erhoben werden. Die Auswahl der Bestände wurde entweder vom Gegenhang oder am Orthofoto getroffen. In den Schwarzföhrenforsten wurden die Probeflächen gleichmäßig verteilt, aber nicht systematisch angelegt.

3.3 Geländeerhebungen

Auf 40 Probeflächen (Abb. 1) wurden neben den allgemeinen Standortdaten wie Höhenlage, Exposition, Neigung, Relief, Geologie und anthropogene Einflüsse die dieser Arbeit zugrundeliegenden Daten durch Beschreibung der Bodenprofile und durch Entnahme von Bodenproben erhoben. Auf jeder Probefläche wurde ein Profil bis maximal 50 cm Tiefe gegraben und die Profilwand beschrieben. Daten über die Stärke der Humuslagen und Mineralbodenhorizonte, Farbe, Gefüge, Bodenart (Fingerprobe), Skelettgehalt (Vol.-%), Gründigkeit (ermittelt durch mehrere Einschläge mit dem Schlagbohrer) und mit 10%iger HCl getesteter Carbonatgehalt von C0 (carbonatfrei) bis C7 (Kalk) wurden in ein Aufnahmeformular eingetragen (AG BODENKUNDE 1982; BLUM et al. 1986). Anschließend erfolgte die Entnahme von würfelförmigen Materialproben (das Volumen wurde aus der Länge der Kanten ermittelt) aus den Profilhorizonten 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm und 31 – 50 cm. Ebenso wurde mit Hilfe eines Holzrahmens (30 × 30 cm) die Auflage abgetragen, anschließend gewogen und in Nylonsäckchen verpackt. Zudem wurden die einzelnen Humushorizonte (L, F, H) morphologisch bestimmt und deren jeweilige Stärke gemessen. Schließlich wurde der Humustyp vor Ort angesprochen.

3.4 Petrographische Analysen

Im Zuge der Feldarbeiten wurden oberhalb von Laas zwischen den Probepunkten 63 und 68 (Abb. 1) die Gesteinsproben P93 und P98 entnommen, welche von Herrn Dr. Volkmar Mair am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck petrographisch charakterisiert wurden. Die Gesteinsproben wurden jeweils makrosko-

pisch untersucht, dann wurde je ein Schliff parallel und senkrecht zur Hauptrichtung (Schieferung) angefertigt. Der Mineralbestand wurde bestimmt und der Gehalt an Carbonat geschätzt.

3.5 Chemische und physikalische Analysen

Die Humus- und Bodenproben ($\varnothing < 2$ mm) wurden im Agrikulturchemischen Labor Laimburg der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol aufbereitet und mit folgenden Methoden analysiert:

- Mit einem Sieb von 2 mm Maschenweite wurde der erdfrische Feinboden vom Grob-
boden getrennt und das Gewicht beider Fraktionsklassen auf 0,1 Gramm genau be-
stimmt.
- pH-Wert-Bestimmung mittels elektrometrischer Messung der H-Ionen-Aktivität in
einer Suspension von Boden mit a) destilliertem Wasser und b) 0,01 molarer CaCl_2 .
- Messung des Carbonatgehaltes durch die gasvolumetrische Bestimmung von CO_2 ,
welches durch die Reaktion von HCl mit Carbonaten entsteht (Methode Scheibler).
- Gravimetrische Wassergehaltsbestimmung durch Trocknung von 10 g lufttrockenem
Feinboden oder Humus bei 105° Celsius bis zur Gewichtskonstanz.
- Bestimmung der Bodenart von 28 Bodenproben durch die Sedimentationsmethode
mit Glaszylinder und Pipette. Ausgewählt wurden solche Proben, die nach der Fin-
gerprobe sehr sandig, sehr lehmig oder sehr schluffig erschienen.
- Elementaranalytische Bestimmung von C_{org} mittels der Apparatur LECO RC-412.
Der Humusgehalt wird mit dem Faktor 1,72 aus dem organischen Kohlenstoff (C_{org})
errechnet (ENGLISCH 1992).
- Elementaranalytische Bestimmung von Gesamtstickstoff (N_{tot}) mittels der Apparatur
LECO FP-2000.
- Bestimmung der Kationenaustauschkapazität (KAK) bei Bodenproben $\text{pH} > 6,5$ durch
Rücktausch des eingetauschten Bariums mit 0,2 molarer HCl und anschließender
Messung des Bariums im Atomemissions-Spektrometer ICP-PERKIN ELMER OPTI-
MA 3000. Für Ca^{2+} und Mg^{2+} wurde nach dem Modifikationsvorschlag von MUTSCH
(unveröff. Manuskript) zur ÖNORM L 1086 vorgegangen.
- Gehalt an austauschbaren Kationen im Bariumchlorid-Extrakt mit Analyse im
Atomemissions-Spektrometer ICP-PERKIN ELMER OPTIMA 3000. Das austauschbare
Natrium wurde an 47 Stichproben gemessen, um eine Vorstellung über dessen Anteil
an der Summe der basischen Kationen (S-Wert) bzw. an der Kationenaustauschkapa-
zität (KAK) zu erhalten.
- So wie bei Natrium wurden die Gehalte an Eisen, Mangan und Aluminium ebenfalls
in 47 Stichproben gemessen, wobei lediglich Proben mit pH-Werten kleiner 6,2 ana-
lysiert wurden. Die Protonenkonzentration (H^+) wurde aus dem gemessenen pH-
Wert (CaCl_2) nach der Formel von MUTSCH (unveröff. Manuskript) berechnet, wobei
der zu subtrahierende Wert 0,02 einem mittleren pH-Wert von 5,0 der Austausch-
lösung entspricht.

$$\text{H}^+ = 2000 * e^{-\text{pH} * \ln 10} - 0,02$$

3.6 Ermittlung der nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nWSK)

Die nutzbare Wasserspeicherkapazität lässt sich nach BENECKE & EBERL (FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME 1996) von gemessenen Bodenparametern ableiten: Für Lagerungsdichte und Bodenart ergibt sich aus einem Nomogramm die nutzbare Wasserspeicherkapazität in mm/m Horizontmächtigkeit. Zu dieser abgelesenen nutzbaren Wasserspeicherkapazität sind je nach Humus- und Tongehalt Zuschläge hinzuzufügen, welche ebenso einem entsprechenden Nomogramm zu entnehmen sind. Der so erhaltene Wert bezieht sich auf die Horizontmächtigkeit von einem Meter Feinboden. Deshalb wird der Wert erstens auf die effektive Horizontmächtigkeit umgerechnet und zweitens mit dem im jeweiligen Horizont vorhandenen Skelettgehalt reduziert. Die Summe der horizontbezogenen, mit dem jeweiligen Skelettgehalt reduzierten nutzbaren Wasserspeicherkapazitäten ergibt die nutzbare Wasserspeicherkapazität des Profils.

3.7 Statistische Verfahren

3.7.1 Datenverwaltung

Sämtliche Boden- und Standortdaten wurden im Statistikpaket SPSS 7.5 (Base 7.5 für Windows 1997) gespeichert und bearbeitet. Als Rechner diente ein Olivetti PC – Modulo Pro 200 MT.

3.7.2 Clusteranalyse

Unter Clusteranalyse versteht man statistische Verfahren zur Gruppenbildung (BACKHAUS et al. 1996). Eine Reihe von Stichprobenelementen werden dabei in Gruppen von einander ähnlichen Individuen zusammengefasst. Das Weiterarbeiten mit den Gruppen verbessert die Übersichtlichkeit und erleichtert das Erkennen von Zusammenhängen (WILDI 1986). Durchgeführt wurde eine hierarchisch agglomerative Clusteranalyse mit dem Programm SPSS 7.5 und zwar nach der Methode average linkage (within group) mit der Euklidischen Distanz. Die Eingangsvariablen wurden einer z-Standardisierung unterzogen.

3.7.3 Eingangsparameter in die Clusteranalyse

Aus der Fülle von Daten wurde versucht, aggregierte Parameter zu ermitteln. Dafür boten sich die mit dem absoluten Reziprokwert der Bodentiefe (cm) gewichteten mittleren Bodenparameter an (KATZENSTEINER 1992). Damit wird die ernährungsphysiologische Bedeutung des Ah-Horizontes, des Ober- und Unterbodens entsprechend berücksichtigt. Lediglich die pH-Werte gingen als nicht gewichtete Parameter in die Berechnung ein, weil sie als Indices für den Carbonatgehalt im Profil herangezogen wurden. Insgesamt gingen Parameter von 40 Bodenprofilen in die Clusteranalyse ein. Die Daten eines einzelnen Braunerde-Bodenprofiles wurden nicht mit in den Datensatz aufgenommen, weil sie mittels Boxplots nicht darstellbar sind.

Es wurden folgende Parameter für die Clusteranalyse verwendet:

- Mit dem Reziprokwert der Bodentiefe gewichtete Parameter: C/N-Verhältnis, S-Wert, Skelettgehalt (Vol.-%).
- Nicht gewichtete Parameter: pH-Werte (CaCl₂) aus dem Oberboden (0 – 5 cm) und Unterboden (21 – 30 cm).

3.7.4 Darstellung der Bodenparameter mittels Boxplots

Die nach der Clusteranalyse festgelegten drei Gruppen bzw. Hauptbodentypen wurden als Kategorien in die Datenmatrix eingefügt. Mithilfe des Graphikmoduls „Boxplot“ konnte die Streuung der diversen physikalischen und chemischen Bodenparameter über die Kategorien (Hauptbodentypen) dargestellt werden.

4. Ergebnisse

4.1 Petrographische Analysen

4.1.1 Mylonitischer Glimmerschiefer

Makroskopisch handelt es sich bei der Probe P98 um ein hellgraues, dünnschiefriertes Gestein mit einer auffallenden Wechsellagerung von hellgrauen und bräunlich angewitterten Lagen. Die Schieferung ist sehr deutlich ausgerichtet mit einem stark gerichteten Linear in Schieferungsrichtung, was typisch für Mylonite ist.

Dieser mylonitische Glimmerschiefer besteht aus folgenden Mineralien: Quarz, Muskovit, Plagioklas, Chlorit und Ankerit. Akzessorisch treten Turmalin, Erzminerale, Goethit, Hämatit, Apatit und Zirkon auf. Ankerit (Eisendolomit) macht etwa 5 bis 8% des Modalbestandes aus. Die Ankeritkristalle sind unterschiedlich groß, zeigen jedoch immer eine relativ starke Verwitterung der Ränder. Diese Verwitterung der Carbonate mit der Bildung von Eisenhydroxid führt zu den makroskopisch auffallenden braunen Lagen im Gestein.

4.1.2 Carbonatknauer

Die Carbonatknauer (P93) besteht makroskopisch aus einem hellen gelblichen Kern und einem dunkelbraunen Rand. Aufgrund der Umrisse und der Einbettung in das Nebengestein handelt es sich um eine boudinierte Carbonatschicht.

Im Mikroskop zeigt sich, dass die Knauer fast ausschließlich aus Carbonat besteht. Die Kristalle sind unterschiedlich groß, zeigen jedoch starke Verwitterungserscheinungen: die Ränder und die Bereiche entlang von Spaltbarkeiten sind zu Goethit umgewandelt. Eingelagert in die Carbonate finden sich unregelmäßige Linsen und Butzen von Quarz und Muskovit.

4.2 Clusterbildung nach Bodenmerkmalen

Wie im Kapitel 3.7 beschrieben, bildet die Clusteranalyse aus einer Reihe von Stichproben Gruppen, deren Individuen sich hinsichtlich der gewählten Eingangsparametern ähnlich sind.

Aus der Clusteranalyse (Abb. 3) ist ersichtlich, dass alle Stichproben in drei bzw. vier übergeordnete Gruppen zusammengefasst werden können. Die Stichprobenelemente 1, 10 und 2b bilden gemeinsam eine Gruppe, die als „skelettreiche“ Variante der Gruppe 1 gelten kann. Nach Datensichtung der drei Bodenprofile wurden sie auf Grund der Merkmale C/N-Verhältnis, S-Wert und pH-Werte der Gruppe 1 zugeordnet. Aus diesen Grund wurden die Lösung mit drei Clustern gewählt: Gruppe 1 setzt sich zusammen aus carbonat- und skelettarmen Böden (verbraunte Pararendzina); Gruppe 2 aus den carbonatarmlen und skelettreichen Böden (braune Ranker) und in Gruppe 3 sind die carbonatreichen Böden zusammengefasst (Pararendzina).

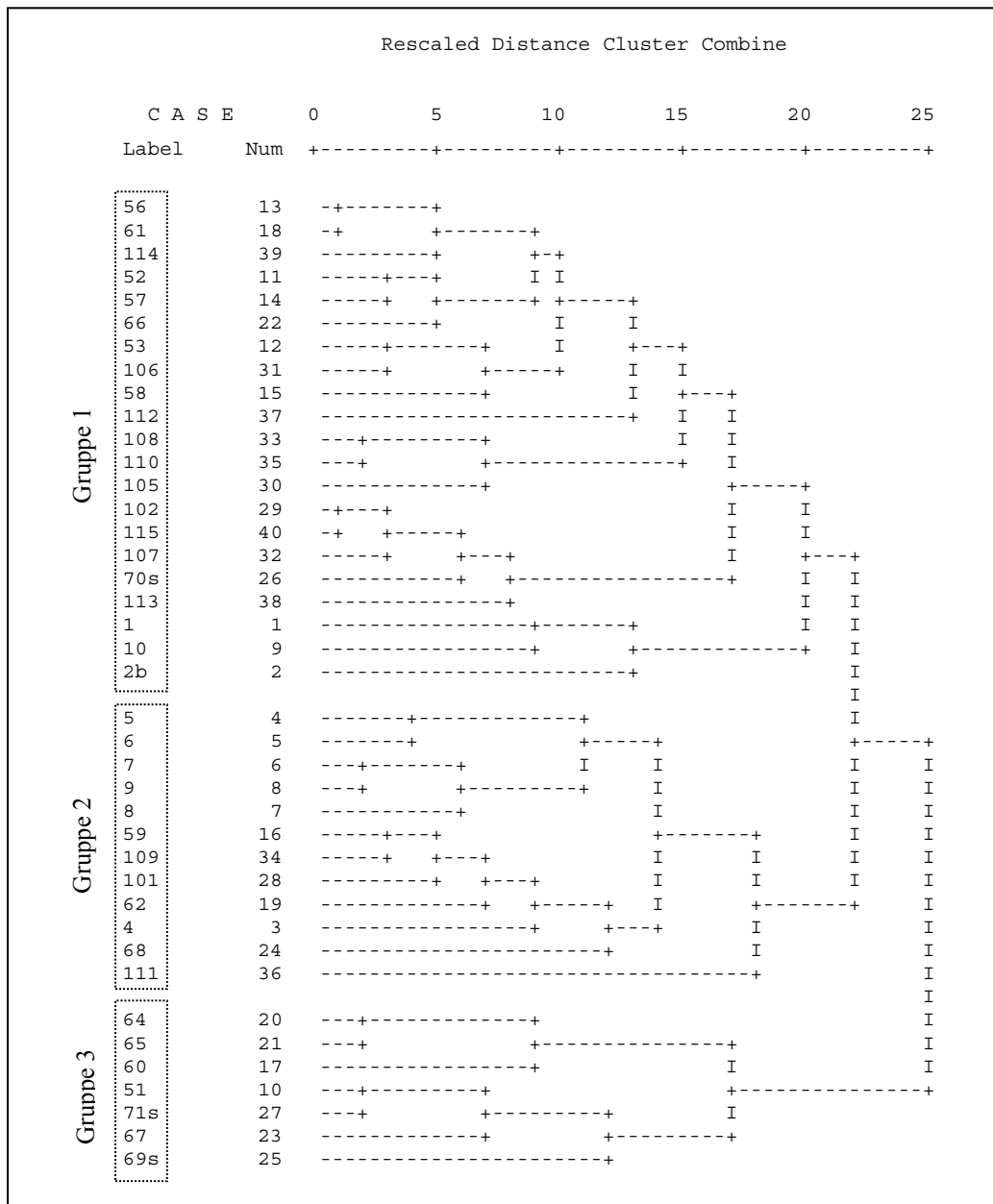


Abb. 3: Clusteranalyse von 40 Bodenprofilen (Abb. 1) nach der agglomerativen Fusionstechnik average linkage (within group), Euklidische Distanz und Z-Standardisierung der Eingangsvariablen. **Gruppe 1:** Verbraunte Pararendzina; **Gruppe 2:** Brauner Ranker; **Gruppe 3:** Pararendzina.

4.3 Profilbeschreibung

4.3.1 Allgemeines

Die Bezeichnungen Pararendzina, verbrauchte Pararendzina und brauner Ranker wurden in Anlehnung an NESTROY et al. (2000) gewählt. Auf eine weitere Unterteilung der drei Hauptgruppen wurde aus Gründen der Nachvollziehbarkeit im Gelände verzichtet. Obschon sich diese drei Hauptbodentypen durch die Clusteranalyse und ebenso im Gelände gut voneinander unterscheiden lassen, sei angemerkt, dass sie untereinander verwandt und damit in eine Bodencatena zu stellen sind. Daneben wurde in einem feuchten Graben ein Braunerdeprofil aufgenommen, welches im kommenden Kapitel aus Gründen der Vollständigkeit abgebildet ist.

4.3.2 Pararendzina [Ah-C(Cv)]

Mineralboden	Tiefe (cm)	Farbe	Gefüge	Bodenart	Skelett (Vol-%)	CaCO ₃ -Klasse
Ah	3	grau - schwarz	körnig	anlehmiger Sand	15	C0/C1
C(Cv)	50	grau, hellgrau	körnig	anlehmiger Sand	25 - 50	C2 bis C5

4.3.3 Verbrauchte Pararendzina [Ah-Cv(Bv)-C]

Mineralboden	Tiefe (cm)	Farbe	Gefüge	Bodenart	Skelett (Vol-%)	CaCO ₃ -Klasse
Ah	3	grau - schwarz	körnig	anlehmiger Sand	15	C0
Cv (Bv)	25	hellbraun	körnig	schwach bis stark lehmiger Sand	30	C0
C	50	grau, hellgrau	körnig	anlehmiger Sand	60	C0/C1

4.3.4 Brauner Ranker [Ah-(Bv)-C]

Mineralboden	Tiefe (cm)	Farbe	Gefüge	Bodenart	Skelett (Vol-%)	CaCO ₃ -Klasse
Ah	5	grau - schwarz	körnig	schwach lehmiger Sand	40	C0
C	30	hellbraun	körnig	schwach lehmiger Sand	80	C0

4.3.5 Braunerde [Ah-Bv-C]

Mineralboden	Tiefe (cm)	Farbe	Gefüge	Bodenart	Skelett (Vol-%)	CaCO ₃ -Klasse
Ahbiog	7	grau - schwarz	krümelig	sandiger Lehm	15	C0
Bv	35	braun	polyedrisch	sandiger Lehm	20	C0
Bv/C	50	braun - hellbraun	polyedrisch	sandiger Lehm	50	C0

4.4 Physikalische Bodenparameter

4.4.1 Skelettgehalt

Als Skelett- oder Grobboden wird die Korngrößenfraktion größer als zwei Millimeter bezeichnet. Der Skelettgehalt ist das wichtigste Differenzialmerkmal zur Unterscheidung der verbräunten Pararendzina vom braunen Ranker (Abb. 4). Dieser hat vor allem im Oberboden mit 20 bis 35 Volumsprozent wesentlich mehr Skelett als die skelettärmere verbräunte Pararendzina. In Wirklichkeit liegt der Skelettgehalt beim braunen Ranker noch wesentlich höher: Oft war es aufgrund des steinig-blockigen Bodens nur an ausgewählten, relativ skelettarmen Stellen möglich, die Bodenproben zu werben. Im Geländeprotokoll wurde der geschätzte Skelettgehalt zumeist mit über 50 Volumsprozent und die Gründigkeit als spaltengründig angegeben. Brauner Ranker kommt hauptsächlich im steilen, felsigen Gelände oder auf Schutthängen unterhalb von Felswänden vor. Die Pararendzina hat den geringsten Skelettgehalt.

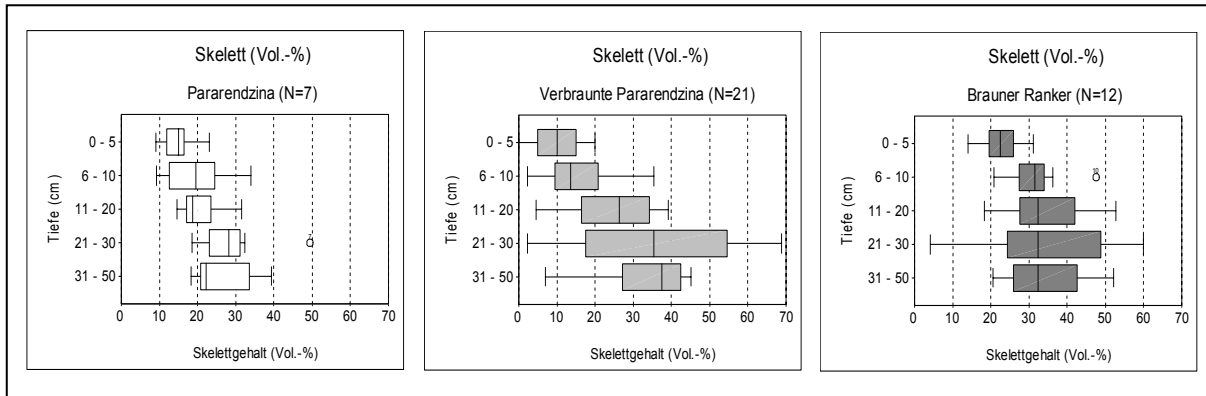


Abb. 4: Boxplotdarstellung der Skelettgehalte bezogen auf die Profilhorizonte 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbraunte Pararendzina und brauner Ranker.

4.4.2 Bodenart

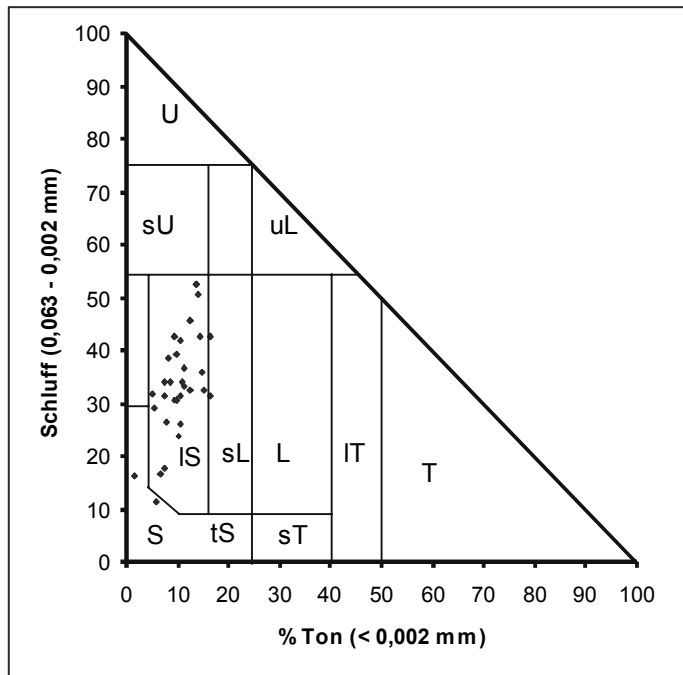


Abb. 5: Österreichisches Texturdreieck (BLUME et al. 1986) für 28 Stichproben mit den Ergebnissen der Sedimentationsmethode, welche mit Glaszylinder und Pipette durchgeführt wurde.

Werden die Werte für Sand, Schluff und Ton ins Österreichische Texturdreieck (ÖNORM 1985) eingetragen (Abb. 5), so ergeben sich die Bodenarten lehmiger Sand (IS), sandiger Lehm (sL) und Sand (S). Lehmiger Sand kommt laut Texturdreieck am häufigsten vor, was sich im Gelände ebenfalls bestätigt hatte. Bei der Fingerprobe im Gelände war tendenziell erkennbar, dass die verbraunte Pararendzina etwas höhere Anteile an Ton und Schluff aufweist als die Pararendzina.

4.4.3 Bodendichte

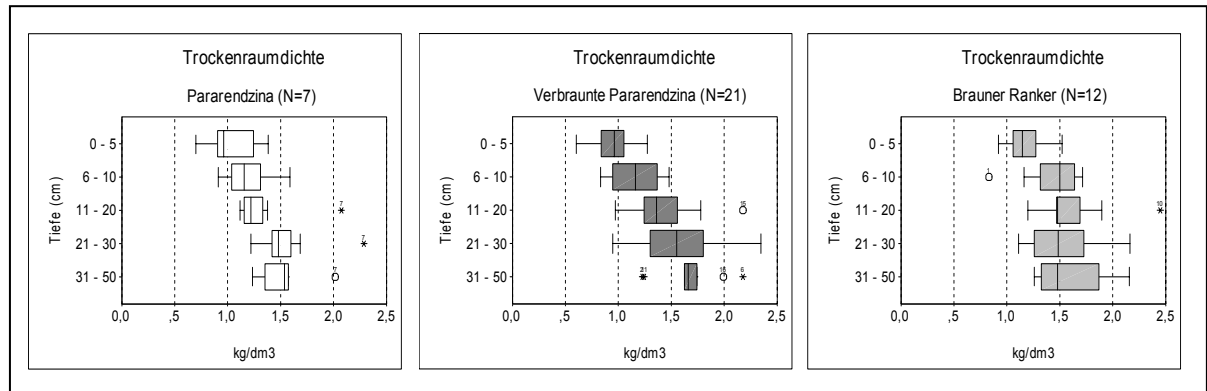


Abb. 6: Boxplotdarstellung der Trockenraumdichten bezogen auf die Profilhorizonte 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbrauchte Pararendzina und brauner Ranker.

Die Masse an festen Bodenbestandteilen pro Volumeneinheit ergibt eine Verhältniszahl, die als Bodendichte oder bei ofentrockenem Boden (105° C) als Trockenraumdichte (FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME 1996) bezeichnet wird. Diese Verhältniswerte berücksichtigen die natürliche Lagerung. Wird die Verhältniszahl auf den jeweiligen Horizont bezogen, so ergibt sich der Verlauf der Trockenraumdichte im Profil (Abb. 6).

Die Trockenraumdichte (TRD) aller Profile kann als gering bis hoch eingestuft werden, wobei der Ah-Horizont eine sehr geringe TRD hat (FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME 1996). Abweichungen zwischen den Bodentypen beruhen auf dem jeweiligen Anteil an Grobskelett: So hat der braune Ranker eine höhere Bodendichte als die verbrauchte Pararendzina oder die Pararendzina.

4.4.4 Feuchtezustand der Böden und nutzbare Wasserspeicherkapazität (n WSK)

Der prozentuelle Wassergehalt, der bei trockener Witterung im Oktober 1995 gewonnenen Bodenproben, errechnet sich aus der Gewichts-differenz von der Probe_{feucht} zur Probe_{ofentrocken}. Der Wassergehalt nimmt beim braunen Ranker und bei der verbrauchten Pararendzina mit zunehmender Bodentiefe ab und bleibt bei der Pararendzina mit zunehmender Bodentiefe konstant. Obwohl es sich hierbei lediglich um eine Momentaufnahme der Bodenfeuchte handelt, kann die geringe Wasserversorgung aller drei Bodentypen für den trockenen Herbst 1995 gut dokumentiert werden.

Während es sich beim Wassergehalt um eine Momentaufnahme handelt, vermag die nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK) das Feuchtespeicherpotenzial des jeweiligen Bodentyps viel besser zu beschreiben.

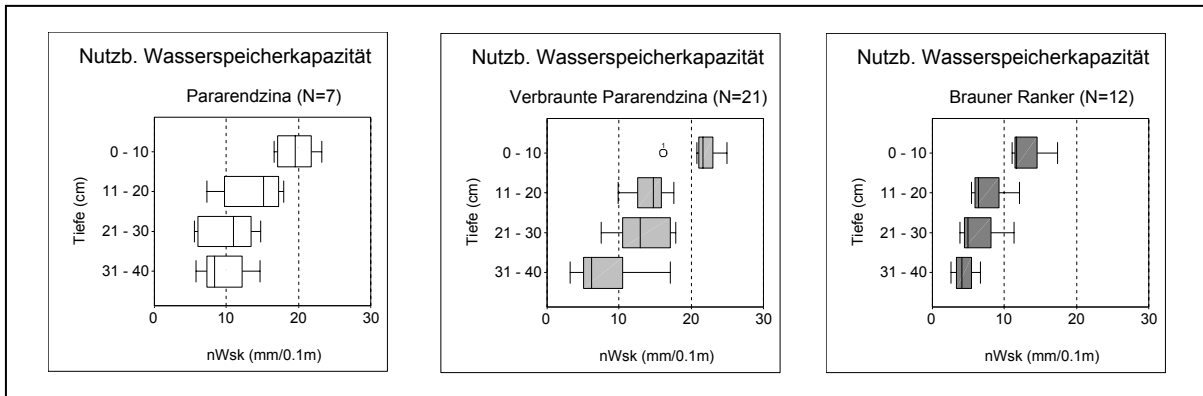


Abb. 8: Boxplotdarstellung der nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nWSK) bezogen auf die Profilhorizonte 0 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 40 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbraunte Pararendzina und brauner Ranker.

Bei allen drei Bodentypen nimmt die nutzbare Wasserspeicherkapazität mit zunehmender Tiefe ab (Abb. 8): Dafür verantwortlich sind der mit der Tiefe abnehmende Humusgehalt (Abb. 11), der mit der Tiefe zunehmende Skelettgehalt (Abb. 4) und die mit der Tiefe zunehmende Trockenraum- oder Lagerungsdichte (Abb. 6). Die Profile von Pararendzina und verbraunte Pararendzina zeigen eine ähnliche nutzbare Wasserspeicherkapazität, jene vom braunen Ranker ist wesentlich geringer. Dies lässt für diesen Bodentyp trockenere Verhältnisse erwarten als für die beiden anderen.

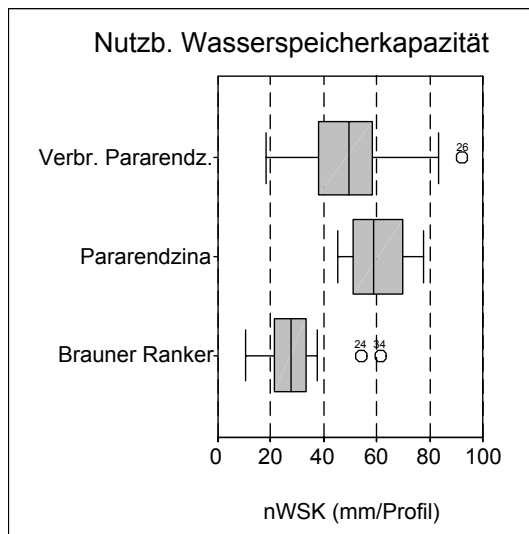


Abb. 9: Boxplotdarstellung der nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nWSK) des Profils bezogen auf ein Gesamtprofil für die Bodentypen Pararendzina, verbraunte Pararendzina und brauner Ranker.

Wird nun die Summe der horizontbezogenen nutzbaren Wasserspeicherkapazität gebildet, ergibt sich die nutzbare Wasserspeicherkapazität des Profils. Bei gleichem Wasserangebot verfügt der braune Ranker über die deutlich geringere nutzbare Wasserspeicherkapazität als Pararendzina und verbraunte Pararendzina (Abb. 9). Letztere halten sich deshalb die Waage, weil der höhere Humusgehalt bei der verbraunten Pararendzina durch den niederen Skelettgehalt bei der Pararendzina kompensiert wird.

4.5 Chemische Parameter im Mineralboden

4.5.1 Carbonatgehalt und pH-Wert

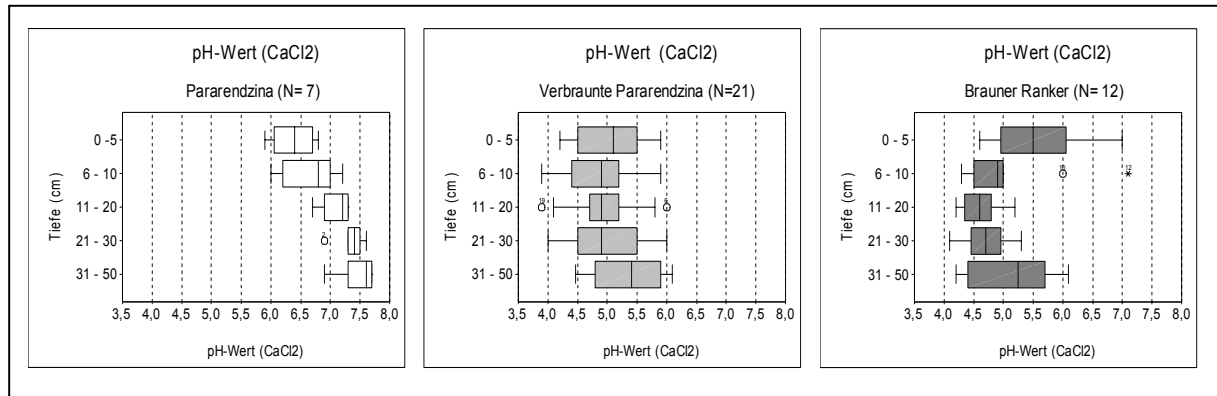


Abb. 10: Boxplotdarstellung der pH-Werte (CaCl_2) bezogen auf die Profilhorizonte 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbraunte Pararendzina und brauner Ranker.

Als Ausgangsmaterial für die Böden kommen drei Substratklassen in Frage: Kompakte, carbonatarme Orthogneise, mylonitische, carbonathaltige Phyllite und Glimmerschiefer sowie Moränendecken, die ebenfalls mit Carbonaten angereichert sind. Selbstverständlich gibt es auch alle Übergänge und vor allem Durchmischungen, die durch Solifluktion, Felssturz, kolluviale und fluviatile Umlagerung zustande kamen.

24 Stichproben im pH-Bereich 6,2 – 7,7 (CaCl_2) wurden mit der Methode Scheibler auf ihren Carbonatgehalt hin untersucht, wobei sich Werte zwischen 0,2 und 11% ergaben. Bei der Carbonatansprache im Gelände konnte häufig ein C4 (carbonatreich) bestimmt werden, was einem Carbonatgehalt von 10 – 25% entspricht (AG BODENKUNDE 1982).

Der pH-Wert in 0,01 molarer CaCl_2 -Lösung gemessen gibt im Gegensatz zur H_2O -Suspension den austauschbaren „Säurevorrat“ im Boden an (KILIAN 1992), wobei Al- und H-Ionen durch Ca-Ionen ausgetauscht werden. Der im Untersuchungsgebiet gemessene Schwankungsbereich der pH-Werte reicht von 3,9 bis 7,7, also von sehr stark sauer bis schwach alkalisch (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992). Der im destilliertem Wasser gemessene pH-Wert liegt im Mittel um $0,73 \pm 0,15$ Einheiten höher und entspricht in etwa der Azidität der Bodenlösung an Ort und Stelle, mit denen Bodenorganismen und Pflanzen zu recht kommen müssen.

Die Bodentypen Pararendzina und verbraunte Pararendzina unterscheiden sich deutlich in den pH-Werten (Abb. 10). Bei der Pararendzina ist der Oberboden (0 – 20 cm) schwach sauer bis schwach alkalisch, der Unterboden hingegen ist schwach alkalisch. Der pH-Wert nimmt mit der Tiefe stetig zu, was auf Nachlieferung von Carbonat aus dem Ausgangssubstrat schließen lässt. Im Oberboden findet bereits eine Entkalkung statt, so dass dort der pH-Wert $< 6,8$ ist.

Die verbraunte Pararendzina weist pH-Werte im mäßig sauren bis stark sauren Milieu auf, wobei sie sich mit der Tiefe kaum verändern. Beim braunen Ranker ist der pH-Wert der obersten 5 Zentimeter höher als bei der verbraunten Pararendzina. In den darunter liegenden Horizonten ist er aber deutlich niedriger.

4.5.2 Humus

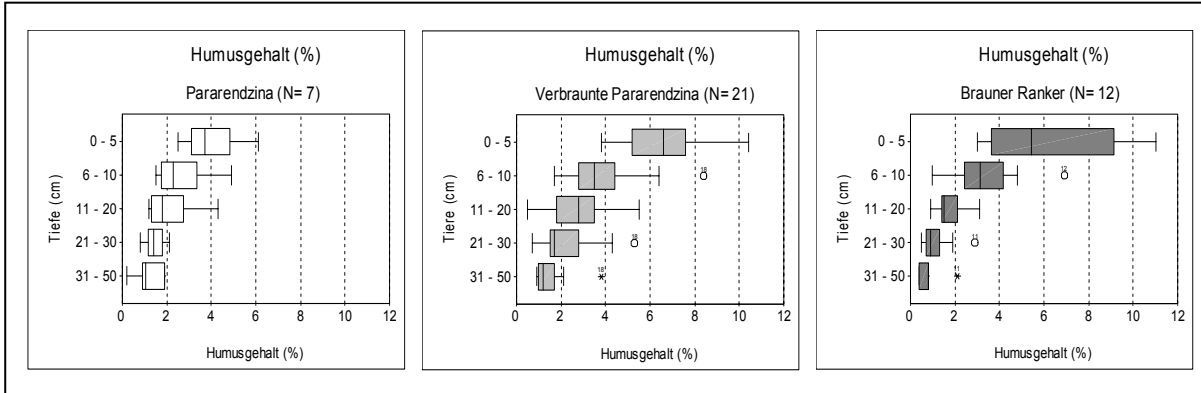


Abb. 11: Boxplotdarstellung der Humusgehalte (%) bezogen auf die Profilhorizonte 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbraute Pararendzina und brauner Ranker.

Der Humusgehalt ist im Ah-Horizont am höchsten: Die Böden sind allgemein im Oberboden als stark humos und im Unterboden als schwach bis mittel humos einzustufen (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992). Die Pararendzina ist als unreifer Bodentyp im Oberboden (0 – 20 cm Tiefe) deutlich humusärmer als die verbraute Pararendzina oder der braune Ranker. Dessen Humusgehalt hat im Oberboden ein großes Schwankungsspektrum, was als Hinweis für eine gebremste Umsetzung aufgrund der Trockenheit schließen lässt. Um aber eine Vorstellung über den Gesamtvorrat an organischem Kohlenstoff (C_{org}) in t/ha und 50 cm Bodentiefe zu erhalten, werden diese über die fünf Tiefenstufen aufsummiert (Abb. 12a).

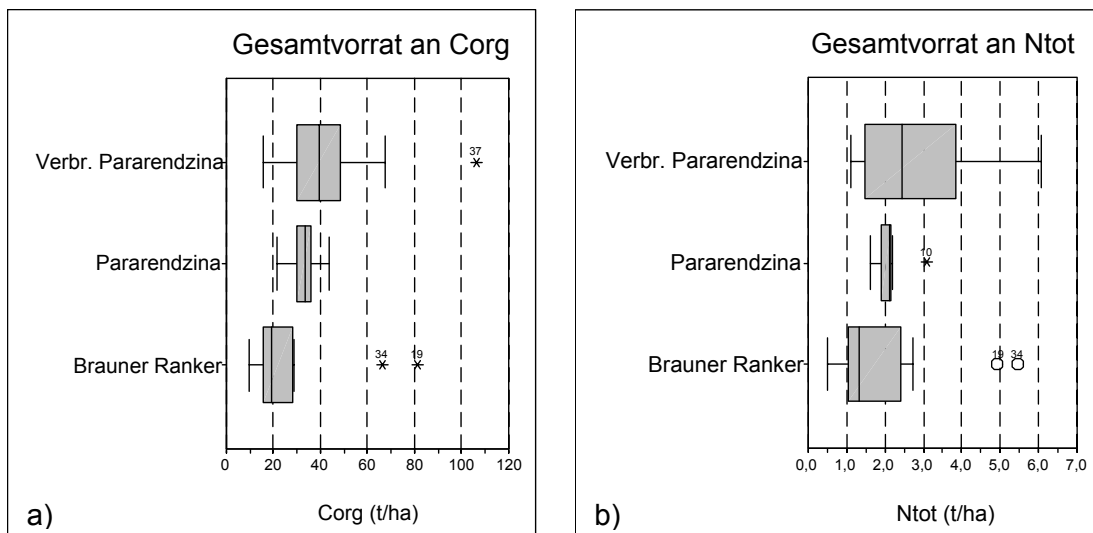


Abb. 12: Boxplotdarstellung über a) den Gesamtvorrat an organischem Kohlenstoff (C_{org}) in t/ha; b) Gesamtvorrat an Stickstoff (N_{tot}) in t/ha.

Aus Abb. 12a ist ersichtlich, dass der Gesamtvorrat an organischem Kohlenstoff vom braunen Ranker über die Pararendzina hin zur verbrauchten Pararendzina stetig zunimmt. Es zeigt sich, dass beim braunen Ranker der Gesamtvorrat – trotz der großen Humusgehalte im Oberboden – auf Grund des hohen Skelettgehaltes (Abb. 4) niedrig ist. Der höhere Gesamtvorrat an C_{org} bei der verbrauchten Pararendzina weist auf deren im Vergleich zur Pararendzina höhere bodengenetische Entwicklungsstufe hin. Werden diese Werte mit jenen der Österreichischen Waldboden-Zustandsinventur verglichen, so liegen sie im Bereich der armen Felsbraunerde, welche im Mittel über 47,8 t/ha C_{org} verfügt (ENGLISCH 1992). Im Vergleich zu anderen Waldböden (vgl. FORSTLICHE STANDORTAUFNAHME 1996) sind die Gesamtvorräte an C_{org} aller drei Bodentypen (Abb. 12a) als sehr gering bis gering zu bezeichnen.

4.5.3 Stickstoff

Ein Großteil der Stickstoffvorräte im Boden sind an die organische Substanz gebunden und sind somit nicht direkt pflanzenverfügbar. Durch Mineralisierung entstehen aus dem Gesamtstickstoff (N_{tot}) austauschbare Stickstoffverbindungen wie Ammonium und Nitrat, welche als N_{min} bezeichnet werden.

Der Gesamtvorrat an Stickstoff ist beim braunen Ranker am geringsten; etwas höher ist der Gesamtvorrat bei der Pararendzina und am höchsten ist er bei der verbrauchten Pararendzina. Im Vergleich zu anderen Waldböden sind die Gesamtvorräte an N_{tot} aller drei Bodentypen (Abb. 12b) als sehr gering bis gering zu bezeichnen. Lediglich die verbrauchte Pararendzina weist zum Teil mittlere Gesamtstickstoffvorräte auf (FORSTLICHE STANDORTAUFNAHME 1996).

4.5.4 C/N-Werte

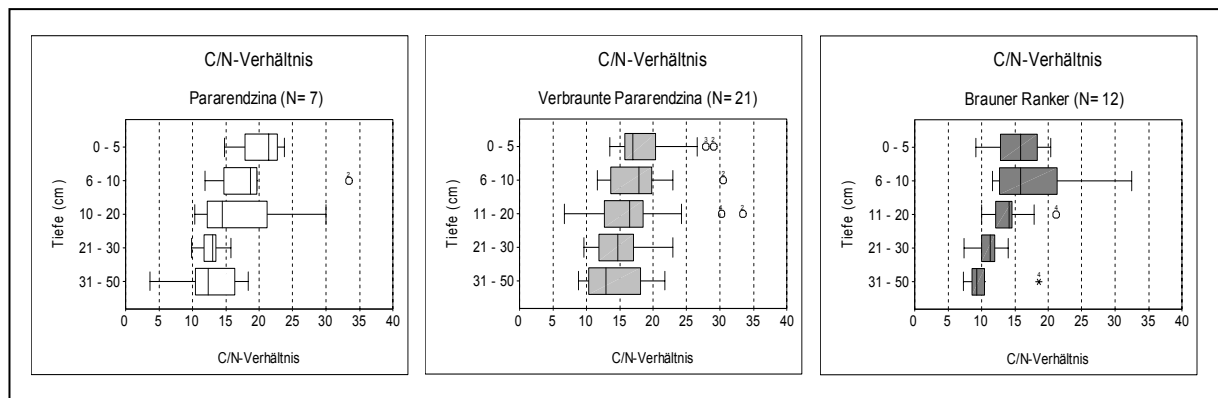


Abb. 13: Boxplotdarstellung der C/N-Verhältnisse bezogen auf die Profilhorizonte 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbrauchte Pararendzina und brauner Ranker.

Das C/N-Verhältnis des Ah-Horizontes gibt Auskunft über die Humusqualität und über die Umsetzungsdynamik im Boden, wobei es mit zunehmender Tiefe an Bedeutung verliert (ENGLISCH 1992). Je enger das C/N-Verhältnis, desto höher ist in der Regel die Humusmineralisierung und damit die Stickstoffversorgung der Pflanzenbestände.

Zwischen Pararendzina und verbrauchter Pararendzina bestehen keine nennenswerten Unterschiede, wobei das C/N-Verhältnis beider Böden in den obersten 10 cm als mäßig eng bis mäßig weit zu beschreiben ist. Das C/N-Verhältnis beim braunen Ranker reicht von mäßig eng bis weit (FORSTLICHE STANDORTAUFNAHME 1996).

4.5.5 Austauschbares Kalzium

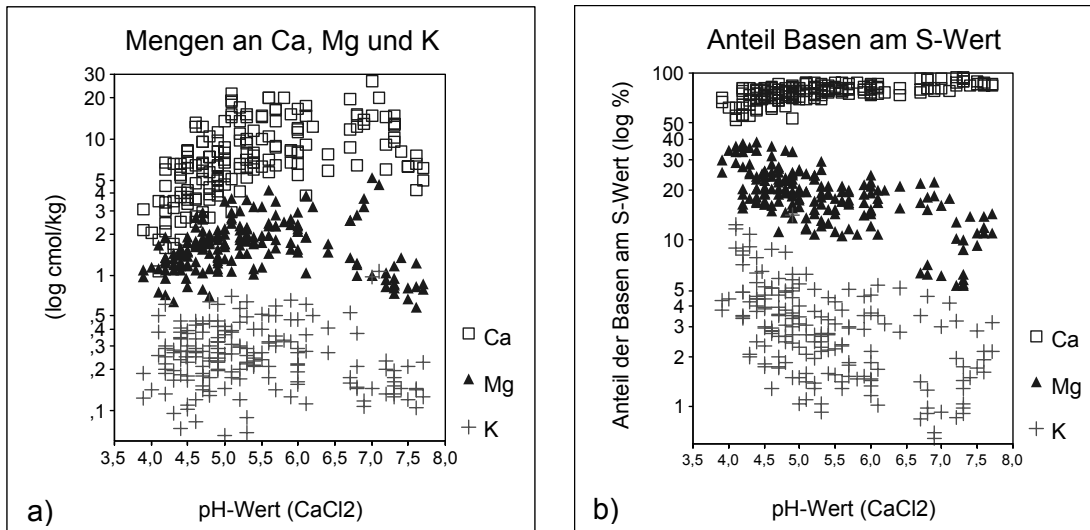


Abb. 14:

a) Streudiagramm der Wertepaare pH und Menge an basischen Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+});
 b) Streudiagramm der Wertepaare pH und Prozentanteil der basischen Kationen (Basen) am S-Wert.

Das austauschbare Ca-Ion ist im Allgemeinen das vorherrschende basische Kation (ENGLISCH 1992), es ist ein essentieller Pflanzennährstoff und beeinflusst die Standortgüte maßgeblich. Im gegenwärtigen Fall macht das austauschbare Kalzium zwischen 50 und 94% (Abb. 14b) des S-Wertes ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+}$) aus. Bei sauren Proben um pH 4 liegt der Prozentanteil an Ca^{2+} zwischen 52 und 70%, bei pH-Werten um 7 liegt er zwischen 80 und 94%. Der prozentuelle Kalziumanteil am S-Wert steigt also mit dem pH-Wert. Absolut gesehen (Abb. 14a) nimmt der Gehalt an Kalzium von pH 4,0 bis pH 5,5 stetig zu und bleibt anschließend – bei großer Streuung – konstant.

Sowohl die Pararendzina als auch die verbrauchte Pararendzina haben relativ hohe Gehalte an Kalzium (Abb. 15). Im Vergleich mit dem Angaben der Österreichischen Waldboden-Zustandsinventur ist der Ca-Gehalt beider Bodentypen für carbonatbeeinflusste Böden relativ gering (ENGLISCH 1992), was mit dem Ausgangssubstrat übereinstimmt. Lediglich der braune Ranker weist einen großen Unterschied zwischen Ober- und Unterboden auf; im Oberboden sind die Kalziumgehalte mit jenen der Pararendzina vergleichbar, im Unterboden fallen sie im Vergleich stark zurück. Dies weist darauf hin, dass dieser an steilen Hängen vorkommende Bodentyp regelmäßig von carbonathaltigem Gesteins- und Moränenmaterial überfahren oder auch durch Staubeintrag in den obersten Bodenhorizonten angereichert wird.

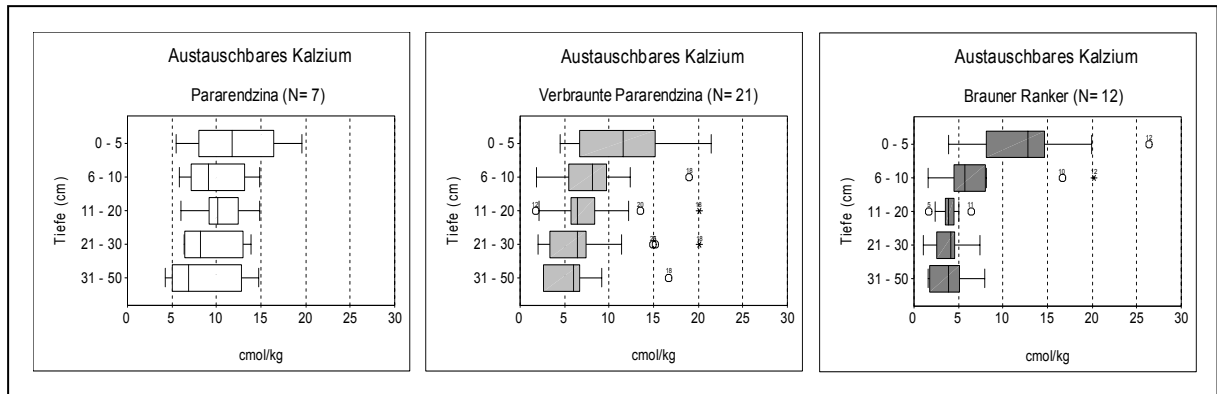


Abb. 15: Boxplotdarstellung der Gehalte an austauschbarem Kalzium (cmol/kg) bezogen auf die Profilhorizonte 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbrauchte Pararendzina und brauner Ranker.

4.5.6 Austauschbares Magnesium

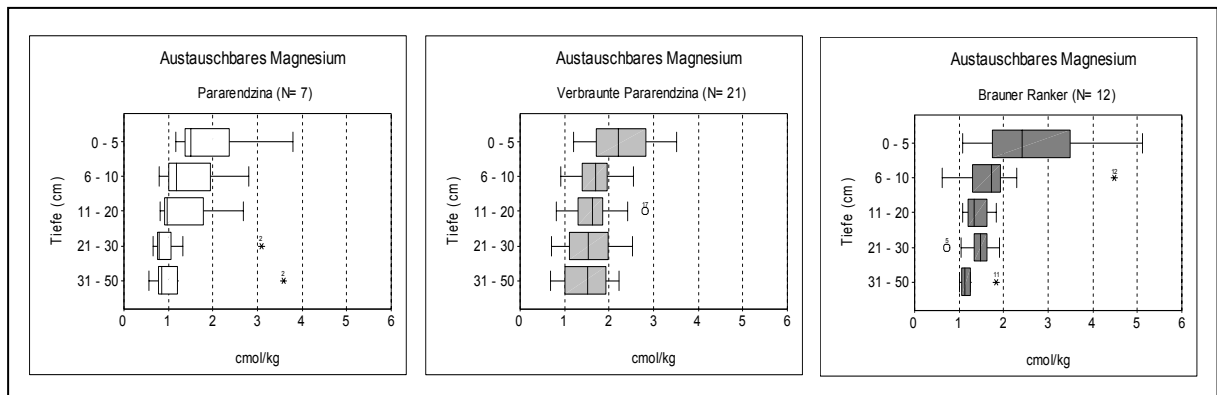


Abb. 16: Boxplotdarstellung der Gehalte an austauschbarem Magnesium (cmol/kg) bezogen auf die Profilhorizonte 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbrauchte Pararendzina und brauner Ranker.

Austauschbar gebundenes Magnesium ist im Boden leicht beweglich und für die Pflanzen ein essentieller Nährstoff (ENGLISCH 1992). Der Prozentanteil am S-Wert nimmt bei den vorliegenden Proben mit zunehmendem pH ab. So liegt der Anteil bei pH 4 zwischen 20 und 40%, bei pH 7 zwischen 5 und 15% (Abb. 14b). In Absolutwerten betrachtet, nimmt der Gehalt an austauschbarem Magnesium von pH 4 bis pH 6 zu, um nachher bei pH > 6 weit zu streuen und vor allem bei einigen schwach alkalischen Proben (pH 7,5) tief abzusinken (Abb. 14a).

Bei der schwach alkalischen Pararendzina sind die Mg-Gehalte etwas geringer als bei der sauren verbrauchten Pararendzina (Abb. 16). Dort, wo pH-Werte und Ca-Gehalte hoch sind, nehmen die Mg-Gehalte ab. Vergleicht man die Pararendzina mit den carbonatbeeinflussten Böden der Österreichischen Waldboden-Zustandsinventur, so liegen die Mg-Werte im Bereich der 90er Perzentile (ENGLISCH 1992), was einer hohen Magnesiumversorgung entspricht. Ebenfalls sind die Mg-Gehalte der verbrauchten Pararendzina und jene des braunen Rankers außerordentlich hoch, was auf einen hohen Magnesiumanteil im Ausgangssubstrat schließen lässt.

4.5.7 Austauschbares Kalium

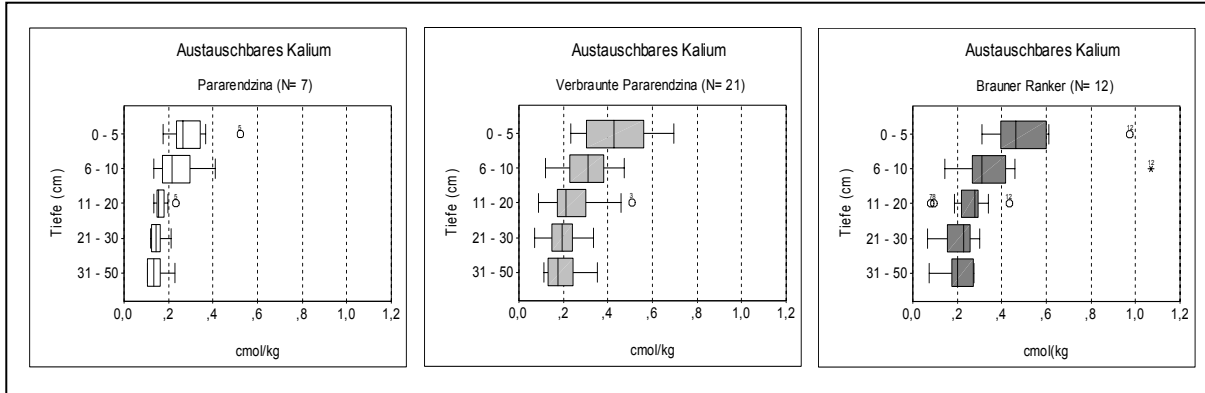


Abb. 17: Boxplotdarstellung der Gehalte an austauschbarem Kalium (cmol/kg) bezogen auf die Profilhorizonte 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbraunte Pararendzina und brauner Ranker.

4.5.8 Austauschbares Natrium

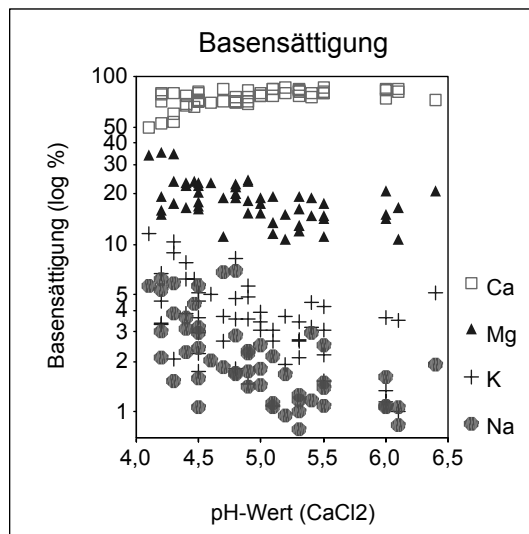


Abb. 18: Streudiagramm der Wertepaare pH und Basensättigung (%) mit Relativwerten von Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ für 47 Teilstichproben

Setzen sich die S-Werte aus Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ zusammen, so ergibt sich über 47 Teilstichproben eine Verteilung wie aus Abb. 18 ersichtlich.

Der Anteil von austauschbarem Natrium am S-Wert liegt im Wesentlichen unter 6 %. Allerdings ist der Natriumanteil abhängig vom pH-Wert: Im pH-Bereich von 6,5 bis 5,3 beträgt er zwischen 1 und 2%, im pH-Bereich 5,2 bis 4,2 steigt er stetig auf rund 6% an. Dies bedeutet, dass er im schwach sauren bis schwach alkalischen Bereich praktisch vernachlässigbar ist, im stark sauren Milieu hingegen beachtet werden muss.

4.5.9 Austauschbares Aluminium, Mangan, Eisen und H-Ion

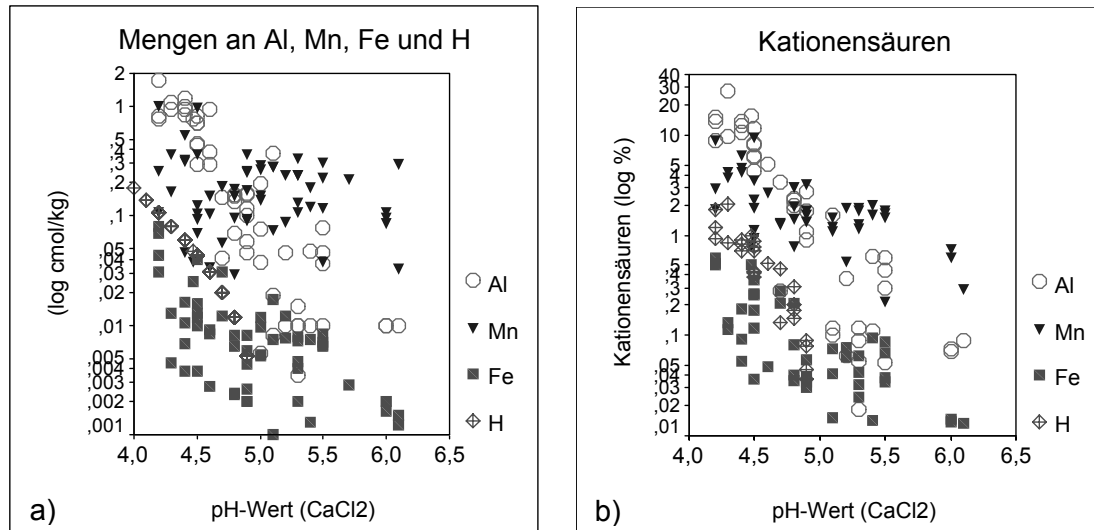


Abb. 19: a) Streudiagramm der Wertepaare pH (CaCl₂) und Mengen an Al-, Mn-, Fe- und H-Ionen (cmol/kg); b) Streudiagramm der Wertepaare pH (CaCl₂) und prozentueller Anteil der Kationensäuren Al, Mn, Fe und H an der Kationenaustauschkapazität (KAK).

Es wurde davon ausgegangen, dass in neutralen und schwach alkalischen Böden, also im pH-Bereich größer als 6,2, Fe, Mn, Al und H⁺ in nicht austauschbarer Form vorliegen (ENGLISH 1992) und somit praktisch vernachlässigbar sind. Im sauren Milieu jedoch steigt mit abnehmenden pH-Wert der Gehalt dieser vier Ionen an (Abb. 19a, b). Interessant ist die Tatsache, dass als erstes Mangan bei pH 5,5 die Einprozentgrenze überspringt, als zweites gelingt dies Aluminium im pH-Bereich zwischen 5,5 und 5,0, als drittes schaffen es bei pH 4,5 die H⁺-Ionen. Eisen übersteigt auch bei pH 4,3 nicht die Einprozentmarke (Abb. 19b). Mit abnehmendem pH-Wert steigen die Anteile von Aluminium auf 30 % und jene von Mangan bis auf 10 % an. Dies unterstreicht die bekannte Tatsache, dass im Bereich um pH 4,2 vor allem Al-Ionen freigesetzt werden (KILIAN 1992).

Aluminium liegt in der Bodenlösung bei pH < 5 vorwiegend als $(Al(OH)_2)_6^{3+}$ -Ion vor und reagiert dort sauer (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992). Der Anteil liegt bei pH > 5,5 um 0,1 Prozent, darunter steigt er steil an und erreicht bei pH 4,2 – durch zerfallende Tonminerale und Al-Hydroxide (KILIAN 1992) – einen Anteil von 30% der Kationenaustauschkapazität (Abb. 20b). Dieser Bereich wird auch als Aluminiumpufferbereich bezeichnet.

Mangan ist bei hohen pH-Werten nahezu unlöslich und somit nicht austauschbar (ENGLISH 1992). Es konnten hier Werte zwischen 0,030 und 1,019 cmol/kg gemessen werden, wobei die Mn-Gehalte zwischen pH 6,0 und pH 4,3 von 0,3 bis 10 % ansteigen (Abb. 19b).

Eisen gilt als Makrobestandteil des Mineralbodens und ist in Spuren für Mensch, Tier und Pflanze unentbehrlich (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992). Laut Österreichischer Waldboden-Zustandsinventur liegen dort die Fe-Gehalte zwischen 0 und 2,4 cmol/kg Feinboden. Die Amplitude der in den Stichproben gemessenen Werte reicht von 0,001 bis 0,080 cmol/kg, was verschwindend kleine Mengen sind. Der prozentuelle Fe-Gehalt

steigt im pH-Bereich zwischen 6,2 und 4,2 von 0,01 bis 0,5% stetig an (Abb. 19b). Die Bedeutung von austauschbarem Eisen ist demnach vernachlässigbar, zumal größere Mengen an austauschbarem Eisen erst im Eisenpufferbereich (pH<3,2) zu erwarten sind (ENGLISCH 1992).

4.5.10 S-Wert, V-Wert, Kationenaustauschkapazität (KAK)

Als S-Wert wird hier die Summe der basischen Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ verstanden. Der Einfluss und die Bedeutung von Natrium ist im schwach saurem bis schwach alkalischem Bereich vernachlässigbar (s. 4.5.8). Das rechnerische Verhältnis von S-Wert und Kationenaustauschkapazität (KAK), welche sich aus der Summe sämtlicher austauschbarer Kationen errechnet, wird als V-Wert oder Basensättigung (FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME 1996) bezeichnet. Es handelt sich also dabei um den prozentuellen Anteil der basischen Kationen an der KAK. In vorliegender Arbeit wurden Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ (das H^+ -Ion wurde rechnerisch ermittelt) für alle Bodenproben und Na-, Fe-, Mn- und Al-Ionen stichprobenweise bestimmt.

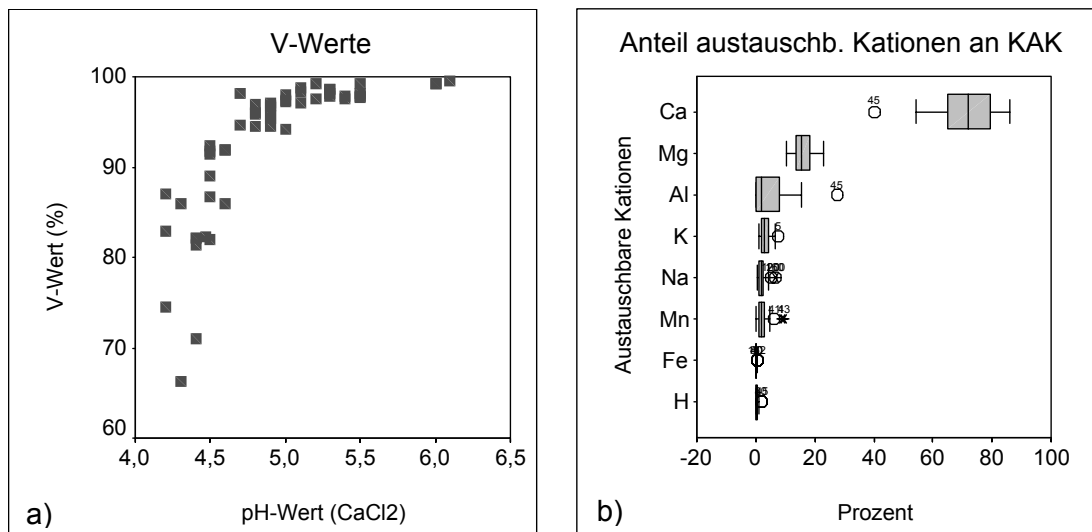


Abb. 20: a) Streudiagramm der Wertepaare pH (CaCl_2) und V-Wert; b) Boxplotdarstellung über den prozentuellen Anteil der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al, K^+ , Na^+ , Mn, Fe, und H^+ an der Kationenaustauschkapazität (KAK) gemeinsam für die Bodentypen Pararendzina, verbraunte Pararendzina und brauner Ranker.

Aus Abb. 20a ist ersichtlich, dass sich der V-Wert bei $\text{pH} > 5,1$ dem Wert 100 annähert. Dies bedeutet, dass bei $\text{pH} > 5,1$ der S-Wert – also die Summe der basischen Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ – der KAK gleichgestellt werden kann: Dies bedeutet, dass der Kationenaustauscher vollständig mit basischen Kationen belegt ist. Unter pH 5,1, im stark sauren Bereich jedoch kann der S-Wert der KAK nicht gleichgesetzt werden. Wie aus Abb. 19b hervorgeht, nimmt der Anteil der sauren Kationen (Al, Mn, Fe und H^+) mit abnehmendem pH stark zu.

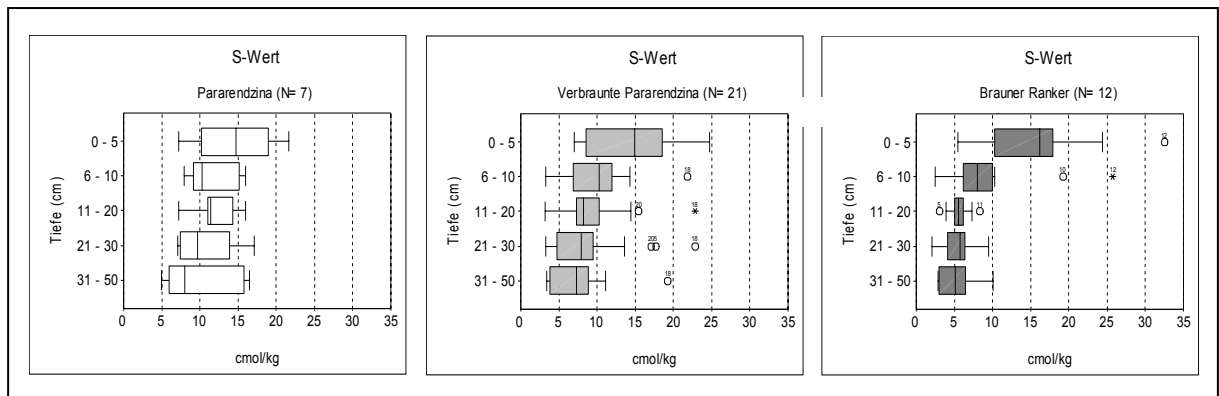


Abb. 21: Boxplotdarstellung der S-Werte (Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^{+}) bezogen auf die Profilhörizonte 0 – 5 cm, 6 – 10 cm, 11 – 20 cm, 21 – 30 cm, 31 – 50 cm für die Bodentypen Pararendzina, verbraunte Pararendzina und brauner Ranker.

Bei der Pararendzina wird davon ausgegangen, dass die gemessenen S-Werte als KAK zu interpretieren sind und dass dieser Bodentyp als voll basenversorgt zu betrachten ist (FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME 1996). Der niedrigste mittlere pH-Wert liegt im Oberboden bei rund 6,5 und die pH-Werte nehmen nach unten hin zu. Die verbraunte Pararendzina und der braune Ranker unterscheiden sich etwas in den pH-Werten des Unterbodens. So hat der braune Ranker im Unterboden einen V-Wert von rund 80% der KAK (Abb. 20a). Die verbraunte Pararendzina jedoch hat einen V-Wert zwischen 90 und 95% der KAK.

Zusammenfassend betrachtet, haben alle drei Bodentypen einen hohen Grad an Basensättigung. Bei einigen Profilen der verbraunten Pararendzina und des braunen Rankers, wo der pH-Wert deutlich unter 5,1 (Abb. 10) liegt, ist der Anteil der Säurekationen am Sorptionskomplex mit bis zu 50% bereits sehr hoch (Abb. 19b). Alle drei Bodentypen lassen sich zwar voneinander deutlich unterscheiden, sind aber im Vergleich mit anderen europäischen Waldböden in eine Gruppe oder Bodenreihe zu stellen. Für alle drei Bodentypen gemeinsam ergibt sich der aus Stichproben ermittelte prozentuelle Anteil der austauschbaren Kationen an der KAK laut Abb. 20b

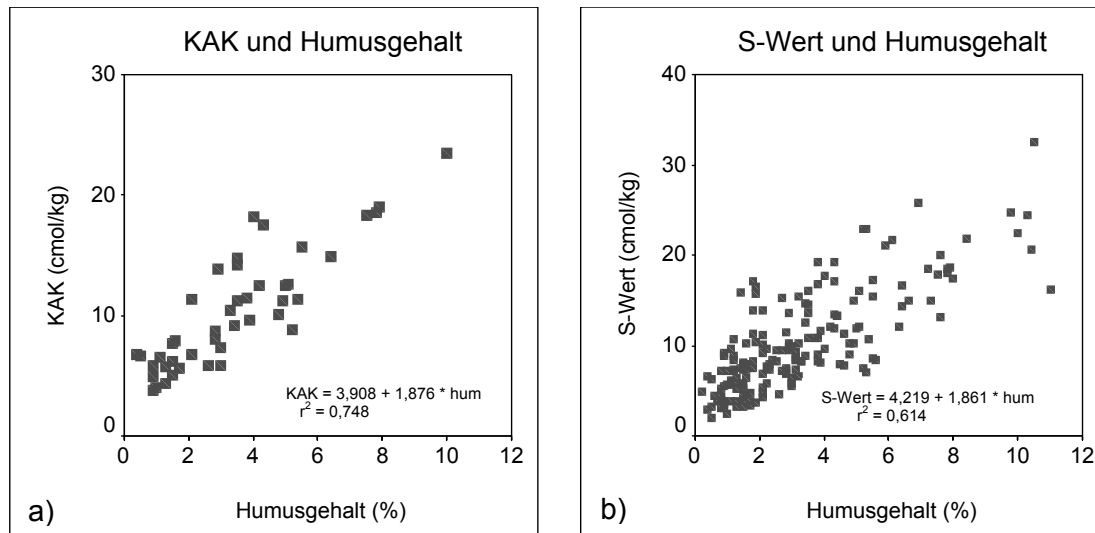


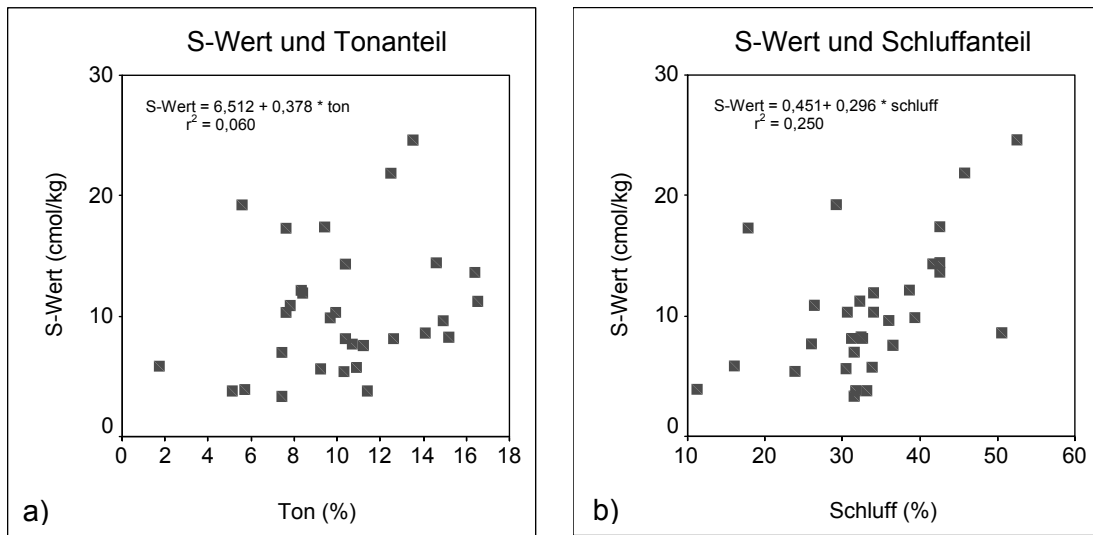
Abb. 22:

- a) Streudiagramm der Wertepaare Humusgehalt (%) und Kationenaustauschkapazität (KAK);
 b) Streudiagramm der Wertepaare Humusgehalt (%) und S-Wert ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$).

Die Kationenaustauschkapazität und der S-Wert korrelieren eindeutig positiv mit dem Humusgehalt, wobei Humus als Kolloid und Säureanion fungiert (Abb. 22). Die Abbildungen verdeutlichen die enge Beziehung zwischen KAK oder S-Wert und Humusgehalt. Es sei in Erinnerung gerufen, dass die KAK für nur 47 der insgesamt 200 Bodenproben bestimmt wurde. Durch den V-Wert wurde bereits die enge Beziehung von KAK und S-Wert beschrieben (Abb. 20a). In Abb. 22 wird gezeigt, dass für alle drei Bodentypen die KAK (S-Wert) ganz entscheidend vom Humusgehalt beeinflusst wird.

Der Anteil an Ton, als auch jener an Schluff – beide Korngrößenfraktionen wurden an 28 Proben ermittelt – bestimmen die anorganische Komponente der KAK (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992).

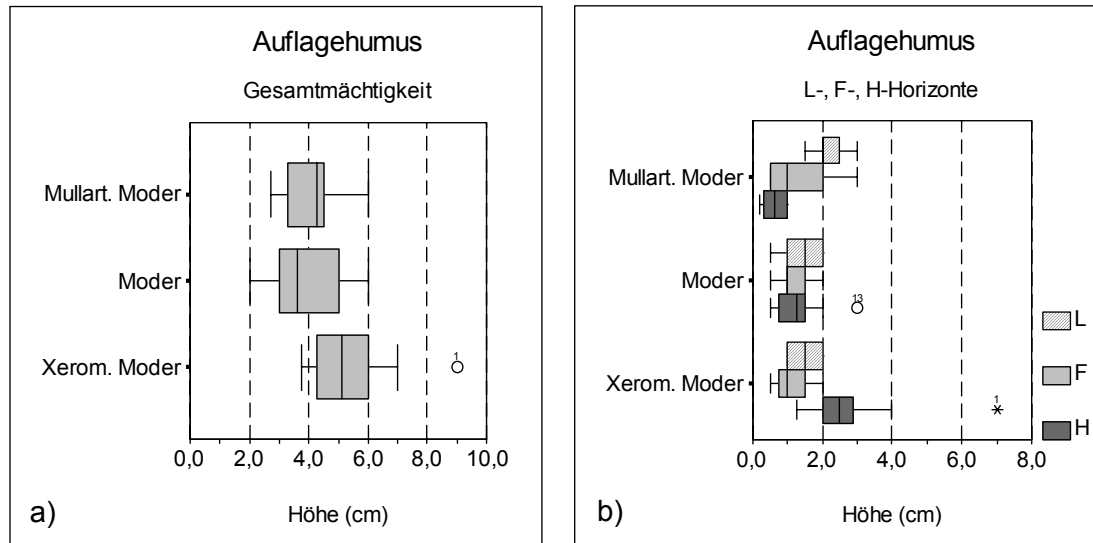
Aus Abb. 23 ist ersichtlich, dass die Beziehung zwischen Tonanteil und S-Wert gering und jene zwischen Schluffanteil und S-Wert etwas deutlicher ausfällt. Es zeigt sich, dass vor allem in leichten Böden (Abb. 5) die Bedeutung von Humus für die nachhaltige Nährstoffversorgung sehr wichtig ist. In schweren Böden hingegen liegt das Hauptgewicht des Kationenaustauschers bei den Tonmineralen (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992).

**Abb. 23:**

a) Streudiagramm der Wertepaare S-Wert ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$) und Tonanteil;
 b) Streudiagramm der Wertepaare S-Wert ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$) und Schluffanteil. Ton- bzw. Schluffanteil wurden mit der Sedimentationsmethode mit Glaszylinder und Pipette erhoben.

4.6 Physikalische und chemische Parameter im Auflagehumus

4.6.1 Morphologie

**Abb. 24:**

a) Gesamtmächtigkeit der Humusformen mullartiger Moder ($n = 10$), Moder ($n = 14$) und xeromorpher Moder ($n = 16$);
 b) Mächtigkeit der jeweiligen Auflagehorizonte

Aufgrund der morphologischen Bestimmung des Auflagehumus kommen im Wesentlichen die Typen mullartiger Moder, Moder und xeromorpher Moder vor. Das Adjektiv „xeromorph“ wurde deshalb dem Moder vorangestellt, weil die trockenen Standortbedingungen den Abbau der organischen Substanz hemmen (NESTROY et al. 2000).

In Abb. 24 sind die laut Geländeprotokoll festgestellten Humustypen aufgelistet, wobei aus Abb. 24a die jeweilige Gesamtmächtigkeit ersichtlich ist: der xeromorphe Moder ist etwas mächtiger als Moder bzw. mullartiger Moder. Auffallend sind laut Abb. 24b die beträchtlichen Unterschiede in der Mächtigkeit des H-Horizontes: der H-Horizont ist beim xeromorphen Moder wesentlich mächtiger als beim Moder oder beim mullartigen Moder. Beim mullartigen Moder nimmt die Horizontstärke von L nach H stetig ab, beim Moder bleibt sie konstant und beim xeromorphen Moder nimmt sie von L nach F geringfügig ab, von F nach H hingegen kräftig zu. Beim mullartigen Moder deutet die Morphologie und vor allem die geringe Mächtigkeit des H-Horizontes auf eine rasche Umsetzung der organischen Substanz hin, beim Moder laufen die Umsetzungsprozesse bereits etwas langsamer ab, beim xeromorphen Moder deutet die beachtliche Stärke des H-Horizontes auf eine gehemmte Umsetzungsrate hin.

4.6.2 Humusgehalte und Humusvorräte

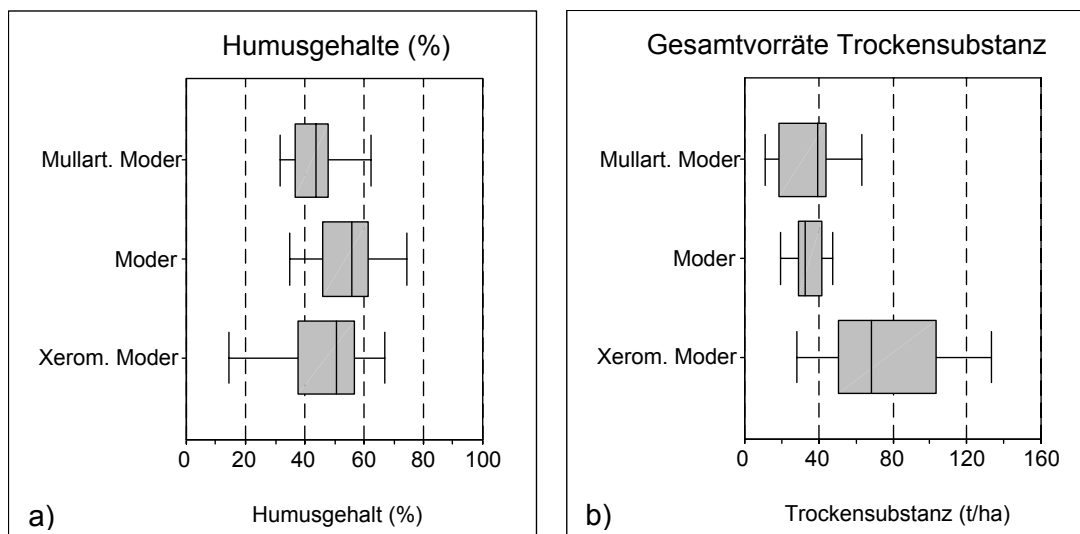


Abb. 25: Boxplotdarstellung der Humustypen der Auflagen mullartiger Moder ($n = 10$), Moder ($n = 14$), xeromorpher Moder ($n = 16$) bezogen auf a) Humusgehalte (%) und b) organische Trockensubstanz (t/ha).

Für die Umrechnung der Humusmengen in organische Trockensubstanz pro Hektar wurde der aus 15 Stichproben errechnete mittlere Trocknungsfaktor $0,933 \pm 0,015$ angewendet.

Die prozentuellen Humusgehalte der Auflagen der drei Humustypen unterscheiden sich wie zu erwarten war nur geringfügig (Abb. 25a): beim mullartigen Moder sind sie ten-

denziell geringer als beim Moder; beim xeromorphen Moder ist die Streuung der Werte im Verhältnis zu den anderen Humustypen größer. Anders ist die Situation bei den Gesamtvräten an organischer Trockensubstanz (Abb. 25b): Mullartiger Moder und Moder haben einen ähnlichen Streuungsbereich der Werte, wobei ersterer etwas höhere Mengen pro Hektar hat. Ganz anders sind die Verhältnisse beim xeromorphen Moder: durch die gehemmte Umsetzungsrate akkumuliert sich im Vergleich zu den beiden Humustypen die zwei- bis dreifache Menge an organischer Trockensubstanz.

4.6.3 Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte

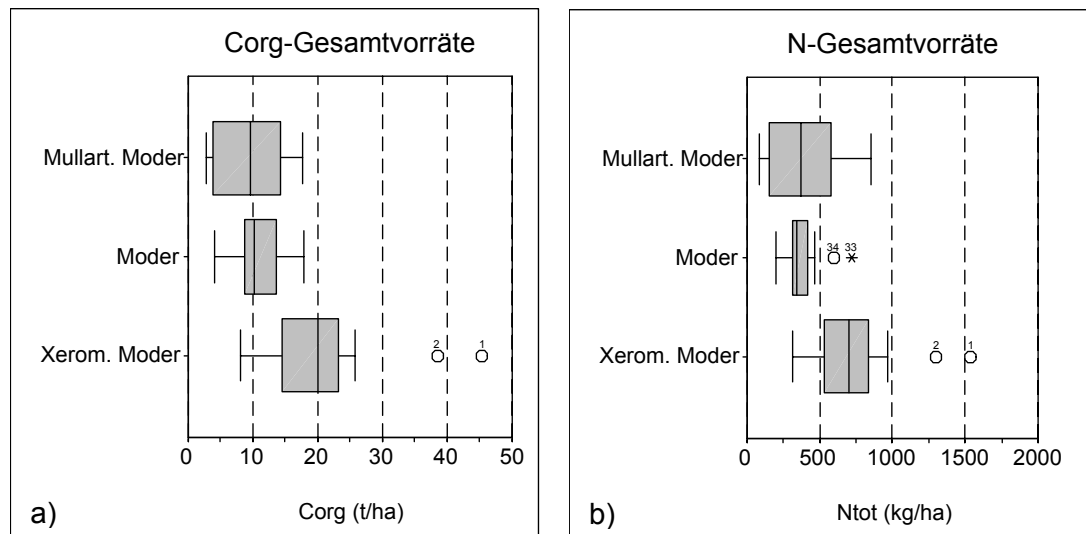


Abb. 26: Boxplotdarstellung der Humustypen mullartiger Moder ($n = 10$), Moder ($n = 14$), xeromorpher Moder ($n = 16$) bezogen auf a) die Gesamtvräte an organischem Kohlenstoff und b) die Gesamtstickstoffvorräte.

Die Gesamtvräte an C_{org} nehmen vom mullartigen Moder über Moder zum xeromorphen Moder stetig zu. Wie wir bereits gesehen haben, hängt dies nicht mit den spezifischen Humusgehalten der Auflagen der Humustypen zusammen als vielmehr mit deren Gesamtvräten an organischer Trockensubstanz. Auch hier wird wiederum deutlich, dass der xeromorphe Moder wesentlich mehr organischen Kohlenstoff speichert als die anderen beiden Humustypen.

Es zeigt sich, dass der Median der Gesamtstickstoffvorräte vom Moder geringfügig unter jenem vom mullartigen Moder liegt und jener vom xeromorphen Moder am höchsten ist.

4.6.4 C/N-Verhältnis und pH-Werte

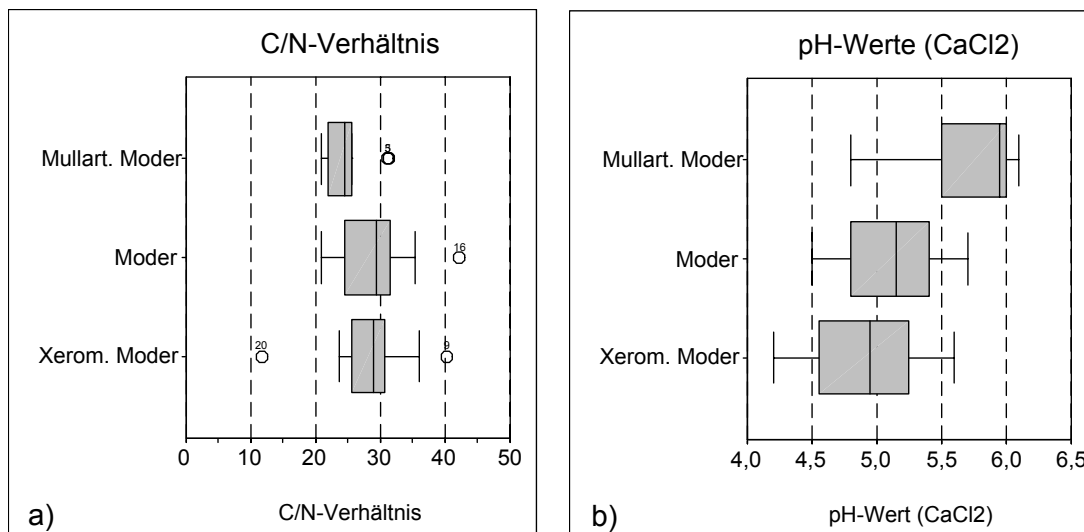


Abb. 27: Boxplotdarstellung der Humustypen mullartiger Moder (n = 10), Moder (n = 14), xeromorpher Moder (n = 16) bezogen auf a) die C/N-Verhältnisse und b) pH-Werte (CaCl₂).

Das C/N-Verhältnis dient grundsätzlich zur Klassifizierung der Humusformen, wonach Rohhumus ein weites C/N-Verhältnis von 30 – 40, Moder ein C/N-Verhältnis bei 20 – 30 und Mull ein C/N-Verhältnis von 10 – 20 aufweisen (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992). Die ermittelten C/N-Verhältnisse (Abb. 27a) von mullartigem Moder liegen zwischen 20 und 25, jene vom Moder bzw. xeromorphen Moder zwischen 20 und 35. Es war zu erwarten, dass das C/N-Verhältnis von mullartigem Moder niedriger ausfällt als die C/N-Verhältnisse der beiden anderen Humustypen.

Die pH-Werte (Abb. 27b) der Auflagen der drei Humustypen unterscheiden sich deutlich: mullartiger Moder ist demnach schwach sauer, Moder ist sauer und xeromorpher Moder ist stark sauer. Der pH-Wert der Auflage hängt entscheidend von der anfallenden Streu ab: xeromorpher Moder kommt vorwiegend unter Rot- und Schwarzkiefern vor, Moder entwickelt sich hauptsächlich unter Lärchen und Flaumeichen, mullartiger Moder hingegen kommt fast ausschließlich unter Flaumeichen vor (Tab. 1)

	Rot- und Schwarzkiefern	Flaumeichen	Lärchen	Total
Mullartiger Moder	1	9	-	10
Moder	3	5	6	14
Xeromorpher Moder	14	1	1	16
Total	18	15	7	40

Tab. 1: Kontingenztafel über die Verteilung der Humusformen auf die Bestandestypen nach dominanten Baumarten

4.6.5 Humustypen und Bewuchs

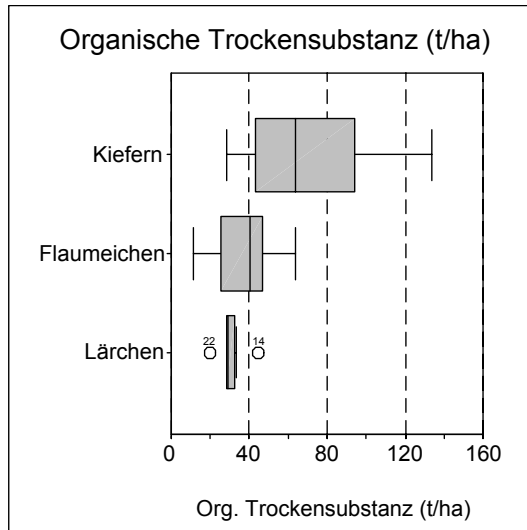


Abb. 28: Boxplotdarstellung von organischer Trockensubstanz und Bestandestyp

In Abb. 28 wird die Beziehung zwischen Baumbewuchs und Menge an organischer Trockensubstanz gezeigt. Es ist evident, dass sich unter Rot- oder Schwarzkiefern große Mengen an organischer Trockensubstanz ansammeln. Unter Flaumeichenbewuchs akkumuliert sich bereits bedeutend weniger organische Substanz, am wenigsten aber häuft sich im Lärchenbestand an. Die völlig unterschiedliche Qualität der anfallenden Streu beeinflusst maßgeblich die Entwicklung und Morphologie der Humustypen. Kiefernstreu ist auf den trockenen Standorten sehr schwer zersetzbar; Flaumeichen- und Lärchenstreu zersetzen sich bereits etwas leichter, zumal die Lärchenbestände eher auf frischeren Standorte wachsen.

5. Diskussion

5.1 Bodentypen

5.1.1 Pararendzina [$A_h-C(C_v)$]

Als Pararendzina (KUBIÉNA 1950; NESTROY et al. 2000) wird im Untersuchungsgebiet jener sehr trockene Bodentyp bezeichnet, der ein A-C-Profil hat und auf karbonathaltigem Silikatgestein oder Moränenmaterial vorkommt. Als Synonyme gelten im FAO-System der Calcaric Regosol oder der Phaeozem; im US-System gehört die Pararendzina zu den Typic oder Lithic Udorthents (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992) und nach WRB (World Reference Base for soil resources, 1998) als Leptic Umbrisol. FLORINETH (1974) beschreibt die Pararendzina der Vinschgauer Trockenrasenstandorte als einen Bodentyp, der durch einen ersten und zweiten Humushorizont und einen carbonatführenden Migrations-

schutthorizont gekennzeichnet ist. Weiters wird auf die hohen Ca^{2+} -, Mg^{2+} -, die ausreichenden K^+ - sowie die geringen N-Vorräte hingewiesen.

Im Untersuchungsgebiet handelt es sich um schwach saure bis schwach alkalische Böden, wobei der pH mit zunehmender Tiefe ansteigt. Im Oberboden kommt es unter Nadelbäumen zur Entkalkung, während der Unterboden reichlich Carbonat beinhaltet, welches aus dem Muttergestein oder den Moränendecken stammt. In allen Profilen überwiegt laut Geländebefund das Einzelkorngefüge, wobei ein mittlerer Skelettanteil von 0 – 40 Vol.-% zu verzeichnen ist. Die Gründigkeit dieses Bodentyps wurde meistens als mittel, selten auch als tief angesprochen, was auf die physikalische Eigenschaft des Ausgangsmaterials (leicht verwitterbare Glimmerschiefer, Phyllite und Moränen) verweist. Als Bodenart wurde zumeist ein schwach lehmiger Sand vorgefunden, der im trockenen Herbst 1995 zwischen 3 und 8% Wassergehalt hatte. Laut FLORINETH (1974), der an Pararendzina-Profilen Bodensaugspannungsmessungen durchführte, liegt bei einem Wassergehalt von 5% eine Saugspannung von 4 MPa vor, die es von den Pflanzen zu überwinden gilt. Einige Baumarten sind beispielsweise in der Lage, bis zu einer Saugspannung von 4 MPa Wasser aus dem Boden aufzunehmen (LARCHER 1994).

Charakteristisch ist der mit wenigen Zentimetern geringmächtige, humusarme Ah-Horizont, der meistens grau und selten schwarz gefärbt ist. Ein Humusanteil zwischen 2 und 6% bestätigt dies (Abb. 11). Was den S-Wert – dieser entspricht bei der Pararendzina der KAK (Abb. 20a) – des Ah-Horizontes betrifft, ist dieser höher als die S-Werte der darunter liegenden Tiefenstufen (Abb. 20), die lediglich 1 bis 2% Humus haben (Abb. 11).

Der C-Horizont hat manchmal leichte Verwitterungserscheinungen, so dass er mit C_v beschrieben wurde. Ansonsten zeichnet er sich durch eine hell- bis gelbbraune Farbe aus, die sich kaum vom Ausgangsmaterial abhebt.

Der gesamte Vorrat an organischem Kohlenstoff ist mit 15 bis 65 t/ha und 50 cm Bodentiefe nicht besonders hoch, der Vorrat an Gesamtstickstoff muss als sehr gering bis gering bezeichnet werden (Abb. 12). All dies deutet auf einen unreifen Zustand dieses Bodentyps hin.

Die KAK, welche bei $\text{pH} > 5,1$ dem S-Wert entspricht (Abb. 20a), ist laut KILIAN (1992) als ausreichend einzustufen: Im Oberboden (0 – 20 cm) beträgt sie zwischen 7 und 22 cmol/kg, im Unterboden liegt sie zwischen 5 und 17 cmol/kg (Abb. 21). An der KAK beteiligt sind hauptsächlich die Kationen Kalzium, Magnesium und Kalium (Abb. 18). Natrium (Abb. 18), Eisen, Mangan und Aluminium (Abb. 19b) sind im pH-Bereich $> 5,2$ vernachlässigbar, daher ist hier die KAK gleichbedeutend dem S-Wert. Tendenziell nimmt der Gehalt an austauschbaren Kationen mit zunehmender Profiltiefe ab, was mit dem abnehmenden Humusgehalt erklärbar ist. Der Gehalt an austauschbarem Kalzium an der gesamten KAK liegt zwischen 60 und 90%; austauschbares Magnesium beteiligt sich mit 5 bis 20%, austauschbares Kalium mit 1 bis 5% an der gesamten KAK (Abb. 14b). Kalzium und Kalium verhalten sich auffallend antagonistisch.

Die trockene Pararendzina ist ein leichter, humus- und stickstoffarmer A-C-Boden. Bedingt durch das carbonathaltige Ausgangssubstrat ist sie neutral bis schwach alkalisch und vollständig basenversorgt, wobei Kalzium und Magnesium den größten Anteil an der Kationenaustauschkapazität stellen.

5.1.2 Verbraunte Pararendzina [$\text{A}_h\text{-C}_v(\text{B}_v)\text{-C}$]

Die verbraunte Pararendzina (KUBIÉNA 1950; NESTROY et al. 2000) im Gebiet unterscheidet sich von der Pararendzina im Wesentlichen dadurch, dass die Profilproben carbonatfrei sind und dass eine leichte Verbraunung des C-Horizontes zu beobachten ist. Im WRB-System (1998) würde es sich am ehestens um einen Cambic Leptosol handeln. Auffal-

lend sind der schwach ausgebildete Ah-Horizont und die hellbraun bis braune Färbung des C_v(B_v)- oder C-Horizontes. Im Oberboden betrug die Bodenfeuchte im Herbst 1995 zwischen 3 und 12%, im Unterboden zwischen 2 und 10%. Die verbraunte Pararendzina wird als mittelgründig eingestuft und der Skelettanteil liegt im Oberboden zwischen 0 und 35%, im Unterboden zwischen 5 und 70% (Abb. 4). Die pH-Werte (CaCl₂) liegen mit 4,3 – 6,0 im stark sauren bis mäßig sauren Bereich (Abb. 10).

Der Ah-Horizont hat bereits einen deutlich höheren Humusgehalt als jener der Pararendzina (Abb. 11). Im Profil ist der Ah-Horizont bereits deutlich an seiner grauen Farbe erkennbar und er erreicht eine Tiefe von 5 cm. Die Umsetzungsprozesse scheinen nicht ganz so gehemmt zu verlaufen wie bei der Pararendzina. Was die Verteilung und den Gehalt an Kationen im Profil betrifft, so unterscheiden sich verbraunte Pararendzina und Pararendzina nur unwesentlich. Auch hier kann der S-Wert als ausreichend eingestuft werden: Kalzium beteiligt sich daran mit 40 bis 80%, Magnesium mit 10 bis 40% und Kalium mit 1 bis 12% (Abb. 14b). Allerdings spielen die Kationensäuren Al, Mn und Fe in diesem Bodentyp bereits eine wichtige Rolle. Die V-Werte im pH-Bereich von 4,8 – 5,3 liegen etwa zwischen 50 und 94.

Laut FRANZ (1960) kommt die verbraunte Pararendzina auf basenarmen Silikatgesteinen vor, was hier nicht der Fall ist. MÜCKENHAUSEN (1993) beschreibt eine basenreiche Braunerde mit einem V-Wert > 75, welche durch die Fortentwicklung der Pararendzina-Braunerde entsteht und im Solum keinen Kalk mehr enthält. Eine analoge Entwicklung ist für die verbraunte Pararendzina im Untersuchungsgebiet anzunehmen: ausgehend von der Pararendzina hat reliefbedingt bessere Wasserversorgung mit Bicarbonatbildung oder laubholzreicher Bewuchs zu Entkalkung und beginnender Verbraunung geführt. Ebenso könnte aber an einigen Stellen das Ausgangssubstrat carbonatarm gewesen sein. Der niedrigere pH-Wert (CaCl₂), der etwas höhere Humusgehalt und die einsetzende Verbraunung lassen diese Vermutung zu. Auch wenn im Profil kein Carbonat nachweisbar war, so konnte an Wegböschungen, die einem zwei Meter tiefen Profil entsprachen, mit 10%iger HCl Carbonat im Ausgangsmaterial (Moränenmaterial) nachgewiesen werden. Dieser Bodentyp entspricht in etwa der Beschreibung von KUBIĚNA (1950): Es handelt sich in der Regel um ein flachgründiges A(B)C-Profil, welches humusarm und als Farbe „ein mattes helles Wüstenbraun“ hat. Weiters wird darauf hingewiesen, dass die Braunerdemerkmale erst in den Dünnschliffpräparaten erkennbar sind. Auch die von KUBIĚNA (1950) beschriebene Phänologie des Standortes stimmt weitgehend mit den Verhältnissen am Vinschgauer Sonnenberg überein: „Der Boden ist den größten Teil des Jahres über trocken und erleidet nur durch die vereinzelt Regenfälle eine vorübergehende Durchfeuchtung. Die Austrocknung geht rasch vor sich. Gelegentliche winterliche Schneedecken haben eine geringe Tiefe und sind stets von kurzer Dauer“.

Zusammenfassend müsste dieser sehr trockene Bodentyp als mittelgründige, basenreiche verbraunte Pararendzina beschrieben werden oder nach deutscher, bodenkundlicher Systematik (AG BODENKUNDE 1982) als Übergangstyp Braunerde-Pararendzina. Sie ist im Oberboden etwas skelettärmer und im Unterboden skelettreicher als die Pararendzina.

5.1.3 Brauner Ranker [A_h-(B_v)-C]

Zum Unterschied zur verbraunten Pararendzina kommt der braune Ranker (NESTROY et al. 2000) auf kompakten Augen- und Flasergerneisen vor, welche verwitterungsbeständiger sind als die Gruppe der Phyllite oder das Moränenmaterial. Während einige Gesteinsvarietäten der Phyllite beträchtliche Anteile an Carbonaten führen, sind die Orthogneise carbonatfrei. Allerdings kommt dieser äußerst trockene Boden auch auf

Substrat vor, wo sich das Muttergestein mit Moränenresten und Hangschutt vermischt hat. So ist der Oberboden mit einem pH von 4,2 bis maximal 7,0 nicht ganz so sauer wie der Unterboden, wo der pH-Wert zwischen 4,2 und 6,2 liegt (Abb. 10).

Der Humusanteil des Oberbodens ist mit maximal 3 bis 11% des Feinbodens beträchtlich, allerdings verringert sich der Gesamtvorrat an organischem Kohlenstoff mit zunehmender Bodentiefe durch den hohen Skelettgehalt (z.B. 10 bis 30 t/ha bei 50 cm Bodentiefe, Abb. 12a). Dasselbe gilt für den Gesamtvorrat an Stickstoff, welcher zwischen 0,5 und 2,5 t/ha liegt (Abb.10b).

Im Oberboden finden sich weiters relativ hohe Gehalte an Kalzium (7,5 – 12,5 cmol/kg) und Magnesium (1,8 – 2,5 cmol/kg), was auf eine Durchmischung mit Fremdsubstrat schließen lässt. Im Unterboden sind die Ca-Gehalte relativ klein, die Mg-Gehalte liegen im Bereich der skelettarmen verbrauchten Pararendzina. Die Verfügbarkeit an austauschbarem Kalium ist ausreichend, wobei die Werte im Oberboden mit 0,25 – 0,5 cmol/kg höher sind als bei der Pararendzina (Abb. 17). Auch Natrium muss hier beachtet werden, da es im sauren pH-Bereich mit bis zu 5% an der KAK beteiligt ist (Abb. 18).

Auf Grund der zum Teil niedrigen pH-Werte nimmt die Bedeutung der Al-, Fe-, Mn- und H-Ionen an der KAK zu. Im pH-Bereich zwischen 4,0 und 4,5 betragen die V-Werte 50 bis 80. Dies bedeutet, dass Al, Fe, Mn und H⁺ mit mehr als 20% an der KAK beteiligt sind: Aluminium liegt mit 10 – 30% vor Mangan mit 1 – 10% und dem H-Ion mit maximal 2%. Eisen ist mit maximal 0,5% vernachlässigbar (Abb. 19b).

Aufgrund der hohen Basensättigung ist dieser äußerst trockene Bodentyp wohl mit dem Begriff „basenreicher, brauner Ranker“ oder im WRB-System (1998) ebenfalls als Cambic Leptosol treffender zu beschreiben.

5.1.4 Braunerde [A_h-B_v-C]

Dieser Bodentyp ist im Untersuchungsgebiet eher selten und wurde im Zuge der bodenkundlichen Arbeit an den ersten 40 Probepunkten nur ein einziges Mal beschrieben und beprobt. Aus diesem Grund fand die Braunerde nicht Eingang in die Clusteranalyse und auch nicht in die Darstellung mit Boxplots.

Auf frischen Standorten vor allem in NE-exponierten Hängen und in Gräben konnten sich typische, mittel- bis tiefgründige Braunerden mit einem ausgeprägten humosen Ah-Horizont und einem deutlich braunen B_v-Horizont entwickeln. Allerdings handelt es sich gewissermaßen um Ausnahmestandorte, die im Untersuchungsgebiet flächenmäßig fast keine Bedeutung haben. Deshalb liegen auch keine Analysedaten zu einer detaillierteren Beschreibung vor. Die im Gelände aufgenommenen Merkmale lassen aber eine genaue Einordnung zu.

Das Gefüge ist hier im Gegensatz zur verbrauchten Pararendzina krümelig, die Bodenart wurde als sandiger Lehm angesprochen und der Skelettgehalt liegt zwischen 20 und 50 Vol.-%. Die Wasserversorgung auf diesen frisch bis feuchten Standorten ist gut. Als häufigste Humusform findet sich Moder, der bei laubholzreichem Bewuchs auch Tendenzen zum Mull hat. Nach dem WRB-System (1998) handelt es sich am ehesten um einen Leptic Cambisol.

5.2 Humustypen

Je nach Baumbewuchs und Wasserhaushalt des Standortes entwickeln sich unterschiedliche Humusformen. An frischeren Standorten, die im Untersuchungsgebiet selten auf-

treten, kommen eher Humustypen mit größerer biologische Aktivität vor. Auf den trockenen Standorten ist die Humusform abhängig von der Bestockung: Unter Flaumeichen finden sich Übergänge von Moder zu Mull, unter Lärchenbeständen dominiert eindeutig Moder und unter Rot- bzw. Schwarzföhren bildet sich xeromorpher Moder aus. Diese drei Humusformen stehen in keiner Beziehung zum Bodentyp sondern sind fast ausschließlich von der Vegetation direkt oder indirekt beeinflusst.

5.2.1 Xeromorpher Moder

Auf den sonnexponierten Hängen des Untersuchungsgebietes bildet sich unter Rot- und Schwarzkiefernbeständen ein zum Teil mächtiger xeromorpher Moder aus, dessen Umsetzungsdynamik auf Grund des ungenügenden Wasserangebotes gehemmt ist. Wie aus Abb. 26a und 26b ersichtlich ist, werden große Mengen an organischem Kohlenstoff und an Gesamtstickstoff in der Auflage, vor allem aber im H-Horizont fixiert (Abb. 24). Die große Trockenheit der Standorte verhindert den biologischen Abbau der harzreichen Nadelstreu und führt zu Akkumulation der organischen Substanz. Somit werden im xeromorphen Moder mehr als zwei bis drei Mal so viel organischer Kohlenstoff und deutlich mehr Gesamtstickstoff gespeichert als im mullartigen Moder. Bezeichnend ist auch der niedere pH-Wert im stark sauren Bereich, was wiederum mit der schwer zersetzbaren Kiefernstreu zusammenhängt (Abb. 27b).

5.2.2 Moder

Diese Humusform findet sich hauptsächlich unter Lärchen- aber auch Flaumeichenbeständen, welche ökologisch als nicht so extrem einzustufen sind wie die Kiefernwälder. Lärchen gedeihen eher auf Hangverflachungen und in höheren Lagen, wo der Wasserhaushalt des Standortes nicht ganz so angespannt ist. Zu der hier offensichtlich verhältnismäßig gut abbaubaren Lärchenstreu kommt noch der organische Abfall der üppigen Bodenvegetation, die hauptsächlich aus Gräsern besteht. Daraus entsteht ein typischer Moder oder Graswurzelfilz-Moder (FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME 1996). Die Umsetzung der organischen Substanz wird durch leichter abbaubare Streu und durch die etwas bessere Wasserversorgung begünstigt.

5.2.3 Mullartiger Moder

Diese Übergangsform zwischen Mull und Moder kommt in Flaumeichen-, Flaumeichen-Blumeneschen- und Flaumeichen-Lärchenbeständen vor. Typisch ist die von L über F nach H abnehmende Horizontstärke. Der geringmächtige H-Horizont verweist auf die Umsetzungsrate der Laubstreu, welche sich trotz Trockenheit noch relativ gut zersetzt.

5.2.4 Schlussbetrachtung und Ausblick

Am Vinschgauer Sonnenberg kommen auf basischem Ausgangsmaterialien wie Moränen oder carbonathaltigen Phylliten die Bodentypen Pararendzina, verbrauchte Pararendzina und brauner Ranker vor. Alle drei Bodentypen lassen sich analytisch und im Gelände gut voneinander unterscheiden, werden aber genetisch in eine Bodencatena gestellt. Sie sind allesamt aufgrund des Ausgangsgesteins basengesättigt, wobei die Pararendzina eine neutrale bis basische Bodenreaktion aufweist. Die beiden anderen Böden haben pH-Werte im sauren Bereich.

So wie die Böden im Wesentlichen vom Ausgangsgestein abhängig sind, so sind die jeweiligen Humusarten abhängig vom Bewuchs. Unter Schwarz- und Rotföhren wird ein xeromorpher Moder vorgefunden, der sich wegen der allgemein trockenen Standortsbe-

dingungen und wegen der schwer abbaubaren Föhrennadeln bildet. Moderhumus wird in Lärchenbeständen, mullartiger Moder wird unter Flaumeichen angetroffen. Die Kenntnis um die Böden in den trockenen Wäldern am Vinschgauer Sonnenberg stellt einen wichtigen Mosaikstein im Rahmen des Gesamtprojektes „Umwandlung der Vinschgauer Schwarzföhrenforste in naturnahe Bestände“ dar. Die Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen zur Vegetation naturnaher Waldtypen am Sonnenberg (STAFFLER & KARRER 2001) sowie jene aus parallelen Untersuchungen zu vegetationskundlich-standortsökologischen Aspekten der Schwarzföhrenforste (STAFFLER et al. in Vorb.) führen zu einer abschließenden Synthese: Standorts- und vor allem Bodenmerkmale der naturnahen Waldtypen werden mit jenen der Schwarzföhrenforste verglichen, woraus abzuleiten ist, ob und wo sich Flaumeichen-, Rotföhren oder Lärchenbestände auf den heutigen Standorten mit Schwarzföhren entwickeln können.

Zusammenfassung

Die trockenen Waldböden des Vinschgauer Sonnenberges wurden mit feldbodenkundlichen, physikalischen und chemischen Methoden untersucht. Es konnten drei Leitbodentypen bestimmt werden, wobei sich die Pararendzina deutlich vom braunen Ranker und von der verbrauchten Pararendzina unterscheiden lässt. Die trockene Pararendzina zeichnet sich durch pH-Werte im schwach sauren bis schwach alkalischen Bereich aus, wobei die pH-Werte mit zunehmender Tiefe ansteigen. Als eine Fortentwicklung der Pararendzina muss die verbrauchte Pararendzina angesehen werden. Niedrigere pH-Werte im Oberboden, höhere Humus- und Stickstoffgehalte sowie eine leichte Verbraunung lassen diesen Schluss zu. Der als brauner Ranker bezeichnete Bodentyp, ist im Profil noch etwas saurer und trockener als die verbrauchte Pararendzina und hat vor allem einen wesentlich höheren Skelettgehalt. Die Humusformen sind im Wesentlichen abhängig vom Bewuchs und von der Wasserversorgung des Standortes: Unter Rot- und Schwarzföhren wird xeromorpher Moder, unter Lärchen Moder und unter Flaumeichen- bzw. Flaumeichenmischbeständen mullartiger Moder vorgefunden.

Dank

Unser Dank gilt Herrn Dr. Andreas Feichter vom Forstinspektorat Schlanders für die Unterstützung bei der Geländearbeit, dem ehemaligen Leiter des Bodenlabors an der Laimburg Herrn Meinhard Aichner und dessen Mitarbeitern für die umfassende Hilfestellung bei der Analyse der Bodenproben und Herrn Dr. Franz Mutsch von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien für Ratschläge bei der Bestimmung der Kationenaustauschkapazität

6. Literatur

- AG BODENKUNDE (1982): *Bodenkundliche Kartierungsanleitung*. 3. Aufl. Hannover. 331 S.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., WEIBER, R. (1996): *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*. 8. verb. Aufl. Springer – Verlag. Berlin, Heidelberg, New York. 591 S.
- BLUM, W.E.H., DANNEBERG, O.H., GLATZEL, G., GRALL, G., KILIAN, W., MUTSCH, F. & STÖHR, D. (1986): *Waldbodenuntersuchung*. Österr. Bodenkundl. Ges.. Wien. 59 S.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1961): *Die inneralpine Trockenvegetation : von der Provence bis zur Steiermark*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 273 S.

- DAL RI & TECCHIATI (1995): Zur Vor- und Frühgeschichte des mittleren und unteren Vinschgaus. In: Archäologie und Kunstgeschichte in Kastelbell-Tschars und Umgebung. Herausgegeben von der Raiffeisenkasse Tschars in Zusammenarbeit mit dem Landesdenkmalamt Bozen. 167 S.
- DEUTSCH, F. (1955): Die Aufforstung der Vinschgauer Leiten. Unveröff. Manuskript. 17 S.
- DEUTSCH, F. (1959): Aufforstung auf wasserarmen Gebirgsstandorten im Vinschgau. Allgemeine Forstzeitschrift. Sondernummer Forstkulturen und Wasserhaushalt. Gesamtschriftleitung: Prof. Dr. Rohmeder. 14. Jahrgang. Nr. 10. 206–209. München.
- ENGLISCH, M. (1992): Atmogene Hauptnährstoffe. - In: Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. - Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien.. Heft 168. Band I. 45–57. Wien.
- FAO, ISRIC AND ISS (1998): World Reference Base for Soil Resources (WRB). FAO, No. 84. Rome, 91 pp.
- FISCHER, K. (1974): Agrargeographie des westlichen Südtirols. Der Vinschgau und seine Nebentäler. Wilhelm Baumüller Verlag, Wien – Stuttgart. 365 S.
- FLIRI, F. (1975): Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. Monographien zur Landeskunde Tirols. Folge I. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck-München. 454 S.
- FLORA, H. (1879): Wiederaufforstung im Vinschgau. In: Mitteilungen des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins. Redigiert von Th. Trautwein. Band V. 69-71. Verlag des Vereins. München.
- FLORINETH, F. (1974): Vegetation und Boden im Steppengebiet des oberen Vinschgaues (Südtirol: Italien). Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck, 61. 43–70. Innsbruck.
- FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME (1996): Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen / bearb. u. zsgest. vom „Arbeitskreis Standortkartierung“ in der „Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung“. 5. Auflage. Eching bei München. 352 S.
- FRANZ, H. (1960): Feldbodenkunde. Als Grundlage der Standortsbeurteilung und Bodenwirtschaft; mit besonderer Berücksichtigung der Arbeit im Gelände. Verlag Georg Fromme & Co. Wien und München. 583 S.
- GAMPER & STEINER (1999): Das Ganglegg bei Schluderns. Eine befestigte bronze- und eisenzeitliche Siedlung im oberen Vinschgau. Athesia – Werkstatt. Bozen. 93 S.
- GLEIRSCHER, P. (1991): Zum frühesten Siedlungsbild im oberen und mittleren Vinschgau mit Einschluß des Münstertales. In: Der Vinschgau und seine Nachbarräume. Landeskundliches Symposium Schloß Goldrain 1991. 35–50. Athesia. Bozen.
- HAMMER, W. (1912): Erläuterungen zur Geologischen Karte. SW-Gruppe Nr.66, Glurns und Ortler. Verlag der k.k. Geologischen Reichsanstalt. Wien. 72 S.
- HAMMER, W. (1922): Geologischer Führer durch die Westtiroler Zentralalpen. Berlin. 148 S.
- HAMMER, W. und JOHN, C.V. (1909): Augengneise und verwandte Gesteine aus dem oberen Vinschgau. Jb. d. k.k. Geol. RA, 59, 691-773. Wien.
- HELLRIGL, K. (1995): Der Kiefernprozessionsspinner (*Thaumetopoea pityocampa* DEN. & SCHIFF.) in Südtirol. Eine Befallsanalyse der letzten 50 Jahre. Landesabteilung Forstwirtschaft der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol. Schriftenreihe für wissenschaftliche Studien, Nr. 1. 73 S.
- HÖLLERMANN, P. (1963): Beispiele für anthropogen verstärkte Hangabtragungs- und formungsvorgänge in inneralpinen Tälern. Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. Vandenhoeck & Ruprecht. 251-273. Göttingen.
- KATZENSTEINER, K. (1992): Mineralstoffernährung, Boden Zustand und Baumvitalität in Fichtenwaldökosystemen des Böhmerwaldes. Dissertation an der Universität für Bodenkultur, Wien. FIW-Forschungsberichte 1992/1, Österreichische Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumforschung. Wien. 195 S.
- KILIAN, W. (1992): Säurehaushalt – Austauschbare Kationen. - In: Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. - Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien. 168. Band I, 89–144. Wien.
- KÖLLEMANN, C.(1981): Die Trockenvegetation im Vinschgau. Jb.Ver.Schutz Bergwelt, München, 46: 1-21.
- KUBIĚNA, W. L. (1950): Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas : Illustriertes Hilfsbuch zur leichten Diagnose u. Einordnung der wichtigsten europäischen Bodenbildungen unter Berücksichtigung ihrer gebräuchlichsten Synonyme / von W. L. KubiĚna. [Hrsg. in Verb. m. d. C.S.I.C. in Madrid]. 392 S. Enke Verlag, Stuttgart.

- LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen: Leben, Leistung und Streßbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. 5., völlig Neubearb. Aufl. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 394 S.
- LOOSE, R. (1976): Siedlungsgenese des oberen Vinschgaus. Forschungen zur deutschen Landeskunde. Band 208. Trier. 247 S.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1993): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. 4., erg. Aufl. DLG-Verlag, Frankfurt (Main). 577 S.
- MUTSCH, F. : Modifikation der Methode zur Bestimmung der Kationenaustauschkapazität (ÖNORM L 1086). Unveröffentlicht. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien.
- NESTROY, O. et al (2000): Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000). Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges., 60, 1-124.
- OTTO, A. (1974): Klimatologisch-ökologische Untersuchungen im Vinschgau. Dissertation Univ. Innsbruck. 391 S.
- PENCK, A.; BRÜCKNER, E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. 3. Band. Die Eiszeiten in den Südalpen und im Bereich der Ostabdachung der Alpen. Chr. Herm. Tauchnitz. Leipzig. 1199 S.
- POTRO, N. M. (1982): Petrographie, Metamorphose, Tektonik und Metallogenese im mittleren Vinschgau / Südtirol (N-Italien). Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. 304 S.
- SCHAEFFER/SCHACHTSCHABEL (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. 13. durchgesehene Aufl. / von P. Schachtschabel. Enke Verlag. Stuttgart. 491 S.
- SCHENK, I. (1951): Die Klimainsel Vinschgau. Trient. 81 S.
- SPSS 7.5 (1997): SPSS Base 7.5 für Windows Benutzerhandbuch. 450 S.
- STACUL, P. (1967): Zur Geologie des Vinschgaus. In: Der obere Weg. Jahrbuch des Südtiroler Kulturinstitutes. 58–75. Bozen.
- STAFFLER, H.; KARRER, G. (2001): Wärmeliebende Wälder im Vinschgau (Südtirol/Italien). Sauteria Bd. 11. Biotopkartierung in Bergregionen & Beiträge der ostalpin-dinarischen Gesellschaft für Vegetationskunde in Pontresina. 301-358. Dorfbeuern; Salzburg; Brüssel. Just-Verlag.
- STRIMMER, A. (1974): Die Steppenvegetation des mittleren Vinschgaues (Südtirol: Italien). Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck. 61. 7–42. Innsbruck.
- SUMEREDER, K. (1959): Die Wiederaufforstung des Vinschgauer Leitengebietes. Dissertation an der Leopold-Franzens Universität, Innsbruck. 137 S.
- THÖNI, M. (1980): Zur Westbewegung der Ötztaler Masse. Räumliche und zeitliche Fragen an der Schlingüberschiebung. Mitt. Ges. Geologie- und Bergbaustudenten in Österreich, 26. 247-275. Wien.
- THÖNI, M. (1981): Degree and Evolution of the Alpine Metamorphism in the Austroalpine Unit W of the Hohe Tauern in the light of K/Ar and Rb/Sr Age Determinations on Micas. Jahrb. Geol. B.-A. Band 124, 1. 111-174. Wien.
- WILDI, O. (1986): Analyse vegetationskundlicher Daten. Theorie und Einsatz statistischer Methoden. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel. 90. Zürich. 226 S.

Anschrift der Autoren:

- Dr. Hanspeter Staffler
Sonderbetrieb für Wildbach- und Lawinenverbauung, C. Battisti-Str. 23, I-39100 Bozen
- Prof. Dr. Klaus Katzensteiner
Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur, Gregor Mendel-Str. 33A-1180 Wien
- Prof. Dr. Herbert Hager,
Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur Gregor Mendel-Str. 33, A-1180 Wien
- Prof. Dr. Gerhard Karrer,
Institut für Bodenkultur, Universität für Bodenkultur Gregor Mendel-Str. 33, A-1180 Wien