

Tonminerale in Waldböden des Mittelgebirgsraumes

Herkunft, versauerungsbedingte Transformation und ökologische Bedeutung (Fallbeispiel Bayerischer Wald)

Jörg Völkel

Universität Regensburg, Lst. f. Physische Geographie, D-93040 Regensburg

Zusammenfassung

Die Substratbeschaffenheit von Waldböden im Mittelgebirgsraum wird erläutert und auf fundamentale Abweichungen gegenüber dem Stoffbestand der anstehenden Festgesteine infolge älterer Verwitterungsprodukte und unterschiedlicher morphodynamischer Prozesse im Hangrelief hingewiesen. In den schlecht gepufferten Waldböden des Untersuchungsgebietes läßt sich über die Bv-Horizonte regelhaft eine vollständige sekundäre Al-Chloritisierung der 14Å-Mineralen nachweisen, die im Bereich der Oberbodenhorizonte bereits wieder aufgehoben ist. Eine Abhängigkeit vom Versauerungsgrad und von der Bestockungsart ist gegeben.

1 Einleitung

Die Beurteilung der ökologischen Tragfähigkeit von Waldökosystemen, ihres allgemeinen Zustandes, heute insbesondere ihres Schädigungsgrades durch anthropogene Einflußnahme, geschieht in der Regel anhand von Kriterien, die über die Beschaffenheit des Bodens als dem eigentlichen Reaktions- und Pufferzentrum des Gesamtsystems kaum Auskunft geben. Nicht nur aufgrund ihrer Relevanz für bodenchemische Abläufe sondern auch aufgrund ihrer in geologischen Zeiträumen gesehen ausgesprochen kurzen Reaktionsdauer sind gerade Tonminerale in hohem Maße geeignet, den Zustand von Waldökosystemen zu charakterisieren.

Um weitgehende Homogenität der substratspezifischen geogenen Faktoren zu gewährleisten, werden Untersuchungen zur Beurteilung des Ausmaßes pedogener Mineralveränderungen infolge Bodenversauerung sowie zur Erfassung der Dynamik der Transformationsprozesse sinnvollerweise zunächst auf Lößstandorten durchgeführt (vgl. VÖLKELE & NILLER 1993, NILLER & VÖLKELE in diesem Band, hier auch weitere Literatur). Im Gegensatz zum Lößgebiet, wo sich uniforme Parabraunerden auf vollständig homogenen Substraten entwickelten, variiert im Mittelgebirgsraum das Substrat der Bodenbildung, denn in aller Regel stellen Mittelgebirgsböden Mehrschichtprofile dar. Die Substrate der Bodenbildung wurden während des Kaltzeitklimas in großem Stil umgelagert und auch pedogen überprägt; es entstanden sogenannte periglaziale Deckschichten, die Klimaphasen mit sehr unterschiedlicher Morphodynamik (kalthumid, kaltarid) dokumentieren. Von der jeweils herrschenden Klimamorphodynamik der schichtbildenden Prozesse ist der Stoffbestand der einzelnen Schichtglieder und vor allem auch die mineralogische Beschaffenheit der Tonfraktion der Böden in hohem Maße abhängig (VÖLKELE 1993a, b, 1994a, b, 1995). Die Mineralogie der Bodensubstrate steht also in keinem direkten Zusammenhang mit

dem Stoffbestand der anstehenden Gesteine. Zudem reicht die Verwitterungsgeschichte der bodenbildenden Substrate des Bayerischen Waldes weit über das Pleistozän hinaus vermutlich bis in die Kreide- oder gar in die Jurazeit zurück; überall finden sich eindeutige Belege einer tropoiden Tiefenverwitterung (Saprolithisierung) großen Ausmaßes (VÖLKELE 1993b, 1994b). Aufgrund primär karbonatfreier, silikatischer Gesteine des Moldanubikums sind die Böden des Bayerischen Waldes in aller Regel vergleichsweise schlecht gepuffert und unterliegen über die Oberbodenhorizonte hinaus in besonders hohem Maße den Folgen sowohl der natürlichen als auch der anthropogen bedingten Bodenversauerung. Im Rahmen dieses Beitrages sowie des Beitrages NILLER & VÖLKELE (in diesem Band) wird der Frage nachgegangen, in welchem Ausmaß Veränderungen an Tonmineralen von Böden in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten (trockenes, tiefegelegenes Lößgebiet auf der einen, feuchtkühles kristallines Mittelgebirge auf der anderen Seite) bereits anhand röntgendiffraktometrischer Untersuchungen erfaßt werden können, begleitet von einigen grundlegenden pedochemischen Analysen.

2 Ergebnisse

2.1 Schichtwechselbedingte Tiefenfunktion der Tonmineralspektren und Herkunft der Minerale

Im Bayerischen Wald besteht das Spektrum der Bv-Horizonte der Braunerden typischerweise aus einer Dominanz vollständig sekundär chloritisierter Dreischichtminerale, bei geringeren Kaolinit- und häufig vernachlässigbaren Illitanteilen. Die Bv-Horizonte sind in den sogenannten Hauptlagen entwickelt, die in den Ton- und Schlufffraktionen große Anteile an Flugstaub (Lößlehm) enthalten (zur Terminologie periglazialer Deckschichten vgl. u.a. SCHILLING & SPIES 1991 sowie VÖLKELE 1994a, 1995). Die Illitarmut wird als eine Folge der massiven Beeinflussung durch Flugstaub gewertet, welcher aus stark vorverwitterten Substraten ausgeweht wurde (VÖLKELE 1993a). Der geringe Illitanteil stark äolisch beeinflusster Schichtglieder belegt keineswegs eine energische rezente Silikatverwitterung. Auch in Proben des anstehenden Zersatzes (s.u.) lassen sich Illite vielfach nicht nachweisen, während quellfähige smectitische Minerale diese Spektren dominieren. Mit dem Schichtwechsel zur Mittellage ist in der Regel ein markanter Wechsel im Mineralspektrum verbunden, der ebenfalls als sedimentbedingt interpretiert wird (Abb. 1, siehe auch VÖLKELE 1993b, 1994a, 1995). Während Illit in größeren Mengen in die Spektren eintritt, nimmt auch der Anteil an Kaolin-Mineralen im 7Å-Bereich deutlich zu. Ferner kann, bei entsprechender Beschaffenheit des hangaufwärts gelegenen Untergrundes, auch Gibbsit in mittleren, selten großen Mengen im Spektrum nachgewiesen werden. Der bedeutendste Anteil der Kaolinminerale wurde zu Zeiten intensiverer chemischer Verwitterung gebildet und geht mit der Genese des kristallinen Zersatzes (Saprolith) einher. Auf eine Unterscheidung der Kaolinminerale in Kaolinit, Dickit und Nacrit wird verzichtet, weshalb eine Ansprache der Linie bei 7.15-7.18Å als Kaolinit strenggenommen eine unzulässige Verallgemeinerung bedeutet, die jedoch im hier diskutierten Rahmen hingenommen werden kann. Im rezenten Verwitterungsmilieu herrschen für Kaolinit weitestgehend Erhaltungsbedingungen. Lediglich infolge der Dehydratation von Halloysiten können Kaolinite auch derzeit in geringerem Umfang entstehen (s.u.). Das kristalline Alumohydroxid Gibbsit hingegen kann eigenen Untersuchungen zufolge und in Anlehnung an Arbeiten von WILKE & SCHWERTMANN (1977) unter rezenten pedogenetischen Bedingungen zerstört werden (siehe). Die Anwesenheit größerer Gibbsitmengen in den Basislagen einiger Profile (siehe Abb. 1) korreliert mit einer kräftigen Zunahme des NaOH-löslichen Aluminiums der Tonfraktion; die Mol-Verhältnisse von SiO_2 und Al_2O_3 sinken sogar unter 1 ab.

Der Nachweis von Halloysit wird im Rahmen der RDA über die charakteristische Peaklage im Bereich von $4.41\text{\AA}$ hinaus mittels der DMSO-Präparation geführt. An kaolinitdominanten Lagerstättenproben, deren Halloysitgehalt auf der Basis von TEM- und REM-Aufnahmen bekannt ist (FORSTER 1992, frdl. mdl. Mitt.), zeigt die DMSO-Methode eigenen Versuchen zufolge, daß Halloysite im Bereich einer Konzentration von lediglich 5% auf Grundlage der RDA noch sicher dargestellt werden können. Problematisch ist in den Röntgendiffraktogrammen der hier untersuchten Böden jedoch einerseits die Überlagerung der $10\text{\AA}$ -Form der Halloysite mit Illiten, andererseits die thermische Instabilität dieser $10\text{\AA}$ -Form, die nach BRINDLEY & BROWN (1980: 431) bereits bei 70°C über Dehydratation irreversibel in die $7\text{\AA}$ -Form übergeht. Aufgrund der notwendigen Vorbehandlung der Tonfraktion zur Entfernung von Oxidüberzügen und der damit verbundenen Erwärmung kann der Nachweis einer $10\text{\AA}$ -Form des Halloysits daher bereits eingeschränkt sein. Auch der Verbleib der Halloysite nach Auswaschen von DMSO im Bereich von $10\text{\AA}$ läßt sich wegen der Überlagerung mit dem Illitpeak häufig schlecht ausmachen, wenn Halloysit nicht in größeren Mengen enthalten ist. In einigen Profilen kann Halloysit jedoch sicher nachgewiesen werden. In den rezenten Böden allerdings fällt er in aller Regel aus. Wie erwähnt weisen WILKE & SCHWERTMANN (1977) unter anderem mit Hilfe der DTA die Existenz von Halloysiten in drei aus Kristallinzersatz (Saprolith) beziehungsweise seinen Umlagerungen aufgebauten Profilen am Lusen (Hinterer Bayerischer Wald) nach und werten die Abnahme der Halloysite im Bereich des rezenten Bodens als Umwandlung in Kaolinite. Das in Abb. 3 dargestellte Röntgendiffraktogramm belegt mit dem Ausfall des Peaks bei $4.45\text{\AA}$ im Bv1-Horizont das Fehlen von Halloysit im Spektrum (DMSO-Präparate hier nicht dargestellt). Die mit dem Halloysit verbundene Asymmetrie des $7.18\text{\AA}$ -Peaks, die im Präparat des IllmCv-Horizontes markant ausgeprägt ist, ist im Bv1-Horizont kaum nachzuweisen und belegt hier einen gut kristallinen Kaolinit. Inwieweit damit tatsächlich eine Transformation der Halloysite in Kaolinite im Bereich der rezenten Bodenbildung belegt werden kann, ist aufgrund der Schichtigkeit, die auch dieses Profils charakterisiert, in der hier vorliegenden Form nicht zu entscheiden.

Im eigenen Probenkollektiv fällt als Regelhaftigkeit auf, daß in allen Präparaten aus dem Bayerischen Wald die $7.18\text{\AA}$ -Peaks etwas bauchig mit leichten Asymmetrien gegen kleinere Winkelbereiche ausgebildet sind, während in den Profilen des Naabgebirges als dem tiefergelegenen südwestlichsten Sporn der Böhmisches Masse oder in den tertiären Sedimenten der Buchten der Vorwaldzone überwiegend $7.15\text{\AA}$ -Peaks ausgemessen werden, die ausgesprochen scharf zeichnen und hohe Kristallinität belegen. Die typisch bauchige Peakform der Proben des Bayerischen Waldes wird auf dünne Kristallite zurückgeführt (MOORE & REYNOLDS 1989: 205), könnte jedoch auch für eine Beimengung von Halloysit in der $7.4\text{\AA}$ -Form stehen; ein derartig regelhaftes Auftreten der Halloysite über alle Horizonte hinweg erscheint jedoch kaum glaubhaft. Hinweis für relativ ungeordnete Strukturen der Kaolinite des Probenkollektivs aus dem Bayerischen Wald ist zudem die thermische Instabilität des $7\text{\AA}$ -Peaks, welcher bereits bei 400°C dehydriert (siehe auch Abb. 4). Nach BRINDLEY & BROWN (1980) ist diese typische Erscheinung im Falle gut geordneter Kaolinite erst in Temperaturbereichen von $550\text{--}570^\circ\text{C}$ zu erwarten, womit die meisten Kaolinite des Untersuchungsgebietes damit als "disordered kaolinites" und Meta-Kaolinite zu bezeichnen wären.

2.2 Pedogene Transformationen der Tonminerale in Ober- und Unterbodenhorizonten aufgrund eines progressiven Aziditätsmilieus

Besonders auffällig ist in den Bodenproben des Bayerischen Waldes eine tiefgreifende sekundäre Chloritisierung. Im Allgemeinen läuft die pedogene Chloritisierung von Dreischichtmineralen bereits im Silikatpufferbereich zwischen pH 5 und pH 6 ab. Al- und teils auch Fe-Gitterkationen werden protonisiert, gegen zwischenschichtgebundene Alkali- und Erdalkalikationen an permanenten Ladungspositionen ausgetauscht und über Protolyse im Zwischenschichtraum festgelegt; eine weitere Möglichkeit ist die direkte Einlagerung monomerer Al-Ionen oder Hydroxykationen aus der Bodenlösung (BLUM 1976). In einem pH-Bereich von 4.5 bis 5 (Austauscher-Pufferbereich nach ULRICH et al. 1979) werden für die Al-Chlorite Erhaltungsbedingungen angenommen, während sie im progressiv sauren Aziditätsmilieu instabil werden, indem die in den Zwischenschichten gebundenen Al-(Fe)-Hydroxykomplexe wiederum protonisiert werden (MALCOM et al. 1969). Die Minerale werden zunächst in eine vermiculitische Variante zurückgeführt, wobei den Protonen nun eine um so größere Angriffsfläche zur Verfügung steht. Mit zunehmendem Verlust der Gitterkationen gehen Auflösungserscheinungen einher, die sich über Kontraktionsfähigkeit der $14\text{\AA}$ -Minerale im Kalium-Präparat ausdrücken und vielfach Weitungserscheinungen im Glykolpräparat erkennen lassen (Abb. 5). Es hat eine umfassende Dechloritisierung stattgefunden, welche die Zerstörung der Tonminerale einleitet. In den hier untersuchten Böden sind diese Stadien in den A(e)h-Horizonten, teils auch in den Bv-Horizonten erreicht. Es liegt jedoch noch keine vollständige Zerstörung des Schichtgitters vor, da in der Regel auch in den Mineralspektren, die eine kräftige Quellfähigkeit der dechloritierten $14\text{\AA}$ -Minerale zeigen, im Kalium-Präparat noch volle Kontraktionsfähigkeit besitzen. In vielen Profilen läßt sich der Prozeß der Dechloritisierung darüberhinaus am Auftreten von Corrensiten ($28\text{--}29\text{\AA}$) erkennen, die den Proben der tiefer gelegenen und noch voll chloritierten Horizonte fehlen und daher Indikatoren einer weit fortgeschrittenen Schädigung des Tonmineralbestandes sind. In einigen Profilen finden sich bereits voll kontraktionsfähige Peaks bei $25\text{--}26\text{\AA}$, die neben Wechsellagerungen als extrem geweitete smectitische Mineralphasen gewertet werden können. Wenngleich die Dechloritisierung der Tonminerale zunächst mit einem sehr gut nachweisbaren Anstieg der Kationenaustauschkapazität und der Basensättigung der Oberböden einhergeht (s.u.), ist sie doch ein bedeutender Zeiger extremer Ungunst des Pedomilieus. Die Dechloritisierung beschränkt sich derzeit in der Regel auf den obersten Tiefenbereich von $0\text{--}5\text{cm}$, erreicht seltener allerdings auch 10cm Profiltiefe und wird in wenigen Fällen starker Podsolodynamik sogar in einer Profiltiefe von 20cm nachgewiesen (vgl. Abb. 2).

Als Ausgangsminerale der sekundären Chloritisierung läßt die Hitzebehandlung der Tonmineralpräparate auf Vermiculite schließen (NIEDERBUDDE & SCHWERTMANN 1980), welche nach DIXON & JACKSON (1962) in Form einer Atoll-Struktur vornehmlich randlich chloritiert werden, wohingegen die niedriger geladenen Smectite eine gleichmäßige Anordnung der Al-Hydroxokomplexe ermöglichen (BARNHISEL & BERTSCH 1989); chloritierte Vermiculite werden bei Hitzebehandlung schneller instabil. Über fünf Erhitzungsstufen wird an den Kaliumpräparaten die Kontraktion des sekundären Chlorits verfolgt. Die vollständig chloritierten $14\text{\AA}$ -Minerale der Bv-Horizonte zeigen bereits bei etwa 110°C eine Tendenz zur Kontraktion auf $10\text{\AA}$ (siehe Abb. 4), was als Hinweis auf eine Chloritisierung von Vermiculiten in Form der oben genannten Atoll-Struktur gewertet wird (KOZAK & HUANG 1971). Primäre Chlorite fehlen in den meisten Profilen, so auch im hier gegebenen Beispiel, wie der vollständige Ausfall der $14\text{\AA}$ -Linie bei 550°C zeigt. Der 001-Peak des Kaolinites ist bei 550°C nicht mehr hitzebeständig und wird röntgenamorph (Abb. 4).

Die pedogene Chloritisierung der Tonfraktion ist von nachhaltiger ökologischer Bedeutung und erfaßt in den Böden auf Deckschichten des Bayerischen Waldes in der Regel das gesamte Profil bis in den Bereich der Basislage. Mit dem Schichtwechsel zum Zersatz fällt die Chloritisierung zumeist aus. In einigen Profilen fehlen dem Zersatz die 14Å-Mineralen, was - nicht zuletzt in Anbetracht der pH-Werte um 4.5 - dennoch zunächst eine potentielle Chloritisierungsfähigkeit des Pedomilieus erwarten läßt. Einige Mineralspektren des Kristallinzersatzes sind jedoch reich an Vermiculiten und quellfähigen Mineralen; da aufwendige Schichtladungsbestimmungen durch Einlagerung von n-Alkylammoniumchloriden (LAGALY & WEISS 1971) im Rahmen dieser Fragestellung nicht notwendig sind, werden die sehr gut quellfähigen Minerale des Zersatzes mit der gebotenen Vorsicht als der Smectitgruppe zugehörig angesprochen (dazu u.a. TRIBUTH & LAGALY 1991). Sekundäre Chloritisierung jedenfalls ist trotz niedriger pH-Werte im Zersatz bislang nicht eingetreten. Die Tiefenverteilung von Al^{3+} -Ionen und Protonen im Gesamtprofil zeigt, daß deren Anteil am Kationenbesatz des Feinbodens im kristallinen Zersatzhorizont deutlich zurückgeht, so daß der Protonierungsdruck hier offensichtlich entscheidend nachläßt.

In extrem versauerten Aeh-Horizonten ist als Folge der Auflösungserscheinungen der Tonminerale ferner das Auftreten röntgenamorpher Alumosilikate wie Allophane oder Imogolite zu erwarten. Ihr Nachweis ist mittels RDA kaum in befriedigender Form möglich. VEERHOFF & BRÜMMER (1991) berichten in Anlehnung an WADA (1989) von Matrixeffekten, welche im Bereich zwischen 3.2Å und 4.6Å auftreten sollen und mit dem Nachweis von Kieselsäureüberzügen auf den Bodenaggregaten mittels REM und EDX (Energiedispersive Röntgenanalyse) konform gehen (siehe auch VEERHOFF 1992). Solche Aufwölbungen des Untergrundes werden vereinzelt auch in den eigenen Diagrammen gefunden, jedoch mit der Probenaufbereitung in Zusammenhang gebracht. Wenige Proben wurden mit Hilfe der DTA auf röntgenamorphe Substanzen untersucht. Die Ergebnisse schließen deren Anwesenheit durch entsprechende Kurvenverläufe nicht aus, tragen aber auch zu keiner endgültigen Aussage bei. Gleiches gilt für IR-Spektren, die über die Horizonte dreier Profile abgemessen wurden. Auch hier wären die Kurvenverläufe als charakteristisch für Allophane beziehungsweise Siliziumhydroxide zu interpretieren, wenn es sich nicht um Mineralgemenge handeln würde. Aufgrund der Überlagerung der Kurvenverläufe mehrerer silikatischer Mineralarten und Subtypen in den Bodenproben lassen sich in dieser Form keine definitiven Aussagen treffen. Die mittels NaOH extrahierten Siliziumanteile zeigen zweifelsfrei ein verwitterungsbedingtes Maximum an freiem Silizium in den Oberbodenhorizonten, was die Bildung röntgenamorpher Alumosilikate ebenfalls wahrscheinlich macht.

2.3 Abhängigkeiten versauerungsbedingter Veränderungen an Tonmineralen vom Standort - Fallbeispiele

In den Oberböden sämtlicher Profile des Untersuchungsgebietes ist infolge des massiven Eintrages an Flugstaub (Lößlehm) allein die Tonfraktion in Anteilen zwischen etwa 15% und 20% vertreten. Kraft ihrer großen Oberfläche nehmen die Tonminerale bedeutenden Einfluß auf das bodenchemische Milieu und seine Prozesse. An zwei Beispielen sollen die ökologische Relevanz der Tonfraktion und die Abweichungen verdeutlicht werden, die ihre Transformation durch die Standortbedingungen erfährt. Das erste Profilpaar liegt im Hinteren Bayerischen Wald am Südwest-Hang des Großen Falkenstein (1332m ü.NN) in einer Höhe von 916m ü.NN. Es handelt sich um saure Braunerden typischen Profilaufbaus, deren organische Auflage als Rohhumusartiger Moder anzusprechen ist (zum Profilaufbau VÖLKEL 1993b). Bereits die pH-Werte ($CaCl_2$)

zeigen in den A(e)h-Horizonten größere Abweichungen zwischen den eng benachbarten Profilen mit pH 3.4 im Profil Falkenstein Süd-I (Buche dominant) und pH 3.8 im Profil Falkenstein Süd-II (Fichte dominant). Ursache der untypischen geringeren Versauerung des Fichtenstandortes ist möglicherweise die Lage im Relief; der Fichtenstandort liegt in einer eng begrenzten Hangverflachung mit lediglich 3° Neigung, während der Laubwaldstandort die für das gestreckte Hangrelief des Hohen Bayerischen Waldes typische Neigung von 16° aufweist. Der Laubwaldstandort ist sowohl im Ober- wie im Unterboden etwas humoser, und die Gehalte an Gesamtstickstoff mit 0.64% sind höher als im Fichtenstandort mit 0.36%, woraus im Laubwaldstandort ein engeres C/N-Verhältnis resultiert. Die Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) und die aus ihr abgeleiteten Größen zeigen ebenfalls markante Abweichungen zwischen beiden Profilen (Tab. 1 und 2). Im stärker versauerten Laubwaldstandort tritt im Oberboden in der KAK in absoluter Menge das Aluminium besonders hervor. Über das gesamte Profil hinweg ist seine Sättigung signifikant höher. Auch die über Titration ermittelten Aluminium- und Protonengehalte liegen im stärker versauerten Profil eindeutig höher. Ferner fällt hier ein mit 3.9% Sättigung besonders hoher Eisenanteil im Oberboden auf. Die KAK_{eff} jedoch erreicht in der Summe (mval/100g Boden) im Oberboden mit 19.4 gegenüber 11.6 des stärker versauerten Laubwaldstandortes die höheren Werte, eine Tendenz, die sich im Unterboden fortsetzt. Bei gleichartiger Textur beider Profile bietet sich als Erklärung zunächst ausschließlich der höhere Gehalt an humoser Substanz im Laubwaldprofil an, wobei allerdings die sehr viel größere Differenz zwischen den Oberbodenhorizonten verwundert. Den entscheidenden Hinweis gibt die RDA der Tonminerale. In beiden Profilen hat in den Aeh-Horizonten eine Dechloritisierung stattgefunden, die im stärker versauerten Profil Falkenstein Süd-I sehr viel weiter vorgeschritten ist, wie die Weitungserscheinungen im Röntgendiffraktogramm zeigen (siehe Abb. 6 und 7). Der Anteil einer quellfähigen Komponente geht mit höheren KAK_{eff} -Summen einher. Im Rahmen der Dechloritisierung und einer beginnenden Mineralauflösung werden nachweislich größere Mengen an Al und auch an Fe freigesetzt. Die Korrelation von erhöhten Fe-Anteilen im Kationenbesatz mit quellfähigen Tonmineralen im Sinne einer vorgeschrittenen Mineralzerstörung läßt sich im Bayerischen Wald für alle vergleichbar zusammengesetzten Tonmineralspektren in Oberbodenhorizonten belegen. Weiterhin fallen im Vergleich der NaOH-löslichen Oxidfraktionen im Bereich der Oberböden der vorgenannten Profile höhere Si- und niedrigere Al-Gehalte im Falle der weitungsfähigen Tonfraktion auf. Daraus ergibt sich ein signifikant höheres SiO_2/Al_2O_3 Mol-Verhältnis von 6.3 im ersten Profil und von lediglich 3.3 im zweiten, weniger stark versauerten Profil (Tab. 1 und 2). Im Unterboden gleichen sich die Verhältnisse trotz etwas abweichender pedochemischer Milieus sehr schnell an, was die Uniformität der Tonmineralfraktion dieser Horizontbereiche beider Profile unterstreicht. Weite Mol-Verhältnisse infolge erhöht freigesetzter Si-Anteile aus den Tonmineralen sind ebenfalls ein Charakteristikum der dechloritierten Tonfraktion der Oberbodenhorizonte, wobei stets wie vorbeschrieben im Falle bereits quellungsfähiger Minerale als Ausdruck hoher Progredienz die Si-Gehalte besonders erhöht sind.

Ein zweites Referenzprofilpaar wird aus dem Vorderen Bayerischen Wald beschrieben. Es liegt etwas höhenversetzt in 925m bzw. 960m ü.NN am Ost-Hang des Gebirgsstocks des Brotjacklriegels (1052m ü.NN). Während das Profil Brotjacklriegel Ost-I in einem weitständigen Altholz aus Nadelgehölzen und untergeordneten Laubholzanteilen (überwiegend Buche) liegt, bildet im zweiten Profil Brotjacklriegel Ost-II ein Buchenaltholz die Bestockung. Das etwas tiefer gelegene Nadelwaldprofil Brotjacklriegel Ost-I zeigt unter einem mächtigen Oh-Horizont bereits kräftigere Podsolierungsmerkmale in Form eines gebleichten Aeh-Horizontes und eines initialen Bsh-Horizontes. Im Laubwaldprofil Brotjacklriegel Ost-II ist bei geringermächtiger organischer Auflage lediglich ein A(e)h-Horizont entwickelt, der direkt in den Bv-Horizont übergeht. Der

Profilmorphologie entsprechend ist der Oberboden des Nadelwaldstandortes mit pH 3.3 signifikant stärker versauert als im Falle des Laubwaldstandortes mit einem pH von 3.7 (vgl. Tab. 3 und 4). Im Bereich der Bv-Horizonte gleichen sich die Differenzen zwischen beiden Standorten sehr schnell an (pH 3.9 in Ost-I, pH 4.1 in Ost II); die tendenziell etwas nachhaltigere Versauerung des Nadelwaldprofils bleibt jedoch auch in der Tiefenfunktion erhalten. Bemerkenswert ist das durchgängig wiederum sehr viel bessere C/N-Verhältnis des Laubwaldstandortes gegenüber dem des Nadelwaldstandortes bei minimal differierenden Absolutgehalten an organischem Kohlenstoff. Die lage- und substratidentischen Profile eignen sich wiederum sehr gut zum Vergleich der Auswirkungen vorgeschrittener Versauerung auf die pedogene Transformation der Tonminerale.

Die RDA der Tonfraktion zeigt, daß bei pH-Werten um 3.7 in Oh- und A(e)h-Horizont des Laubwaldprofils lediglich im Oh-Horizont eine nennenswerte Kontraktionsfähigkeit der darüberhinaus nicht quellfähigen 14Å-Minerale erzielt wird, die pedogene Chloritisierung also nur zu einem geringeren Teil aufgehoben ist (hier nicht dargestellt). Im A(e)h-Horizont ist diese Tendenz kaum noch nachweisbar. Das Spektrum ist nahezu vollständig chloritisiert, was auch für die Unterbodenhorizonte gilt. Im Nadelwaldprofil Ost-II mit pH-Werten von 3.2 beziehungsweise 3.3 im Oh- und im B(s)h-Horizont (1-3cm) hingegen ist in beiden Proben eine bedeutende Kontraktionsfähigkeit belegbar, die mit einer Weitung der 14Å-Minerale und einer Interferenzbande im Kleinwinkelbereich bei 26-28Å einhergeht. Letztere kontrahiert im Kalium-Präparat und zeigt, daß der Anteil an sekundären Chloriten im Wechsellagerungsbereich weitestgehend fehlt, die Dechloritisierung insgesamt weit fortgeschritten ist. Das Tonmineralspektrum des Oberbodens im stärker versauerten Profil Brotjacklriegel Ost-II ist aufgrund einer progressiven Versauerung bereits bedeutend stärker geschädigt.

Die röntgendiffraktometrischen Befunde stimmen mit den pedochemischen Analysen wiederum sehr gut überein (Tab. 3 und 4). Im Falle der stärker geschädigten Tonfraktion des Nadelwaldprofils wird im NaOH-Extrakt ein $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Mol-Verhältnis von 8.2 ermittelt, dem im Falle des weniger stark versauerten Laubwaldprofils ein Quotient von 3.2 gegenübersteht. Im Nadelwaldprofil sind die leicht verlagerbaren Al-Oxide und Al-Hydroxide bereits in sehr viel größerem Umfang abgeführt und Si-Verbindungen angereichert. Bei vergleichbaren Anteilen an C_{org} in beiden Profile geht mit der dechloritisierten Tonfraktion des Standortes Brotjacklriegel Ost-I ein sehr viel höherer Eisenanteil an der effektiven Kationenaustauschkapazität einher, der bei 11.4% im Aeh-Horizont gegenüber lediglich 6% im Vergleichsprofil liegt (Tab. 3 und 4). Im Unterboden beider Profile ab etwa 5cm Tiefe gleichen sich die Werte vollständig an. Daß auch das Laubwaldprofil bereits Eisen im Kationenbelag aufweist, läßt erkennen, daß der Aluminium/Eisen-Pufferbereich ebenfalls erreicht ist, und geht mit der bereits teilweise vorhandenen Kontraktionsfähigkeit im Kalium-Präparat (RDA) auch dieser Oberbodenproben konform. Profile ohne Dechloritisierungserscheinungen in Form einer Kontraktionsfähigkeit der Tonfraktion im Kalium-Präparat lassen nennenswerte Fe-Gehalte in der KAK stets vermissen und befinden sich, zunächst unabhängig vom pH-Wert, damit noch ausschließlich im Aluminium-Pufferbereich.

Literatur

- Barnhisel, R.J., Bertsch, P.M., 1989: Chlorites and Hydroxy-Interlayered Vermiculite and Smectite. - Dixon, J.B. & S.B. Weed (Eds.): Minerals in Soil Environments (2nd Ed.). - SSSA Book Series 1, Madison (Wisc.): 729-788.
- Blum, W., 1976: Bildung sekundärer Al-(Fe)-Chlorite. - Z. Pflanzenern. Bodenk. **139**, 107-125.
- Brindley, G.W., Brown, G., 1980: Crystal structures of clay minerals and their x-ray identification. Mineralogical Society Monograph No. 5, 495 p., London.
- Dixon, J.B., Jackson, M.L., 1962: Properties of intergradient chlorite expandable layer silicates of soils. Soil Sc. Soc. Amer. Proc. **26**, 358-362.
- Kozak, L.M., P.M. Huang, 1977: Adsorption of Hydroxy-Al by certain phyllosilicates and its relation to K/Ca cation exchange selectivity. Clays and Clay Minerals **19**, 95-102.
- Lagaly, G., Weiss, A., 1971: Anordnung und Orientierung kationischer Tenside auf Silicatoberflächen. Teil IV. Anordnung von n-Alkylammoniumionen bei niedrig geladenen Schichtsilicaten. Kolloid.-Z. u. Z. Polymere **243**, 48-55.
- Malcom, R.L., Nettleton, W.D., McCracken, R.J., 1969: Pedogenic formation of montmorillonite from a 2:1 - 2:2 intergrade clay mineral. Clays Clay Min. **16**, 405-414.
- Moore, D.M., Reynolds, R.C., 1989: X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford, New York, 322 p.
- Niederbudde, E.A., Schwertmann, U., 1980: Clay mineralogy of soils. Geol. Jb. **D 39**, 99-114.
- Niller, H.-P., Völkel, J., 1994: Der Einfluß der Bestockungsart auf pedochemische und mineralogische Eigenschaften von Löß-Parabraunerden im südostbayerischen Grenzgebiet. Ber. DTTG, in diesem Band.
- Schilling, B., Spies, E.-D. Spies, 1991: Die Böden Mittel- und Oberfrankens. Bayreuther Bodenkdl. Ber. **17**: 68-82.
- Tributh, H., Lagaly, G., 1991: Identifizierung und Charakterisierung von Tonmineralen. Berichte der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe, 162 S.
- Ulrich, B., Mayer, R., Khanna, P.K., 1979: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften Forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Niedersächs. FVA **59**, 291 S.
- Veerhoff, M. 1992: Silicatverwitterung und Veränderung des Tonmineralbestandes in Waldböden als Folge von Versauerungsvorgängen. Bonner Bodenkdl. Abh. **8**, 249 S.

Veerhoff, M., Brümmer, G., 1991: Mineralogische und chemische Charakterisierung von Abbauprodukten der Silicatverwitterung unter stark sauren Bedingungen. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 66, 1123-1126.

Völkel, J., 1993a: Spektren silikatischer Minerale der Tonfraktion als Indikatoren der Lößbeeinflussung der Böden im Mittelgebirgsraum. Berliner Geogr. Arb. 78, 287-302.

Völkel, J., 1993b: Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten als geogene Grundlagen landschaftsökologischer Forschung im Bereich naturnaher Waldstandorte. Habilitationsschrift Universität Regensburg, 243 S. und Anhangband. (im Druck als Monographie Z. Geomorph. N.F. Suppl. 98)

Völkel, J., 1994a: Zur Frage der Merkmalcharakteristik und Gliederung periglazialer Deckschichten am Beispiel des Bayerischen Waldes. Petermanns Geogr. Mitt. 138: 207-217.

Völkel, J., 1994b: Periglaziale Deckschichten und Bodenentwicklung im Bayerischen Wald. Gliederung und Genese anhand mineralogischer Untersuchungen des Feinbodens. Exkursionsführer zur Jahrestagung der DTTG vom 13.-14.10.1994 in Regensburg, 72 S.

Völkel, J., 1995: Zur Darstellung von Schichtwechseln in periglazialen Decklagen des Bayerischen Waldes unter besonderer Berücksichtigung der Mittellage und ihrer Eigenschaften - Z. Pflanzenernährung u. Bodenkunde, Zakosek-Festschrift, in press.

Völkel, J., Niller, H.-P., 1993: Bodenversauerung und Mineralveränderungen in Waldböden industrieferner Standorte SE-Bayerns. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 72, 1419-1422.

Wada, K., 1989: Allophane and Imogolite. - Dixon, J.B. & S.B. Weed (Eds.): Minerals in Soil Environments (2nd Ed.). SSSA Book Series 1, Madison (Wisc.), 1051-1087.

Wilke, B.M., Schwertmann, U., 1977: Gibbsite and halloysite decomposition in strongly acid podzolic soils developed from granitic saprolite of the Bayerischer Wald. Geoderma 19, 51-61.

Verzeichnis der Abbildungs- und Tabellenuntertitel

Tab. 1

Profil Falkenstein Süd I (6945-2), ausgewählte bodenchemische Kennwerte.

Tab. 2

Profil Falkenstein Süd II (6945-3), ausgewählte bodenchemische Kennwerte.

Tab. 3

Profil Brotjackriegel Ost I (7145-38), ausgewählte bodenchemische Kennwerte.

Tab. 4

Profil Brotjackriegel Ost II (7145-40), ausgewählte bodenchemische Kennwerte.

Abb. 1

Profil Totenau I (7144-73); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) aus Proben der Hauptlage (H), Mittellage (M), Basislage (B) und des Zersatzes (Zs). Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

Abb. 2

Profil Waldhäuserriegel Nord (7046-1); Säurebedingte Auflösung des Gibbsite im Ae-Horizont eines Podsoles auf Fließerden aus Finsterauer Kristallgranit (äolisch gering beeinflusste Hauptlage); Nachlieferung der Illite aus der Schlufffraktion (U hier nicht dargestellt); Mg-Ton, Ethylenglykolpräparate, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

Abb. 3

Profil Josefsbuche (7144-82); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$), Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å; Halloysit im Saprolith (82/14, III/Cv, 130-140cm), DMSO-Nachweis nicht dargestellt; darüber Mineralspektren des IICvBv der Mittellage (82/9, 35-50cm) sowie des Bv1 der Hauptlage (82/5, 2-7cm).

Abb. 4

Identifizierung der 14Å-Mineralen der Bv-Horizonte von Hauptlagen (hier Profil Totenau) als pedogen chloritisiert, vermutlich infolge atollartiger Einlagerung von Al-Hydroxypolymeren. Mg-Ton, Kaliumpräparat, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, Temperaturbeaufschlagung in Grad Celsius (aus Völkel 1993b).

Abb. 5

Profil Lackenberghäng (6845-6); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der versauerungsbedingten Weitungserscheinungen im Oberboden, Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, Ethylenglykol behandelt; Hauptlage (H), Mittellage (M), Basislage (B), entsprechende Horizontsymbolik und Probennummer.

Abb. 6

Profil Falkenstein Süd I (6945-2); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der standortbedingten Mineraltransformation im Oberboden; Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, jeweils obere Linie Ethylenglykol behandelt, jeweils untere Linie Kaliumpräparat, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

Abb. 7

Profil Falkenstein Süd II (6945-3); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der standortbedingten Mineraltransformation im Oberboden, Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, jeweils obere Linie Ethylenglykol behandelt, jeweils untere Linie Kaliumpräparat, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

nicht eingebaut:

Abb. 7

Profil Brotjackriegel Ost I (7145-38); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der standortbedingten Mineraltransformation im Oberboden, Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, jeweils obere Linie Ethylenglykol behandelt, jeweils untere Linie Kaliumpräparat, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

Abb. 8

Profil Brotjackriegel Ost II (7145-40); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der standortbedingten Mineraltransformation im Oberboden, Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, jeweils obere Linie Ethylenglykol behandelt, jeweils untere Linie Kaliumpräparat, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

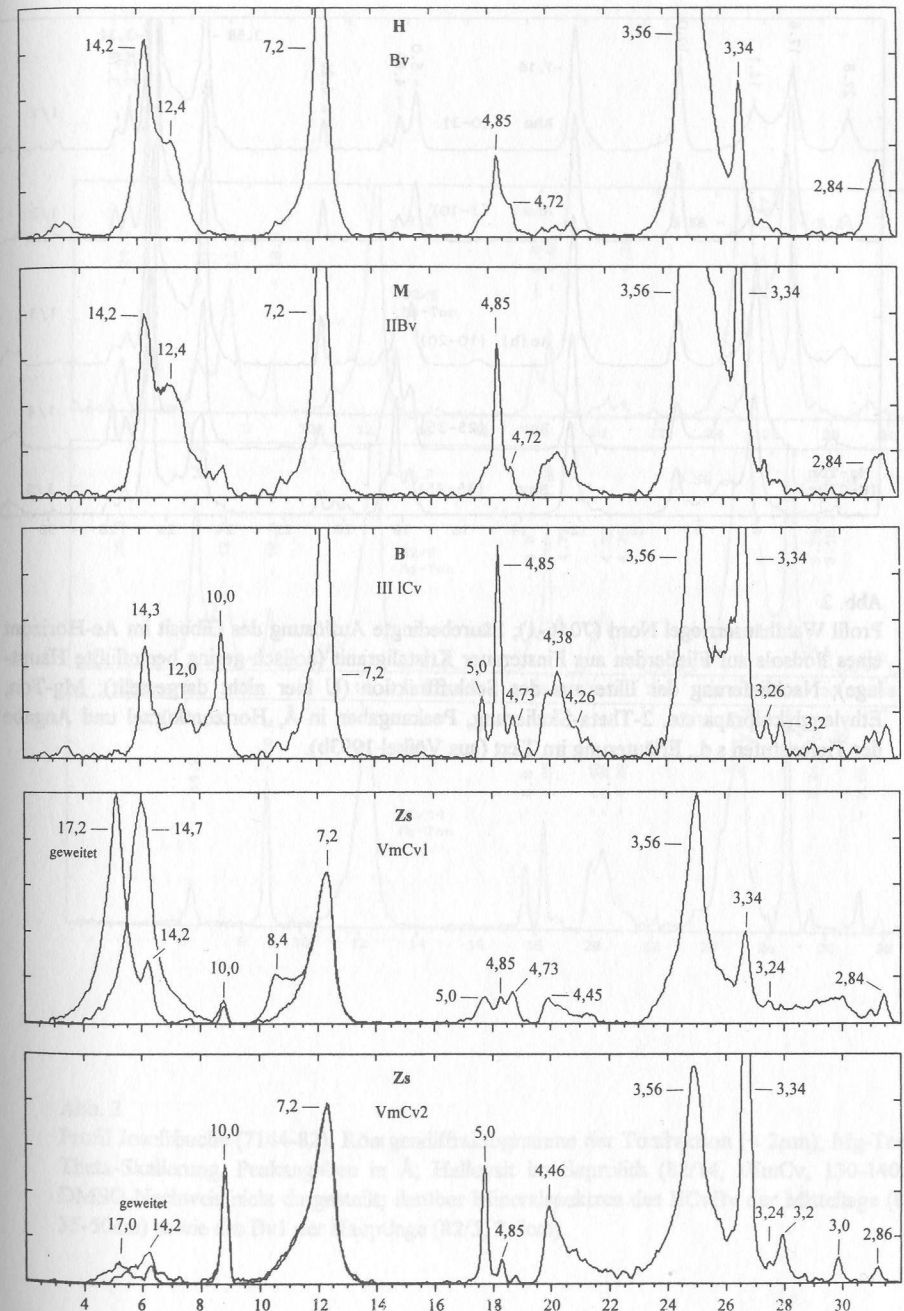


Abb. 1

Profil Totenau I (7144-73); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) aus Proben der Hauptlage (H), Mittellage (M), Basislage (B) und des Zersatzes (Zs). Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

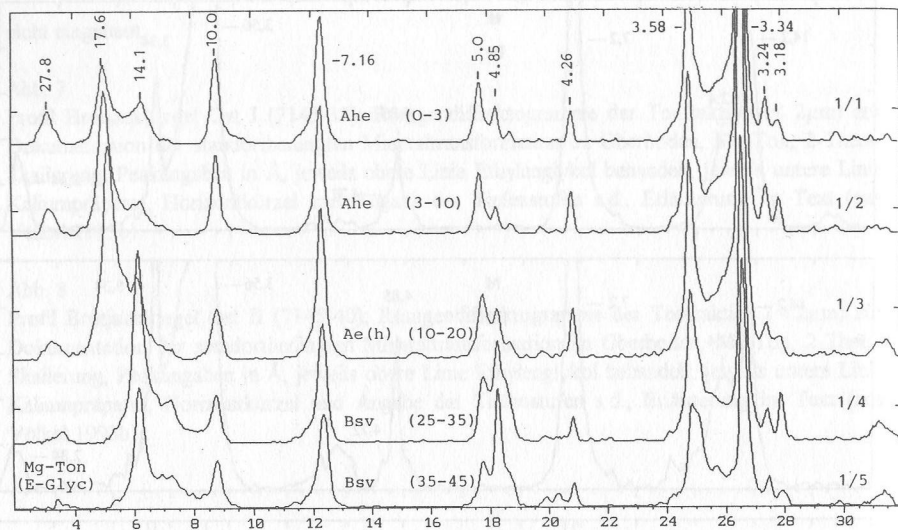


Abb. 2

Profil Waldhäuserriegel Nord (7046-1); Säurebedingte Auflösung des Gibbsit im Ae-Horizont eines Podsoles auf Fließerden aus Finsterauer Kristallgranit (äolisch gering beeinflusste Hauptlage); Nachlieferung der Illite aus der Schlufffraktion (U hier nicht dargestellt); Mg-Ton, Ethylenglykolpräparate, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

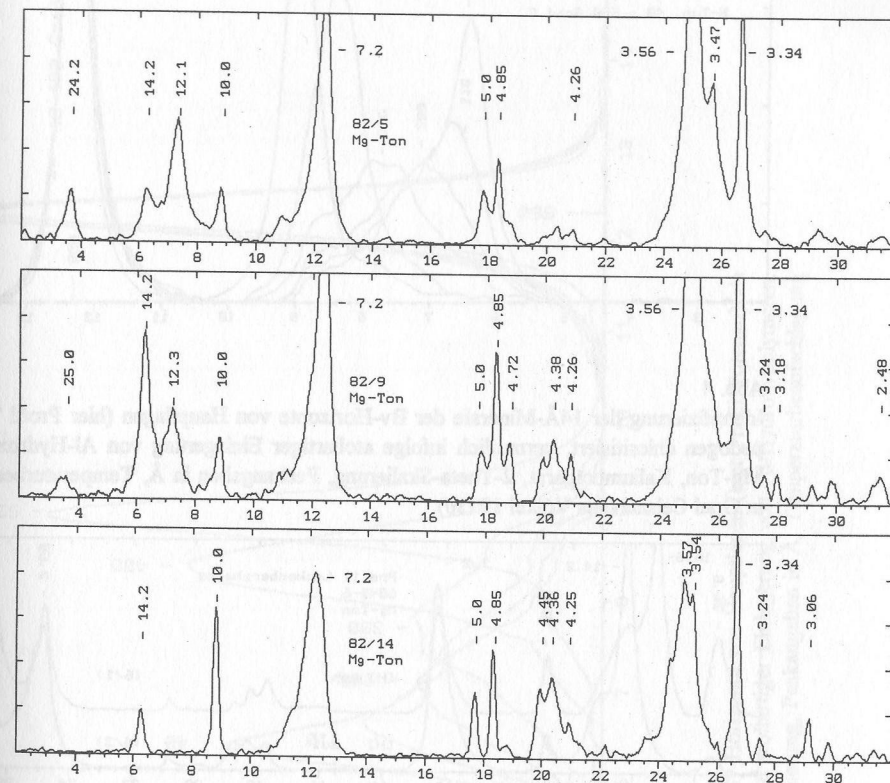


Abb. 3

Profil Josefsbuche (7144-82); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion (< 2µm), Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å; Halloysit im Saprolith (82/14, III_mCv, 130-140cm), DMSO-Nachweis nicht dargestellt; darüber Mineralspektren des IICvBv der Mittellage (82/9, 35-50cm) sowie des Bv1 der Hauptlage (82/5, 2-7cm).

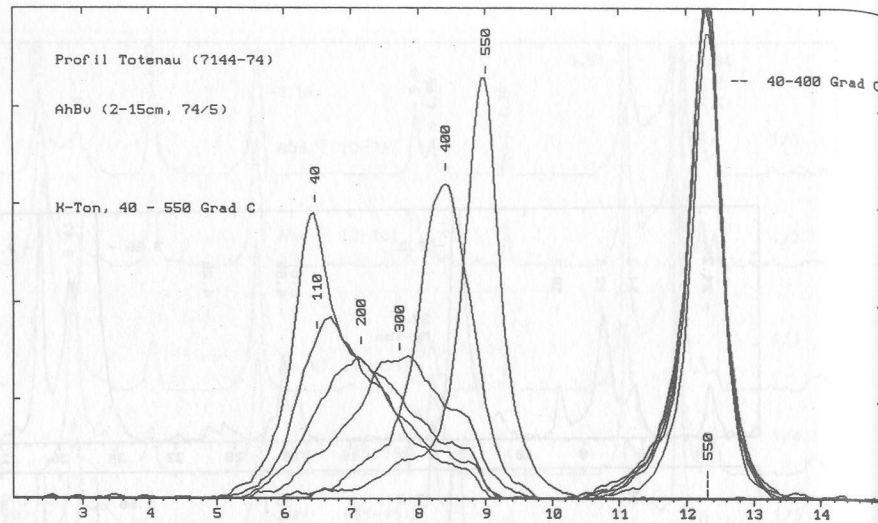


Abb. 4
Identifizierung der 14Å-Minereale der Bv-Horizonte von Hauptlagen (hier Profil Totenau) als pedogen chloritisiert, vermutlich infolge atollartiger Einlagerung von Al-Hydroxypolymeren. Mg-Ton, Kaliumpräparat, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, Temperaturbeaufschlagung in Grad Celsius (aus Völkel 1993b).

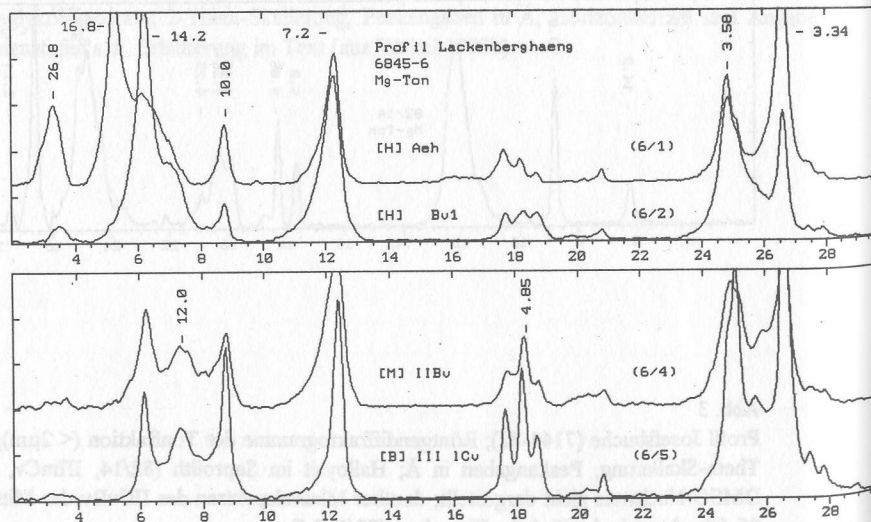


Abb. 5
Profil Lackenberghang (6845-6); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der versauerungsbedingten Weitungerscheinungen im Oberboden, Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, Ethylenglykol behandelt; Hauptlage (H), Mittellage (M), Basislage (B), entsprechende Horizontsymbolik und Probennummer.

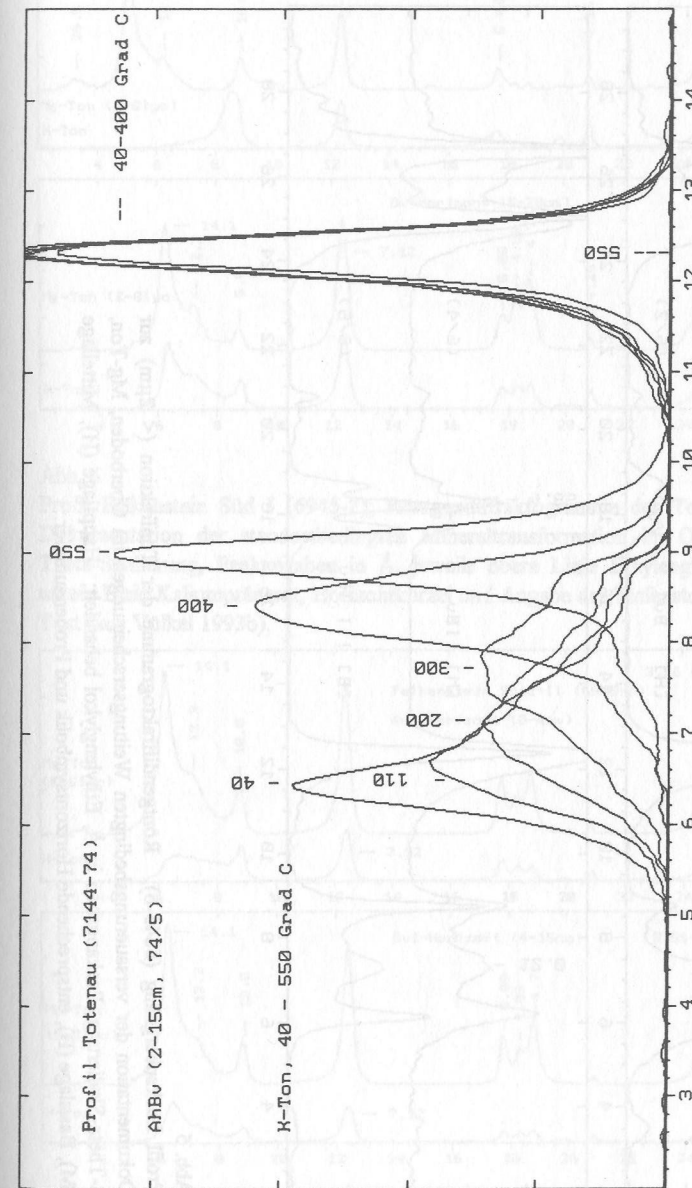


Abb. 4
Identifizierung der 14Å-Minereale der Bv-Horizonte von Hauptlagen (hier Profil Totenau) als pedogen chloritisiert, vermutlich infolge atollartiger Einlagerung von Al-Hydroxypolymeren. Mg-Ton, Kaliumpräparat, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, Temperaturbeaufschlagung in Grad Celsius (aus Völkel 1993b).

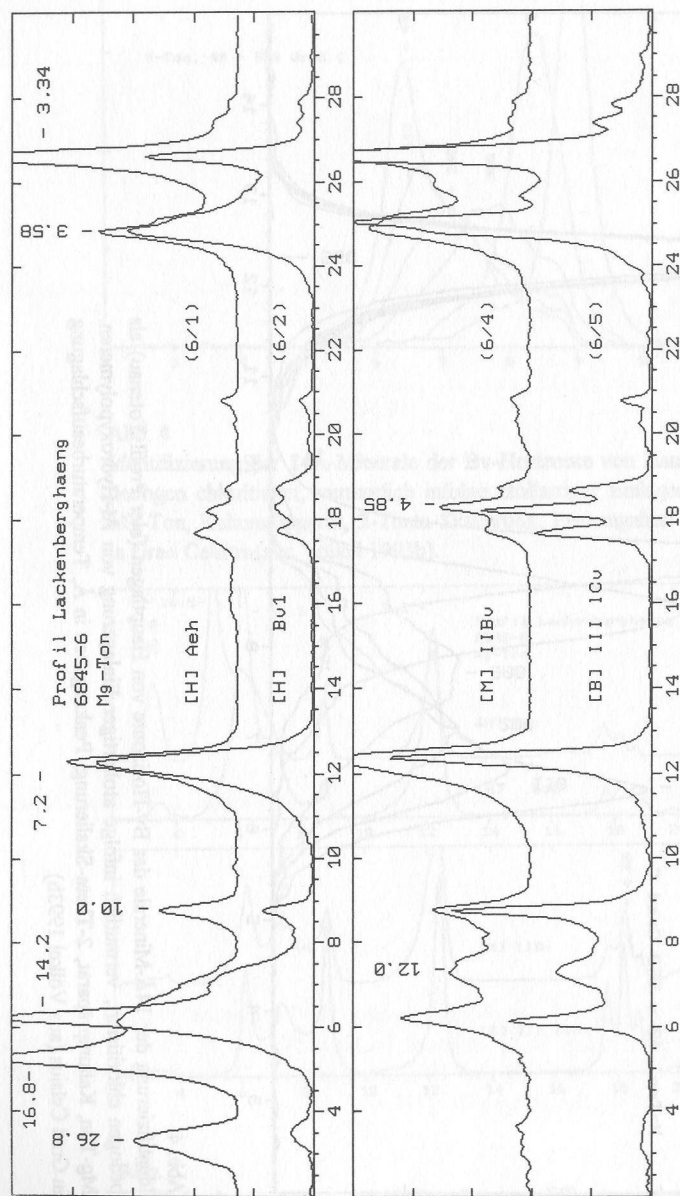


Abb. 5
 Profil Lackenberghang (6845-6); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der versauerungsbedingten Weitungerscheinungen im Oberboden; Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in $^{\circ}$, jeweils obere Linie Ethylenglykol behandelt, jeweils untere Linie Kaliumpräparat, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

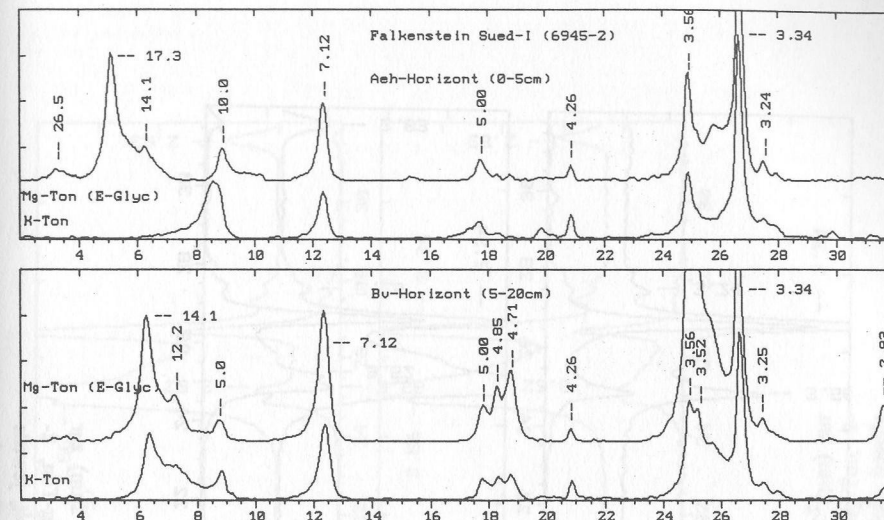


Abb. 6
 Profil Falkenstein Süd I (6945-2); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der standortbedingten Mineraltransformation im Oberboden; Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in $^{\circ}$, jeweils obere Linie Ethylenglykol behandelt, jeweils untere Linie Kaliumpräparat, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

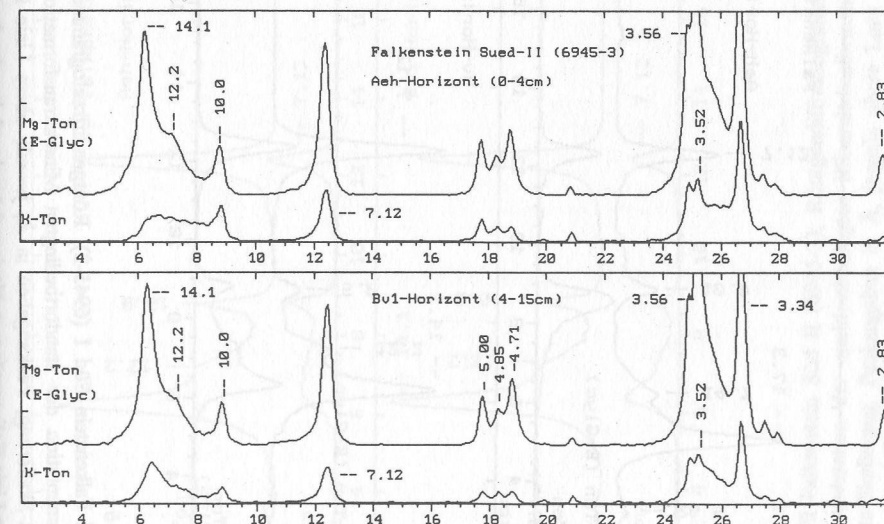


Abb. 7
 Profil Falkenstein Süd II (6945-3); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der standortbedingten Mineraltransformation im Oberboden; Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in $^{\circ}$, jeweils obere Linie Ethylenglykol behandelt, jeweils untere Linie Kaliumpräparat, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

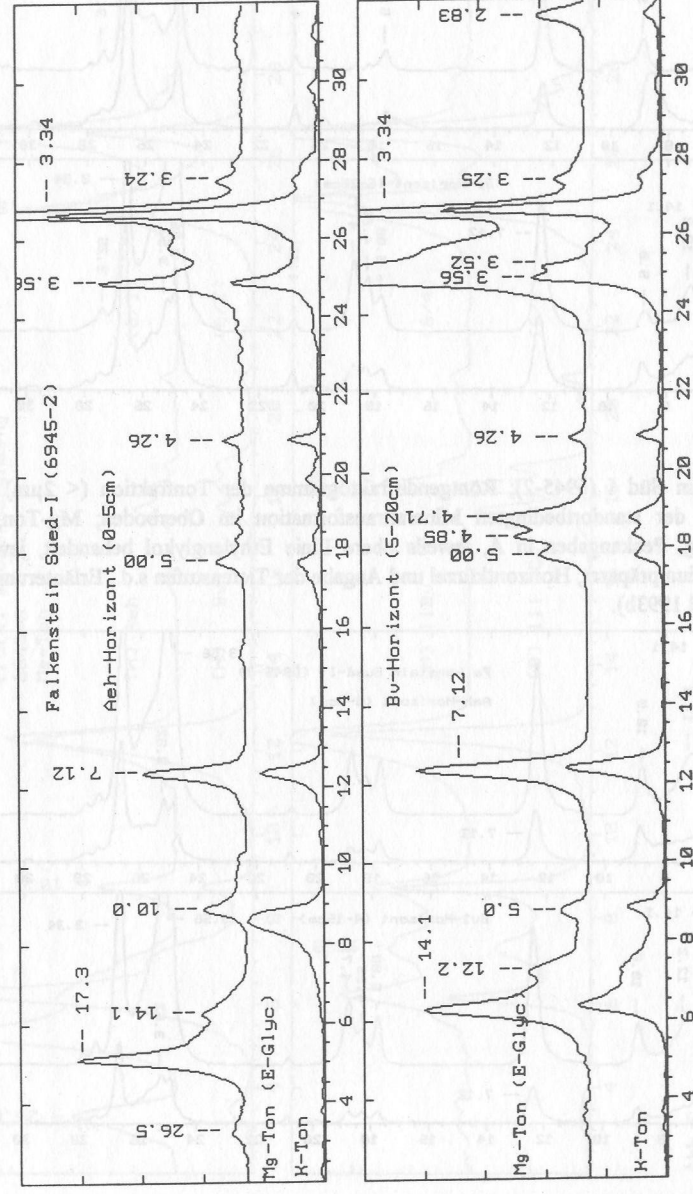


Abb. 6

Profil Falkenstein Süd I (6945-2); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der standortbedingten Mineraltransformation im Oberboden; Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, jeweils obere Linie Ethylenglykol behandelt, jeweils untere Linie Kaliumpräparat, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

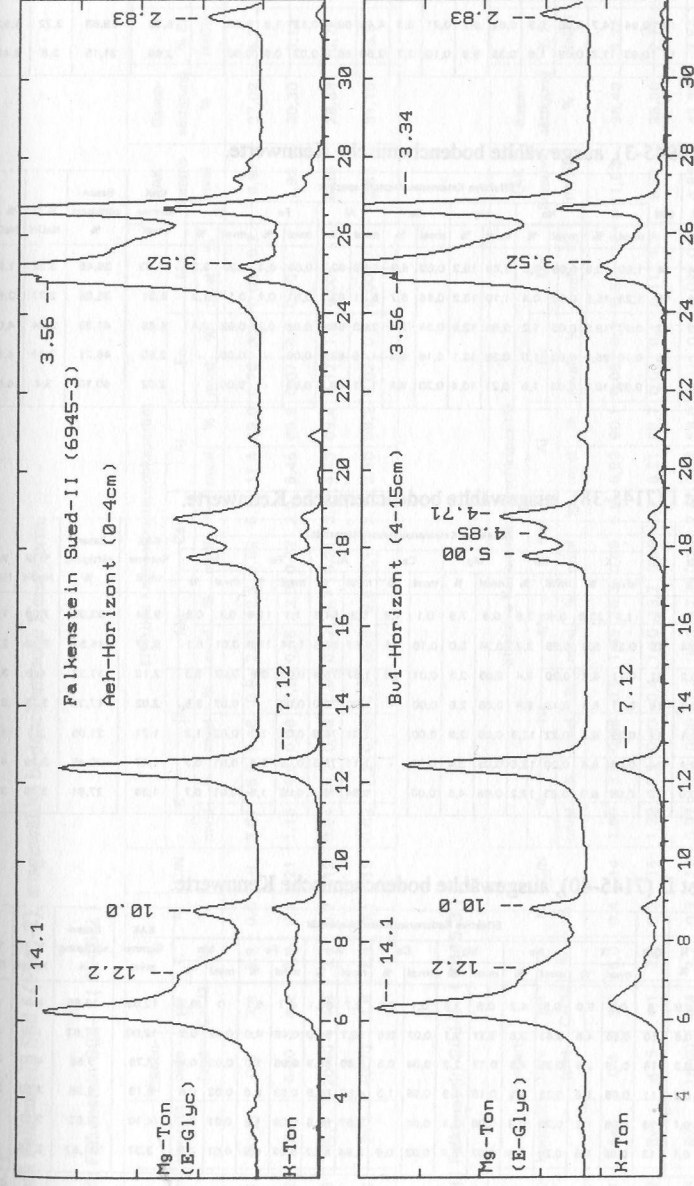


Abb. 7

Profil Falkenstein Süd II (6945-3); Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) zur Dokumentation der standortbedingten Mineraltransformation im Oberboden; Mg-Ton, 2-Theta-Skalierung, Peakangaben in Å, jeweils obere Linie Ethylenglykol behandelt, jeweils untere Linie Kaliumpräparat, Horizontkürzel und Angabe der Tiefenstufen s.d., Erläuterung im Text (aus Völkel 1993b).

Tab. 1
Profil Falkenstein Süd I (6945-2), ausgewählte bodenchemische Kennwerte.

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH CaCl2	C %	N %	C/N	Effektive Kationenaustauschkapazität																KAK Summe mval	Basen- sättigung %	% Si NaOH	% Al NaOH	Mol- verhältnis SiO2/ Al2O3
							K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn								
							mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%							
2/1	A(e)h	0-5	3,4	5,9	0,6	9	3,61	18,6	0,18	0,9	2,39	12,3	0,99	5,1	11,4	59,0	0,75	3,9	0,03	0,2	19,37	37,02	4,29	1,31	6,29		
2/2	Bv	5-20	4,2	3,9	0,2	21	1,16	14,6	0,06	0,8	0,95	12,0	0,23	2,9	5,45	68,8	0,07	0,9	0,00	-	7,92	30,30	3,13	3,76	1,60		
2/3	IIbV1	20-40	4,4	3,4	0,2	19	0,94	14,7	0,06	0,9	0,62	9,7	0,21	3,3	4,43	69,4	0,12	1,9	0,00	-	6,38	28,68	3,72	4,92	1,45		
2/4	Bv2	40-70	4,6	1,3	0,1	19	0,63	17,2	0,06	1,6	0,35	9,6	0,10	2,7	2,50	68,3	0,02	0,5	0,00	-	3,66	31,15	3,8	4,41	1,65		

Tab. 2
Profil Falkenstein Süd II (6945-3), ausgewählte bodenchemische Kennwerte.

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH CaCl2	C %	N %	C/N	Effektive Kationenaustauschkapazität												KAK Summe mval	Basen- sättigung %	% Si NaOH	% Al NaOH	Mol- verhältnis SiO2/ Al2O3		
							K		Na		Mg		Ca		Al		Fe							Mn	
							mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%						mval	%
3/1	Aeh	0-4	3,8	5,0	0,4	14	1,60	13,8	0,06	0,5	1,89	16,3	0,69	5,9	6,99	60,1	0,03	0,3	0,37	3,2	11,63	36,46	3,32	1,94	3,29
3/2	Bv1	4-15	4,1	3,2	0,2	15	1,29	15,5	0,03	0,4	1,10	13,2	0,56	6,7	5,21	62,7	0,01	0,1	0,11	1,3	8,31	35,86	2,77	2,67	1,99
3/3	Bv2	15-40	4,4	2,7	0,2	17	0,97	19,9	0,06	1,2	0,63	12,9	0,36	7,4	2,83	58,0	0,01	0,2	0,02	0,4	4,88	41,39	2,84	4,02	1,36
3/4	IIbV	40-70	4,6	1,4	0,1	16	0,75	25,9	0,03	1,0	0,38	13,1	0,18	6,2	1,56	53,8	0,00	-	0,00	-	2,90	46,21	3,41	4,27	1,53
3/5	IIIbVcV	90-110	4,6	1,1	n.b.	-	0,37	18,3	0,03	1,5	0,21	10,4	0,20	9,9	1,21	59,9	0,00	-	0,00	-	2,02	40,10	3,4	4,62	1,41

Tab. 3
Profil Brotjackriegel Ost I (7145-38), ausgewählte bodenchemische Kennwerte.

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH CaCl2	C %	N %	C/N	Effektive Kationenaustauschkapazität																	KAK Summe mval	Basen- sättigung %	% Si NaOH	% Al NaOH	Mol- verhältnis SiO2/ Al2O3
							K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn									
							mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%								
38/1	Oh	+7	3,2	6,4	1,1	6	1,9	20,0	0,4	3,9	0,8	7,9	0,1	1,2	5,3	54,6	1,1	11,4	0,1	0,9	9,64	33,09	7,29	1,79	7,82			
38/2	Bsh	1-3	3,3	6,3	0,4	15	0,36	5,3	0,25	3,7	0,34	5,0	0,10	1,5	4,57	67,5	1,14	16,8	0,01	0,1	6,77	15,51	5,48	2,65	3,97			
38/3	(lo)Bv	3-40	3,9	4,0	0,2	21	0,11	5,2	0,20	9,4	0,05	2,3	0,01	0,5	1,67	78,4	0,02	0,9	0,07	3,3	2,13	17,37	4,2	3,95	2,04			
38/4	III(lo)Bv	40-50	4,2	3,0	0,2	18	0,11	5,4	0,19	9,4	0,05	2,5	0,00	-	1,60	79,2	0,00	-	0,07	3,5	2,02	17,33	3,75	3,84	1,88			
38/5	"	50-70	4,3	1,4	0,1	12	0,09	5,3	0,22	12,9	0,05	2,9	0,00	-	1,31	76,6	0,02	1,2	0,02	1,2	1,71	21,05	2,8	4,25	1,26			
38/6	IIIcVbV	90-110	4,4	1,3	0,1	14	0,08	5,4	0,20	13,6	0,05	3,4	0,00	-	1,11	75,5	0,02	1,4	0,01	0,7	1,47	22,45	3,19	4,19	1,46			
38/7	IV ICv	130-150	4,4	0,4	0,0	10	0,08	6,0	0,23	17,2	0,06	4,5	0,00	-	0,94	70,1	0,02	1,5	0,01	0,7	1,34	27,81	2,76	3,99	1,33			

Tab. 4
Profil Brotjackriegel Ost II (7145-40), ausgewählte bodenchemische Kennwerte.

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH CaCl2	C %	N %	C/N	Effektive Kationenaustauschkapazität																KAK Summe mval	Basen- sättigung %	% Si NaOH	% Al NaOH	Mol- verhältnis SiO2 Al2O3
							K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn								
							mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%							
40/0	Oh	+2	3,7	6,4	0,8	8	0,6	5,0	0,5	4,2	0,5	3,8	0,1	0,6	9,7	80,1	0,7	6,1	0	0,2	12,09	13,56	n.b.	n.b.			
40/1	Aeh	0-2	3,7	5,9	0,6	10	0,55	4,6	0,43	3,6	0,37	3,1	0,07	0,6	10,1	84,0	0,48	4,0	0,02	0,2	12,00	11,83	n.b.	n.b.			
40/2	loBv	10-20	4,1	4,3	0,3	14	0,19	2,5	0,35	4,5	0,17	2,2	0,04	0,5	6,89	88,9	0,08	1,0	0,03	0,4	7,75	9,68	4,03	2,44	3,17		
40/3	(lo)Bv	20-30	4,4	1,9	0,2	11	0,08	1,6	0,25	4,9	0,10	1,9	0,05	1,0	4,59	89,5	0,03	0,6	0,03	0,6	5,13	9,36	3,58	2,86	2,40		
40/4	*	40-50	4,5	1,9	0,1	16	0,05	1,2	0,26	6,3	0,06	1,5	0,00	-	3,67	89,5	0,05	1,2	0,01	0,2	4,10	9,02	3,51	3,68	1,83		
40/5	IIbV	70-80	4,5	1,3	0,1	13	0,05	1,5	0,25	7,4	0,07	2,1	0,02	0,6	2,94	87,2	0,03	0,9	0,01	0,3	3,37	11,57	3,55	3,18	2,14		

Tab. 1
Profil Falkenstein Süd I (6945-2), ausgewählte bodenchemische Kennwerte.

Profil Falkenstein Süd-I (6945-2)

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH CaCl2	C %	N %	C/N	Effektive Kationenaustauschkapazität												KAK Summe mval	Basen- sättigung %	% Si NaOH	% Al NaOH	Mol- verhältnis SiO2/ Al2O3		
							K		Na		Mg		Ca		Al		Fe							Mn	
							mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%						mval	%
2/1	A(e)h	0-5	3,4	5,9	0,6	9	3,61	18,6	0,18	0,9	2,39	12,3	0,99	5,1	11,4	59,0	0,75	3,9	0,03	0,2	19,37	37,02	4,29	1,31	6,29
2/2	Bv	5-20	4,2	3,9	0,2	21	1,16	14,6	0,06	0,8	0,95	12,0	0,23	2,9	5,45	68,8	0,07	0,9	0,00	-	7,92	30,30	3,13	3,76	1,60
2/3	IIbV1	20-40	4,4	3,4	0,2	19	0,94	14,7	0,06	0,9	0,62	9,7	0,21	3,3	4,43	69,4	0,12	1,9	0,00	-	6,38	28,68	3,72	4,92	1,45
2/4	Bv2	40-70	4,6	1,3	0,1	19	0,63	17,2	0,06	1,6	0,35	9,6	0,10	2,7	2,50	68,3	0,02	0,5	0,00	-	3,66	31,15	3,8	4,41	1,65

Profil Falkenstein Süd-II (6945-3)

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH CaCl2	C %	N %	C/N	Effektive Kationenaustauschkapazität																	KAK Summe mval	Basen- sättigung %	% Si NaOH	% Al NaOH	Mol- verhältnis SiO2/ Al2O3
							K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn									
							mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%								
3/1	Aeh	0-4	3,8	5,0	0,4	14	1,60	13,8	0,06	0,5	1,89	16,3	0,69	5,9	6,99	60,1	0,03	0,3	0,37	3,2	11,63	36,46	3,32	1,94	3,29			
3/2	Bv1	4-15	4,1	3,2	0,2	15	1,29	15,5	0,03	0,4	1,10	13,2	0,56	6,7	5,21	62,7	0,01	0,1	0,11	1,3	8,31	35,86	2,77	2,67	1,99			
3/3	Bv2	15-40	4,4	2,7	0,2	17	0,97	19,9	0,06	1,2	0,63	12,9	0,36	7,4	2,83	58,0	0,01	0,2	0,02	0,4	4,88	41,39	2,84	4,02	1,36			
3/4	IIbV	40-70	4,6	1,4	0,1	16	0,75	25,9	0,03	1,0	0,38	13,1	0,18	6,2	1,56	53,8	0,00	-	0,00	-	2,90	46,21	3,41	4,27	1,53			
3/5	IIIbVcV	90-110	4,6	1,1	n.b.	-	0,37	18,3	0,03	1,5	0,21	10,4	0,20	9,9	1,21	59,9	0,00	-	0,00	-	2,02	40,10	3,4	4,62	1,41			

Profil Brotjackriegel Ost-I (7145-38)

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH CaCl2	C %	N %	C/N	Effektive Kationenaustauschkapazität												KAK Summe mval	Basen- sättigung %	% Si NaOH	% Al NaOH	Mol- verhältnis SiO2/ Al2O3		
							K		Na		Mg		Ca		Al		Fe							Mn	
							mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%						mval	%
38/1	Oh	+7	3,2	6,4	1,1	6	1,9	20,0	0,4	3,9	0,8	7,9	0,1	1,2	5,3	54,6	1,1	11,4	0,1	0,9	7,82				
38/2	Bsh	1-3	3,3	6,3	0,4	15	0,36	5,3	0,25	3,7	0,34	5,0	0,10	1,5	4,57	67,5	1,14	16,8	0,01	0,1	3,97				
38/3	(lo)Bv	3-40	3,9	4,0	0,2	21	0,11	5,2	0,20	9,4	0,05	2,3	0,01	0,5	1,67	78,4	0,02	0,9	0,07	3,3	2,04				
38/4	II(lo)Bv	40-50	4,2	3,0	0,2	18	0,11	5,4	0,19	9,4	0,05	2,5	0,00	-	1,60	79,2	0,00	-	0,07	3,5	1,88				
38/5	"	50-70	4,3	1,4	0,1	12	0,09	5,3	0,22	12,9	0,05	2,9	0,00	-	1,31	76,6	0,02	1,2	0,02	1,2	1,26				
38/6	IIICvBv	90-110	4,4	1,3	0,1	14	0,08	5,4	0,20	13,6	0,05	3,4	0,00	-	1,11	75,5	0,02	1,4	0,01	0,7	1,46				
38/7	IV ICv	130-150	4,4	0,4	0,0	10	0,08	6,0	0,23	17,2	0,06	4,5	0,00	-	0,94	70,1	0,02	1,5	0,01	0,7	1,33				

Profil Brotjackriegel Ost-II (7145-40)

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH CaCl2	C %	N %	C/N	Effektive Kationenaustauschkapazität														KAK Summe mval	Basen- sättigung %	% Si NaOH		Mol- verhältnis SiO2/ Al2O3
							K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn						
							mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%	mval	%					
40/0	Oh	+2	3,7	6,4	0,8	8	0,6	5,0	0,5	4,2	0,5	3,8	0,1	0,6	9,7	80,1	0,7	6,1	0	0,2	n.b.	n.b.	-		
40/1	Aeh	0-2	3,7	5,9	0,6	10	0,55	4,6	0,43	3,6	0,37	3,1	0,07	0,6	10,1	84,0	0,48	4,0	0,02	0,2	n.b.	n.b.	-		
40/2	loBv	10-20	4,1	4,3	0,3	14	0,19	2,5	0,35	4,5	0,17	2,2	0,04	0,5	6,89	88,9	0,08	1,0	0,03	0,4	2,44	4,03	3,17		
40/3	(lo)Bv	20-30	4,4	1,9	0,2	11	0,08	1,6	0,25	4,9	0,10	1,9	0,05	1,0	4,59	89,5	0,03	0,6	0,03	0,6	2,86	3,58	2,40		
40/4	"	40-50	4,5	1,9	0,1	16	0,05	1,2	0,26	6,3	0,06	1,5	0,00	-	3,67	89,5	0,05	1,2	0,01	0,2	3,51	3,68	1,83		
40/5	IIbV	70-80	4,5	1,3	0,1	13	0,05	1,5	0,25	7,4	0,07	2,1	0,02	0,6	2,94	87,2	0,03	0,9	0,01	0,3	3,55	3,18	2,14		

Beitrag der Teilchenzerkleinerung zur Veränderung der mineralogischen Zusammensetzung der Tonfraktion während der Pedogenese

Stefan Dultz

Institut für Bodenkunde der Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2,

D-30419 Hannover

Zusammenfassung

Für eine podsolierte Pseudogley-Braunerde aus Geschiebedecksand wird der mineralogische Stoffbestand und dessen Umsetzungen während der Pedogenese am Beispiel von Feldspat, Glimmer/Illit, Vermiculit und Kaolinit beschrieben.

Bei Feldspat führt die Verwitterung zu Abnahmen in den Sand- und zu Gewinnen in den Schluff- und Tonfraktionen. Verluste in den Schluff- und Grobtonfraktionen und Zunahmen in den Mittel- und Feintonfraktionen treten bei den Schichtsilikaten auf. Die Überführung von Teilchen in jeweils feinere Fraktionen stellt eine wesentliche Komponente der pedogenen Veränderung dar. Für die absoluten Gewinne der Minerale in der Tonfraktion gilt folgende Reihenfolge: Vermiculit > Feldspat > Kaolinit = Illit.

Einleitung

Der Tonfraktion stehen in vielen Böden hohe Gehalte in der Schluff- und Sandfraktion gegenüber. Durch chemische und physikalische Verwitterung können Minerale zerkleinert und in feinere Korngrößenfraktionen überführt werden. Teilchenzerkleinerung ist für alle Mineralarten bei verschieden hoher Intensität vorhanden. Je nach Verwitterungsstabilität und mineralogischer Zusammensetzung von Schluff- und Sandfraktionen werden Minerale in unterschiedlichem Ausmaß in die Tonfraktion überführt. Zur Interpretation der Veränderungen hinsichtlich der mineralogischen Zusammensetzung der Tonfraktion sind daher auch die Veränderungen in den größeren Korngrößenfraktionen zu berücksichtigen. Der mineralogische Stoffbestand und dessen Umsetzungen während der Pedogenese wird im folgenden für ein Gerüstsilikat und verschiedene Schichtsilikate, nämlich Feldspat, Glimmer/Illit, Vermiculit und Kaolinit beschrieben.

Material und Methoden

Die Untersuchungen werden an einer podsolierten Pseudogley-Braunerde aus Geschiebedecksand über Drenthe-Grundmoräne (Profil Bahrdf) dargestellt, die bei DULTZ (1993) ausführlich beschrieben ist. Die Bodenhorizonte des Geschiebedecksandes bestehen aus schwach schluffigem Sand. Die einheitliche Zusammensetzung des Ausgangsmaterials der Bodenbildung wurde mit Hilfe von Sandsummenkurven, der Bildung von Quarzquotienten von Sandfraktionen sowie dem