Article

Bodendegradierung mehrschichtiger Waldböden: Ergebnisse einer Fallstudie im Keuper-Lias Bergland Bad...

Eberle, Joachim

in: Die Erde - 129 | Periodical
18 page(s) (103 - 120)

Nutzungsbedingungen

DigiZeitschriften e.V. gewährt ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht kommerziellen Gebrauch bestimmt. Das Copyright bleibt bei den Herausgebern oder sonstigen Rechteinhabern. Als Nutzer sind Sie sind nicht dazu berechtigt, eine Lizenz zu übertragen, zu transferieren oder an Dritte weiter zu geben.
Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen:
Sie müssen auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten; und Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgend einer Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen; es sei denn, es liegt Ihnen eine schriftliche Genehmigung von DigiZeitschriften e.V. und vom Herausgeber oder sonstigen Rechteinhaber vor.
Mit dem Gebrauch von DigiZeitschriften e.V. und der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

DigiZeitschriften e.V. grants the non-exclusive, non-transferable, personal and restricted right of using this document. This document is intended for the personal, non-commercial use. The copyright belongs to the publisher or to other copyright holders. You do not have the right to transfer a licence or to give it to a third party.
Use does not represent a transfer of the copyright of this document, and the following restrictions apply:
You must abide by all notices of copyright or other legal protection for all copies taken from this document; and You may not change this document in any way, nor may you duplicate, exhibit, display, distribute or use this document for public or commercial reasons unless you have the written permission of DigiZeitschriften e.V. and the publisher or other copyright holders.
By using DigiZeitschriften e.V. and this document you agree to the conditions of use.

Kontakt / Contact

DigiZeitschriften e.V.
Papendiek 14
37073 Goettingen
Email: info@digizeitschriften.de

DIE ERDE	128	1998	S. 103 - 120	Regionaler Beitrag

• *Bodengeographie - Waldböden - Südwestdeutschland*

Joachim Eberle (Stuttgart)

Bodendegradierung mehrschichtiger Waldböden: Ergebnisse einer Fallstudie im Keuper-Lias Bergland Baden-Württembergs

Degradation of multilayered forest soils: report about researches in the Keuper-Lias highland of southwestern Germany

Mit 5 Figuren und 4 Tabellen

Der erste Deutsche Waldbodenbericht von 1997 belegt die zunehmende Versauerung von über 80% unserer Waldböden. Diese Erkenntnis ist nicht neu, denn die nachhaltige Störung der Funktion von Waldböden als Puffer- und Filtersystem (Problemfeld 'Waldsterben') ist bereits seit mehr als 10 Jahren bekannt (*Meiwes* et al. 1984, *Blümel* 1986). Unverständlich ist es daher, wenn viele Entscheidungsträger in den Waldböden immer noch eine weitgehend intakte und nicht gefährdete Ressource sehen. In zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten wird seit geraumer Zeit versucht, Stoffeinträge zu bilanzieren, Stofflüsse zu modellieren oder auch bodengenetische Detailfragen zu klären. Obwohl sich die Kenntnisse laufend verbessern, gibt es noch sehr wenig konkrete Empfehlungen für die Umsetzung spezifischer Bodenschutzmaßnahmen (*Buberl* et al. 1994). Diese dürfen sich keinesfalls nur auf externe Ursachen (Reduktion der Säureemissionen) konzentrieren, sondern müssen vor allem auf einen verbesserten Bodenschutz vor Ort abzielen. In der vorliegenden Fallstudie soll versucht werden, den aktuellen Bodenzustand unter Berücksichtigung der Bodengenese zu analysieren und daraus einige Empfehlungen im Hinblick auf die forstwirtschaftliche Nutzung vor Ort abzuleiten. Auch wenn sich die Untersuchungsergebnisse nur auf einen kleinen Ausschnitt des Keuper-Lias-Berglandes beziehen, dürften sich die abgeleiteten Zuammenhänge doch auf vergleichbare Landschaften (z.B. Keuperbergland und Braunjura-Hügelland) Süddeutschlands übertragen lassen.

1. Einleitung und Problemstellung

Im Zuge der Erforschung von Ursachenkomplexen anthropogen induzierter Baumschäden in den letzten zehn Jahren standen auch die Waldböden immer wieder im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses (*Meiwes* et al. 1984, *Blümel* 1986, *Weber* 1990). Die umfassende Fallstudie von *Buberl* et al. (1994) zum chemischen Zustand der Waldböden in Ba-

den-Württemberg hat aufgezeigt, daß die einzelnen Bodenlandschaften dieses Raumes eine sehr differenzierte Betrachtung erfordern. Spezifische Veränderungen der Waldböden gehen dabei nicht nur von natürlichen Verwitterungsprozessen und chemischen Stoffeinträgen (Stichwort: natürliche und anthropogene Waldbodenversauerung) aus, sondern werden zunehmend auch durch den massiven Einsatz mechanisierter Holzernteverfahren induziert (*Leutz* et al. 1980, *Hildebrand* und *Wiebel* 1981). Dadurch kommt es neben Veränderungen pedogener Merkmale und Bodeneigenschaften auch zur Degradierung der kaltzeitlich entstandenen Mehrschichtsubstrate und damit zum Verlust eines landschaftsgeschichtlichen Erbes. Die Auswirkungen dieser 'schleichenden' Bodendegradierung unter Wald sind bislang wenig erforscht und werden sich möglicherweise erst in einigen Jahrzehnten ökologisch und ökonomisch in vollem Umfang bemerkbar werden. Die Fallstudie im Keuper-Lias-Bergland südwestlich von Stuttgart versucht, folgenden geoökologisch relevanten Teilfragen dieser Thematik nachzugehen:

- Lassen sich Zusammenhänge zwischen Substratgenese (periglaziäre Deckschichten) und chemischem Bodenzustand (Versauerung, Basensättigung, Kationenaustauschkapazität) herstellen ?

- Wie tief reicht die Versauerungsfront in den untersuchten Böden und inwieweit spielen dabei primäre Substratmerkmale und Substratgrenzen eine Rolle ?

- Welche Rückschlüsse lassen sich im Hinblick auf aktuelle Nährstoffverfügbarkeit sowie Säurepuffer und Filtereigenschaften der untersuchten Standorte ziehen ?

- Wie wirkt sich die forstwirtschaftliche Intensivnutzung auf Mehrschichtböden aus und welche Schutzmaßnahmen können getroffen werden?

2. Lage und naturräumliche Charakterisierung

Das Arbeitsgebiet liegt etwa 20 Kilometer südwestlich von Stuttgart im Waldbereich zwischen den Städten Böblingen, Herrenberg und Waldenbuch(*Fig. 1*). Naturräumlich kann dieses Gebiet noch zum nördlichsten Ausläufer des Schönbuch gerechnet werden, der bereits im Rahmen einer umfassenden landschaftsökologischen Studie bearbeitet wurde (*Bibus* 1986, *Einsele* et al. 1986). Mit Jahresmitteltemperaturen um 8,5°C sowie Jahresniederschlagssummen von etwa 800mm, liegt der betrachtete Raum im Übergangsbereich zwischen den Gäulandschaften und dem kühleren und niederschlagreicheren Vorland der Mittleren Schwäbischen Alb.

Die untersuchte Profilreihe *(Fig. 2)* befindet sich unter Wald und reicht von der Hochfläche des Lias α (Psilonotentone und widerständige Angulatensandsteine) über die Knollenmergelhänge (km 5) bis zur Stubensandsteinfläche des Mittleren Keupers (km 4). Vom höchsten Punkt (509 m NN) nordwestlich von Profil A95 reicht die Catena bis auf ca. 437 m NN am Krähenbach, einem Quellast der Aich *(Fig. 1)*. Die Lias α-Stufe springt im Gebiet von Böblingen und Stuttgart sehr weit gegen die Gäulandschaften im Westen vor, was mit der tektonischen Tieflage im Bereich des Fildergrabensystems und daraus resultierender Reliefumkehr zu erklären ist (*Geyer* und *Gwinner* 1991 und *Fig. 1*). Die Liasfläche weist häufig eine 0,5 bis 2m mächtige Lößlehmbedeckung ('Filderlehm') auf und wird in aller Regel landwirtschaftlich genutzt. Aufgrund der unmittelbar angrenzenden, intensiv agrarisch genutzten Flächen ist davon auszugehen, daß dieses Waldgebiet in der Vergangenheit

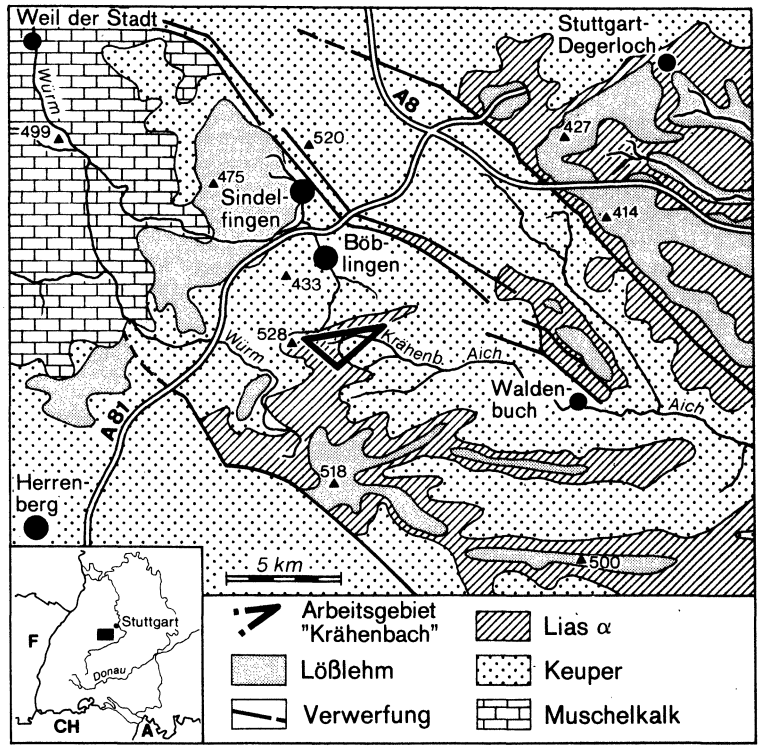

Fig. 1 Lage des Untersuchungsgebietes und generalisisierte Darstellung der geologischen Verhältnisse / *Geologic situation and location of the study area in southwestern part of Germany*

durch Waldweide und Streuentnahme genutzt wurde (z.T. deutlicher Hallenwaldcharakter). Auch andere nichtforstwirtschaftliche Nutzungsformen sind nachweisbar (Steinbrüche, alte Weinberge), von denen aber der hier untersuchte Hangbereich nicht betroffen ist.

3. Reliefsituation und Substratgenese

Für das Arbeitsgebiet kann eine geologisch-geomorphologische Dreiteilung vorgenommen werden, wobei jede Einheit durch zwei Leitprofile charakterisiert werden soll *(Fig. 2)*. Die wichtigsten Merkmale der periglaziären Deckschichten werden in *Tabelle 1* zusammengefaßt.

Die Profile A95 und B96 liegen im Bereich der *Liasfläche*, die durch eine bis zu zwei Meter mächtige, im Randbereich (bei Profil B96) auch fehlende Lößlehmbedeckung gekennzeichnet ist. Eine schwach sandige Hauptlage (LH) ist, abgesehen von sehr exponierten Bereichen direkt am Stufenrand, immer vorhanden.

Die Ton-Mergelhänge des Knollenmergels bilden die zweite geomorphologische Einheit. Die Oberhänge sind meist stark durch Lößlehm und Liasverwitterungsmaterial überprägt, so daß die typischen dunkelroten Knollenmergelsubstrate erst am Unterhang anzutreffen sind (Profile C95 und D95). Der gesamte 5-12° geneigte Hangbereich ist von Fließerden

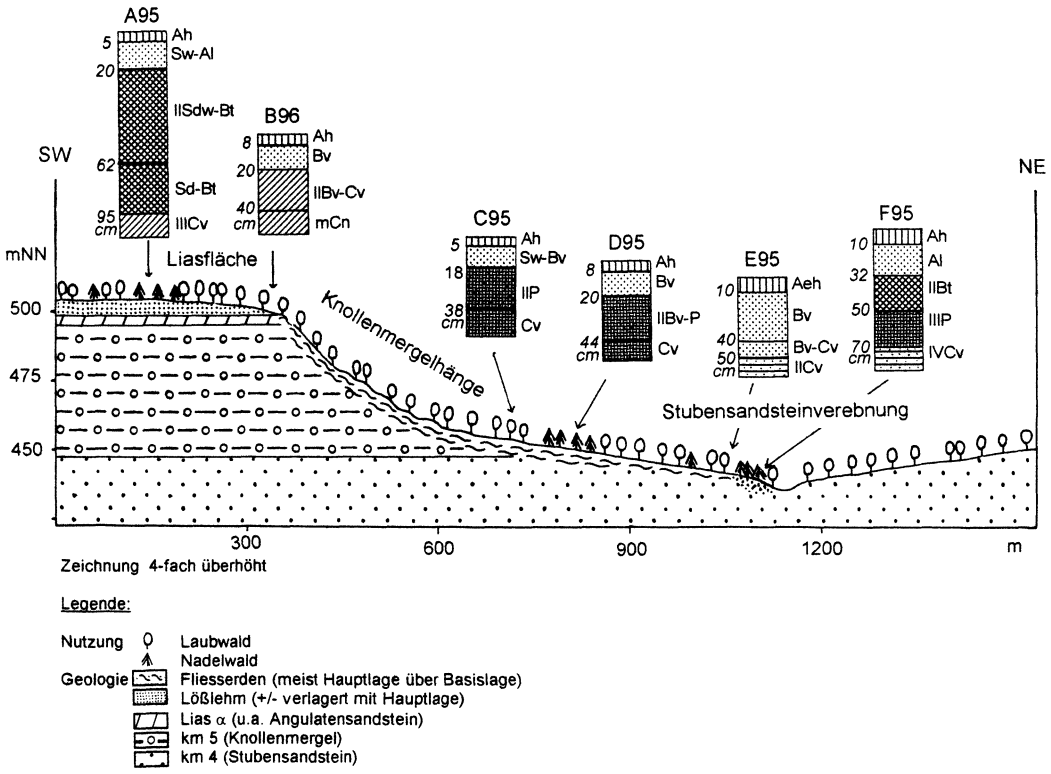

Fig. 2 Schematisierter Profilschnitt von der Liasfläche über die Knollenmergelhänge bis auf die Verebnung des oberen Stubensandsteins und Lage der Leitprofile / *Schematic presentation of the relief situation from the Lias-plateau to middle Keuper and location of the six soil profiles*

überzogen, wobei sehr häufig mehrgliedrige Basislagen auftreten. Die Hauptlage ist flächenhaft verbreitet, teilweise allerdings durch anthropogene Eingriffe (Waldweide, am Unterhang z.T. auch ehemalige kleine Ackerparzellen?) stark verkürzt.

Als dritte geomorphologische Einheit ist die Verebnung des obersten Stubensandsteins auszugliedern, die durch sehr kleinräumige Substratwechsel gekennzeichnet ist. Dies liegt zum einen daran, daß die Fließerden der Knollenmergelhänge teilweise noch weit auf die Stubensandsteinfläche übergreifen (Fig. 2). Zum anderen ist die petrographische Inhomogenität des Stubensandsteins mit seinen unterschiedlich mächtigen sandig-tonigen Wechsellagerungen (z.B. bei Profil E95) für diese Differenzierung verantwortlich zu machen (*Bibus* et al. 1991). Auch in dieser Reliefeinheit ist fast immer eine Hauptlage entwickelt, die über verwittertem Stubensandstein oder auch einer geringer mächtigen Basislage auftritt. Ist zusätzlich noch Lößlehm vorhanden, so sind komplexere Mehrschichtprofile (vgl. Profil F95, *Fig. 2*) entwickelt.

Der mehrschichtige Aufbau aller hier vorgestellten Profile ließ sich meist bereits mit Hilfe der Geländemerkmale (Körnung, Skelettgehalte, Farbe) eindeutig nachweisen. Zusätzlich angefertigte Schwermineralpräparate stüt-

Tab. 1 Gliederung und diagnostische Geländemerkmale periglaziärer Deckschichten (nach AG BODENKUNDE 1994: 363 mit einz. Ergänzungen) / Survey of the nomenclature of periglacial sediments in German soil science.

Bezeichnung	Genese und Petrographie	Verbreitung
Basislage (LB)	Aus liegenden und/oder in Nachbarschaft hangaufwärts vorkommenden Gesteinen durch periglaziale Prozesse (vorw. Solifluktion) entstanden. Äolische Fremdanteile fehlend bzw. im Feld nicht nachweisbar.	Abgesehen von stark exponierten Geländepositionen weit verbreitet. Häufig mehrgliedriger Aufbau, am Unterhang z.T. mehrere Meter mächtig.
Mittellage (LM)	Neben Aufarbeitung von liegendem Material der LB oder des anstehenden Gesteins immer auch deutliche äolische Fremdkomponente. Markanter Substratunterschied zur LB. häufig skelettärmer als die LH	In der Regel im Hangenden der LB, im Bergland im allgemeinen aber nur in erosionsgeschützten (Paläo-) Reliefpositionen erhalten. Häufig mehrgliedriger Aufbau, meist < 5 dm mächtig
Hauptlage (LH)	Neben Aufarbeitung von liegendem Material der LB, LM oder des anstehenden Gesteins immer deutliche äolische Komponente. Häufig allerödzeitliche Bimsaschen enthalten (-> Beleg f. jungtundrenzeitliche Entstehung der LH). Skelettanreicherung an der Basis nicht selten.	Im Hangenden der LB, LM oder des anstehenden Festgesteins. Ausserhalb holozäner Erosions- und Akkumulationsgebiete fast überall an der Oberfläche ausgebildet. Mächtigkeit meist < 5 dm

zen die Geländebefunde. Auf die Geogenese der Profile soll in diesem Rahmen aber nur in soweit eingegangen werden, als sie für die Ausgangsfragestellungen von Bedeutung ist. Die Auswahl der Profile erfolgte vor dem Hintergrund einer möglichst vollständigen Erfassung der charakteristischen Ausgangssubstrate im Keuper-Lias-Bergland. Neben den Extrembodenarten Sand und Ton, die durchaus vorkommen, sind auch sehr schluffreiche Substrate vorhanden. Naturgemäß dominieren die Lehme, die allerdings nach der neuen 'Bodenkundlichen Kartieranleitung' (AG Bodenkunde 1994) meist bereits als lehmige oder schluffige Tone (Tl, Tu) ausgewiesen werden müssen *(Tab. 2* bis *4)*.

4. Charakterisierung der Leitprofile

Nachfolgend werden die Leitprofile der drei Reliefeinheiten vorgestellt *(Tab. 2* bis *4* sowie *Fig. 2)*. Die analytische Bearbeitung wurde auf die Mineralbodenhorizonte beschränkt. Die Humusformen liegen durchweg im Bereich F-Mull bis mullartiger Moder (Feldansprache nach AG-Bodenkunde 1994). Lediglich bei Profil C95 war unter Buchenwald ein reiner L-Mull ausgebildet. Standort D95 liegt unter Fichtenbestand, die übrigen Leitprofile wurden unter Laub/Nadel-Mischwald angelegt. Neben den Leitprofilen stützt sich die Interpretation auch auf zahlreiche Einschläge mit dem Pürkhauer-Bohrer (bis 1m).

Tab. 2 Kennwerte der Profile A95 und B96 (Liasfläche) / *Characteristics of profile A95 and B96 on the Lias plateau*

Profil A95 / Horiz.	Horizont Untergrenze (cm)	pH H_2O	pH $CaCl_2$	$CaCO_3$ Gew. %	Nt %	Korngröße Feinboden (Köhn) S %	U %	T %	Bodenart	KAKe µval/g	BS %
Ah	5	4,2	3,5	0,3	0,14	10,1	56,9	33,0	Tu3	99	8
SwAl	20	4,4	3,7	0,1	0,07	6,5	53,3	40,2	Tu3	81	8
IISdw-Bt	62	4,9	4,2	0,2	0,06	1,1	25,1	73,8	Tt	250	75
Sd-Bt	95	7,3	6,7	0,3	0,06	2,3	27,3	70,5	Tt	()	(100)
IIICv	110+	8,2	7,5	2,4	0,05	0,9	30,9	68,2	Tt	()	(100)
Bodenform: Pseudogley-Parabraunerde aus schluffreicher Hauptlage über Lößlehm und Lias-α-Tonen											

Profil B96 / Horiz.	Horizont Untergrenze (cm)	pH H_2O	pH $CaCl_2$	$CaCO_3$ Gew. %	Nt %	Korngröße Feinboden (Köhn) S %	U %	T %	Bodenart	KAKe µval/g	BS %
Ah	8	4,3	3,7	0,2	-	37,6	48,6	13,8	Slu	54	20
Bv	20	3,7	4,2	0,3	-	32,8	51,2	16,1	Uls	43	2
IIBv-Cv	40	3,8	4,4	0,1	-	40,3	41,7	18,0	Ls2	37	3
mCn	40+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bodenform: Braunerde aus Hauptlage über Angulatensandstein											

Methodische Erläuterungen zu den Tabellen 2 bis 4:
Die verwendete Ammoniumchlorid-Perkolation (nach Meiwes et al. 1984) führt in karbonathaltigen Horizonten zu überhöhten KAKe-Werten. Daher wird auf die Angabe der Werte in diesen Fällen verzichtet (). Gleichwohl kann hier von sehr hohen KAKe-Werten und Basensättigungen um 100% ausgegangen werden. Die Basensättigung (BS) bezieht sich auf die Anteile der basischen Kationen K^+, Ca^{2+} und Mg^{2+} an der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAKe). Die Nt-Bestimmung erfolgte nach der Kjeldahl-, die $CaCO_3$ - Bestimmung nach der Scheibler-Methode (Schlichting et al. 1995). Die Schichtgrenzen im Profil werden durch vorangestellte römische Ziffern und die durchgezogenen schwarzen Linien zum Ausdruck gebracht.

4.1 Böden der Liasfläche

Im Zentrum der Liasfläche ist eine tiefgründige Pseudogley-Parabraunerde (Profil A95, *Fig. 2)* aus einer 20 cm mächtigen Hauptlage über Lößlehm und Liastonen entwickelt. Die höheren Sand- und Schluffgehalte im Ah- und Sw-Al-Horizont gegenüber den Unterbodenhorizonten belegen die Mehrschichtigkeit des Profils. Die Grenze Hauptlage-Lößlehm stellt in diesem Profil sedimentologisch eine markante Sprungschicht dar. Die Versauerungsfront ist bereits bis in eine Tiefe von etwa 60 cm vorgedrungen *(Tab. 2)*. Erst darunter steigt der pH-Wert sprunghaft bis in den Carbonatpufferbereich an (*Ulrich* 1981). Die Basensättigung steigt von Werten unter 10% in den oberen Horizonten auf 75% im IISdw-Bt-Horizont. Die starke Zunahme der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAKe) unterhalb der Hauptlage korreliert mit dem Anstieg des Tongehaltes im IISdw-Bt-Horizont. Die-

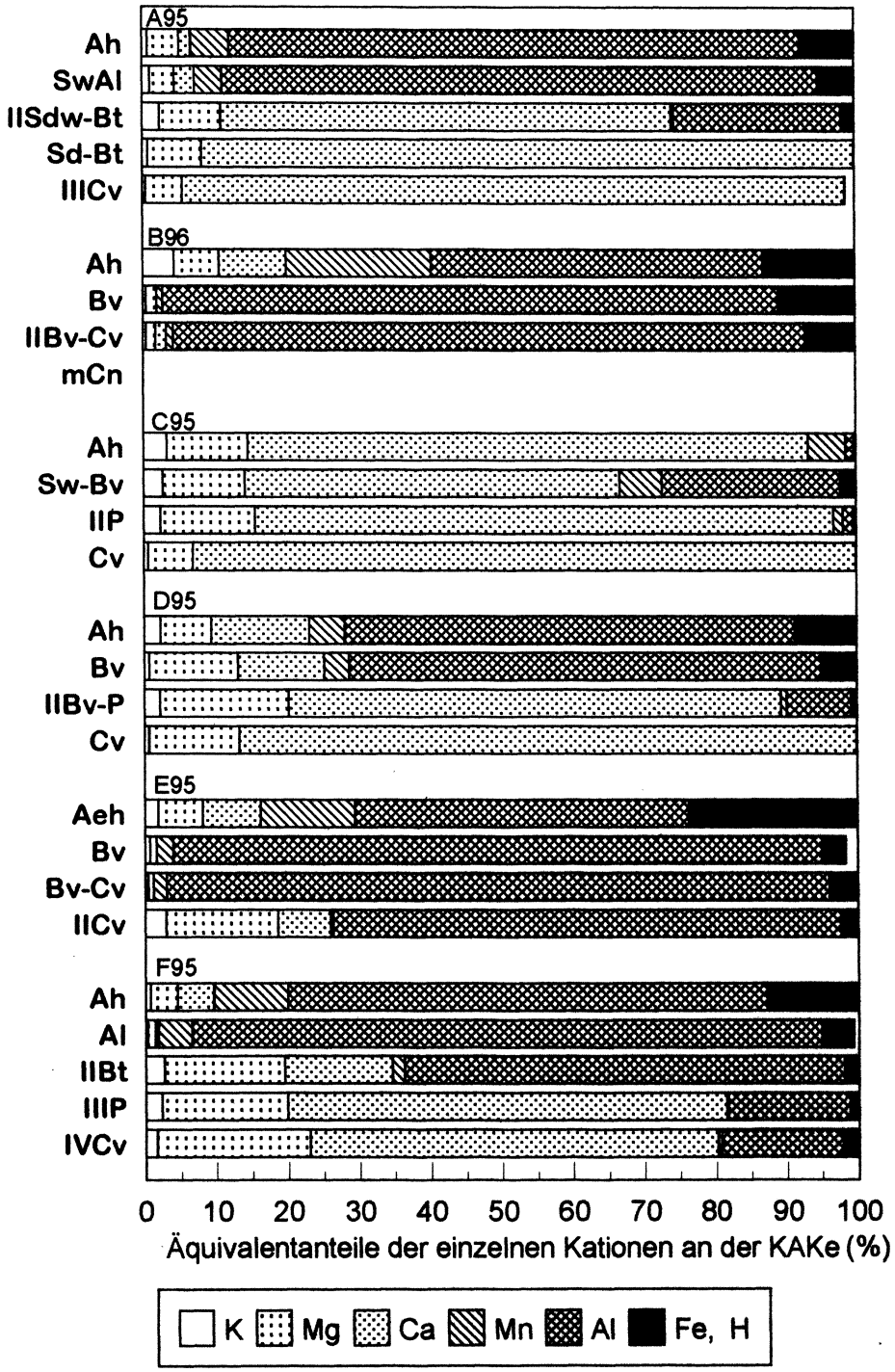

Fig. 3 Äquivalentanteile der einzelnen Kationen an der KAKe (aufsummiertes Balkendiagramm) / *Equivalent parts of cations relative to cation exchange capacity (CEC) (summarized diagram)*

ser Tongehaltsunterschied ist jedoch nicht nur auf Lessivierung, sondern auch auf primäre Körnungsunterschiede von Hauptlage und Lößlehm (evtl. mit älteren Verwitterungsbildungen) zurückzuführen. In den Horizonten der Hauptlage (Ah- und Sw-Al-Horizont) macht die Belegung mit Kationsäuren (Al^{3+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}) und H^{+}-Ionen über 90% der KAKe aus, wobei allein die Aluminiumsättigung fast 80% beträgt *(Fig. 3)*.

Das Profil B96 liegt am Rande der Lias-α-Fläche und ist als flach- bis mittelgründige Braunerde aus Hauptlage über Angulatensandstein zu bezeichnen. Ein Auskeilen des Lößlehms am Rande der Schichtstufe tritt regelhaft auf, was durch zahlreiche Bohrungen bestätigt wurde. Das Vorhandensein einer Hauptlage läßt sich aus der Korngröße des Feinbodens nicht ableiten *(Tab. 2)*. Hinweise auf eine Umlagerung ergeben sich aber aus der regellosen Verteilung von Angulatensandsteinen in den beiden oberen Horizonten. Das Profil ist durchgehend stark versauert (Al-Pufferbereich) und weist in allen Horizonten nur eine geringe Austauschkapazität auf. Die Basensättigung im Ah-Horizont liegt deutlich höher als im humusarmen Unterboden, was durch verstärkte Basenadsorption an organischen Komplexen zu erklären ist. Die Äquivalentanteile der einzelnen Kationen zeigen, daß in allen Horizonten Aluminium an den Austauschern dominiert, wobei insbesondere im Ah-Horizont auch erhebliche H- und Mn-Anteile nachweisbar sind *(Fig. 3)*. Im Bv- und IIBv-Cv-Horizont sind fast keine austauschbaren basischen Kationen mehr vorhanden.

4.2 Böden der Knollenmergelhänge

Die Leitprofile C95 und D95 liegen am unteren Mittelhang und unterscheiden sich in ihrem substratgenetischen Aufbau nur geringfügig *(Fig. 2, Tab. 3)*. An beiden Standorten ist eine Hauptlage ausgebildet, die sich in der Körnung (höhere Sand- und Schluffgehalte) deutlich vom liegenden Substrat unterscheidet. Im Profil C95 ist die Hauptlage allerdings gestört und nur gering mächtig. Unter der Hauptlage folgt in beiden Profilen ein sehr toniges rotbraunes Substrat, das in Profil D95 durch die Einarbeitung von Angulatensandsteinen eindeutig als Fließerde (Basislage) angesprochen werden muß. Für Profil C95, das in leicht konvexer Hangposition liegt, ist die Verlagerung im Unterboden nicht sicher nachzuweisen. Es könnte sich an dieser Stelle im Liegenden der Hauptlage auch um verwitterten Knollenmergel handeln. Bodentypologisch sind beide Profile als zweischichtiger Braunerde-Pelosol zu bezeichnen, der für Keupertonhänge sehr charakteristisch ist (*Müller* 1961, *Bibus* et al. 1991). Hydromorphe Merkmale, wie sie an vergleichbaren Reliefpositionen oft auftreten, sind in diesen Profilen nur relativ schwach ausgeprägt.

Profil C95 unterscheidet sich in den chemischen Kennwerten in auffallender Weise vom benachbarten Profil D95 und allen übrigen Leitprofilen. Auffallend ist die hohe Basensättigung im oberen Profilbereich *(Tab. 3, Fig. 4)*. Die pH-Werte sinken hier nicht unter den Austauscher-Pufferbereich ab. Die Kationenbelegung an den Austauschern wird im gesamten Profil von Ca und Mg bestimmt. Eine weitere Auffälligkeit sind die erhöhten Gehalte an organischem Material im Sw-Bv-Horizont und der deutliche pH-Sprung zwischen Ah- und Sw-Bv Horizont *(Tab. 3, Fig. 4)*. Eine Erklärung für die abweichenden Werte in den Oberbodenhorizonten des Profils C95 gibt möglicherweise die Flurbezeichnung 'Stückle', die auf eine ehemals nichtforstwirtschaftliche Nutzung hinweist. Profil D95 ist dagegen im Bereich der Hauptlage (Ah- und Bv-Horizont) stark versauert (Al-Pufferbereich), die Basensättigung erreicht nur noch Werte zwischen 20 und 25% *(Tab. 3)*.

Tab. 3 Kennwerte der Profile C95 und D95 (Knollenmergelhang). Methodische Hinweise vgl. *Tab. 2 / Characteristics of profile C95 and D95 in the area of the Keuper slopes. Methodical references see table 2*

Profil C95 ------- Horiz.	Horizont Untergrenze (cm)	pH H_2O	pH $CaCl_2$	$CaCO_3$ Gew. %	Nt %	Korngröße Feinboden (Köhn) S %	U %	T %	Bodenart	KAKe µval/g	BS %
Ah	5	5,4	4,8	0,1	0,31	3,8	57,8	38,3	Tu3	167	93
Sw-Bv	18	5,0	4,2	0,2	0,14	3,7	55,3	41,0	Tu3	100	67
II P	38	5,8	4,9	0,2	0,08	0,7	29,5	69,8	Tt	236	97
Cv	70+	8,2	7,6	17,6	0,05	0,6	33,5	65,9	Tt	()	(100)
Bodenform: Braunerde-Pelosol aus Hauptlage über Knollenmergel oder Basislage											

Profil D95 ------- Horiz.	Horizont Untergrenze (cm)	pH H_2O	pH $CaCl_2$	$CaCO_3$ Gew. %	Nt %	Korngröße Feinboden (Köhn) S %	U %	T %	Bodenart	KAKe µval/g	BS %
Ah	8	4,2	3,7	0,2	0,22	5,8	62,8	31,3	Tu3	83	23
Bv	20	4,6	3,9	0,2	0,09	8,7	60,8	30,5	Tu3	67	25
IIBv-P	44	4,9	4,4	0,2	0,08	1,3	27,7	71,0	Tt	281	89
Cv	80+	8,2	7,6	14,4	0,06	0,5	26,1	73,4	Tt	()	(100)
Bodenform: Braunerde-Pelosol aus Hauptlage über Basislage											

Im Unterboden weisen beide Profile ähnliche Merkmale auf. Die hohen Karbonatgehalte in den Cv-Horizonten sind auf nur schwach verwittertes Knollenmergelmaterial zurückzuführen. In beiden Profilen stellt die Untergrenze der Hauptlage eine markante bodenphysikalische Grenzschicht dar, was sich in Tongehaltsunterschieden von bis zu 40% widerspiegelt. Der obere Bereich der Basislage (IIP bzw. IIP-Bv-Horizont) ist bereits stark versauert, ein steiler Anstieg um fast drei pH-Wert Einheiten (bis in den Karbonatpufferbereich) erfolgt erst im Cv-Horizont *(Tab. 3, Fig. 4)*. Die Versauerungsfront ist also auch in diesen sehr dichten, tonreichen Substraten bereits bis in eine Tiefe von mehr als 40 cm vorgedrungen.

4.3 Böden der Stubensandsteinverebnung

Die Profile E95 und F95 liegen in einer Entfernung von ca 100 m, etwa 10 Höhenmeter oberhalb der schmalen Aue des Krähenbaches in vergleichbarer Reliefposition (leicht konvexer Hang, *Fig. 2)*. Dennoch lassen beide Profile eine sehr unterschiedliche Substratgenese erkennen, was sich auch in den pedogenen Merkmalen widerspiegelt. Hier zeigt sich sehr eindrücklich der bereits angedeutete kleinräumige Substratwechsel im Bereich der Stubensandsteinfläche *(Kap. 3)*.

Braunerden aus Hauptlage über Stubensandstein-Verwitterungsmaterial (Profil E95, *Tab. 4)* sind recht häufig, wobei Podsolierungsmerkmale unterschiedlich stark, jedoch nie profilprägend auftreten. Die Hauptlage in E95 zeichnet sich gegenüber den anderen Profilen

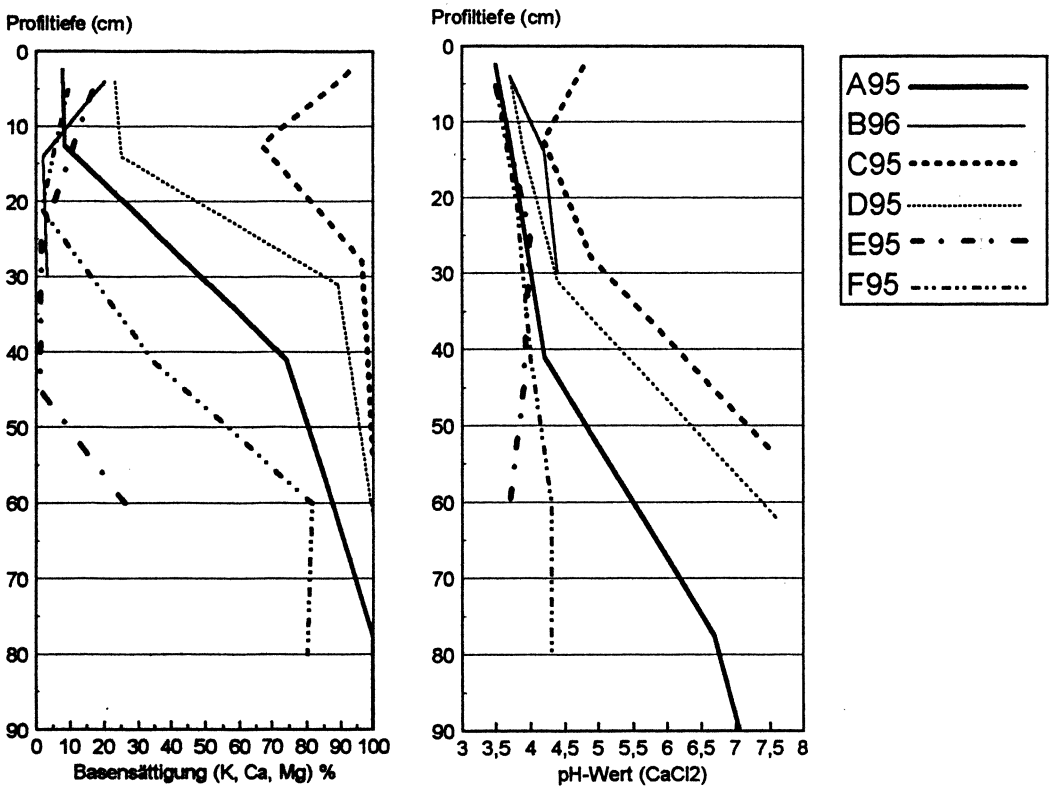

Fig. 4 Tiefenverlauf von Basensättigungen und pH ($CaCl_2$)-Werten der sechs Leitprofile/*Base saturation and pH-gradient of the soil profiles*

durch erhöhte Grob- und Mittelsandgehalte sowie Stubensandsteine bis zu Blockgröße aus. Die periglaziale Verlagerung wird aus der eingeregelten Skelettfraktion deutlich. Charakteristisch für den Stubensandstein sind Wechsellagerungen sandiger und toniger Straten, so daß der tonreiche IICv-Horizont das verwitterte Festgestein darstellt. Das Profil ist durchgehend stark versauert, die Basensättigung erreicht erst im IICv-Horizont einen Wert über 20%. Selbst in diesem Profilbereich dominiert noch das Aluminium an den Austauschern (Fig. 3). Eine nennenswerte Nachlieferung basischer Kationen ist in diesem Profil nicht zu erwarten, zumal der hohe Tongehalt im Unterboden die Durchwurzelbarkeit stark einschränkt.

Profil F95 stellt eine komplexe Mehrschicht-Parabraunerde (Hauptlage über Mittellage über Basislage über Stubensandstein) dar. Offensichtlich hat sich hier eine mächtigere quartäre Deckschichtenfolge erhalten, die - im Gegensatz zu Standort E95 - noch nicht abgetragen wurde. Obwohl das heutige Relief keine Anhaltspunkte dafür liefert, kann es sich ursprünglich um eine Rinnen- oder Muldenposition gehandelt haben, die durch rückschreitende Erosion des Krähenbaches angeschnitten und größtenteils ausgeräumt wurde. Der

Tab. 4 Kennwerte der Profile E95 und F95 (Stubensandstein-Verebnung). Methodische Hinweise vgl. *Tab. 2 / Characteristics of profile E95 and F95 on the middle Keuper plateau. Methodical references see table 2*

Profil E95 / Horiz.	Horizont Untergrenze (cm)	pH H_2O	pH $CaCl_2$	$CaCO_3$ Gew. %	Nt %	Korngröße Feinboden (Köhn) S %	U %	T %	Bodenart	KAKe µval/g	BS %
Aeh	10	4,1	3,5	0,1	0,14	69,8	23,4	6,8	Sl2	39	17
Bv	40	4,6	4,0	0,1	0,03	67,5	25,0	7,5	Su3/Sl2	25	2
Bv-Cv	50	4,5	3,9	0,1	0,01	75,3	15,5	9,3	Sl3	22	1
II Cv	70+	4,6	3,7	0,2	0,05	22,8	26,8	50,4	Tl	159	26
Bodenform: Braunerde aus Hauptlage über Stubensandstein-Verwitterungsmaterial											

Profil F95 / Horiz.	Horizont Untergrenze (cm)	pH H_2O	pH $CaCl_2$	$CaCO_3$ Gew. %	Nt %	Korngröße Feinboden (Köhn) S %	U %	T %	Bodenart	KAKe µval/g	BS %
Ah	10	4,0	3,5	0,1	0,23	21,8	64,1	14,1	Uls	66	10
Al	32	4,2	3,8	< 0,1	0,06	20,9	64,8	14,4	Uls	48	2
II Bt	50	4,7	4,0	0,1	0,05	12,0	45,5	42,5	Lt3	121	34
III P	70	5,1	4,3	0,2	0,05	10,8	25,8	63,4	Tl	283	82
IVCv	90+	5,0	4,3	0,1	0,02	62,9	9,2	27,9	Ts4	104	80
Bodenform: Mehrschicht-Parabraunerde aus Hauptlage / Mittellage / Basislage / Stubensandstein											

mehrschichtige Aufbau kommt in der Körngröße klar zum Ausdruck *(Tab. 4)*. Der schluff- und sandreichen Hauptlage folgt die Mittellage (stark toniger Lehm) und anschließend eine tonreiche Basislage über dem anstehenden Stubensandstein. Die deutlich ausgeprägte Lessivierung verstärkt die geogenen Körnungsunterschiede zwischen Haupt- und Mittellage.

Die Mineralbodenhorizonte der Hauptlage sind stark versauert und weisen eine geringe Basensättigung auf. Im IIBt-Horizont ist nur ein leichter Anstieg der entsprechenden Werte zu verzeichnen. An der Schichtgrenze von Mittellage zu Basislage (zwischen IIBt und IIIP-Horizont) sind die markantesten chemischen und physikalischen Veränderungen festzustellen. So zeigen die Austauscherverhältnisse eine Verschiebung von der Al-Dominanz im oberen Profilbereich zur Ca-Dominanz im IIIP und IVCv-Horizont *(Fig. 3)*. Entprechend deutlich fällt auch die Zunahme der Basensättigung aus. Der pH-Wert steigt dagegen nur mäßig bis in den Austauscherpufferbereich (pH 5,0-4,2) an. Die Werte der KAKe korrellieren mit den sehr unterschiedlichen Tongehalten der einzelnen Horizonte.

5. Interpretation der Ergebnisse

Die vorgestellten Leitprofile lassen viele Gemeinsamkeiten aber auch Unterschiede erkennen, die nachfolgend hinsichtlich der eingangs gestellten Fragen vergleichend interpretiert werden sollen. Das Profil C95 bleibt dabei als Sonderfall an dieser Stelle weitgehend unbe-

rücksichtigt *(Kap. 4.2)*. Eine schematische Darstellung *(Fig. 5)* fast die unterschiedlichen Degradierungserscheinungen und ihre Auswirkungen zusammen.

5.1 Aktueller Versauerungsgrad

Abgesehen von C95 weisen alle Profile in den oberen vier bis fünf Dezimetern $pH(CaCl)_2$-Werte zwischen 3,5 und 4,4 auf und liegen damit größtenteils im Aluminium-Pufferbereich (pH 4,2-3,8 nach *Ulrich* 1981). Gemäß AG Bodenkunde (1994: 331) sind die Böden bis zu dieser Tiefe als stark bis sehr stark sauer (Säurestufe s4-s5) einzustufen. Interessanterweise werden aber damit die bereits aus früheren Untersuchungen im Keuper-Lias Bergland (*Müller* 1961) festgestellten pH-Minimalwerte in den oberen Mineralbodenhorizonte nur unwesentlich unterschritten, was auf eine eher geringe absolute Zunahme des Versauerungsgrades in diesem Zeitraum hinweist (*Feger* 1996). Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung ist die Tatsache, daß die Horizonte der Hauptlagen im Keuper-Lias-Bergland meist recht tonreich sind und bislang im Aluminium-Pufferbereich noch genügend Puffersubstanzen (Tonminerale) zur Verfügung standen.

Es ist aber davon auszugehen, daß sich die Versauerungsfront deutlich in die Tiefe verlagert hat. Dies zeigt sich insbesonders in den Mehrschichtprofilen der Knollenmergel-Hänge und der Lößlehmstandorte. Die Versauerungsfront hat in allen Profilen bereits die Untergrenze der Hauptlage erreicht und setzt sich in tiefere Profilbereiche fort. So kommt es etwa im Profil D95 zu einem enormen pH-Sprung im Bereich der Basislage *(Tab. 3, Fig. 4)*. Die Filterfunktion der Mehrschichtböden wird neben der organischen Substanz wohl in zunehmendem Maße von den noch nicht versauerten tieferen Bereichen der Basislagen übernommen.

Korngrößenunterschiede und primäre Basengehalte der Substrate spielen hinsichtlich der Bodenacidität in den oberen Dezimetern offenbar keine große Rolle mehr. Wie ähnlich sich die einzelnen Horizonte - auch bei sehr unterschiedlichem Substrataufbau - bezüglich des Versauerungsgrades sind, macht insbesondere ein Vergleich der benachbarten Standorte E95 und F95 deutlich *(Tab. 4, Fig 3* und *4* sowie *Kap. 4.3)*. Unabhängig von Reliefposition und Bodenart der Hauptlage ist gegenwärtig in den hier betrachteten 5 Profilen von einer zunehmenden Podsolierung auszugehen. Initiale Merkmale dieses Prozesses (blanke Quarzkörner, violettstichige Ah-Horizonte) sind fast überall bereits erkennbar. Insgesamt stehen diese Befunde in Übereinstimmung mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen in Süddeutschland (*Blümel* 1986, *Buberl* et al. 1994).

5.2 Basensättigung und Kationenbelegung der Austauscher

Erwartungsgemäß weist auch die Basensättigung in den oberen Dezimetern der Leitprofile sehr geringe Werte auf, wobei sich allerdings Tongehalte und die organische Substanz modifizierend auswirken (*Tab. 2* bis *4, Fig 4*). In tonarmen Substraten liegt die Basensättigung meist unter 20% (teilweise sogar unter 5%), während in tonreicheren Substraten - bei vergleichbarem pH-Niveau - höhere Werte auftreten (z.B. Profil B96 und D95 s. *Tab. 2)*. Die Ah-Horizonte weisen meist eine etwas günstigere Basenversorgung auf *(Fig. 4)*. Mit fortschreitender Versauerung der humusarmen Mineralbodenhorizonte gewinnt der Nährstoffpool in organischen Auflagen und Ah-Horizonten zunehmend an Bedeutung (*Buberl* et

al. 1994). Die Ergebnisse der vorliegenden Analysen zeigen, daß auch in stark sauren Profilen (stellv. B96, E95, F95) die Ah-Horizonte teilweise noch beachtliche Basenvorräte aufweisen *(Fig. 3* und *4)*.

Die KAKe-Werte liegen insbesondere in den sandreichen Horizonten auf sehr niedrigem Niveau (KAKe <50 Einheit:µval/g, B96, E95), während in schluff- und tonreicheren Horizonten der Hauptlagen meist Werte >50 Einheit: µval/g erreicht werden (stellv. A95, D95, *Tab. 2* und *3*). Bis zur Tiefe von 2 dm wird der Kationenbelag in allen Profilen (außer C95) vom Aluminium bestimmt. In den sandreicheren Profilen (B96, E95) dominiert Al^{3+} auch in größerer Tiefe (bis 6 dm), darüber hinaus treten hier in zunehmendem Maße Mn^{2+} und H^{+}-Ionen an den Austauschern auf *(Fig. 3)*. Der Anteil austauschbaren Mangans steigt in sandigen Substraten mit abnehmendem pH-Wert stark an, die hohen Mn-Sättigungsgrade in den Ah-Horizonten der zwei Profile können durch organische Mn(II)-Komplexe erklärt werden (*Scheffer* und *Schachtschabel* 1992: 277). Beide Profile weisen in den Bv-Horizonten K- und Mg-Sättigungen unter 1% auf. Sie müssen als Mangelstandorte bezeichnet werden, die hinsichtlich ihrer Puffer- und Filterkapazität in den oberen 4 dm nur noch eine geringe Elastizität aufweisen.

Auch in den Parabraunerden aus Lößlehm bzw. lößreichen Fließerden (A95 und F95) wird der Kationenbelag im oberen Profilbereich zu über 80% von Al und H bestimmt. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit Untersuchungen von Lößparabraunerden unter Wald im Kraichgau (*Weber* 1991). Während der Kationenbelag der Lößlehmparabraunerde (A95) im Unterboden ausschließlich von basischen Kationen bestimmt wird (80% Ca), weist das komplexe Mehrschichtprofil F95 auch in den tieferen Horizonten noch eine Al-Sättigung von knapp 20% auf. Im Bt-Horizont dieses Profils erreicht die Al-Sättigung sogar 60% *(Tab. 4, Fig 3)*.

Wie *Illmer* und *Schirmer* (1996) nachweisen konnten, beeinflussen hohe Konzentrationen pflanzenverfügbaren Aluminiums freilebende Mikroorganismen stark negativ. Auch wenn eine direkte Al-Feinwurzel-Toxizität bei den wichtigsten Hauptbaumarten bislang eher unwahrscheinlich ist (*Feger* 1996), kann eine erhöhte Al-Aktivität auf indirektem Wege zu Nährstoffmangelerscheinungen führen. Dies gilt insbesondere für Standorte, die ohnehin ein Nährstoffdefizit (häufig Mg u. K) aufweisen und dieses durch hohe Anteile an pflanzenverfügbarem Aluminium antagonistisch verstärkt wird (*Feger* 1996).

5.3 Problemfeld: Bodenverdichtung

Um auf den stark versauerten und basenarmen Böden des Keuper-Lias-Berglandes noch eine gewisse Nährstoffversorgung - vor allem aus tieferen Profilbereichen - zu gewährleisten, ist die Erhaltung günstiger bodenphysikalischer Verhältnisse der Oberböden (Bodengefüge, Porenraum) eine wichtige Voraussetzung. Die Hauptlagen weisen diesbezüglich aufgrund ihrer äolischen Anteile in aller Regel wesentlich bessere Eigenschaften auf als homogen texturierte (Tone und Sande) Keuper- und Lias-Substrate. Allerdings sind vor allem die schlecht drainierten Lößlehmstandorte der Liasfläche sowie Standorte mit schluffreichen und skelettarmen Hauptlagen auch besonders verdichtungsgefährdet. Solche Lokalitäten neigen schon aufgrund ihrer natürlichen Geo- und Pedogenese zur Verdichtung und Pseudogleydynamik. Darüberhinaus finden sich aber im Arbeitsgebiet beträchtliche Schadbilder, die auf Befahrungen mit schweren Rücke-

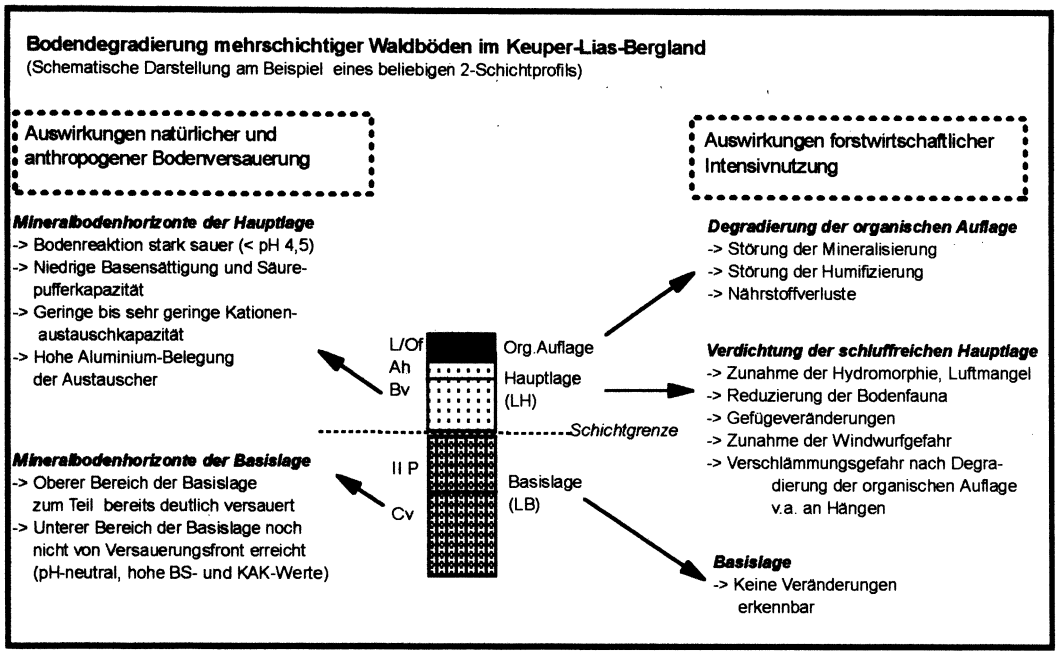

Fig. 5 Schematische Übersicht der potentiellen Degradierungserscheinungen in Mehrschichtprofilen / *Schematic survey about different forms of degradation in multilayered soils*

schleppern unter Nichtfrostbedingungen bzw. bei ungünstigen Bodenfeuchteverhältnissen zurückzuführen sind.

Im Umfeld von Profil A95 lassen sich die anthropogenen Auswirkungen der teilweise flächigen Befahrung klar erkennen. Entlang tiefer Fahrspuren haben sich stark hydromorphe Merkmale ausgebildet, die von *Leutz* et al. (1980) bei vergleichbaren Böden im Kraichgau als 'Zwergpseudogleye' bezeichnet wurden. Die Oberbodenhorizonte weisen ein ausgeprägtes Plattengefüge und extreme redoximorphe Merkmale auf. In den Fahrspuren selbst gedeihen verschiedene Feuchtezeiger (u.a. Binsengewächse). Solche anthropogen induzierten Verdichtungen wirken sich nachteilig auf den Lufthaushalt und damit beispielsweise auch auf die Naturverjüngung der Buche aus (*Hildebrand* 1983). Weiter Folgewirkungen solcher massiven mechanischen Belastungen sind in *Figur 5* zusammengefaßt.

6. Forstwirtschaftliche Konsequenzen

Die Ursachen der zunehmenden Versauerung und Auswirkungen auf die verschiedenen biotischen und abiotischen Kompartimente von Waldökosystemen sind bereits seit längerer Zeit bekannt (*Ulrich* 1985, *Blümel* 1986). Eine Zusammenfassung waldbaulicher Meliorationsmöglichkeiten ist unter anderem bei *Rehfuess* (1990) und *Feger* (1996) nachzulesen. Nachfolgend sollen lediglich einige für das spezifische Untersuchungsgebiet besonders relevante Aspekte herausgegriffen werden.

Auch wenn die Kompensationskalkung eine kosmetische Maßnahme mit teilweise unerwünschten Nebenwirkungen darstellt (u.a. kurzfristiges Nitratrisiko), läßt sich die Fruchtbarkeit und Basenausstattung der Mehrschichtböden durch eine behutsame und wiederholte Kalkung erheblich verbessern (*Rehfuess* 1990:

200; *Buberl* et al. 1994). Aus diesem Grund sollte eine solche Maßnahme für die oben genannten Bereiche des Arbeitsgebietes in Erwägung gezogen werden. Dies erscheint auch deswegen sinnvoll, da durch den stark zurückgegangenen Ausstoß basisch wirkender Stäube, bei gleichzeitig immer noch hohen Säureemissionen, auf atmosphärischem Wege nur noch ein geringer Eintrag von Pufferstoffen erfolgt (*Blümel* 1986, *Hedin* und *Likens* 1997).

Aufgrund der ökologischen Bedeutung der organischen Hoizonte (s. 5.2) sollten forstwirtschaftliche Maßnahmen stärker auf einen schonenden Umgang mit diesen wichtigen oberflächennahen Horizonten abzielen. Dies beinhaltet einerseits den Verzicht auf große Kahlschläge um mineralisations- bzw. nitrifikationsbedingten Elementverlusten vorzubeugen, eine weitere waldbauliche Diversifizierung und den Verbleib möglichst vieler organischer Komponenten (Nichtsstammholzanteile) im Wald (*Fezer* 1996). Moderne Holzernteverfahren, die mit dem massivem Einsatz von schweren Rückeschleppern verbunden sind, führen inzwischen zu einer oft flächenhaften Degradierung der wichtigen Oberbodenhorizonte.

Die Anfälligkeit der Lößlehmstandorte gegenüber anthropogener Verdichtung ist seit längerem bekannt (*Leutz* et al. 1980; *Hildebrand* und *Wiebel* 1981; *Rehfuess* 1990), entsprechende Anmerkungen finden sich meist auch in den forstlichen Standortskarten. Insofern ist es gerade auch aus ökonomischen Gründen unverständlich, wenn solche Hinweise nicht beachtet werden. So kann bei Holzerntemaßnahmen - nicht nur im engeren Arbeitsgebiet - immer wieder beobachtet werden, wie diese empfindlichen Standorte unter ungünstigen Bedingungen mit hoher Frequenz befahren werden. Die gute Geländegängigkeit moderner Holzerntefahrzeuge führt dazu, daß immer unwegsameres Gelände befahren werden kann und keine Rückegassen mehr angelegt werden. Dies geht vereinzelt so weit, daß große Waldbereiche durchfahren werden um Einzelstämme zu den befestigten Forstwegen zu schleppen. Auch die frostarmen Winter der letzten Jahre rechtfertigen diese Vorgehensweise nicht, zumal über die natürliche Regenerationsfähigkeit der Böden bezüglich Verdichtungseffekten noch recht wenig bekannt ist (*Rehfuess* 1990: 178 ff; *Feger* 1996). Die zuständigen Forstbehörden sollten daher stärker auf diese Problematik aufmerksam gemacht werden (Schulungen!) und dieses Wissen auch an das ausführende Personal vor Ort weitergeben. Gerade in kleinräumig differenzierten Bodenlandschaften wie dem Keuper-Lias-Bergland sollten Hinweise der forstlichen Standortskarten bei der Planung von Holzerntemaßnahmen immer berücksichtigt werden.

7. Fazit

Die Bodenlandschaft des Keuper-Lias-Berglandes ist aufgrund vielfältiger Petrographie und komplexer periglaziärer/kaltzeitlicher Subtratgenese sehr differenziert. Dennoch weisen die oberen Mineralbodenhorizonte im Hinblick auf den Versauerungsgrad, die Basensättigung und den Kationenbelag der Austauscher nur noch relativ geringe Unterschiede auf. Die Versauerungsfront hat die Untergrenze der Hauptlage überschritten und bereits die häufig basenreichen tiefer liegenden Deckschichten erreicht. Letztere übernehmen gemeinsam mit den organischen Horizonten ganz wesentliche Filter- und Pufferfunktionen. Aufgrund ihrer Genese weisen die Mehrschichtböden meist günstige bodenphysikalische Eigenschaften auf, was auch für chemische Meliorationsmaßnahmen (z.B. Kompensationskalkung) von großer Bedeutung ist.

Die Deckschichten sind ein landschaftsgeschichtliches Erbe der Kaltzeiten und können sich nach ihrer Degradierung unter den gegenwärtigen klimatischen Bedingungen nicht regenerieren. So würde beispielsweise die natürliche Bodenentwicklung ohne die meist schluffreichen Hauptlagen in eine ganz andere Richtung gehen (Podsole auf Sandstein und Pelosole bzw. Pararendzinen auf Tonmergeln). Solche Bodenentwicklungen lassen sich an einigen besonders degradierten Standorten (z.B. im Umfeld von Sandsteinbrüchen oder Mergelgruben) bereits beobachten. Die hohe Verdichtungsgefahr der schluffreichen Hauptlagen erfordet eine angepaßte forstwirtschaftliche Nutzung, um die standortökologischen Bedingungen nicht nachhaltig zu verändern.

Eine Stabilisierung oder gar Verbesserung der Situation unserer Waldböden kann jedoch nicht allein durch die Forstwirtschaft geleistet werden. Neben einer weiteren Reduktion der anthropogenen Säureemissionen, wird es künftig erforderlich sein, auch politische Weichenstellungen vorzunehmen. Der Zielkonflikt zwischen einer nachhaltigen, den jeweiligen Standortbedingungen angepaßten forstwirtschaftlichen Nutzung und einer rationellen, auf hohen Holzertrag abzielenden Waldbewirtschaftung muß nicht vorhanden sein. Mittel- bis langfristig ist es sicherlich vielerorts auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll einen Mittelweg zwischen der heutigen Intensivnutzung unserer Wirtschaftswälder und reinen Bannwäldern zu beschreiten.

8. Literatur

AG Bodenkunde 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. - Hannover

Bibus, E. 1986: Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenprofil, Standort und junge Reliefentwicklung im Schönbuch bei Tübingen. - In: *Einsele, G.* (Hrsg.): Forschungsber. DFG: Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch: 27-57

Bibus, E., J. Eberle, M. Kösel, K. Rilling und *B. Terhorst* 1991: Jungquartäre Reliefformung und ihre Beziehung zur Bodenbildung und Bodenverbreitung im Stromberg und Zabergäu (Bl. Brakkenheim). - Jh. geol.Landesamt Baden-Württemberg, **33**: 219-261

Blümel, W.D. 1986: Waldbodenversauerung. Gefährdung eines ökologischen Puffers und Reglers. - Geogr. Rdsch. **38:** 312-320

Buberl, H.G., K.V. Wilpert, G. Trefz-Malcher und *E.E. Hildebrand* 1994: Der chemische Zustand von Waldböden in Baden-Württemberg. - Mitt. d. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg **182**

Einsele, G. (Hrsg.) 1986: Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. - DFG Forsch.-Ber. I - XIII

Feger, K.- H. 1996: Schutz vor Säuren. - In: *Blume, H.P., P. Felix-Henningsen, W.R. Fischer, H.-G. Frede, R. Horn* und K. Stahr (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde.

Geyer, O.F. und *M.P. Gwinner* 1991: Geologie von Baden Württemberg

Hedin, L.O. und *G.E. Likens* 1997: Atmosphärischer Staub und saurer Regen. - Spektrum der Wissenschaft **4**/97: 52-55.

Hildebrand, E.E. und *M. Wiebel* 1981: Befahrung und Bodenverdichtung unter dem Aspekt der Bodenfunktion als Waldstandort. - Mitt. d. Deutschen Bodenkdl. Ges. **32:** 52-58

Hildebrand, E.E. 1983: Der Einfluß der Bodenverdichtung auf Bodenfunktionen im forstlichen Standort. - Forstw. Cbl. **102:** 41-125

Illmer, P. und *F. Schinner* 1996: Einfluß von Aluminium auf bodenmikrobiologische Kenngrößen in sauren Waldböden. - Mitt. d. Deutschen Bodenkdl. Ges. **81:** 271-274

Leutz, R., H. Schaak und *M. Wiebel* 1980: Oberflächenverdichtung bei Parabraunerden aus Lößlehmnach Einsatz schwerer Holzbringungsmaschinen. - Mitt. Ver. Forstl. Standortskde. u. Forstpflanzenzüchtung **28:** 11-20

Meiwes, K.J., N. König, P.K. Khanna, J. Prenzel und *B. Ulrich* 1984: Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. - Berichte d.

Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben Göttingen **7**

Müller, S. 1961: Grundzüge der Bodenbildung im württembergischen Keuperbergland. - Mitt. Ver. Forstl. Standortskde. u. Forstpfl.-züchtg. **11:** 3-60

Rehfuess, K.E. 1990: Waldböden: Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. - Pareys Studientexte **29**

Scheffer, F. und P. Schachtschabel 1992: Lehrbuch der Bodenkunde

Schlichting, E., H.P. Blume und K. Stahr 1995: Bodenkundliches Praktikum

Ulrich, B. 1981: Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. - Z. Pflanzenernährung, Bodenkde. **144:** 289-305

Ulrich, B. 1985: Natürliche und anthropogene Komponenten der Bodenversauerung. - Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. **43, II:** 159-187

Weber, L. 1990: Untersuchungen zum Versauerungsgrad von Löss-Parabraunerden an ausgewählten Waldstandorten im Kraichgau. - Stuttgarter Geographische Studien **113**

Zusammenfassung: Bodendegradierung mehrschichtiger Waldböden: Ergebnisse einer Fallstudie im Keuper-Lias Bergland Baden-Württembergs

Die vorliegende Fallstudie stellt typische Substrat- und Bodenprofile des südwestdeutschen Keuper-Lias Berglandes vor. Der aktuelle Bodenzustand wird analysiert um daraus aktuelle und potentielle Gefährdungen abzuleiten. Grundvoraussetzung dafür ist das Verständnis der jeweiligen Bodengenese. Die Böden des Arbeitsgebietes haben sich größtenteils in oft mehrgliedrigen periglazialen Deckschichten (Mehrschichtböden) entwickelt und weisen deswegen recht spezifische Substrateigenschaften auf. Die bodenchemischen Analysen belegen eine starke Versauerung, niedrige Basensättigung und hohe Al-Belegung der Austauscheroberflächen in den oberen 4 Dezimetern fast aller Profile. Neben bodenchemischen Degradierungserscheinungen wird die forstwirtschaftlich bedingte Bodenverdichtung immer mehr zu einem flächenhaften Problem. Ursachen und mögliche Gegenmaßnahmen dieser Entwicklung werden diskutiert.

Summary: Degradation of multilayered forest soils: report about researches in the Keuper-Lias highland of southwestern Germany

This contribution gives an overview of the quality and condition of forest soils in the Keuper-Lias highland of southwestern Germany. The chemical and sedimentological properties of six soil profiles were analyzed. Understanding the periglacial genesis of parent material (multilayered-soil profiles with variations of grain size) is of great importance for evaluating present soil degradation. Soil acidification has reached deeper parts of the profiles and the base saturation in the upper 4 decimetres is at a very low level. Aluminium dominates cation exchange capacity (CEC) in this zone. In addition to chemical degradation the compression of silt-rich horizons by forest activities causes far-reaching modifications of natural soil properties. The study discusses the effects and preventive measures of this developement.

Résumé: La dégradation des sols sur une épaisseur de plusieurs couches dans les forêts. Résultats d'une étude de cas dans une région montagneuse du trias supérieur et du lias dans le Baden-Württemberg.

L'étude de cas proposée présente des profils typiques du sol et du substratum de la région montagneuse du trias supérieur et du lias dans la région du sud-ouest de l'Allemagne. On analysera l'état actuel des sols afin de pouvoir en déduire les dangers potentiels qu'ils présentent aujourd'hui. Cela suppose que nous comprenions la genèse de chacun de ces sols. Les sols de la région étudiée ont été généralement formés par des couches de surface périglaciaires souvent complexes (sols à couches multiples). C'est pourquoi nous avons à faire ici à des propriétés bien spécifiques du substratum. Les analyses chimiques du sol montrent que nous sommes en présence d'une forte acidité, d'une faible saturation basique et d'une forte teneur en aluminium dans les surfaces d'échange dans les 4 décimètres de presque tous les profils. En dehors des signes de dégradation chimique des sols, la compression des sols due à l'exploitation forestière devient un problème concernant des surfaces de

plus en plus étendues. Cette étude élucidera les causes et proposera des mesures à prendre pour contrer cette évolution.

Dr. Joachim Eberle, Institut für Geographie der Universität Stuttgart, Azenbergstr. 12, D-70174 Stuttgart

Manuskripteingang: 22.08.1997
Annahme zum Druck: 20.11.1997