

Beitrag zur Mikromorphologie und Mikromorphogenese von Fahlerden (Lessivés)

D. LAVES

Institut für Bodenkunde Eberswalde, D.D.R.

1. PROBLEMSTELLUNG

Neuere geländebodenkundliche sowie quartärgeologische Untersuchungen haben ergeben, daß zahlreiche Böden durch Periglazialprozesse in ihrer Entwicklung entscheidend vorgeprägt sein können. In diesem Zusammenhang wurden von Semmel [20], Semmel und Plass [21], Plass [17], Kopp [9], Semmel [22], Thiere [25] beispielsweise Böden mit einer Horizontkombination beschrieben, wie sie für Fahlerden typisch ist. Vergleichende Untersuchungen zu anderen angrenzenden Bodentypen zeigten jedoch, daß die Körnungs-differenzierung in diesen Fahlerden nicht durch eine Toneluviation/-illuviation erklärt werden kann. Die Frage nach den möglichen Ursachen der Fahlerdeentstehung muß daher erneut gestellt werden.

2. UNTERSUCHUNGSGEBIET

Es wurden Böden aus dem nordostdeutschen Jungmoränengebiet untersucht. Da in diesem Gebiet nicht nur die Fahlerden in einen tonärmeren oberen und einen tonreicheren unteren Profilteil gegliedert sind, sondern auch die Bänderbraunerden und Staugleye, wurden diese ebenfalls untersucht. Das geologische Substrat der Fahlerden und Staugleye ist Geschiebemergel, das der Bänderbraunerden Geschiebesand.

3. UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Zur Beurteilung des Problems der Fahlerdegenese wurden im wesentlichen die gleichen Analysenmethoden eingesetzt, die früher zu Ergebnissen geführt haben, aus denen man die körnungsselektive Toneluviations/-illuviationshypothese abgeleitet hat. In der vorliegenden Arbeit wurden die Untersuchungsmethoden mit dem Ziel durchgeführt, ihre Aussagefähigkeit, bezogen auf die Deutung genetischer Prozesse, an Böden zu prüfen, von denen man aus geländebodenkundlichen und quartärgeologischen Untersuchungen mit Sicherheit weiß, daß sie durch Periglazial-

prozesse in ihrer Entwicklung entscheidend vorgeprägt wurden. Im einzelnen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

1. Mikromorphologische Kennzeichnung mit Hilfe von Bodendünnschliffen;
2. Bodenphysikalische Kennzeichnung mit Hilfe von Körnungsanalysen einschließlich Tonfraktionierung, Gesamtdichten, Porenvolumina, Porengrößenverteilungen;
3. Bodenchemische Kennzeichnung des Feinbodens, der Tonfraktion, der Tonhäutchen (pH; CaCO_3 ; C; N; KUK; umtauschbare Kationen; mobile Oxide, K_2O -Gehalt, Silikatvollanalyse); Elektronenmikrosondenanalyse am Dünnschliff [13];
4. Bodenmineralogische Kennzeichnung mit Hilfe von Körnerpräparat-, Röntgen-, Ultrarot-, DT-Analysen und elektronenmikroskopischen Aufnahmen [14, 15];
5. Profilbilanzierung.

4. ERGEBNISSE

Zahlreiche Bodenkundler schließen aus der Orientierungsdoppelbrechung des Gefügeplasmas im Bt-Horizont (Tonhäutchenhorizont nach Ehwald [6]) der Fahlerden auf eine in diesem Bodentyp abgelaufene Tonilluviation, die zu einer Tonverarmung jeweils im oberen Profilverteil (Toneluviation) und zu einer Tonerreichung jeweils im unteren Profilverteil geführt hat [12]. Die Beobachtung, daß dieses Gefügeplasma mit Orientierungsdoppelbrechung im Tonhäutchenhorizont häufig als Hohlraumwandung oder Hohlraumfüllung auftritt, scheint die Toneluviations/-illuviationshypothese zu bestätigen. Andererseits zeigen die Untersuchungen, daß das Tondefizit im tonärmeren oberen Profilverteil körnungs-differenzierter Böden höher ist, als durch den Anteil an orientierungsdoppelbrechendem Gefügeplasma im tonreicheren unteren Profilverteil erklärt werden könnte [4]. Roeschmann [18] macht zwar darauf aufmerksam, daß Tonhäutchen auf den Aggregaten nach der Entstehung des Tonhäutchenhorizontes durch Kryoturbation zerstört wurden, andererseits weist Altemüller [1] darauf hin, daß früher entstandene Anlagerungen von Gefügeplasma mit Orientierungsdoppelbrechung auch nach Umlagerung des Bodens in trümmerartigen Formen erhalten bleiben. Dies kann durch eigene mikromorphologische Untersuchungen an biologisch stark erschlossenen Kulturböden bestätigt werden. Das heißt, einmal eingeregelter Gefügeplasma verliert auch dann seine Orientierungsdoppelbrechung nicht, wenn Fahlerden kryoturbat verformt wurden, wie man dies für die untersuchten Profile annehmen muß. Aber auch die unterschiedliche Ausbildung des orientierungsdoppelbrechenden Gefügeplasmas im Tonhäutchenhorizont der untersuchten Fahlerden läßt Zweifel darüber aufkommen, daß diese Böden durch Toneluviation/-illuviation entstanden sind.

4.1. Zur Mikromorphologie und Mikromorphogenese der Tonhäutchen (Bt) und Bleichhorizonte (Al) von Fahlerden. In mächtigen Tonhäutchenhorizonten konnten zwei Ausprägungsformen von Gefügeplasma mit Orientierungsdoppelbrechung — im folgenden "orientiertes Plasma" genannt — beobachtet werden.

Im oberen Teil dieser Tonhäutchenhorizonte tritt vorwiegend in der "Bodenmatrix verteiltes orientierungsdoppelbrechendes Gefügeplasma" auf. Es wird im folgenden als "orientiertes Plasma in der Matrix" bezeichnet. Im mittleren und unteren Teil mächtiger Tonhäutchenhorizonte kommt hauptsächlich "wandständiges orientierungsdoppelbrechendes Gefügeplasma" als Hohlraumwandung bzw. als Hohlraumfüllung vor. Es soll im weiteren "orientiertes Plasma in den Hohlräumen" genannt werden. Es wird angenommen, daß das orientierte Plasma in der Matrix nicht durch Tonilluviation, sondern in situ aus dem Gefügeplasma ohne Orientierungsdoppelbrechung entstanden ist. Bekanntlich sind alle Minerale, die nicht dem kubischen Kristallsystem angehören, optisch anisotrop, d.h. sie sind doppelbrechend. Diese Doppelbrechung zeigt sich beispielsweise beim Mikroskopieren eines Dünnschliffs unter gekreuzten Polarisatoren in einer abwechselnden Hell-dunkel-Stellung der optisch anisotropen Minerale, sobald man den Objektisch dreht (optisch inaktive Schnittlagen der Mineralteilchen sollen hier unberücksichtigt bleiben). Je kleiner jedoch die Minerale sind, desto undeutlicher werden die Auslöschungsphänomene. Schließlich sind die Auslöschungsphänomene überhaupt nicht mehr zu erkennen, obwohl sie als Ausdruck der optischen Anisotropie der Mineralteilchen auch dort noch vorhanden sind. Dies ist der Fall bei der Betrachtung einer Vielzahl feinsten Mineralteilchen, für die bei unseren bodenmikromorphologischen Beschreibungen der Begriff Gefügeplasma ohne Orientierungsdoppelbrechung verwendet wurde. Wenn jedoch innerhalb dieses Gefügeplasmas ohne Orientierungsdoppelbrechung sehr kleine Bezirke auftreten, die bei hohen Vergrößerungen schwache Auslöschungsphänomene erkennen lassen, wie das in den Dünnschliffen aus den oberen Teilen mächtiger Tonhäutchenhorizonte beobachtet wurde, so muß man annehmen, daß sich durch eine Einregelung der regellos verteilten Mineralteilchen in eine bevorzugte Richtung in situ, die diesen Mineralteilchen innewohnende optische Anisotropie zu einem sichtbaren Auslöschungseffekt, zu einer sogenannten Orientierungsdoppelbrechung summiert hat.

Häufig können im oberen Teil mächtiger Tonhäutchenhorizonte Übergänge beobachtet werden von kleinsten Bezirken bis zu großen Komplexen von orientiertem Plasma ("Plasmakomplexe"). Dieses orientierte Plasma in der Matrix ist gelb bis schwach braun gefärbt. Außerdem kann man beobachten, daß teilweise verwitterte Feldspat- und Glimmerminerale innerhalb der Korngrenzen orientiertes Plasma enthalten. Dies alles spricht dafür, daß das orientierte Plasma in der Matrix den Prozeß der

Verlehmung mikroskopisch sichtbar macht. Dabei zeigen die feineren Plasmaaggregate bei gekreuzten Polarisatoren ein in ihrer Gesamtheit fleckenartig-gesprenkeltes Auslöschungsmuster. Dies bedeutet eine nur geringe Orientierungsdoppelbrechung. Die maximal bis 1 mm großen Plasmakomplexe sind dagegen stark bis mäßig orientierungsdoppelbrechend, worauf die bei gekreuzten Polarisatoren mehr oder minder scharfen Auslöschungstreifen hindeuten. Die stärkere Orientierungsdoppelbrechung dürfte hier neben der Verlehmung und Tonpeptisation besonders durch Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge begünstigt worden sein. Die diffusen bis unscharfen Konturen der Plasmakomplexe zur umgebenden Bodenmatrix lassen erkennen, daß auch sie in situ entstanden sind. Das setzt allerdings voraus, daß es größere Partien von nicht orientiertem Plasma gegeben hat, in denen das Gefügeskelett fehlte. Tatsächlich kann diese heterogene Verteilung von Skelett und Plasma im oberen Teil des Tonhäutchenhorizontes des öfteren beobachtet werden. Die Plasmakomplexe sind, wenn noch vollständig erhalten, häufig von glattwandigen Schrumpfungsrissen durchzogen. Es bilden sich Absonderungsaggregate, die mitunter als solche auch verlagert wurden.

Der dann verbliebene Rest kann den Eindruck erwecken, daß es sich um Tonanlagerungen in primär vorhandenen Hohlräumen handelt. Daß es Schrumpfungsrisse und nicht primär angelegte Hohlräume sind, darauf deuten zahlreiche Erscheinungsbilder hin, aus denen die allmähliche Herausbildung der Plasmakomplexe an Ort und Stelle sichtbar wird. In dem Maße nämlich, in dem sich die Plasmakomplexe deutlicher von der übrigen Bodenmatrix abheben, tritt verstärkt eine Schrumpfungsrissbildung an der Grenze des Plasmakomplexes zur Bodenmatrix ein. Dies hängt vermutlich damit zusammen, daß infolge der stofflichen Verschiedenheit unterschiedliche Richtungen, Größen und Zeiten der Quellung und Schrumpfung zwischen Plasmakomplex und umgebender Bodenmatrix wirksam werden, die eine physikalisch-mechanische Trennung der Plasmakomplexe von der Bodenmatrix fördern (siehe hierzu auch [10]).

Alle diese Beobachtungen zeigen, daß das orientierte Plasma in der Matrix im oberen Teil mächtiger Tonhäutchenhorizonte nicht durch eine Tonilluviation erklärt werden kann. Dafür spricht auch, daß im lehmigen Profilteil der untersuchten Staugleye neben nicht orientiertem Plasma vorwiegend orientiertes Plasma in der Matrix auftritt. Es wird angenommen, daß es zu einer Tonverlagerung bei den Fahlerden nur innerhalb des Tonhäutchenhorizontes kam. Dafür spricht, daß in den mittleren und unteren Teilen mächtiger Tonhäutchenhorizonte orientiertes Plasma vorwiegend in den Hohlräumen vorkommt. Hier tritt es sowohl als Hohlraumwandung als auch als Hohlraumfüllung auf. Dabei kann an den Hohlraumwänden häufig schichtig abgelagertes Plasma mit einer meist starken Orientierungsdoppelbrechung beobachtet werden. Dies spricht dafür, daß die Tonsubstanz in Form einer Suspension verlagert worden ist und

später im mittleren und unteren Teil des Tonhäutchenhorizontes daraus abgelagert wurde. Da in verschiedenen Rissen und Höhlungen noch Wurzelreste sichtbar sind, wird angenommen, daß die Tonverlagerung bevorzugt in Wurzelporen vonstatten ging. Offenbar sind dabei organomineralische Verbindungen entstanden, die unter der Schutzkolloidwirkung der organischen Substanz bis in den Karbonathorizont verlagert wurden. Auch makromorphologisch konnte beobachtet werden, daß im Übergangsbereich vom Tonhäutchen- zum Karbonathorizont deutlich sichtbare Wurzelgeflechte vorkommen, die nach ihrer Entfernung Abdrücke von glänzenden tonartigen Gefügeplasmabelägen zurücklassen. Neben diesen tonigen Hohlraumauskleidungen mit meist starker Orientierungsdoppelbrechung konnte auch schwach bis mäßig orientiertes Plasma, das als Hohlraumfüllung auftritt, beobachtet werden. Da im oberen Teil mächtiger Tonhäutchenhorizonte Plasmakomplexe vorkommen, die von glattwandigen Schrumpfrissen durchzogen sind und Absonderungsaggregate bilden, wird angenommen, daß die Tonsubstanz nicht nur kolloiddispers in einer Tonsuspension, sondern auch in Form bereits orientierten Plasmas mehr unter dem Einfluß mechanischer Kräfte verlagert wurde. Die auf diese Weise gebildeten tonigen Hohlraumfüllungen zeigen häufig ein fleckenförmiges, gesprenkeltes Auslöschungsmuster. Dies weist auf eine schwache Orientierungsdoppelbrechung hin. Daraus geht hervor, daß die verlagerten Plasmaaggregate zu einander regellos angeordnet sind.

Die hier gemachten Ausführungen über die Ausprägung und das Vorkommen von orientiertem Plasma treffen nur für mächtige, plasmareiche Tonhäutchenhorizonte zu. Dort, wo diese geringmächtig sind, tritt das orientierte Plasma in den Hohlräumen stark zurück. Das heißt, hier konnte es nicht zu einer so deutlichen lokalen Differenzierung zwischen dem orientierten Plasma in der Matrix und dem orientierten Plasma in den Hohlräumen kommen, wie das in mächtigen Tonhäutchenhorizonten zu beobachten ist. Auch diese Beobachtung spricht für eine nur innerhalb des Tonhäutchenhorizontes abgelaufene Tonverlagerung. Aus der Orientierungsdoppelbrechung der verlagerten Tonsubstanz wird allerdings nicht ersichtlich, ob die Tonverlagerung auch gegenwärtig noch abläuft. Für eine rezente Tonverlagerung könnte jedoch die Beobachtung sprechen, daß in vielen Fahlerden das Maximum des orientierten Plasmas in den Hohlräumen im unteren Teil des Tonhäutchenhorizontes liegt, während das durch die Korngrößenanalyse ermittelte Ton-Maximum im mittleren Teil auftritt.

Weitere Zweifel an der Toneluviations-/illuviationshypothese ergeben mikromorphologische Untersuchungen vom Bleichhorizont, dem vermeintlichen "Toneluvialhorizont" sowie vom Übergang Bleich-/Tonhäutchenhorizont. Im unteren Teil des Bleichhorizontes tritt schwach orientiertes Plasma in einer Bodenmatrix auf, die sich deutlich von der des Bleichhorizontes unterscheidet. Dieser mikromorphologische Befund steht im

Einklang mit makromorphologischen Beobachtungen, daß isolierte bräunliche lehmige Flecken im Bleichhorizont auftreten. Es wird angenommen, daß beim Gefrieren und Auftauen unter periglazialen Bedingungen Bodenmaterial aus dem braunen Tonhäutchenhorizont in den Bleichhorizont gelangt ist. Dafür spricht, daß die Bodenmatrix mit dem orientierten Plasma im Bleichhorizont in deutlich isolierten Flecken auftritt. Dies deutet möglicherweise auf eine Verschleppung des Bodenmaterials aus dem Tonhäutchenhorizont in gefrorenem Zustand hin. Handelte es sich hingegen um Reste illuvierten Tons, so würde sicherlich nicht eine so scharfe Begrenzung zwischen der Matrix mit orientiertem Plasma und dem Bleichhorizontmaterial vorliegen. Als ein weiteres Indiz, daß ein solcher Gefrier- und Auftauprozess tatsächlich an der Grenze zwischen Tonhäutchen- und Bleichhorizont stattgefunden hat, könnten evtl. die krummen und geraden glattwandigen Risse [3] angesehen werden, die nur im Übergangsbereich vom Al- zum Bt-Horizont beobachtet wurden.

Auch spricht dafür, daß zuweilen in oberen Teil des Tonhäutchenhorizontes Gefügeskelette in Haufen, Nestern und Girlanden vorkommt, in denen das Gefügeplasma fehlt und andererseits Partien von nicht orientiertem Plasma beobachtet wurden, wo Skelett nur untergeordnet auftritt. Vielleicht steht mit einem ständigen Gefrier- und Auftauprozess im Zusammenhang, daß stark orientierte Plasmakomplexe aus dem mittleren Teil der Tonhäutchenhorizonte in Fetzen zerrissen wurden bzw. daß schwach orientiertes Plasma im oberen Teil des Tonhäutchenhorizontes ohne Beziehung zu den Hohlräumen in richtungsabhängigen Streifen und kreisförmigen Zonen auftritt. Dies würde dann voraussetzen, daß die Einregelung des Plasmas mindestens so alt ist wie die periglazialen Frostprozesse.

Alle diese Befunde deuten darauf hin, daß die Fahlerdeentstehung schwer mit einer holozänen Toneluviation/-illuviation erklärt werden kann.

4.2. Zur Mikromorphologie und Mikromorphogenese der Marmorierungshorizonte und braunen Bänder von Staugleyen und Bänderbraunerden. Auch die Tatsache, daß im nordostdeutschen Jungmoränengebiet mit Fahlerden, Staugleyen und Bänderbraunerden Bodentypen auftreten, die alle einen tonärmeren oberen und tonreicheren unteren Profiltail besitzen und die zuweilen auf engstem Raum miteinander wechseln, legt nahe, daß diesen Böden zunächst eine primäre Kornungs-differenzierung gemeinsam ist, die nicht durch Toneluviation/-illuviation zu erklären ist [24]. So haben beispielsweise die Marmorierungshorizonte der Staugleye mit den braunen Tonhäutchenhorizonten auf gleichem Substrat benachbart vorkommender Fahlerden hinsichtlich der Gefügebildung folgendes gemeinsam: Größe, Form und Anordnung der Gefügeskelettkörner und Hohlräume sowie Abwesenheit von Aggregaten im Mikrogefügebereich. Die wesentlichen Unterschiede zwischen diesen beiden Horizonten

bestehen darin, daß im Marmorierungshorizont mehr Rostflecken vorkommen, während hier orientiertes Plasma in den Hohlräumen geringer auftritt als in den Tonhäutchenhorizonten, obwohl der Tongehalt der braunen Tonhäutchenhorizonte der Fahlerden mit dem der Marmorierungshorizonte der Staugleye vergleichbar ist. Das zeigt, daß bei den Staugleyen nach der primären Körnungs-differenzierung wegen der hier herrschenden spezifischen Wasserdynamik innerhalb des lehmigen Profiltails Ton weniger stark verlagert wurde, so daß orientiertes Plasma in den Hohlräumen hier in geringerem Maße entstand.

Dagegen dürften die braunen Bänder in den Bänderbraunerden durch Tonverlagerung nach der primären Korndifferenzierung entstanden sein. Es wird angenommen, daß die Hüllen aus orientiertem Plasma in den braunen Bändern der Braunerden dem orientierten Plasma in den Hohlräumen in den Tonhäutchenhorizonten der Fahlerden entsprechen und daß die jeweils vorkommende Ausprägungsform vom Substrat abhängt. Dafür spricht auch, daß in tonärmeren Bt-Horizonten sowohl für braune Bänder (Kornhüllen) als auch die für tonreichere Bt-Horizonte charakteristischen Verteilungsformen orientierungsdoppelbrechenden Gefügeplasmas nebeneinander beobachtet werden können. Es sei auch erwähnt, daß die im tonärmeren oberen Profiltail der Tieflehm-Fahlerden und Sand-Bänderbraunerden auftretenden Bleichhorizonte und braunen Zwischenhorizonte sich bei diesen beiden unterschiedlichen Bodenformen in ihrem Mikrogefüge nicht wesentlich voneinander unterscheiden.

Die Ergebnisse der mikromorphologischen Untersuchung an Böden aus dem nordostdeutschen Jungmoränengebiet führen zu Zweifeln an der Hypothese, daß bei den Fahlerden Ton aus dem Bleichhorizont ausgewaschen, vertikal verlagert und in dem Tonhäutchenhorizont abgesetzt wurde. Aber auch andere eingesetzte Untersuchungsmethoden führen zu Ergebnissen, die mit der Toneluviations/-illuviationshypothese unvereinbar sind. Dazu gehören die Horizontbilanzen von der Tonverteilung.

4.3. Ton-Horizontbilanzen. Als Beweis dafür, daß Fahlerden durch eine Toneluviation/-illuviation entstanden sind, wird häufig angeführt, auch Horizontbilanzen hätten gezeigt, daß sich das Tondefizit im tonärmeren oberen Profiltail mit dem Tonüberschuß im Tonhäutchenhorizont deckt. Eigene Bilanzierungsversuche führten jedoch zu einer bemerkenswerten Erkenntnis, die im Widerspruch zur bisherigen Interpretation der Horizontabilanzen an Fahlerden steht. Um das Ausmaß der vermeintlichen Toneluviation/-illuviation quantitativ erfassen zu können, muß zunächst der ererbte und der durch Verwitterung gebildete Ton getrennt ermittelt werden. Indem man unter Benutzung geeigneter Indexsubstanzen (siehe zur Methodik der Bilanzierung Barshad [2]; Schlichting und Blume [23] für das gesamte Profil den ererbten Tongehalt errechnet, erhält man als Differenz zum gegenwärtig vorhandenen Ton

den neu gebildeten Ton. Ebenso ermittelt man den gesamten Sand- und Schluffverlust im Profil. Der Quotient aus Tongewinn und Sand-, Schluffverlust ergibt den sogenannten Tonbildungsfaktor, der multipliziert mit dem jeweiligen Sand- und Schluffverlust in den einzelnen Horizonten dort den Tongewinn durch Verwitterung aufzeigt. Addiert man den Gehalt von neu gebildetem Ton zum Gehalt an ererbtem Ton in den einzelnen Horizonten, dann erhält man eine sogenannte theoretische Tonverteilung im Profil. Die Differenzen, die zwischen dieser theoretischen und der gegenwärtigen Tonverteilung auftreten, sollen über das Ausmaß der Toneluviation/-illuviation in den Fahlerden Aufschluß geben. Entspricht dann dem Tondefizit in den tonärmeren Oberbodenhorizonten ein Tonüberschuß in den tonreicheren Unterbodenhorizonten, so wird das als Beweis angesehen, daß Fahlerden durch Toneluviation/-illuviation entstanden sind. Abgesehen davon, daß auf diese Weise auch ein Körnungsdifferenzierter Staugley eine ausgeglichene "Toneluviations/-illuviations-Bilanz" ergab, wird deutlich, daß bei einer derartigen Bilanzierung der Tonbildungsfaktor eine entscheidende Rolle spielt. Bei den eigenen Bilanzierungsversuchen fiel auf, daß der Tonbildungsfaktor mit Werten zwischen 0,2 und 0,4 außerordentlich niedrig liegt [15]. Auch Schlichting und Blume [23] geben für eine Parabraunerde aus Geschiebemergel einen Tonbildungsfaktor von 0,27 an. Sie weisen darauf hin, daß der neu gebildete Ton jeweils die Mindestmenge darstellt und daß ein größerer Tonmineralanteil schon wieder verwittert sein kann. Chemische Analysen vom Ton ergaben jedoch, daß man eine stärkere Tonmineralverwitterung bei den untersuchten Böden ausschließen muß. Auch ein im Bleich- und/oder braunen Zwischenhorizont dieser Böden festgestellter hoher Bodenchloritanteil in der Tonfraktion, der wahrscheinlich pedogen bedingt ist, kann kaum für diesen niedrigen Tonbildungsfaktor verantwortlich gemacht werden. Kundler [11] wies bei der Ton-Horizontbilanz einer Fahlerde aus Geschiebemergel darauf hin, daß möglicherweise hier bereits an Ton verarmtes Material gleicher Böden aus der Umgebung aufgetragen wurde. Um zu veranschaulichen, wie mächtig diese Überdeckung bei den bilanzierten Profilen gewesen sein müßte, wurde ein von Barshad [2] besonders für diese Zwecke entwickeltes Bilanzierungsverfahren angewandt. Danach ergäbe sich für die von Kundler bilanzierte Fahlerde ein Materialauftrag von tonärmerem Material von 24 cm. Zwar schließt nach Kundler die Position des Profils (4° geneigter Mittelhang einer Kuppe mit gleichartigen Profilen) eine Überdeckung von tonärmerem Material nicht aus, andererseits beobachtete Kopp [8, 9], daß im nordostdeutschen Jungmoränengebiet selbst auf Kuppen und schmalen Rücken und an Oberhängen mit 25 bis 30° Neigung die Fazies der Deckzone — die einen Teil des oberen tonärmeren Profilmittels darstellt — reliefunabhängig vorkommt. Aber auch die Geländesituation der anderen Profile, bei denen sich der Auftrag von tonärmerem Material zwischen 18 und 45 cm bewegen würde,

läßt Zweifel am Materialauftrag aus der Umgebung gleicher Böden aufkommen (vgl. [15]).

Es wird offenbar, daß eine Erklärung für den geringen Tongewinn bei einem relativ hohen Sand- und Schluffverlust in den körnungs-differenzierten Böden aus dem nordostdeutschen Jungmoränengebiet unmittelbar mit der Frage zusammenhängt, wie es in diese Böden zur Ausbildung eines tonärmeren oberen und tonreicheren unteren Profiltails kam. Diemann [5] ist auf Grund quartärgeologischer und geländebodenkundlicher Untersuchungen im nördlichen Teil des nordostdeutschen Jungmoränengebietes zu folgender Vorstellung gelangt: Aus dem sedimentologischen Geschehen bei der Bildung des Geschiebemergels der Grundmoränenebenen und der Endmoränenbereiche mit Grundmoränendecken muß die Ablagerung einer gröberen, weniger dicht gelagerten Schicht-, "ablation moraine" nach Flint [7] oder Finalmoräne nach Diemann [5] — über dem Material des basalen Gletscherbereiches gefolgert werden, wobei diese obere genetische Einheit sich einer Feststellung im Gelände entzieht. Aus dem Laminargefüge und der Korngrößenzusammensetzung des Geschiebemergels folgerten Wolff [26, 27] sowie andere Autoren, daß ihre Bildung nicht unter Mitwirkung so großer Schmelzwassermengen vor sich ging, die den Geschiebemergel auswaschen konnten, sondern, daß das Eis weitgehend "verdunstete" (Ablationsmoräne im Sinne der deutschen Literatur). Dadurch ist zu erklären, daß der relativ hohe Tongehalt im wesentlichen an Ort und Stelle verblieb und nicht ausgespült wurde. Ein stärkerer Abtransport feinerer Bestandteile durch Schmelzwässer erfolgte bei der Ablagerung der Finalmoräne. Ein weiterer lateraler Abtransport feinerer Bestandteile dürfte aus der sommerlichen Auftauschicht über dem Dauerfrostboden möglich sein. Das gilt aber nicht nur für die Substrate der Grundmoräne, sondern auch für alle anderen, die zu jener Zeit an der Oberfläche anstanden. Es muß in diesem Zusammenhang daran gedacht werden, daß ein Teil des Tons letztlich ins Weltmeer verfrachtet und somit dem geochemischen Landschaftshaushalt entzogen wurde. Auf Grund der Körnerpräparatmineralanalyse kann im allgemeinen eine enge mineralogische Verwandtschaft zwischen dem tonärmeren oberen und tonreicheren unteren Profiltail der untersuchten Böden festgestellt werden. Dies läßt sich einmal durch die lithogenetischen Zusammenhänge zwischen laminiertem Geschiebemergel und Finalmoräne erklären und zum anderen durch den Wirkungsmechanismus der kryogenen Prozesse. Dabei treten regionale Unterschiede auf. Im nördlichen Teil des nordostdeutschen Jungmoränengebietes sind großflächige Umlagerungen weniger zu erwarten, obwohl es auch hier gebietsweise zu stärkeren lateralen Bewegungen kam, wie die äolische Akkumulation in den Flugsandgebieten zeigt. Vorherrschend sind engräumige Umlagerungsprozesse, die bei der Herausbildung der periglazialen Deckserie im Sinne Lembkes [16] und Richters [19] nicht zu allochthonen sondern zu paraautochthonen Materialdifferenzierungen

und Durchmischungen führen. Dies erklärt auch die geringen Unterschiede hinsichtlich des Mineralbestandes zwischen dem tonärmeren oberen und tonreicheren unteren Profilverteil der untersuchten Böden aus diesem Gebiet. Dagegen muß für den Bereich der Pommerschen Haupttrandlage mit einer etwas stärkeren periglazialen Beeinflussung gerechnet werden. Darauf weisen auch deutliche Unterschiede hinsichtlich des Mineralbestandes zwischen dem tonärmeren oberen und dem tonreicheren unteren Profilverteil hin. Indem man sich durch einen stärkeren lateralen Tonabtransport den tonärmeren oberen und tonreicheren unteren Profilverteil der körnungs-differenzierten Böden entstanden denkt, kann man auch erklären, warum der Tonbildungsfaktor bei den bilanzierten Bodenprofilen jeweils nur so klein gewesen ist.

Es wäre naheliegend, mit einem stärkeren lateralen Feintonabtransport auch zu erklären, warum die Tonfraktion ($< 2 \mu\text{m}$) aus dem tonärmeren Profilverteil der untersuchten Böden stets deutlich weniger Feinton ($< 0,2 \mu\text{m}$) enthält als die Tonfraktion aus dem tonreicheren unteren Profilverteil. Allgemein wird diese Tatsache bei den Fahlerden noch als körnungsselektive Toneluviation/-illuviation gedeutet. Eigene Tonfraktionierungen zeigten jedoch, daß nicht nur die Tonhäutchenhorizonte der Fahlerden sondern auch die in die Untersuchung einbezogenen Marmorierungshorizonte eines Staugleys einen höheren Feintonanteil an der Gesamttonfraktion besitzen als im dortigen tonärmeren oberen Profilverteil. Ähnlich ist das Ergebnis bei einer Bänderbraunerde. Auch diese Befunde sprechen für eine einheitliche Genese des tonärmeren oberen Profilverteils in diesen Böden. Dabei haben vor allem Röntgenbeugungsanalysen gezeigt, daß hier als Hauptbestandteil der Dreischicht-Tonminerale Bodenchlorite auftreten, während im tonreicheren unteren Profilverteil vor allem Montmorillonite vorkommen. Dies scheint aber die entscheidende Erklärung für den unterschiedlichen Feintonanteil zwischen den tonärmeren Oberboden und den tonreicheren Unterbodenhorizonten bei den untersuchten Böden zu sein. Bekanntlich ist der Montmorillonit im Feinton angereichert. Andererseits wird allgemein angenommen, daß der Bodenchlorit eine typisch pedogene Bildung ist. Man stimmt mit zahlreichen neueren tonmineralogischen Untersuchungsergebnissen überein, wenn man annimmt, daß Bodenchlorite bei relativ niedrigen pH-Werten aus Montmorilloniten entstanden sind. Mit dieser Montmorillonitumbildung zu Bodenchlorit hat sich gleichzeitig eine Mineralteilchenvergrößerung vollzogen. Darin liegt die eigentliche Ursache für den unterschiedlichen Feintonanteil in den untersuchten körnungs-differenzierten Böden.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUBFOLGERUNG

Besonders mikromorphologische und mineralogische Analysen sowie Profilibalanzierungen haben an den untersuchten Böden die in neuerer

Zeit zur Fahlerdegenese durch eine körnungsselektive Toneluviation/illuviation geäußerten Zweifel bestätigt. Die eigenen sowie zahlreiche Untersuchungsergebnisse aus der Literatur zeigen jedoch, daß die Entwicklung der Fahlerden wahrscheinlich ein sehr komplexer Prozeß ist, in dem verschiedene Ursachen zu einer ähnlichen Profilausbildung führen können [12]. Man muß daraus schlußfolgern, daß die in einem Untersuchungsgebiet gesammelten Erkenntnisse hinsichtlich der Fahlerdeentstehung nicht leichtfertig auf andere Gebiete übertragen werden können, in denen ebenfalls Fahlerden vorkommen. Solange die Entstehungsursachen nicht geklärt sind, sollte man daher die Fahlerden nur nach ihrer Horizontkombination definieren.

LITERATUR

1. Altemüller H.-J., 1962. Beitrag zur mikromorphologischen Differenzierung von durchschlammter Parabraunerde, Podsol-Braunerde und Humuspodsol. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 98, S. 247-258.
2. Barshad I. 1964. Chemistry of soil development. In: F. E. Bear (Herausg.), Chemistry of the soil. Reinhold Publ. Corp., New York, S. 1-70.
3. Beckmann W., Geyger, E., 1967. Entwurf einer Ordnung der natürlichen Hohlraum-, Aggregat- und Strukturformen im Boden. In: Kubiëna W. L., Die mikromorphometrische Bodenanalyse. Stuttgart, Enke-Verl. S. 163-188.
4. Brewer R., 1968. Clay illuviation as a factor in particle-size differentiation in soil profiles. 9th Internat. Congr. Soil Sci. IV Adelaide/Australien, S. 489-499.
5. Diemann R., Entstehung und Ausbildung des Substrattyps Tieflehm im nördlichen Jungmoränengebiet der D.D.R. Ms. 1971.
6. Ehwald E., 1966. Zur Systematik der Böden der Deutschen Demokratischen Republik besonders im Hinblick auf die Bodenkartierung. Sitz.-Ber. Dt. Akad. Landwirtsch. Wiss. Berlin 15, 12, S. 5-55.
7. Flint R. F., 1947. Glacial geology and the Pleistocene Epoch. New York und London.
8. Kopp D., 1965. Die periglaziäre Deckzone (Geschiebedecksand) im norddeutschen Tiefland und ihre bodenkundliche Bedeutung. Ber. Geol. Ges. D.D.R. 10, S. 739-771.
9. Kopp D., 1967. Die Bodenformen in den Wäldern des Nordostdeutschen Tieflandes. Tharandt. Habil.-Schr.
10. Kopp E., 1967. Versuche zur synsedimentären Gefügebildung und Tondurchschlammung. Z. Kulturtechn. u. Flurbereinig. 8, S. 91-110.
11. Kundler P., 1969. Zur Methodik der Bilanzierung der Ergebnisse von Bodenbildungsprozessen (Profilbilanzierung), dargestellt am Beispiel eines Texturprofils auf Geschiebemergel in Norddeutschland. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 86, S. 215-222.
12. Laves D., 1972. Zum derzeitigen Kenntnisstand über die Entstehung von körnungs-differenzierten Böden mit Tonhäutchenhorizont in subborealen bis borealen Waldgebieten. Ber. Geol. Ges. DDR, Reihe B, in Vorb.
13. Laves D., Bergner D., 1970. Die Anwendung der Elektronenstrahlmikroanalyse in der Bodenkunde. Thaer-Arch. 14, S. 913-929.
14. Laves D., Henning O., 1970. Die Anwendung der Infrarotspektroskopie bei der Untersuchung der Bodentonfraktion, Wiss. Z. Hochsch. Archit. Bauwes. Weimar 5, S. 527-529.

15. Laves D., Thiere J., 1970. Mikromorphologische, chemische und mineralogische Untersuchungen zur Entstehung körnungsdifferenzierter Böden im Jungmoränengebiet der DDR. *Thaer-Arch.* 14, S. 691-699.
16. Lembke H., 1965. Probleme des Geschiebedecksandes im Jung- und Altmoränengebiet. Arbeitstagung d. Geogr. Ges. d. DDR v.18-20.9.64 in Berlin. *Ber. geol. Ges. DDR* 10, S. 721-726.
17. Plass W., 1966. Braunerden und Parabraunerden in Nordhessen. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd.* 117, S. 12-27.
18. Roeschmann G., 1967. Pleistocene soil relics of various ages in soil of Northwest Germany. *Quaternary soils, Proceedings Volume 9, VII. Congr. Int. Assoc. Quatern. Research*, S. 261-279.
19. Richter H., 1968. Vorschlag für Rahmennomenklatur. Unveröff. Manuskript f. d. Quartärkomitee d. DDR Leipzig.
20. Semmel A., 1964. Junge Schuttdecken in hessischen Mittelgebirgen. *Notizbl. hess. Landesamt Bodenforsch.* 92, S. 275-285.
21. Semmel A., Plass W., 1965. Spätkaltzeitliche Umlagerung in Parabraunerdeprofilen. *Mitt. Dt. Bodenkd. Gesellsch.* 4, S. 33-40.
22. Semmel A., 1967. Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen, Blatt Eiterfeld. Wiesbaden, S. 152-162.
23. Schlichting E., Blume, H.-P., 1966. *Bodenkundliches Praktikum.*
24. Thiere J., Laves, D., 1968. Untersuchungen zur Entstehung der Fahlerden, Braunerden und Staugleye im nordostdeutschen Jungmoränengebiet. *Thaer-Arch.* 12, S. 659-677.
25. Thiere J., 1968. Vergleichende Untersuchungen an Wald- und Ackerböden des Jungmoränengebietes der DDR. Dissertation, Eberswalde.
26. Wolff W., 1925. Die Entstehung der mecklenburgischen Seenplatten. *Der Naturforscher* 1.
27. Wolff W., 1927. Einige glazialgeologische Probleme aus dem norddeutschen Flachlande. *Z. Dts. Geol. Ges.* 79.

Contribution to the micromorphology and micromorphogenesis of gray-brown podzolic soils

S u m m a r y

The grey-brown podzolic soils have been investigated in order to explain the microgenesis of some processes of their creation. The investigation results may be summarized as follows: The doubts concerning the particle-size-selective clay eluviation-illuviation hypothesis in the last time have been reaffirmed, above all, by micromorphological, soil-chemical, and X-ray diffraction, as well as by calculating changes due to profile development in the soils examined. The observation that the gray-brown podzolic soils, bands brown soils and pseudogley soils of the North-East German young moraine district examined possess an upper profile part poorer in clay and a lower profile part richer in clay, may be explained by the fact that these soils have a primary grain differentiation in common, that most probably proceeded mainly under periglacial environmental conditions. In argillic horizons (Bt) of the gray-brown podzolic soils two fabric plasma formations with orientation can be differentiated: fabric plasma of poor to moderate preferred orientation distributed in the soil matrix, and mainly found in the upper part of the argillic horizons, and wall-adjacent fabric plasma of moderate to strong orientation mainly found in the middle and lower part as pore walls or pore fillings.

It is assumed that the wall-adjacent orientation double refracting clay substance was found but now, after the primary grain size differentiation, as a result of a clay migration proceeding within the loamy subsoil horizons. This is also suggested by the fact in the pseudogleys preformed by periglacial processes in the same way as the gray-brown podzolic soils wall-adjacent fabric plasma of orientation double refraction character due to the specific water dynamics prevailing here. Here fabric plasma with orientation double refraction character is mostly distributed in the soil matrix.

The development of the gray-brown podzolic soils under the influence of soil cultivation is largely limited to the upper soil horizons. Results from our investigations and by numerous other researches referred in literature demonstrate that the development of the gray-brown podzolic soils probably constitutes a very complex process in which various causes may lead to a similar profile formation. Finally, it can be concluded that the knowledge obtained in one investigation area on the formation of gray-brown podzolic soils respectively can be simply transferred to other areas where gray-brown podzolic soils occur. As long as the causes of origin have not been fully cleared up the gray-brown podzolic soils should be defined solely according to their horizons combination.