

# Ursachen und Auswirkungen bodengeographischer Grenzen in der Wetterau (Hessen)

von

Karl Josef Sabel

Das Original wurde 1982 herausgegeben vom Fachbereich Geowissenschaften  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, Frankfurt am Main

Serie D – Physische Geographie, Band 3

Frankfurter geowiss. Arb.	Serie D	Bd. 3	116 S.	19 Abb.	8 Tab.	6 Prof.	Frankfurt am Main 1982
---------------------------	---------	-------	--------	---------	--------	---------	------------------------

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 Die Bodengeographie als Teildisziplin der Bodenkunde und der Physischen Geographie</b>	7
1.1 Die Stellung der Bodengeographie in der Bodenkunde und Physischen Geographie	7
1.2 Bodengeographie als Subsystem der Landschaftsökologie	9
1.3 Problemstellung und Aufgabe der Untersuchung	10
<b>2 Arbeitsmethodik</b>	11
<b>3 Das Untersuchungsgebiet</b>	14
<b>4 Übersicht der Böden der Wetterau</b>	17
4.1 Die Hauptbodentypen der Wetterau	17
4.2 Die Tschernoseme in der Wetterau	17
4.3 Gliederung und Beschreibung der Tschernosem-Parabraunerde-Bodengesellschaft	18
4.4 Bodenchemische Analysen der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe	19
4.5 Schwermineraluntersuchungen an Profilen der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe	21
<b>5 Analyse der bodenbildenden Faktoren unter besonderer Berücksichtigung der Tschernosemgenese bzw. -erhaltung</b>	24
5.1 Der Einfluss des bodenbildenden Faktors Klima	24
5.1.1 Übereinstimmungen von Niederschlagshöhe und Bodentypenverteilung	24
5.1.2 Nicht-übereinstimmungen von Niederschlagshöhe und Bodentypenverteilung	24
5.1.3 Diskussion der Ergebnisse	26
5.2 Der Einfluss des bodenbildenden Faktors Ausgangssubstrat	27
5.2.1 Beziehungen zwischen Ausgangssubstrat und Bodenbildung	27
5.2.2 Bedeutung der pleistozänen Reliefformung für die Bodenbildung	27
5.3 Der Einfluss des bodenbildenden Faktors Relief	29
5.3.1 Beziehungen zwischen Reliefposition und Bodenbildung	29
5.3.2 Arbeitshypothesen zur reliefbedingten Tschernosemverteilung in der Wetterau	32
5.4 Der Einfluss des bodenbildenden Faktors Vegetation	34
5.4.1 Die Diskussion um die mitteleuropäische Tschernosemgenese	34
5.4.2 Neuere Ansätze zur Theorie der Tschernosemgenese und -erhaltung in Mitteleuropa	36
5.5 Die Entwicklung der bodenbildenden Faktoren und ihre Bedeutung für die Tschernosemgenese und -erhaltung in der Wetterau	38
5.5.1 Die Klimaabhängigkeit der Bodenverteilung in der Wetterau	38
5.5.2 Die Substratabhängigkeit der Bodenverteilung in der Wetterau	40
5.5.3 Die Reliefabhängigkeit der Bodenverteilung in der Wetterau	42
5.6 Überprüfung der Thesen an hand des Siedlungsverhaltens der neolithischen Bauern	45
5.6.1 Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen zur physischgeographischen Umwelt der neolithischen Bauern	45
5.6.2 Das Siedlungsverhalten der neolithischen Bauern in der Wetterau	47
<b>6 Zusammenfassung. Zur Deutung der bodengeographischen Grenzen in der Tschernosem-Parabraunerde-Landschaft in der Wetterau</b>	51
<b>7 Literaturverzeichnis</b>	55
<b>8 Anhang</b>	62

## Abbildungsverzeichnis

	Seite	
Abb. 1	übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit den Naturräumlichen Grenzen, Lage der Bodenprofile und -abfolgen	25
Abb. 2	Nord-Süd-Profil durch die Wetterau (I)	25
Abb. 3	Nord-Süd-Profil durch die Wetterau (I I)	25
Abb. 4	West-Ost-Profil durch die Wetterau	27
Abb. 5	Bodenabfolge bei Rockenberg	28
Abb. 6	Bodenabfolge östlich Wölfersheim	28
Abb. 7	Bodenabfolge nördlich Ober-Hörgern	30
Abb. 8	Bodenabfolge westlich Steinfurth	30
Abb. 9	Bodenabfolge zwischen Nieder-Weisel und Oppershofen	30
Abb. 10	Bodenabfolge nordwestlich Echzell	31
Abb. 11	Bodenabfolge südlich Wölfersheim	31
Abb. 12	Bodenabfolge nördlich Bad Vilbel	31
Abb. 13	Bodenabfolge südlich Bad Vilbel	32
Abb. 14	Reliefenergie pro qkm in der Wetterau und Lage der linienbandkeramischen Siedlungen der Phasen I -111 (MEIER-ARENDT)	33
Abb. 15	Bodenabfolge nördlich Utphe	41
Abb. 16	Bodenabfolge westlich Grund-Schwalheim	43
Abb. 17	Aufschluss in den Siedlungsgruben nördlich Wölfersheim	49
Abb. 18	Bodenprofilentwicklung, Horizontmächtigkeiten und Humusgehalt der Böden der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe in bezug auf den Niederschlag	52
Abb. 19	Bodentypenverteilung der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe in bezug auf Niederschlag und Reliefposition	53

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1 Mittlere Monats- und Jahressummen des Niederschlages (mm)	62
Tab. 2 Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur (Oe)	62
Tab. 3 Mittlere Zahl der Tage mit Niederschlägen von mindestens 0,1	63
Tab. 4 Sickerwassermengen (mm) aufgrund Lysimeterbeobachtungen der Station Nieder-Erlenbach	63
Tab. 5 Sickerwassermengen (mm) aufgrund Lysimeterbeobachtungen der Station Ossenheim	64
Tab. 6 Sickerwassermengen (mm) aufgrund Lysimeterbeobachtungen der Station Münzenberg	64
Tab. 7 Schwermineralanalysen der Bodenprofile P1-P3	65
Tab. 8 Schwermineralanalysen der Bodenprofile P4-P6	65

## Bodenprofilverzeichnis

Profil 1 Schwach degradierter Tschernosem (P1)	66
Profil 2 Stark degradierter Tschernosem (P2)	67
Profil 3 Parabraunerde-Tschernosem (P3)	68
Profil 4 Tschernosem-Parabraunerde (P4)	69
Profil 5 Humose Parabraunerde (P5)	70
Profil 6 Parabraunerde (P6)	71



## 1 Die Bodengeographie als Teildisziplin der Bodenkunde und der Physischen Geographie

Die Bodengeographie im weitesten Sinne erfreut sich in den letzten Jahren einer erstaunlichen Aufmerksamkeit der geowissenschaftlichen Forschung und erfährt dadurch eine stetige Aufwertung (AHNERT 1978). So erschienen in den 70er Jahren drei zum Teil umfangreiche Lehrbücher (GANSSEN 1972; HEMPEI 1974; SEMMEL 1977), die ein wachsendes Interesse an diesem Wissenschaftszweig bezeugen. Auch in der in diesem Untersuchungsbereich traditionsreichen DDR-Forschung wurde 1978 ein Sammelband vorgelegt (Akademie der Wissenschaften der DDR, Beiträge zur Geographie, Band 29: Arbeiten zur Bodengeographie), der die Entwicklung der jüngeren Physischen Geographie verdeutlicht.

Dem zuwider läuft scheinbar die Ausgabenpolitik der Reihe "Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. In Fortsetzung und Ergänzung von Supan-Obst. Grundzüge der Physischen Erdkunde.", in der bislang kein Band "Bodengeographie" editiert wurde. Sie ist auch in keinem der anderen Bände in irgendeiner Form subsumiert.

Die Untersuchung von Böden und ihrer flächenhaften Ausdehnung bietet als Arbeitsmethodik in der Geographie eine Fülle äußerst fruchtbarer Ansätze. So wird die Beziehung von Boden und Reliefgenese von SEMMEL (1977) besonders hervorgehoben, ein Supplement-Band der "Zeitschrift für Geomorphologie" (Band 33) trägt gleichfalls diesen Interdependenzen Rechnung. Die klimamorphologische Arbeitsrichtung der modernen Geomorphologie ist ohne Bodenkunde nicht mehr denkbar, deren Bodentypologie und -systematik Aussagekriterien für die paläoklimatischen Verhältnisse anbietet.

Quartärgeologische Fragestellungen werden ebenfalls mit Hilfe von Paläoböden zu beantworten gesucht, die Löß- und Flugsandstratigraphie ist ohne die Interpretation interglazialer und -stadialer Verwitterungen kaum abzuschließen (z.B. Hessen: SCHÖNHALS 1951; SCHÖNHALS et al. 1964; FREISING 1954; BECKER 1965; SEMMEL 1968; BIBUS 1974, Bayern: BRUNNACKER 1959, Niedersachsen: ROHDENBURG & MEYER 1966, Sachsen: LIEBEROTH 1962, 1963, Österreich: FINK 1954).

### 1.1. Die Stellung der Bodengeographie in der Bodenkunde und Physischen Geographie

Die bodenkundliche Wissenschaft erwuchs am Ende des 18. Jahrhunderts aus der Agrikulturchemie und Geologie zu einer selbständigen Disziplin. Die Forschungsschwerpunkte erfassten anfangs die Pflanzenernährung, Bodenchemie und später die Bodenphysik. Die moderne naturwissenschaftliche Bodenkunde beginnt mit dem russischen Geologen und Bodenkundler Vasilij Vasilevic Dokucaev, der die Böden unter genetischen Gesichtspunkten interpretierte und sie mit bestimmten Landschaftselementen in Beziehung brachte. Hier finden sich auch die ersten bodengeographischen Ansätze. SCHEFFER (1962:23) sieht in der Bodengeographie die jüngste Teildisziplin der Bodenkunde.

Der anfangs noch sehr deskriptive Ansatz in der Bodengeographie passte sich stark der geographisch ausgerichteten "naturräumlichen Gliederung" an, die dem Maßstabe entsprechende Bodengesellschaften als Kartiereinheiten forderte, deren Einzelglieder genetisch keine verwandtschaftlichen Beziehungen zu besitzen brauchen, solange sie sich ökologisch gleichartig darstellen (SCHAFFER 1968). Im Hintergrund stand häufig die Erwartung, quantifizierbare Flächen für die Nutzungsplanung zu gewinnen (SCHAFFER & SCHULZ 1972). In diese Richtung laufen auch die Versuche, eine "isofunktionale" Bodentypenklassifikation der "isogenen" vorzuziehen (MUTERT et al. 1979), wogegen PLASS (1982) Stellung nimmt.

Was bei der großmaßstäblichen Aufnahme problemlos erscheint, erfordert bei kleineren Maßstäben andere Kartiereinheiten, die aber keinesfalls einfach durch Generalisieren entwickelt werden können. Das Eliminieren oder Subsumieren des flächenmäßig Untergeordneten kann leicht boden- wie

landschaftsgenetische Muster verdecken oder gar umkehren. SCHLICHTING (1970:2) stellt daher fest, dass eine Landschaft und deren Genese nicht allein durch den am weitesten verbreiteten Bodentyp erfassbar ist, sondern häufig haben gerade die kleinflächigen, durch "Besonderheiten" gekennzeichneten Bodenareale hohen diagnostischen Wert für die Entwicklung einer Region. Dieser Erkenntnis trägt er Rechnung, wenn er Räume nach Bodengesellschaften gliedern möchte, deren Zusammengehörigkeit sich aus einer Beziehung der bodenbildenden Prozesse ergibt. Je nach Maßstab der Karte ist der die Bodengesellschaft charakterisierende und gegen andere Bodengesellschaften abgrenzende bodenbildende Faktor deutlich herauszuarbeiten. Aus geographischer Sicht erfreulich ist die starke Gewichtung des Reliefs und die sich daraus ergebende Bodengliederung, wenn auch weniger dieser bodenbildende Faktor selbst und seine Veränderung im Vordergrund steht, als vielmehr seine Funktion im bodengenetischen Prozessgefüge.

In die gleiche Richtung tendiert auch GANSSEN (1961), wenn er zonale und intrazonale Böden, die genetisch miteinander verknüpft sind, in einer Klassifikation erfasst wissen will. Stärker noch als bei SCHLICHTING wird die geographische Ausstattung einer Landschaft dieser Gliederung zugrundegelegt, jedoch immer unter dem Aspekt einer Bodensystematik. In konsequenter Weiterentwicklung dieses Gedankens entstand die "Bodengeographie" (2. Auflage 1972), die GANSSEN im Grenzbereich von Bodenkunde und Geographie angesiedelt sieht (S. XV). Er will "die Beziehung zwischen bodenbildenden Prozessen (bb-Prozessen) und jeweiliger geographischer Situation klären und damit also die Bodenbildung aus der Wirkung der Stoffe, Kräfte und Energien der jeweiligen Umwelt verständlich machen" (S. XV). Gerade die Interpretation der intrazonalen Böden, die ungleich deutlicher als die zonalen von den nichtklimatischen bodenbildenden Faktoren gekennzeichnet sind, sieht er besonders durch die Physische Geographie erleichtert, da auch mit ihr viele Nachbarwissenschaften wie Geologie, Hydrologie, Biologie usw. einbezogen werden können.

Die pedologische Arbeitsweise der Bodengeographie geht von Bodenarealen aus, sie systematisiert und definiert deren Bodentypen und versucht schließlich, ihre Verteilung durch den unterschiedlichen Einfluß der bodenbildenden Faktoren zu erklären; sie kehrt aber immer wieder über die Bodengenese zur -systematik zurück. Die einem Bodentyp zugrundegelegte Genese und die Wirkungszusammenhänge werden also ständig in der Bodengeographie verifiziert.

Zwar wurde seitens der geographischen Forschung dem Boden und seiner Verteilung in der Landschaft ein gewisser Stellenwert zuerkannt, doch blieb die Bodengeographie lange Zeit ein "Stiefkind" (BRONGER 1976) der Geographie, obgleich immer wieder auf die Notwendigkeit einer engeren Verbindung von Geographie und Bodenkunde hingewiesen wurde (FRÄNZLE 1965). Jüngst forderte NEEF (1978) erneut, dem Boden den ihm angemessenen Platz in der Physischen Geographie einzuräumen. Dieses Postulat resultiert aus der Kenntnis der engen Verflechtungen der bodenbildenden Faktoren mit der Geographie. HEMPEL (1974:2f) führt dazu aus: "Die Lage des Bodens an der Grenze von Atmosphäre und Petrosphäre, sowie im Nahbereich der Biosphäre und Hydrosphäre verleiht der Geographie der Böden fast unübertroffene Schlüsselfunktion."

Nach SEMMEL (1977:9) befaßt sich die Bodengeographie mit der räumlichen Differenzierung der Böden und deren Ursachen. Soweit geht der Geograph mit dem Bodenkundler konform. Es scheiden sich aber die bei den Wissenschaftszweigen in Bezug auf den Blickwinkel, unter dem der Boden betrachtet wird. Während der Bodenkundler aus der Verteilung der Böden in der Landschaft Aussagen zur Bodengenese und -systematik gewinnt, also das Bodenprofil in den Mittelpunkt seiner Betrachtungsweise stellt, schließt der Geograph aus dem Boden auf die Landschafts- und Reliefentwicklung (SEMMEL 1977:9). Die Bodengeographie im geographischen Sinne benötigt also immer die Rückkopplung mit geographischen Formen und Prozessen, der Pedologe dagegen löst mittels der Bodengeographie eher bodenprofilbezogene Fragestellungen.

Die enge Beziehung zwischen Bodenkunde und Geographie basiert auf dem gemeinsamen Forschungsgegenstand "Boden", dessen Bildungsfaktoren sich weitgehend mit den Geofaktoren decken, die auch in der Geographie bearbeitet werden (LESER 1974:167). Vor allem auch der

kulturgeographische Aspekt spielt eine nicht zu unterschätzende Rolle, da der Mensch direkt und indirekt in die Bodengenese eingreift.

## 1.2 Bodengeographie als Subsystem der Landschaftsökologie

Das ureigenste Arbeitsgebiet der Geographie ist und bleibt die Landschaft, die Untersuchung der organischen, anorganischen und anthropogenen Geokomponenten und -elemente (LESER 1976: 235). Die Lehre des sich daraus ergebenden Wirkungsgefüges kann als Landschaftsökologie bezeichnet werden, die nach SCHMITHOSEN (1974:409) das Kerngebiet der Geographie darstellt. Die ungeheure Komplexität dieses Forschungsgegenstandes erfordert zwangsläufig eine arbeitsteilige Gliederung der Landschaftsuntersuchung, wobei die Physische Geographie sich natürlich auf die eher naturwissenschaftlichen Komponenten beschränkt, aber nie den Faktor "Mensch" unberücksichtigt lassen darf.

Gerade die modernen Ansätze der Landschaftserforschung eröffnen die Möglichkeit, den Naturhaushalt als ein System zu verstehen und es in Form kybernetischer Modelle darzustellen. Vor allem die Modelle von H. RICHTER (1968) zeigen, welche komplizierten Wechselwirkungen in der Landschaft vorkommen. Der besondere Vorteil dieser graphischen Darstellungen liegt wohl darin, dass ihr Abstraktionsgrad einen Überblick über die diversen Teilsysteme eines Ökosystems eröffnet und ein methodisches Vorgehen bei der Landschaftserforschung erleichtert. Damit ist natürlich zuerst nur die Kennzeichnung der beteiligten Faktoren und die Art ihrer Einflussnahme in der Landschaft erfasst, nicht jedoch ihre quantitative Gewichtung in einem Gesamtsystem. Je kleiner das Untersuchungsareal ist, desto eher ist auch eine quantitative Differenzierung der Wechselwirkungen der Geofaktoren möglich.

Es zeigt sich, daß der Boden in allen Modellen **d a s** Teilsystem darstellt, das die meisten Ökosystemglieder integriert (RICHTER, H. 1968). "Er kommt dem Inhalt nach dem Gesamtkomplex unter allen übrigen Geokomponenten am nächsten ••• " (HAASE 1978:5). Er vereinigt in sich den stärksten Grad der Wechselwirkungen der geographisch relevanten Komponenten der Landschaft und eignet sich daher vorzüglich als charakteristischer Parameter der Landschaftserforschung, denn eine vollständige und alles umfassende Raumanalyse ist kaum zu leisten.

LESER (1976:107) warnt jedoch davor, den Boden als "geoökologisches Hauptmerkmal" (NEEF 1963) zu überschätzen, da er nur langsam auf Landschaftsveränderungen reagiere. Der "klassische" (LESER 1976:48) kombinierte Arbeitsansatz Geomorphologie/Boden in der Landschaftsökologie ist auch nach Ansicht von KLINK (1966) nicht befriedigend, da nur die Vegetation das landschaftliche Wirkungsgefüge optimal wiederzugeben vermöge. Sie ist in der Lage, sich schnell auf Veränderungen einzustellen und damit Ausdruck der aktuellen ökologischen Verhältnisse zu sein. Das Prozesshafte des Landschaftshaushaltes lässt sich jedoch mittels der Vegetation allein kaum quantifizieren, gerade dies wird aber zur naturwissenschaftlichen Fundamentierung der Landschaftsökologie gefordert (NEEF 1962; FRÄNZLE 1965; LESER 1976).

Der Standortzeigerwert der Pflanzenwelt ist unbestritten ein bedeutsames Kriterium für die in der Landschaft ablaufenden Prozesse. Doch auch KLINK (1972: 11) weist selbst darauf hin, dass Vegetation und Tierwelt zu den labilsten Gliedern im Ökosystem zählen und daher leicht nur ephemere Stadien der Landschaftsentwicklung ausdrücken. Aber auch der Boden weist z. B. mit seinem Wasserhaushalt (NEEF 1960) und Erosionsgrad (RICHTER, G. 1965) Merkmale mit kurzen oder mittelfristigen Reaktionszeiten auf, die zudem auch quantifizierbar sind.

Eine Landschaftsanalyse, die lediglich aktual-dynamische Prozesse mißt und analysiert, leidet jedoch an einem elementaren Mangel, da sie dem polygenetischen Charakter der Landschaft kaum gerecht wird. Dies gilt besonders im Hinblick auf den Boden. "Für Probleme der kausalen Deutung der Bodenverbreitung wird nun oft übersehen, dass das Erkennen der Abhängigkeit der Bodenbildung von

den bodenbildenden Faktoren der Gegenwart hierfür allein noch nicht ausreicht" (BRONGER 1980: 253). Bodengesellschaften mit reliktschen Böden, die gewisse Merkmale eines früheren Entwicklungsstadiums tradiert haben, können nur aus einer Landschaftsgeschichte heraus erklärt werden.

Für die genetische Landschaftsforschung aber ist der Boden von überragendem Aussagewert, gerade weil er kaum vom schnellen Wechsel historischer und aktueller Einflüsse berührt wird und nur langfristig anhaltende Faktorenänderungen repräsentiert. Die Bodengeographie, wenn sie nicht einseitig profilorientiert eine Auflistung von Bodentypen darstellt, bietet als umfassendste Einstiegsmöglichkeit sich für die genetische Landschaftsforschung an. Bei ihr werden differenzierte geomorphologische und quartärgeologische Analysen verlangt, auch die jungpläistozäne und holozäne Klimaentwicklung fließt in diese Untersuchungen mit ein. Solche landschaftsgestaltende Faktoren bestimmen aber auch die Bodengenese, sodass ihre Veränderung zugleich einen Wechsel im Wirkungsgefüge der Faktoren, also eine Veränderung der Landschaft anzeigt. Das heißt aber auch, dass aus dem erfolgten Landschaftswandel auf die Weiterentwicklung der Böden geschlossen werden kann. Das Forschungsobjekt der Bodengeographie verlangt nach einer synoptischen Betrachtungsweise, die bei der rein naturwissenschaftlich ausgerichteten Physischen Geographie gelegentlich vermisst wird. Die Einbeziehung des "Menschen" in das Untersuchungsspektrum gewährleistet damit auch die Verbindung zur Anthropogeographie.

### **1.3 Problemstellung und Aufgabe der Untersuchung**

Aufgabe dieser Untersuchung soll es sein, landschaftliche Grenzen in einem Teil Hessens mittels der Bodengeographie zu erfassen und ihre Genese zu interpretieren. Dabei geht es sowohl um die Entwicklung der Böden, als auch um den standortspezifischen Einfluss bodenbildender Faktoren. Es wird zu zeigen sein, inwieweit die Bodengeographie in der Lage ist, entscheidende Aussagen zur Landschaftsentwicklung und zur Pedogenese anzubieten. Es liegt in der Natur des Untersuchungsgegenstandes "Boden", dass auch geologische, speziell quartärgeologische, hydrologische, aber auch prähistorische Fragestellungen aufgegriffen werden.

Der "konservative" Charakter der Bodenbildung, die sich den verändernden Standortbedingungen mit einer gewissen Verzögerung anpasst, gestattet eben wegen dieser Eigenschaft Einblick in größere Zeitabschnitte. Somit wird die Landschaft als etwas Entwickeltes und sich Weiterentwickelndes verstanden, aktuelle Prozesse können in dieser Relation besser eingeschätzt werden.

## 2 Arbeitsmethodik

Über den methodischen Weg gibt es in der Literatur kaum Kontroversen, denn Ausgangspunkt aller bodengeographischer Arbeiten ist letztlich die "homogene Fläche" (NEEF 1964). Sie fordert Gleichartigkeit bezüglich der mineralischen und organischen Bestandteile und dem Prozessgefüge. In der Bodengeographie stellt der Pedotop in der topologischen Dimension diese Grundeinheit dar. Auf der nächst höheren Ebene, der chorischen Dimension, ist es nötig, soweit zu abstrahieren, dass die Heterogenität einer Landschaft gewahrt bleibt und die topologischen Inhalte ohne größeren Informationsverlust erkennbar bleiben. Die unvermeidliche Generalisierung darf nicht zu einer Verdeckung der Veränderung des Pedotopes auslösenden Faktoren führen. Das komplizierte Wirkungsgefüge wird auf die differenzierenden Faktoren reduziert. Es geht also um die Verknüpfung genetisch verbundener Areale, die in einem Ökotoptopgefüge vernetzt sind. Es soll bei der Generalisierung nicht einfach der Hauptbodentyp einer Landschaft stärker hervorgehoben werden, denn die flächenmäßig weniger dominanten Glieder des Bodenmosaiks vermögen oft entscheidend die Landschaftsentwicklung zu entschlüsseln helfen.

So sehr flächenhafte Aufnahmen in Form von Bodenkarten die vorliegende Arbeit erleichterten, so wenig sind allerdings die Intentionen vergleichbar. Es handelt sich bei den Bodenkarten streng genommen um eine Auflistung der Bodentypen und deren flächenhafte Verteilung (Kartieranleitung 1971:12). Es geht aber nicht darum, ein Beziehungsgefüge in der Landschaft herzustellen. Eine Bodenkarte ist also in erster Linie eine Inventarisierung, eine Bestandsaufnahme, ohne dass das Wirkungsgefüge selbst thematisiert wird. Es kann durch Verallgemeinerung und Interpretation der Karten eine bodengeographische Gliederung vorgenommen werden, doch die Kartierung selbst bietet nur eine Quantifizierung der Bodentypenareale, eine Erfassung der Interdependenzen bodenbildender Faktoren und ihre genetische Entwicklung ist damit unmittelbar noch nicht erreicht.

Messbare Kausalzusammenhänge können aber häufig nur für aktuelle Prozesse eindeutig belegt werden. Diffizile bodengenetische Vorgänge in einer durch reliktsche Böden gekennzeichneten Landschaft für eine bestimmte Prozessphase exakt zu fassen, scheint einerseits wegen der Unmöglichkeit der messtechnischen Überprüfung, andererseits wegen der eher hypothetischen Einflussrangfolge der Bodenbildungsfaktoren und ihrer Veränderung in der Zeit äußerst schwierig, wenn nicht unmöglich.

Um die typische Vergesellschaftung der Pedotope herauszuarbeiten, sind prinzipiell zwei Arbeitsweisen und Darstellungstechniken möglich. Einmal kann von einer flächenhaften Bodenkartierung ausgegangen werden, deren Bodentypenverteilung die Grundlage für die Abstraktionsebene in der chorischen Dimension darstellt. Dieses Verfahren ist aber bei größeren Arealen kaum durchführbar und zwingt zu einer anderen Methodik.

Es bietet sich der Profilschnitt an, dessen Auswahl zugegeben einer gewissen Subjektivität unterliegt. Die guten Erfahrungen bei der Naturräumlichen Gliederung Deutschlands (KLINK 1966) ermutigen aber zu dieser Methode, zumal der Übergang zur modellhaften Darstellung der bodengeographischen Zusammenhänge erleichtert wird.

Um über die Häufigkeitsverteilung einer homogenen Fläche im Profil hinauszukommen und die gesetzmäßige räumliche Abfolge in der Landschaft darzustellen, bietet sich die Catena (MILNE 1936) an, die ein typisch bodengeographischer Begriff ist. Es soll aber in dieser Arbeit eine Erweiterung des Catena-Begriffes vorgenommen werden, da nicht immer von einem einheitlichen Ausgangsgestein für die Bodenbildung gesprochen werden kann. Gerade die polygenetischen oberflächennahen Lockergesteine unserer Mittelgebirge würden bei strenger Anwendung des Catena-Prinzipes diese Darstellungstechnik verbieten (HAASE 1961). KLINK (1966 a: 48ff) hat um dieses Problem zu umgehen den Begriff der "zusammengesetzten Catena" gewählt.

Um die Ursachen bodengeographischer Grenzen in der Wetterau richtig bewerten zu können, ist die

Analyse der bodenbildenden Faktoren notwendig, denn ihre Variabilität und unterschiedliche Bedeutung im Konstellationsgefüge zueinander bedingen den Bodentyp. Dabei kann natürlich nicht auf den historisch-genetischen Aspekt verzichtet werden. Da aber bei einer genetischen Landschaftserforschung der Klimaxboden selten Einsichten in frühere Entwicklungsstadien erlaubt, ist es sehr vorteilhaft, auf reliktsche oder fossile Böden zurückgreifen zu können, die eine ältere, heute – wie sich am rezenten Klimaxboden belegen lässt – veränderte Faktorenkonstellation widerspiegeln. Da aber gerade reliktsche Böden seit ihrer Entstehung nicht dem weiteren pedogenen Prozess entzogen sind und folglich einen polygenetischen Charakter aufweisen, muß eine vorsichtige Rekonstruktion ihrer Morphologie und ehemaligen Verbreitung vorgenommen werden. Ihr Veränderungsprozess gibt Auskunft über Einfluß und Entwicklungstendenzen einzelner bodenbildender Faktoren.

In der Wetterau bietet sich der Tschernosem bzw. seine Degradationsformen als Maßstab des Kausalgefüges der Bodenentwicklung und -verteilung an. Die heterogenen Zustandsformen des Tschernosems und ihre flächenhafte Verteilung sind Ausgangspunkt für die Untersuchung des Einflusses und seiner historischen Veränderlichkeit bodenbildender Faktoren. In ihr müssen schließlich auch die Ursachen der heutigen bodengeographischen Grenzen begründet sein. Ober das Siedlungsverhalten in den frühen Phasen der Bandkeramik wird indirekt eine ehemalige Bodenverteilung zu rekonstruieren versucht.

### Chemische und physikalische Bodenuntersuchungsmethoden

- 1 Bestimmung der Bodenfarbe: In feuchtem Zustand mittels der MUNSELL SOIL COLOR CHARTS (1971).
- 2 pH -Bestimmung: Nach DIN-Vorschrift 19684, Teil 1 (1977) in 0,1n KCl. Messung elektrometrisch) mit Glaselektrode und Oigitalmultimeter DIGI 610 E (WTW).
- 3 Bestimmung der Carbonate: Nach DIN-Vorschrift 19684, Teil 5 (1977) quantitativ mit Gasvolumeter nach SCHEIBLER.
- 4 Bestimmung der organischen Substanz: Nach der Methode von RIEHM & ULRICH (1954) quantitative kolorometrische Bestimmung, mit Spektralphotometer C 21 Spetronic von BAUSCH & LOMB gemessen.
- 5 Bestimmung des Gesamtstickstoffs: Nach DIN 196B4, Blatt 34 (1977) mit Aufschlussapparatur BOCHI 430 und Destillationsapparatur BOCHI 320.
- 6 Bestimmung des dithionitlöslichen Anteils der Eisenoxide ( $Fe_o$ ): Nach der Methode von MEHRA & JACKSON (1960) Extraktion und Bestimmung, mit AAS SP 90 A (UNICAM) gemessen.
- 7 Bestimmung des oxalatlöslichen Anteils der Eisenoxide ( $Fe_o$ ): Nach DIN-Vorschrift 19684, Teil 6 (1977) Extraktion und Bestimmung, mit AAS SP 90 A (UNICAM) gemessen.
- 8 Bestimmung der Austauschkapazität und der austauschbaren Kationen: Nach der Methode von MEHLICH und DIN-Vorschrift 19684, Teil 8 (1977) Bestimmung, durch Titration Bestimmung der Austauschkapazität (T-Wert), mit AAS SP 90 A (UNICAM) Bestimmung der austauschbaren Kationen ( $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ). T-Wert: Potentielle Kationenaustauschkapazität ( $AK_{pot}$ ) in mval/100 g Boden. S-Wert: Summe der austauschbaren Kationen in mval/100 g Boden. V-Wert: (Basensättigung in % der  $AK_{pot}$ ):  $(S/T) \times 100$
- 9 Korngrößenbestimmung: Es wurden Humus und Kalk zerstört. Die Dispergierung der Proben erfolgte mit  $0,4n Na_4P_2O_7$ . Nach DIN-Vorschrift 19683, Teil 1 (1973) wurde Nasssiebung bis 20µA vorgenommen, während bei den Kornfraktionen von  $20\mu - \geq 2 \sim$  die Pipettmethode von KOHN

gemäß DIN-Vorschrift 19683 -2, Teil 1 & 2 (1973) angewendet wurde.

### **Mineralanalyse**

- 10 Bestimmung der Schwerminerale: Die Proben wurden nach der Dispergierung mit Na-Diphosphat nass auf 63~ bis 200? gesiebt, bei Carbonatgehalt in ca. 10 % Salzsäure in der Regel bei sehr niedrigem pH gewaschen, 30 Minuten in Na-Dithionit gekocht und nach dem Trocknen in der Zentrifuge in Bromoform getrennt. Die schwereren Minerale wurden in Aroclor eingebettet und unter dem Polarisationsmikroskop bestimmt. Um eine repräsentative prozentuale Verteilung der Schwerminerale zu erhalten, wurden mindestens 200 Körner ausgezählt. Minerale, die einen Anteil von 0,5 % nicht überschritten, wurden mit "+", d. h. "nur sehr vereinzelt vorhanden" bezeichnet.

### 3 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (Abb. 1)\* umfasst eine für Deutschland typische Beckenlandschaft, die Wetterau, und beträgt etwa 800 qkm. Zwischen dem Taunus im Westen und dem Vogelsberg im Osten erstreckt sich die Wetterau ca. 40 km in nord-südlicher Richtung und ist durchschnittlich 20 km breit. Der Wald ist fast völlig vom Ackerbau verdrängt. Dies ist einerseits auf die fruchtbaren Böden aus Löß zurückzuführen, andererseits auf die geschützte Lage zum Taunus. Die Jahresdurchschnittstemperaturen nehmen von Norden (Münzenberg: 9°C) nach Süden (Bad Vilbel: 9,5°C) um ein halbes Grad zu.

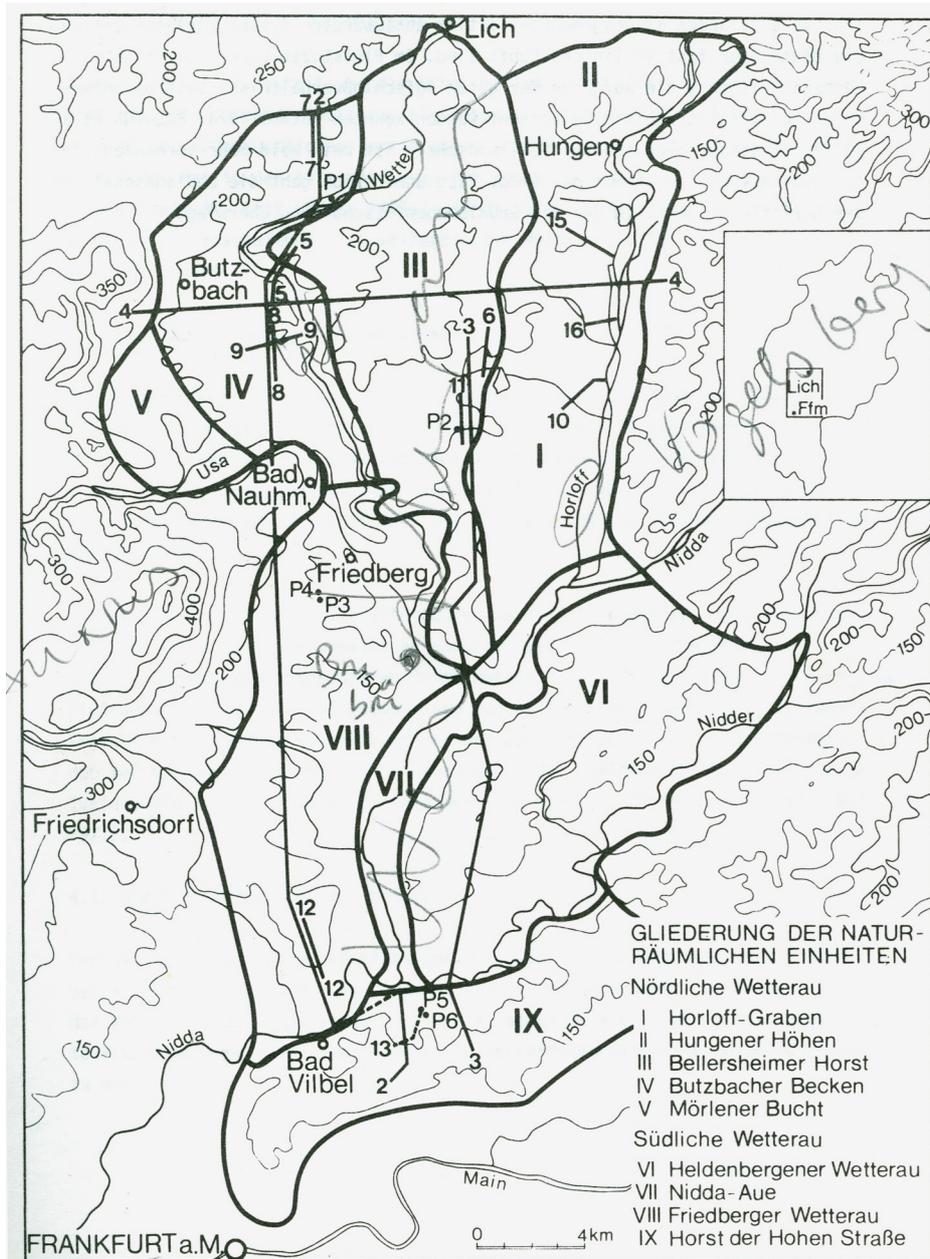


Abb. 1 Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit den Naturräumlichen Grenzen, Lage der Bodenprofile und -abfolgen

\*Die Abbildungen 1 und 14 weisen als Kartengrundlage eine nach der TOK 200, Bl. Umgebungskarte Frankfurt am Main, generalisierte und verkleinerte Neuzeichnung auf.

Die Niederschläge erreichen im Süden (Bad Vilbel: 628 mm) und Südosten (Erbstadt: 608 mm) Werte, die zum Zentrum der Wetterau jedoch schnell abnehmen (Münzenberg: 536 mm). Erst mit dem weiteren Anstieg zum Gießener Landrücken und Laubacher Hügelland können wieder mehr als 600 mm Niederschlag verzeichnet werden (Lich: 619).

Die geologisch bedingte Öffnung der Wetterau zum Untermaingebiet erklärt die dominierende südwestliche Windströmung im Süden. In der nördlichen Wetterau macht sich aber zunehmend die Leelage zum Taunus und die Nord-Süd-Struktur des Beckens bemerkbar. In Bad Nauheim wird die Abhängigkeit der Windrichtung von der Landschaftsform offensichtlich. Westliche und östliche Winde sind bedeutungslos, während Nord- und Süd-Winde eindeutig vorherrschen. Die jahreszeitliche Verteilung der Windrichtungen unterstreicht diesen Effekt noch zusätzlich. Die Niederschlag bringenden, aus Südwest und Süd einströmenden Luftmassen bestimmen das Bild im Winter, während sie aber bei Dominanz der Hochdruckwetterlagen im Sommer stark zurücktreten und die trockenen Nord- und Nord-Ost-Winde vorherrschen (SCHIRMER 1959:Tab. 1 und 2).

Geologisch ist die Wetterau die nördliche Fortsetzung des Oberrheingrabens (SCHENK 1974; ORTLAM 1981). Infolge der tertiären Absenkung bilden Kiese, Sande, Kalke und Mergel die Beckenfüllung. Aus dem Vulkangebiet des Vogelsberges stammen die Basalte, die vor allem in der nördlichen Wetterau anstehen. Während des anschließenden Pleistozäns wurden die Gesteine von teilweise sehr mächtigen Lössen bedeckt.

Die Teillandschaften der Wetterau werden durch die tektonische Kammerung bestimmt (Abb. 1). Die Gliederung in einen nördlichen und südlichen Teil ist durch den weit nach Osten vorspringenden Taunuskamm bei Bad Nauheim vorgezeichnet. Paläozoische Schiefer stehen aber auch noch jenseits der Wetter bei Wisselsheim an, doch werden sie hier schon der Wetterau zugeordnet. Südlich dieser "Taille" gliedert man eine Friedberger und eine Heldenbergener Wetterau aus, die durch die breite Nidda-Aue getrennt werden. Der östliche Teil erreicht Höhen bis 220 m NN und geht bei Staden -Altstadt in den bewaldeten Vogelsberg über. Die Friedberger Wetterau grenzt an den Taunusabhang und ist durch Bäche in schmale Segmente zerschnitten. Die südliche Begrenzung der Wetterau zur Hanau-Seligenstädter-Senke bildet der Berger Rücken, oder auch Horst der Hohen Straße. Lediglich nach Südwesten kann keine deutliche, natürliche Grenze zum Taunusvorland gefunden werden, die Linie Frankfurt/Main -Bad Homburg ist eher willkürlich. Die Lössmächtigkeit der südlichen Wetterau schwankt entsprechend der Höhenlage beträchtlich, sie ist oberhalb 200 m NN nur noch gering (Kaicher Höhe, Große und Kleine Loh), hier sind dann auch vereinzelte Wälder verbreitet.

Eingerahmt vom Taunus im Westen, vom Vogelsberg im Osten und vom Gießener Landrücken bzw. Laubacher Hügelland im Norden wird die nördliche Wetterau in drei Teillandschaften gegliedert: Butzbacher Becken, Bellersheimer Horst, Horloff-Graben.

Im Westen liegt das flachwellige Butzbacher Becken mit der Mörlener Bucht in einem Niveau von ca. 200 m NN. Entwässert wird es von der Usa und Wetter, die den Grenzfluss zum östlich anschließenden Münzenberger Rücken, oder auch Bellersheimer Horst, darstellt. Tektonisch weniger stark abgesenkt bzw. relativ zum Umland gehoben erreicht der Horst im Norden um Münzenberg Höhen um 250 m NN, nach Süden wird er jedoch immer flacher (Ossenheimer Wäldchen: 160 m NN). Tertiäre Basalte und Lockergesteine bauen ihn auf, die aber vor allem im Süden von mächtigen Lössen überdeckt werden. Um Münzenberg lagert nur ein geringer Lössschleier über den Gesteinen und verhüllt stellenweise kaum die tertiären Bodenrelikte (BIBUS 1973). So kennzeichnet in dieser Region auch der Wald die Landschaft, während er nach Süden bis auf kleine Inseln gerodet ist. Durch eine zumindest im Nordwesten markante Bruchstufe wird die um 100 m tiefere Horloff-Niederung, die besser als Horloff-Graben bezeichnet wird, nach Osten abgegliedert. Seinen Namen erhielt das Senkungsgebiet von der es entwässernden Horloff, die an der Grenze zum Vogelsberg fließt. Durch das stetige Absinken der Scholle entstanden im ausgehenden Tertiär abbauwürdige Braunkohlelagerstätten, die heute aber fast völlig erschöpft sind. Im Pleistozän wurden mächtige Löss abgel-

agert, die aufgrund der guten Aufschlußverhältnisse bestens untersucht und stratigraphisch zugeordnet werden konnten (BIBUS 1974; BOENIGK et al. 1977). In dieser sehr flachen Teillandschaft ist kein Wald mehr vorhanden, intensiver Ackerbau bestimmt das Bild. Fast unmerklich geht die lößlandschaft in die Horloff-Aue über, in der die Grünlandbewirtschaftung überwiegt.

## 4 Übersicht der Böden der Wetterau

Die hohe Ertragsfähigkeit und die Nähe zum Agglomerationsraum Rhein-Main-Gebiet gibt den Böden der Wetterau ein besonderes Gewicht. Dies dokumentiert sich auch in den bodenkundlichen Kartierungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung, das in den letzten Jahren die Bodenkarten 1:25000, Bl. 5518 Butzbach (1978), Bl. 5619 Staden (1976) und Bl. 5818 Frankfurt am Main-Ost (1979) vorlegte. In Bearbeitung sind weiterhin die Meßtischblätter 5819 Hanau und 5718 Ilbenstadt.

### 4.1 Die Hauptbodentypen der Wetterau

Der Klimaxboden der Wetterau ist die Parabraunerde, die ganz überwiegend aus Löß entstanden ist. In höheren Lagen und an steileren Hängen konnte sich auf solifluidal umgelagertem Substrat eine Phäno-Parabraunerde entwickeln (BARGON et al. 1971). Diese pleistozänen Schuttdecken setzen sich aus Untergrundmaterial und je nach stratigraphischer Position aus Löß bzw. Lößlehm zusammen (SEMME 1964, 1968).

Azonale Böden sind meist auf anthropogen ausgelöste Bodenerosion zurückzuführen und finden sich vornehmlich an Hängen. Hier dominiert die Rendzina aus Löß. Der Gruppe der intrazonalen Böden werden einerseits die Gleye der Bach- und Flußauen, andererseits die Pseudogleye zugerechnet. Bei ihnen tritt zeitweise Staunässe aufgrund gehemmter Versickerung auf. Auf den vulkanischen Gesteinen der Wetterau werden häufig z. T. unter Löß- oder Lößlehmbedeckung Rotlehme gefunden, die ins Jungtertiär datiert werden müssen (BIBUS 1973; HEIM 1971; WIRTZ 1972).

### 4.2 Die Tschernoseme in der Wetterau

Für die Bodengeographie und Physische Geographie besonders interessant sind neben den fossilen Böden des Jungtertiärs die Tschernoseme. Sie nehmen in der Wetterau zwar nur geringe Areale ein, scheinen aber wegen ihrer Vergesellschaftung mit der Parabraunerde eine landschaftsgenetische Schlüsselfunktion zu besitzen.

Diese äußerst fruchtbaren Böden fanden schon früh das Interesse der Bodenkundler, die den Boden als reliktsch einstuften. Die älteren Kartierungen (STREMME 1936; OSTEN-DORFF 1954) überzeichneten die Tschernosemverbreitung gewaltig. Nicht zuletzt ist dies auf den kleinen Maßstab ihrer Karten zurückzuführen und gewiss auch auf den Wunsch, der Sonderstellung dieser Bodenbildung kartographisch gerecht zu werden. OSTENDORFF übernimmt die Angaben STREMMES und lässt die Tschernoseme das gesamte Butzbacher Becken und weite Teile der Friedberger Wetterau einnehmen. Eigenartigerweise wird jedoch der Horloff-Graben als Nicht-Tschernosem-Gebiet eingestuft. Hier wie in der übrigen Wetterau dominieren angeblich stark degradierte Tschernoseme. STREMME (1936:60) gesteht in diesem Zusammenhang, dass die Steppenbodengebiete etwas "kursorisch" kartiert worden seien.

Die ungleich exakteren Aufnahmetechniken bei der Kartierung und die Fortschritte in der Bodenchemie ermöglichten nach dem Kriege eine bessere Erfassung dieser Böden. Die Untersuchungen sind mit dem Namen E. SCHONHALS verbunden, der nur noch von Degradierten Tschernosemen in der Wetterau spricht (1954:78ff). In späteren Arbeiten (SCHONHALS 1958, 1968) zeigt sich, dass die Verbreitung der Tschernoseme sehr viel geringer ist als früher angenommen, sie treten eher inselartig auf.

Im Oberrheingraben und in der Wetterau erfolgten in jüngster Zeit umfangreiche bodenkundliche Untersuchungen der schwarzerdeartigen Böden, die die Einstufung als Tschernoseme bestätigen. So konnten ZAKOSEK (1962) für Rheinhessen und ALTMANNBERGER (1969, 1971) für die Wetterau diese Böden pedologisch genauestens systematisieren. Es blieb jedoch die Frage unbeantwortet,

warum diese Bodenrejkte nur fleckenhaft verbreitet sind (GANSEN 1972:153). ALTMANN-SBERGER (1971: 20) führt ihre Erhaltung in direkter Nachbarschaft von Parabraunerden ganz allgemein auf "eine lokal begrenzte Kombination von Stabilisierungsfaktoren" zurück, ohne diese aber spezifizieren zu können.

#### 4.3 Gliederung und Beschreibung der Tschernosem-Parabraunerde-Bodengesellschaft

Folgende makroskopisch erkennbare Merkmale und deren Kombination stellen die Unterscheidungskriterien für die Tschernoseme und ihren Degradationsformen dar:

- a) Schwach degradierter Tschernosem (Profil 1)  
selten noch schwach kalkhaltig, keine wahrnehmbare Tonanreicherung im tieferen Ah-Horizont, selten Bv -Horizont unterhalb des BvAh, Wurmlösungsgefüge, Solummächtigkeit ca 75 cm
- b) Stark degradierter Tschernosem (Profil 2)  
entkalkt, wahrnehmbare Tonanreicherung im Unterboden, schwache Bv-Horizonte unterhalb des AhBt-Horizontes, noch deutlich humos, prismatisches Gefüge
- c) Parabraunerde-Tschernosem (Profil 3)  
entkalkt, deutliche Tonverlagerung, Bth-Horizont mit prismatischem Gefüge, Bv-Horizont z.T. mächtig, schwächer humos, z. T. hellbraune Flecken
- d) Tschernosem-Parabraunerde (Profil 4)  
entkalkt, deutlicher Bht-Horizont mit z. T. Polyedergefüge, Bv-Horizont fast immer ausgebildet, humusfleckig
- e) Humose Parabraunerde (Profil 5)  
entkalkt, B<sub>(h)</sub>t-Horizont mit Polyedergefüge, vereinzelte Humusschlieren, B-Horizont selten
- f) Parabraunerde (Profil 6)  
Solum humusfrei, Mächtigkeit ca. 110 cm, Polyedergefüge, häufig kein Bv-Horizont mehr

Die Horizontsymbole der Unterböden sind stark differenziert worden. So unterscheidet sich ein "Bth" von einem "Bht" durch einen deutlich sichtbareren Humusgehalt, während ein "B(h)t" nur noch sehr geringe Mengen färbenden Humus enthält.

Wie aus den Schichtsymbolen in der Bodenprofilbeschreibung (P1-P6) im Anhang dieser Arbeit hervorgeht, wird der Löß nicht als homogen, d.h. einschichtig betrachtet. Der obere, pedogen überprägte Abschnitt des Gesteins enthält Laacher Bimsminerale (siehe Diskussion in 4.5 und Tab. 7 & 8), wie das auch von HARRACH (1974), POETSCH (1974, 1975), PLASS et al. (1977) und PLASS (1981) beschrieben wird. Die Schichtigkeit der Böden konnte aber nur schwermineralogisch erfasst werden. Auf die Problematik einer morphogenetischen Gleichsetzung dieses Substratabschnittes mit dem jungtundrenzeitlichen Deckschutt (SEMMELE 1964, 1968) wird gleichfalls im Punkt 4.5. eingegangen.

Die Gleichsetzung der Begriffe "Tschernosem" und "Schwarzerde" führt leicht zu Missverständnissen. Während der Tschernosem ein terrestrischer Boden ist, umfasst die Schwarzerde gemäß ihres Namens **a l l e** Böden mit stark humushaltigem Solum, einschließlich der hydromorphen. Die deutschsprachliche Bezeichnung bezieht sich auf die Phänologie eines Bodens. Mittels bestimmter bodenchemischer Merkmale, auf die später noch genauer eingegangen wird, können monogenetische Bodenbildungen der terrestrischen wie hydromorphen Gruppe erklärt werden, sodaß der Begriff "Schwarzerde" für diesen pedogenetischen Ablauf gerechtfertigt ist. In die morphogenetischen Klassifikationen (MOCKENHAUSEN 1977; SCHRODER 1973) läßt sich diese Bodentypenbezeichnung allerdings schwer einordnen. Die hydromorphen Tschernoseme haben daher eine zusätzliche

Präzisierung erfahren. Man spricht von Pseudogley-Tschernosemen bei Stauwasser- und Gley-Tschernosemen bei Grundwassereinfluß (MOCKENHAUSEN 1977 a). Die hydromorphen Varianten der Schwarzerde werden auch als Feucht- oder Pseudo-Tschernoseme zusammengefasst. Um die Schwarzerden der Auen, die ausschließlich aus Auelehm entstanden sind und grundwasserabhängige Entwicklungen durchlaufen, besonders hervorzuheben und von den lößbürtigen Schwarzerden abzuheben, wird in dieser Arbeit auch von "Auenschwarzerden" gesprochen.

Der Hinweis BRONGERs (1976:82), daß die Schwarzerden mit Grund- oder Stauwassereinfluss nicht mit den klimaphytomorphen Tschernosemen verglichen werden können, hat seine Berechtigung ganz besonders im Hinblick auf die Gley-Tschernoseme. Die pseudovergleyten Tschernoseme aus Löß dagegen leiten sehr allmählich zu den rein terrestrischen Tschernosemen weiter, da sie sich in ihrer Genese eigentlich sehr ähnlich sind. Die Staunässe dieser Böden ist - wie noch zu zeigen sein wird - ein quantitatives Gliederungsmerkmal, nicht aber ein qualitatives. Daher werden die pseudovergleyten Varianten der Schwarzerden, soweit sie sich auf Löß entwickelten, mit den terrestrischen gemeinsam behandelt.

#### 4.4 Bodenchemische Analysen der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe

Die Laboranalysen haben die Aufgabe, die im Gelände gewonnenen Unterscheidungskriterien zu belegen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass eine Analyse allein nicht aussagekräftig genug sein kann, sondern nur die Gesamtheit aller vorliegenden Untersuchungen. Diese werden im Folgenden kurz interpretiert und liegen in tabellarischer Form im Anhang vor (Profil 1 -6).

Der pH-Wert der Tschernoseme und Parabraunerden weist einen charakteristischen Gradienten auf. Ist der Schwach degradierte Tschernosem (d'T) noch "schwach alkalisch" (7,4), der Stark degradierte Tschernosem (d'T) "neutral" (7,0), so weisen die weiteren Glieder der Bodentypenreihe "schwach saure" Bodenreaktionen auf (Parabraunerde-Tschernosem und Tschernosem-Parabraunerde: 6,1 und 6,9). Die abnehmende Tendenz des pH -Wertes setzt sich über die Humose Parabraunerde (hL) zur Parabraunerde (L) fort (5,8 -6,3 bzw. 5,7 -6,0). Diese beiden Bodentypen müssen bereits als "mäßig sauer" eingestuft werden. Innerhalb eines Profils steigt der pH-Wert mit der Profiltiefe an und erreicht im C -Horizont durchweg Werte über 7,0. Dies ist natürlich auf den Kalkgehalt zurückzuführen.

Die besondere Bedeutung des Kalziumkarbonatgehaltes auf den pH-Wert und damit auf die Stabilisierung der Tschernoseme wird offensichtlich im d'T, der als einziger Bodentyp - wenn auch in Spuren - freies Kalziumkarbonat im Solum aufweist. Im e -Horizont aller Bodentypen steigt der Kalkgehalt dann sprunghaft an und erreicht Werte über 14%. Da Kalkkonkretionen größer als 2 mm nicht berücksichtigt wurden, sind die Prozentwerte eher zu niedrig.

Die für die Tschernoseme so typische Dunkelfärbung, deren Abstufung unter anderem als Gliederungsmerkmal im Gelände herangezogen wurde, ist auf den Humusgehalt zurückzuführen. Naturgemäß ist er in den Ap-Horizonten am höchsten und schwankt in den einzelnen Böden zwischen 1 -2%, was den durchschnittlichen Werten der Pflughorizonte unserer ackerbaulich genutzten Böden entspricht. Lediglich die T-L fällt mit nur 0,5 % aus der Reihe. Es muss hier aber berücksichtigt werden, dass dieses Profil erodiert ist und wahrscheinlich ein Teil des Bht-Horizontes im Ap-Horizont aufgearbeitet ist. Ansonsten nimmt der Humusgehalt innerhalb der Profile zum e -Horizont ab, der aber bei den Tschernosemen immer noch ca. 0,3 % ausmacht. Hier können auch mit Humus verfüllte Krotowinen beobachtet werden, die bei den Parabraunerden fehlen. Im Vergleich der Humusgehalte im Solum (ohne Ap- und Al-Horizonte) zeigt sich entsprechend der Degradationsabfolge vom d'T zur L eine Abnahme. Der B(h)t-Horizont der hL liegt nicht optimal in der angedeuteten Reihe. Möglicherweise wurden bei der Probeentnahme im humusfleckigen Horizont unbewusst die dunkleren Partien zu Ungunsten der humusärmeren bevorzugt.

Die C/N-Verhältnisse sind durchweg sehr eng und liegen meist unter 10. Die Stickstoffverteilung in

den Böden ist ähnlich der Kohlenstoffverteilung und nimmt vom A-Horizont zum C-Horizont stetig ab. Die teilweise hohen Stickstoffmengen im Pflughorizont dürften wohl mit der anthropogenen Düngung in Verbindung gebracht werden. Das C/N-Verhältnis eignet sich nicht zur Differenzierung der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe.

Die Verteilung des dithionit- und oxalatlöslichen Eisens ist innerhalb der Profile sehr charakteristisch. Während in den Tschernosemen nur geringfügige Schwankungen auftreten, nimmt die ungleichmäßige Konzentration zur Parabraunerde zu. Dabei zeigt sich, daß die Fed-Werte in den tonangereicherten Horizonten steigen, während die Feo-Werte eher in den A-Horizonten stark vertreten sind. Dadurch wird der Aktivitätsgrad (Feo: Fed) geprägt. Er ist vor allem bei den Parabraunerden im Vergleich zu den tieferen Horizontbereichen als auch zu den entsprechenden Tschernosemhorizonten erhöht. Durchweg ist aber in den C-Horizonten mit einer Verminderung der Eisenwerte zu rechnen, die die oxalatlösliche Fraktion stärker betrifft als die dithionitlösliche. Folglich reduziert sich an der Grenze Solum/Anstehendes der Aktivitätsgrad erheblich.

Um den Grad der Basenverarmung zu beschreiben, verwendet man den V-Wert. Er beträgt 100 %, wenn die sorbierten H-Ionen am Gesamtkationenbelag 0,0 % ausmachen. Dieser optimale Zustand wird bei dem d'T erreicht, er verschlechtert sich jedoch mit Zunahme des Degradationsgrades. Beim dT liegt der V-Wert noch über 90 %, beim L-T um 90 %, bei der T-L rutscht er schon deutlich unter diese Marke." Bei der hL und L schwankt er beträchtlich, nimmt aber generell weiterhin ab. Innerhalb der Profile bleibt der V-Wert bei den tschernosemähnlichen Böden weitgehend konstant. Mit der Tondifferenzierung im Profil wird die Trennung in einen maximalen und minimalen Wert (im Tonanreicherungs- bzw. Ap-Horizont) immer deutlicher. Im pedogen nicht überprägten C-Horizont erreicht er natürlich wieder 100 %.

Der Umfang der Kationensorption (T-Wert = potentielle Austauschkapazität) weist im Vergleich der 6 Bodentypen keine allzu gravierenden Schwankungen auf. Lediglich ab dem L-T ist eine leichte Abnahme zu verzeichnen. Diese Aussage betrifft sowohl die absoluten Werte (d'T: 24,7 mval/100 g Boden, L: 19,4 mval/100 g Boden) als auch die Durchschnittswerte der einzelnen Profile, obgleich eine gewisse Abnahme mit dem Degradationsgrad nicht verschwiegen werden soll. Innerhalb der Profile sind die Differenzen deutlicher. Der T-Wert ist im oberen Bereich des Solums immer am höchsten und nimmt zum C-Horizont schnell ab, wo er sich bei 11-13 mval/100 g Boden einpendelt.

Der Anteil der sorbierten H-Ionen und Al-Ionen (H-Wert) ist insgesamt in den untersuchten Böden gering und belegt ihre hohe Fruchtbarkeit. Mit dem Degradationsgrad steigt aber ihr Einfluss. Von größerer Bedeutung ist der H-Wert in den Ap-Horizonten von L-T bis zur L. Innerhalb der Profile vermindert sich immer der Wert zum C-Horizont hin, wo er wieder bei 0,0 % liegt.

Generell lässt sich zur Summe der austauschbaren Na-, K-, Mg- und Ca-Ionen (S-Wert) sagen, dass sie mit dem Degradationsgrad des Bodens abnimmt. Im Vergleich mit den H-Wert stellen die S-Werte grob eine negative Entsprechung dar, sind also im Ap-Horizont der hL und der L am geringsten. Innerhalb eines Profiles steigen die S-Werte bis zum tonreichsten Horizont an, um im C-Horizont wieder stark zurückzugehen.

Im einzelnen zeigt sich, dass das Kalzium immer den höchsten Anteil am Kationenbelag der Böden einnimmt (mehr als 80 %). Die Ausnahme bilden die A-Horizonte des L-T mit nur 72 %. Entsprechend schnell hier der Anteil der K-Ionen in die Höhe; möglicherweise deutet sich hier der Einfluss der Düngung an. Die absoluten Mengen der austauschbaren Ca-Ionen lassen eine Abnahme mit dem Degradationsgrad erkennen. Auch innerhalb der Profile treten Differenzierungen auf. Die C-Horizonte weisen durchweg recht einheitliche Mengen auf (9,5 -11,5 mval/100 g Boden), die bei den stärker degradierten Böden von den Werten in den Ap-Horizonten unterboten werden. Die Maxima liegen immer in den tonreichsten Bodenhorizonten.

Na-, K- und Mg-Ionen sind nur in geringen Mengen vorhanden und lassen hinsichtlich der Degra-

dationsreihe Tschernosem-Parabraunerde keinen deutlichen Bezug erkennen. Auffallend ist lediglich der hohe K-Anteil im Oberboden des L-T, wie bereits oben erwähnt wurde. Generell nehmen die absoluten Mengen immer zum C-Horizont ab.

Die Korngrößenzusammensetzung ist alleine genommen nicht allzu kennzeichnend für eine Bodendifferenzierung der vorliegenden Art. Die Tongehalte der Unterböden betragen zwischen 30-40 %, während der Löß immerhin noch um 17 % Ton aufweist. Es lässt sich zwar eine Tonanreicherung zur Parabraunerde hin nachweisen, doch scheinen die absoluten Werte wenig signifikant. Bei der Geländearbeit wurde immer das Gefüge berücksichtigt. Weiterhin fehlen dem d'T die Toncutanen, die für die Parabraunerde aber typisch sind. Das Gefüge verändert sich vom Wurmlösungsgefüge zum Polyedergefüge bei der Parabraunerde. Die Tonmengendifferenzierung in einen Al- und Bt-Horizont ist in den parabraunerdeähnlichen Böden wesentlich markanter, den Tschernosemen fehlt die Tonverlagerung weitgehend oder ist weniger profilprägend.

Zusammenfassend bestätigen die bodenchemischen Analysen die im Gelände vorgenommene Gliederung der Tschernosem -Parabraunerde -Reihe. Dies trifft in erster Linie auf den pH-Wert zu, der vom d'T (7,4) zur L (5,7 -6,0) abnimmt. Diese Feststellung gilt auch für die Kationenaustauschkapazität, die beim d'T die günstigsten Werte aufweist. Die Korngrößenzusammensetzung unterstützt gleichfalls – wenn auch nicht so offensichtlich – die Abstufung in die 6 Bodentypen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch ALTMANNBERGER (1969). Wenig signifikant dagegen sind die C/N -Verhältnisse, hier macht sich – wie schon erwähnt – wahrscheinlich die intensive Düngung und jahrtausendealte Bodenbearbeitung bemerkbar.

#### 4.5 Schwermineraluntersuchungen an Profilen der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe

In den Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25000 (z. B. 5518 Butzbach, 5619 Staden, 5818 Frankfurt am Main-Ost) werden Tschernoseme wie Parabraunerden als ein-schichtig behandelt, d. h. mit der Horizontabfolge Ap/Ah-(Al)-(Bt)-C. Ähnlich verfahren auch ALTMANNBERGER (1969, 1979) und HAUPENTHAL (1978) bei ihren Untersuchungen an Tschernosemen und tschernosemartigen Böden in Hessen.

Die besondere Bedeutung unterschiedlicher petrographischer Eigenschaften des Bodenausgangssubstrates auf die Bodenbildung wird bei den Böden der Mittelgebirge offensichtlich, wo die periglaziale Schuttdeckenbildung dominiert. Der Substratwechsel wird daher mit römischen Zahlen (II, III usw.) verdeutlicht, der praktisch auch immer mit einem Formungswandel identisch ist.

Entsprechend der Schuttdeckengliederung (SEMMELE 1964, 1968) wurde auch für die rein äolischen, periglazialen Sedimente eine Mehrschichtigkeit gefordert, die sich in der Horizontabfolge des Bodenprofils widerspiegelt. Im Gegensatz zu den solifluidal umgelagerten und steinhaltigen Sedimenten lassen sich doch bei Löß und Flugsand häufig keine makroskopischen, petrographischen Unterschiede in den oberflächennahen Profilabschnitten erkennen. Da der Deckschutt (SEMMELE 1964) aufgrund seiner vulkanischen Fremdkomponente auch schwermineralogisch charakterisiert ist, dürfte dies auch für andere periglaziale Sedimente erwartet werden.

Von POETSCH (1975) wurden daher Parabraunerden auf ihre Schichtigkeit hin untersucht. Er kommt zu dem Ergebnis, daß sich der Al-Horizont im Äquivalent des Deckschuttes, dem Decksediment, entwickelte. Die Horizontabfolge der Parabraunerde wird folglich mit Ap/Ah-Al-IIBt-IIC angegeben (siehe auch PLASS 1981). Leider sind aber die im Text angesprochenen Schwermineralanalysen nicht veröffentlicht.

Im Gegensatz zu den Parabraunerden scheint das Solum der Tschernoseme nicht über das Laacher Bimstuf (LBT)-haltige Decksediment hinauszugehen (PLASS et al. 1977, PLASS 1981). Diese Untersuchungen beschränken sich allerdings auf Rheinhessen und berücksichtigen nicht die

Wetterau. Auffallend ist in diesem Zusammenhang die enorme Mächtigkeit (95 cm!) des Decksedimentes (PLASS 1981 :24).

In der Literatur vermisst man jedoch Schwermineralanalysen an den Degradationsformen des Tschernosems, die den Übergang zu den zweischichtigen Parabraunerden repräsentieren. Zwar liegt eine Profilbeschreibung der Lößgrube Rockenberg bei Münzenberg im "Exkursionsführer zur Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 1973 in Gießen" vor, doch ist in diesem Aufschluss eine Bimslinse erhalten, sodass die hangenden Substrate eindeutig als postmittelalterlich stratifiziert werden können. Ebenso verhält es sich mit dem Aufschluss in der Braunkohlengrube bei Wohnbach (ROHDENBURG & MEYER 1968). Solche Bimslagen stellen jedoch die Ausnahme dar und sind nicht auf die Verhältnisse der Wetterau zu generalisieren. Es zeigt aber das Profil Rockenberg, dass die Schichtgrenze inmitten des Solums liegen kann.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Schwermineralanalysen an den Bodenprofilen P1-P6 (Tab. 7-8) belegen ein sehr kompliziertes Bild der LBT Verteilung und damit auch der Schichtigkeit des Lösses bzw. der Böden in der Wetterau.

Der Löß der Wetterau (z. B. Probe 80/6) ist durch einen markanten Augitanteil gekennzeichnet. Unter den Pyroxenen fehlt allerdings der Agirinaugit. Untergeordnet treten noch Grüne Hornblende und Titanit auf. Von geringer Bedeutung sind Rutil, Zirkon und Turmalin. Die Mengenverhältnisse von Augit: Hornblende Titanit bleiben für die Horizonte mit dem Schichtsymbol "II" weitgehend konstant, obgleich die Profile über 30 km auseinander liegen. Das Schwermineralspektrum des Rohlösses weist eine hohe vulkanische Komponente auf, was aber angesichts des nahen Vogelsberges zu erwarten ist.

In den höheren Horizonten setzt eine auffallende Veränderung ein: die Pyroxene nehmen prozentual stark ab und werden von den Amphibolen als dominante Schwermineralgruppe abgelöst. Parallel erhöht sich auch der Titanitanteil.

Bei näherer Untersuchung zeigt sich, dass die im Rohlöß vorhandenen Augite und Grünen Hornblendens um die Minerale Agirinaugit und Braune Hornblende erweitert werden. Das gemeinsame Auftreten dieser bei den Schwermineralen und des Titanits wird allgemein für den Beleg der Beimischung von LBT gewertet, sodass die analysierte vulkanische Fremdkomponente in petrographischer Hinsicht eine Schichtgrenze markiert.

Gestützt wird diese Aussage durch die Anteile der durchsichtigen Schwerminerale an der Gesamtmenge. Der Gehalt der opaken und inkrustierten, also nicht zu identifizierenden Körner liegt in den LBT-freien Horizonten gewöhnlich sehr hoch. Er vermindert sich aber mit Zunahme der LBT-bürtigen Minerale. Dies kann nicht auf pedogene Prozesse bei der Tschernosem- oder Parabraunerdeentwicklung zurückgeführt werden, sondern muss sedimenteigen sein, da die Inkrustierung der Schwerminerale bei diesen Bodenbildungen eher von oben nach unten abnehmen sollte.

Während im Rohlöß die Pyroxene wie Amphibole erhebliche Verwitterungserscheinungen aufweisen, fehlen sie bei den Ägirinaugiten und Braunen Hornblendens, die einen „frischen“ Eindruck machen. Dies basiert sicherlich nicht auf einer differenzierten Verwitterungsresistenz der Minerale, zumal gerade im Rohlöß kaum mit rezenter Zersetzung zu rechnen ist, sondern muss wohl im unterschiedlichen Mineralalter bzw. in der Einwirkungsdauer von Verwitterung auf sie begründet sein.

Stratigraphisch lässt sich der LBT-freie Löß als präallergzeitlich einstufen. Die Tuffbeimischung im hangenden Substrat wird gewöhnlich mit der in der Jüngeren Tundrenzeit aktiven Solifluktion und Kryoturbation interpretiert. Auch SEMMEL (1964:279) greift auf diese Erklärung für den LBT-Gehalt im Btg-Horizont eines Parabraunerde-Pseudogleys zurück.

Kaltzeitliche Klimaverhältnisse sind wohl für diese Art der Tuffeinbringung unabdingbar, was auch die

Parallelisierung dieses Lößabschnittes (Decksediment) mit dem Deckschutt in stratigraphischer und genetischer Hinsicht anbietet. Es fragt sich aber, ob in den analysierten Bodenprofilen das Decksediment tatsächlich bis zur heutigen Solumuntergrenze reicht, also die Mächtigkeit von 100 cm deutlich übertrifft.

Die auffällige Übereinstimmung des Sol ums mit der Anwesenheit der vulkanischen Fremdkomponente und ihre mengenmäßige Abnahme mit der Profiltiefe legt noch eine weitere Erklärungsmöglichkeit nahe. Die Vermischung ist nicht allein durch Solifluktion und Kryoturbation ins ausgehende Pleistozän zu datieren, sondern setzte sich durch Bioturbation im Holozän fort. Schließlich handelt es sich bei den analysierten Bodenbildungen um Böden, die sich aus Tschernosemen entwickelt haben, für die ein höherer Besatz und eine rege Aktivität bodenwühlender Tiere typisch ist. Wenn das dafür charakteristische Wurmlösungsgefüge auch nur noch im "Schwach degradierten Tschernosem" erkennbar ist, so muss man es auch bei den übrigen Böden der Schwarzerde-Parabraunerde-Reihe voraussetzen, auch wenn es sich heute aufgrund der Degradation zu einem Polyedergefüge verändert hat. Diese Möglichkeit gewinnt an Wahrscheinlichkeit, wenn man bedenkt, dass auch Krotowinenfüllungen, die weit unterhalb des Sol ums im Löß sich befinden, LBT-bürtige Schwerminerale aufweisen.

Da laut Kartieranleitung (1971) ein Bodensubstratwechsel durch die Schichtsymbole "II", "III" usw. gekennzeichnet werden muss, liegt die Schichtgrenze in den analysierten Profilen durchweg an der Untergrenze des Solums, da hier eine petrographische Grenze feststellbar ist. Entsprechend den Erfahrungen bei Schuttdeckenprofilen könnte man das Solum als Decksediment bezeichnen, seine Genese in die Jüngere Tundrenzeit stellen: der petrographisch ausgegliederte Abschnitt deckte sich mit einem morphogenetisch einheitlichen und stratigraphisch exakt zu fassenden Sedimentkomplex.

Die oben aufgeführten Argumente lassen aber Zweifel aufkommen, da die eigentliche Untergrenze des Decksedimentes durch holozäne Prozesse verwischt und tiefer gelegt sein könnte. In diesem Falle markieren die Schichtsymbole keine pleistozäne Schichtgrenze, sondern lediglich einen petrographischen Unterschied im oberflächennahen Untergrund, der teilweise auf pedogene Vorgänge zurückzuführen ist.

Die Klärung des Problems scheint nur durch die Untersuchung einer sehr großen Zahl von Proben aus verschiedenen Landschaften möglich zu sein. Bis dahin ist es ratsam, das bodenbildende Ausgangssubstrat bei Fehlen sonstiger Unterscheidungskriterien anhand der petrographischen Zusammensetzung zu gliedern.

## 5 Analyse der bodenbildenden Faktoren unter besonderer Berücksichtigung der Tscherno-semgenese bzw. -erhaltung

In einem Nord-Süd-Profil (Abb. 2) vom Hasenloch, nördlich Eberstadt, durch das Butzbacher Becken, zwischen der Autobahn und der Wetter, über den Eichberg bei Bad Nauheim, durch die Ortschaft Ockstadt und östlich von Rosbach, Rodheim, Nieder-Erlenbach und Bad Vilbel bis zum Horst der Hohen Straße wurden dem Relief angepasst im Abstand von ca. 30-80 m 1 m- oder 2 m-Bohrungen (Pürkhauer) niedergebracht. Dabei ergab sich, dass vielfältige Obergänge vom Tschernosem zur Parabraunerde vorliegen.

So zeigt dieses Profil, dass auf dem Gißener Landrücken im Norden die Parabraunerde dominiert und zum Wettertal hin ein Übergang zum Tschernosem schnell erfolgt, im südlichen Teil des Butzbacher Beckens tritt aber bereits wieder eine starke Degradation dieses Bodens auf, sodass hier der Parabraunerde-Tschernosem auf den grundwasserfernen Standorten vorherrscht. Südlich von Friedberg findet man dann überwiegend die Tschernosem-Parabraunerde, die in der Gegend von Bad Vilbel von der Parabraunerde abgelöst wird.

### 5.1 Der Einfluss des bodenbildenden Faktors Klima

Da der reliktsche Charakter des Tschernosems in der Wetterau wohl kaum in Frage gestellt wird, ist es nötig, die Erhaltungsbedingungen dieses Bodens herauszuarbeiten, die Rückschlüsse auf die holozäne Landschaftsentwicklung erlauben. Naheliegend ist die Korrelation von Niederschlag und Bodentypenverteilung, die traditionell Anwendung findet. Es werden daher die Klimawerte der vom Profil tangierten Klimastationen zum Vergleich herangezogen.

Die von allen Bearbeitern der Böden in der Wetterau hervorgehobene Korrelation von Niederschlagshöhe und Tschernosemverteilung führte zu einer unzutreffenden Verengung des Schwarz-erdeareals auf die "Trockeninsel" um Münzenberg, die praktisch nur das Butzbacher Becken umfasst. Die Kartierungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung scheinen diese Annahme mit der Herausgabe des Blattes Butzbach (TK 25, Bl. 5518) zu stützen, doch erfährt das Tschernosemgebiet durch das Blatt Staden (TK 25, Bl. 5619), das südöstlich anschließt und Teile des Horloff-Grabens beinhaltet, eine erhebliche Erweiterung. Selbst auf Blatt Frankfurt am Main-Ost (TK 25, Bl. 5819) werden noch vereinzelt schwarz-erdeartige Bodenbildungen angetroffen, was jetzt wiederum zur Bestätigung der älteren Kartierungen verleiten könnte. Die eigenen Untersuchungen in der gesamten Wetterau belegen jedoch, dass die tschernosemähnlichen Böden tatsächlich in der nördlichen Wetterau häufiger anzutreffen sind als im Süden.

#### 5.1.1 Übereinstimmungen von Niederschlagshöhe und Bodentypenverteilung

Die Niederschlagshöhe (SCHIRMER 1959) und auch der errechnete Trockenheitsindex (nach DE MARTONNE) korrelieren positiv mit der "asymmetrischen" Bodentypenverteilung in der Wetterau. Der schnelle Anstieg der Niederschlagsmengen von Münzenberg (536 mm) nach Lich (619 mm) findet seine Entsprechung in der Degradation der Tschernoseme bis hin zur Parabraunerde. Ebenso verhält es sich mit der Beziehung Bodentyp: Niederschlagshöhe bzw. Trockenheitsindex südlich von Münzenberg. Nur allmählich nehmen die Niederschläge zu, bis sie schließlich in Bad Vilbel (628 mm) ähnliche Höhen erreichen wie in Lich. Die Degradationsstufen vom Tschernosem zur Parabraunerde nehmen daher auch größere Räume ein.

#### 5.1.2 Nicht-Übereinstimmungen von Niederschlagshöhe und Bodentypenverteilung

Weniger deutlich sind die skizzierten Beziehungen in einem weiteren Nord-Süd-Profil, das durch die östliche Wetterau gelegt wurde. Es verläuft von Langsdorf bei Lich über Berstadt im Horloff-Graben

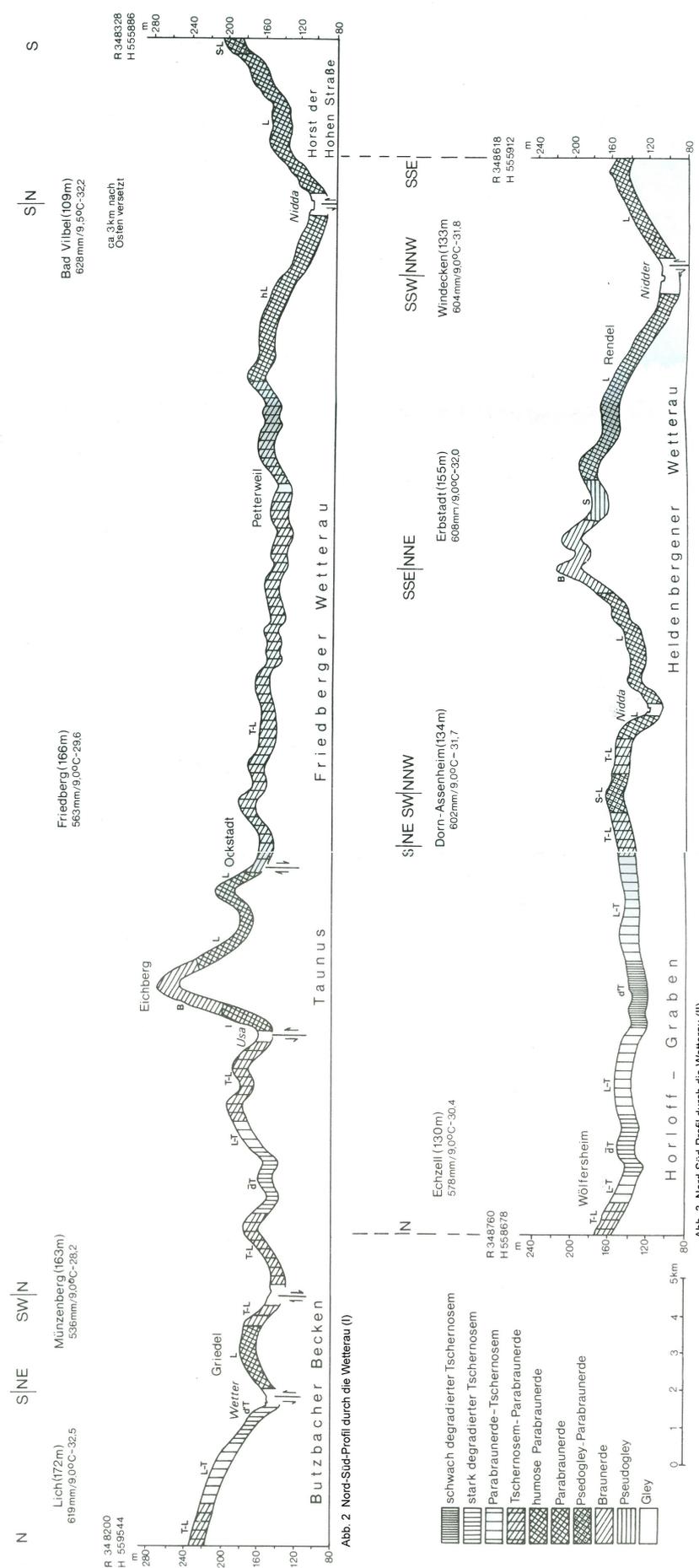


Abb. 3 Nord-Süd-Profil durch die Wetterau (II)

Abb. 2 Nord-Süd-Profil durch die Wetterau (I)

nach Dorn-Assenheim, Kaichen, Rendel zum Horst der Hohen Straße (Abb. 3). Wenn auch noch eine schwache Niederschlagsdepression bei Echzell (578 mm) zu verzeichnen ist, so steigen doch die Jahresmittel ab Dorn-Assenheim wieder auf über 600 mm und verbleiben in diesem Niveau bis zur Station Windecken (604 mm). Trotz der nur 30 mm Niederschlagsdifferenz variieren die Böden vom Schwach degradierten Tschernosem bei Echzell bis zur Parabraunerde am Horst der Hohen Straße. Im Gebiet westlich Erbstadt, auf der Kaicher Höhe, sind sogar Pseudogleye nicht selten, obgleich die Niederschlagsmenge der von Dorn-Assenheim (602 mm) ähnlich ist. Dort sind aber noch schwarzerdeartige Böden anzutreffen (siehe Bodenkarte Bl. Staden). Die Unterschiede zum nur 10 km weiter westlichen Profil (1) sind besonders markant, wenn man bedenkt, dass die Jahresdurchschnittstemperaturen praktisch gleich sind und daher kaum Einfluss auf die Werte des Trockenheitsindex nehmen. Gemeinsam ist beiden Längsprofilen jedoch, dass die Wetterau ein relativ trockenes Gebiet ist. Der Hausberg bei Butzbach und der Winterstein bei Bad Nauheim (480 m bzw. 482 m NN), die beiden höchsten Erhebungen des Taunus am Rande zur Wetterau, haben offensichtlich unmittelbaren Einfluss auf die Niederschlagshöhen des Butzbacher Beckens bzw. der Gegend um Friedberg. Nach Osten hin verliert jedoch die Leelage der Wetterau ihre Bedeutung, was besonders in der Niederschlagsverteilung der südlichen Wetterau auffällt. Hier machen sich die südwestlichen Windströmungen bemerkbar, die über das Untermaingebiet diesen Raum erreichen (Klimaatlas von Hessen 1950: Blatt 5). Eine gewisse Regenschattenlage kann im östlichen Untersuchungsgebiet nur noch die Gegend um Echzell aufweisen, die aufgrund ihrer Leelage zum Bellersheimer Horst um 30 mm geringere Niederschläge als ihre Nachbarareale empfängt.

Legt man der Analyse entsprechend dem Klimaatlas von Hessen (Blatt 53) den Trockenheitsindex nach LANG zugrunde, so ist eine Korrelation mit der Bodentypenverteilung nicht möglich. Die nördliche Wetterau, das Hauptverbreitungsgebiet des Tschernosems und seiner Degradationstypen, wird mit einem höheren Index (= feuchter) ausgewiesen als die südliche Wetterau, in der die Parabraunerde dominiert.

### 5.1.3 Diskussion der Ergebnisse

Es bleibt festzuhalten, dass die rezente Niederschlagsverteilung in der Wetterau für die Erhaltung der Tschernoseme eine bedeutsame Rolle spielt. Die Gebiete geringen Niederschlags besitzen eine weitere Verbreitung der reliktschen Böden. Diese grobe Korrelation ist jedoch nicht durchgängig, da gerade die Niederschlagssummen im Horloff-Graben nicht in dieses Schema zu passen scheinen. Hier treten gleichfalls tschernosemähnliche Böden flächenhaft auf, obgleich die heutigen Niederschläge keine deutlichen Unterschiede zu Gebieten aufweisen, in denen die Parabraunerde überwiegt.

Es kann natürlich eingewendet werden, dass die Niederschlagsrelationen der angesprochenen Stationen zur Zeit der Tschernosembildung mit den heutigen wenig gemein hätten, d. h. dass auch der Horloff-Graben im frühen Holozän sehr trocken gewesen sei und die südliche Wetterau feuchter als heute. Dem muss aber entgegengehalten werden, dass dies für das Boreal und Präboreal ein anderes Windsystem, voraussetzt, was als unwahrscheinlich anzunehmen ist.

Schon STREMMER (1936:25) lehnt es ab, das Klima als Hauptmerkmal der Tschernosemverteilung anzuerkennen, obgleich er offensichtliche Bezüge zwischen Niederschlagsarmut und Steppenbödenverteilung sehr wohl konstatiert. Während rechtsseitig der Wetter, im Butzbacher Becken, Tschernoseme und schwarzerdeartige Böden häufig sind, können linksseitig des Flusses zwischen Münzenberg und Rockenberg oder auch auf dem Bellersheimer Horst keine entsprechenden Böden kartiert werden, obwohl dieser Raum nach den Niederschlagswerten noch zu der Trockeninsel gerechnet werden muss. Dies impliziert weitere, das bisherige Schema der Klimaabhängigkeit modifizierende Faktoren, die die Bodengenese entscheidend beeinflussten.

## 5.2 Der Einfluss des bodenbildenden Faktors Ausgangssubstrat

### 5.2.1 Beziehungen zwischen Ausgangssubstrat und Bodenbildung

Unschwer lässt sich eine Beziehung zwischen Ausgangssubstrat und Bodenbildung herstellen (Abb. 4). Die Tschernoseme kommen durchweg nur auf Löss vor. Wo die Lössbedeckung nur geringmächtig ist, umgelagert und mit Untergrundmaterial angereichert, konnten sich keine Schwarzerden nachweisen lassen. Auf den tertiären Sanden und Basalten, die nur von einem Deckschutt (SEMMELE 1964) überwandert wurden, treten Braunerden auf. Nur wenn in Dellen oder an Unterhängen der Mittelschutt erhalten geblieben ist, kamen Phäno-Parabraunerden zur Ausbildung (BARGON et al. 1971). Evident ist die Abhängigkeit der Bodenbildung vom Ausgangsgestein bei den azonalen Böden. So liegen auf Kalken Rendzinen, auf Tonen Tonranker und Pedosole vor. Letztere neigen in ebenen Lagen zur Pseudovergleyung. Staunässemerkmale kennzeichnen auch die Böden auf dem Bellersheimer Horst, wo sie überwiegend durch unterlagernde tertiäre Sedimente oder Bodenbildungen (BIBUS 1973) bedingt sind (Tab. 5 & 6). Lediglich auf Auelehmlagerungen sind schwarzerdeartige Bodenbildungen noch erhalten geblieben. Es handelt sich durchweg um Gley-Tschernoseme oder tiefhumose Böden mit vergleytem Untergrund.

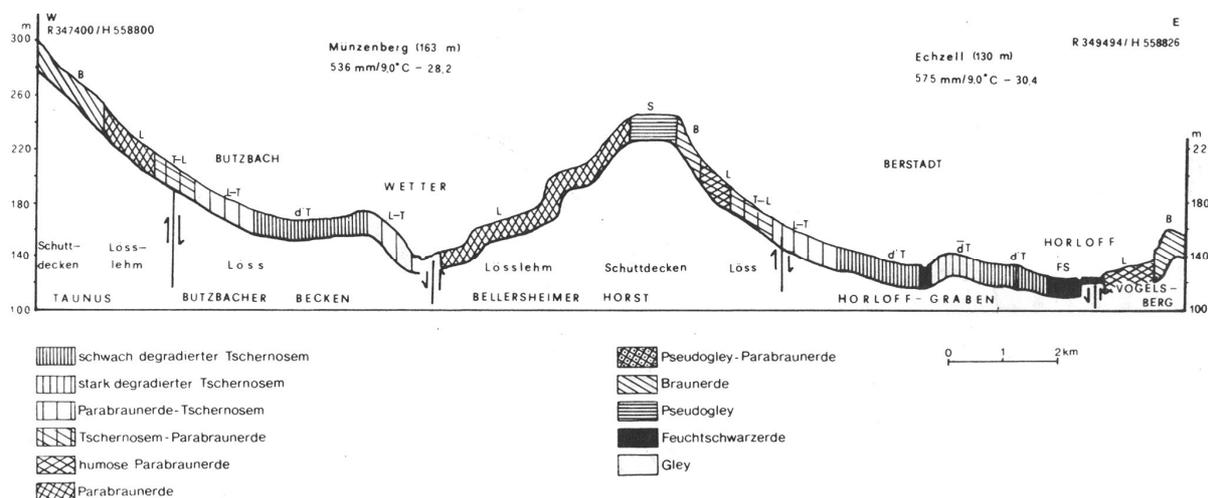


Abb. 4 West-Ost-Profil durch die Wetterau

### 5.2.2 Bedeutung der pleistozänen Reliefformung für die Bodenbildung

Die pleistozänen Sedimente und Prozesse bedingen die holozäne Bodenbildung ganz entscheidend. Im Bereich des Bellersheimer Horst hatte wegen der Höhenlage (bis ca. 250 m NN) die Solifluktion einen bedeutenden Einfluss, die Lössakkumulation ist dagegen in den Hintergrund getreten. Im Steilhangbereich zur Wetter überwogen die abspülenden und solifluidalen Prozesse ebenfalls. In ähnlicher Weise ist auch auf der südlichen Fortsetzung des Bellersheimer Horstes, der Kaicher Höhe, das vollständige Fehlen tschernosemartiger Böden zu erklären. Jenseits der Horloff-Aue, im Anstieg zum Unteren Vogelsberg, werden auch nur noch vereinzelt Böden auf Löss gefunden, aufgrund der erheblichen Reliefenergie war dieser Landschaftsbereich während des Pleistozäns vornehmlich Abtragungsgebiet. In welchem Maße die Reliefierung des Geländes den Charakter und die Genese des Ausgangssubstrates der Bodenbildung mitbestimmt, zeigt sich am Taunusabfall bei Hochweisel. Obgleich schon in einem Niveau von ca. 230 m NN gelegen, wurde der Löss auf den flachen und weitgezogenen Riedeln nicht umgelagert. Ähnliches beobachtet man auch am Gönsbach, südlich Kirchgöns, oder auf den Riedeln zwischen Holzheim und Eberstadt. Die morphologischen Bedingungen begünstigten dort die pleistozäne Lössanwehung, während in Steilhangbereichen auch deutlich unterhalb von 200 m NN Solifluktion und Abspülung vorherrschten.

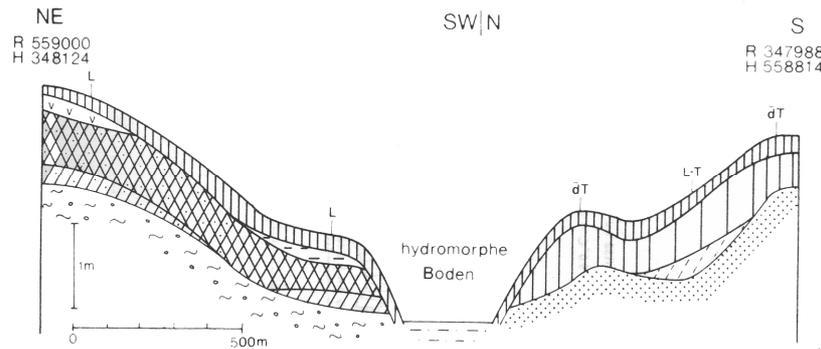


Abb. 5 Bodenabfolge bei Rockenberg

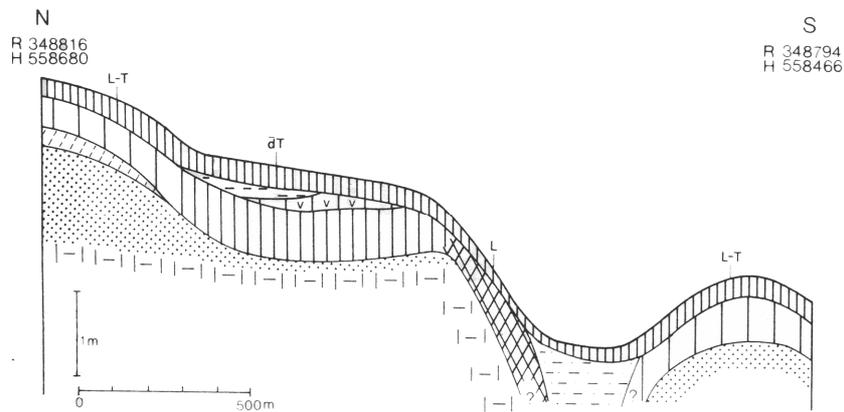
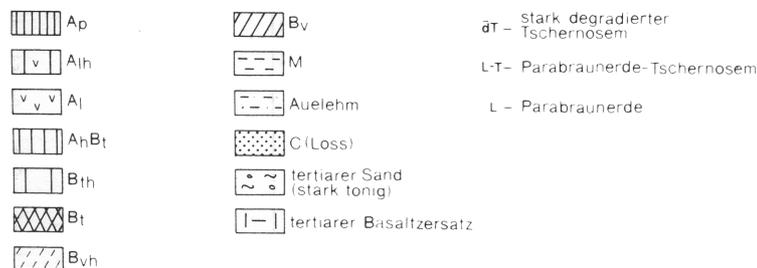


Abb. 6 Bodenabfolge östlich Wolfersheim



Die räumliche Verteilung von Lössanhäufung bzw. Solifluktion weist eine signifikante Regelmäßigkeit in der Wetterau auf. Die westexponierten Uferhänge der Flüsse sind durch erhebliche Steilheit und geringe Lössmächtigkeit charakterisiert, während die ostexponierten Ufer meist flach und lößverkleidet sind. Zweifelsfrei sind die Flusssysteme Nidda, Wetter und vor allem Horloff tektonisch angelegt (Butzbacher Becken, Nidda-Graben, Horloff-Graben), doch dürfte ihre heutige Ausgestaltung auch auf die pleistozäne Formung zurückzuführen sein.

Die für die mitteleuropäischen Lössgebiete so typischen Ost-West-Asymmetrien (POSER & MOLLER 1951; SEMMEL 1968; KARRASCH 1970; SEMMEL & STÄBLEIN 1971) können in der Wetterau selten beobachtet werden. Die am Taunusrand entspringenden Nebenbäche von Wetter und Nidda durchfließen die Wetterau überwiegend in West-Ost-Richtung und gliedern die Landschaft in schmale, langgestreckte Rücken und Riedel. Häufig sind die nordexponierten Uferhänge steiler als die Gegenhänge, sodass eine Nord-Süd-Asymmetrie vorliegt. Man könnte annehmen, dass auch während des Pleistozäns ähnlich der holozänen Windverteilung bei Hochdruckwetterlagen in der Wetterau nördliche Winde dominieren, die zur Löss- und Schneeeakkumulation an den südexponierten Hängen führten und die Bäche zu einer Bettverlagerung gegen das südliche Ufer zwangen.

Innerhalb des klimatisch gesteuerten Faktorengefüges, das für die Bildung und -Erhaltung der Tschernoseme ausschlaggebend ist, modifiziert das Vorkommen mächtiger Lößdecken das Verbreitungsmuster dieser Böden.

### 5.3 Der Einfluss des bodenbildenden Faktors Relief

Bei den Kartierarbeiten tauchten im kleinräumigen Bereich immer wieder Abweichungen im Bodenmosaik auf, die bei gleichbleibendem Ausgangssubstrat (Löß) und Klima nicht aus diesen Faktoren erklärbar sind.

#### 5.3.1 Beziehungen zwischen Reliefposition und Bodenbildung

Nördlich von Ober-Hörgern zieht von einer kleinflächigen Kuppe ein langer, kaum gegliederter Hang bis in eine Delle, hinter der sich eine weitere Kuppe anschließt (Abb. 7). Während auf dem höchsten Punkte des Profils eine Parabraunerde ausgebildet ist, nimmt hangabwärts die Humusanreicherung im Bodenprofil zu bei gleichzeitiger Abnahme der Tondifferenzierung in Al- und Bt-Horizonte. Es werden also räumlich die Stadien der Humosen Parabraunerde, der Tschernosem-Parabraunerde und des Parabraunerde-Tschernosems durchlaufen. Jenseits der Delle ist im flachen Anstieg der Kuppe eine Tschernosem-Parabraunerde anzutreffen, die im Steilhang und auf der Kuppe in einen Boden übergeht, der nur vereinzelte Humusschlieren im Solum aufweist. Am südexponierten Unterhang nimmt erneut die humusbedingte Dunkelfärbung in den Böden zu und es liegt eine Tschernosem-Parabraunerde vor.

Ganz ähnlich ist auch die Bodentypenverteilung im südlichen Butzbacher Becken (Abb. 8). Hier finden sich die Tschernoseme in der Unterhangposition und auf den flachen Riedeln. Die steileren Hangabschnitte werden dagegen mit Böden stärkeren Degradationsgrades bedeckt, die umso weiter in Richtung Parabraunerde verändert sind, je steiler der Hang ist.

Ein drittes Beispiel aus dem Butzbacher Becken hebt nochmals die angedeutete Beziehung zwischen Relief und Bodenverteilung hervor (Abb. 9). Am Steilufer der Wetter ist der Bodentyp schon stark der Parabraunerde angeglichen, während auf dem flachen Riedel zunehmend eine dem Tschernosem ähnliche Bodenbildung auftritt, die erst im westlichen, taunusnäheren und damit auch höheren Bereich wieder Degradationsstufen aufweist. Tschernoseme kommen in diesem Bereich nur in Dellen vor, die aber nicht repräsentativ sind.

Auch im Horloff-Graben liegen vergleichbare Beziehungen der reliefbedingten Bodenbildung vor (Abb. 10). Nördlich Echzell zeigt sich von West nach Ost eine Bodenverteilung, die bezüglich der Degradationsformen des Tschernosems dem Relief auffallend gut angepasst ist. Am schwach geneigten Westufer des kleinen Baches sind durchweg degradierte Tschernoseme erhalten, die im Unterboden gelegentlich schwache Pseudogleymerkmale aufweisen. In Dellen verstärken sich diese Erscheinungen, es liegen hier Pseudogley-Tschernoseme vor. Am Gegenhang finden sich im Bereich des Hangfußes degradierte Tschernoseme, die sich hangaufwärts in der Profigliederung immer mehr der Parabraunerde angleichen. Der steilere Abfall zur Horloff-Aue wird wieder von Tschernosem-Parabraunerde eingenommen.

Südlich Wölfersheim kann gleichfalls eine Degradationsabfolge der Schwarzerden am Hang beobachtet werden (Abb. 11). Während die Kuppe von Parabraunerde-Tschernosemen eingenommen wird, konnte sich auf dem südlichen schwach geneigten Hang ein Degradierter Tschernosem erhalten. Nach Norden dagegen ist das Gefälle größer und die Bodencatena reicht von einer Humosen Parabraunerde am Überhang über eine Tschernosem-Parabraunerde zum Tschernosem am Unterhang.

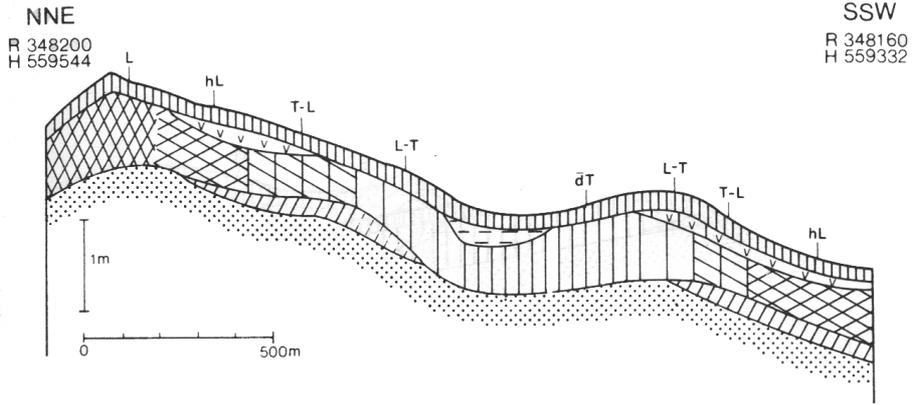


Abb. 7 Bodenabfolge nördlich Ober-Hörigen

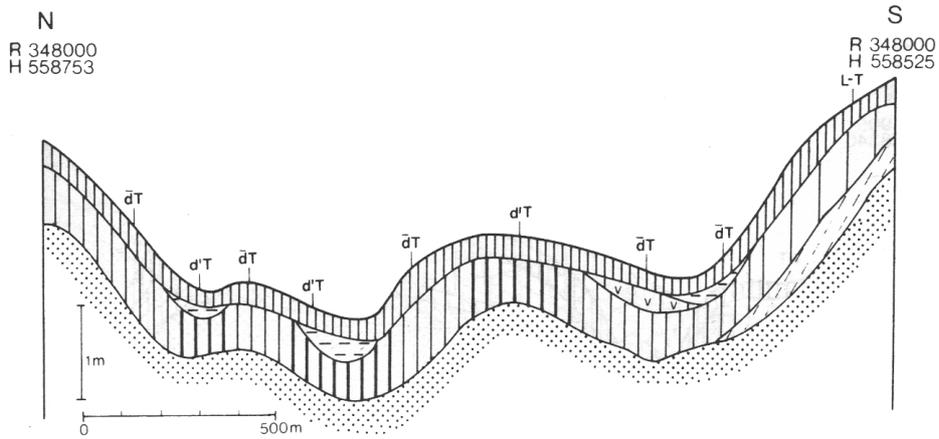


Abb. 8 Bodenabfolge westlich Steinfurth

- |      |         |  |
|------|---------|--|
| Ap   | B(h)t   | d'T - schwach degradiertes Tschernosem |
| Ah   | Bt      | dT - stark degradiertes Tschernosem    |
| BvAh | Bvh     | L-T - Parabraunerde-Tschernosem        |
| Al   | Bv      | T-L - Tschernosem-Parabraunerde        |
| AhBt | M       | hL - humose Parabraunerde              |
| Bth  | C(Loss) | L - Parabraunerde                      |
| Bht  |         |  |

Legende Abb. 7 und 8

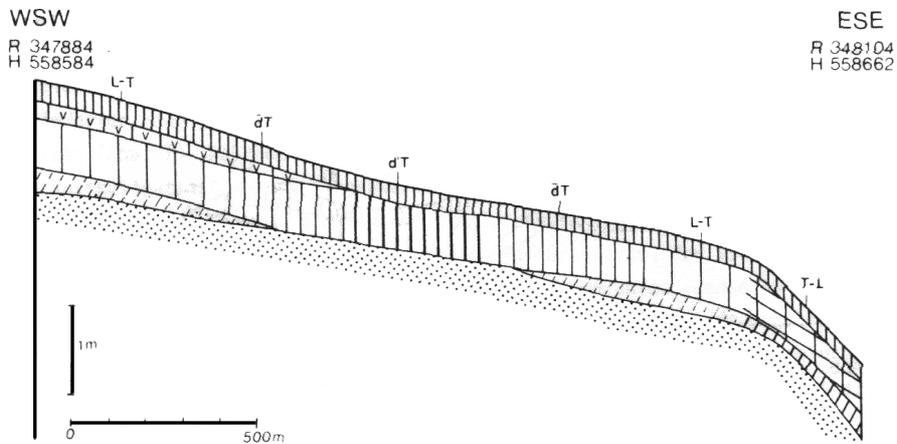


Abb. 9 Bodenabfolge zwischen Nieder-Weisel und Oppershofen

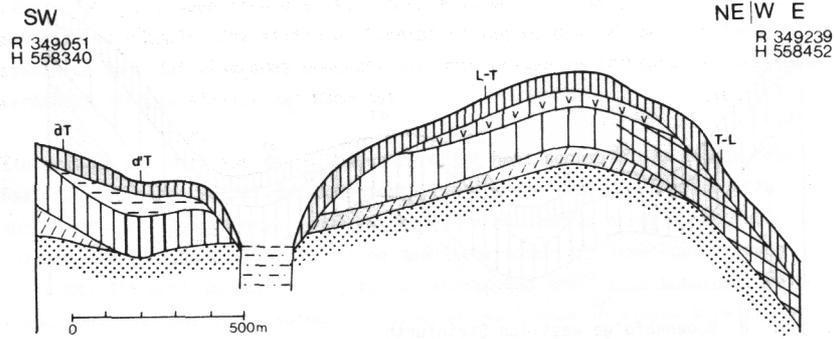
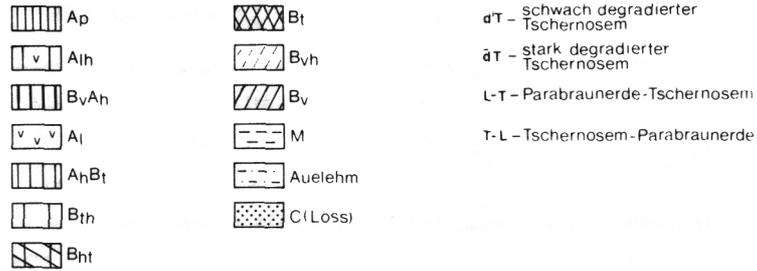


Abb. 10 Bodenabfolge nordwestlich Eczell



Legende Abb. 9 und 10

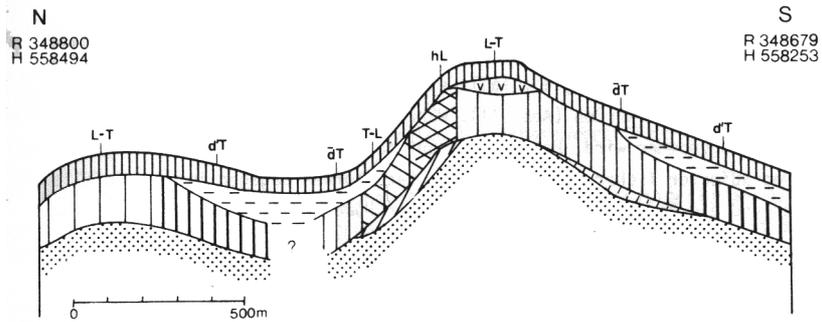


Abb. 11 Bodenabfolge südlich Wolfersheim

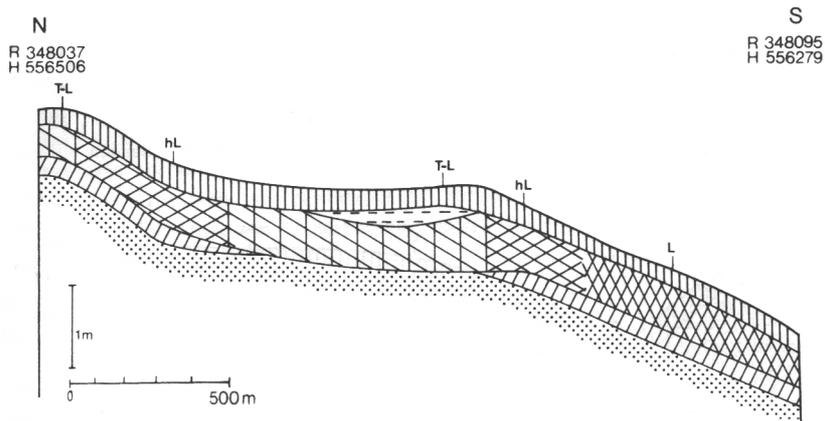
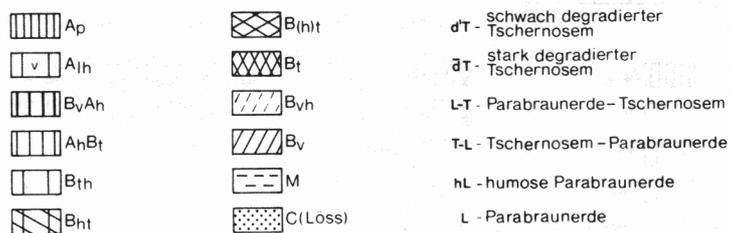


Abb. 12 Bodenabfolge nördlich Bad Vilbel



Während die bisherigen Beispiele aus den Zentren der Tschernosemareale stammen, stellen die folgenden Profilabschnitte die Situation in den Randgebieten dar. Nördlich Bad Vilbels konnte sich eine Tschernosem-Parabraunerde erhalten, die hangabwärts in eine humose Parabraunerde übergeht (Abb. 12). Im Bereich der Verebnung schließt sich nochmals eine Tschernosem-Parabraunerde an, die im folgenden Steilabfall von einer Parabraunerde abgelöst wird.

Am Horst der Hohen Straße konnten die südlichsten Verbreitungsgebiete degradiierter Tschernoseme des Arbeitsgebietes erbohrt werden (Abb. 13). In einer Delle lässt sich ein pseudovergleyter Parabraunerde-Tschernosem erbohren, an den Dellenflanken treten aber nur mehr oder minder erodierte Parabraunerden auf.

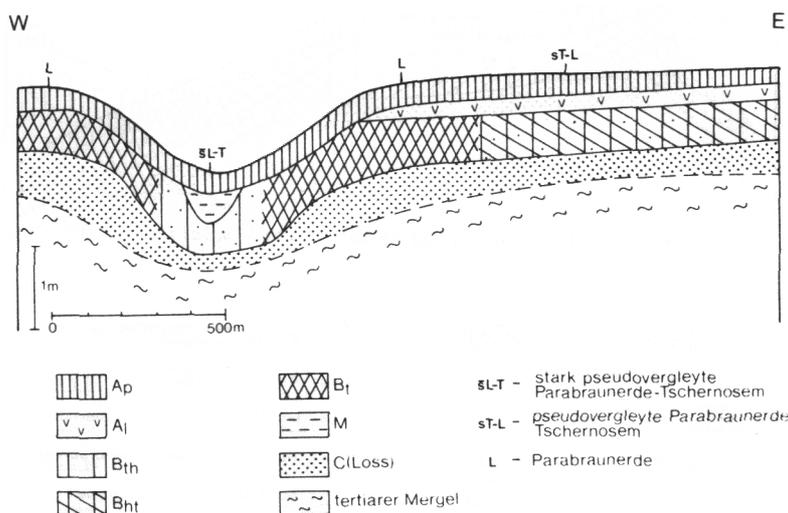


Abb. 13 Bodenabfolge südlich Bad Vilbel

Erst auf den seitlichen Verebnungen kommen wieder humusangereicherte Böden vor, die aber deutliche lessivierungserscheinungen besitzen (Tschernosem-Parabraunerde und Humose Parabraunerde).

### 5.3.2 Arbeitshypothese zur reliefbedingten Tschernosemverteilung in der Wetterau

Die kleinräumige Verteilung der Tschernoseme und ihrer Degradationsformen ist offensichtlich nicht zufällig, sondern wird von der jeweiligen Reliefposition bestimmt. Es ist auffallend, dass dränierete Standorte eine höhere Degradationsstufe des Bodentyps aufweisen, der auf benachbarten flachen Arealen vorkommt. Zuzugswasserbegünstigte Positionen weisen dagegen erheblich geringere Degradationsmerkmale auf. Das Bodenmosaik ist folglich umso bunter, je stärker die Reliefierung und unruhiger eine Landschaftsoberfläche ist. So erklärt sich auch die weit nach Süden vorstoßende Tschernosemverbreitung im Horloff-Graben. Obgleich die heutigen Niederschlagswerte dieses Gebietes gegenüber dem südlichen Butzbacher Becken und der nördlichen Friedberger Wetterau deutlich höher liegen, konnten sich aber die humosen Böden wesentlich besser erhalten. Als junges und rezent noch aktives Senkungsgebiet (Moore in der Horloff-Aue) ist die Reliefenergie gering und die reliefbedingte Degradation der Tschernoseme eingeschränkt (Abb. 14). Die Zunahme der Reliefierung in der südlichen Wetterau, die auf eine stärkere Zerschneidung durch die Flüsse und ein dichteres Gewässernetz zurückzuführen ist, beeinträchtigt erheblich die großflächige Verbreitung und Erhaltung von Tschernosemen. Gewiss wirkt sich auch die Zunahme des Niederschlags negativ aus.

Die hydromorphen Feucht- und Auenschwarzerden sind in erster Linie an Bereiche mit hochstehendem Grundwasser gebunden. Sie kommen praktisch nur in den Niederungen des Horloff-Grabens vor, wo es auch allmähliche Übergänge zu den rein terrestrischen Bodenbildungen gibt. Die weite, oft kaum abgrenzbare Horloff-Aue bietet dieser Genese die besten Bedingungen, da der Grundwasser-

spiegel hoch ansteht und der feinkörnige Auelehm ein vorzügliches Ausgangsmaterial für die Schwarzerdebildung darstellt. Nicht unerwähnt sollte bleiben, dass gerade die Horloff häufig über die Ufer tritt, da sie sich rezent noch in Absenkungstendenz befindet (KOMMERLE 1970), sodass den Böden ständig Kalziumbikarbonat nachgeliefert wird. Ein völlig anderes Bild ergibt sich in der übrigen Wetterau, wo die Auen schmaler und die Flüsse tiefer eingeschnitten sind. Feuchtschwarzerden sind hier wesentlich seltener.

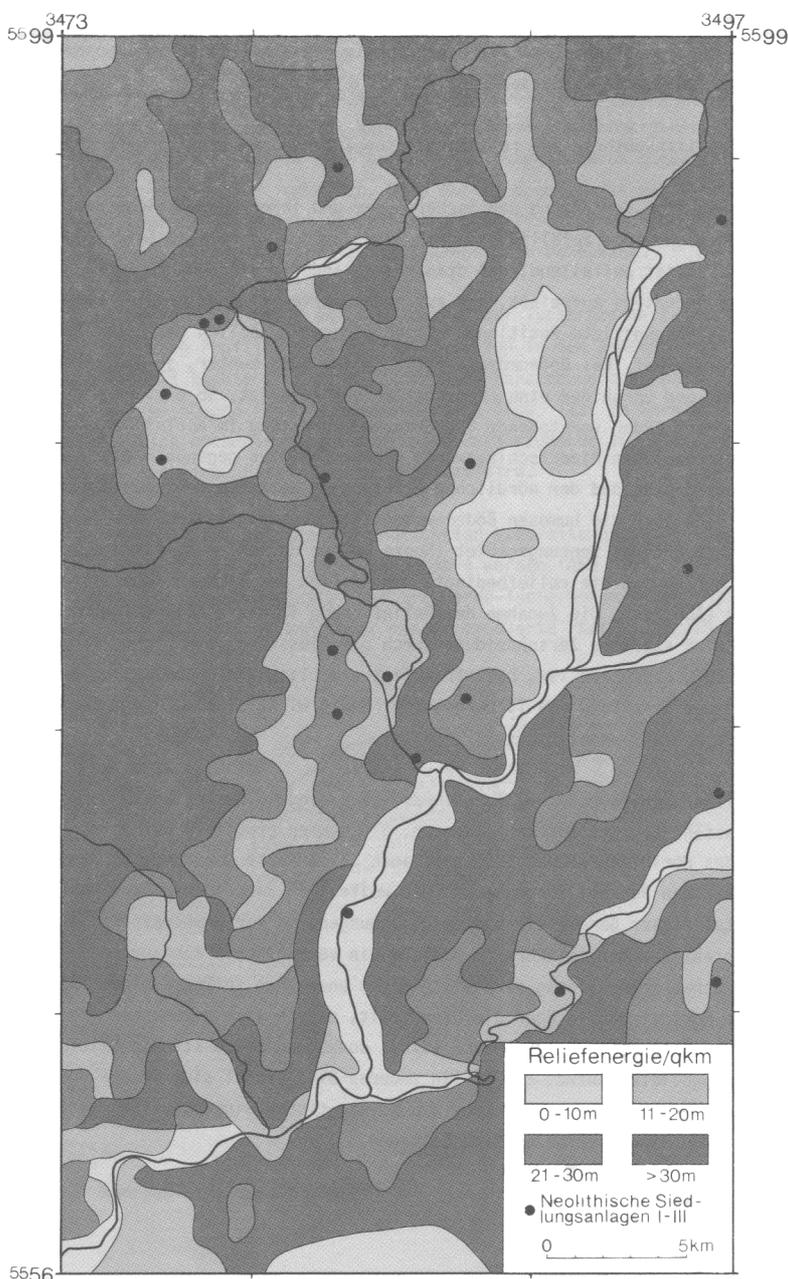


Abb. 14 Reliefenergie pro qkm in der Wetterau und Lage der linienbandkeramischen Siedlungen der Phasen I-III (MEIER-ARENDT)

Das Bodenwasser und seine Bewegung scheinen also von eminenter Bedeutung für die Degradation der Tschernoseme zu sein. Es ist das Medium, in dem sich alle wesentlichen bodenchemischen Prozesse abspielen. Aufgrund der großen Zahl von Untersuchungen zum Bodenwasser ist in dieser Arbeit darauf verzichtet worden, seinen aktuellen Einfluss zu messen. Die vergleichsweise lange Dauer des pedogenetischen Vorganges zur kurzfristigen Messzeit relativiert die Ergebnisse solcher Analysen erheblich. Sinnvoller scheint daher, die Bodenbildungen selbst als Produkte bodenchemischer Prozesse zu analysieren.

## 5.4 Der Einfluss des bodenbildenden Faktors Vegetation

Während die oben herausgestellten Faktoren der Bodenbildung durch den Menschen nicht oder nur wenig beeinflusst sind und sich daher rezent kaum vom Zustand des frühen Holozäns unterscheiden, ist die Vegetation Mitteleuropas in einem erheblichen Maße von anthropogenen Eingriffen betroffen. Für die großmaßstäbliche Erschließung der Pflanzendecke für z. B. das Atlantikum bereitet dies große Schwierigkeiten, da sie häufig indirekt über den Bodentyp rekonstruiert wird. Das Klima und die davon abhängige Vegetation führen zu einer typischen Bodenbildung, die ihrerseits wieder aufgrund ihres Trägheitsmomentes bezüglich der Faktorenveränderung ehemalige Vegetationsformen belegt. Diese, einem Zirkelschluss schon gefährlich nahen Hypothesen, scheinen besonders auf den Tscherno-sem angewandt werden zu können.

die Tschernoseme in Deutschland reliktschen Charakter haben, steht selbst für die trockensten Landschaften außer Frage (Sachsen, Oberrheingraben). So konzentriert sich die Diskussion auf die Altersstellung der Bodenbildung und die Vegetationsverhältnisse zur Zeit ihrer Genese. Aus dem Letzteren ergibt sich zwangsläufig die Frage nach den Degradationsbedingungen, d. h. der Veränderung des bodenbildenden Faktorengefüges.

### 5.4.1 Die Diskussion um die mitteleuropäische Tschernosemgenese

Die divergierenden Auffassungen, ob der Tschernosem in Deutschland im Spät-1 (KOPP 1965: 103ff; RAU 1965, 1969), oder im frühen Holozän gebildet diskutieren ROHDENBURG & MEYER (1968) sehr ausgiebig. Da sie nur schwach entwickelte Ah-Horizonte unter dem Laacher Bims fanden, neigen sie dazu, den Tschernosem als holozänen Alters einzustufen.

Ungemein schwierig gestaltet sich die Frage nach den Umweltbedingungen zur Zeit der Schwarzerdeentstehung. <sup>14</sup>C -Datierungen geben überwiegend ein Alter von ca. 6500 Jahren B.P. an (ZAKOSEK 1962; ALTMANNBERGER 1971; HAUPENTHAL 1978). Auch archäologische Befunde belegen, dass im Atlantikum bereits die Tschernoseme voll entwickelt waren (SCHEFFER & MEYER 1958; ROHDENBURG et al. 1962; MOCKENHAUSEN 1966), ihre Genese wird daher meist ins Präboreal und Boreal gestellt.

Der bodenkundliche Nachweis, daß die heimischen Schwarzerden den rezenten Tschernosemen Osteuropas ähnlich sind, veranlasste zu der Forderung, die dortigen Klima- und Vegetationsverhältnisse auf das frühe Holozän Mitteleuropas zu übertragen. Der Aktualismus als Forschungsmethode verleitete dazu, alle Schwarzerden als Steppenböden zu interpretieren. Für die Degradation der Tschernoseme machte man den Wald, der ab dem feuchteren Atlantikum ganz Deutschland bedeckt haben soll, verantwortlich (WILHELMY 1950; ALTEMOLLER 1957; ZAKOSEK 1962; KOPP 1965). Die pollenanalytischen Untersuchungen belegen aber für das Boreal keine Steppenvegetation, sondern Wald. Damit wurden die bodenkundlichen Auffassungen in einen Konflikt gebracht, da doch gerade der Wald die Degradation der Tschernoseme beschleunigt haben soll.

In neueren bodenkundlichen Arbeiten bemüht man sich um Kompromisse, indem man eine Waldsteppe annimmt (ALTMANNBERGER 1969; HAUPENTHAL 1978). ALTMANNBERGER (1969: 104) vermutet für die Wetterau eine Ausbreitung der Tschernoseme auf den trockenen Kuppen und Südhängen, während in den Senken und Niederungen dagegen nie optimale Bedingungen für die Tschernosembildung vorgelegen hätten. Es könne nach seiner Meinung angenommen werden, dass diese feuchteren Standorte eher bewaldet waren.

Hier ergibt sich ein Widerspruch zu den Kartierungen in der Wetterau, die gerade die Unterhänge als bevorzugte Standorte der Tschernosemerhaltung ausweisen, auch wenn es sich häufig um Feuchtschwarzerden oder ihre Obergänge zu den rein terrestrischen Bodenbildungen handelt. Auch auf den nicht vom Grundwasser beeinflussten feuchten Standorten, z. B. in Dellen, die nach ALTMANN-

BERGER günstige Voraussetzungen für eine frühe Bewaldung im Holozän boten, finden sich heute Böden, die eindeutig ein Tschernosemstadium durchlaufen haben müssen. Daraus müsste aber doch gefolgert werden, dass sich diese Böden entweder erst nach der Rodung der Wälder ausbilden konnten (ALTMANNBERGER spricht von einer Regradation im Subboreal), oder dass die heutigen Böden mit denen des Atlantikums identisch sind, also seither keine sichtbaren Veränderungen erfahren hätten. Beide Annahmen erscheinen sehr unwahrscheinlich.

So ist das Füllmaterial neolithischer Siedlungsgruben sehr dunkel gefärbt, das Bodenmaterial stammt sicherlich von Tschernosemen der nächsten Umgebung. Dies belegt eine präneolithische Ausbildung der Schwarzerden, in bronze- oder eisenzeitlichen Kolluvien konnte bislang keine Tschernosemgenese in der Wetterau nachgewiesen werden. Die zweite Vermutung, dass keine makroskopisch erkennbare Degradation eingetreten sei, verliert erheblich an Überzeugungskraft, wenn man bedenkt, dass im Horloff-Graben im Gegensatz zum Butzbacher Becken nur wenige neolithische Siedlungen nachzuweisen sind, die Bewaldung also länger angehalten haben muss. In beiden Regionen treten jedoch die gleichen Böden auf, der Wald hätte keinen Einfluss auf die Degradation gehabt.

Eine andere Gruppe von Forschern vertritt die Ansicht, dass auch unter Wald Tschernoseme sich erhalten können (ROHDENBURG & MEYER 1968, dort auch weitere Literaturhinweise). Nach ihrer Auffassung ist der Tschernosem nicht unbedingt als Boden einer baumfreien Steppe zu verstehen und dürfte daher auch nicht als Indikator einer bestimmten Vegetationsverteilung interpretiert werden (siehe auch FRENZEL 1960:103).

Mitnichten schließen ROHDENBURG & MEYER (1968) eine Degradation der Tschernoseme unter Wald aus, sehen aber seinen Einfluss eingeschränkt, wenn nicht gar aufgehoben, wenn der Karbonat Spiegel im Boden erhalten bleibt. Eine gehemmte Entkarbonatisierung und die sich daraus ergebende Stabilisierung der neutralen Bodenreaktion fördert die Erhaltung der Schwarzerden auch unter Waldbedeckung. Somit ist das traditionelle Postulat einer länger existierenden offenen Grasschaft im frühen Holozän hinfällig geworden. Es ergaben verschiedene Untersuchungen, dass unter Grasbewuchs generell mit einer Melanisierung der Böden zu rechnen ist, gleich wie die übrigen bodenbildenden Faktoren gestaltet (HESS 1965). Eine Tschernosementstehung kann folglich auch unter einer grasreichen Waldgesellschaft im Präboreal und Boreal möglich sein. Selbst die zunehmende Verdichtung der Wälder im Atlantikum und die damit verbundene Detion der Tschernoseme kann kompensiert werden, wenn andere Faktoren tschernosemerhaltend wirken. Nur unter solchen Voraussetzungen sind Tschernoseme an Unterhängen und auf feuchten Verebnungen erklärbar, ohne dass man wie HAUPEN (1978:359) eine Waldfreiheit gerade an diesen Standorten, die für eine Bewaldung prädestiniert sind, fordern muss.

Die weite Verbreitung der Tschernoseme und schwarzerdeartiger Böden in Niedersachsen führte zu einer intensiven Untersuchung ihrer Genese und Entwicklung in Norddeutschland. Aus Südniedersachsen beschreibt SELKE (1935) degradierte Steppenböden, die hangabwärts eine Zunahme der Humusgehalte aufweisen. Er erklärt dies mit einer besseren Wasserversorgung des Hangfußes, die zum einen eine höhere Pflanzenproduktion begünstigte, zum anderen einen verlangsamten Abbau der anfallenden Streu aufgrund der häufigeren Durchfeuchtung verursachte. Aus Ostfalen beschreibt TH. MÜLLER (1952:98) "entartete Steppenböden", die "in Muldenkernen in reine Steppenböden übergehen".

Auch HOHNVEHLMANN (1963:70ff) verweist auf Vorkommen und Konservierung tschernosemähnlicher Böden in muldenartigen und ebenen Reliefbereichen der Soester Börde. Diese reliefbezogene Bodenverteilung erklärt er damit, dass sie schon bei der Entstehung der Tschernoseme vorgelegen habe. In den trockenen Geländelagen seien vermutlich primär weniger stark humose Böden gebildet worden als in den Senken. Diese Annahme resultiert aus der Ansicht, dass die heutige Bodentypenverteilung mehr oder minder exakt die borealen und frühatlantischen Verhältnisse widerspiegelt.

SELKE wie HOHNVEHLMANN gehen nicht von einer vom Relief gesteuerten und differenzierenden Degradation der Tschernoseme aus, im wesentlichen entspricht ihrer Ansicht nach das heutige Bodenmosaik dem zur Zeit der Bodengenese. Nur kurz wird von HOHNVEHLMANN (1963:76) eine Degradationshemmung auch durch Staunässe angedeutet. Das Nebeneinander von Parabraunerden und Parabraunerde-Tschernosemen versucht er durch unterschiedlich lange Waldbedeckung zu erläutern. So soll der Wald die Versauerung der Böden und die Tondurchschlammung fördern, aber auch die biologische Aktivität und den Humusabbau einschränken. In den unter Kultur genommenen Böden werden jedoch durch die Bearbeitung und Düngung Bodenflora und -fauna angeregt, was zum Abbau der organischen Substanz führt, eine Krumendegradation ist die Folge.

#### 5.4.2 Neuere Ansätze zur Tschernosemengenese und –erhaltung in Mitteleuropa

Zunehmend war die Steppenhypothese wegen ihrer starken Abhängigkeit von Klima und Vegetation in Kritik geraten und eine differenziertere Betrachtung auch der anderen bodenbildenden Faktoren und des Bodenchemismus setzte ein. Die Untersuchungen GANSSENS und HARTHS (1957) im nördlichen Oberrheingraben lenkten die Sicht auf den Kalkgehalt der humosen Böden. Nach ihrer Meinung verhindert die Trockenheit dieser Region die Abfuhr von Kalziumkarbonat aus dem Sol um, sie fördert sogar den Aufstieg von Hydrogenkarbonat aus dem feuchteren Untergrund. Ähnliche Auffassungen werden auch von ZAKOSEK (1962) und PLASS (1981) vertreten.

Umgekehrt argumentiert ROESCHMANN (1968:853ff), der in der Hildesheimer Börde überwiegend auf den zur Staunässe neigenden Standorten humose Böden kartierte. Er ist der Ansicht, daß die "Bikarbonatmetabolik" (siehe unten) für die Konservierung der Tschernoseme in den Senken und auf den Ebenen mit abdichtendem Untergrund verantwortlich ist. Die Degradation verursacht in ersterlinie der Wald, während die Stabilisierung durch den Ackerbau erfolgt. Großräumig geht er in der Hildesheimer Börde von einem mehr oder minder geschlossenen Tschernosemearéal unter Waldsteppe im frühen Holozän aus, die im Gegensatz zu den feuchteren Randgebieten in ihrer trockenen Kernregion später bewaldet wurde. Die bald darauf einsetzende neolithische Rodung und Besiedlung erzeugte zuerst in den zentralen Arealen eine Kultursteppe, die sich nach außen hin ausdehnte und schließlich auch die schon älteren Wälder zerstörte. Hier war aber die Degradation wegen der länger andauernden Bewaldung schon weit fortgeschritten, sodass die anthropogene Steppe nur noch die degradierten Tschernoseme erhalten konnte.

Schon 1956 beschreibt KUBIENA "Pseudo-Tschernoseme" in der "Baltischen Bodenprovinz", die tirsoiden Charakter haben und in erster Linie an Unterhängen, in Mulden und auf Ebenen anzutreffen sind. Im Übergangsbereich von der Steppe zur Feuchtregion entstanden diese Böden aufgrund ihrer Staunässe, die anmoorige Humusformen ausgebildet hatte. Später setzte Mullbildung ein, doch wurde der Humus nicht bioturbat, sondern überwiegend mechanisch dem Mineralboden beigemischt. Diese Bodenbildungen gehören rein genetisch nicht zu der Gruppe der terrestrischen Tschernoseme, da sie keine primären Bildungen darstellen und aus vererdeten Mooren erwachsen sind.

SCHEFFER & MEYER (1958) greifen aber KUBIENAs Gedanken auf und unterscheiden hinsichtlich der Schwarzerdegenese die Waldsteppentschernoseme des "trockenen südosteuropäischen Klimaraumes" von den Feuchtschwarzerden des maritimen Klimagebietes Norddeutschlands, die "einer wechselfeuchten, karbonatholden, mehr oder minder lichten, krautreichen Waldvegetation zuzuordnen sind" (SCHEFFER & MEYER 1958:6). Entscheidend für die Konservierung dieser Böden seien der hohe Kalkvorrat des Lösses, karbonat-gesättigtes Hangwasser und der oft die Perkolation des Niederschlagswassers hemmende Löß. Die Degradation dagegen werde auf den karbonatärmeren Lössen bei guter Drainage begünstigt und führe zum Humusabbau, zur Verbraunung und Tondurchschlammung. Auf gut dränierten Standorten mit geringer Lößbedeckung und durchlässigem Untergrund seien primär Parabraunerden entstanden. Daraus ist zu folgern, dass ein Großteil der Tschernoseme unter Wald sich ausbildeten, der aber nach Auffassung der Steppen-Hypothese bislang als Degradationsinitiator interpretiert wurde.

Die klimatischen Prämissen für die Tschernosemgenese werden bei SCHEFFER & FULSTER & MEYER (1959/60) völlig indifferent, da sie davon ausgehen, dass diese Böden die unterschiedlichsten bodenbildenden Faktorenkonstellationen aufweisen können. Gemeinsam sind jedoch allen Schwarzerden zwei physikalisch-chemische Grundprozesse:

- a) "hohe biologische und abiologische Umsetzungsintensität der postmortalen Pflanzen-substanz" (SCHEFFER & FULSTER & MEYER 1959/60:302)
- b) Bildung von stabilen, schwer aufzulösenden Huminsäuren (SCHEFFER & FULSTER & MEYER 1959/60:302)

Begünstigt werden diese Prozesse durch eine periodische Durchfeuchtung mit einer kalzium-bikarbonathaltigen, neutralen bis schwach alkalischen Bodenlösung. Es spielt keine Rolle, ob das benötigte Karbonat über das versickernde Niederschlagswasser aus dem Boden selbst stammt, oder durch aufsteigendes Bodenwasser aus bikarbonathaltigem Stau- und Grundwasser erfolgt. Entsprechend ergibt sich dann eine Trennung in Tschernoseme und Pseudo-Tschernoseme bzw. Karbonat-Anmoore. Der lösungsschemische Vorgang wird als "Bikarbonatmetabolik" bezeichnet und kann selbstverständlich auch unter Wald ablaufen. Von größter Bedeutung für die Pedogenese sind die sich ständig wiederholenden Prozesse der Kalkauswaschung und -anreicherung.

Es geht aus den Erörterungen eindeutig hervor, dass kein Widerspruch zur Steppen-Hypothese besteht. Es werden terrestrische und hydromorphe Böden miteinander verglichen und die ihnen gemeinsamen pedogenetischen Prozesse dargestellt. Gerade die Tschernoseme auf den grundwasserfernen Standorten werden besonders durch das Klima geprägt, denn wenn die versickernden Niederschlagsmengen nicht ausreichen, Kalk in Form von Bikarbonat abzuführen, dann wird sich der vorhandene Bodentyp auch weiterhin erhalten können. Damit wären auch die Steppen-Böden mit eingeschlossen, ohne dass für den Tschernosem ausdrücklich eine Steppenvegetation und ein Steppenlima gefordert werden muss. Dagegen wird ein sich stetig vergrößerndes Kalkdefizit im Boden auch unter Grasland degradierend auf die Schwarzerden wirken. Auf diese Tatbestände weist auch schon HESS (1965:29) hin.

SCHEFFER & MEYER (1958) wandten die Bikarbonatmetabolik anfangs nur auf die hydromorph geprägten Pseudo-Tschernoseme an, was mit Recht die Kritik HOHNVEHLMANNs (1963:75) herausforderte.

Auch in der bodenkundlichen Forschung der DDR hat man sich der Auffassung angeschlossen, dass die Humusakkumulation der Tschernoseme unter Waldsteppe bei kontinentalen Klimabedingungen einsetzte (MÜLLER, G. 1980:308). Als frühester Zeitpunkt der Bodenbildung wird von RAU (1965) das Alleröd angenommen, doch fast alle anderen Bearbeiter der Tschernosemproblematik gehen davon aus, dass die Tschernosemgenese ins frühe Holozän zu stellen sei (zusammenfassend: HAASE 1978b). Hinsichtlich der Bikarbonatmetabolik besteht weitgehend Obereinstimmung. Bei der Betrachtung der räumlichen Verteilung der humosen Böden Sachsens wird sowohl die Klimaabhängigkeit als auch die Substratabhängigkeit der Tschernosemgenese hervorgehoben. Eine größere Sickerwassermenge, die auf der Zunahme der Niederschläge beruht, einerseits und die bessere Perkolationsfähigkeit des Bodenwassers in den Sandlössen bei geringerem primärem Kalkgehalt andererseits forcieren die Degradation der Tschernoseme. Dem Relief wird jedoch bei der Ausprägung der heutigen Bodengesellschaften nur ein geringer Einfluss zuerkannt.

ROESCHMANN (1968:855) vermutet, dass die Tschernoseme der Hildesheimer Börde unter einer "mit lichten Gehölzen bestandenen Steppe oder Waldsteppe" entstanden seien, gesteht aber, dass sich die Bodentypenareale in ihren bodengeographischen Beziehungen zueinander nicht eindeutig interpretieren lassen.

Ganz ähnliche Probleme ergeben sich auch für BAILLY (1972, 1973), der sich aufgrund seiner Arbeiten in der Calenburger Börde mit der Steppen-Hypothese und Feuchtboden-Hypothese auseinandersetzt. Er kommt zu dem Ergebnis, dass beide Ansichten zwar in vielen Fällen Lösungswege anbieten, jedoch das Verteilungs mosaik in den Randbereichen der Tschernosemareale nicht befriedigend erklärt werden kann. Er vermutet, dass sich gerade hier weitere, bislang nicht beachtete bodenbildende Faktorenkonstellationen zusätzlich ausgewirkt haben könnten. So wäre es nicht auszuschließen, dass sich auch floristische und faunistische Grenzen bodengenetisch relevant durchgepaust haben. Für die Ausbildung und Erhaltung der Tschernoseme und ihrer Degradationsformen will er die gesamtökologischen Verhältnisse stärker berücksichtigt wissen. Eine ähnliche Forderung wurde auch schon von ROHOENBURG & MEYER (1968:156) erhoben.

Die starke Betonung bestimmter Klima- und Vegetationsverhältnisse für die reliktsche Tschernosemengenese in Deutschland lässt kaum die Möglichkeit kleinräumiger Untersuchungen zu, da weder genaue Klimadaten noch die Verbreitung der Vegetation rekonstruierbar sind. Erhaltung bzw. Degradation der Böden werden leicht hypothetischen Verteilungsmustern von mehr oder minder klimaabhängigen Vegetationseinheiten zugeordnet, die auch durch Analogieschlüsse aus anderen Landschaften rezenter Tschernosemengenese nur bedingt überprüfbar sind.

Es bleibt aber bei den kartierenden Bodenkundlern und Bodengeographen trotz der Verlagerung des Schwerpunktes der Diskussion um die Tschernosemengenese vom klimatisch-vegetationskundlichen zum klimatisch-bodenchemischen Aspekt ein gewisses Unbehagen, da zwar durch letzteren für kleinmaßstäbliche Kartierungen eine Lösung gefunden scheint, bei der großmaßstäblichen Aufnahme aber viele Fragen offen bleiben. Besonders offenkundig wird dieses Problem im Übergangsbereich von den Tschernosemgebieten zu den Parabraunerdelandschaften. Hier gehört aber auch die Wetterau eingeordnet.

## 5.5 Die Entwicklung der bodenbildenden Faktoren und ihre Bedeutung für die Tschernosemengenese und -erhaltung in der Wetterau

### 5.5.1 Die Klimaabhängigkeit der Bodenverteilung in der Wetterau

Das Nord-Süd-Profil (Abb. 2) durch die westliche Wetterau belegt eine dem heutigen Niederschlag entsprechende Degradation der Tschernoseme. Da sich das Ausgangsmaterial der Bodenbildung (Löß), dessen Mächtigkeit immer über das Solum hinausgeht, an den untersuchten Standorten praktisch nicht unterscheidet und die Reliefposition weder staunass noch grundwasserbeeinflusst ist, muss bezüglich der Tschernoseme und ihrer Degradationsformen von einer Klimasequenz gesprochen werden. Diese Feststellung impliziert eine paläogeographische Ähnlichkeit der früh- und mittelholozänen Klimaverhältnisse mit den heutigen, d. h. dass seit Beginn der Warmzeit mit einer Trockeninsel in der nördlichen Wetterau zu rechnen ist. Geht man überdies davon aus, dass es zur Zeit der Tschernosementstehung im Präboreal oder im Boreal trockener und kontinentaler gewesen ist als heute, dann lassen die Klimaverhältnisse darauf schließen, dass in der gesamten Wetterau dieser Bodentyp auf Löß die charakteristische Bodenbildung darstellte. Indirekte Belege dafür sind die Degradationsformen des Tschernosems in der südlichen Wetterau. Es ist angesichts der Bikarbonatmetabolik unerheblich, ob die Bodenbildungen unter einer Steppe oder krautreichen Waldsteppe abgelaufen sind, entscheidender für die heutige Bodenverteilung ist die Frage nach den Degradationsprozessen. Setzt man eine im wesentlichen einheitliche Bodentypenverteilung auf dem Löß zu Beginn des Atlantikums voraus, so müssen die Degradationsprozesse ungleich abgelaufen sein, da wir es heute mit einem recht "bunten" Bodenmosaik zu tun haben.

Die allseits postulierte Verschiebung von kontinentalerem zu maritimerem Klima seit dem Atlantikum in der nördlichen Hälfte Deutschlands dürfte auch eine Zunahme der regenbringenden Südwestströmungen mit sich gebracht haben. Folglich, wurde die südliche Wetterau auch stärker beregnet. Mit dem Anstieg der Niederschlagssummen und mit einer ausgeglicheneren Niederschlagsverteilung

erhöhten sich auch die Sickerwassermengen, die zuerst natürlich in den Randbereichen der Wetterau zur makroskopisch erkennbaren Degradation der Böden führten. Der Degradationsprozess setzte also in der südlichen Wetterau früher ein und war dort auch intensiver.

Dabei sind von besonderer Wichtigkeit neben der Niederschlagssumme die Zahl der Niederschlagstage und deren Verteilung über das Jahr. Ausgewählt wurden die Stationen Lich (619 mm), Bad Nauheim (577 mm) und Bad Vilbel (628 mm) (siehe Tab 3). Die Zahl der Tage mit mehr als 0,1 mm Niederschlag korreliert nicht mit den Jahresniederschlagssummen, denn Bad Nauheim hat 178,7 Tage, Lich 162,6 Tage und Vilbel 156,5 Tage aufzuweisen. Da aber die schwachen Regenfälle das Solum nicht durchfeuchten und kaum Karbonat abführen, sind die Werte der starken Niederschläge (mehr als 10 mm) von größerem Interesse. Unter diesem Aspekt ändert die Reihenfolge der Stationen. Bad Vilbel weist die höchste Zahl solcher Niederschlagstage auf, Bad Nauheim die wenigsten. Die jahreszeitliche Verteilung dieser Niederschläge zeigt, dass sowohl im Sommerhalbjahr (April -September) als auch im Winterhalbjahr das Zentrum der Wetterau (Bad Nauheim) gegenüber den reichen (Lich, Bad Vilbel) eindeutig trockener ist. Folglich muss auch dort die höchste Kalkauswaschung stattfinden, da auch die Versickerungsraten aller Voraussicht nach die der zentralen Wetterau übertreffen.

Einschränkend muss aber darauf verwiesen werden, dass die Grundwassererneuerung in der westlichen Wetterau nur im Winterhalbjahr erfolgt (HERRMANN 1965), während im Sommer die Verdunstung die Niederschläge aufbraucht. Für unsere Fragestellung ergibt diese Aussage, dass die starken Winterniederschläge und die Schneeschmelze entscheidend für die Vergrößerung des Kalkdefizits in den Tschernosemen sorgen. Besonders deutlich wird die Beziehung Winterniederschläge : Degradation der Tschernoseme bei einem Vergleich der Stationen Echzell und Bad Vilbel. So werden in beiden Ortschaften im Zeitraum April bis September 335 mm Niederschlag gemessen (Tab. 1), im Winterhalbjahr fallen in Bad Vilbel jedoch 50 mm mehr Regen als in Echzell. Diese Differenzierung deutet sich auch im Degradationsgrad der Tschernoseme an, der im Süden am weitesten bis zur Parabraunerde fortgeschritten ist, während in der Gegend um Echzell die Schwarzerden noch nicht allzu sehr verändert sind. Die schnelle Wassersättigung im Winterhalbjahr in der südlichen Wetterau resultiert auch aus der höheren Zahl der Tage mit starken Niederschlägen (mehr als 10 mm). Während in Bad Nauheim nur 5,1 Tage errechnet werden, weist Bad Vilbel eine deutlich höhere Anzahl auf (7,0) (Tab.3). Auch die Untersuchungen GEGENWARTs (1952) ergeben für die südliche Wetterau vor allem ein herbsthliches Überwiegen der Stark- und Dauerregen gegenüber dem Butzbacher Becken und dem Horloff-Graben.

Die hohen Niederschlagswerte in den Sommermonaten, die die der Wintermonate deutlich übertreffen, sind auf den beachtlichen Anteil der Gewitter zurückzuführen und bedürfen einer vorsichtigen Interpretation. Aufgrund der Heftigkeit der Niederschläge und dem Lufteinschluss in den Böden fließt der größte Teil des Regens oberflächlich ab und vermag daher den Boden kaum zu durchfeuchten. Der Anteil der kurzfristigen Starkregen an der Zahl der Gesamtniederschlagsereignisse erfährt nach MASUCH (1970) in den Monaten April bis September eine Steigerung bis auf 80 %.

Diese Analysen werden auch durch Lysimetermessungen seitens des Wasserwirtschaftsamtes Friedberg gestützt (Tab. 4 -6). Für alle drei Stationen gilt, dass in den Sommermonaten trotz hoher Niederschläge keine Versickerung in tiefere Bodenbereiche nachweisbar ist. Lediglich im Winter und Frühjahr erfolgt eine Grundwassererneuerung. Leider sind die Böden, in denen diese Messungen vorgenommen wurden, für die Wetterau nicht repräsentativ. Nur der Lysimeter in Nieder-Erlenbach ist in einer Parabraunerde aus Löß angelegt, doch liegt diese Station am äußersten Südwestrande der Wetterau.

Abschließend sei noch auf den Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Nidda (1968) verwiesen, in dem eine Karte der mittleren Verdunstungshöhen enthalten ist (Karte 26). Die höchsten Verdunstungsbeträge werden für den Vorderen Vogelsberg angegeben, was wohl auch auf seine Bewaldung zurückzuführen ist. Nach Westen und Südwesten nehmen die Werte ab. Aufgrund dieser Karte erklärt

sich, daß bei fast gleichen Niederschlagsmengen und Vegetationsverhältnissen in Bad Nauheim, Friedberg und Echzell die Tschernoseme im nördlichen Horloff-Graben weit weniger degradiert sind als am südlichen Rande des Butzbacher Beckens und in der Friedberger Wetterau.

Vermutlich sind ähnliche Klimarelationen seit dem Atlantikum wirksam, sodass die Degradation der Tschernoseme in erster Linie auf klimatischen Veränderungen beruht. Während in der nördlichen Wetterau aufgrund der klimatischen Bedingungen nur wenig Kalziumkarbonat abgeführt wird, kommt es in der südlichen Wetterau zu einem größeren Kalkdefizit und zu einer Verstärkung der Degradationsprozesse. Aus diesem Grunde scheint es gerechtfertigt, bei dieser großräumigen Betrachtung von einer klimatisch determinierten Sequenz der Tschernosemverteilung zu sprechen.

### 5.5.2 Die Substratabhängigkeit der Bodenverteilung in der Wetterau

Bei detaillierten Untersuchungen fallen jedoch vielerorts Bodenverteilungen auf, die nicht klimatisch allein erklärt werden können. Trotz der klimatischen Gunst werden auf dem Bellersheimer Horst, der Kaicher Höhe oder im Griedeler Markwald (nordwestliche Begrenzung des Butzbacher Beckens) keine tschernosemähnlichen Bodenrelikte angetroffen. Diese Landschaftsbereiche müssen folglich eine andere Geofaktorenkonstellation aufweisen als die tieferen Lagen der Wetterau. Hier spielt offensichtlich das Ausgangssubstrat der Bodenbildung eine wesentliche Rolle. Es stellt den einzigen bodenbildenden Faktor dar, der eine deutliche Variation gegenüber den Senken erfahren hat.

Entscheidend dürfte sich der geringe oder fehlende Kalkgehalt im Ausgangssubstrat der Pedogenese ausgewirkt haben. Häufig liegen Schuttdecken mit mehr oder minder hohen Anteilen des anstehenden Gesteines (tertiäre Sande, Tone, Mergel, Basalt und Schiefer) vor. Die Lössen sind syn- oder postsedimentär umgelagert worden und wurden dabei teilweise oder gänzlich entkalkt. Die Folge war, dass im Holozän schnell eine Versauerung des Bodenmilieus einsetzte, die eine Tschernosemgenese nicht zuließ oder frühzeitig unterbrach.

Als ein charakteristischer Vorgang bei der Tschernosembildung wird allgemein die Bioturbation angesehen. Sie findet ihre besten Bedingungen in Böden mit günstigen Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalten. Daher werden umgelagerte Lössen mit ihrem plattigen Gefüge von der Bodenfauna eher gemieden als Lössen in Primärlagerung. Tonige Substrate weisen meist eine mangelhafte Durchlüftung, sandige ein unbefriedigendes Nährstoff- und Wasserangebot auf. Die für die Tschernosemgenese so wichtigen Prozesse der Bikarbonatmetabolik und Bioturbation können trotz bester klimatischer Bedingungen nicht optimal zur Geltung kommen.

Zum Taunus hin nimmt die Lößbedeckung sehr schnell ab und wird schließlich von löß- oder lößlehmangereicherten Schuttdecken abgelöst. Es besteht also hinsichtlich des Ausgangssubstrates der Bodenbildung eine Catena, in der die Pedogenese zwar auch von klimatischen, aber in einem erheblichen Maße von den geomorphologischen Prozessen des Pleistozäns abhängig ist. In der nördlichen Wetterau entspricht die Bodenabfolge Tschernosem (Löß)-Parabraunerde/Pseudogley (Lößlehm) Braunerde (Deckschutt über Basisschutt) den verschiedenen Ausgangssubstraten.

Die Verteilung der pleistozänen Sedimente ist ihrerseits vom Relief geprägt. So schränkt die Höhenlage die Lößakkumulation ein, da der Transportweg des äolischen Sedimentes mit Zunahme der Höhe länger wird. Bis ca. 230 m NN dominierte die Lößanlagerung, umgelagerte Lössen und Lößlehme schließen sich an. Es wirken sich einmal die Zunahme der Niederschläge, zum andern auch die stärkere Relieferung aus (Abb. 14), die die Umlagerung fördert. Dies gilt vor allem auch für die steileren Hänge in den tieferen Lagen der Wetterau, wo nur wenig Löß akkumuliert wurde, der dann noch solifluidal bewegt wurde.

Die enge Beziehung zwischen Relief und Sedimentgenese ist auch für die Auenschwarzerden der Wetterau bezeichnend. Besonders häufig treten diese Böden in der Horloff-Niederung, aber auch in

ihren Zuflüssen auf. Sie sind durchweg in Auelehmen und Schwemmlössen entwickelt, meist verglejt und wesentlich toniger als die Tschernoseme. Typisch ist ihre sehr dunkle, blaustichige Farbe im Ah-Horizont. Im Braunkohletagebau Utphe kann beobachtet werden, wie der degradierte Tschernosem in eine Feucht-schwarzerde übergeht, die in Flussnähe (Horloff) von einem Karbonatanmoor abgelöst wird (Abb. 15). Oberflächlich ist die Grenze zwischen Feuchtschwarzerde und terrestrischer Bodenbildung nicht wahrnehmbar, die Aue ist morphographisch kaum abzugrenzen. Der Grundwasserspiegel bestimmt in dieser Catena die Bodentypenverteilung. Während der Tschernosem keinerlei Gleymerkmale aufweist, reicht in der Feuchtschwarzerde der Go-Horizont bis in den Ah hinein. Es handelt sich jedoch nicht um den rezenten Oxidationsbereich, da durch die Horloffregulierung und den derzeitigen Tagebaubetrieb das Grundwasser extrem abgesenkt ist. An der Basis des tonreichen fGoAh-Horizontes ist ein deutlicher Cc-Horizont ausgebildet, der aber weniger auf Entkarbonatisierung des hangenden Bodensubstrates als vielmehr auf eine Ausfällung durch das kalkhaltige gespannte Grundwasser zurückzuführen ist. Die Kalkbilanz solcher Böden darf als ausgeglichen, allenfalls als schwach defizitär bezeichnet werden, sodass die Degradation erst mit der Grundwasserabsenkung einsetzt.

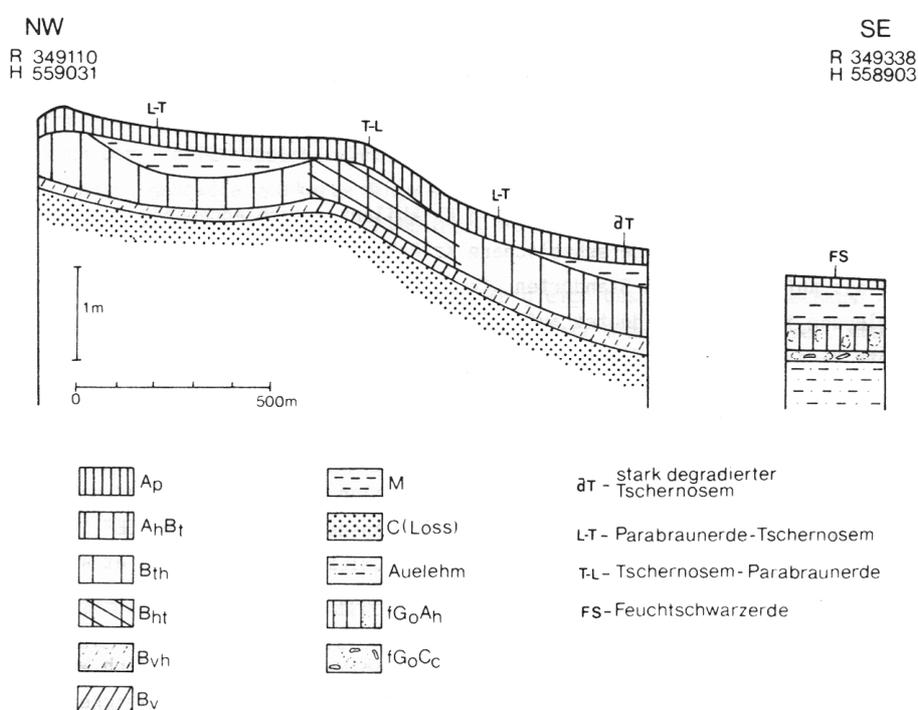


Abb. 15 Bodenabfolge nördlich Utphe

Gewiss ist es äußerst schwierig zu entscheiden, ob es sich bei den angesprochenen Feuchtschwarzerden um in situ entstandene Bodenbildungen handelt. Gegen eine rein sedimentäre Genese spricht aber, dass der liegende und hangende Hochflutlehm scharf abgegrenzt und weit weniger humos und tonig ist. Die Frage, ob es sich vielleicht um ein vererdetes Anmoor handelt, konnte nicht definitiv geklärt werden. Daher wurde auch der Begriff "Schwarzerde" gewählt, um auszudrücken, dass es sich im weitesten Sinne um einen durch Humus dunkel gefärbten Horizont handelt, ohne dass auch schon eine ganz bestimmte Genese damit verbunden ist.

An der Wetter im Butzbacher Becken fehlen die Feuchtschwarzerden fast gänzlich. Das Wettertal ist wesentlich tiefer eingeschnitten, die Aue enger. Die morphologischen Bedingungen für die Genese dieser Böden sind ungleich schlechter als in der Horloff-Niederung mit ihrer weiten, bis in jüngste Zeit noch hochwassergefährdeten Aue. Die höheren Absenkungsbeträge im Vergleich zum Butzbacher Becken wirken sich also auch in dieser Hinsicht bodengeographisch aus.

### 5.5.3 Die reliefabhängigkeit der Bodenbildung in der Wetterau

In den meisten der vorgestellten Profilschnitte spielt das Grundwasser keine Rolle. Wie schon oben angedeutet, lassen sich an den Hängen immer wieder charakteristische Bodentypenabfolgen der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe beobachten, die ganz offensichtlich reliefabhängig sind. So zeigen die Böden der überhänge stärkere Degradationserscheinungen als die der ebenen Riedel und flachen Rücken. An den Unterhängen befinden sich durchweg die tschernosemähnlichsten Böden, oft auch unter kolluvialer Bedeckung und nicht selten mit Pseudogleymerkmalen. Expositionen spielen in diesem Zusammenhang offensichtlich keine Rolle (anders: ALTMANNBERGER 1969), sodass davon ausgegangen werden muss, dass das Bodenwasser in Abhängigkeit vom Relief der entscheidende Faktor der Degradation darstellt. Sehr ähnliche Catenen sind auch bei STRAUTZ (1963) und LÜDERS (1970: Abb. 7) beschrieben.

Für die Bodenverteilung am Hang ist die Kalkbilanz ausschlaggebend. Daraus folgt, dass an den überhängen eine erheblichere Kalkabfuhr erfolgte (vertikal und lateral) als auf den flachen Standorten (nur vertikal). Die gelegentliche Pseudovergleyung im Unterhang deutet auf eine gehemmte oder durch Zuschusswasser beeinflusste Versickerung des Niederschlages hin. Das verbessert natürlich die Kalkbilanz dieser Böden, ihre Degradation ist gegenüber denen der überhänge wesentlich geringer.

Auch BEESE et al. (1973) stellen am Hang lateralen Wasserzug fest und vermuten einen entsprechenden gleichgerichteten Stofftransport (siehe auch NEEF 1960; BLUME et al. 1968; TRETER 1970; BLUME 1971; BECHTLE 1974; GREMINGER et al. 1979). Dies bedeutet für die Böden am Hang, dass am überhang die Entkalkung überwiegt, der Mittelhang sowohl Karbonatabfuhr als auch -zufuhr vom oberen Hangabschnitt erfährt. Am Unterhang versickert zwar Wasser, das eine Entkalkung auslöst, doch wird der Wasserzuzug aus dem Hang einen großen Teil des Verlustes wieder ausgleichen. Gerade die Pseudovergleyung deutet darauf, dass ein Teil des Bikarbonates bei der Verdunstung wieder ausfallen kann und so dem Solum weiterhin erhalten bleibt (JORDAN 1976).

Da die heutigen Böden der nördlichen Wetterau weitgehend entkalkt sind, ist die Bikarbonatmetabolik natürlich kaum noch wirksam. Dieser bodenchemische Prozeß muss aber für das Atlantikum noch angenommen werden, da allgemein die Degradation im Gefolge der klima-bedingten Waldausbreitung und -verdichtung in dieser Zeit angesetzt wird. Die Waldverteilung an einem Hang ist für den Prozess der Tschernosemerhaltung nicht allzu bedeutsam, da Degradation und Stabilisierung der Tschernoseme primär vom Karbonat Spiegel abhängen. Dieser wird vom Bodenwasser bzw. Sickerwasser und seiner Bewegungsrichtung reguliert, auf die neben den allgemeinen Klimabedingungen das Relief großen Einfluss hat. Die sehr eingeschränkte Bedeutung des Waldes auf die Bodenbildung zeigt sich bei den Unterhangböden, die trotz früherer und gewiss auch dichter Bewaldung einen geringeren Degradationsgrad aufweisen als die trockeneren Oberhänge. Die verminderte Entkarbonatisierung ist auf die schlechtere Dränage und Karbonatanreicherung durch Hangwasser zurückzuführen.

Die Hanggestaltung selbst wirkt sich gleichfalls differenzierend aus. Mit Zunahme der Steilheit und Länge des Hanges werden die lateralen Wasserbewegungen, also auch der Stofftransport, wirksamer, die Unterschiedlichkeit der Böden deutlicher. Wenig geneigte und kurze Hänge sind meist nicht von lateralen Wasserbewegungen profilprägend betroffen (GREMINGER et al. 1979).

Diese Feststellungen lassen sich leicht im Vergleich des Butzbacher Beckens seiner südlichen Anschlussgebiete mit dem Horloff-Graben verifizieren. Trotz der niedrigen Niederschlagsmengen und wenigen Starkregen im Winterhalbjahr der Gegend um Friedberg und Bad Nauheim überwiegen doch die Tschernosem-Parabraunerden. Der stärker beregnete und winterfeuchtere südliche Horloff-Graben weist trotzdem weniger stark degradierte Tschernoseme auf. Diese ungleiche Bodentypeneilung ist Ausdruck der erheblichen Reliefierung des Butzbacher Beckens (Abb. 14).

Auf ebenen Flächen muss gleichfalls mit Böden mit gehemmter Dränage gerechnet werden. Die Lößdeckschichten zwischen Butzbach und der Autobahn Gießen-Frankfurt werden stellenweise von

Basaltzersatz unterlagert. Über diesem tonigen Substrat staut sich das versickernde Wasser gelegentlich bis in das Solum zurück. Die zumindest zeitweise unterbundene Perkolation begünstigt das Verbleiben des gelösten Kalkes im Boden. Allerdings ist der Sickerwasserstau nur episodisch und daher nicht allzu profilzeichnend. Die für die Pseudovergleyung so typische Marmorierung kann auch leicht durch den dunkel färbenden Humus überdeckt werden. Am besten erkennt man im gut zeichnenden Löß diesen wichtigen pedogenen Prozess.

Am Nordabfall der Hohen Straße, südlich Bad Vilbels, werden nur noch sehr begrenzt humusanreicherte Böden angetroffen. Durchweg handelt es sich bei diesen Standorten um Areale, die zur Staunässe neigen, da tertiäre Mergel oder Tone nur von einem geringmächtigen Lößschleier verdeckt werden. Auf mächtigen Lössen werden dagegen vornehmlich Parabraunerden gefunden. Ihre unmittelbare Nachbarschaft zu den humoseren Böden lässt vermuten, dass sie gleichfalls aus Schwarzerden hervorgegangen sind.

Besonders nachhaltig macht sich in flachen Dellen die Pseudovergleyung bemerkbar. In ihnen dürfte der Wasserzug nicht nur in lateraler, sondern auch in Gefällsrichtung der Tiefenlinie erfolgen. Interessant ist die Delle nördlich des Buchenhorster Hofes (südlich Bad Vilbel). Im steilhängigen, aber sehr gefällsflachen Oberlauf konnte ein pseudovergleyter Parabraunerde-Tschernosem unter Kolluvium erbohrt werden (Abb. 13). Dellenabwärts ändert sich der Boden mit der Zunahme des Gefälles zur Parabraunerde. Es liegt hier also eine Degradationsabfolge in der Tiefenlinie einer Delle vor, die bislang nur von Hangcatenen beschrieben wurde. In Relieflagen oberhalb 230 m NN weisen die pseudovergleyten Böden durchweg keine Humusreste im Solum auf, es bleibt also unbewiesen, ob auch sie Tschernosemvorläufer in der Bodenentwicklung besaßen. Es wurde aber bereits erörtert, dass dies wenig wahrscheinlich ist, da das edaphische Milieu für eine Schwarzerdeentwicklung ungünstig war.

Die Einbeziehung der durch Pseudovergleyung gekennzeichneten Tschernoseme in die Behandlung der rein terrestrischen ist dadurch gerechtfertigt, dass sich ihre Entwicklung in die Klimasequenz einpasst. Sie repräsentieren die "extremste" Faktorenkonstellation der Tschernosemerhaltung in der Wetterau. Die Kalziumbikarbonatmetabolik ermöglicht die genetischen Beziehungen zwischen Tschernosemen und pseudovergleyten Feuchtschwarzerden herzustellen. In der südlichen Wetterau können sich humushaltige Böden nur noch an Standorten erhalten, die ein geringes Kalkdefizit aufgrund ihrer Pseudogleydynamik aufzeigen. Typische Reliefbereiche werden von diesen Böden eingenommen: sehr schwach geneigte Dellen, weite, ebene Flächen und sanft abfallende Hänge mit geringer Lößdecke (100 cm -150 cm) über abdichtendem Untergrund. Wo aber die für die Humusstabilisierung notwendigen Kalkmengen primär nicht vorhanden waren oder nicht erhalten werden konnten, entwickelten sich pseudovergleyte Parabraunerden und Pseudogleyte.

Die Abgrenzung der pseudovergleyten Tschernoseme von den Auenschwarzerden beruht darauf, dass diese sich auf Auelehm bildeten und ihre Bikarbonatmetabolik vom Grundwasser reguliert wird. Sein Einfluss ist aber weniger von den klimatischen Bedingungen abhängig. Dass Auenschwarzerden in der südlichen Wetterau praktisch fehlen, kann auch auf geomorphologische Prozesse zurückgeführt werden. So könnten die Auen von Nidda und Nidder noch in späteren Phasen des Holozäns von erosiven und akkumulativen Vorgängen überprägt worden und ehemalige schwarzerdeartige Bodenbildungen der Erosion oder der mächtigen Oberdeckung zum Opfer gefallen sein.

In den ackerbaulich intensiv genutzten Landschaften ist die Bodenerosion ein allgegenwärtiges Phänomen. Es soll an dieser Stelle weniger auf den Bodenabtrag als vielmehr auf die korrelierten Sedimente, die Kolluvien, eingegangen werden. Im Butzbacher Becken und in der südlichen Wetterau sind weite Bereiche von Kolluvium bedeckt, im Horloff-Graben tritt es dagegen in seiner Bedeutung weit zurück. In erster Linie sind die Unterhänge kolluvial verkleidet, aber auch auf ebenen Flächen sind z. B. Ackerberge weit verbreitet (BIBUS 1973 b). Westlich Grund-Schwalheims, im mittleren Horloff-Graben, konnte unter einem Ackerberg ein Boden erbohrt werden, der ungleich geringere Degradationsmerkmale aufwies als die unmittelbar benachbarten Böden (Abb. 16).

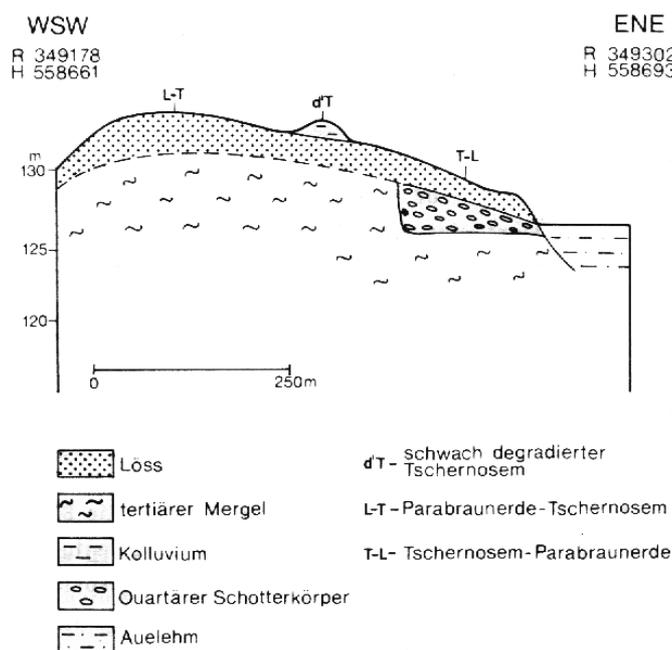


Abb. 16 Bodenabfolge westlich Grund-Schwalheim

Ist die Erosion an den Oberhängen stärker und die Böden bis zur Pararendzina abgetragen, so akkumuliert sich an den Unterhängen kalkhaltiges Kolluvium. Die offensichtliche Konser-vierung und Stabilisierung der Tschernoseme unter kolluvialer Bedeckung dürfte in direktem Zusammenhang mit ihrer Fossilierung stehen. Einerseits ist durch das bedeckende Sediment die Versickerungsrate verringert und damit die Entkalkung gehemmt, andererseits dürfte es auch zu einer Kalkverlagerung aus dem Kolluvium in den Boden kommen. Es läge also eine sekundäre Aufkalkung vor, die zu einer Einschränkung der Degradationsprozesse im bedeckten Solum führt. Zusätzlich wird bikarbonat-angereichertes Hangwasser aus den Oberhangrendzinen dem Unterhang zugeführt und dort der Auswaschungsverlust an Kalk zumindest teilweise kompensiert. Fazit ist, dass die Bodenerosion am Oberhang indirekt zur Stabilisierung und Erhaltung der reliktschen Tschernoseme am Unterhang beiträgt.

Von quartärgeologischer Seite sind in der Wetterau auch interglaziale Bodenbildungen beschrieben worden (BIBUS 1973 a und b; BOENIGK et al. 1977), die aber allesamt als Bt-oder sBt-Horizonte bezeichnet werden. Am Ortsausgang von Södel, in Richtung Steinfurth, war bei Straßenarbeiten ein Bt-Horizont aufgeschlossen, der Lößkonkretionen enthielt. Bodenuntersuchungen oberhalb dieses Aufschlusses ergaben, dass der holozäne Boden (Parabraunerde) und der Würmlöß erodiert waren und der lfbt-Horizont an der Oberfläche anstand. Dieser war von der holozänen Bodenbildung im ehemals überlagernden Würmlöß sekundär aufgekalkt worden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bislang aus der Wetterau keine Tschernoseme aus früheren Warmzeiten bekannt sind. Es wäre jedoch voreilig, daraus für die Bodenentwicklung z. B. des Eems zu folgern, dass keine Tschernoseme gebildet worden seien. Da heute die Degradation der Schwarzerden in Richtung Parabraunerde verläuft, wird unter der Voraussetzung, dass diese Tendenz anhält, auch der zentrale Bereich der Wetterau einst keine Hinweise mehr auf ehemalige Tschernoseme geben. Die fossilen Parabraunerden belegen lediglich, dass gegen Ende der früheren Warmzeiten die Parabraunerde den Klimaxboden darstellte, die klimatischen Verhältnisse also von den rezenten nicht allzu unterschiedlich gewesen sein können.

## 5.6 Überprüfung der Thesen anhand des Siedlungsverhaltens der neolithischen Bauern

### 5.6.1 Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen zur physisch-geographischen Umwelt der neolithischen Bauern

Seitdem eine auffallende Kongruenz von neolithischen Siedlungsanlagen und der für die Tschernosembildung so günstigen Lößverbreitung erkannt war, interessierte sich die Vor- und Frühgeschichte auch für die physisch-geographische Umwelt der ersten mitteleuropäischen Bauernkulturen. Beeinflusst von der die Steppen-Hypothese vertretenden Geographen forderten die Prähistoriker eine Steppenheide für den Siedlungsraum der Neolithiker (GRADMANN 1940). Wie in der Bodenkunde wurde damit auch eine Gegenhypothese herausgefordert, die davon ausging, dass die ältesten Bauernkulturen in Deutschland eine lückenlose Waldbedeckung vorfanden (NIETSCH 1940). In der Folgezeit wurde das Wissen um die Umweltbedingungen der Neolithiker von seiten der Geographie und Bodenkunde erheblich erweitert (SCHEFFER & MEYER 1958; ROHDENBURG et al. 1962; MOCKEN-HAUSEN 1966). Die frühesten Ackerbauer bevorzugten offensichtlich Tschernoseme, die mit großer Wahrscheinlichkeit von Wald bedeckt waren. Die Rodung und Kultivierung der Böden löste, wie umfangreiche Untersuchungen ergaben, erhebliche bodenerosive Prozesse aus.

In jüngster Zeit wurde von der Vorgeschichte erneut die Frage nach den Umweltbedingungen der ersten Bauerngesellschaften in Deutschland aufgegriffen, weil man dadurch Hinweise auf die Wirtschafts- und Sozialstruktur zu erschließen hoffte. Fünf Umweltfaktoren hebt SIELMANN (1972) besonders hervor: Höhenlage der Siedlungen, Böden, Gewässernetz, Klima und potentiell (natürliche) Vegetation. Aus bodengeographischer Sicht wird die aufwendige Arbeit durch die unzulässige Vereinfachung der Bodenverteilung in "Löß" bzw. "lößähnliche Substrate" und "Nicht-Löß" erheblich relativiert, denn es handelt sich bei dieser Gliederung um Gesteine, nicht aber um Böden. Die Informationen werden – bezogen auf die Wetterau – zudem noch kleinmaßstäblichen Karten entnommen, deren notwendige Generalisierung eine Interpretation im Sinne SIELMANNs nicht gestattet. Er sieht den Untersuchungsraum bezüglich seiner geologischen Ausstattung viel zu homogen. Wie schnell sich Scheinkorrelationen bei fachkundiger Interpretation geowissenschaftlicher Spezialkarten einstellen können, sei an einem Beispiel erläutert:

Laut SIELMANN wurden die neolithischen Siedlungen am Rande der Lößareale angelegt, was er damit begründet, dass man auch andere Bodensubstrate bevorzugte. Ein Teil der Siedlungen befindet sich zwar im Lößgebiet, dies entspreche aber nicht der Regel. Bezüglich des Gewässernetzes kann SIELMANN feststellen, dass alle Siedlungen in der Nähe eines Fließgewässers sich befinden. Geoökologisch besteht aber zwischen den Verhaltensweisen ein unmittelbarer Zusammenhang. Die geregelte Wasserversorgung ist auch heute noch für eine Siedlungsanlage eine unabdingbare Voraussetzung, daher also die Besiedlung von Bach- und Flussläufen, die wahrscheinlich auch als Verkehrswege genutzt wurden. Da aber in Mitteleuropa Täler durchweg mit Auelehmen gefüllt sind, muss sich zwangsläufig sogenannter "Nicht-Löß" im näheren Siedlungsumfeld befinden. Wollten die Neolithiker in die Nähe von Fließgewässern, so mussten sie auch an den "Rand" von Lößarealen. Auch die Siedlungen, die scheinbar nicht nach dem oben erläuterten Schema angelegt sind, liegen in der Nähe von Flüssen und Bächen. Je nach Maßstab der geologischen Karte und Größe der Aue wird der Auelehm verzeichnet oder fällt der Generalisierung zum Opfer. Wenn er aber kartographisch erfasst wird, muss er meist aufgrund seiner geringen Verbreitung überzeichnet werden, d. h. es wird eine Fläche an "Nicht-Löß" angezeigt, die nicht mit der Realität übereinstimmt. Bei einer großmaßstäblichen Kartierung, oder einer besseren Einsicht in geoökologische Zusammenhänge wäre die tatsächliche Bedeutung der Ergebnisse richtig eingeschätzt worden.

Zu den wesentlichsten Feststellungen SIELMANNs gehört der Nachweis, dass der neolithische Bauer die heute trockensten und wärmsten Landschaftsgebiete bevorzugte. Sie decken sich natürlich mit den Verbreitungsgebieten des Lösses, dessen Ausblasungs- und Sedimentationsraum auch schon im Pleistozän zu den trockensten Regionen zählte. Überraschend scheint in diesem Zusammenhang das Siedlungsverhalten der Neolithiker im Wormsgau, wo trotz optimaler Klimaverhältnisse und weiter Lößverbreitung bislang kaum Siedlungen entdeckt werden konnten. SIELMANN deutet dies mit dem

Fehlen von für die Waldweide widerstandsfähigen Feuchtbiotopen. Dies kann aber kaum der Grund sein, da es im Wormsgau sehr wohl Bäche gibt, an denen Feuchtbiootope existiert haben können. Wahrscheinlich spielen andere, bislang nicht berücksichtigte Faktoren die entscheidende Rolle. So könnten sich die Form der Täler und die Bodenbildungen in ihren Sedimenten (Smonica) als unattraktiv für die Neolithiker ausgewirkt haben.

Die für die vorliegende Arbeit interessanteste Analyse bezieht sich auf die Reliefposition der Siedlungsanlagen. Die Standortwahl fiel überwiegend auf die Oberhänge von Riedeln, wo laut SIELMANN (1972:101) auch mit der größten Bodentrockenheit zu rechnen ist.

Um eine großmaßstäbliche Erfassung des ökologischen Milieus der neolithischen Siedler bemühte sich LINKE (1976, 1977) in der Hellwegbörde und in Nordhessen. Er untersuchte die Siedlungsumfelder auf ihre Nähe zu Wasservorkommen, Lage im Relief und auf ihre Böden. Um diese zu bewerten, griff er auf die Reichsbodenschätzung zurück. Aus der großen Zahl der Ergebnisse sei an dieser Stelle auf zwei besonders eingegangen.

Offensichtlich suchten die ersten Bauern bei ihrer Standortwahl die Nähe eines fließenden Gewässers (siehe auch SIELMANN 1972), es wurden jedoch kleinere Fluß- und Bachläufe eher aufgesucht als größere. Diese Feststellung ist für die Wetterau im wesentlichen zu bestätigen, wo aber die Siedlungen auch an Nidda, Nidder, Usa und Wetter liegen. Lediglich die Horloff scheint zu Beginn der Bandkeramik nicht besiedelt worden zu sein.

Nach der Interpretation LINKES favorisierte die frühe Bandkeramik Siedlungsareale, die reliefiert waren und nicht die nach der Reichsbodenschätzung optimalen Böden einnahmen. Erst in den darauffolgenden Epochen wurde die Siedlungsanlage auf Flächen mit einer Hangneigung unter 4° typisch, während steilere Hänge weitgehend gemieden wurden. LINKE folgert daraus, dass die frühesten Bauernkulturen nicht die für sie besten Standorte in Kultur nahmen, sondern diese erst wesentlich später besiedelten. Diese Aussage begründet sich letztlich auf die Inwertsetzungskriterien, die LINKE für die Neolithiker als bedeutsam herausstellt: Lage im Lößgebiet, Ebenheit des Geländes und hohe Fruchtbarkeit der Böden.

Besonders schwierig scheint es, den Wert eines Bodens für den neolithischen Siedler zu fassen. LINKE behilft sich, indem er die Bewertung der Reichsbodenschätzung seiner Analyse zugrunde legt. Hierin liegt der Hauptmangel der Untersuchung, da sich herausstellt, dass der neolithische Bauer anfangs offensichtlich Böden bevorzugte, die nach heutigen Kriterien keineswegs die beste Einstufung erfahren. Folglich muss LINKE den Siedlern die Fähigkeit absprechen, den für sie optimalen Standort und Lebensraum zu finden. Aber gerade dies sollte man einer Gesellschaft, die so eng an die physisch-geographische Ausstattung ihrer Umwelt gebunden war, doch zutrauen. Zwei entscheidende Faktoren sind m. E. nicht ausreichend berücksichtigt worden: Landschaftsbewertung durch die Neolithiker heranzuziehen. Diese Schätzung entbehrt nicht einer gewissen Subjektivität, die aus den Anbautechniken und -methoden der 30er Jahre erwachsen ist. Schwere, also tonreiche Böden, wurden damals hoch eingestuft, besser bewertet als man es heute, nur 40 -50 Jahre später, vornehmen würde (WITTMANN 1979).

Gewichtiger ist aber das Manko in der Arbeit LINKES, daß durch die Anwendung der Reichsbodenschätzung keine Rücksicht auf das paläogeographische Bodenmosaik genommen werden kann. Aus einem leicht zu bearbeitenden, fruchtbaren Tschernosem des Atlantikums kann aufgrund der Degradation unter Umständen eine schwach pseudovergleyte Parabraunerde entstanden sein, die für die Neolithiker sicherlich schwerer zu bearbeiten wäre. Noch deutlicher wird dies bei den tonigen Pseudogley-Tschernosemen, die nach der Reichsbodenschätzung gut wegkommen, aber selbst heute dem Landwirt Schwierigkeiten bereiten können. Um dieses Problem besser in den Griff zu bekommen, darf nicht auf die Bodengenese seit dem Atlantikum verzichtet werden, es muss also versucht werden, die ehemalige Bodentypenverteilung wenigstens annähernd zu rekonstruieren (KOSSAK 1978).

Dies nimmt LINKE (1977) in einer späteren Arbeit auch vor, projiziert aber m. E. unzulässigerweise die Grenzen der heutigen Bodentypen ins Atlantikum und interpretiert sie als Grenzen verschiedener Vegetationsgesellschaften. Auf den heutigen Tschernosem-arealen hätten die Neolithiker Waldsteppe, auf den rezenten Parabraunerden dichten Waldbestand vorgefunden. Es wird also eine jedem Standort gleichmäßig erfassende Degradation vorausgesetzt. Aus den Karten im Aufsatz LINKEs (1977) läßt sich unschwer herauslesen, dass die Schwarzerden überwiegend auf den Unterhängen verbreitet sind, Standorte, die doch als feuchter als Überhänge einzustufen sind. Gerade hier darf man aber am ehesten mit dichteren Baumbeständen rechnen.

Dass die Bodenfeuchtigkeit sich signifikant auf die Siedlungsfrequenz der ersten Bauern auswirkte, belegt eine Untersuchung von BURRICHTER (1976), in der er eine weitgehende Obereinstimmung des heutigen trockenen Buchen-Eichenwaldes (*Fago-Quercetum typicum*) mit den neolithischen Siedlungsanlagen hervorhebt. Gemieden wird dagegen die wechsellagernde Unterengesellschaft (*Fago-Quercetum molinietosum*). BURRICHTER folgert, dass die frühen Bauernkulturen noch wenig entwickelte Arbeitstechniken besaßen und daher trockene, leicht zu bearbeitende, aber fruchtbare Standorte aufgesucht haben. Diese Böden müssen aber nicht unbedingt auch von der Reichsbodenschätzung in gleichem Maße bewertet worden sein, zumal sie zum Schon SCHWARZ stellte 1949 für die Schwarzerdegebiete in Thüringen und der Magdeburger Börde eine Nicht-Obereinstimmung von Siedlungshäufung und Tschernosem-arealen fest. Besiedelt wurden die Flussuferhänge, die heute überwiegend degradierte Tschernoseme tragen, die aber stärker verändert sind als die Böden der benachbarten flachen Gebiete und vor allem der Unterhänge. Auch die Gebiete, die heute im Übergangsbereich von Tschernosem-arealen und Parabraunerdeflächen liegen, waren für die Besiedlung unattraktiv. Nur wenn unruhigeres Relief die Landschaft kennzeichnet, drangen die Siedler auch in die auf kleinmaßstäblichen Karten homogenen Tschernosemgebiete vor. SCHWARZ deutet an (1949:9), dass an diesen Standorten bei einer großmaßstäblichen Kartierung Hang- und degradierte Steppenböden vorzufinden wären. Hier wurden also auch nicht die "besten" Böden besiedelt. Mikroklimatisch unterschiedliche Bedingungen vermutet SCHWARZ als Grund für die Verteilung der Tschernoseme auf den weiten, kaum gegliederten Ebenen und der degradierten Schwarzerden im stärker reliefierten landschaftsbereich. Die Parallelen zur Wetterau sind offenkundig.

Unterschiedliche Waldbestände, eine Annahme, die später von LINKE (1977) wieder aufgegriffen wird, sind nach SCHWARZ für die Siedlungsdominanz auf den degradierten Böden verantwortlich. Er geht davon aus, dass der Wald für die Bauern des Neolithikums eine existenzielle Bedeutung hatte, reine Steppenareale, heute durch die Tschernoseme repräsentiert, folglich ungünstig waren. Er verweist aber auch darauf, dass die Pollenanalyse bislang keine Belege für eine offene Graslandschaft auf den Tschernosemen für das Atlantikum liefert. Dies hat sich im Prinzip bis heute nicht geändert.

Das besondere Verdienst von SCHWARZ besteht darin, schon früh darauf hingewiesen zu haben, dass die neolithischen Siedlungen nicht auf den heutigen Tschernosem-arealen liegen, sondern in Bereichen angelegt wurden, die stärker reliefiert waren und heute überwiegend degradierte Böden aufzeigen als benachbarte nichtbesiedelte Gebiete. SCHWARZ interpretiert freilich entsprechend dem damaligen Forschungsstand in der Bodenkunde, Geographie und Vor- und Frühgeschichte, als man noch von steppenähnlichen Vegetationsverhältnissen bezüglich der Tschernosemgenese ausging. In einem stärkeren Maße als in den nachfolgenden, oben zitierten Arbeiten wird die Bodenverteilung berücksichtigt und in die Diskussion einbezogen.

#### 5.6.2 Das Siedlungsverhalten der neolithischen Bauern in der Wetterau

Auch die Wetterau ist als Siedlungskammer der neolithischen Kulturen bekannt und eröffnet daher aufgrund ihrer landschaftlichen Vielfältigkeit die Möglichkeit, die Umweltbedingungen der damaligen Menschen gut zu rekonstruieren. Gleichermaßen kann das Siedlungsverhalten der neolithischen Bauern dazu beitragen, Einblicke in die Landschaft des Atlantikums zu bekommen. Für die Boden-

geographie bedeutet dies, daß sie einen vermuteten Ist-Zustand des frühen und mittleren Holozäns zumindest annäherungsweise verifizieren kann.

Die dichte Besiedlung der Wetterau im Neolithikum wird von MAIER-ARENDT (1966) besonders hervorgehoben. Nicht in dieses allgemeine Bild passt die Fundleere im Bereich des Horstes der Hohen Straße, des Bellersheimer Horstes und der Kaicher Höhe. MAIER-ARENDT führt diese Verteilung auf unterschiedliche Grundwasserverhältnisse im Vergleich z. B. des Butzbacher Beckens zurück, ohne jedoch genauer auszuführen, was darunter zu verstehen ist. Wenige Siedlungsspuren sind auch aus den Auen bekannt, was aber zu recht nicht vordergründig auf eine Siedlungsungunst dieser Standorte zurückgeführt werden kann. Möglicherweise wurden die Belege von jüngeren Auelehmen bedeckt, oder vom Fluss gar zerstört. Da aber von den späteren neolithischen Phasen sehr zahlreiche Siedlungsreste auch aus den Auen bekannt sind, kann man sicherlich davon ausgehen, dass die frühesten Siedlungen die Auenbereiche mieden.

Die Aufreihung der neolithischen Siedlungen an den Flüssen und Bächen bestätigt sich auch in der Wetterau. Auffallend bleibt aber, dass bestimmte Flussabschnitte offenbar nicht in den Siedlungsraum einbezogen waren. So wurden bislang an der Nidda zwischen Bruchenbrücken und Bad Vilbel nur drei Hinweise, an der Horloff sogar nur ein Beleg für eine mögliche Siedlung gefunden. Beide Flussabschnitte zeichnen sich heute durch sehr breite, versumpfte Auen aus, was für die Wasserversorgung und Verkehrsführung der damaligen Zeit gewiss sehr unvorteilhaft gewesen sein muss. Die für das Atlantikum zu vermutenden reichen Waldbestände in diesen Auen können wohl nicht so attraktiv gewesen sein, andere Ansprüche an das Siedlungsumfeld müssen Priorität gehabt haben.

Beim Vergleich der vorliegenden Bodenkartierungen aus der Wetterau zeigt sich, dass die heutigen Tschernosemareale ungleich weniger dicht besiedelt waren als die Gebiete mit stark degradierten Tschernosemen und Parabraunerden. Diese Feststellung trifft vor allen Dingen für den Horloff-Graben zu, lässt sich aber auch für die ebenen Bereiche um Butzbach und Hochweisel belegen. Mit unterschiedlich dichten Baumbeständen lässt sich dies nicht erklären, denn die feuchten Unterhänge als begünstigte Waldstandorte sind von Tschernosemen bedeckt, während die trockeneren überhänge stärker degradierte Böden aufweisen. Vielmehr bezeugen die Siedlungsanlagen die Bevorzugung gut dräniertes Hänge. Nicht die relativ bodenfeuchten Ebenen und Unterhänge wurden aufgesucht, sondern der trockenste Reliefbereich. Es handelt sich bei den ältesten Phasen der Besiedlung immer um Wohnanlagen an Hängen, deren lateraler Wasserzug eine schnelle Austrocknung des Bodens begünstigt, oder an Standorten mit geringmächtiger Lößbedeckung über wasserwegsamem Gesteinen (Basalt, tertiäre Kiese, quartäre Kiese). Generell werden im nahen Siedlungsumfeld selten staunasse Böden angetroffen. Dass Grundwasserböden fast immer vorkommen, ist selbstverständlich, weil auch der neolithische Mensch an gut und bequem zu erreichendem, fließendem, also auch sauberem Wasser interessiert war. Dort gibt es aber zwangsläufig Böden, deren Genese grundwasserbeeinflusst ist. So erklärt sich auch die Fundleere in bestimmten Bereichen des Butzbacher Beckens und im Horloff-Graben, wo gerade auf den weiten, ebenen Tschernosemflächen nur wenige Siedlungsreste angetroffen worden sind. Das häufige Auftreten von pseudovergleyten Böden und die große Entfernung von den Fließgewässern dürften die Hauptgründe für die Siedlungsleere des Bellersheimer Horstes, der Kaicher Höhe und des Horstes der Hohen Straße sein.

Die heutige Tschernosemverteilung steht also eher im Gegensatz zur neolithischen Besiedlung der ersten Phasen, was die Ansicht LINKEs bestätigen könnte, wenn man die Präferenz der heute optimalsten Böden für diese Bauernkulturen impliziert. Die Lage der Siedlungen am Ostabfall des Bellersheimer Horstes und am Südhang des Ossenheimer Wäldchens bei Friedberg, wie auch nahe der Wetter im Butzbacher Becken deuten an, dass nicht generell der Tschernosem gemieden wurde, sondern lediglich die bodenfeuchteren Standorte. Erst recht waren die Auenschwarzerden aufgrund ihres hochstehenden Grundwasserspiegels kein günstiger Baugrund und als landwirtschaftliche Anbaufläche ebenfalls kaum nutzbar. Die eingeschränkte Nutzung dieser potentiell sehr wertvollen Böden ist auch heute noch in den Auen nur mit umfangreichen Regulierungs- und Entwässerungsmaßnahmen zu erweitern.

Die ungünstigeren Bearbeitungsmöglichkeiten der bodenfeuchteren Standorte und die aus Kleinasien und dem Balkan stammende Ausrichtung des Ackerbaus auf trockene Böden ließ den jungsteinzeitlichen Menschen Tschernoseme suchen, die gut dräniert waren. Heute sind aber diese Böden aufgrund ihrer negativen Kalkbilanz längst degradiert, sodass der Eindruck entsteht, der Neolithiker hätte nicht die besten Bodenstandorte von Anfang an eingenommen. Der für ihn optimale Lebensraum muss aufgrund pedogenetischer Veränderungen in der Landschaft und technischer Weiterentwicklung der Gesellschaft rezent nicht in gleichem Maße bewertet werden.

Dass die Degradation der Böden im Atlantikum noch nicht so weit fortgeschritten war, belegen die vom Verfasser gefundenen Grubenfüllungen nordöstlich von Wölfersheim und südlich von Friedberg (Abb. 17). In beiden Aufschlüssen war das verfüllte Material weitaus humoser als die benachbarten Böden. Für pedogene Prozesse im Kolluvium sprechen die oberflächenparallel verlaufenden Horizontierungen und die Ausbildung des Cc-Horizontes, der nur teilweise die Untergrenze der Gruben nachzeichnet. Das kolluviale Substrat hat eine Pedogenese in Richtung der Parabraunerde erfahren, zeigt aber noch nicht den Degradationsgrad auf, wie die benachbarten, aus Löß entstandenen, ungestörten Bodenprofile. Die verminderte Degradation ist einerseits auf den Humusgehalt des Kolluviums zurückzuführen, der sicherlich gegenüber dem ungestörten Boden etwas höher lag, andererseits aber auch auf die "Auffrischung" des Kalkvorrats durch eine Beimischung des anstehenden Lösses.

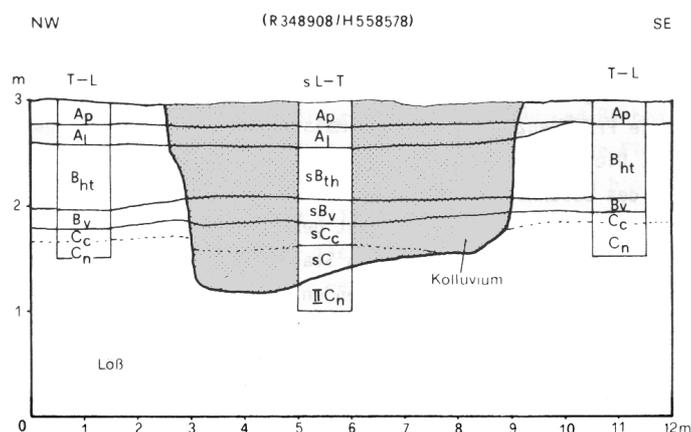


Abb. 17 Aufschluss in den Siedlungsgruben nördlich Wölfersheim

Für die Rekonstruktion der paläogeographischen Bodenverteilung im Atlantikum belegen diese Profile einen geringeren Degradationsgrad und damit eine weitere Verbreitung der Tschernoseme als heute. Da sich im Solum der Profile keine Lößkindel auffinden ließen, diese nur im Cc-Horizont angereichert sind, ist naheliegend zu folgern, dass zur Zeit der Grubenverfüllung das Bodenmaterial noch weitgehend kalkkonkretionsfrei war. Es lässt sich hier sicher einwenden, dass ältere Kalkkonkretionen bei der nachfolgenden Bodenbildung wieder gelöst worden seien, doch sei darauf verwiesen, dass die Tondurchschlämmung und Entkalkung nicht immer das gesamte Kolluvium erfasst hat und tiefere Grubenbereiche unterhalb des Cc-Horizontes noch nicht pedogen durchdrungen worden sind. Auch in diesem Horizontbereich finden sich noch keine Lößkindel.

Geht man davon aus, dass sich die heute zu Vernässungen neigenden Standorte (Verebnungen, Unterhänge, Flächen mit abdichtendem Untergrund) auch schon zur Zeit der ersten Bauernkulturen in ähnlicher Weise auswirkten, so ist unschwer zu interpretieren, warum auf den heute tschernosemenäheren Böden keine so dichte Besiedlung stattfand. Es zeigt sich, dass gerade die dränierten Standorte den höchsten Degradationsgrad aufweisen, sodass das heutige Bodenmosaik auch in seiner Verteilung nicht mit dem des Atlantikums übereinstimmt. Es ist also für die Vor- und Frühgeschichte aussagekräftiger, nicht Tschernosemeverbreitung und Siedlungsverteilung der Neolithiker zu vergleichen, sondern den vom Relief abhängigen Bodenwasserhaushalt und den oberflächen-

nahen Untergrund mit seiner pedogenen Oberprägung als nicht-statischen Faktor in die Untersuchungen einzubeziehen. So wird auch die Fundleere des Horloff-Grabens besser verständlich, der zwar heute eine weite Verbreitung an Tschernosemen aufweist, die sich aber aus der reliefbedingt geringen Entkalkung erklären. Gleiches gilt auch für die Tschernosemareale zwischen Butzbach und Hochweisel, wo häufig toniger Basaltzersatz den tieferen Untergrund bildet.

Ein weiterer Mangel dieser Landschaftsbereiche für den Neolithiker ist der schlechte Zugang zum Wasser. Im Butzbacher Becken ist die Entfernung zu groß, im Horloff-Graben wirkt sich die Versumpfung der Flussniederung zusätzlich aus.

Aus den Ausführungen ergibt sich, dass die Rodungstätigkeit der Neolithiker allein nicht als Stabilisierungsfaktor der Tschernoseme in Betracht kommt. Es liegt ein Großteil der ältesten Siedlungen außerhalb der eigentlichen Tschernosemareale und nur ein Teil an ihrem Rande. Es könnte natürlich angenommen werden, dass die Degradation zur Zeit der neolithischen Inkulturnahme bereits bis zum heutigen Stadium abgeschlossen war und die Kultursteppe den damaligen Zustand lediglich konserviert habe. Doch dem widerspricht die weitgehende Nichtbesiedlung des Horloff-Grabens. Hier wären folglich trotz der länger andauernden Waldbedeckung die Tschernoseme in gleichem Maße nur degradiert worden wie im früher waldfreien Butzbacher Becken.

Die Vegetation als bodenbildender Faktor ist im Vergleich mit den übrigen Faktoren offensichtlich von keinem so überragendem Einfluß auf die Tschernosemdegradation bzw. -erhaltung gewesen.

## 6 Zusammenfassung. Zur Deutung der bodengeographischen Grenzen in der Tschernosem-Parabraunerde-Landschaft in der Wetterau.

Aufgrund des Vorkommens reliktsicher Böden (Tschernosem) in Nachbarschaft des rezenten Klimaxbodens (Parabraunerde) bietet sich mit der Untersuchung ihres Verteilungsprinzipes ein vorzüglicher Parameter der Landschaftsforschung an. Durch die Entwicklungsreihe Tschernosem-Parabraunerde scheint die Erfassung des unterschiedlichen Einflusses der bodenbildenden Faktoren gewährleistet zu sein. Die Ursachen der heutigen bodengeographischen Grenzen sind Produkte eines historischen Prozessgeschehens, das in Bodengesellschaften mit reliktsichen Böden, die paläogeographische Merkmale tradieren, sehr gut rekonstruiert werden kann.

So gliedert sich die Wetterau in einen nördlichen Bereich, der das Butzbacher Becken und den Horloff-Graben als Tschernosemareale umfasst. Die junge geologische Absenkung im Horloff-Graben und seine geringe erosive Zerschneidung schufen eine sehr flachwellige Landschaft. Trotz höherer Niederschläge als im Butzbacher Becken begünstigt die schwache Relieferung die Tschernosemerhaltung. Entsprechende Böden finden sich auch im Butzbacher Becken, vor allem auf den Verebnungen um Butzbach und Nieder-Weisel. An den Rändern dieser Landschaftseinheit haben sich die Wetter und Usa teilweise scharf eingeschnitten. Mit der z. T. erheblichen Relieferung decken sich die Gebiete zunehmender Degradation der Tschernoseme.

In der südlich anschließenden Friedberger Wetterau setzt sich dieses Erscheinungsbild fort. Modifiziert wird es von dem allmählichen Anstieg der Niederschlagssummen. Die Böden weisen immer weniger Tschernosemmerkmale auf und leiten zu den Parabraunerden über. Nur auf den zur Staunässe neigenden Standorten werden noch tschernosemähnliche Böden beobachtet, die aber dann durchweg pseudovergleyt sind. Besonders krass ist diese Bodenverteilung im Bereich des Horstes der Hohen Straße anzutreffen, wo ansonsten nur noch Parabraunerden vorkommen. Das östliche Pendant der Friedberger Wetterau, die Heldenbergener Wetterau, weist keine Böden auf, die auf eventuelle Tschernosemvorläufer schließen lassen. Höchstwahrscheinlich wurden Schwarzerden nicht, oder allenfalls nur initial ausgebildet. Dieser Bereich der Wetterau liegt auch im Durchschnitt höher als seine Nachbarareale. Die pleistozäne Lößakkumulation ist ungleich geringmächtiger, die äolischen Sedimente sind überwiegend umgelagert.

Begünstigt wird dieser Prozess durch die starke Zerschneidung, die vergleichsweise steile Hänge formte. Untypisch für die Wetterau ist die forstwirtschaftliche Nutzung, die vor allem auf den Pseudogleyen erfolgt. Insofern liegen hier Parallelen zum Bellersheimer Horst vor, wo auch aufgrund seiner geologischen Vorform nicht die gleichen pleistozänen Prozessbedingungen vorhanden waren wie z. B. im Butzbacher Becken. Die holozäne Bodenbildung reagierte auf diese nicht immer sehr augenscheinlichen Unterschiede sehr empfindlich.

Der Erhaltungs- bzw. Degradationsmechanismus in der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe ist im wesentlichen von drei Faktoren abhängig: Niederschlag, bodenbildendes Ausgangssubstrat und Reliefposition.

Entsprechend der Zunahme der Jahresniederschläge und besonders der Winterniederschläge von der Gegend um Münzenberg nach Norden (Lich) und Süden (Bad Vilbel) sind die Tschernoseme in Richtung Parabraunerde degradiert. Ausschlaggebend für die Erhaltung und Stabilisierung der reliktsichen Böden ist die Kalziumbikarbonatmetabolik, die unmittelbar von der Menge des versickernden Bodenwassers abhängig ist. Als brauchbarer Parameter der Quantifizierung erwies sich die Anzahl der Tage mit Starkregen (mehr als 10 mm). Mit zunehmender Karbonatauswaschung setzt der Degradationsprozeß ein, Humusabbau, Entkalkung, Verbraunung und Tondurchschlammung sind die Folgen. Der Tschernosem degradiert zur Parabraunerde, d. h. er erfährt eine Horizontdifferenzierung und Mächtigkeitzunahme des Sol ums. Die Beziehungen zwischen Niederschlag und Bodenprofilentwicklung sind in der Abbildung 18 zum Ausdruck gebracht

Die terrestrischen Tschernoseme konnten in der Wetterau nur auf Löß beobachtet werden. Stellen andere Substrate das Ausgangsmaterial der Bodenbildung dar, oder wurde der Löß pleistozän umgelagert und dabei teilweise entkalkt, so entwickelten sich Böden, die keine Tschernosemphase in ihrer Genese erkennen lassen. Die Sedimentunterschiede sind direkt oder indirekt von den Reliefverhältnissen abhängig. Dies trifft in erster Linie für die Gley-Schwarzerden zu, die in den Auelehmen vor allem der Horloff entstanden. Sie sind aber im Gegensatz zu den Tschernosemen entscheidend durch das Grundwasser beeinflusst, das den Karbonatspiegel in diesen Böden reguliert. Weniger in Erscheinung treten diese Feuchtschwarzerden im steil- und engufrigen Wetter- und Usatal. Rezent werden die Böden durch die Flussregulierungen erheblich in ihrer Stabilität gestört. Die Degradation ist eingeleitet, da durch die Grundwasserabsenkung die notwendige Aufklärung nicht mehr gewährleistet ist.

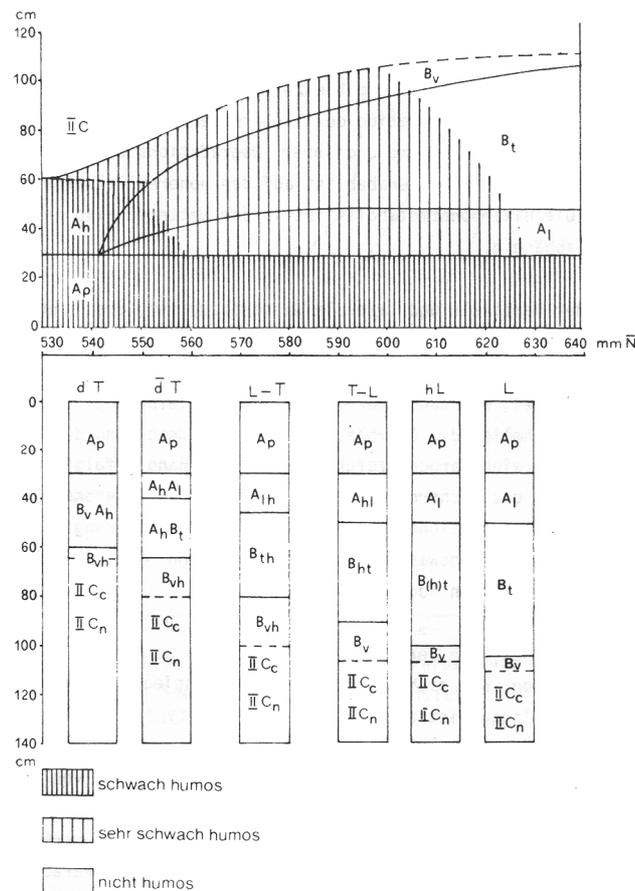


Abb. 18 Bodenprofilentwicklung, Horizontmächtigkeiten und Humusgehalt der Böden der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe in Bezug auf den Niederschlag und Reliefposition

Der entscheidende Faktor der Tschernosemerhaltung in der Wetterau stellt aber das Relief dar. Erhöhte Perkolation und hangparallele Wasserbewegungen verursachen einen Stofftransport in den Böden, der in erster Linie den für die Tschernosemerhaltung bedeutsamen Kalziumkarbonatgehalt betrifft. Da überhänge gewöhnlich über eine gute Drainage verfügen, weisen sie gegenüber den mangelhaft dränierten und vom Hangzugwasser gekennzeichneten Unterhängen und staunassen Standorten eine stärkere Degradation der Tschernoseme auf. Das differenzierte Verteilungsmuster der Tschernoseme und ihrer Degradationsformen im Butzbacher Becken im Vergleich zum Horloff-Graben ist auf den höheren Reliefierungsgrad zurückzuführen. Die Bikarbonatmetabolik ist in der Wetterau also in besonderem Maße vom Relief abhängig.

Je erheblicher der vertikale und laterale Wasserabzug ist, desto höher ist das Kalkdefizit, desto stärker und schneller ist die Degradation. Es können also auch im klimatisch begünstigten Zentrum

der Wetterau Degradationsformen des Tschernosems auftreten, die dann aber fast immer reliefbedingt sind. Diese Böden bedecken vornehmlich die überhänge, während im Unterhang durch Einstau des Hangzuzugwassers eine Karbonatzufuhr aus dem überhang erfolgt. Aus diesem Grunde vermögen sich die Tschernoseme zu erhalten. Stabilisierend wirkt sich gerade in diesen Reliefpositionen auch die kolluviale Bedeckung aus, die die Perkolation des Niederschlagswassers hemmt und aufgrund ihres eigenen Karbonatgehaltes den fossilisierten Boden sekundär aufkalkt.

Die besonderen Modifikationen der Bodenverteilung wird in Abb. 19 dargestellt. Je nach Reliefposition, die sich in der Dränage widerspiegelt, können in einem bestimmten Niederschlagsgebiet unterschiedliche Bodentypen auftreten. So ist bei 580 mm Niederschlag der Parabraunerde-Tschernosem typisch, doch reicht die "Bandbreite" der Böden im hängigen, gut dränierten Gelände von der Tschernosem-Parabraunerde (T-L) bis zum stark degradierten Tschernosem (aT) an staunassen Standorten, in dem allerdings schon deutliche Pseudogleymerkmale zu erkennen sind. Anders interpretiert zeigt das Diagramm, dass der Parabraunerde-Tschernosem bei guter Dränage (überhang) schon bei 535 mm Niederschlag vorkommt, aber bei stark eingeschränkter Kalkabfuhr selbst bei ca. 600 mm Niederschlag zu finden ist. Jenseits dieser Marke konnte der angesprochene Boden nicht mehr beobachtet werden.

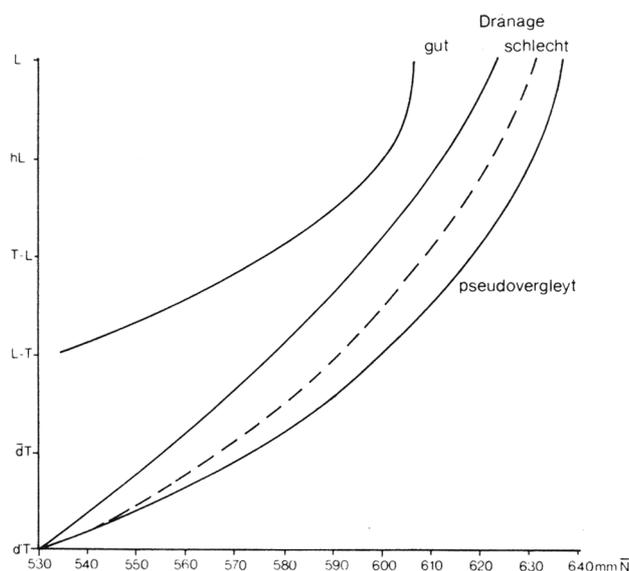


Abb. 19 Bodentypenverteilung der Tschernosem-Parabraunerde-Reihe in Bezug auf Niederschlag und Reliefposition gute Dränage: überhänge, sandiger Löß, gut wasserwegsamere Untergrund schlechte Dränage: Unterhänge, Verebnungen, schlecht wasserwegsamere Untergrund

Für die heutigen bodengeographischen Grenzen scheint die Vegetation zur Zeit der Bodenbildung von untergeordneter Bedeutung zu sein. Angesichts des entscheidenden Aspekts der Kalkbilanz im Solum und einer hohen Humusnachlieferung muss für die Tschernosemgenese nicht unbedingt eine Steppe vorausgesetzt werden, die Schwarzerdebildung kann auch unter lichten, krautreichen Wäldern einsetzen. Mit Zunahme der Niederschläge im Atlantikum wird es zu einer Verdichtung des Waldes gekommen sein und zu einer Verarmung der Krautschicht. Dieser Prozessschritt in der Wetterau von den Rändern zum heute noch trockeneren Zentrum vor. Dadurch dürfte die Humusnachlieferung verschlechtert, aber noch keine erhebliche Degradation begonnen haben. Diese kann zwar vom Waldbestand begünstigt werden, sie hängt aber letztlich mit dem Entkalkungsprozess zusammen, der jedoch von anderen Faktoren stärker beeinflusst wird.

Es kann nicht verkannt werden, dass in der zweiten Hälfte des Atlantikums bereits ökologische Unterschiede in der Wetterau vorhanden gewesen sein müssen. Die südliche Wetterau wird erst in späteren Phasen der neolithischen Besiedlung kultiviert, diese Standorte müssen also als weniger optimal eingestuft worden sein. Da sich die Verbreitung der Tschernoseme und ihrer Degradationsformen grob mit den heutigen Klimaverhältnissen deckt und diese mit denen des Atlantikums bezüglich ihrer Merkmalsverteilung wahrscheinlich übereinstimmen, kann davon ausgegangen werden, dass der frühneolithische Mensch bei der Besiedlung die bodengeographischen Unterschiede in der Wetterau berücksichtigt hat. Dabei bevorzugte er offensichtlich bodentrockene Standorte, die heute einen höheren Degradationsgrad aufweisen. Oberflächlich betrachtet mag daher der Eindruck entstehen, dass "schlechtere" Böden genutzt wurden.

Die Bodengeographie ist ein guter Indikator der physisch-geographischen Landschaftsgliederung und ihrer Erforschung. Ihr Untersuchungsgegenstand ist sowohl Merkmal als auch Ergebnis landschaftsgestaltender Faktoren.

## 7 Literaturverzeichnis

- AHNERT, F. (1978): Gegenwärtige Forschungstendenzen der Physischen Geographie. Die Erde, **109**: 49 -80, 3 Fig.; Berlin
- ALTEMOLLER, H.-J. (1957): Bodentypen aus Löß im Raume Braunschweig und ihre Veränderungen unter dem Einfluß des Ackerbaues.-Diss. Bonn
- ALTMANNBERGER, K.P. (1969): Eigenschaften und Genese von Tschernosemen in der nördlichen Wetterau. - Diss.: 119 S., 24 Abb., 9 Tab.; Gießen
- (1971): Identifizierung von Tschernosemen in der nördlichen Wetterau. - Z. Pflanzenernähr., Düngung, Bodenkde., **129**: 19 -29, 2 Abb.; Weinheim
- ANDERLE, H.-J. (1970): Outlines of the Structural Development at the Northern End of the Upper Rhine Graben. -Graben Problems, Intern. Upper Mantle Proj., Scient. Rep., No **27**: 97 -102, 1 Abb.; Stuttgart
- ANIOL, R. (1954): Ober starke Niederschläge im Gebiet Taunus -Odenwald. -Ber. Dt. Wetterdienst, **11**: 16 S., 19 Abb.; Bad Kissingen
- BAILLY, F. (1968): Gefügekundliche Auswertung der Wasserleitfähigkeit bei verschiedenen Bodentypen aus Löß. - Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **8**: 11 -19,5 Abb.; Göttingen
- (1972): Zum Problem der Schwarzerdebildung in Norddeutschland. - Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **15**: 3 -10, 4 Abb.; Göttingen
- (1973): Zur Vergesellschaftung der Böden aus Löß in der nördlichen Calenburger Börde. - Geol. Jb., Reihe F, **1**: 135 S., 38 Abb., 10 Tab., 9 Taf.; Hannover
- BARGON, E. (1979): Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25000, Bl. 5818 Frankfurt am Main -Ost. - 94 S., 15 Tab., 15 Prof.; Wiesbaden
- BARGON, E. & FICKEL, W. & PLASS, W. & REICHMANN, H. & SEMMEL, A. & ZAKOSEK, H. (1971): Zur Genese und Nomenklatur braunerde- und parabraunerdeähnlicher Böden in Hessen. - Notibl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **99**: 361 372; Wiesbaden
- BECHTLE, W. (1974): Oberflächenabfluß, Bodenabtrag und Nährstoffauswaschung in steilen Hanglagen - Erosionsversuch Eßlingen-Mettingen. -Wasser und Boden, **1**: 1 -4; Hamburg
- BECKER, E. (1965): Stratigraphie und bodenkundliche Untersuchungen an jungpleistozänen und holozänen Ablagerungen im nördlichen Oberrheingraben. -Diss., 145 S., 28 Abb., 14 Tab., 1 Kt.; Frankfurt am Main
- BEESE, F. (1974): Die Hydrobilanz einer Feuchtschwarzerde-Repräsentations-Teillandschaft der Hildesheimer Börde. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **18**: 178 -186, 4 Abb., 3 Tab.; Göttingen
- & MEYER, B. & MOSHREFI, N. (1973): Der Wasserhaushalt von Feucht-Schwarzerde- und Griserde-Landschaften im Niedersächsischen Löß-Vorland der mitteldeutschen Schwelle. V. Lateraler Wasser-Transport in der Bodendecke als potentieller Faktor der Landschaftsbilanz. -Göttinger Bodenkdl. Ber., **18**: 197 -226, 4 Abb., 3 Tab.; Göttingen
- BIBUS, E. (1971): Zur Morphologie des südöstlichen Taunus und seiner Randgebiete. -Rhein-Main.-Forsch., **74**: 279 S., 35 Abb., 3 Tab., 3 Kt.; Frankfurt am Main -
- (1973): Untersuchungen zur jungtertiären Flächenbildung, Verwitterung und Klimaentwicklung im südöstlichen Taunus und in der Wetterau. -Erdkunde, **27**: 10 -26, 3 Abb.; Bonn
- (1973 a): Ausbildung und Lagerungsverhältnisse quartärer Tuffe in der Wetterau. -Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **101**: 346 -361, 6 Abb.; Wiesbaden
- (1973 b): Zur Genese des flachen Lößreliefs in der westlichen Wetterau. -Oberhess. naturw. Z., **39/40**: 63 -72, 3 Abb.; Gießen
- (1974): Das Quartärprofil im Braunkohletagebau Heuchelheim (Wetterau) und seine vulkanischen Einschaltungen. -Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **102**: 159 -167, 3 Abb.; Wiesbaden
- (1975): Eigenschaften tertiärer Flächen in der Umrahmung der nördlichen Wetterau (Taunus- und Vogelsbergtrand). -Z. f. Geomorph. N. F., Suppl.Bd. **23**: 49 -61, 6 Fig.; Berlin, Stuttgart
- (1980): Zur Relief-, Boden- und Sedimententwicklung am unteren Mittelrhein. -Frankfurter Geow. Arb., Serie D, **1**: 296 S., 50 Abb., 8 Tab.; Frankfurt am Main & NAGEL, G. & SEMMEL, A. (1976): Periglaziale Reliefformung im zentralen Spitzbergen. -Catena, **3**: 29 -44, 5 Fig., 1 Tab.; Gießen
- BLUME, H.P. (1968): Stauwasserböden. -Arb. Univ. Hohenheim, **42**: 242 S., 38 Abb., 71 Tab.; Stuttgart
- (1971): Genese und ökologie von Hangwasserböden. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **12**: 50; Göttingen
- & MONNICH, K.-O. & ZIMMERMANN, U. (1968): Untersuchungen der lateralen Wasserbewegung in ungesättigten Böden. -Z. Pflanzenern. u. Bodenkde., **121**: 231 -245, 10 Abb.; Weinheim

- & SCHLICHTING, E. (1976): Zur Bezeichnung von Bodenhorizonten. -Z. Pflanzenern. u. Bodenkd., **139**: 739 -747, 2 Tab.; Weinheim
- BOENIGK, W. & BRELIE, G. von der & BRUNNACKER, K. & KEMPF, E.K. & KOCI, A. & SCHIRMER, W. & STADLER, G. & STREIT, R. & TOBIEN, H. (1977): Jungtertiär und Quartär im Horloff-Graben, Vogelsberg. -Geol. Abh. Hess., **75**: 80 S., 17 Abb., 6 Tab.; Wiesbaden -
- BRONGER, A. (1976): Zur quartären Klima- und Landschaftsentwicklung des Karpatenbeckens auf (paläo-) pedologischer und bodengeographischer Grundlage. -Kieler Geogr.Schr., **45**: 268 S., 13 Abb., 10 Tab., 24 Bild.; Kiel
- (1979): Zur Struktur und Genese der Bodendecke in den Great Plains der USA. Ein Oberblick. -Kieler Geogr. Sehr., **50**: 471 -490. 2 Abb.; Kiel
- (1980): Zur neuen "Soil Taxonomy" der USA aus bodengeographischer Sicht. -Peterm. Geogr. Mitt., **124**: 253 -262, 1 Abb.; Gotha
- BRUNNACKER, K. (1959): Zur Parallelisierung des Jungpleistozäns in den Periglazialgebieten Bayerns und seiner östlichen Nachbarländer. -Geol. Jb., **76**: 129 -150, 5 Abb., 3 Tab.; Hannover
- BODEL, J. (1977): Klima -Geomorphologie. -304 S., zahlr. Abb., Taf., Photos; Berlin, Stuttgart
- BURRICHTER, E. (1976): Geobotanische Beiträge zur Siedlungsentwicklung in der westfälischen Bucht. -Ber. z. dt. Landeskd., **50**: 85 -89, 1 Abb.; Meisenheim/Glan
- DAHM-ARENS, H. (1979): Böden und Relief der Warburger Börde und ihrer Umrahmung. -Z. f. Geomorph., N. F., Suppl.-Bd. **33**: 207 -215, 3 Fig.; Berlin
- DAMMANN, W. (1960): Die Windverhältnisse im Rhein-Main-Gebiet, eine Studie zur dynamischen Klimatologie der Mittelgebirge. -Erdkunde, **14**: 10 -29, 10 Abb., 10 Tab.; Bonn
- ELLENBERG, H. (1954): Steppenheide und Waldweide. -Erdkunde, **8**: 188 -194, 1 Tab.; Bonn
- Exkursionsführer zur Tagung der Kommission V und VI der Intern. Bodenkd. Ges. in Stuttgart-Hohenheim (1971). Landschaften und Böden in der Bundesrepublik Deutschland. -Mitt. Dt. Bodenkd. Ges., **13**: 521 S., zahlr. Abb., Tab., Kt.; Göttingen
- Exkursionsführer zur Tagung der Dt. Bodenkd. Ges. 1973 in Gießen. -Mitt. Dt. Bodenkd. Ges., **17**: 275 S., zahlr. Abb., Tab., Kt.; Göttingen
- FICKEL, W. (1970): Ober Relikte fossiler tertiärer Bodenbildungen im mittleren Taunus und im Raum Friedberg. -Nachr. dt. Geol. Ges., 1: 12 -13; Hann.
- (1980): Erläuterungen zur Bodenkarte Hessen 1:25000, Bl. 5717 Bad Homburg v.d. Höhe. -99 S., 8 Tab., 8 Prof.; Wiesbaden
- & BECKMANN, H. & PLASS, W. & SCHRADER, L. & STEPHAN, S. & WIECHMANN, H. & ZAKOSEK, H. (1977): Ober Bodenentwicklungen in Hügelgräbern im Taunus. -Mitt. Dt. Bodenkd. Ges., **25**: 639 -644, 1 Abb., 2 Tab.; Göttingen
- FINK, J. (1954): Die fossilen Böden im österreichischen Löß. -Quartär, **6**: 85 -108, 10 Abb.; Bonn
- FIRBAS, F. (1949/1952): Spät-und nacheiszeitliche Waldgeschichte nördlich der Alpen. -480 S. und 256 S., zahlr. Abb., Tab.; Jena
- FRÄNZLE, O. (1965): Klimatische Schwellenwerte der Bodenbildung in Europa und der USA. -Die Erde, **96**: 86-104, 6 Fig.; Berlin
- FREISING, H. (1954): Gibt es in Hessen drei Würmlöse? -Jber. u. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., **35**: 54 -66; Stuttgart
- FRENZEL, B. (1960): Die Vegetations- und Landschaftszonen Nord-Eurasiens während der letzten Eiszeit und während der postglazialen Wärmezeit. 11. Teil: Rekonstruktionsversuch der letzteiszeitlichen und wärmezeitlichen Vegetation Nord-Eurasiens. -Akad. Wiss. u. Lit., Abh. d. Math.-Nat. Kl., **96**: 167 S., 36 Abb., 2 Kt.; Wiesbaden
- GANSSEN, R. (1961): Bodenbenennung, Bodenklassifikation und Bodenverteilung aus geographischer Sicht. -Die Erde, **92**: 281 -295, 1 Abb.; Berlin
- (1972): Bodengeographie. -2. Auflage, 325 S., zahlr. Abb., Tab., Taf.; Stuttgart
- & HARTH, H. (1957): Versuch einer Kennzeichnung wichtiger Böden im trockensten Teil des nördlichen Oberrheingrabens. -Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd., **76**: 213 -223. 2 Abb., 5 Taf.; Weinheim
- GEGENWART, W. (1952): Die ergiebigen Stark-und Dauerregen im Rhein-Main-Gebiet und die Gefährdung der landwirtschaftlichen Nutzflächen durch die Bodenzerstörung. -Rhein-Main.-Forsch., **36**: 52 S., 2 Abb., 17 Kt.; Ffm

- GIESSÜBEL, J. (1977): Nutzungsbedingte Änderungen im Naturraum, dargestellt an Beispielen aus dem Rhein-Main-Gebiet und Nordhessen. -Rhein-Main. Forsch., **85**: 203 S., 26 Abb., 12 Tab., 16 Bilder; Frankfurt am Main
- GOLWER, A. & SEMMEL, A. (1980): Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25000, Bl. 5917 Kelsterbach. -221 S., 17 Abb., 17 Tab., 3 Taf., 2 Beilagen, 3. Auflage; Wiesbaden
- GRADMANN, R. (1940): Wald und Siedlung im vorgeschichtlichen Europa. -Pet. Geogr. Mitt., **86**: 86 -90; Gotha
- GREMMINGER, R. & RICHARD, F. & LEINBERGER, J. (1979): Untersuchungen zur Wasserbewegung in einem mit Vegetation bedeckten Hangboden. Projekt Hangsickerung. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **29**: 133 -148, B Abb.; Hannover
- HAASE, G. (1961): Hanggestaltung und ökologische Differenzierung nach dem Catena-Prinzip. -Pet. Geogr. Mitt., **105**: 1 -8, 16 Fig.; Gotha
- (1968): Pedon und Pedotop -Bemerkungen zu Grundlagen der regionalen Bodengeographie. -Pet. Geogr. Mitt., Erg.-H. **271**: 57 -76, 3 Abb.; Gotha
  - (1973): Zur Ausgliederung von Raumeinheiten der chorischen und regionischen Dimension -dargestellt an Beispielen aus der Bodengeographie. -Pet. Geogr. Mitt., **117**: 81 -90, 2 Fig., 1 Taf.; Gotha
  - (1978): Struktur und Gliederung der Pedosphäre in der regionischen Dimension. -Beitr. z. Geographie, **29**: 250 S., 16 Abb., 10 Tab., 9 Anlagen; Berlin
  - (1978 a): "Zonale" Böden als regionische Normtypen der Bodenbildung. In: Beiträge zur Quartär- und Landschaftsforschung. Festschr. Fink: S. 235 -250; Wien
  - (1978 b): Leitlinien der bodengeographischen Gliederung Sachsens. -Beitr. z. Geogr., **29**: 7 -79, 1 Abb., 6 Tab., 5 Anlagen; Berlin
- HARRACH, T. (1974): Kritische Bemerkungen zur Genese und Systematik der "Verwitterungsböden". -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **18**: 320 -326; Göttingen
- (1975): Die Ertragsfähigkeit von Lößböden unterschiedlichen Erosionsgrades. -Landwirtschaftl. Forsch., **28**: 190 -199, 2 Abb.; Frankfurt/Main
- HARTH, H. (1956): Beiträge zur Kenntnis der Steppen- und steppenähnlichen Böden des Oberrheintals. -Diss. Freiburg: 72 S., mehrere Taf.; Düsseldorf
- HAUPENTHAL, CH. (1978): Ober Schwarzerden in der Niederhessischen Senke. -Geol. Jb. Hessen, **106**: 319 -366, 20 Abb., 17 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden
- HEIM, D. (1971): Lateritische Basaltverwitterung und Bauxit im Bereich der Wetterau-Schwelle. -Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **60**: 251 -257, 2 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden
- HEMPEL, L. (1974): Einführung in die Physiogeographie. Bodengeographie. 71 S., 13 Abb., 20 Tab.; Wiesbaden
- HERRMANN, R. (1965): Vergleichende Hydrogeographie des Taunus und seiner südöstlichen Randgebiete. -Gießener Geogr. Schr., **5**: 152 S., 12 Fig., 10 Kt.; Gießen
- HESS, C. (1965): Über die Natur der Bindung des Humus in Schwarzerden und schwarzerdeartigen Böden, insbesondere in den Tirsen Marokkos. -Diss. Göttingen: 192 S., 9 Abb.; Göttingen
- HERZ, K. (1968): Großmaßstäbliche und kleinmaßstäbliche Landschaftsanalyse im Spiegel eines Modells. -Pet. Geogr. Mitt., Erg.-H. **271**: 49 -56, 1 Abb.; Gotha
- HOHNVEHLMANN, J. (1963): Vergesellschaftung, Entstehung und Eigenschaften der Böden im Soester Hellweggebiet. -Diss. Bonn: 120 S., 8 Abb.; Bonn
- JORDAN, E. (1976): Landschaftshaushaltsuntersuchungen im Bereich der nördlichen Lößgrenze bei Hannover. -Jb. d. Geogr. Ges. Hannover, Sonderh. **9**: 231 S., 19 Abb., 5 Tab., 2 Photos, 7 Prof.; Hannover
- KARRASCH, H. (1970): Das Phänomen der klimabedingten Reliefasymmetrie in Mitteleuropa. -Göttinger Geogr. Arb., **56**: 299 S., 82 Abb., 26 Tab., 7 Kt.; Göttingen -
- KLINK, H.-J. (1966): Die Naturräumliche Gliederung als ein Forschungsgegenstand der Landeskunde. -Ber. z. dt. Landeskde., **36**: 223 -246, 1 Tab.; Bad Godesberg -
- (1966 a): Naturräumliche Gliederung des Hiltl-Hils-Berglandes. Art und Anordnung der Physiotope und Ökotope. -Forsch. z. dt. Landeskde., **159**: 256 S., 24 Abb., 12 Bilder, 2 Kt.; Bad Godesberg
- KLINK, H.-J. (1972): Geoökologie und naturräumliche Gliederung -Grundlagen der Umweltforschung. -Geogr. Rdsch., **24**: 7 -19; Braunschweig
- KNOCH, H. (1950): Klimaatlas von Hessen. -75 Kt., 9 Diagr.; Bad Kissingen

- KOPP, E. (1965): Ober Vorkommen "degradierter Steppenböden" in den Lößgebieten des Niederrheins und Westfalens und ihre Bedeutung für die Paläobodenkunde und Bodengenese. -Eiszeitalter u. Gegenw., **16**: 97 -112,1 Abb.; Öhringen
- KOSSACK, G. (1978): Frühstes Bauerntum und geographische Umwelt. Bemerkungen zum gleichnamigen Buch von W. LINKE. -Ber. z. dt. Landeskde., **52**: 1 -12;Meisenheim/Glan
- KUBIENA, W. L. (1956): Zur Mikromorphologie, Systematik und Entwicklung der rezenten und fossilen Lößböden. -Eiszeitalter u. Gegenw., **7**: 102 -112,4 Taf.; Öhringen
- KOMMERLE, E. (1976): Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25000,BI. 5618 Friedberg. -247 S., 30 Abb., 13 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden
- LESER, H. (1974): Angewandte Physische Geographie und Landschaftsökologie als regionale Geographie. - Geogr. Z., **62**: 161 -178; Wiesbaden
- (1976): Landschaftsökologie. -432 S., 49 Abb., 20 Tab.; Stuttgart
  - (1978): Quantifizierungsprobleme der Landschaft und der landschaftlichen Ökosysteme. -Landschaft und Stadt, **10**: 107 -114; Stuttgart
- LIEBEROTH, I. (1962): Die jungpleistozänen Löss Sachsens im Vergleich zu denen anderer Gebiete. -Pet. Geogr. Mitt., **106**: 188 -198, 5 Abb., 2 Kt.; Gotha
- (1963): Lösssedimentation und Bodenbildung während des Pleistozäns in Sachsen. -Geologie, **12**: 149 -187, 13 Abb., 6 Tab.; Berlin
- LINKE, W. (1976): Frühstes Bauerntum und geographische Umwelt. -Bochumer geogr. Arb., **28**: 86 S., 12 Tab., 102 Kt.; Bochum
- (1977): Boden und Vegetation als bestimmende Faktoren der frühesten Siedlungsräume in Mitteleuropa. - Ber. z. dt. Landeskde., **51**: 29 -40,2 Abb.;Meisenheim/Glan
- LODERS, R. (1970): Verbreitung und Eigenschaften von Böden aus Kreideton und aus Löß am Stirnhang des Kleinen Fallsteins (nördliches Harzvorland). Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde., **127**: 19 -30, 10 Abb.; Weinheim
- MASUCH, K. (1970): Häufigkeit und Verteilung bodengefährdender sommerlicher Niederschläge nördlich des Mains zwischen Weser und Rhein. -Forsch. z. dt. Landeskde., **181**: 22 S., 2 Abb., 3 Tab., 10 Kt.; Bad Godesberg
- MEHRA, O.-P. & JACKSON, M.-L. (1960): Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionit-Citrat-System, buffered with Na-Bicarbonate. -Clays and Clay Minerals, Proc. 7, National Congr. 317-327; Washington D.C.
- MEIER-ARENDT, W. (1966): Die bandkeramische Kultur im Untermaingebiet. -Diss. Bonn: 147 S., 21 Kt., 112 Taf.; Bonn
- MICHELS, F. (mit Beiträgen von W. WENZ & A. ZULLER) (1930): Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen, Bl. Frankfurt/Main -Ost -Offenbach, Preuß. Bl. 3372, Hess. Bl. 36. -88 S., 2 Taf., 1 Abb.; Berlin
- MÜCKENHAUSEN, E. (1966): Bodenkundliche Deutung des in Gruben verfüllten schwarzbraunen Bodenmaterials im Grabungsfeld Ilden/Lamersdorf. -Bonner Jb., **166**: 387 -388; Bonn
- (1977): Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. -175 S., zahlr. Abb., Tab., Kt.; 2. Aufl. Ffm
  - (1977 a): Fortschritte in der Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland von 1969 -1977. - Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **25**: 421 -440;Hannover -
  - (1979): Die Paläoböden der Eifel in Abhängigkeit von der Geomorphologie. \_Z.f. Geomorph., N.F., Suppl. -Bd. ~: 16 -24; Stuttgart
- MÜLLER, G. (1980): Bodenkunde. -392 S., zahlr. Abb., Tab., Bilder, Prof.; Berlin
- MÜLLER, H. (1953): Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte des mitteldeutschen Trockengebietes. -Nova Acta Leopoldina, **16**: 67 S.,11 Abb.; Leipzig
- MÜLLER, TH. (1952): Ostfälische Landeskunde. -532 S., zahlr. Abb.; Braunschweig
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS (1971). -Baltimore, Maryland 21218, USA
- MUTERT, E. (1977): Regionale Gruppierung von Böden und Bodenklassifikation. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **25**: 445 -452; Göttingen
- & LAMP, J. & KNEIB, W. (1979): Zur regionalen Variabilität von Böden in Schleswig-Holstein. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **29**: 782 -792, 5 Abb.; Freiburg

- NAGEL, G. (1969): Beiträge zur Morphologie des Ronneburger Hügellandes. Rhein-Main.-Forsch., **57**: 61 S., 22 Abb., 4 Bilder, 2 Kt.; Frankfurt/Main
- NEEF, E. (1960): Der Bodenwasserhaushalt als ökologischer Faktor. -Ber. Dt. Landeskde., **25**: 272 -283, 9 Abb.; Remagen
- (1962): Die Stellung der Landschaftsökologie in der Physischen Geographie. -Geogr. Ber., **25**: 349 -356; Berlin
  - (1963): Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung. -Pet. Geogr. Mitt., **107**: 249 -259; Gotha
  - (1964): Zur großmaßstäblichen landschaftsökologischen Forschung. -Pet. Geogr. Mitt., **108**: 1 -7; Gotha
  - (1978): Einige Bemerkungen über die Beziehung zwischen Physischer Geographie und Bodenkunde. - In: Beiträge zur Quartär- und Landschaftsforschung. Festschr. Fink: S. 403 -411; Wien
- NIETSCH, H. (1940): Waldbauerntum deutscher Vorzeit. -Pet. Geogr. Mitt., **86**:204 -207; Gotha
- ORTLAM, D. (1981): Neue Aspekte zur känozoischen Entwicklung im Nordteil der Mittelmeer -Mjösen -Zone. -Geol. Rdsch., **70**: 344 -353,5 Abb.; Stuttgart.
- OSTENDORFF, E. (1954): Fossile Schwarzerden und Waldböden in Südwestdeutschland und ihre Bedeutung für die Diluvialgeschichte. -Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkde., **65**: 62 -80,8 Abb.; Weinheim
- PLASS, W. (1966): Braunerden und Parabraunerden in Nordhessen. -Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkde., **114**: 12 -26, 4 Abb., 2 Tab.; Weinheim
- (1972): Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25000, Bl. 5917 Kelsterbach. -206 S., 40 Tab., 41 Prof.; Wiesbaden
  - (1981): Neuere quartärgeologisch -bodenkundliche Erkenntnisse und Auswirkungen auf das Ökosystem Wald. -Vorträge Tagung AFSV, **8**: 21 -63,27 Abb.; Recklinghausen
  - & POETSCH, T. & TRIBUTH, H. & ZAKOSEK, H. (1977): Zur Entstehung eines Smonica-Profiles in Rheinhessen. -Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde., **140**: 317 -328,3 Abb. 5 Tab.; Weinheim
- POETSCH, T. (1974)1 Bimstufminerale in hessischen Böden. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **8**: 313 -319, 3 Abb.; Göttingen
- (1975): Untersuchungen von bodenbildenden Deckschichten unter besonderer Berücksichtigung ihrer vulkanischen Komponenten. -Gießener Geol. Schr., **4**: 180 S., 29 Abb., zahlr. Tab.; Gießen
- POSER, H. & MÜLLER, T. (1951): Studien an asymmetrischen Tälern des Niederbayerischen Hügellandes. - Nachr. Akad. Wiss. Göttingen. math.-phys. Kl.,biolog.-physiolog.-chem. Abt., **1**: 32 S., 4 Abb., 7 Tab.; Göttingen
- RAU, D. (1965): Untersuchungen zur Morphologie und Genese der Lößböden im Thüringer Becken. -Abh. Zentr. Geol. Inst., **4**: 1 -71, 12 Abb., 14 Tab.;Berlin
- (1969): Untersuchungen an rezenten und fossilen Lößböden in Thüringen. Geologie, **18**: 691 -699, 2 Abb., 1 Tab.; Berlin
- RICHTER, G. (1965): Bodenerosion. -Forsch. z. Dt. Landeskde., **152**: 592 S., zahlr. Abb., Tab., Kt.; Bad Godesberg
- RICHTER, H. (196B): Beitrag zum Modell des Geokomplexes. -Pet. Geogr. Mitt., Erg. -H. **271**: 39 -48, 4 Abb.; Gotha
- RIEHM, H. & ULRICH, B. (1974): Quantitative kolorometrische Bestimmung der organischen Substanz im Boden. -Landwirtschaftl. Forsch., **6**: 173 -176; Ffm
- ROESCHMANN, G. (196S): Pseudogley-Tschernoseme und deren Obergangsbildungen zu Parabraunerdel im Lößgebiet der Hildesheimer Börde. -Geol. Jb., **85**: 841 -860, 1 Abb.; Hannover
- ROHDENBURG, H. (1965): Untersuchungen zur pleistozänen Formung am Beispiel der Westabdachung des Göttinger Waldes. -Gießener Geogr. Schr., **7**: 76 S.,23 Fig., 2 Kt., 16 Bilder; Gießen
- ROHDENBURG, H. (1968): Jungpleistozäne Hangformung in Mitteleuropa -Beiträge zur Kenntnis, Deutung und Bedeutung ihrer räumlichen und zeitlichen Differenzierung. -Göttinger Bodenkdl. Ber., **7**: 3 -107, 39 Abb.; Göttingen
- & MEYER, B. & WILLERDING, U. & JANKUHN, H. (1962): Quartärmorphologische, bodenkundliche, paläobotanische und archäologische Untersuchungen an einer Löß-Schwarzerde-Insel mit einer wahrscheinlich spätneolithischen Siedlung im Bereich der Göttinger Leineaue. -Göttinger Jb., **1962**: 36 -56, 6 Abb., 2 Tab., 1 Bild; Göttingen -----

- & MEYER, B. (1966): Zur Feinstratigraphie und Paläopedologie des Jungpleistoz~äns nach Untersuchungen an südniedersächsischen und nordhessischen Lößprofilen. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **5**: 1-135,25 Abb., 12 Tab. ;Göttingen
  - & MEYER, B. (1968): Zur Datierung und Bodengeschichte mitteleuropäischer Oberflächenböden (Schwarzerde, Parabraunerde, Kalksteinbraunlehm): Spätglazial oder Holozän? -Göttinger Bodenkdl. Ber., **6**: 127 -212, 12 Abb.;Göttingen
- SANDNER, G. (1960): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 125 Marburg. Geographische Landesaufnahme 1 : 200 000. Naturräumliche Gliederung Deutschlands: 32 S., 1 Kt.; Bad Godesberg
- SCHAFFER, G. (1968): Der Beitrag der Bodenkunde für die naturräumliche Gliederung der Landschaft. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **8**: 299 -305,2 Ober sichten; Göttingen
- & SCHULZ, K.H. (1972): Bodenkundlicher Beitrag zur quantitativen Naturraumgliederung für die Landesplanung. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **16**: 14 -18; Göttingen
- SCHARPFF, H.-J. (1974): Verbreitung und Dynamik der mineralbeeinflussten Grundwässer der Wetterau/Hessen. -Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **70**: 103 -158, 14 Abb., 8 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden -
- SCHEFFER, F. (1962): Die bodenkundliche Forschung und ihre Aufgaben im Rahmen der Schwesterdisziplinen. -Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd., **98**: 18-29; Weinheim
- & MEYER, B. (1958): Bodenkundliche Untersuchungen an neolithischen Sied lungspfahlen des Göttinger Leinetalgrabens. -Göttinger Jb., **1958**: 3 -19, 3 Abb.; Göttingen
  - & FÖLSTER, H. & MEYER, B. (1959/60): Zur Entstehung von Schwarzerden und schwarzerdeartigen Böden. -Chemie der Erde, **20**: 302 -330, 7 Abb., 3 Taf.; Jena
  - & SCHACHTSCHABEL, P. (1976): Lehrbuch der Bodenkunde. -9. Auflage, 394 S., zahlreiche Abb., Tab.; Stuttgart
- SCHENK, E. (1974): Die Fortsetzung des Rheingrabens durch Hessen. -In: ILLIES, J.H. (Hrsg.): Approaches to Taphrogenesis: 286 -302, 7 Abb.; Stuttgart
- SCHIRMER, H. (1959): Amtliches Gutachten über die klimatischen Verhältnisse, insbesondere die des Niederschlags im Einzugsgebiet der Nidda. -127 S.,27 Tab., mschr. Manuskript; Offenbach
- SCHLICHTING, E. (1970): Bodensystematik und Bodensoziologie. -Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd., **127**: 1 -9; Weinheim
- SCHMITHÜSEN, J. (1974): Was verstehen wir unter Landschaftsökologie? -Tag. -Ber. und Wiss. Abh., Dt. Geogr.-Tag Kassel: 409-417; Wiesbaden
- SCHÖNHALS, E. (1951): über fossile Böden im nichtvereisten Gebiet. -Eiszeitalter u. Gegenw., **1**: 109 -130; Öhringen
- (1954): Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Mit einer bodenkundlichen Übersichtskarte 1:300000. - Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **2**: 288 S.,25 Abb., 60 Tab., 15 Taf.; Wiesbaden
  - (1958): Bodenübersichtskarte von Hessen 1:600 000. -Dt. Planungsatlas, Bd. Hessen; Wiesbaden
  - (1968): Bodenkarte des Niddagebietes. Bodenkarte zum Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Nidda 1:200 000. -Hrsg. Hess. Min. f. Landw. u. Forsten, Abt. Wasserwirtsch.; Wiesbaden
  - (1974): Die Bedeutung geologischer, insbesondere quartärgeologischer Vorgänge für die Bodenbildung in Hessen. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **18**: 11 -16, 1 Abb.; öhringen
  - & ROHDENBURG, H. & SEMMEL, A. (1964): Ergebnisse neuerer Untersuchungen zur Würmlöß-Gliederung in Hessen. -Eiszeitalter u. Gegenw., **15**: 199 -206, 1 Abb.; Öhringen
- SCHRADER, L. (1976) Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25000, Bl. 5619 Staden. -80 S., 7 Tab.; 7 Prof.; Wiesbaden
- (1978): Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25000, Bl. 5518 Butzbach. -119 S., 9 Tab., 9 Prof.; Wiesbaden
- SCHRÖDER, D. (1978): Bodenkunde in Stichworten. -154 S., 57 Abb., 22 Tab.,6 Bilder, 6. Auflage; Kiel
- SCHWARZ, K. (1948): Lagen die Siedlungen der linienbandkeramischen Kultur Mitteldeutschlands in waldfreien oder bewaldeten Landschaften? -In: Strena Prähistorica: 1-28, 1 Kt.; Halle a.d. Saale
- SCHWENZER, B. (1967): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 139 Frankfurt am Main. -Geogr. Landesaufnahme 1:200000, Naturräumliche Gliederung Deutschlands: 35 S., 1 Kt.; Bad Godesberg
- SEIDENSCHWANN, G. (1980): Zur pleistozänen Entwicklung des Main-Kinzig-Kahl-Gebietes. -Rhein-Main.-Forsch., **91**: 195 S., 18 Abb., 1 Tab., 1 Kt.;Frankfurt am Main

- SELKE, M. (1935): Die Böden Süd-Niedersachsens. -Wirtsch.-Wiss. Ges. Stud. Niedersachsens, R.B., **12**: 221 S., 21 Taf., 5 Kt.; Oldenburg
- SEMMELE, A. (1964): Junge Schuttdecken in hessischen Mittelgebirgen. -Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **92**: 275 -285, 3 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden
- (1968): Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. Frankfurter Geogr. H., **45**: 133 S., 35 Abb., 2 Tab.; Frankfurt am Main
  - (1972): Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland. Grundzüge, Forschungsstand, aktuelle Fragen -erörtert an ausgewählten Landschaften. 149 S., 60 Abb.; Wiesbaden
- SEMMELE, A. (1972 a): Junge Reliefformung im Rhein-Main-Gebiet. -Umweltreport: 327 329; Frankfurt am Main (1974): Der Stand der Eiszeitforschung im Rhein-Main-Gebiet. -In: SEMMELE, A. (Hrsg.): Das Eiszeitalter im Rhein-Main-Gebiet. -Rhein-Main. Forsch., **78**: 9 -56, 5 Abb., 1 Tab.; Frankfurt am Main
- (1974 a): Geomorphologische Untersuchungen zur Umweltforschung im Rhein-Main-Gebiet. -Verh. Dt. Geographentag Kassel: 537 -549, 4 Abb.; Wiesbaden
  - (1976): Beziehungen zwischen Relief, Gestein und Böden in Hessischen Buntsandsteinlandschaften. -Z. f. Geomorphologie, N.F., Suppl.-Bd. **24**: 23 -32, 4 Fig.; Berlin, Stuttgart
  - (1977): Grundzüge der Bodengeographie. -120 S., 40 Abb., 12 Bilder; Stuttgart
  - & PLASS, W. (1965): Spätkaltzeitliche Umlagerungen in Parabraunerde-Profilen. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **4**: 33 -39, 1 Abb.; Göttingen
  - & STÄBLEIN, G. (1971): Zur Entwicklung quartärer Hohlformen in Franken. Eiszeitalter und Gegenw., **22**: 23 -34, 6 Abb.; Öhringen
- SIELMANN, B. (1971): Der Einfluß der Umwelt auf die neolithische Besiedlung Südwestdeutschlands unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am nördlichen Oberrhein. -Acta Praehistorica et Archaeologica, **2**: 65 -197, 101 Fig; Berlin
- STAHR, K. (1979): Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für die Bodenbildung und Standorteigenschaften im Südschwarzwald. -Freiburger Bodenkdl. Abh., **9**: 273 S., 30 Abb., 27 Tab., 1 Kt., umfangr. Anhang; Freiburg i. Breisgau
- STREMMER, H. (1936): Die Böden des Deutschen Reiches und der freien Stadt Danzig. -Pet. Geogr. Mitt., Erg.-H. **226**: 74 S., 14 Tab., 1 Kt.; Gotha
- STÖHR, W. TH. (1979): Ober "dunkle" Böden in Rheinhessen. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **29**: 669 -676, 1 Tab.; Göttingen
- STRAUTZ, N. (1963): Porengrößenverteilung in einer Feuchtschwarzerde-Parabraunerde-Reihe aus Löß. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **1**: 121 -127, 3 Abb.; Gött.
- TIPPKÖTTER (1979)
- TRETER, U. (1970): Untersuchungen zum Jahresgang der Bodenfeuchte in Abhängigkeit von Niederschlägen, topographischer Situation und Bodenbedeckung an ausgewählten Punkten in den Hüttener Bergen/Schleswig-Holstein. Sehr. Geogr. Inst. Univ. Kiel, **33**: 144 S., 22 Abb., 26 Tab.; Kiel
- WALTER, H. (1974): Hydrogeographie und Wasserhaushalt im oberen Horlofftal (westlicher Vogelsberg). -Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **69**: 104 S., 13 Abb., 17 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden
- WANDEL, G. mit einem Beitrag von MOCKENHAUSEN, E. (1949): Neue vergleichende Untersuchungen über den Bodenabtrag an bewaldeten und unbewaldeten Hangflächen im Nordrheinland. -Geol. Jb., **65**: 507 -550, 29 Abb.; Hannover
- Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Nidda. Hrsg.: Hess. Min. f. Landwirtschaft u. Forsten (1968). -158 S., 59 Kt.; Wiesbaden
- WENZ, W. (1936): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, Bl. Rodheim. 60 S., 1 Fig.; Darmstadt
- WERNER, R. (1977): Geomorphologische Kartierung 1:25000, erläutert am Beispiel des Blattes 5816 Königstein im Taunus. -Rhein-Main.-Forsch., **86**: 164 S., 18 Abb., 1 Kt.; Frankfurt am Main
- WILHELMY, H. (1950): Das Alter der Schwarzerde und der Steppen Mittel- und Osteuropas. -Erdkunde, **4**: 5-34, 4 Abb.; Bonn
- WIRTZ, R. (1972): Beitrag zur Kenntnis der Paläosole im Vogelsberg. -Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **61**: 159 S., 2 Abb., 21 Tab.; Wiesbaden
- WITTMANN, O. (1979): Beziehungen zwischen Ertrag und Bodenbewertung durch die Bodenschätzung. -Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **29**: 849-856, 12 Abb.; Göttingen
- ZAKOSEK, H. (1962): Zur Genese und Gliederung der Steppenböden. -Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **37**: 46 S., 1 Abb., 19 Tab.; Wiesbaden

## ANHANG

Tabelle 1

Mittlere Monats- und Jahressummen des Niederschlags (mm), Zeitraum 1891 - 1955, entnommen SCHIRMER, H. (1959: Tabelle 3), zusätzlich Ariditätsindex nach DE MARTONNE:  $i = \frac{N}{T + 10}$

Station	Seehöhe (m)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr	Ariditäts- index
LICH	172	47	39	36	41	52	65	74	64	52	52	47	50	619	32,6
MUNZENBERG	163	40	34	31	36	45	57	65	56	46	43	40	43	536	28,2
ECHZELL	130	41	33	32	37	50	65	67	65	51	51	45	41	578	30,4
DORN-ASSENHEIM	134	48	41	36	39	48	64	65	59	47	51	51	53	602	31,7
FRIEDBERG	166	44	36	34	38	43	59	61	58	45	49	48	48	563	29,6
BAD NAUHEIM	148	45	37	36	39	47	60	65	60	48	46	47	47	577	30,5
BAD VILBEL	109	50	40	39	41	49	61	66	67	51	55	54	55	628	32,2
ERBSTADT	155	47	35	34	41	50	63	72	66	50	54	48	48	608	32,0
WINDECKEN	133	45	37	35	41	51	63	70	70	49	49	47	47	604	31,8

Tabelle 2

Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur (°C), Zeitraum 1891 - 1955, entnommen SCHIRMER, H. (1959: Tabelle 16)

Station	Seehöhe (m)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
LICH	172	0,0	1,0	4,5	8,5	13,5	16,5	18,0	17,0	13,5	8,5	4,0	1,0	9,0
MUNZENBERG	163	0,0	1,0	4,5	8,5	13,5	16,5	18,0	17,0	13,5	8,5	4,0	1,0	9,0
ECHZELL	130	0,0	1,0	4,5	8,5	13,5	16,5	18,0	17,0	13,5	8,5	4,0	1,0	9,0
DORN-ASSENHEIM	134	0,0	1,0	4,5	8,5	13,5	16,5	18,0	17,0	13,5	8,5	4,0	1,0	9,0
FRIEDBERG	166	0,0	1,0	4,5	8,5	13,5	16,5	18,0	17,0	13,5	8,5	4,0	1,0	9,0
BAD NAUHEIM	148	0,0	1,1	4,6	8,7	13,4	16,6	18,2	17,3	13,7	8,8	4,2	1,1	8,9
BAD VILBEL	109	0,5	1,5	5,0	9,0	14,0	17,0	18,5	17,5	14,0	9,0	4,5	1,5	9,5
ERBSTADT	155	0,0	1,0	4,5	8,5	13,5	16,5	18,0	17,0	13,5	8,5	4,0	1,0	9,0
WINDECKEN	133	0,0	1,0	4,5	8,5	13,5	16,5	18,0	17,0	13,5	8,5	4,0	1,0	9,0

Tabelle 3

Mittlere Zahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 0,1 mm, Zeitraum 1911 - 1940, nach SCHIRMER, H. (1959:Tabelle 10)

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Sommer- halbjahr	Winter- halbjahr	Jahr
LICH	15,3	12,3	13,3	13,8	12,6	12,1	14,6	13,1	12,2	14,2	14,1	15,0	78,4	84,2	162,6
BAD NAUHEIM	17,1	14,0	13,9	15,4	13,6	13,2	14,9	14,4	13,6	15,6	15,7	17,3	85,1	93,6	178,7
BAD VILBEL	15,2	11,7	12,2	13,1	11,7	12,0	13,1	12,5	11,9	13,8	14,2	15,1	74,3	82,2	156,5

Mittlere Zahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 1,0 mm, Zeitraum 1911 - 1940, nach SCHIRMER, H. (1959:Tabelle 11)

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Sommer- halbjahr	Winter- halbjahr	Jahr
LICH	11,2	8,9	8,5	10,1	9,1	9,3	10,7	10,3	9,3	10,5	9,8	11,0	58,8	59,9	118,7
BAD NAUHEIM	10,3	7,8	8,1	9,1	8,6	9,2	10,4	9,9	9,0	10,3	9,7	10,5	56,2	56,7	112,9
BAD VILBEL	9,7	8,1	8,3	9,1	7,9	8,8	9,8	9,7	9,3	9,8	9,4	10,1	54,6	55,4	110,0

Mittlere Zahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 10,0 mm, Zeitraum 1911 - 1940, nach SCHIRMER, H. (1959:Tabelle 12)

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Sommer- halbjahr	Winter- halbjahr	Jahr
LICH	1,1	0,6	0,3	1,2	1,5	2,0	2,4	1,8	1,4	1,5	1,2	0,9	10,3	5,6	15,9
BAD NAUHEIM	1,0	0,6	0,4	0,9	1,0	1,8	1,6	1,7	1,2	1,3	1,1	0,7	8,2	5,1	13,3
BAD VILBEL	1,1	0,6	0,8	1,0	1,3	1,8	1,9	2,0	1,7	1,7	1,5	1,3	9,7	7,0	16,7

\* Sommerhalbjahr von April - September, Winterhalbjahr von Oktober - März

Tabelle 4 Sickerwassermengen (mm) aufgrund Lysimeterbeobachtungen (Datenerhebung: Wasserwirtschaftsamt Friedberg) Station: Nieder-Erlenbach (R 347950/ H 556560), 162 m NN  
Beobachtungszeitraum: 11. 1970 - 10. 1979

Monat Jahr	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Mittel	Summe
1971	0,0	0,0	126,0	39,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,83	166,0
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
1973	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,08	1,0
1975	0,0	6,0	0,0	0,0	10,0	20,0	7,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,13	37,5
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,75	9,0
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	47,0	20,0	6,0	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	7,66	92,0
Mittel	0,0	0,0	14,0	4,3	6,3	4,7	2,3	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,81	
Summe	0,0	0,0	126,0	39,0	58,0	42,0	20,5	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0		305,5

Niederschlagssummen (mm) der Station Nieder-Erlenbach im gleichen Zeitraum

Monat Jahr	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Mittel	Summe
1971	52,0	40,0	58,0	14,0	8,0	34,0	70,0	119,0	27,0	51,0	28,0	20,0	43,42	521,0
1972	91,0	7,0	17,0	3,0	42,0	41,0	49,0	82,0	44,0	72,0	22,0	13,0	40,25	483,0
1973	42,0	15,0	19,0	14,0	3,0	13,0	50,0	22,0	80,0	26,0	13,0	35,0	27,67	332,0
1974	36,0	45,0	47,0	46,0	41,0	6,0	43,0	107,0	55,0	52,0	50,0	94,0	51,83	622,0
1975	68,0	103,0	59,0	19,0	35,0	49,0	27,0	71,0	21,0	92,0	64,0	28,0	53,00	636,0
1976	51,0	27,0	28,0	18,0	10,0	19,0	35,0	1,0	55,0	1,0	34,0	19,0	24,83	298,0
1977	58,0	33,0	59,0	90,0	34,0	43,0	18,0	72,0	58,0	128,0	20,0	43,0	54,67	656,0
1978	66,0	43,0	24,0	25,0	71,0	31,0	103,0	28,0	67,0	27,0	48,0	27,0	46,67	560,0
1979	1,0	105,0	24,0	42,0	50,0	58,0	35,0	84,0	45,0	69,0	15,0	47,0	47,08	565,0
Mittel	51,7	46,4	37,2	30,0	32,6	32,6	47,8	65,1	50,2	56,4	32,7	36,2	43,25	519,0
Summe	465,0	418,0	335,0	271,0	294,0	294,0	430,0	586,0	542,0	508,0	294,0	326,0		4763,0

Tabelle 5 Sickerwassermengen (mm) aufgrund von Lysimeterbeobachtungen (Datenerhebung: Wasserwirtschaftsamt Friedberg, Station: Ossenheim (R 348665/H 557652), 162 m NN  
Beobachtungszeitraum: 11. 1970 - 10. 1979

Monat Jahr	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Mittel	Summe
1971	0,0	13,0	19,0	35,0	16,0	6,0	10,0	25,0	10,0	1,0	0,5	0,0	11,20	135,5
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	13,0	5,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,67	20,0
1973	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
1974	0,0	2,0	4,0	11,0	6,0	2,0	1,0	1,0	0,5	0,0	0,5	0,0	2,33	28,0
1975	0,5	7,0	6,0	7,0	4,0	5,0	2,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,0	2,87	34,5
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,0	0,38	4,5
1977	0,0	0,0	0,0	6,0	9,0	5,0	3,0	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	2,08	25,0
1978	0,5	6,0	6,0	6,0	7,0	5,0	3,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,0	3,08	37,0
1979	0,0	0,0	0,0	3,5	7,0	6,0	4,5	1,5	0,5	0,5	0,0	0,0	1,98	24,5
Mittel	0,1	3,1	3,9	7,6	5,7	4,7	3,3	3,6	1,5	0,4	0,3	0,0	2,85	
Summe	1,0	28,0	35,0	68,0	51,0	42,0	29,0	32,0	14,0	4,0	2,5	0,0		309,0

Niederschlagssummen (mm) der Station Ossenheim im gleichen Zeitraum

Monat Jahr	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Mittel	Summe
1971	34,0	44,0	40,0	19,0	9,0	36,0	56,0	101,0	5,0	92,0	19,0	29,0	40,33	484,0
1972	56,0	14,0	14,0	12,0	22,0	52,0	62,0	84,0	35,0	78,0	30,0	18,0	39,75	477,0
1973	53,0	10,0	14,0	16,0	7,0	20,0	59,0	15,0	114,0	57,0	29,0	58,0	37,67	452,0
1974	45,0	49,0	32,0	34,0	47,0	23,0	58,0	76,0	56,0	40,0	48,0	101,0	50,75	609,0
1975	50,0	89,0	56,0	11,0	53,0	43,0	28,0	70,0	66,0	43,0	59,0	30,0	49,83	598,0
1976	40,0	24,0	38,0	20,0	10,0	17,0	13,0	17,0	47,0	5,0	27,0	24,0	23,50	282,0
1977	52,0	23,0	52,0	92,0	18,0	34,0	34,0	77,0	52,0	76,0	13,0	43,0	47,17	566,0
1978	94,0	49,0	27,0	27,0	66,0	21,0	111,0	51,0	52,0	21,0	33,0	11,0	46,92	563,0
1979	5,0	105,0	31,0	43,0	77,0	61,0	41,0	104,0	35,0	46,0	12,0	35,0	49,68	595,0
Mittel	47,7	45,2	33,7	30,5	34,4	34,1	51,3	66,1	51,4	50,9	30,0	38,8	42,80	514,1
Summe	429,0	407,0	304,0	274,0	309,0	307,0	462,0	595,0	462,0	458,0	270,0	349,0		4626,0

Tabelle 6 Sickerwassermengen (mm) aufgrund von Lysimeterbeobachtungen (Datenerhebung: Wasserwirtschaftsamt Friedberg), Station: Münzenberg (R 348434/H 558894), 213 m NN  
Beobachtungszeitraum: 11. 1970 - 10. 1979

Monat Jahr	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Mittel	Summe
1971	24,0	48,0	78,0	29,0	15,0	7,0	5,0	3,0	3,0	2,0	2,0	1,0	18,08	217,0
1972	0,0	12,0	13,0	11,0	10,0	16,0	14,0	16,0	17,0	4,0	1,0	0,0	9,50	114,0
1973	0,5	1,0	1,0	1,0	6,0	7,0	4,0	2,0	0,5	0,5	0,0	0,0	1,96	23,5
1974	0,0	0,0	1,0	15,0	39,0	19,0	5,0	1,0	0,0	0,5	0,0	0,0	6,71	80,5
1975	0,0	3,0	13,0	24,0	23,0	46,0	13,0	5,0	1,0	0,0	0,0	0,0	10,67	128,0
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	3,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,92	11,0
1977	0,0	0,0	10,0	2,0	0,5	0,0	0,0	2,0	5,0	3,0	0,5	0,0	1,92	23,0
1978	0,0	10,0	21,0	26,0	23,0	21,0	11,0	5,0	2,0	0,0	0,0	0,0	9,92	119,0
1979	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0	15,0	-1,0	4,0	1,0	0,0	0,0	0,0	2,64	32,5
Mittel	2,7	8,2	15,2	12,0	13,5	14,8	7,4	4,2	3,2	1,1	0,4	0,1	6,90	
Summe	14,5	74,0	137,5	108,0	121,5	134,0	67,0	38,0	29,0	10,0	3,5	11,0		748,5

Niederschlagssummen (mm) der Station Münzenberg im gleichen Zeitraum

Monat Jahr	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Mittel	Summe
1971	25,0	41,0	24,0	14,0	6,0	29,0	50,0	67,0	5,0	39,0	23,0	31,0	29,50	354,0
1972	57,0	16,0	12,0	8,0	30,0	35,0	63,0	93,0	45,0	68,0	35,0	13,0	39,58	475,0
1973	48,0	7,0	16,0	26,0	4,0	25,0	49,0	13,0	65,0	24,0	32,0	49,0	29,83	358,0
1974	44,0	37,0	26,0	22,0	66,0	38,0	32,0	58,0	77,0	46,0	22,0	97,0	47,08	565,0
1975	59,0	74,0	42,0	15,0	38,0	48,0	29,0	75,0	27,0	56,0	48,0	28,0	44,92	539,0
1976	41,0	13,0	42,0	16,0	12,0	17,0	10,0	15,0	28,0	8,0	62,0	28,0	24,33	292,0
1977	40,0	19,0	45,0	71,0	21,0	24,0	19,0	79,0	43,0	75,0	14,0	40,0	40,83	490,0
1978	91,0	43,0	33,0	22,0	49,0	22,0	82,0	79,0	27,0	16,0	25,0	11,0	41,67	500,0
1979	6,0	73,0	26,0	24,0	74,0	45,0	36,0	69,0	102,0	51,0	14,0	32,0	45,92	509,0
Mittel	45,6	35,8	29,5	24,2	33,4	31,5	41,0	60,9	46,5	42,5	30,6	36,6	38,18	458,2
Summe	410,0	323,0	266,0	218,0	300,0	283,0	370,0	548,0	419,0	383,0	275,0	329,0		4078,0

Tab. 7 Schwermineralanalysen der Bodenprofile P1 - P3

Horizont	Proben- Nummer	Gew. % SM im fS	Opak in %	Augit	Gr. Horn- blende	Br. Horn- blende *	Titanit	Rutil	Zirkon	Tur- malin	Glimmer
Schwach degradiertes Tschernosem (d'T) Oberhörgern (P1)											
Y											
A <sub>h</sub>											
B <sub>v</sub> A <sub>h</sub>	80/12	2,5	67	73	3	8	11	1	1	3	+
B <sub>vh</sub>	80/13	3,1	83	81	7	3	4	1	1	3	+
II C		2,7	91	86	6	-	3	1	+	4	+
Stark degradiertes Tschernosem (dT) Mehlbach (P2)											
A <sub>p</sub>											
A <sub>h</sub> A <sub>1</sub>	80/3	5,3	44	23	4	46	18	+	2	1	+
A <sub>h</sub> B <sub>t</sub>	80/4	6,0	39	29	5	47	10	+	2	1	+
B <sub>vh</sub>	80/5	6,5	66	53	3	32	8	+	3	1	+
II C	80/6	6,5	76	73	10	-	10	5	1	1	+
Parabraunerde - Tschernosem (L-T) Friedberg (P3)											
A <sub>p</sub>											
A <sub>1h</sub>	81/8	3,3	29	22	5	49	17	+	4	2	+
B <sub>th</sub>	81/7	1,6	75	47	7	13	17	2	5	9	+
B <sub>vh</sub>	81/6	2,8	72	75	7	3	8	+	3	4	+
II C	81/5	2,6	79	81	8	-	6	1	2	2	+

Tab. 8 Schwermineralanalysen der Bodenprofile P4 - P6

Horizont	Proben- Nummer	Gew. % SM im fS	Opak in %	Augit	Gr. Horn- blende *	Br. Horn- blende	Titanit	Rutil	Zirkon	Tur- malin	Glimmer
Tschernosem - Parabraunerde (T-L) Friedberg (P4)											
A <sub>p</sub>											
B <sub>ht</sub>	81/12	1,3	64	34	2	52	9	+	2	1	+
B <sub>v</sub>	81/11	3,6	87	54	2	30	9	+	3	2	+
II C	81/10	2,7	89	81	5	-	7	+	4	3	+
Humose Parabraunerde (hL) Gronau (P5)											
A <sub>p</sub>											
A <sub>1</sub>											
B <sub>(h)t</sub>	81/34	3,4	26	40	5	41	10	+	3	1	+
II C	81/33	1,3	77	79	12	-	4	+	3	2	+
Parabraunerde (L) Gronau (P6)											
A <sub>p</sub>											
A <sub>1</sub>											
B <sub>t</sub>	81/27	2,0	83	72	3	17	5	+	1	2	+
II C	81/26	1,2	81	82	8	-	4	1	2	3	+

\* Bei den Braunen Hornblenden handelt es sich ganz überwiegend um die Basaltische Hornblende (Auslöschungswinkel 1 - 9°)

Profil 1: Schwach degradiertes Tschernosem (d'T)

Lage: Ober-Hörgern (R 348242/H 559179), 152 m NN, sehr schwach geneigter, süd-exponierter Hang

Klima:  $\bar{N}$  ca. 536 mm,  $\bar{T}$  ca. 9,0 °C

Ausgangsgestein: Löß

Nutzung: Baugrube, vormalig Acker

Y	0 - 20	cm Aushub
A <sub>p</sub>	20 - 50	cm dunkelbrauner (10 YR 3/2) stark lehmiger Schluff, carbonatarm (1,0 %), locker, stark durchwurzelt, schwach humos, scharfer Übergang
B <sub>v</sub> A <sub>h</sub>	50 - 103	cm dunkelbrauner (10 YR 2/2) schluffiger toniger Lehm, carbonatarm (0,3 %), krümelig, stark durchwurzelt, schwach humos, deutlicher Übergang
B <sub>vh</sub>	103 - 110	cm gelbbrauner (10 YR 4/3) stark lehmiger Schluff, carbonatarm (0,4 %), sehr schwach humos, Übergang undeutlich
IIC <sub>c</sub>	110 - 130+	cm gelblichbrauner (10 YR 5/4) stark lehmiger Schluff, carbonatreich (18,2 %), Pseudomycelien, sehr schwach humos, Humustapeten in den Regenwurmröhren, Krotowinen

Horizont	Mächtigkeit	pH-Wert	Humus in %	C in %	N in %	C/N	Fe <sub>d</sub> in %	Fe <sub>o</sub> in %	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>o</sub>
Y	0 - 20	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.
A <sub>p</sub>	20 - 50	7,4	1,1	0,6	0,09	7,4	0,87	0,05	0,05
B <sub>v</sub> A <sub>h</sub>	50 - 103	7,4	1,7	1,0	0,10	10,0	0,90	0,08	0,09
B <sub>vh</sub>	103 - 110	7,4	0,5	0,3	0,04	7,5	0,95	0,11	0,12
IIC <sub>c</sub>	110 - 130+	7,7	0,3	0,2	0,03	7,0	0,76	0,09	0,12

Horizont	Na	K	Mg mval/100 g Boden	Ca	S	H	T	V in %	T	U in %	S
Y	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.
A <sub>p</sub>	0,01	1,24	1,76	15,81	18,83	0,00	18,83	100	25,4	70,5	4,1
B <sub>v</sub> A <sub>h</sub>	0,05	0,30	1,72	22,30	24,73	0,00	24,73	100	32,8	61,6	5,6
B <sub>vh</sub>	0,15	0,17	1,21	16,23	17,77	0,00	17,77	100	23,5	70,6	5,9
IIC <sub>c</sub>	0,19	0,09	1,06	11,38	13,30	0,00	13,30	100	17,7	76,1	6,2

Profil 2: Stark degradierter Tschernosem (dT)

Lage: 300 m östlich Melbach (R 348684/H 558288), 151 m NN, sehr schwach geneige-  
Südhang

Klima:  $\bar{N}$  ca. 590 mm,  $\bar{T}$  ca. 9,0 °C

Ausgangsgestein: Löß

Nutzung: Acker

$A_p$	0 - 27	cm	dunkelbrauner (10 YR 3/2) stark lehmiger Schluff, carbonatfrei, locker, stark durchwurzelt, schwach humos, scharfer Übergang
$A_{hA_1}$	27 - 44	cm	dunkelgraubrauner (10 YR 3/2) schluffiger Lehm, carbonatfrei, krümelig bis feinpolyedrisch, schwach humos, stark durchwurzelt, undeutlicher Übergang
$A_{hB_t}$	44 - 69	cm	dunkelbrauner (10 YR 3/4) schluffig toniger Lehm, carbonatfrei, feinpolyedrisch, sehr schwach humos, schwach durchwurzelt, gleitender Übergang
$B_{vh}$	69 - 77	cm	gelblichbrauner (10 YR 4/4) stark lehmiger Schluff, carbonatarm (0,3 %), sehr schwach humos, undeutlicher Übergang
$IIC_c$	77 - 100+	cm	gelblichbrauner (10 YR 5/4) stark lehmiger Schluff, carbonatreich (17,5 %), Konkretionen, sehr schwach humos, vereinzelte Humustapeten in den Regenwurmröhren

Horizont	Mächtigkeit	pH-Wert	Humus in %	C in %	N in %	C/N	Fe <sub>d</sub> in %	Fe <sub>o</sub> in %	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
$A_p$	0 - 27	6,4	1,9	1,1	0,14	8,1	0,80	0,12	0,15
$A_{hA_1}$	27 - 44	7,0	1,2	0,7	0,09	7,7	0,92	0,14	0,15
$A_{hB_t}$	44 - 69	7,0	0,9	0,5	0,07	7,4	0,99	0,13	0,13
$B_{vh}$	69 - 77	7,4	0,6	0,4	0,06	6,6	1,02	0,12	0,12
$IIC_c$	77 - 100+	7,7	0,3	0,2	0,06	7,7	0,78	0,05	0,06

Horizont	Na	K	Mg mval/100 g Boden	Ca	S	H	T	V in %	T	U in %	S
$A_p$	0,28	0,63	1,45	14,94	17,31	1,68	18,99	91	22,0	73,0	5,0
$A_{hA_1}$	0,36	0,17	1,82	17,55	19,90	1,60	21,50	93	28,2	68,0	3,8
$A_{hB_t}$	0,36	0,20	2,15	19,06	21,77	1,00	22,77	95	36,1	63,2	3,7
$B_{vh}$	0,05	0,22	1,91	18,51	20,70	0,00	20,70	100	28,3	70,6	1,1
$IIC_c$	0,02	0,13	1,25	11,27	12,67	0,00	12,67	100	18,1	75,0	6,9

Profil 3: Parabraunerde - Tschernosem (L-T)

Lage: Neubaugebiet Friedberg, an der Straße nach Roßbach (R 348164/H 557678),  
166 m NN, sehr schwach nach Norden geneigter Oberhang

Klima:  $\bar{N}$  ca. 563 mm,  $\bar{T}$  ca. 9,0 °C

Ausgangsgestein: Löß

Nutzung: vormals Acker

$A_p$	0 - 40	cm dunkelbrauner (10 YR 3/4) stark lehmiger Schluff, carbonatfrei, schwach humos, locker, stark durchwurzelt, deutlich abgegrenzt
$A_{1h}$	40 - 50	cm dunkelbrauner (10 YR 4/4) stark lehmiger Schluff, carbonatfrei, sehr schwach humos, gut durchwurzelt, feinpolyedrisch
$B_{th}$	50 - 95	cm dunkelbrauner (7,5 YR 4/2) schluffig toniger Lehm, carbonatfrei, sehr schwach humos, Humusbezüge auf den Polyedern, durchwurzelt, gleitender Übergang
$B_{vh}$	95 - 130	cm brauner (7,5 YR 4/4) schluffiger Lehm, carbonatfrei, sehr schwach humos, Humusschlieren, durchwurzelt, welliger Übergang
$IIC_C$	130 - 150+	cm gelblichbrauner (10 YR 6/4) stark lehmiger Schluff, carbonatreich (14,1 %), sehr schwach humos, Humusflecken, Kalkkonkretionen

Horizont	Mächtigkeit	pH-Wert	Humus in %	C in %	N in %	C/N	$Fe_d$ in %	$Fe_o$ in %	$Fe_o/Fe_d$
$A_p$	0 - 40	6,6	2,0	1,1	0,15	7,9	0,78	0,16	0,20
$A_{1h}$	40 - 50	6,8	0,9	0,5	0,08	6,4	0,81	0,18	0,22
$B_{th}$	50 - 95	6,5	0,5	0,3	0,05	5,2	1,17	0,14	0,12
$B_{vh}$	95 - 130	6,9	0,4	0,2	0,04	5,9	1,10	0,13	0,12
$IIC_C$	130 - 150+	7,7	0,3	0,2	0,03	7,1	0,74	0,03	0,04

Horizont	Na	K	Mg mval/100 g Boden	Ca	S	H	T	V in %	T	U in %	S
$A_p$	0,14	2,48	1,25	9,47	13,33	1,18	14,51	92	18,7	76,0	5,3
$A_{1h}$	0,26	1,64	1,37	8,48	11,75	1,31	13,06	90	23,7	72,3	4,0
$B_{th}$	0,53	0,23	2,85	15,55	19,16	2,33	21,49	89	35,9	61,9	2,2
$B_{vh}$	0,28	0,17	2,07	13,13	15,65	1,20	14,45	95	29,1	68,4	2,5
$IIC_C$	0,09	0,09	1,31	9,57	11,06	0,00	11,06	100	20,7	76,7	2,6

Profil 4: erodierte Tschernosem - Parabraunerde (T-L)

Lage: 150 m nördlich Profil 3 (R 348162/H 557694), 160 m NN, mäßig nach Norden geneigter Oberhang

Klima:  $\bar{N}$  ca. 563 mm,  $\bar{T}$  ca. 9,0 °C

Ausgangsgestein: Löß

Nutzung: vormalig Acker

- $A_p$  0 - 30 cm dunkelbrauner (10 YR 3/3) stark lehmiger Schluff, carbonatfrei, sehr schwach humos, locker, teilweise klumpig, gut durchwurzelt, scharfe Grenze
- $B_{ht}$  30 - 88 cm dunkelbrauner (7,5 YR 4/4) schluffig toniger Lehm, sehr schwach humos, Humusflecken auf den Polyedern, carbonatfrei, allmählicher Übergang
- $B_v$  88 - 121 cm gelblichbrauner (7,5 YR 5/4) schluffiger Lehm, carbonatfrei, sehr schwach humos, Regenwurmröhren mit Humustapeten, schwach ausgebildete Polyeder, deutliche Grenze
- $IIC_C$  121 - 140+ cm gelblichbrauner (10 YR 5/4) stark lehmiger Schluff, carbonatreich (12,4 %), sehr schwach humos, vereinzelt Humusflecken, Kalkkonkretionen

Horizont	Mächtigkeit	pH-Wert	Humus in %	C in %	N in %	C/N	Fe <sub>d</sub> in %	Fe <sub>o</sub> in %	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
$A_p$	0 - 30	6,5	0,5	0,3	0,33	8,8	0,73	0,20	0,27
$B_{ht}$	30 - 88	6,1	0,4	0,2	0,04	5,3	1,16	0,14	0,12
$B_v$	88 - 121	6,9	0,3	0,2	0,03	5,5	1,03	0,11	0,10
$IIC_C$	121 - 140+	7,6	0,2	0,1	0,02	6,7	0,78	0,05	0,06

Horizont	Na	K	Mg mval/100 g Boden	Ca g	S Boden	H	T	V in %	T	U in %	S
$A_p$	0,10	0,18	0,94	7,56	8,79	1,87	10,66	82	20,3	75,7	4,0
$B_{ht}$	0,15	0,24	2,52	14,70	17,62	3,60	21,22	83	34,4	63,2	2,4
$B_v$	0,13	0,20	2,06	13,72	16,11	0,91	17,02	95	29,2	69,8	1,0
$IIC_C$	0,04	0,09	1,48	10,36	11,98	0,00	11,98	100	18,6	78,7	2,7

Profil 5: Humose Parabraunerde (hL)

Lage: 1 km SE Gronau (R 348506/H 556116), 133 m NN, sehr schwach nach Norden geneigter Hang

Klima:  $\bar{N}$  ca. 620 mm,  $\bar{T}$  ca. 9,5 °C

Ausgangsgestein: Löß

Nutzung: Straßenbaurand, vormals Acker

$A_p$	0 - 25	cm	Dunkelbrauner (10 YR 4/3) stark lehmiger Schluff, carbonatfrei, schwach humos, lockeres Gefüge, stark durchwurzelt, deutliche Grenze
$A_1$	25 - 32	cm	hellbrauner (10 YR 4/4) schluffig Lehm, carbonatfrei, sehr schwach humos, stark durchwurzelt, Subpolyedergefüge, deutlicher Übergang
$B_{(h)t}$	32 - 95	cm	dunkelbrauner (7,5 YR 4/4) schluffig toniger Lehm, carbonatfrei, sehr schwach humos, vereinzelte Humustapeten auf den Bodenaggregaten, Polyedergefüge, deutliche Grenze
$IIC_c$	95 - 115+	cm	gelblichbrauner (10 YR 5/6) stark lehmiger Schluff, carbonatreich (14,3 %), ganz wenige Wurmröhren mit Humus verkleidet

Horizont	Mächtigkeit	pH-Wert	Humus in %	C in %	N in %	C/N	$Fe_d$ in %	$Fe_o$ in %	$Fe_o/Fe_d$
$A_p$	0 - 25	5,8	1,9	1,1	0,08	13,7	0,87	0,24	0,27
$A_1$	25 - 32	5,9	0,6	0,3	0,03	10,4	1,24	0,21	0,17
$B_{(h)t}$	32 - 95	6,3	0,5	0,3	0,03	9,4	1,86	0,14	0,08
$IIC_c$	95 - 115+	7,6	0,1	0,1	0,01	12,3	0,77	0,04	0,05

Horizont	Na	K	Mg mval/100	Ca g Boden	S	H	T	V in %	T	U in %	S
$A_p$	0,10	0,21	0,67	5,85	6,8	6,8	13,6	50	23,7	72,4	3,9
$A_1$	0,16	0,30	1,25	9,00	10,7	2,3	13,0	82	28,4	66,5	5,1
$B_{(h)t}$	0,47	0,35	1,87	15,30	18,0	1,8	19,8	91	37,6	58,0	4,4
$IIC_c$	0,28	0,12	1,13	11,57	13,0	0,0	13,0	100	17,2	78,6	4,2

Profil 6: Parabraunerde (L)

Lage: 100 m östlich Profil 5 (R 348516/H 556112), 132 m NN, schwach nach Norden geneigter Hang

Klima:  $\bar{N}$  ca. 620 mm,  $\bar{T}$  ca. 9,5 °C

Ausgangsgestein: Löß

Nutzung: Straßenbaurand, vormals Acker

- $A_p$  0 - 28 cm dunkelbrauner (10 YR 4/3) stark lehmiger Schluff, carbonatfrei, schwach humos, locker, Krümelgefüge, gut durchwurzelt, deutlicher Übergang
- $A_1$  28 - 41 cm gelblichbrauner (10 YR 5/4) stark lehmiger Schluff, carbonatfrei, humusfrei, gut durchwurzelt, Subpolyedergefüge, deutlicher Übergang
- $B_t$  41 - 108 cm brauner (7,5 YR 4/4) schluffig toniger Lehm, carbonatfrei, humusfrei, Polyedergefüge, scharfe Grenze
- $IIC_c$  108 - 130+ cm gelblichbrauner (10 YR 5/4) lehmiger Schluff, carbonatreich (15,6 %), mäßig dicht gelagert

Horizont	Mächtigkeit	pH-Wert	Humus in %	C in %	N in %	C/N	Fe <sub>d</sub> in %	Fe <sub>o</sub> in %	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
$A_p$	0 - 28	5,8	1,8	1,10	0,07	14,6	0,89	0,26	0,29
$A_1$	28 - 41	5,7	0,1	0,05	0,005	11,2	1,24	0,22	0,18
$B_t$	41 - 108	6,0	0,0	0,02	0,002	10,0	1,46	0,26	0,18
$IIC_c$	108 - 130+	7,7	0,0	0,01	0,001	10,0	0,92	0,08	0,09

Horizont	Na	K	Mg mval/100 g Boden	Ca	S	H	T	V in %	T	U in %	S
$A_p$	0,15	0,12	1,13	7,40	8,8	6,9	15,7	56	21,9	74,2	3,9
$A_1$	0,35	0,22	1,20	8,63	10,4	2,9	13,3	78	23,6	72,0	4,4
$B_t$	0,50	0,56	2,01	14,02	17,1	2,3	19,4	88	39,5	56,7	3,8
$IIC_c$	0,01	0,11	1,42	10,35	11,9	0,0	11,9	100	16,4	80,2	3,4