

Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung
Heft 37

Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal

Von

Heinrich Zakosek

Wiesbaden

Mit 1 Abbildung und 19 Tabellen

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9-11

Wiesbaden 1962

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.

37

46 S.

1 Abb.

19 Tab.

Wiesbaden, 20. 6. 1962

Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

Herausgegeben vom
Hessischen Landesamt für Bodenforschung

Heft 37

Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal

Von

Heinrich Zakosek

Wiesbaden

Mit 1 Abbildung und 19 Tabellen

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9–11

Wiesbaden 1962

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.

37

46 S.

1 Abb.

19 Tab.

Wiesbaden, 20. 6. 1962

Herrn Dr. PAUL PFEFFER gewidmet in Würdigung seiner Lebensarbeit,
die wesentlich zum Fortschritt auf dem Gebiet der Bodenchemie beigetragen hat.

Inhalt

I. Einleitung	5
II. Untersuchungen an Steppenböden im nördlichen Oberrheintal.	7
a) Verbreitung der Steppenböden	7
b) Klima im Steppenbodengebiet	8
c) Zur Vegetation im Steppenbodengebiet	10
d) Formen von Steppenböden und deren Eigenschaften	11
1. Dunkelbraune Steppenböden aus Löß.	11
2. Braune Steppenböden aus Löß.	15
3. Degradierete braune Steppenböden aus Löß	18
4. Degradierete graue Steppenböden aus Hochflutlehm.	23
III. Diskussion der Untersuchungsergebnisse	29
a) Zur Genese der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal	29
1. Vorbemerkung.	29
2. Die Bildungsphase	29
3. Die Degradationsphase	31
4. Die Regradationsphase	31
5. Die gegenwärtige Entwicklung.	32
6. Zur Krumendegradation	33
b) Zur Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal	34
1. Vorbemerkung.	34
2. Vergleiche mit Steppenböden anderer Gebiete	34
3. Gliederungsvorschlag	40
IV. Zusammenfassung	42
V. Angewendete Untersuchungsmethoden	42
a) Chemische Methoden	42
b) Physikalische Methoden	43
VI. Schriftenverzeichnis	44

I. Einleitung

Die Gewannbezeichnung „Schwarzerd“¹⁾ dürfte der älteste Hinweis auf Steppenböden im Oberrheintal sein. LUEDECKE (1899) erwähnte bereits Schwarzerden in Rheinhessen. Er verstand darunter allerdings alle dunklen humosen Böden. SCHOPF (1913) hat als erster (auf Bl. Fürfeld) Steppenböden ausgegrenzt, die er wie folgt beschrieben hat: „In der Gemarkung Eckelsheim kommen an verschiedenen Stellen größere Flächen von Löß vor, welcher durch die Aufnahme von Humus dunkel gefärbt erscheint; er wurde auf unserer Karte durch die Bezeichnung Schwarzerde

¹⁾ Die Gewann Schwarzerd liegt 1 km östlich Frei-Laubersheim (Rheinhessen).

kenntlich gemacht“ (SCHOPP 1913, S. 68). SCHOPP (1913) hat zwar die Bezeichnung Schwarzerde (Tschernosem) für die dunklen, humosen AC-Böden Rheinhessens in die Literatur eingeführt, ohne den Begriff näher zu deuten. Es ist das Verdienst von STREMMER sen. (1914 a, 1914 b), die humosen AC-Böden aus Löß im Oberrheintal als echte Steppenböden gedeutet zu haben. Zu dieser Feststellung wurde STREMMER (1928) durch Arbeiten von SCHERING (1909) und GEISENHEYNER (1914) angeregt. Er veranlaßte daraufhin seine Schüler HOHENSTEIN (1920) und SCHLACHT (STREMMER 1928, SCHLACHT 1933) zu genauen Aufnahmen im gesamten reichsdeutschen Oberrheintal. HOHENSTEIN (1920), dem wir eine sehr gründliche und umfassende Arbeit verdanken, deutete die humosen AC-Böden aus Löß in Rheinhessen als „Schwarzerden“ und verglich sie mit den russischen Tschernosemen. SCHLACHT (STREMMER 1928, SCHLACHT 1933, vgl. auch STREMMER 1930 a, 1930 b) nannte die verwandten Formen der Vorderpfalz und Badens „tschernosemartig“. SCHLACHT wies außerdem als erster auf „tschernosemartige Böden“ und ihre Degradationsstufen auf Hochflutlehmen hin. Das Ergebnis der Untersuchungen von HOHENSTEIN und SCHLACHT hat STREMMER sen. (1930b, 1936) wie folgt zusammengefaßt: Die Steppenböden im Oberrheintal sind heller und humusärmer als die echten Tschernoseme, außerdem sind sie rötlich getönt. Diese Merkmale sind nach STREMMER typisch für Übergangsformen zum Kastanosem. Er nannte die Steppenböden des Oberrheintales darum „braune Steppenböden“, die zum Teil degradiert sind.

Im geologischen Schrifttum werden „Schwarzerden“ in Rheinhessen u. a. von WENZ (1921) und KAYSER (1924) erwähnt. WAGNER (1926) hielt die Bezeichnung Schwarzerde für zu weitgehend und schlug stattdessen „humoser, kalkfreier Lößlehm“ oder „entartete Schwarzerde“ vor. SCHNELL (1928) führte an einer holozänen und fossilen Schwarzerde aus Sprendlingen eingehende chemische Untersuchungen durch, gab jedoch keine genetische oder systematische Deutung.

MÜNICHSDORFER (1929) hat die Untersuchungsergebnisse von SCHLACHT, SCHOTTLER (1930) die von HOHENSTEIN weitgehend bestätigt. LAATSCH (1938) wies darauf hin, daß ein großer Teil der als Steppenböden bezeichneten Böden Rheinhessens „unentwickelte (erodierte) Lößböden“ sind.

Gelegentlich der Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Bad Kreuznach (Sept. 1952) lebte die Diskussion um die Steppenböden im Oberrheintal wieder auf. Am Ende der Tagung hielten die meisten Exkursionsteilnehmer¹⁾ einen großen Teil der humosen AC-Böden im nördlichen Oberrheintal für echte Steppenböden. Neuere Untersuchungen führten Stremme jun. (1953), OSTENDORFF (1954), HARTH (1956) und GANSEN & HARTH (1957) durch. Diese Autoren halten die Steppenböden des Oberrheintales für Relikte aus der postglazialen Warmzeit und bestätigten in dieser Hinsicht die bereits von HOHENSTEIN (1920) und SCHOTTLER (1930) geäußerten Auffassungen. Stremme jun. (1953) und Ostendorff (1954) benutzten allerdings wieder die von STREMMER sen. eingeführten Namen. Beide Autoren betonten aber, daß die braunen Steppenböden größtenteils regradiert sind. HARTH (1956) und GANSEN & HARTH (1957) schränkten die Bezeichnung „Steppenböden“ auf „steppenartige Böden“ ein.

¹⁾ Die Exkursion durch die Steppenbodengebiete Rheinhessens und der Vorderpfalz führte der Verfasser am 23. 9. 1952.

Aus der vorweg zitierten Literatur ist zu entnehmen, daß die meisten Autoren einen ± großen Teil der humosen AC-Böden des nördlichen Oberrheintales für echte Steppenböden halten, ohne allerdings in den Auffassungen über Genese und Systematik dieser Böden voll übereinzustimmen. Diese Arbeit soll in erster Linie ein Beitrag zur Genese und Systematik der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal (Rheinhessen, Vorderpfalz, Rheingau, Ried) sein.

Der Verf. hatte bei seiner nunmehr fast zehnjährigen bodenkundlichen Tätigkeit im nördlichen Oberrheintal Gelegenheit, bei Kartierungsarbeiten und Vergleichsbegehungen die Steppenböden dieses Gebietes kennenzulernen. Außerdem konnte er vergleichende Begehungen in der Wetterau, im Limburger Becken, im Kaiserstuhlgebiet, im Elsaß, in Mittel- und Süddeutschland, Spanien, Frankreich, Österreich, Italien und Jugoslawien durchführen. Bei der Kartierung und den Begehungen wurden zahlreiche Profile aufgenommen und untersucht. Von diesen Profilen werden im Rahmen der Arbeit einige typische Profile mitgeteilt.

Für Führungen im Gelände und bemerkenswerte örtliche Hinweise habe ich den Herren Prof. Dr. FILIPOVSKI-Skopje, Dr. MILKOVIĆ-Novi Sad, Dipl.-Ing. NESTROY-Wien, Prof. Dr. NEUGEBAUER-Novi Sad zu danken.

Den Herren Dr. BECKEL-Mainz, Dr. GERKHAUSEN-Bonn, Dr. HEIM-Mainz, W. JORDAN-Mainz, Dr. KERPEN-Bonn, Prof. Dr. KUBIĚNA-Hamburg, Dr. KUTSCHER-Wiesbaden, Dr. MÜNNICH-Heidelberg, Prof. Dr. SCHACHTSCHABEL-Hannover, Dr. ALBERT SCHWARZ-Wiesbaden und Dr. SCHWERTMANN-Hannover habe ich für Spezialuntersuchungen und Hinweise sehr zu danken. Die Übersetzungen aus der russischen Literatur verdanke ich den Herren Dr. ĆIRIĆ-Sarajevo und Dr. SEMMEL-Wiesbaden.

Für materielle und ideelle Unterstützung dieser Arbeit bin ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft, dem Geol.-Paläontol. Institut der Universität Mainz, dem Institut für Bodenkunde der Universität Bonn, dem Hessischen Landesamt für Bodenforschung, dem Geologischen Landesamt Rheinland-Pfalz und meinen früheren und jetzigen Vorgesetzten, den Herren Prof. Dr. FALKE, Prof. Dr. MICHELS, Dr. SCHOTTLER und Prof. Dr. UDLUFT zu großem Dank verpflichtet.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. PFEFFER-Wiesbaden für die zahlreichen chemischen Untersuchungen und Herrn Prof. Dr. Dr. MÜCKENHAUSEN-Bonn, für grundlegende Anregungen und für vielseitige Unterstützung.

II. Untersuchungen an Steppenböden im nördlichen Oberrheintal

a) Verbreitung der Steppenböden

Auf den geologischen Spezialkarten Bl. Fürfeld (SCHOPP 1913), Bl. Wöllstein-Kreuznach (WAGNER 1926) und Bl. Wörrstadt (WAGNER 1935) sind Steppenböden als Schwarzerden dargestellt. Weitere Darstellungen von Steppenböden des nördlichen Oberrheintales befinden sich auf den bodenkundlichen Übersichtskarten von MÜNICHSDORFFER (1929) und SCHOTTLER (1930), in Form kleinmaßstäblicher Übersichtsskizzen in den Arbeiten von STREMMER sen. (1928, 1930 a), SCHLACHT (1953), OSTENDORFF (1954) und HARTH (1956). Die bis 1933 erschienenen Übersichten hat STREMMER (1936) in der Bodenkarte des Deutschen Reiches zusammengefaßt. Hiernach sind die Steppenböden im nördlichen Oberrheintal auf Rheinhessen und die Vorderpfalz beschränkt und nehmen ein Areal von gut 1000 km² ein.

Die erwähnten Darstellungen weichen z. T. erheblich voneinander ab. Bei den meisten Autoren sind die Steppenbodenflächen zu ausgedehnt dargestellt, weil sie die Pararendzinen mit in die Steppenbodenflächen einbezogen haben. Darauf hat bereits STREMMER jun. (1953) aufmerksam gemacht.

Eine genaue Erfassung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal ist nur durch eine planmäßige Bodenkartierung i. M. 1 : 25000 möglich. Die bisher vom Geologischen Landesamt Rheinland-Pfalz (ZAKOSEK 1953, 1956, STÖHR & ZAKOSEK 1961) und vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung (PINKOW 1956, ZAKOSEK 1956, 1958) durchgeführten Spezial- und Übersichtskartierungen gestatten nur eine skizzenhafte Wiedergabe. In der Abb. 1 sind die Stellen vermerkt, wo Steppenböden bisher flächenhaft beobachtet worden sind.

Wie aus der Abb. 1 zu entnehmen ist, sind die Steppenböden im nördlichen Oberrheintal im Norden durch den Südrand des Rheinischen Schiefergebirges, im Westen durch den Ostrand des Nahe- und des Pfälzer Berglandes und des Pfälzer Waldes, im Süden durch eine Linie Edenkoben—Germersheim und im Osten durch eine Linie Germersheim—Lampertheim—Wiesbaden begrenzt. Insgesamt dürften nur etwa 200 km² Steppenbodenfläche vorliegen.

Im Steppenbodengebiet des nördlichen Oberrheintales treten vier Formen von Steppenböden auf (vgl. S. 11). Die „dunkelbraunen Steppenböden aus Löß“ wurden bisher nur im Kern des Steppenbodengebietes und zwar im Raum Alzey—Wörrstadt—Wöllstein beobachtet. Sie haben eine Höhenlage zwischen NN + 130 bis NN + 260 m. Die dunkelbraunen sind von „braunen Steppenböden aus Löß“ umgeben. Diese haben offenbar die größte zusammenhängende Verbreitung und liegen in Höhenlagen von NN + 90 bis NN + 240 m. Sie gehen in der Randzone des Steppenbodengebietes in die „degradierten braunen Steppenböden aus Löß“ und in die „degradierten grauen Steppenböden aus Hochfutilehm“ über. Die beiden degradierten Formen liegen also im äußeren Gürtel des oberrheinischen Steppenbodengebietes. Die degradierten braunen Steppenböden treten in Höhenlagen von NN + 90 bis zu NN + 295 m auf. Die degradierten grauen Steppenböden hingegen liegen nur in einem Niveau zwischen NN + 80 bis NN + 95 m, dem Bildungsbereich ihrer Ausgangssubstrate.

b) Klima im Steppenbodengebiet

Da großmaßstäbliche Kleinklimakarten vorerst nur vom Rheingau vorliegen, können für das gesamte nördliche oberrheinische Steppenbodengebiet noch keine exakten Klimaangaben gemacht werden. Die nachfolgenden Angaben stammen aus der Klimakunde des Deutschen Reiches (1939) und aus dem Klimaatlas von Rheinland-Pfalz (1957). Bei der Interpolation der Klimadaten wurden die Höhenlage ü. NN und örtliche kleinklimatische Erfahrungen aus dem Rheingau berücksichtigt.

Die mittlere Niederschlags- und Temperaturverteilung von 2 Stationen im nördlichen oberrheinischen Steppenbodengebiet sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Nach Tab. 1 fallen in den Monaten Mai bis Oktober im Steppenbodengebiet die höchsten Niederschläge. Die Wintermonate sind ausgesprochen mild. Die für die Steppenbodenentwicklung notwendige mehrwöchige sommerliche (durch die Dürre)

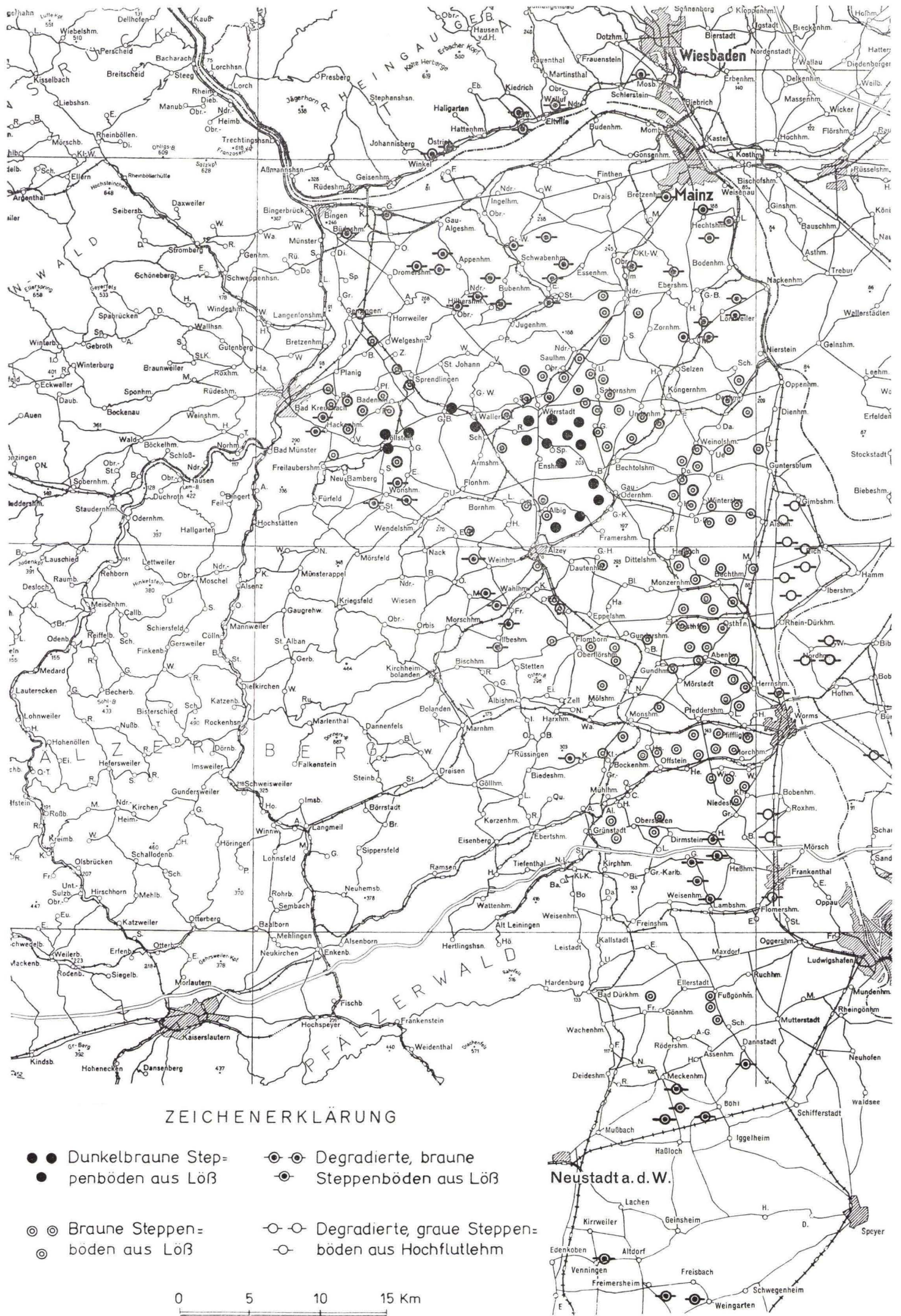


Abb. 1. Die Vorkommen von Steppenböden im nördlichen Oberrheintal. Zusammen gestellt von W. Stöhr und H. Zakosek.

Tabelle 1. Mittlere Niederschlagssumme und mittlere Lufttemperatur in Alzey und Worms (1881—1930)

Station	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	
Alzey	34	29	36	39	44	57	60	57	49	49	40	43	537	Mittlere Niederschlagssumme in mm für Monate u. Jahr
Worms	31	26	32	35	47	66	64	61	47	51	38	38	536	
Alzey	0,3	1,6	4,7	8,5	13,2	16,2	17,7	16,8	13,5	8,7	4,1	1,5	8,9	Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur in °C
Worms	0,8	2,4	5,7	9,8	14,9	18,1	19,8	18,8	15,0	9,8	4,9	2,0	10,2	

und winterliche (durch die Kälte) Lahmlegung der Abbauprozesse tritt im nördlichen oberrheinischen Steppenbodengebiet nicht auf. Bei den gegenwärtigen Klimaverhältnissen ist daher im nördlichen Oberrheintal keine Steppenbodenentwicklung zu erwarten.

Der mittlere Jahresniederschlag im oberrheinischen Steppenbodengebiet liegt zwischen 481 und 620 mm. Die mittleren Jahresdurchschnittstemperaturen liegen zwischen den Extremen um 8° bis 10,2° C. Diese recht beträchtlichen Spannen kann man jedoch aufschlüsseln, wobei bemerkenswerte Beziehungen zu den Steppenbodenformen festzustellen sind. In Tab. 2 ist der mittlere Jahresniederschlag nach den vier Steppenbodenformen aufgeschlüsselt.

Tabelle 2. Die mittleren Jahresniederschläge im nördlichen oberrheinischen Steppenbodengebiet (1881—1930)

Steppenbodenformen	Mittlerer Jahresniederschlag in mm
dunkelbraune	518—537
braune	481—536
degradierte braune	515—620
degradierte graue	521—536

Tabelle 3. Die mittleren Jahresdurchschnittstemperaturen im nördlichen oberrheinischen Steppenbodengebiet (1881—1930)

Steppenbodenformen	Mittlere Jahresdurchschnittstemperaturen in °C
dunkelbraune	~ 9
braune	8,9—10,2
degradierte braune	7,5— 9,7
degradierte graue	~10

Nach Tab. 2 erhalten die braunen Steppenböden im Durchschnitt die wenigsten, die degradierten braunen Steppenböden die meisten Niederschläge. Die Humiditätsabhängigkeit der Steppenbodenformen wird noch deutlicher, wenn man Tab. 3 und 4 betrachtet.

Aus den Angaben der Tabellen 2 und 3 ergeben sich für die vier Steppenbodenformen die in Tabelle 4 zusammengestellten mittleren Regenfaktoren.

Tabelle 4. Die mittleren Regenfaktoren der vier Steppenbodenformen im nördlichen Oberrheintal

Steppenbodenformen	Mittlerer Regenfaktor nach LANG (1920)
dunkelbraune	58,6
braune	53,5
degradierte braune	65,9
degradierte graue	52,8

Die Durchfeuchtung nimmt nach Tab. 4 eindeutig von den braunen über die dunkelbraunen zu den degradierten braunen Steppenböden zu. Eine Ausnahme bilden die degradierten grauen Steppenböden. Der Wert dieser Durchschnittsermittlungen wird auch durch die z. T. großen Spannen im Temperatur- und Niederschlagsgang nicht wesentlich gemindert, weil die Ausschläge hier gleichsinnig gekoppelt sind: Bei den degradierten braunen Steppenböden treten in Gebieten mit hohen Temperaturen auch stets höhere Niederschläge auf und umgekehrt.

c) Zur Vegetation im Steppenbodengebiet

Die erste zusammenhängende Besiedlung des Steppenbodengebietes im nördlichen Oberrheintal ist wahrscheinlich neolithisch. Seitdem dürfte das ganze Gebiet fast ununterbrochen ackerbaulich genutzt worden sein (HUND 1961). In der römischen Zeit ist vielerorts der Weinbau dazugekommen. Der Ackerbau hat außerdem eine höhere Intensitätsstufe erreicht (HUND 1961). Durch die jahrtausendlange ackerbauliche Nutzung der Steppenböden ist die natürliche Vegetation verdrängt und die Regradation der Böden wahrscheinlich gefördert worden.

Bislang fehlt auf den Steppenböden noch ein eindeutiger Florennachweis. Wie weit es sich bei der Flora auf den landwirtschaftlich nicht genutzten Restflächen (wie im Mainzer Sand, auf dem Gau-Algesheimer Kopf usw.) tatsächlich um Relikte aus der postglazialen Warmzeit handelt, ist vorerst noch unklar. JÄNNICKE (1892), STREMMERSEN (1914 b), HOHENSTEIN (1920) und SCHOTTLER (1930) vermerken südosteuropäische Florenbestandteile im Mainzer Sand und fassen sie als Relikte einer einst Mitteleuropa bedeckenden Steppe auf. Nach OBERDORFER (1937 und zit. in: HARTH 1956) ist die Flora im Mainzer Sand und auf den grundwasserfreien Böden des trockenen Mainzer Beckens mit den osteuropäischen Pflanzengesellschaften nahe verwandt.

d) Formen von Steppenböden und deren Eigenschaften

Wie aus der Abb. 1 zu ersehen ist, kommen im nördlichen Oberrheintal dunkelbraune, braune, degradierte braune und degradierte graue Steppenböden vor. Diese vier Formen von Steppenböden haben zwar gleichen Grundaufbau, besitzen aber einige unterschiedliche Merkmale. Im folgenden Abschnitt werden typische Profile nebst Analysen mitgeteilt, die Aufbau und Eigenschaften der vier Steppenbodenformen des nördlichen Oberrheintales zeigen.

I. Dunkelbraune Steppenböden aus Löß

Die dunkelbraunen Steppenböden haben sich aus Löß entwickelt. Bisher wurden sie nur in Rheinhessen und zwar im Raum Alzey—Wörrstadt—Wöllstein beobachtet (vgl. Abb. 1). Die Regenfaktoren im Bereich der dunkelbraunen Steppenböden liegen um 59. Aufbau und Eigenschaften der dunkelbraunen Steppenböden gehen aus den Beschreibungen und Analysen von P 1 und P 2 hervor.¹⁾

P 1

Örtlichkeit: 80 m östlich Wasserbehälter Ensheim (Rheinhessen);
Bl. Wörrstadt (6114), r 343642 h 552017.

Lage: 260 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 525 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 9° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 58.

Nutzung: Acker (Zuckerrüben, Weizen, Luzerne).

Boden: Dunkelbrauner Steppenboden aus Löß.

A _{1p}	0—30 cm	dunkelbrauner (10YR 3/3) Lehm, humos, kalkhaltig, krümelig, locker und ohne Übergang zum A ₂ (Probe-Nr. 613).
A ₂	30—50 cm	sehr dunkelgraubrauner (10YR 3/2) Lehm, humos, kalkhaltig, kotkrümelig, mit zahlreichen senkrechten Wurmröhren. Wurmröhren und Klüfte im unteren Teil des A ₂ mit Pseudomycelien ausgekleidet. Übergang zum AC allmählich. Im unteren A ₂ einige Krotowinen (Probe-Nr. 616).
AC	50—70 cm	dunkelbraun (10YR 3/3) und hellgelblichbraun (10YR 6/4) gesprenkelter Lehm, schwach humos, kalkhaltig, mit kotkrümeligem und nadelstichporigem Mischgefüge und zahlreichen senkrechten, pseudomycelreichen Wurmröhren und Klüften. Übergang zum C allmählich. Vereinzelte Krotowinen (Probe-Nr. 626).
C	70 cm +	hellgelblichbrauner (10YR 6/4) Löß, zahlreiche mit Humusbelägen austapezierte senkrechte Wurmröhren. Im oberen C vereinzelt weiche Kindl (max. ø 2 cm) und einige Krotowinen (Probe-Nr. 628).

P 2

Örtlichkeit: In der Südwand der Ziegeleigrube Stabroth in Wallertheim (Rheinhessen); Bl. Wörrstadt (6114), r 343168 h 552197.

¹⁾ P = Abkürzung für Profil.

Tabelle 5. Chemische und physikalische Analysendaten von dunkel-

Entnahmeort	Probe-Nr.	Horizont	Entnahmetiefe in cm u. Fl.	pH in KCl	T-S-Wert	S-Wert	T-Wert	V-Wert	CaCO ₃ in %	Laktat- lösliches		Gesamt-		Fe ₂ O ₃ in %
										K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O %	P ₂ O ₅ %	
P 1, Ensheim	613	A _{1p}	15	7,5	0	18,4	18,4	100	5,0	34	19	2,6	0,09	1,6
	616	A ₂	40	7,4	0	20,4	20,4	100	6,8	17	1	2,0	0,07	1,6
	626	AC	60	7,6	0	12,8	12,8	100	23,2	4	< 1	1,5	0,06	1,2
	628	C	100	7,6	—	—	—	—	21,3	4	< 1	2,0	0,05	1,4
P 2, Wallertheim	5	A _{1p}	15	7,5	0,2	14,0	14,2	98,5	7,1	2	< 1	2,2	0,17	—
	6a	A ₂	40	7,6	0	15,6	15,6	100	9,8	3	< 1	1,9	0,18	—
	6b	AC	60	7,6	—	—	—	—	25,6	—	—	—	—	—
	6c	C	100	7,6	—	—	—	—	22,4	—	—	—	—	—

Lage: 135 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 525 mm.

Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 9° C.

Regenfaktor nach LANG ~ 58.

Nutzung: Grubenrain.

Boden: Dunkelbrauner Steppenboden aus Löß.

A_{1p} 0—30 cm dunkelbrauner (10YR 3/3) Lehm, humos, kalkhaltig, krümelig, locker und ohne Übergang zum A₂ (Probe-Nr. 5).

A₂ 30—45 cm sehr dunkelgraubrauner (10YR 3/2) Lehm, humos, kalkhaltig, kotkrümelig, mit zahlreichen senkrechten Wurmröhren. Wurmröhren und Klüfte im unteren A₂ mit Pseudomycelien ausgekleidet. Übergang zum AC allmählich. Einige Krotowinen im unteren A₂ (Probe-Nr. 6a).

AC 45—65 cm dunkelbraun (10YR 3/3) und braun (10YR 5/3) gesprenkelter Lehm, schwach humos, kalkhaltig, mit kotkrümeligem und nadelstichporigem Mischgefüge. Zahlreiche senkrechte, mit Pseudomycelien ausgekleidete Wurmröhren und Klüfte. Sehr allmählicher Übergang zum C. Einige Krotowinen (Probe-Nr. 6b).

C 65 cm + brauner (10YR 5/3) Löß, mit zahlreichen senkrechten Wurmröhren, die mit Humusbelägen austapeziert sind. Die Zahl der Wurmröhren nimmt nach unten fast gleichmäßig ab. Nur einzelne Wurmröhren erreichen eine Tiefe von 3 m u. Fl. Im oberen C einige kleine (∅ < 1 cm) weiche Kindl und vereinzelt Krotowinen (Probe-Nr. 6c).

Die A-Horizonte von P 1 und P 2 sind etwa 70 cm mächtig und lassen sich in die Subhorizonte A_{1p}, A₂ und AC untergliedern. Der A_{1p} ist stets heller als der A₂ und scharf vom A₂ abgesetzt (Bearbeitungsgrenze). Alle übrigen Horizonte haben allmähliche Übergänge. Der A₂ ist der dunkelste Horizont und hat Farbwerte um 10YR 3/2 (dunkelbraun).

braunen Steppenböden aus Löß (Analytiker: Dr. PFEFFER, Dr. ZAKOSEK)

%	Humus				Korngrößen > 2 mm	Korngrößen in mm in % des Feinbodens										Ton v < 0,002	Porenvolumen in %	Durchlässigkeit in k_f cm/s	
	Z G.	SrL L	C/N	Sand					Schluff										
				2—1		1—0,6	0,6—0,2	0,2—0,1	0,1—0,06	0,06—0,02	0,02—0,01	0,01—0,006	0,006—0,002						
2,5	51,6	3,1	7,9	1,8				7,9								62,5	29,6	51,4	$\sim 1,5 \times 10^{-2}$
1,8	—	4,5	7,8	0,5				6,4								63,0	30,6	52,7	$\sim 1,5 \times 10^{-2}$
0,9	86,6	5,9	7,7	0,2				6,9								67,5	25,6	—	—
0,2	—	—	—	3,0				20,4								55,5	24,1	50,2	$< 1,5 \times 10^{-3}$
2,1	—	7,3	7,2	1,1	0,4	0,5	2,0	2,3	4,1	36,1	15,3	4,6	8,7	26,0	49,6	—	—	—	$\sim 1,5 \times 10^{-2}$
2,3	—	4,1	7,3	0,1	0,1	0,1	0,7	1,7	7,0	32,7	15,0	4,5	10,0	28,2	53,2	—	—	—	$\sim 1,5 \times 10^{-2}$
1,0	—	5,3	7,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	22,6	—	—	—	—	54,3	—	—	—	—	23,1	47,2	$< 1,5 \times 10^{-3}$

Der ganze Boden ist kalkhaltig. Eine deutliche Kalkanreicherung liegt im Grenzbe- reich vom AC zum C vor. Im Ca-Horizont ist der größte Teil des Kalkes fein ver- teilt. Lößkindl treten nur vereinzelt auf und erreichen auch nur ausnahmsweise die Größe einer Walnuß. Im unteren A₂, im gesamten AC und im oberen C tritt in Klüften und Wurmröhren Kalk als Pseudomycel auf. Da im AC die Kalkausblühun- gen gehäuft auftreten, verleihen sie ihm — neben dem heraufragenden C-Material — das gesprenkelte Aussehen.

Die Struktur im A-Horizont ist eine typische „Aufbaustruktur“ (MÜCKENHAUSEN 1958). Die Strukturelemente im A_{1p} sind mittel- bis großkrümelig (\varnothing 1 mm — 4 mm), porös und locker gelagert. Der A₂ besitzt ein Wurmlösungsgefüge (\varnothing der Aggregate 0,5 mm—3 mm). Im AC ist die Struktur nicht eindeutig. Doch bestehen auch in ihm große Teile aus Wurmlösungsaggregaten. Auch im C — mitunter bis zu einer Tiefe von 3,0 m u. Fl. — kann man in Wurmröhren traubenförmige Wurmlösungshäufchen beobachten. Krotowinen treten im Bereich oberer C, AC und unterer A₂ auf (40 cm bis 80 cm u. Fl.). Sie rühren von Hamstern und Zieseln her und sind im Bodenan- schnitt rund, oval oder lanzettförmig. Ihre Durchmesser liegen zwischen 5 cm und 20 cm. Alle morphologischen Merkmale weisen die dunkelbraune Form als Steppen- boden aus.

Im Dünnchluff zeigt der A-Horizont der dunkelbraunen Steppenböden ein lockeres, gut geflocktes Schwammgefüge ohne Braunlehmteilplasma. In der Grundmasse ist wenig Karbonat. Zahlreiche Calcitkristalle ragen in die Leitbahnen. Dagegen ist im oberen C viel primäres Carbonat. Auch der mikromorphologische Befund unterstreicht den Steppenbodencharakter von P 1 und P 2.

Bemerkenswert ist der sekundäre Kalkgehalt im A-Horizont. Die dunkelbraunen Steppenböden müssen demnach schon einmal kalkfrei gewesen sein, wie die unab- hängig voneinander durchgeführten mikromorphologischen Untersuchungen von

BECKEL, GERKHAUSEN und KUBIĚNA übereinstimmend ergeben haben. Eine Kalkanreicherung von oben her ist sehr unwahrscheinlich, weil viele Profile in geschlossener Steppenbodenfläche in höchsten Plateaulagen vorkommen, wo also kein Liefergebiet vorhanden wäre. Außerdem müßte dann der höchste Karbonatgehalt im oberen A sein. In Wirklichkeit aber nimmt der Karbonatgehalt im A-Horizont ungestörter Profile stets von oben nach unten zu. Der Kalk kann also nur durch Lösungsaufstieg in den A-Horizont gelangt sein. HOHENSTEIN (1920) hat bereits den „schimmeligen Kalkanflug“ (Pseudomycelien) im A-Horizont der Steppenböden als sekundär bezeichnet und mit Lösungsaufstieg erklärt. Für diese Annahme spricht ferner die hohe Durchlässigkeit und Kapillarität des A und die schwache Stauneigung des oberen C. In Zeiten stärkster Durchfeuchtung und Verdunstung (Sommermonate) wird offenbar aus dem Ca-Horizont gelöstes Karbonat über die Kapillaren in den A transportiert, wo es sich beim Verdunsten des Lösungswassers als Calcit ausscheidet. Diese sekundären Kalkausscheidungen sind z. T. makroskopisch (als Pseudomycelien) zu erkennen. Die Pseudomycelien reagieren auf Salzsäure, sind also eindeutig karbonatisch. Dieser Prozeß der sekundären Kalkanreicherung ist offenbar durch eine Klimaänderung und durch den Ackerbau ausgelöst worden. Er hält noch heute (vgl. S. 31) an.

Alle genetisch und systematisch wichtigen chemischen und physikalischen Analysendaten von P 1 und P 2 stimmen gut überein (vgl. Tab. 5). Danach sind die dunkelbraunen Steppenböden alkalisch und völlig basengesättigt. Der Kalkgehalt im A-Horizont nimmt von oben nach unten zu. An den Dithionit- und Geamtnährstoffwerten und an der Korngrößenverteilung ist zu erkennen, daß noch keine Durchschlammung stattgefunden hat. Der A ist oben humos und unten schwach humos. Vor allem der enge CN-Quotient deutet auf den Steppenhumus hin. Das große Porenvolumen und die hohe Durchlässigkeit des A-Horizontes unterstreichen die hervorragende Struktur dieser Böden. Die Durchlässigkeit nimmt im C um mehr als eine Potenz ab. Im oberen C ist daher ein zeitweiliger Sickerwasserstau wahrscheinlich.

In Tab. 6 sind die röntgenologischen Untersuchungsergebnisse von P 1 und P 2 zusammengestellt.

Tabelle 6. Mineralische Zusammensetzung der Tonfraktion dunkelbrauner Steppenböden aus Löß (Analytiker: Dr. HEIM)

Entnahmeort	Probe-Nr.	Horizont	Entnahmetiefe in cm u. Fl.	Mineralische Zusammensetzung des Tones ($\varnothing < 2\text{ mm}$) in %				
				Quarz	Feldspat	Kaolinit	Glimmer	Chlorit
P 1, Ensheim	616	A ₂	40	15—25	3—5	3—5	15—25	40—60
	626	AC	60	15—25	3—5	3—5	15—25	40—60
	628	C	100	15—25	3—5	3—5	15—25	40—60
P 2, Wallertheim	6a	A ₂	40	20—30	3—5	2—3	10—20	40—60
	6b	AC	60	20—30	3—5	2—3	10—20	40—60

Nach Tab. 6 sind alle Horizonte mineralisch ziemlich gleich zusammengesetzt. Auch in den gröberen Fraktionen war nach HEIM — mit Ausnahme des Kalkes — kein

Unterschied in der mineralischen Zusammensetzung zwischen dem Solum und dem Ausgangsgestein zu erkennen. Offenbar hat bisher noch keine stärkere chemische Verwitterung mit sekundärer Tonmineralbildung im Solum der dunkelbraunen Steppenböden stattgefunden. Die etwas höheren Tongehalte im A von P 1 und P 2 können vielleicht auf die bessere Dispergierbarkeit des Solums zurückgehen. Es ist aber auch möglich, daß die geringe chemische Verwitterung und die intensive biologische Durcharbeitung schon eine geringfügige Silikaterkleinerung (z. B. Glimmerspaltung) bewirkt haben. Im Mineralbestand dunkelbrauner Steppenböden aus Löß hat sich im Laufe ihrer Entwicklung offenbar nur der Kalkgehalt verändert: Sie müssen einmal ziemlich vollständig entkalkt gewesen und sekundär wieder mit Kalk angereichert worden sein.

Unmittelbar bei P 2 liegt ein prähistorisches Gräberfeld. In diesem Gräberfeld haben GEIB und ZAKOSEK am 7. 5. 57 ein gut erhaltenes reich ausgestattetes Hockergrab der Adlerbergstufe entdeckt und ausgegraben. Das Grab stand 15 bis 18 dm u. Fl. in Rohlöß. In der Grabfüllung bis zum Boden des Grabes befanden sich mehrere größtenteils unzerstörte Steppenbodenschmitzen mit einem Rauminhalt von mehreren Litern. Schon der makroskopische Befund ergab, daß es sich dabei um A₂-Material aus dem dunkelbraunen Steppenboden handelte. Der Kern einer Schmitze hatte die in Tab. 7 zusammengestellten Kennwerte, die den Steppenbodencharakter eindeutig belegen.

Tabelle 7. Chemisch-physikalische Kennwerte von A₂-Material aus dem dunkelbraunen Steppenboden einer Grabfüllung (Analytiker: Dr. PFEFFER)

pH	CaCO ₃ in %	Humus in %	C/N	Ton in % (ø < 0,002 mm)	Farbwert n. MUNSELL
7,5	2,4	2,2	7,6	27,6	10YR 3/2

Nach den Analysendaten war der dunkelbraune Steppenboden an dieser Stelle schon vor mindestens 3000 Jahren in seinem heutigen Entwicklungszustand. In der Analyse fällt lediglich der geringere Kalkgehalt im Vergleich zum A₂ von P 1 und P 2 auf. Vielleicht war die sekundäre Kalkanreicherung zur Adlerbergszeit (älter als 1000 v. Chr.) noch nicht so weit fortgeschritten wie heute.

Etwa 1,40 m unter der Basis des A-Horizontes befindet sich ein 2 cm mächtiges Basalt-Tuffband, das von der Kärlicher Tufferuption stammt (FRECHEN 1959). FRECHEN (1959) und SCHÖNHALS (1959) stellten dieses Tuffband in den früheren Abschnitt des Würm-III-Stadials. Darüber folgt 1,40 m umgeschichteter Rohlöß und der Steppenboden. P 2 ist demnach an der Oberkante jüngsten Lösses entwickelt.

2. Braune Steppenböden aus Löß

Die braunen Steppenböden haben sich ebenfalls nur aus Löß entwickelt. Sie sind in Rheinhessen und in der Vorderpfalz verbreitet und nehmen von allen vier Steppenbodenformen die größte Fläche ein (vgl. Abb. 1). Die braunen Steppenböden sind an

die trockensten Gebiete des nördlichen Oberrheintales gebunden (vgl. Tab. 4, S. 10). In ihrem Verbreitungsgebiet liegen die Regenfaktoren um 54.

Nachfolgende Profile mit Analysen (P 3 und P 4) kennzeichnen die braunen Steppenböden aus Löß.

P 3

Örtlichkeit: In der Nordwand der Ziegeleigrube Udenheim-Süd (Rhein Hessen); Bl. Udenheim (6115), r 344420 h 552264.

Lage: 140 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme \sim 525 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur \sim 9° C.
Regenfaktor nach LANG \sim 58.

Nutzung: Ackerrain.

Boden: Brauner Steppenboden aus Löß unter jungem Kolluvium aus Steppenbodenmaterial.

- | | | |
|----------------|------------|---|
| A _x | 0— 60 cm | brauner (10YR 5/3) Lehm, schwach humos, kolluvial, kalkhaltig, mit rezenten Beimengungen und Übergang zum A ₁ (Probe-Nr. 630). |
| A ₁ | 60— 80 cm | brauner (10YR 5/3) Lehm, schwach humos, kalkhaltig, krümelig, locker und ohne Übergang zum A ₂ (Probe-Nr. 617). |
| A ₂ | 80—110 cm | dunkelbrauner (10YR 4/3—3/3) Lehm, schwach humos, kalkhaltig, kotkrümelig, mit zahlreichen senkrechten Wurmröhren. Wurmröhren und Klüfte im unteren A ₂ reich an Pseudomycelien. Übergang zum AC allmählich (Probe-Nr. 615). |
| AC | 110—125 cm | braun (10YR 5/3) und gelb (10YR 7/6) gesprenkelter Lehm, schwach humos, kalkhaltig, mit kotkrümeligem und nadelstichporigem Mischgefüge. Zahlreiche senkrechte, mit Pseudomycelien ausgekleidete Wurmröhren und Klüfte. Sehr allmählicher Übergang zum C (Probe-Nr. 615). |
| C | 125 cm + | gelber (10YR 7/6) Löß, mit zahlreichen senkrechten Wurmröhren, die mit Humusbelägen austapeziert sind. Im oberen C einige kleine weiche Kindl (Probe-Nr. 644).
Im unteren A ₂ , im AC und oberen C einige Krotowinen. |

P 4

Örtlichkeit: 500 m südlich Sandgrube Pfeddersheim (Rhein Hessen); Bl. Pfeddersheim (6315), r 344698 h 559926.

Lage: 127 m ü. NN; ebenes Hangzwischenstück im Mittelhang.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme \sim 536 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur \sim 9,9° C.
Regenfaktor nach LANG \sim 54.

Nutzung: Acker (Zuckerrüben, Weizen, Luzerne).

Boden: Brauner Steppenboden aus Löß unter jungem Kolluvium aus Steppenbodenmaterial.

- | | | |
|----------------|----------|--|
| A _x | 0— 25 cm | brauner (10YR 5/3) Lehm, humos, kalkhaltig, krümelig, mit rezenten Beimengungen. Junges Kolluvium, das augenblicklich der Nutzungshorizont (Krume) ist. Kleiner Übergang zum A ₁ (Probe-Nr. 1). |
|----------------|----------|--|

A ₁	25— 50 cm	brauner (10YR 5/3) Lehm, schwach humos, kalkhaltig, krümelig. Ohne Übergang zum A ₂ (alte Krume) (Probe-Nr. 2).
A ₂	50— 70 cm	brauner (10YR 5/3) bis dunkelbrauner (10YR 4/3) Lehm, schwach humos, kotkrümelig, kalkhaltig, mit zahlreichen senkrechten Wurmröhren. Wurmröhren und Klüfte im unteren Teil des A ₂ mit Pseudomycelien ausgekleidet. Allmählicher Übergang zum AC (Probe-Nr. 3).
AC	70—100 cm	braun (10YR 5/3) und gelb (10YR 7/6) gesprenkelter Lehm, schwach humos, kalkhaltig, mit kotkrümeligem und nadelstichporigem Mischgefüge. Zahlreiche senkrechte Wurmröhren und Klüfte, mit Pseudomycelien austapeziert. Ganz allmählicher Übergang zum C (Probe-Nr. 4).
C	100 cm +	gelber (10YR 7/6) Löß (nicht aufgeschlossen). Im unteren A ₂ , im AC und oberen C einige Krotowinen.

Bei P 3 und P 4 ist der autochthone A-Horizont ebenfalls etwa 70 cm mächtig und läßt sich in die Subhorizonte A₁, A₂ und AC unterteilen. Der A₁ ist auch hier heller als der A₂. Der A₂, der dunkelste Horizont, liegt nach der MUNSSELLSchen Farbskala im Bereich von braun bis dunkelbraun (10YR 5/3—3/3). Damit ist er heller als bei den dunkelbraunen Steppenböden (~ 10 YR 3/2). Auch die älteren Autoren unterschieden bei den Steppenböden aus Löß in Rheinhessen z. T. schon eine dunklere und hellere Varietät (u. a. HOHENSTEIN 1920, SCHOTTLER 1930, STREMMER 1930 b, 1936). Leider sind die Farbangaben unterschiedlich, weil ohne Farbtafeln gearbeitet wurde. Auch die Übergänge der einzelnen Horizonte von P 3 und P 4 entsprechen denen von P 1 und P 2.

P 3 und P 4 sind ebenfalls kalkhaltig. Im Grenzbereich AC—C liegt eine Kalkanreicherung vor. Oft sind einige kleine Kindl zu beobachten. Klüfte und Leitbahnen im unteren A₂, AC und oberen C sind auch hier reich an Pseudomycelien. Struktur und Tiergänge sind ähnlich wie bei P 1 und P 2 ausgebildet.

Auch im Dünnschliff zeigen P 3 und P 4 im A₂-Horizont ein lockeres, gut geflocktes Gefüge ohne Braunlehm und mit viel sekundären Calzitkristallen in den Leitbahnen. Demnach sind auch keine mikromorphologischen Unterschiede zwischen den dunkelbraunen und den braunen Steppenböden vorhanden. Gleiches gilt auch für die chemischen und physikalischen Analysendaten, die recht gut übereinstimmen. Lediglich der Humusgehalt ist geringer und liegt im ungestörten A stets unter 2 %. Die braunen Steppenböden unterscheiden sich demnach nur durch ihre hellere Farbe und durch den geringeren Humusgehalt von den dunkelbraunen Steppenböden.

Auch die genetische Verwandtschaft der braunen und dunkelbraunen Steppenböden wird durch folgende Untersuchungen erhärtet. Der Dauerhumus des A₂-Horizontes von P 3 (Entnahmetiefe der Probe um 100 cm u. Fl.) hatte ein C¹⁴-Alter von 3610 ± 120 Jahren. Da es sich bei diesem Wert um das Mindestalter handeln muß, liegt das absolute Alter von P 3 sehr wahrscheinlich über 4000 Jahre.

Im Spätwinter 1957 entdeckte der Verf. in einer Lößwand unmittelbar westlich des Gutes Dettweiler in Mainz-Laubenheim ein Hallstatt-Urnengrab mit 6 Beigefäßen. Die Urne war im A₂-Horizont eines braunen Steppenbodens eingelassen. Die Basis des Grabes lag 60 cm u. Fl. Das Grab war mit A- und C-Material gefüllt. In Tabelle 9 sind die kennzeichnenden Daten von der Grabfüllung und des anstoßenden ungestörten braunen Steppenbodens aufgeführt.

Tabelle 8. Chemische und physikalische Analysendaten von

Entnahmeort	Probe-Nr.	Horizont	Entnahmetiefe in cm u. Fl.	pH in KCl	T-S-Wert	S-Wert	T-Wert	V-Wert	CaCO ₃ in %	Laktat- lösliches		Gesamt-		Fe ₂ O ₃ in %
										K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O %	P ₂ O ₅ %	
P 3, Udenheim	630	A _x	25	8,1	0	15,2	15,2	100	3,5	6	12	1,3	0,08	1,3
	617	A ₂	100	7,7	0	13,2	13,2	100	15,6	4	< 1	1,8	0,08	1,2
	615	AC	115	7,8	0	6,8	6,8	100	25,5	2	< 1	1,5	0,07	0,9
	644	C	130	7,8	—	—	—	—	27,7	2	< 1	1,5	0,06	0,8
P 4, Pfeddersheim	1	A _x	15	8,0	0	15,4	15,4	100	2,2	13	35	2,1	0,09	1,5
	2	A ₁	35	8,0	0	16,8	16,8	100	2,1	3	11	2,2	0,08	1,8
	3	A ₂	60	7,9	0,3	15,6	15,9	98,1	8,9	2	1	1,8	0,07	1,5
	4	AC	85	7,8	0,3	11,6	11,9	97,4	26,0	1	1	1,6	0,07	1,2

Bemerkenswert ist auch hier der etwas kleinere Kalkgehalt im A₂-Material der Grabfüllung. Ansonsten lassen die in den Fehlergrenzen der Methoden und der Probenentnahme liegenden Abweichungen der Analysendaten auch in diesem Falle nur den Schluß zu, daß der braune Steppenboden an dieser Stelle schon zur Hallstattzeit (500—800 v. Chr.) in seinem heutigen Entwicklungszustand gelegen hat. Der C¹⁴-Wert (Analytiker: Dr. MÜNNICH) und die Ergebnisse der Ausgrabungen bei P 2 bestätigen übereinstimmend das präsubatlantische Alter der dunkelbraunen und braunen Steppenböden im nördlichen Oberrheintal.

Tabelle 9. Chemisch-physikalische Kennwerte von A₂-Material aus einem ungestörten braunen Steppenboden und aus einer Grabfüllung (Analytiker: Dr. PFEFFER)

Probe	Farbwerte n. MUNSELL	CaCO ₃ %	Humus %	C/N	Ton in % (Ø < 2 mm)
A ₂ -Material aus dem benachbarten braunen Steppenboden	10YR 5/3—4/3	8,7	1,2	6,6	24,3
A ₂ -Material aus der Grabfüllung	10YR 5/3—4/3	5,2	1,0	6,4	24,6

3. Degradierete braune Steppenböden aus Löß

Die degradierten braunen Steppenböden sind ebenfalls nur aus Löß entwickelt und umgeben die braunen Steppenböden gürtelförmig (vgl. Abb. 1). Die degradierten Formen treten in einer meist schmalen Zone zwischen den braunen Steppenböden und

braunen Steppenböden aus Löß (Analytiker: Dr. PFEFFER, Dr. ZAKOSEK)

%	Humus				Korngrößen > 2 mm	Korngrößen in mm in % des Feinbodens										Ton < 0,002	Porenvolumen in %	Durchlässigkeit in kf cm/s
	Z G.	SrL L	C/N	Sand					Schluff									
				2-1		1-0,6	0,6-0,2	0,2-0,1	0,1-0,06	0,06-0,02	0,02-0,01	0,01-0,006	0,006-0,002					
1,3	46,2	7,3	8,6	0				4,4						71,5	24,1	—	—	
1,6	49,9	8,8	9,3	0				4,9						69,5	25,6	52,1	~1,5 × 10 ⁻²	
0,9	44,5	8,6	7,1	0				5,4						73,0	21,6	—	—	
0,4	—	—	—	0				6,4						77,0	16,6	46,9	< 1,5 × 10 ⁻³	
2,1	49,9	4,6	6,3	1,3	0,8	0,5	3,2	2,1	4,6	40,8	14,1	4,6	4,6	24,3	—	—	—	
1,3	52,5	8,4	5,8	3,3	0,1	0,1	1,3	1,0	4,5	37,4	16,2	5,0	5,5	28,9	—	—	—	
1,4	51,0	4,4	4,8	0	0	0	0,8	0,7	3,0	40,0	15,5	6,0	5,0	29,0	53,2	—	~1,5 × 10 ⁻²	
0,9	—	—	—	0	0	0,1	0,5	0,6	3,0	41,5	17,2	5,1	6,1	25,9	—	—	< 1,5 × 10 ⁻³	

den Parabraunerden im Rheingau, in Rheinhessen und in der Vorderpfalz auf. Sie haben nach den braunen Steppenböden die größte Verbreitung. Ihr Verbreitungsgebiet ist klimatisch am feuchtesten und durch Regenfaktoren über 60 gekennzeichnet.

In der Zone der degradierten braunen Steppenböden kann man schwächer (P 5) und stärker degradierte Formen (P 6) unterscheiden. Die stärker degradierten Formen treten nur kleinflächig und inselförmig auf und sind in der Regel schon mit Parabraunerden (P 7) vergesellschaftet. P 5 bis P 6 kennzeichnen die degradierten braunen Steppenböden, P 7 die mit ihnen vergesellschafteten Parabraunerden.

P 5

Örtlichkeit: In der Nordwand der Ziegeleigrube 1 km N Haßloch (Rheinpfalz); Bl. Haßloch (6615), r 344578 h 547 136.

Lage: 117 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 580 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 9,5° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 61.

Nutzung: Ackerrain, davor Acker.

Boden: Schwach degradiertes brauner Steppenboden aus Löß.

- A_p 0—30 cm dunkelbrauner (10YR 4/3) Lehm, schwach humos, kalkhaltig, kantig-krümelig, locker, ohne Übergang zum (B)A (Probe-Nr. 470a).
- (B)A 30—40 cm dunkelbrauner (7,5 YR 4/4) Lehm, kalkhaltig, kantig-krümelig, mit Übergang zum A₂ (Probe-Nr. 470b).
- A₂ 40—60 cm brauner (10YR 5/3) Lehm, schwach humos, kotkrümelig, kalkhaltig, mit zahlreichen senkrechten Wurmröhren. Wurmröhren und Klüfte im unteren Teil mit Pseudomycelien ausgekleidet. Übergang zum AC allmählich (Probe-Nr. 498).

- AC 60—70 cm braun (10YR 5/3) und fahlbraun (10YR 6/3) gesprenkelter Lehm, kalkhaltig, mit kotkrümeligem und nadelstichporigem Mischgefüge und zahlreichen, mit Pseudomycelien ausgekleideten Wurmröhren und Klüften. Ganz allmählicher Übergang zum C.
- C 70 cm + fahlbrauner (10YR 6/3) Löß, nadelstichporig, mit zahlreichen senkrechten Wurmröhren. Wurmröhren — besonders im oberen Teil des C-Horizontes — mit Humus austapeziert. Einige kleine Kindl im oberen C. (Probe-Nr. 475).
Im unteren A₂, im AC und oberen C mehrere Krotowinen.

P 6

Örtlichkeit: An der Ostseite der Straße Zeiskam—Freimersheim (Rheinpfalz), 500 m nördlich vom Obernberg; Bl. Zeiskam (6715), r 344 482 h 545 790.

Lage: 120 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 620 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 9,8° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 64.

Nutzung: Straßenrain.

Boden: Stark degradiertes brauner Steppenboden aus Löß.

- A_p 0—20 cm dunkelbrauner (10YR 4/3) Lehm, schwach humos, krümelig, locker, ohne Übergang zum (B) (Probe-Nr. 204).
- (B) 20—40 cm dunkelbrauner (10YR 4/3) Lehm, ganz schwach humos mit scharfkantigem, etwas plattigem Krümelgefüge. Noch gut durchwurzelt und einige senkrechte Wurmröhren. Allmählicher Übergang zum (B)A (Probe-Nr. 205).
- (B)A 40—80 cm dunkelgraubrauner (10YR 4/3) Lehm, schwach humos, schwach kalkhaltig, mit kantig-krümeligem und kotkrümeligem Mischgefüge. Die unteren 3—5 cm dunkelbraun (10YR 4/3) und kantig-krümelig (brauner Saum). Der ganze (B)A gut durchwurzelt und von senkrechten Wurmröhren durchzogen. Wände der Klüfte und einige Wurmröhren mit dünnen Humustapeten belegt. Übergang zum C allmählich (Probe-Nr. 206 und 109).
- C 80 cm + fahlbrauner (10YR 6/3) Löß, nadelstichporig, mit senkrechten Wurmröhren. Wurmröhren mit Humus austapeziert. Der obere C mit Kalk angereichert, führt einige kleine Kindl (max. ø 2 cm) (Probe-Nr. 77).
Im oberen C und (B)A einige Krotowinen.

P 7

Örtlichkeit: 1 km östlich Schwegenheim (Rheinpfalz); Bl. Germersheim (6716), r 345 258 h 545 958.

Lage: 116 m ü. NN; ebener Unterhang.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 620 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 9,8° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 64.

Nutzung: Acker (Zuckerrüben, Weizen, Luzerne).

Boden: Parabraunerde mit hohem Basengehalt aus Löß.

A _p	0—25 cm	dunkelbrauner (10YR 4/3) Lehm, humos, krümelig, locker, ohne Übergang zum A ₃ B ₁ (Probe-Nr. 103).
A ₃ B ₁	25—40 cm	brauner (7,5YR 5/4) bis dunkelbrauner (7,5YR 4/4), humoser, feinsandiger Lehm, Gefügeelemente im oberen A ₃ B ₁ plattig (Pflugsohle), zerfallen aber bei leichtem Druck in scharfkantige kubische Aggregate. Horizont gut durchwurzelt. Übergang zum B ₂ allmählich (Probe-Nr. 466).
B ₂	40—80 cm	dunkelbrauner (7,5YR 4/4) toniger Lehm, polyedrisch, mäßig durchwurzelt und einige senkrechte Wurmröhren. Ein Teil der Wurmröhren und die meisten Klüfte mit den für Parabraunerden typischen Wandbildungen, die jedoch auffallend dunkel gefärbt sind. Kein Übergang zum C (Probe-Nr. 105 und 227).
C	80 cm +	fahlbrauner (10YR 6/3) Löß, nadelstichporig, mit senkrechten Wurmröhren, einige bis zu 3 m u. Fl. Die Wurmröhren sind im oberen Teil des C mit Humus- und braunen Tönhäutchen austapeziert. Oberer C mit Kalk angereichert, einige kleine Kindl (max. \varnothing 2 cm). Im oberen C einige Krotowinen (Probe-Nr. 205).

P 5 und P 6 sind Übergänge von braunen Steppenböden zu Parabraunerden. P 7 ist schließlich das Endglied dieser Entwicklungsreihe. Bei der schwach degradierten Form (P 5) ist die Entwicklungstiefe wie bei den dunkelbraunen und braunen Steppenböden, bei der stark degradierten Form und bei der Parabraunerde hat sie um 10 cm zugenommen.

Die Degradation ist im Gelände am B-Horizont zu erkennen. Der B ist bei P 5 am geringmächtigsten, bei P 6 ist er schon deutlich und mächtig und bei P 7 ist im Solum makromorphologisch außer der Krume schließlich nur noch ein Unterboden erkennbar. Auch das Gefüge spiegelt die zunehmende Degradation wieder. Der Ap und (B) A von P 5 besitzen bereits die kantig-krümeligen Gefügeelemente der Parabraunerde, der A₂ und der AC sind dagegen noch echte Steppenhorizonte. Das Parabraunerdegefüge ist in P 6 schon fast vollständig; lediglich im (B) A sind noch Reste des kotkrümeligen Gefüges des ehemaligen Steppenbodens erhalten. P 7 ist nach der Ausprägung eine typische Parabraunerde, ihre Steppenbodenherkunft ist jedoch noch an den dunklen Wandbildungen im B₂ und an den Krotowinen im oberen C zu erkennen.

Die Vergesellschaftung der Parabraunerden mit den degradierten braunen Steppenböden, die Steppenbodenmerkmale der randlichen Parabraunerden und ihre Übergänge zu den Steppenböden machen es sehr wahrscheinlich, daß die an die Steppenböden angrenzenden Parabraunerden stark degradierte Steppenböden sind. Auf diese Möglichkeit haben schon die älteren Autoren hingewiesen (u. a. STREMMER 1930 a, 1930 b, SCHLACHT 1933). Anscheinend wird bei der Degradation der Steppenböden aus Löß das Braunerdestadium übersprungen oder vielleicht nur sehr kurz durchlaufen. Eine zusammenhängende Braunerdezone wurde im Randgebiet der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal jedenfalls bisher noch nicht beobachtet.

Auch die Dünnschliffuntersuchungen an P 5 bis P 7 bestätigen den makromorphologischen Befund. Alle Horizonte besitzen bereits das für Parabraunerde charakteristische Braunerde-Braunlehm-Mischgefüge. Das Mischgefüge ist bei P 5 am schwächsten und bei P 7 am stärksten. Bei P 5 ist der Braunlehmanteil im Solum geflockt, bei P 6 nur im unteren (B) A. Die Flockungszonen decken sich mit dem Bereich der sekun-

Tabelle 10. Chemische und physikalische Analysendaten von degradier-

Entnahmeort	Prober-Nr.	Horizont	Entnahmetiefe in cm u. Fl.	pH in KCl	T-S-Wert	S-Wert	T-Wert	V-Wert	CaCO ₃ in %	Laktat- lösliches		Gesamt-		Fe ₂ O ₃ in %
										K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O %	P ₂ O ₅ %	
P 5, Haßloch	470a	A _p	15	7,4	—	—	—	—	0,8	8	9	—	—	—
	470b	(B)A	35	7,8	0	16,2	16,2	100	4,2	9	2	2,1	0,045	1,45
	498	A ₂	50	7,8	0	11,6	11,6	100	7,5	7	< 1	1,4	0,07	0,7
	475	C	75	7,7	—	—	—	—	33,5	3	< 1	1,4	0,05	0,8
P 6, Zeiskam	204	A _p	10	7,4	—	—	—	—	0	—	—	—	—	2,0
	205	(B)	30	7,2	—	—	—	—	0	—	—	—	—	2,1
	206	(B)A	55	7,3	0,3	18,0	18,3	98,4	Sp.	6	4	2,3	0,08	2,3
	109	(B)A	65	7,4	0,1	17,6	17,7	99,6	0,8	6	7	1,9	0,08	2,2
	77	C	85	7,7	0	10,4	10,4	100	25,4	2	2	1,6	0,08	1,1
P 7, Schwegenheim	103	A _p	10	7,7	0,8	13,2	14,0	94,3	0	24	13	1,8	0,08	1,8
	466	A ₃ B ₁	33	7,6	0,9	13,2	14,1	93,7	0	10	7	1,6	0,07	1,7
	105	B ₂	48	7,2	0,6	15,6	16,2	96,3	0	6	3	2,3	0,07	2,2
	227	B ₂	73	7,4	0,5	17,6	18,1	97,2	0,2	6	3	2,0	0,08	2,4
	205	C	85	7,8	0	9,2	9,2	100	29,7	2	2	1,3	0,07	1,0

dären Calcitaufladung. Der Calcit ragt auch hier — wie bei den übrigen Steppenböden — nadelförmig in die Leitbahnen. Die degradierten braunen Steppenböden müssen also nach der Steppenbodenbildung zunächst eine Degradationsphase erlebt haben. In der Degradationsphase sind die randlichen Steppenböden \pm vollständig zu Parabraunerden umgewandelt worden. Ursache dieser Umformung dürfte ein Klimawandel gewesen sein (vgl. S. 31), der in dem auch heute noch feuchteren Randgebiet den Entwicklungsschwellenwert überschritten hat. Im zentralen Steppenbodengebiet, das auch in humideren Klimaabschnitten des Holozäns relativ trockener war, ist dieser Schwellenwert nie erreicht worden. Die dunkelbraunen und braunen Steppenböden wurden während der Degradationsphase offenbar nur entkalkt. Die sekundäre Kalkaufladung der degradierten Steppenböden dürfte ebenfalls zur gleichen Zeit wie bei den übrigen Steppenböden erfolgt sein, sie ist aber quantitativ geringer.

Die chemischen und physikalischen Analysen belegen ebenfalls die oben gemachten Ausführungen. Die T-, Dithionit-, Humus- und Tonwerte beweisen übereinstimmend die über P 5 nach P 7 zunehmende Durchschlammung. Ebenso nimmt die sekundäre Auskalkung über P 5 nach P 7 ab. Bemerkenswert ist die unveränderte Humusqualität in allen Horizonten von P 5 bis P 7. Die Durchschlammung muß demnach überwiegend mechanisch gewesen sein, ohne tiefgreifende Humus- und Silikatzerstörung. Dieser Befund wird auch durch die in Tab. 11 aufgeführten röntgenologischen Ergebnisse erhärtet.

ten braunen Steppenböden aus LÖB (Analytiker: Dr. PFEFFER, Dr. ZAKOSEK)

%	Humus			Korngrößen 2 mm ^	Korngrößen in mm in % des Feinbodens										Ton Porenvolumen in %	Durchlässigkeit in kf cm/s		
	Z G.	SrL L	C/N		Sand					Schluff								
					2-1	1-0,6	0,6-0,2	0,2-0,1	0,1-0,06	0,06-0,02	0,02-0,01	0,01-0,006	0,006-0,002	< 0,002				
1,93	—	—	8,0	0				9,4						63,2		28,4	—	—
0,75	—	—	6,4	0				8,4						62,0		29,6	51,3	~1,5 × 10 ⁻²
0,9	—	3,0	6,6	0				9,4						66,0		24,6	50,6	~1,5 × 10 ⁻²
0,4	—	—	—	0,3				5,9						77,0		17,1	—	< 1,5 × 10 ⁻³
1,3	—	—	—	—				6,8						66,8		26,4	—	—
0,3	—	—	—	—				7,3						65,6		27,1	—	—
0,4	—	—	—	0	0	0	0,3	0,5	3,4	35,5	15,8	5,9	6,4	32,2	52,4	—	—	~1,5 × 10 ⁻²
0,6	—	—	6,7	0	0	0,1	0,2	0,4	2,4	35,1	18,6	6,4	5,9	30,9	52,3	—	—	~1,5 × 10 ⁻²
0,3	—	—	—	0	0	0,1	0,5	0,3	3,0	42,0	19,0	6,5	7,0	21,6	—	—	—	< 1,5 × 10 ⁻³
2,8	46,5	2,5	6,6	0,9	0,3	0,5	5,9	2,6	4,0	39,2	15,8	5,9	7,4	18,4	—	—	—	—
2,3	46,0	2,9	6,3	0,8	0,7	0,5	6,0	2,5	2,5	39,9	16,2	4,6	8,6	18,5	—	—	—	—
0,6	—	2,4	—	0	0	0,1	1,4	1,1	2,5	38,3	15,6	5,1	6,6	29,3	50,3	—	—	1,5 × 10 ⁻² —10 ⁻³
0,5	—	—	—	0	0	0,1	1,0	0,8	2,5	38,5	16,0	5,5	5,5	30,1	—	—	—	—
0,3	—	—	—	0	0	0,2	1,5	0,9	4,4	46,5	18,8	5,4	5,9	16,4	—	—	—	—

Auch die größeren Fraktionen haben — mit Ausnahme des Kalkes — in allen Horizonten die gleiche mineralische Zusammensetzung und nur frische Minerale.

Tabelle 11. Mineralische Zusammensetzung der Tonfraktion eines degradierten braunen Steppenbodens aus LÖB (Analytiker: Dr. HEIM)

Entnahmeort	Probe-Nr.	Horizont	Entnahmetiefe in cm u. Fl.	Mineralische Zusammensetzung des Tones (ø < 2 mm) in %				
				Quarz	Feldspat	Kaolinit	Glimmer	Chlorit
P 5, Haßloch	470b	(B)A	35	30—40	2—3	3—5	15—25	30—50
	498	A ₂	50	30—40	2—3	3—5	15—25	30—50
	475	C	75	30—40	2—3	3—5	15—25	30—50

4. Degradierete graue Steppenböden aus Hochflutlehm

Die degradierten grauen Steppenböden haben sich nur aus grundwasserfernen älteren Hochflutlehmen des Rheines und der Nahe entwickelt, die auf dem Hochgestade der genannten Flüsse verbreitet sind (vgl. Abb. 1). Das Verbreitungsgebiet der

degradierten grauen Steppenböden zählt — neben dem der braunen Steppenböden — zu den trockensten Lagen des nördlichen Oberrheintales (Regenfaktoren ~ 54).

Ungestörte graue Steppenböden zeigen stets Degradationsmerkmale (P 8 a und P 8 b). Mitunter sind sie mit Parabraunerden, seltener mit Braunerden (P 9) vergesellschaftet. Häufig sind die degradierten grauen Steppenböden gekappt und von jüngerem Hochflutlehm überlagert (P 10).

P 8 a

Örtlichkeit: In der Nordwand der Sandgrube 250 m nördlich Autobahnabfahrt Frankenthal (Rheinpfalz); Bl. Mannheim-Nord (6416), r 345320 h 549120.

Lage: 96 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 521 mm pro Jahr.
Mittlere Durchschnittstemperatur $\sim 10^\circ$ C.
Regenfaktor nach LANG ~ 52 .

Nutzung: Ackerrain, davor Acker.

Boden: Schwach degradiertes grauer Steppenboden aus feinsandigem Hochflutlehm des Rheins über kiesigem Sand (Terrasse).

A _p	0— 20 cm	dunkelgrauer (10YR 4/1) sandiger Lehm, humos, kalkhaltig, kantig-krümelig, locker, ohne Übergang zum (B)A (Probe-Nr. 480).
(B)A	20— 30 cm	dunkelgraubrauner (10YR 4/2) sandiger Lehm, schwach humos, kalkhaltig, kantig-krümeliges, aber plattig angeordnetes Gefüge (schwache Pflugsohle). Allmählicher Übergang zum A ₂ (Probe-Nr. 466).
A ₂	30— 55 cm	fahlbrauner (10YR 6/3) bis brauner (10YR 5/3) sandiger Lehm, schwach humos, kalkhaltig, kotkrümelig, einige senkrechte Wurmröhren. Wurmröhren und Klüfte im unteren A ₂ z. T. mit Pseudomycelien ausgekleidet. Allmählicher Übergang zum AC (Probe-Nr. 465).
AC	55— 70 cm	fahlbrauner (10YR 6/3) bis sehr fahlbrauner (10YR 7/4) sandiger Lehm, sehr schwach humos, kalkhaltig, überwiegend kotkrümelig, vereinzelt senkrechte Wurmröhren. Wurmröhren und Klüfte z. T. mit Pseudomycelien ausgekleidet. Allmählicher Übergang zum D (Probe-Nr. 464).
D	70—120 cm	sehr fahlbrauner (10YR 7/4) kalkhaltiger sandiger Lehm über kiesigem Sand (Terrasse) (Probe-Nr. 463). Im unteren A ₂ , im AC und im oberen D einige Krotowinen.

250 m nördlich von P 8 a liegt eine andere Kiesgrube, in der ein sehr ähnliches Profil wie P 8 a zu beobachten ist (P 8 b). Aus Vergleichsgründen wurde bei P 8 b eine sehr differenzierte Untersuchung vorgenommen und ebenfalls in Tabelle 12 mitgeteilt.

P 9

Örtlichkeit: In der Nordwand der Sandgrube 225 m nördlich Autobahnabfahrt Frankenthal (Rheinpfalz); Bl. Mannheim-Nord (6416), r 345320 h 549120.

Lage: 95 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 520 mm pro Jahr.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 10° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 52.

Nutzung: Ackerrain, davor Acker.

Boden: Braunerde mit hohem Basengehalt aus sandigem Hochflutlehm des Rheines.

A _p	0— 25 cm	dunkelgraubrauner (10YR 3/2) lehmiger Sand, humos, locker, gut durchwurzelt, ohne Übergang zum (B ₁) (Probe-Nr. 342).
(B ₁)	25— 55 cm	brauner (10YR 5/3) bis dunkelbrauner (10YR 4/3) lehmiger Sand, ganz schwach humos. Die oberen 4—5 cm sind etwas plattig (Pflugsohle), sonst bindiges Nadelstichporengefüge. Der (B ₁) ist wesentlich schwächer durchwurzelt als der A _p und geht allmählich in den (B ₂) über (Probe-Nr. 244).
(B ₂)	55— 95 cm	gelblichbrauner (10YR 5/4) bis dunkelgelblichbrauner (10YR 4/4) lehmiger Sand. Bindiges Nadelstichporengefüge und sehr schwach durchwurzelt. Übergang zum CaD ₁ vollzieht sich in einer Schicht von 10 cm, die dunkelgelblichbraun (10YR 4/4) und hellgelblichbraun (10YR 6/4) gefleckt ist (Probe-Nr. 511).
CaD ₁	95—120 cm	sehr fahlbrauner (10YR 7/4), bis hellgelblichbrauner (10YR 6/4) stark mit Kalk angereicherter fein- bis mittelkörniger Sand, dicht, nicht durchwurzelt und mit Übergang zum D ₂ (Probe-Nr. 552).
D ₂	120 cm +	kalkhaltiger, glimmer- und feldspatführender Fein- bis Mittelsand, schrägschichtet (Terrasse) (Probe-Nr. 643).

P 10

Örtlichkeit: In der Nordwand der Kiesgrube 1,5 km nordwestlich Lampertheim (Hess. Ried); Bl. Worms (6316), r 346030 h 559724.

Lage: 92 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 536 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 9,6° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 55,8.

Nutzung: Grubenrain.

Boden: Grauer Steppenbodenrest aus älterem Hochflutlehm des Rheines unter jüngerem Hochflutlehm des Rheines.

A _p	0— 20 cm	dunkelgraubrauner (2,5Y 4/2) Lehm, schwach humos, kalkhaltig, krümelig, locker, ohne Übergang zum C (Probe-Nr. 442).
C ₁	20— 80 cm	dunkelgraubrauner (2,5Y 4/2) Lehm, schwach humos, kalkhaltig, schwach polyedrisch, mit Übergang zum A ₂ (Probe-Nr. 413). Die Grenze zwischen dem C ₁ und A ₂ ist eine geologische Schichtgrenze.
A ₂	80—115 cm	sehr dunkelgraubrauner (2,5Y 3/2) Lehm, schwach humos, kalkhaltig, kotkrümelig. Im unteren Teil Pseudomycelien auf Schichtflächen und in senkrechten Wurmröhren. Übergang zum AC allmählich (Probe-Nr. 451).

Tabelle 12. Chemische und physikalische Analysendaten von degradier-

Entnahmeort	Probe-Nr.	Horizont	Entnahmetiefe in cm u. F.L.	pH in KCl	T-S-Wert	S-Wert	T-Wert	V-Wert	CaCO ₃ in %	Laktat- lösliches		Gesamt-		Fe ₂ O ₃ in %
										K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O %	P ₂ O ₅ %	
P 8a, Frankenthal	480	A _p	8	7,6	0	11,0	11,0	100	2,6	37	34	2,3	0,095	0,95
	466	(B)A	25	7,5	0	12,0	12,0	100	4,8	10	10	2,1	0,06	0,85
	465	A ₂	40	7,7	0	11,4	11,4	100	15,1	6	1	1,8	0,05	0,40
	464	AC	60	7,7	0	9,8	9,8	100	20,3	6	1	1,5	0,05	0,45
	463	D	75	7,8	0	7,6	7,6	100	24,3	5	< 1	1,4	0,045	0,35
P 8b, Frankenthal	1	A _p	10	7,8	0	10,4	10,4	100	2,0	6	54	1,6	0,08	1,0
	2	(B)A	25	8,1	0	11,6	11,6	100	2,3	1	6	1,9	0,04	0,9
	3	A ₂	35	7,9	0	10,8	10,8	100	3,7	12	4	2,0	0,05	1,0
	4	A ₂	45	7,9	0	11,6	11,6	100	8,3	1	2	1,9	0,05	0,8
	5	AC	60	7,9	0	11,2	11,2	100	16,2	2	1	1,4	0,03	0,7
	6	AC	65	7,9	0	9,0	9,0	100	31,8	1	< 1	1,3	0,04	0,7
	7	D	75	8,0	0	7,4	7,4	100	32,0	0	< 1	1,3	0,04	0,7
P 9, Frankenthal	342	A _p	13	7,6	0,6	9,1	9,7	94,0	0	40	65	1,9	0,15	0,9
	244	(B ₁)	35	7,6	0,3	11,4	11,7	97,2	0	15	6	1,7	0,05	1,1
	511	(B ₂)	75	7,3	0,3	10,2	10,5	97,2	0	10	3	1,9	0,05	0,9
	552	CaD ₁	105	8,2	—	—	—	—	12,5	6	1	1,6	0,03	0,2
	643	D ₂	140	8,2	—	—	—	—	9,9	6	1	1,7	0,04	0,4
P 10, Lampertheim	442	A _p	10	7,4	0,1	14,0	14,1	99,3	8,0	7	14	1,8	0,07	0,9
	413	C ₁	45	7,6	0	14,0	14,0	100	8,7	7	22	1,6	0,06	1,0
	451	A ₂	95	7,6	0	10,0	10,0	100	15,8	6	< 1	1,3	0,08	0,6
	441	AC	122	7,6	0	8,8	8,8	100	28,3	5	< 1	1,3	0,15	0,6
	411	C ₂	155	7,7	—	—	—	—	26,6	5	< 1	1,9	0,12	0,6

AC 115—130 cm dunkelgraubraun (2,5Y 4/2) und hellgraubraun (2,5Y 6/2) gesprenkelter Lehm, schwach humos, kalkhaltig, kotkrümeliges und nadelstichporiges Mischgefüge. Nur vereinzelte senkrechte Regenwurmrohren. Schichtflächen und Regenwurmrohren sind mycelreich (Probe-Nr. 441).

C₂ 130—170 cm grauer (2,5Y 6/0) feinsandiger Lehm, kalkhaltig, geschichtet, (Probe-Nr. 411).

D 170 cm + kiesiger Sand (Terrasse).
Im unteren A₂ und im oberen C₂ einige Krotowinen.

P 8 a und P 8 b haben den gleichen Grundaufbau wie P 5. Der A-Horizont ist etwa 70 cm mächtig. Er zeigt im oberen Teil (A_p und (B) A) Braunerdeentwicklung und im unteren Teil (A₂ und AC) Steppenbodenmerkmale in sehr ähnlichem Ausprägungsgrad wie bei P 5. Auch der mikromorphologische Befund unterstreicht die Verwandtschaft von P 8 a und P 8 b mit P 5. Der A_p und (B) A von P 8 a und P 8 b

ten grauen Steppenböden aus Hochflutlehm (Analytiker: Dr. PFEFFER, Dr. ZAKOSEK)

%	Humus			Korngrößen \wedge 2 mm	Korngrößen in mm in % des Feinbodens										Ton	Porenvolumen in %	Durchlässigkeit in k_f cm/s
	Z G.	SrL/L	C/N		Sand					Schluff				$< 0,002$			
					2—1	1—0,6	0,6—0,2	0,2—0,1	0,1—0,06	0,06—0,02	0,02—0,01	0,01—0,006	0,006—0,002				
2,15	54,4	3,2	8,8	1,9			55,9						26,0		18,1	—	—
0,40	42,0	5,6	7,7	1,5			59,9						21,0		19,1	—	—
0,95	34,5	3,8	6,1	0			51,4						25,5		23,1	49,6	$< 1,5 \times 10^{-2}$
0,65	44,7	—	5,9	0			63,4						20,0		16,6	—	—
0,55	—	—	—	0			71,9						18,0		10,1	—	—
1,9	52,1	4,6	6,5	1,3	0,7	1,3	28,5	24,7	10,3	12,3	2,9	2,0	3,9	13,4	—	—	—
0,5	—	3,8	6,7	0,2	0,2	0,7	25,9	26,0	12,2	11,7	2,0	2,5	3,5	15,3	—	—	—
0,8	—	5,6	6,1	1,0	0,2	0,7	21,4	21,1	11,4	14,0	3,1	3,6	4,2	20,3	—	—	—
0,9	—	—	—	0	0,7	0,5	16,8	16,8	14,1	13,5	4,2	3,2	4,2	21,0	—	—	—
0,9	—	5,2	6,0	0	0,1	0,4	16,2	14,2	11,8	17,5	6,2	2,6	6,2	24,8	—	—	—
0,6	—	—	—	0	0,1	0,2	9,9	11,4	13,9	23,2	8,8	3,6	7,7	21,2	—	—	—
0,3	—	—	—	0	0	0,2	9,5	16,2	17,5	25,8	7,1	3,8	5,5	14,4	—	—	—
2,33	50,3	3,0	9,9	1,9	0,7	2,0	36,9	16,0	7,5	11,4	4,5	3,0	6,0	12,0	—	—	—
0,5	—	—	—	0,6	0,4	2,0	35,7	20,5	7,1	9,6	3,5	3,0	4,5	13,7	—	—	—
0,3	—	—	—	1,0	1,0	3,6	60,6	9,7	1,5	3,6	3,1	1,5	2,5	12,9	—	—	—
0,13	—	—	—	2,5	3,3	5,8	58,2	23,8	4,2	2,6	0,5	0,5	0,5	0,6	—	—	—
0,07	—	—	—	3,0	1,3	2,6	68,6	18,9	4,0	2,0	0,5	0,5	1,0	0,6	—	—	—
0,8	—	—	—	0,9	0,5	1,2	11,8	10,6	11,8	14,8	11,8	4,4	5,6	27,6	—	—	—
1,1	52,5	11,9	13,9	0,8	0,7	1,2	11,9	10,7	13,2	17,0	7,5	2,4	8,0	27,4	—	—	—
1,5	47,6	20,2	7,2	0	0,1	0,1	3,2	18,5	18,5	16,4	6,2	5,1	6,7	25,2	—	—	—
0,7	—	—	—	0	0	0,1	2,0	21,1	27,4	16,4	4,9	3,8	6,0	18,3	—	—	—
0,3	—	—	—	0	0,2	0,3	3,2	28,8	32,5	14,2	4,1	2,6	3,6	10,5	—	—	—

besitzen ein lockeres, aber kantiges Schwammgefüge. Ein früher vorhandenes Braunteilplasma ist jetzt geflockt. Der Kalk liegt in Form von Calcitkristallen vor, die in die Leitbahnen hineingewachsen sind.

Die Verwandtschaft von P 8 a und P 8 b mit P 5 wird auch durch die chemischen Analysen gestützt. P 8 a und P 8 b sind wie bei P 5 alkalisch und voll basengesättigt. Der Kalkgehalt nimmt bei beiden Formen von oben nach unten zu. Die Dithionitwerte und der Humusgehalt haben in den vergleichbaren Horizonten ähnliche Größen. Der Steppencharakter geht aus den CN-Quotienten und dem höheren Humusgehalt in A_2 hervor.

Auch bei P 8 a und P 8 b ist die Humusqualität in allen Horizonten gleich. Eine tiefgreifende Humus- und Silikatzerstörung kann demnach auch bei den degradierten grauen Steppenböden nicht erfolgt sein. Die gute Übereinstimmung von P 8 a und P 5 wird auch durch die mineralogischen Bestimmungen erhärtet.

Tabelle 13. Mineralische Zusammensetzung der Tonfraktion eines degradierten grauen Steppenbodens aus Hochflutlehm (Analytiker: Dr. HEIM)

Entnahmeort	Probe-Nr.	Horizont	Entnahmetiefe in cm u. Fl.	Mineralische Zusammensetzung des Tones ($\varnothing < 2\text{ mm}$) in %				
				Quarz	Feldspat	Kaolinit	Glimmer	Chlorit
P 8a, Frankenthal	466	(B)A	25	25—35	2—3	3—5	15—25	35—55
	465	A ₂	40	25—35	2—3	3—5	15—25	35—55
	464	A C	60	25—35	2—3	3—5	15—25	35—55

Auch hier waren — ohne Berücksichtigung des Kalkes — die gröberen Fraktionen aller Horizonte mineralisch gleich zusammengesetzt und frisch.

Der Dauerhumus des A₂ von P 8 a (Entnahmetiefe der Probe 40 cm u. Fl.) hatte ein C¹⁴-Alter von 3780 ± 140 Jahren. Auch dieser Wert stimmt mit der übrigen Altersermittlung bei den dunkelbraunen und braunen Steppenböden überein. Insgesamt lassen alle Untersuchungsergebnisse den Schluß zu, daß auch die degradierten grauen Steppenböden Bildungs-, Degradations- und Regradationsphasen durchlaufen haben, die parallel zu denen der Steppenböden aus Löß verliefen.

Die degradierten grauen Steppenböden unterscheiden sich jedoch von den degradierten braunen Steppenböden durch das Ausgangsgestein. Der Hochflutlehm weicht in der Korngrößenverteilung von den Lössen ab. Er ist in der Regel feinsandreicher und schluffärmer als die Lössen (vgl. Tab. 12), und der kleinere Mineralbestand ist darum recht bald verwittert. Offenbar ist das die Ursache, daß in dem klimatisch viel trockeneren Verbreitungsgebiet der degradierten grauen Steppenböden der gleiche genetische Entwicklungsgrad wie bei den degradierten braunen Steppenböden aus Löß vorliegt.

Die Vertretbarkeit von Ausgangsgestein und klimatischem Durchfeuchtungsgrad bei der Bodenentwicklung wird auch noch durch folgende regionale Beobachtung gestützt. Die degradierten grauen Steppenböden gehen bei ähnlicher Korngrößenzusammensetzung wie bei P 8 a und P 8 b sofort in Parabraunerden über, wenn die Regenfaktoren um 55 oder höher liegen. Auf Lössen findet man bei solchen Durchfeuchtungsgraden noch die dunkelbraunen und braunen Steppenböden. Aber selbst bei Regenfaktoren um 52 treten im geschlossenen Verbreitungsgebiet der degradierten grauen Steppenböden inselförmig Braunerden (P 9) und Parabraunerden auf, wenn der Hochflutlehm bodenartig leichter als P 8 a und P 8 b ist. P 9, das unmittelbar an P 8 a angrenzt, ist ein Beispiel dafür. P 9 ist nach allen Merkmalen eine typische Braunerde.

Abschließend sei noch auf eine Varietät im Verbreitungsgebiet der degradierten grauen Steppenböden aufmerksam gemacht, die mitunter mit den dunkelbraunen und braunen Steppenböden verglichen und als genetisch und systematisch gleichrangig angesehen worden ist. Ein Beispiel dafür ist P 10. Die Gesamtmächtigkeit von P 10 schließt schon ein autochthones Steppenbodenprofil aus. Der Ap und C₁ besitzen keine makroskopischen Steppenbodenmerkmale, sondern Eigenschaften einer Pararendzina. Die Schichtgrenze ist deutlich und der A₂, AC und obere C₂ sind nach der Struktur, den Pseudomycelien und Faunenspuren Steppenhorizonte. Der Steppencharakter dieser Horizonte wird auch durch die Humuswerte bestätigt.

Auf einem ungestörten degradierten grauen Steppenboden 1 km S Nordheim (Hess. Ried) fand der Verf. am 6. III. 1961 herausgeackerte große Urnenscherben aus der Hallstattzeit, die auch in diesem Gebiet das präsubatlantische Alter der Steppenböden wahrscheinlich macht. Diese Annahme wird des weiteren durch eine C^{14} -Bestimmung an Dauerhumus von P 10 gestützt. Die Probe wurde aus dem unteren C_1 (um 60 cm u. Fl.) von P 10 entnommen und ergab ein vorläufiges C^{14} -Alter des unteren jüngeren Hochflutlehms von 2200 Jahren. Zwischen dieser Bestimmung und den bisherigen Altersermittlungen liegt also ein recht deutlicher Altersunterschied. Der Steppenbodenrest ist demnach sehr wahrscheinlich altersgleich mit P 2, P 3, P 4 und P 8 a. Andererseits zeigt die Bestimmung aber auch, daß gegenwärtig keine Steppenbodenentwicklung mehr stattfindet.

III. Diskussion der Untersuchungsergebnisse

a) Zur Genese der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal

1. Vorbemerkung

Die chemischen und physikalischen Analysendaten, die makro- und mikromorphologischen und die mineralogischen Befunde lassen drei zeitlich verschiedene Entwicklungsabläufe bei den Steppenböden im nördlichen Oberrheintal vermuten. Die Steppenböden müssen eine Bildungs-, eine Degradations- und schließlich eine Regradationsphase durchlaufen haben.

In der Bildungsphase muß der AC-Boden mit allen Steppenbodenmerkmalen entstanden sein. Die darauf folgende Degradationsphase hat besonders in den Randgebieten und im Bereich der grauen Steppenböden eine mehr oder weniger vollkommene Typenwandlung bewirkt. In der Regradationsphase muß die Degradation zum Stillstand gekommen sein und alle Steppenböden müssen eine sekundäre Aufkalkung und Stabilisation erfahren haben.

2. Die Bildungsphase

An zahlreichen Stellen des nördlichen Oberrheintales ist im jüngsten Löß ein 1 cm—3 cm mächtiges dunkles Band eingelagert. Das Band ist im nördlichen Oberrheintal erstmalig von MICHELS (1931) beobachtet und als vulkanische Asche gedeutet worden. Nach Untersuchungen von FRECHEN (1959) stammt der Tuff von Kärlich. Die Einlagerung des Tuffes ist nach dem Paudorfinterstadial erfolgt (FRECHEN 1959, SCHÖNHALS 1959). Der darüber folgende Löß muß demnach im letzten Würmstadial sedimentiert worden sein. An der Oberkante des jüngsten Würmlösses sind im Rheingau, in Rheinhessen und in der Vorderpfalz vielerorts Steppenböden entwickelt (vgl. S. 15). Zwischen dem Tuffband und dem Steppenboden wurden bisher an keiner Stelle Verwitterungshorizonte beobachtet. Die Steppenböden müssen demnach die ersten Böden nach der letzten Lößablagerung sein. Die Lößsedimentation dürfte auch im nördlichen Oberrheintal an der Wende Mittel-Spätwürm abgeschlossen ge-

wesen sein (WOLDSTEDT 1954, 1958). Die Steppenbodenbildung kann mithin frühestens in der älteren Dryaszeit eingesetzt haben.

Der Klimaverlauf während des Spät- und Postglazials läßt jedoch kaum eine ununterbrochene Steppenbodenentwicklung im nördlichen Oberrheintal erwarten. Wenn unter den gegenwärtigen Klimabedingungen im Oberrheintal keine Steppenböden entstehen, so ist auch nicht anzunehmen, daß unter ähnlichen oder ungünstigeren klimatischen Verhältnissen des Spät- und Postglazials Steppenböden im Oberrheintal entstanden sind.

Einen guten Überblick über den spät- und postglazialen Klimaverlauf im Oberrheintal vermitteln uns die Untersuchungen von FIRBAS (1934, 1949), die durch die Arbeiten von BERTSCH (1931) und ROTHSCHILD (1935) bestätigt worden sind. Hiernach ist auch im Oberrheintal das arktisch-glaziale Klima des Würms über ein trockenes, kontinental getöntes Klima zum heutigen Klima übergegangen. Die ältere Dryaszeit, in der die Lösssedimentation vermutlich ausgeklungen ist, besaß auch im Oberrheintal arktisch-alpines Klima, das bekanntlich eine Steppenbodenbildung ausschließt. Von dieser Klimaphase zeugen auch noch Eiskeile und Kryoturbationen im jüngsten Würmlöß, die z. T. noch das Tuffband erfaßt haben (vgl. auch SCHÖNHALS 1959). Die ältere Dryaszeit wurde im Oberrheintal von der „Kiefernzeit“ abgelöst (FIRBAS 1934). Zu dieser Zeit hat im Oberrheintal vermutlich ein Klima geherrscht, wie wir es heute im mittleren und südlichen Teil der skandinavischen Nadelwaldregion haben (FIRBAS 1934, S. 138). Eine Steppenbodenbildung ist daher auch in diesem Zeitabschnitt unwahrscheinlich. Auffallend ist, daß die im Landstuhler Bruch gewonnenen Pollendiagramme (FIRBAS 1934, 1949) gegen Ende der „Kiefernzeit“ keine arktisch-alpinen Pollen aufweisen. Die „Kiefernzeit“ im Oberrheintal dürfte darum vermutlich das Alleröd und die jüngere Dryaszeit umfassen. Die mitunter vertretene Auffassung, wonach die Steppenbodenentwicklung bereits im Bölling- oder Allerödinterstadial eingesetzt haben soll, kann für das Oberrheintal nicht übernommen werden. Nach dem Pollendiagramm waren die beiden letzten Interstadiale (?) und das letzte Stadial des Spätglazials im Oberrheintal offenbar nicht so ausgeprägt wie weiter nördlich und östlich in Europa. Wären das Bölling und Alleröd echte Interstadiale mit Steppenbodenbildung gewesen, so müßte man auch an der Basis der Steppenböden Eiskeile und Kryoturbationen beobachten können. Dieser Beweis ist im nördlichen Oberrheintal bisher nicht erbracht worden. Erst zu Beginn der „Haselzeit“ (FIRBAS 1934), die im nördlichen Oberrheintal demnach schon im Präboreal einsetzen muß, dürften hier die klimatischen Voraussetzungen zur Steppenbodenbildung gegeben gewesen sein. Nach FIRBAS (1934) und ROTHSCHILD (1935) war die „Haselzeit“ im nördlichen Oberrheintal xerothermer als die Gegenwart und vermutlich auch kontinentaler (vgl. auch BERTSCH 1931). Die Haselzeit dürfte auch im Oberrheintal noch das ganze Boreal umfassen und im älteren Atlantikum ausgeklungen sein. Die Hauptbildungsphase der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal wird darum vermutlich auch im Boreal liegen, wie es bereits HOHENSTEIN (1920) und SCHOTTLER (1930) vermutet haben.

Die geringe Entwicklungstiefe der Steppenböden, ihre niedrigen Humusgehalte, der ungestörte Mineralbestand im Solum und die „xerothermen“ Pollen (FIRBAS 1934, S. 141) lassen auf eine schütterere xerophytische Grasvegetation während der Bildungsphase schließen. Gegen eine reine Krautsteppe sprechen ehemals große Zieselvorkom-

men, die durch Skelette (WEILER 1952) und Krotowinen belegt sind. Das Verbreitungsgebiet der dunklen Steppenböden dürfte auch in der Bildungsphase etwas feuchter gewesen sein, wie die aktuoklimatischen Daten vermuten lassen (vgl. S. 8). Diese Vermutung erklärt eine ehemals üppigere Vegetation und die höheren Humusgehalte der dunkelbraunen Steppenböden.

3. Die Degradationsphase

In der klimatisch gemäßigten „Eichenmischwald-Erlenzeit“ (FIRBAS 1934), die auch im Oberrheintal mit dem Atlantikum eingesetzt haben dürfte, klang die Steppenbodenentwicklung ab. Im Pollendiagramm des Landstuhler Bruches (FIRBAS 1934) werden die xerothermen Pollen von solchen humider Arten abgelöst. Bemerkenswert ist vor allem der hohe Laubholzanteil. Wie weit sich der Laubwald auch im Steppenbodengebiet während der Degradationsphase ausgebreitet hat, ist noch nicht eindeutig geklärt. HOHENSTEIN (1920), LAATSCH (1938) und OBERDORFER (zit. in: HARTH 1956) halten die Waldarmut Rheinhessens für natürlich. SCHOTTLER (1930), SCHLACHT (1933) und KRAUSS (1952) hingegen vermuten eine ehemals größere Waldverbreitung auch im Steppenbodengebiet.

Wie die bei den Ausgrabungen gewonnenen Analysendaten beweisen, befanden sich die Steppenböden an der Wende Subboreal/Atlantikum bereits in der Regradationsphase. Die Degradation kann daher nur im Atlantikum erfolgt sein. Eine lange Waldphase nach dem Klimaoptimum ist aber wegen der mit der neolithischen Siedlungs-epoche sich fast überschneidenden „Haselzeit“ kaum zu erwarten. Alle Kriterien sprechen für eine kurze Degradationsphase im mittleren Atlantikum. Sie hat sich aber keineswegs einheitlich ausgewirkt. Im Bereich der dunklen und braunen Steppenböden gibt es keine makro- und mikromorphologischen Degradationsmerkmale. Diese Varietäten können darum während der Degradationsphase kaum verändert worden sein. Eine geschlossene Bewaldung dieser Flächen ist deshalb unwahrscheinlich. Ganz anders hingegen muß die Situation bei den degradierten braunen und grauen Steppenböden gewesen sein. Sie besitzen einen deutlich ausgeprägten (B)-Horizont und ein Braunlehmgefüge. Bemerkenswert sind auch ihre örtlichen Übergänge zu Braunerden und Parabraunerden mit Steppenbodenmerkmalen. Die örtlichen Übergänge beweisen eindeutig, daß die Steppenböden im nördlichen Oberrheintal vor der Degradationsphase eine größere Ausdehnung als heute hatten. Ferner hat während der Degradationsphase in den Randgebieten der ehemaligen Steppe und auf den sandigeren Hochfultlehm im Steppengebiet eine Humuszersetzung und eine Durchschlammung stattgefunden. Ein Vordringen des Waldes in diese Bereiche ist sehr wahrscheinlich.

4. Die Regradationsphase

Nach den Ergebnissen der Ausgrabungen war die Regradation der Steppenböden im Subboreal voll im Gange. Die Regradationsphase dürfte im nördlichen Oberrheintal gegen Ende des Atlantikums eingesetzt haben. Im Pollendiagramm des Landstuhler Bruches (FIRBAS 1934) deutet sich der Klimaumschwung zum Mildereren durch das Auftreten der Buche an. Vermutlich tritt auch hier die Buche früher auf als in den östlichen und nordöstlichen Gebieten Europas.

In der Regradationsphase müssen die in der Bildungs- und Degradationsphase vollständig entkalkten Steppenböden wieder mit Kalk angereichert worden sein. Die dunklen und braunen Varietäten wurden dadurch stabilisiert und die degradierten Formen regradiert. Bei letzteren kam die Verbraunung und die Durchschlammung wieder zum Erliegen, und das Braunlehmteiplasma wurde wieder erdig.

Sehr wahrscheinlich wurde die Regradation nicht nur durch den Klimaumschlag begünstigt, sondern auch durch den bereits im Neolithikum verbreiteten Ackerbau (vgl. S. 10).

5. Die gegenwärtige Entwicklung

Bei Untersuchungen des Verfassers auf mittelalterlich, römisch oder keltisch freigelegten oder aufgeschütteten Rohlößflächen und auf jüngeren Hochflutlehmen im nördlichen Oberrheintal konnten bisher noch keine Steppenböden nachgewiesen werden. Die auf solchen Flächen entwickelten AC-Böden sind Pararendzinen, die sich durch eine geringe Entwicklungstiefe, hohe primäre Kalkgehalte und geringe Humus-

Tabelle 14. Gliederung des Spätquartärs im nördlichen Oberrheintal (in Anlehnung an BERTSCH 1931, FIRBAS 1934, 1949, ROTHSCILD 1935 und GRAHMANN 1956)

	Zeitrechnung in Jahren	Klimaabschnitte	Entwicklung		Kulturstufen
			der Steppenböden	der Wälder	
Postglazial	1000	Subatlantikum	Regradations- phase	Buchenzeit	Geschichtliche Zeit
	0				
	1000 2000	Subboreal			Eisenzeit
	3000	Atlantikum	Degradations- phase	Eichenmisch- wald-Erlenzeit	Bronzezeit
	4000 5000				Neolithikum
	6000		Boreal	Bildungs- phase	Haselzeit
	7000	Präboreal			
	8000				
Spätglazial	9000	Jüngere Dryas- zeit		Kiefernzeit	Ende Paläo- lithikum
	10000	Alleröd			
	20000	Ältere Dryaszeit		Birkenzeit, waldlose Weidenzeit	

gehalte mit relativ weitem C/N-Verhältnis auszeichnen. Die gegenwärtige Entwicklungstendenz der Rohlößböden im Steppenbodengebiet des nördlichen Oberrheintales ist sehr gehemmt und verläuft in Richtung der Pararendzinen. Auch diese Untersuchungen werden durch die Ausgrabungsbefunde und C¹⁴-Werte bestätigt, wonach die Steppenbodenbildung bereits im Subboreal abgeschlossen war.

Die Steppenböden selbst regradieren sich nach STREMMER jun. (1953) und OSTENDORFF (1954) auch heute noch. Zweifellos sprechen für diese Annahme ihr hoher sekundärer Kalkgehalt, die Pseudomycelien im A₂ und AC, ihre reiche Fauna (Hamster, Regenwürmer) und die großen Laktatwerte. Unter den gegenwärtigen Klimaverhältnissen dürften die Steppenböden im nördlichen Oberrheintal in ihrem jetzigen Zustand zumindest erhalten bleiben. Eine weitere Aufkalkung ist jedoch dabei nicht unwahrscheinlich.

Die Steppenbodenflächen im nördlichen Oberrheintal werden jedoch durch die Erosion laufend verkleinert. Heute macht es schon große Mühe, völlig ungestörte Profile zu finden. Auf den Abtragungsf lächen sind Reste von Steppenböden erhalten und Pararendzinen entwickelt. In Hangfußlagen und Mulden befinden sich z. T. mehrere Meter mächtige Abschlämmassen aus Steppenbodenmaterial, die häufig Steppenböden überlagern. Die Pararendzinen nehmen im Steppenbodengebiet schon größere Flächen als die Steppenböden ein. Bis zur neolithischen Siedlungs epoche dürften auch auf diesen Flächen überwiegend Steppenböden gewesen sein, die der durch den Ackerbau ausgelösten Erosion zum Opfer gefallen sind (vgl. auch HOHENSTEIN 1920, SCHOTTLER 1930, LAATSCH 1938).

6. Zur Krumendegradation

Der Ap-Horizont (Krumen) der dunkelbraunen und braunen Steppenböden im nördlichen Oberrheintal ist stets scharf vom A₂ abgesetzt (Bearbeitungstiefe) und ist auch immer heller als der A₂ (vgl. Tab. 15).

Tabelle 15. Durchschnittliche Farbwerte im A-Horizont dunkelbrauner und brauner Steppenböden aus Löß

Boden	Horizont	Farbwerte nach MUNSELL
Dunkler Steppenboden aus Löß	A _{1p}	10 YR 3/3
	A ₂	10 YR 3/2
Brauner Steppenboden aus Löß	A _{1p}	10 YR 5/3—4/3
	A ₂	10 YR 4/3—3/3

Im Humusgehalt und in der Humusqualität sind zwischen dem A_{1p} und A₂ keine wesentlichen Unterschiede vorhanden. Im allgemeinen ist der Humusgehalt im A_{1p} höher. Hier ist also ein Unterschied zu den mitteldeutschen Schwarzerden festzustellen, in denen nach LAATSCH (1934, 1938, 1954) die Krumen humusärmer und der Humus im Ap auch stickstoffärmer und weniger stabilisiert ist. Bei den Steppenböden im

nördlichen Oberrheintal hingegen liegt keine echte Krümmendegradation vor. HOHENSTEIN (1920) führt die hellere Farbe der Krume auf die Pflugeinwirkung und die dadurch ausgelöste stärkere Oxydation zurück. Für diese Erklärung sprechen folgende Beobachtungen und Experimente: Bei nicht beackerten Steppenböden (alte Raine) sind der A_1 und A_2 ziemlich gleich gefärbt. Zerreibt man Gefügeelemente aus dem A_2 beackertter Steppenböden, so nehmen diese stets die gleiche Farbe wie der darüberliegende A_{1p} an.

b) Zur Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal

1. Vorbemerkung

Die Bezeichnungen für die Steppenböden des nördlichen Oberrheintales und die Auffassungen über ihre systematische Stellung weichen z. T. weit voneinander ab, wie aus der Einleitung zu entnehmen ist. Die Abweichungen lassen sich größtenteils aus den verschiedenen Beobachtungsräumen und -zeitpunkten und aus den z. T. sehr unterschiedlichen Vorstellungen von der Genese dieser Böden erklären.

Im bodenkundlichen Schrifttum versteht man schon seit langem unter Steppenböden humose AC-Böden, deren wichtigster Entstehungsfaktor das Klima ist (vgl. u. a. DOKUTSCHAJEW 1883, KOSSOWITSCH 1911, 1912, GLINKA 1914, STREMMER 1926, STEBUT 1930, LAATSCH 1936, 1938, 1944, 1954, KUBIĚNA 1953, MÜCKENHAUSEN 1958, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1960). Diese Definition trifft für die Steppenböden im nördlichen Oberrheintal in vollem Umfang zu. Sie sind in einem xerothermen, kontinental getönten Klima des Klimaoptimums entstanden, und alle morphologischen und analytischen Kriterien weisen sie eindeutig als Steppenböden aus. Bezeichnungen wie steppenartig, tschernosemartig und steppenbodenähnlich sollten darum vermieden werden.

Die Steppenböden des nördlichen Oberrheintales sind im Klimaoptimum entstanden. Die kurze atlantische Degradationsphase hat sich bei ihnen offenbar nur in den feuchteren Randgebieten und im Bereich der grauen Steppenböden bodenformend ausgewirkt. Die Regradation hingegen hat sie alle erfaßt. Die Aufkalkung in der Regradationsphase hat sie vorzüglich stabilisiert. Die dunkelbraunen und braunen Steppenböden sind offenbar seit ihrer Bildung und die degradierten braunen und grauen Steppenböden vermutlich seit Ende der Degradationsphase — mit Ausnahme der Aufkalkung — ziemlich unverändert erhalten geblieben. Diese Annahme wird vor allem durch die Ausgrabungsbefunde gestützt. Bei der Gliederung der Steppenböden des nördlichen Oberrheintales kann daher unbedenklich von den bodeneigenen Merkmalen dieser Böden ausgegangen werden.

2. Vergleiche mit Steppenböden anderer Gebiete

Wie aus den Profilbeschreibungen und den Analysendaten zu entnehmen ist, kann man im nördlichen Oberrheintal 4 Formen von Steppenböden unterscheiden. Bis auf die Farbe und den Humusgehalt stimmen die dunkelbraunen und braunen Formen in allen systematisch wichtigen Merkmalen überein. Die degradierten braunen und grauen Steppenböden sind durch Degradationsmerkmale ausgezeichnet. Sie selbst

unterscheiden sich lediglich durch das Ausgangsgestein. Für einen systematischen Vergleich sind die dunkelbraunen und braunen Steppenböden am besten geeignet, weil bei ihnen die bodeneigenen Merkmale gut erhalten sind. Im folgenden sollen darum die dunklen und braunen Steppenböden mit den übrigen europäischen Steppenböden verglichen werden. Die kennzeichnenden bodeneigenen Merkmale bei Steppenböden sind Farbe, Mächtigkeit und Humus- und Karbonatgehalt des A-Horizontes (vgl. u. a. KOSSOWITSCH 1911—1912, GLINKA 1914, STEBUT 1930, KUBIĚNA 1953, WILLENSKI 1954, ASSING 1956).

In Tabelle 16 sind diese Merkmale für die wichtigsten europäischen Steppenböden aus Löß zusammengestellt. Wie aus Tabelle 16 zu ersehen ist, haben die dunkelbraunen und braunen Steppenböden des nördlichen Oberrheintales größte Ähnlichkeit mit den Steppenböden des Wiener und Pannonischen Beckens. Die Verwandtschaft wird noch deutlicher, wenn man die Profile und Analysendaten der südosteuropäischen Steppenböden mit denen des nördlichen Oberrheintales vergleicht. P 11 ist ein Durch-

Tabelle 16. Die wichtigsten systematischen Kriterien von europäischen Steppenböden aus Löß (in Anlehnung an GLINKA 1914, STEBUT 1930, NEUGEBAUER 1951, KUBIĚNA 1953, LAATSCH 1954, WILENSKI 1954, FRANZ 1955, 1960, ASSING 1956, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1960)

Bodentyp	Mächtigkeit des A-Horizontes in cm	Farbe des A-Horizontes	Humusgehalte in % im A-Horizont	CaCO ₃ -Gehalt im A-Horizont
Sierosem	5— 20	grau	0,5— 2	mäßige Auswaschung, aber bis oben kalkhaltig
Burosem	20— 50	graubraun	1,5— 3	mäßige Auswaschung, aber bis oben kalkhaltig
Kastanosem . . .	30— 60	kastanienbraun	3 — 5	bis 30—40 cm meist schwach kalkhaltig bis kalkfrei
Tschernosem . .	70—100	grau bis schwarz	4 —16	} überwiegend kalkfrei im gesamten A-Horizont
südlicher	bis 70	grau	4 — 6	
gewöhnlicher . .	bis 80	schwarz	6 —10	
mächtiger . . .	bis 100	schwarz	10 —16	
mitteldeutscher .	bis 80	grauschwarz	2 — 4	
Jugoslawische Steppenböden .	50— 80	braun bis dunkelgrau	1,5— 4	} bis zur Oberfläche kalkhaltig
Österreichische Steppenböden .	50— 80	braun bis dunkelgrau	1,5— 3,5	
Steppenböden des nördlichen Oberrheintales .	50— 70	braun bis dunkelgraubraun	0,8— 3	

schnittsprofil, P 12 ist die dunkelste und humusreichste Form des Wiener Beckens. P 13 und P 14 sind Durchschnittsprofile aus der Batschka (Jugoslawien).

P 11

Örtlichkeit: 18 km östlich Stadtzentrum von Wien (Österreich) und 1,4 km östlich Flughafen Schwechat, 50 m nördlich der Bundesstraße 9.

Lage: 180 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Jahresniederschlagssumme ~ 630 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 9,2° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 67.

Nutzung: Acker (Zuckerrüben, Weizen, Luzerne).

Boden: Dunkelbrauner Steppenboden aus Löß über Mittelterrasse der Donau.

A _{1p}	0—25 cm	dunkelbrauner (10 YR 3/3) Lehm, humos, kalkhaltig, krümelig, locker und ohne Übergang zum A ₂ (Probe-Nr. 3).
A ₂	25—50 cm	sehr dunkelgraubrauner (10 YR 3/2) Lehm, humos, kalkhaltig, kotkrümelig, zahlreiche senkrechte Wurmröhren. Wurmröhren und Klüfte im unteren Teil des A ₂ mit Pseudomycelien ausgekleidet. Übergang zum AC allmählich (Probe-Nr. 4).
AC	50—75 cm	dunkelbraun (10 YR 3/3) und gelbbraun gesprenkelter Lehm, schwach humos, kalkhaltig, kotkrümeliges und nadelstichporiges Mischgefüge und zahlreiche senkrechte, pseudomycelienreiche Wurmröhren. Übergang zum C allmählich (Probe-Nr. 5).
C	75 cm +	gelbbrauner Löß mit zahlreichen, mit Humusbelägen austapezierten Wurmröhren. Ab 180 cm Terrasse (Probe-Nr. 6). Im unteren A ₂ , im AC und im oberen C einige Krotowinen.

P 12

Örtlichkeit: Im Weinviertel (Österreich), 4 km nördlich Kleinprottes.

Lage: 228 m ü. NN; ebenes Hangzwischenstück.

Klima: Mittlere Jahresniederschlagssumme ~ 560 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 9,5° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 63.

Nutzung: Acker (Weizen, Luzerne).

Boden: Dunkler Steppenboden aus Löß.

A _{1p}	0—25 cm	sehr dunkelgrauer (10 YR 3/2) Lehm, humos, kalkhaltig, krümelig, locker und ohne Übergang zum A ₂ (Probe-Nr. 7).
A ₂	25—45 cm	sehr dunkelgrauer (10 YR 3/1) Lehm, humos, kalkhaltig, kotkrümelig, zahlreiche senkrechte Wurmröhren und Klüfte. Wurmröhren und Klüfte im unteren Teil des A ₂ mit Pseudomycelien ausgekleidet. Übergang zum AC allmählich (Probe-Nr. 8).
AC	45—65 cm	dunkelgraubraun (10 YR 3/2) und fahlbraun (10 YR 6/3) gesprenkelter Lehm, humos, kalkhaltig, kotkrümeliges und nadelstichporiges Mischgefüge. Wurmröhren pseudomycelreich. Übergang zum C allmählich (Probe-Nr. 9).

- C 65 cm + fahlbrauner (10 YR 6/3) Löß mit zahlreichen senkrechten Wurmröhren. Wurmröhren im oberen C pseudomycelreich und (bis zu einer Tiefe von 140 cm u. Fl.) mit Humusbelägen austapeziert (Probe-Nr. 10). Im unteren A₂, im AC und im oberen C einige Krotowinen.

P 13

Örtlichkeit: In der Südwand der Ziegeleigrube am südlichen Ortsausgang von Feketić in der Batschka (Jugoslawien).

Lage: 85 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 620 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 11° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 56.

Nutzung: Acker (Luzerne, Mais, Weizen).

Boden: Dunkler Steppenboden aus Löß.

- A_{1p} 0—20 cm sehr dunkelgraubrauner (10 YR 3/2) Lehm, humos, kalkhaltig, krümelig, locker und ohne Übergang zum A₂ (Probe-Nr. 23).
- A₂ 20—50 cm sehr dunkelgrauer (10 YR 3/1) Lehm, humos, kalkhaltig, kotkrümelig, zahlreiche senkrechte Wurmröhren. Wurmröhren und Klüfte im unteren Teil mit Pseudomycelien ausgekleidet. Im A₂ mehrere Krotowinen (Probe-Nr. 24).
- AC 50—75 cm sehr dunkelgraubraun (10 YR 2/2) und hellgelblichbrauner (10 YR 6/4) gesprenkelter Lehm, humos, kalkhaltig, kotkrümeliges und nadelstichporiges Mischgefüge und zahlreiche pseudomycelreiche senkrechte Wurmröhren. Übergang zum C allmählich. Im ganzen AC mehrere Krotowinen (Probe-Nr. 25a).
- C 75 cm + hellgelblichbrauner (10 YR 6/4) Löß mit zahlreichen, mit Humusbelägen austapezierten senkrechten Wurmröhren. Im oberen C mehrere Krotowinen (Probe-Nr. 25b).

P 14

Örtlichkeit: 11 km nördlich Neusatz (Novi Sad) bei Cenej in der Batschka (Jugoslawien.).

Lage: ca. 85 m ü. NN; eben.

Klima: Mittlere Niederschlagssumme ~ 625 mm.
Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ~ 11° C.
Regenfaktor nach LANG ~ 56.

Nutzung: Acker (Luzerne, Mais, Weizen).

Boden: Dunkler Steppenboden aus Löß.

- A_{1p} 0—22 cm sehr dunkelgrauer (10 YR 3/1) Lehm, humos, kalkhaltig, krümelig, locker und ohne Übergang zum A₂ (Probe-Nr. 47).
- A₂ 22—47 cm sehr dunkelgrauer (10 YR 3/a) Lehm, humos, kalkhaltig, kotkrümelig, zahlreiche senkrechte Wurmröhren. Im unteren Drittel auf Klüften und Wurmröhren Pseudomycelien. Übergang zum C allmählich. Mehrere Krotowinen im unteren A₂ (Probe-Nr. 48).

Tabelle 17. Chemische und physikalische Analysendaten von südost-

Entnahmeort	Probe-Nr.	Horizont	Entnahmetiefe in cm u. Fl.	pH in KCl	T-S-Wert	S-Wert	T-Wert	V-Wert	CaCO ₃ in %	Laktat- lösliches		Gesamt-		Fe ₂ O ₃ in %
										K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O %	P ₂ O ₅ %	
P 11, Schwechat	3	A _{1p}	15	7,6	0,2	11,6	11,8	98,5	9,8	5	3	1,8	0,19	1,2
	4	A ₂	40	7,7	0,1	12,0	12,1	99,4	14,7	4	1	1,8	0,13	1,2
	5	AC	60	7,7	0,1	9,2	9,3	99,0	32,7	2	0	1,5	0,10	0,8
	6	C	100	7,6	0	7,2	7,2	100	36,4	2	1	1,1	0,09	0,8
P 12, Weinviertel	7	A _{1p}	15	7,4	0,5	12,4	12,9	96,3	6,5	22	19	2,2	0,22	1,3
	8	A ₂	35	7,5	0,1	14,0	14,1	99,4	6,8	7	7	1,5	0,19	1,3
	9	AC	55	7,6	0,1	12,8	12,9	99,4	15,8	3	0	1,9	0,14	1,2
	10	C	90	7,6	0	10,0	10,0	100	30,9	2	0	1,5	0,09	0,8
P 13, Feketić	23	A _{1p}	10	7,6	0,1	11,6	11,7	99,3	10,2	9	7	1,6	0,23	0,9
	24	A ₂	35	7,9	0	12,4	12,4	100	12,8	6	5	1,8	0,24	0,8
	25a	AC	60	7,7	0	12,4	12,4	100	18,7	4	1	1,5	0,19	0,9
	25b	C	100	7,7	—	—	—	—	20,4	—	—	—	—	—
P 14, Neusatz	47	A _{1p}	10	7,6	0,5	16,8	17,3	97,3	3,7	6	11	1,7	0,21	1,2
	48	A ₂	37	7,8	0,3	16,4	16,7	98,4	8,0	5	1	1,8	0,18	1,3
	49	AC	65	7,8	0,3	11,6	11,9	97,4	21,9	3	1	1,3	0,12	0,8
	50	C	100	8,0	0,2	9,2	9,4	98,0	30,1	2	0	1,2	0,10	0,8

AC 47—77 cm sehr dunkelgrau (10YR 3/1) und hellgelblichbraun (10YR 6/4) gesprenkelter Lehm, schwach humos, kalkhaltig, kotkrümeliges und nadelstichporiges Mischgefüge und zahlreiche senkrechte Wurmröhren. In Wurmröhren und auf Kluftflächen Pseudomycelien. Übergang zum C allmählich. Zahlreiche Krotowinen im ganzen AC (Probe-Nr. 49).

C 77 cm + hellgelblichbrauner (10YR 6/4) Löß, zahlreiche senkrechte Wurmröhren. Wurmröhren mit Humusbelägen austapeziert. Im oberen C vereinzelt weiche Kindl (max. \varnothing 2 cm) und mehrere Krotowinen (Probe-Nr. 50).

Die südosteuropäischen Steppenböden (P 11—P 14) besitzen den gleichen Grundaufbau und dieselben Steppenmerkmale wie die dunkelbraunen und braunen Steppenböden (P 1—P 4) des nördlichen Oberrheintales. Sie sind lediglich etwas dunkler und einige Zentimeter mächtiger. Auch sie sind bis zur Oberfläche kalkhaltig. Ihre Klüfte und Leitbahnen im unteren A₂, im AC und im oberen C sind pseudomycelreich. Eine Kalkanreicherung liegt außerdem im Grenzbereich vom AC—C vor, in dem mitunter auch kleine, weiche Kindl zu beobachten sind. Die Struktur und die Tiergänge sind ähnlich wie bei P 1—P 4 ausgebildet. Auch im Dünnschliff zeigen P 11—P 14 ein lockeres, gut geflocktes Schwammgefüge ohne Braunlehm und viel Calcit in den Leitbahnen. Auch diese Böden sind offenbar sekundär regradiert. Bemerkenswert ist auch

europäischen Steppenböden aus Löß (Analytiker: Dr. PFEFFER)

%	Humus				Korngrößen ^ 2 mm	Korngrößen in mm in % des Feinbodens										Ton Porenvolumen in %	Durchlässigkeit in kg cm/s
	Z G.	SrL L	C/N	Sand				Schluff				Ton < 0,002					
				2-1		1-0,6	0,6-0,2	0,2-0,1	0,1-0,06	0,06-0,02	0,02-0,01		0,01-0,006	0,006-0,002			
2,5	40,3	8,9	8,4	1,4	0,5	0,6	3,1	4,8	6,5	35,2	11,5	4,0	7,0	26,8	—	—	
2,0	38,5	22,2	9,3	0,2	0,2	0,1	1,7	3,1	4,5	34,7	13,0	5,0	8,0	29,7	—	—	
1,0	40,5	27,6	7,3	0	0	0,1	1,6	3,7	6,0	37,0	15,0	5,5	7,0	24,1	—	—	
0,4	—	—	—	1,0	0,1	0,1	1,6	4,5	9,3	45,6	12,9	3,6	5,2	17,2	—	—	
3,3	68,5	15,8	9,8	0,5	0,2	0,4	3,8	2,6	6,5	36,2	15,5	2,5	7,9	24,4	—	—	
3,1	48,6	14,7	9,0	0,4	0,2	0,4	4,2	2,0	5,0	36,3	14,0	4,0	8,0	25,9	—	—	
2,3	51,4	19,4	9,4	0,2	0,2	0,2	2,7	1,3	3,5	34,5	15,5	5,5	8,5	28,1	—	—	
0,4	—	—	—	0	0	0,2	1,0	0,8	6,5	45,9	15,0	4,5	6,0	20,1	—	—	
3,5	59,5	11,5	10,4	0	0	0,1	0,2	0,5	6,8	38,9	15,5	5,3	9,7	22,9	—	—	
2,9	48,9	14,3	8,9	0	0,1	0,1	0,2	0,5	3,5	43,0	16,5	4,5	8,0	23,6	—	—	
2,1	—	—	—	0	0	0,1	0,1	0,2	3,5	37,5	19,0	5,0	8,0	26,6	—	—	
0,5	—	—	—	—	—	—	21,4	—	—	—	56,8	—	—	21,8	—	—	
3,5	65,6	9,0	8,5	0	0	0,1	0,4	1,6	9,0	35,5	13,5	7,0	12,5	20,4	—	—	
3,5	56,8	16,0	9,1	0	0	0,1	0,4	2,0	5,0	30,7	13,5	6,5	12,5	29,3	—	—	
1,7	12,4	50,6	7,7	0	0	0,1	0,7	2,4	8,0	31,2	14,5	8,0	6,5	28,6	—	—	
0,4	—	—	—	0	0,1	0,1	1,2	4,7	13,3	34,0	13,3	5,0	7,0	21,3	—	—	

die vorzügliche Übereinstimmung der chemischen und physikalischen Analysendaten von P 11—P 14 mit P 1—P 4. Lediglich der Humusgehalt ist bei P 13—P 14 etwas höher.

Tabelle 18. Mineralische Zusammensetzung der Tonfraktion südosteuropäischer dunkler Steppenböden aus Löß (Analytiker: Dr. HEIM)

Entnahmeort	Probe-Nr.	Horizont	Entnahmetiefe in cm u. Fl.	Mineralische Zusammensetzung des Tones ($\varnothing < 2$ mm) in %				
				Quarz	Feldspat	Kaolinit	Glimmer	Chlorit
P 11, Schwechat	3	A _{1p}	15	10—15	3—5	3—5	15—25	50—75
	4	A ₂	40	10—15	3—5	3—5	15—25	50—75
	6	C	100	10—15	3—5	3—5	15—25	50—75
P 12, Weinviertel	7	A _{1p}	15	15—20	3—5	5	20	50—60
	8	A ₂	35	15—20	3—5	5	20	50—60
	10	C	90	15—20	3—5	5	20	50—60
P 13, Feketic	23	A _{1p}	10	10—20	3—5	2—3	10—20	50—70
	24	A ₂	35	10—20	3—5	2—3	10—20	50—70
	25b	C	100	10—15	2—3	5	20—25	50—60

Die nahe Verwandtschaft oberrheinischer und südosteuropäischer Steppenböden geht auch aus den mineralogischen Befunden hervor, die ebenfalls keine stärkere Verwitterung und sekundäre Tonmineralbildung erkennen lassen (Tab. 18).

Die genetische Verwandtschaft der oberrheinischen und südosteuropäischen Steppenböden wird ferner durch C^{14} -Bestimmungen wahrscheinlich gemacht. Der A_2 -Horizont des Steppenbodens aus dem Weinviertel (P 12) hatte ein „vorläufiges C^{14} -Alter“ von 3100 Jahren und der von Feketić (P 13) ein „tatsächliches“ von 5280 ± 150 Jahren. Demnach scheint die Bildungsphase auch dieser Böden im Boreal gelegen zu haben.

3. Gliederungsvorschlag

Der Vergleich der oberrheinischen Steppenböden mit den übrigen europäischen Steppenböden hat gezeigt, daß die Steppenböden des nördlichen Oberrheintales sehr nahe mit den südosteuropäischen Steppenböden verwandt sind. Beide Formen wiederum sind offenbar nahe verwandt mit dem „braunen Tschernosem“ Bulgariens (STRANSKI 1955), mit dem „Krim-Tschernosem“ (POPOWA 1956) und dem „Priasowschen Tschernosem“ (RODE 1955). Diese 3 Formen sind ebenfalls größtenteils aus Löß entstanden und besitzen sehr ähnlich gefärbte und mächtige A-Horizonte. Auch der Humus- und Karbonatgehalt sind vergleichbar. Nach STRANSKI (1955) hat der „braune Tschernosem“ Humusgehalte zwischen 1—2 %, reichlich Pseudomycelien und ist bis zur Oberfläche kalkhaltig. Den Carbonatgehalt hält STRANSKI (1955) für sekundär und erklärt ihn mit kapillarer Aufwärtsbewegung von Bi-Karbonat. Den geringen Humusgehalt der „braunen Tschernoseme“ führen ANTIPOW-KARATEW & GERASSIMOW (zit. in: STRANSKI 1955) auf Bewirtschaftungsfehler und STRANSKI (1955) auf das feuchtere und wärmere Klima zurück. Bemerkenswert ist der Klimavergleich von STRANSKI (1955), der in Tabelle 19 zusammengestellt ist.

Tabelle 19. Klimadaten in Steppenbodengebieten nach STRANSKI (1955)

Boden	Mittlere Jahresdurchschnitts- temperatur ° C	Mittlerer Jahresniederschlag in mm
brauner Tschernosem	10,5—12,0	530—610
Tschernosem	3,0— 7,5	360—550
Kastanosem und Burosem . . .	—	200—350

STRANSKI (1955) sieht darin den Beweis, daß die braunen Tschernoseme nahe Verwandte der Tschernoseme sind. Die südlichen Tschernoseme, Kastanoseme und Buroseme entstehen unter arideren Bedingungen. Eine ähnliche Beschreibung und Deutung finden wir bei RODE (1955) und POPOWA (1956) für den Priasowschen und Krim-Tschernosem aus Löß. Für den geringeren Humusgehalt machen RODE (1955) und POPOWA (1956) vor allem die milden Winter verantwortlich. Der Verfasser schließt sich der Auffassung von STRANSKI, RODE und POPOWA voll an. Die Sieroseme, Buroseme und Kastanoseme weichen nicht nur in den bodeneigenen Merkmalen von den südosteuropäischen Steppenböden ab, sondern sie entstehen auch unter viel arideren

und kontinentaleren Bedingungen. Die Priasowschen und Krimtschernoseme, die südosteuropäischen und oberrheinischen Steppenböden stoßen außerdem an die große Zone der Tschernoseme an; sie sind gewissermaßen die südliche bis westliche Fortsetzung der Tschernoseme. Die oberrheinischen Steppenböden sind davon das westlichste Steppenbodenvorkommen in Europa überhaupt. Auch der regionale Vergleich spricht für eine Tschernosemverwandtschaft.

Die erheblichen Abweichungen der bodeneigenen Merkmale zwischen den oberrheinischen und den echten Tschernosemen lassen sich noch am ehesten aus der unterschiedlichen Genese dieser Böden erklären. Die Tschernoseme des zentralen europäisch-russischen Steppenbodengebietes begannen sich vermutlich schon im Spätglazial, vielleicht sogar schon während des letzten Glazials zu bilden (TATARINOV 1949, WILHELMY 1950). Andererseits hält ihre Entwicklung vermutlich auch heute noch an. Dem Tschernosem hat in jedem Fall ein mehrfach längerer Entwicklungszeitraum als den oberrheinischen Steppenböden zur Verfügung gestanden. Allein aus dieser Tatsache lassen sich die größeren Entwicklungstiefen und die höheren Humusgehalte erklären. Die recht erheblichen Abweichungen in den aktuoklimatischen Bedingungen zwischen dem zentraleuropäisch-russischen Tschernosemgebiet und dem Oberrheintal erklären die Unterschiede im Kalkgehalt. Die winterliche Lahmlegung der Abbauprozesse durch Bodenfrost und Sommerdürre unterstützten nicht nur die Humusakkumulation der Tschernoseme, sondern behindern auch den Lösungsaufstieg. In dem sommerfeuchten und wintermilden Klima des Oberrheintales hingegen vollziehen sich vermutlich der Abbau der organischen Substanz und Lösungswanderung während des ganzen Jahres. Diese Dynamik ist offenbar mit dem Atlantikum eingeleitet worden.

Da neben den bodeneigenen Merkmalen auch die Genese der oberrheinischen Steppenböden recht erheblich von den Tschernosemen abweicht, ist eine eigene Typenbezeichnung für die Steppenböden im nördlichen Oberrheintal gerechtfertigt. Dieser Vorschlag läßt sich unbedenklich auf das gesamte Oberrheintal anwenden, da die weiter südlich im Rheintal vorkommenden Steppenböden (Kaiserstuhl und Raum Kolmar) die gleichen Merkmale besitzen und sehr wahrscheinlich auch die gleiche Genese haben. In Anlehnung an die verwandten südosteuropäischen (Voyvodina-Tschernosem) und osteuropäischen Steppenböden (Krim-Tschernosem, Priasowscher Tschernosem) empfiehlt es sich, auch in diesem Fall den Begriff Tschernosem vorläufig mit der Lokalbezeichnung zur Typenbezeichnung zu kombinieren. Der Verfasser schlägt daher als Bodentypenbezeichnung für die Steppenböden des Oberrheintales den Namen „Rheintal-Tschernosem“ vor. Die vier — bisher als Formen bezeichneten — abweichenden Steppenböden wären dann Subtypen. Unter Berücksichtigung der bodenfremden und -eigenen Kriterien der Steppenböden des Oberrheintales, der Nomenklaturregeln KUBLĚNAS (1953) und der neuen Kategorisierung der Böden Deutschlands (MÜCKENHAUSEN 1960) möchte der Verfasser hiermit für die oberrheinischen Steppenböden folgenden Gliederungsvorschlag im System der Böden Deutschlands zur Diskussion stellen:

Klasse: Steppenböden
 Bodentyp: Rheintaltschernosem

- Subtypen: 1. Dunkelbrauner Rheintaltschernosem
 2. Brauner Rheintaltschernosem
 3. Degradierter brauner Rheintaltschernosem
 4. Degradierter grauer Rheintaltschernosem

IV. Zusammenfassung

Im nördlichen Oberrheintal (Rheingau, Ried, Rheinhessen, Vorderpfalz) treten auf Löß und Hochflutlehm inselförmig Steppenböden auf. Diese Steppenböden sind im Klimaoptimum des letzten Postglazials entstanden und haben nach ihrer Bildung eine Degradations- und Regradationsphase durchlaufen. Sie sind humos bis schwach humos und stets kalkhaltig. Nach ihren bodeneigenen Merkmalen sind sie mit den südosteuropäischen Steppenböden nahe verwandt. Beide Formen wiederum sind nahe Verwandte des Tschernosems. Da die oberrheinischen Steppenböden im Humus- und Karbonatgehalt, in der Entwicklungstiefe und in der Genese von Tschernosemen abweichen, wird für sie die Bodentypenbezeichnung „Rheintaltschernosem“ vorgeschlagen. Der Bodentyp Rheintaltschernosem läßt sich nach bodeneigenen Merkmalen in die vier Subtypen „Dunkelbrauner“, „Brauner“, „Degradierter brauner“ und „Degradierter grauer Rheintaltschernosem“ aufteilen.

V. Angewendete Untersuchungsmethoden

a) Chemische Methoden

1. Der pH-Wert wurde in KCl-Aufschlämmung mit der Chinhydronelektrode gemessen (THUN *usf.* 1955).

2. Der Basensättigungszustand (PFEFFER 1961):

$T-S$ = mval austauschbarer H-Ionen in 100 g Boden,

S = mval austauschbarer Basen in 100 g Boden,

T = Summe aus $(T-S)$ + S ,

V = S in % von T .

Die Bestimmung von $T-S$

100 g Boden (< 2 mm) wurden mit 250 ml n/1 Calciumacetatlösung geschüttelt und filtriert. Der Acetatauszug wurde unter Verwendung von Phenolnaphthalein als Indikator mit n/10 NaOH titriert. Ein Blindversuch ohne Bodenlösung wurde in gleicher Weise durchgeführt. Die Summe beider Werte wurde zur Berechnung des $T-S$ -Wertes verwandt (Faktor 0,65 nach KAPPEN).

Die Bestimmung von S

Benutzt wurde ein Durchlaufrohr von ca. 15 cm Länge und 3,5 cm Durchmesser. Das Durchlaufrohr wurde auf einen Meßkolben (250 ml) aufgesetzt und 25 g Boden langsam mit n/10 Ammoniumchloridlösung ausgelaugt, bis der Meßkolben bis zur Marke gefüllt war. Zu 5 ml des Auszuges wurde Formaldehyd gegeben und unter

Verwendung von Phenolnaphthalein als Indikator mit $n/10$ NaOH titriert. Ein Blindversuch wurde in gleicher Weise durchgeführt, die Summe beider Werte wie üblich zur Berechnung von S benutzt.

3. Das CaCO_3 wurde nach der Methode SCHEIBLER bestimmt (WAHNSCHAFFE & SCHUCHT 1914).
4. Die Ermittlung des laktatlöslichen K_2O und P_2O_5 erfolgte nach RIEHM (THUN usf. 1955).
5. Das Gesamtkali wurde nach Aufschließung des Bodens mit Flußsäure und Überchlorsäure und Ausfällung der Sesquioxide mit Ammoniak und Oxalat flammphotometrisch bestimmt.
6. Die Gesamtphosphorsäure wurde nach Aufschließung mit Überchlorsäure nach der Vanadatmethode kolorimetrisch ermittelt (PFEFFER 1953).
7. Das Fe_2O_3 wurde im Natrium-Dithionitauszug nach DEB (1950—1951) bestimmt.
8. Der Gesamthumusgehalt wurde nach LICHTERFELDE (THUN usf. 1955) ermittelt.
9. Der $\frac{\text{SrL}}{\text{L}}$ -Quotient wurde nach SPRINGER (THUN usf. 1955) bestimmt.
10. Das C/N-Verhältnis wurde aus dem Gesamtkohlenstoff der organischen Substanz und dem nach der Methode KJELDAHL ermittelten Stickstoff errechnet (THUN usf. 1955).
11. Die Bestimmung des Zersetzungsgrades (Z. G.) erfolgt nach SPRINGER (1928, 1940).

b) Physikalische Methoden

1. Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung wurden die Korngrößen von 2 mm bis 0,2 mm naß gesiebt und die feineren Fraktionen nach der Pipettmethode von KÖHN ermittelt, nachdem sie mit dem Schallfixgerät in einer 0,4426 %igen Natriumpyrophosphatlösung suspendiert worden waren.
2. Das Porenvolumen wurde nach der Formel

$$p = \left(1 - \frac{r_t}{s}\right) 100$$

errechnet (THUN usf. 1955). Die Probenentnahme erfolgt in 100 cm³ Zylinder. Von den jeweiligen Horizonten ist im Text nur der statistische Mittelwert angegeben.

3. Zur Durchlässigkeitsbestimmung wurden aus gewachsenen Böden in 100 cm³-Zylindern Proben entnommen. Auf die wassergesättigte Probe wurde vorsichtig Wasser aufgebracht und beobachtet, in welcher Zeit sich der Wasserspiegel um ein bestimmtes Maß senkt. Die Durchlässigkeit wurde nach der Formel von DARCY errechnet. In jedem Horizont wurden — je nach Streuung — mehrere Einzelbestimmungen vorgenommen. Nur der arithmetische Mittelwert ist im Text mitgeteilt (vgl. ZAKOSEK 1960).
4. Für die C¹⁴-Bestimmung wurden Proben wie folgt vorbereitet: Durch Sieben wurde Feinboden (< 2 mm Ø) gewonnen. Aus dem Feinboden wurde die gröbere organische Substanz (2 mm—20 mm) mittels Binokular und Mikroskop aussortiert. Der verbleibende Humus wurde nach Beseitigung der Karbonatkohlensäure durch verdünnte Schwefelsäure mit Chromschwefelsäure verbrannt und das CO₂ in Kalilauge aufgefangen.

5. Die Vorbehandlung und Gewinnung der Tonfraktion für die Röntgenanalysen erfolgte nach Angaben von SCHACHTSCHABEL (1960) und HEIM (1958). Danach wurde der Ton (Teilchen $< 2 \text{ mm } \varnothing$) nach einem Sedimentierverfahren gewonnen und die Karbonate (mit HCl) und die organische Substanz (mit H_2O_2) wurden vorsichtig zerstört und die freien Oxyde mit Na-Dithionit entfernt.
6. Die Bodendünnschliffe wurden nach der von ALTEMÜLLER (1956) entwickelten Methode hergestellt.

Schriftenverzeichnis

- ALTEMÜLLER, H.-J.: Neue Möglichkeiten zur Herstellung von Bodendünnschliffen. — Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenk., **72** (117), S. 56—62, Weinheim u. Berlin 1956.
- BERTSCH, K.: Paläobotanische Monographie des Federseerieds. — Biblioth. Botanica, **26**, H. 103, Stuttgart 1931.
- DEB, B. C.: The estimation of free iron oxides in soils and clays and their removal. — Journ. of Soil Sc., S. 212—220, 1950—1951.
- DOKUTSCHAJEW, W. W.: Die russische Schwarzerde. St. Petersburg 1883.
- FIRBAS, F.: Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte der Rheinpfalz. — Beiheft botan. Centralbl., **52**, Abt. B, 1934.
- Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. I. Bd., Jena 1949.
- FRANZ, H.: Die termophilen Elemente der mitteleuropäischen Fauna und ihre Beeinflussung durch die Klimaschwankungen der Quartärzeit. — Zoogeographica, **3**, S. 159—320, 1936.
- Zur Kenntnis der „Steppenböden“ im pannonischen Klimagebiet Österreichs. — Die Bodenkultur, **8**, H. 2, S. 125—132, Wien 1955.
- Feldbodenkunde. Wien u. München 1960.
- FRECHEN, J.: Die basaltischen „Ausbläser“ von Kärlich (Neuwieder Becken) und die Verbreitung ihrer Tuffe. — Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf., **4**, S. 301—312, Krefeld 1959.
- GANSSEN, R. & H. HARTH: Beiträge zur Kenntnis der Böden des Oberrheingrabens. — Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk., **76**, S. 213—223, Berlin u. Weinheim 1957.
- GEISENHEYNER: Eine merkwürdige Pflanzengesellschaft, ihr Standort und ihr Herkommen. — Aus der Heimat, **17**, Stuttgart 1914.
- GLINKA, K.: Die Typen der Bodenbildung. Berlin 1914.
- GRAHMANN, R.: Urgeschichte der Menschheit. 2. Aufl. Stuttgart 1956.
- HARTH, H.: Beiträge zur Kenntnis der Steppen- und steppenähnlichen Böden des Oberrheintales. Diss. Freiburg 1956.
- HEIM, D.: Schriftliche Mitteilung vom 24. XII. 1958.
- HOHENSTEIN, V.: Die Löß- und Schwarzerdeböden Rheinhessens. — Jber. u. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., NF **9**, 1920.
- HUND, H.: Mündliche Mitteilung am 13. IV. 1961.
- JÄNNICKE, W.: Die Sandflora von Mainz, ein Relikt aus der Steppenzeit. Frankfurt/Main 1892.
- KAYSER, E.: Lehrbuch der Geologie. IV. Bd., 7. Aufl., Berlin 1924.
- Klimaatlas von Rheinland-Pfalz. Bad Kissingen 1957.
- Klimakunde des Deutschen Reichs. Berlin 1939.
- KOSSOWITSCH, P.: Die Schwarzerde. — Intern. Mitt. Bodenkunde, **1**, 1911—1912.
- KRAUSS, G.: Diskussionsbemerkung gelegentlich der Exkursion in der Vorderpfalz anlässlich der Tagung der DBG am 23. IX. 1952.
- KUBIĚNA, W. L.: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. 382 S., Stuttgart 1953.

- LAATSCH, W.: Die Bodentypen um Halle (Saale) und ihre postdiluviale Entwicklung. — Jb. Hall. Verb., **13**, S. 57—112, Halle a. d. Saale 1934.
- Dynamik der Acker- und Waldböden. Dresden u. Leipzig 1938.
- Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. Dresden u. Leipzig 1944 u. 1954.
- LANG, R.: Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde. Stuttgart 1920.
- LUEDECKE, C.: Die Boden- und Wasserverhältnisse der Provinz Rheinhessen, des Rheingaus u. Taunus. — Abh. großherzogl. hess. geol. L.-A., **3**, Darmstadt 1899.
- MICHEL, F.: Erl. zur geol. Karte Preußen 1 : 25 000, Bl. Eltville–Heidenfarth. Berlin 1931.
- MÜCKENHAUSEN, E.: Die wichtigsten Böden der Bundesrepublik Deutschland. — Wissenschaftl. Schriftenreihe d. AID, H. XIV, Bad Godesberg 1957.
- Die Beurteilung des Bodengefüges bei der forstlichen Standortsaufnahme. — In: Landwirtschaft-Angewandte Wissenschaft, S. 44—57, Hiltrup 1958.
- Schriftliche Mitteilung vom 23. 12. 1960.
- MÜNICHSDORFER, F.: Bodenkarte von Bayern 1 : 400 000 mit Erläuterungen. München 1929.
- MUNSELL: Soil color charts. Baltimore 1954.
- NEUGEBAUER, V.: Voyvodanski Cernozem. — Matica Srepska 1951.
- OBERDORFER, E.: Pflanzensoziologische Probleme des Oberrheingebietes. — Ber. deutsch. bot. Ges., **55**, 1937.
- OSTENDORFF, E.: Fossile Schwarzerden und Waldböden in Südwestdeutschland und ihre Bedeutung für die Diluvialgeschichte. — Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenk., **65**, S. 62—80, Berlin 1954.
- PFEFFER, P.: Eine kolometrische Methode zur raschen Bestimmung der Gesamtphosphorsäure. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., (VI) **4**, S. 336—344, Wiesbaden 1953.
- Schriftliche Mitteilung am 23. 3. 1961.
- PINKOW, H.-H.: Steinheimer Hof bei Eltville (Rheingau), Bodenkarte I. — Landwirtschaft u. Bodenerosion v. H. KURON. — Mitt. Institut Raumpforsch., H. 29, Bad Godesberg 1956.
- POPOWA, T. W.: Zur Charakteristik der Schwarzerden auf der Steppenkrim. — Bodenkunde, **11**, S. 29—40, 1956 (russ.).
- RODE A. A.: Tschernoseme neben dem Asowschen Meer und im Vorkaukasus. — Bodenkunde, 1955 (russ.).
- ROTHSCHILD, S.: Zur Geschichte der Moore und Wälder im Nordteil der Oberrheinischen Tiefebene. — Beih. bot. Zbl., 54/B, S. 140—184, 1935.
- SCHACHTSCHABEL, P.: Schriftliche Mitteilung vom 22. 11. 1960.
- SCHERING, H. B.: Chemische Untersuchungen an Löß u. Lehm. Diss. Freiburg 1909.
- SCHLACHT, K.: Bodenstruktur und Sohlenbildung mit Kartierungsbeispielen aus der Vorderpfalz. — Z. Pflanzenern., Düngg., A. **27**, Berlin 1933.
- SCHNELL, A.: Chemische Untersuchungen über den Löß von Sprendlingen (Rheinhessen). Diss. Gießen 1928.
- SCHÖNHALS, E.: Der Basalt-Tuff von Kärlich als Leithorizont des Würm-Hochglazials. — Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westfalen, **4**, S. 313—322, Krefeld 1959.
- SCHOPP, H.: Geol. Karte 1 : 25 000 nebst Erläuterungen, Bl. Fürfeld. Darmstadt 1913.
- SCHOTTLER, W.: Bodenkarte von Hessen 1 : 600 000 mit Erläuterungen. — Notizbl. d. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A., (V) **12**, Darmstadt 1930.
- SPRINGER, U.: Die Bestimmung der organischen, insbesondere der humifizierten Substanz im Boden. — Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenk., A **11**, 1928.
- Humifizierung und Zersetzung und ihre Bestimmung in Torfen, Stallmistern und anderen organischen Bildungen. — Z. Bodenk., Pflanzenern., **18**, 1940.
- STEBUT, A.: Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde. Berlin 1930.
- STÖHR, W. & H. ZAKOSEK: Übersicht 1 : 300 000 über die Steppenböden Rheinhessens. Mainz 1961 (unveröffentlichtes Manuskript beim Geol. Landesamt Rheinland-Pfalz).
- STRANSKI, T.: Die Böden Bulgariens und ihre Eigentümlichkeiten. — Die Deutsche Landwirtschaft, **6**, S. 588—595, Berlin 1955.

- STREMME, H.: Die Verbreitung der klimatischen Bodentypen in Deutschland. — BRANCA-Festschrift, Berlin 1914 (1914a).
- Die Böden der pontischen Pflanzengemeinschaft. — Aus der Heimat, 1914 (1914b).
- Grundzüge der praktischen Bodenkunde. Berlin 1926.
- Über Steppenböden im Rheinland. — Chemie der Erde, 3, Jena 1928.
- Die Braunerden. — Handb. Bodenlehre v. Blanck, V, Bd., Berlin 1930 (1930a).
- Die Böden Deutschlands. — Handb. Bodenlehre v. Blanck, V. Bd., Berlin 1930 (1930b).
- Die Böden des Deutschen Reiches u. der Freien Stadt Danzig. — Peterm. Mitt., Ergänzungsheft 226, Gotha 1936.
- STREMME, H. E.: Zum Vorkommen brauner Steppenböden im Oberrheingebiet. — Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenk., 60, S. 273—278, Weinheim u. Berlin 1953.
- TETARINOV, K.: Charakteristische Tschernoseme im Raume Zauralja. — Bodenkunde, 7, 1949 (russ.).
- THUN, R., R. HERRMANN & E. KNICKMANN: Die Untersuchung von Böden. — Methodenbuch, Bd. I, Berlin 1955.
- WAGNER, W.: Geol. Karte 1: 25 000 nebst Erläuterung, Bl. Wöllstein-Kreuznach. Darmstadt 1926.
- Geologische Karte 1: 25 000, Bl. Wörrstadt. Darmstadt 1935.
- WAHNSCHAFFE, F. & F. SCHUCHT: Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung. 216 S., Berlin 1914.
- WEILER, W.: Mündl. Mitteilung am 23. 9. 1952.
- WENDELBERGER, G.: Steppe, Trockenraum u. Wälder des pannonischen Raumes. — Angew. Pflanzensoziol. Festschrift E. Aichinger, S. 573—634, 1954.
- WENZ, W.: Das Mainzer Becken und seine Randgebiete. Heidelberg 1921.
- WERNECK, H. L.: Die naturgesetzlichen Grundlagen des Pflanzen- und Waldbaues in Niederösterreich. — Fortschr. Landeskunde Niederösterreich, 7, Wien 1953.
- WILHELMY, H.: Das Alter der Schwarzerde und der Steppen Mittel- und Osteuropas. — Erdkunde, 4, S. 5—34, 1950.
- WOLDSTEDT, P.: Das Eiszeitalter. I. u. II. Bd., 2. Aufl., Stuttgart 1954 u. 1958.
- ZAKOSEK, H.: Bodenkundliche Übersichtskarte 1: 300 000 der Rheinpfalz. Mainz 1953 (unveröffentlichtes Manuskript bei dem Geol. Landesamt Rheinland-Pfalz).
- Die Böden der Rheinpfalz. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 84, S. 356—373, Wiesbaden 1956.
- Bodenkarte des Weinbaugebietes „Rheingau“ i. M. 1: 2500, Bl. Östrich-a. Wiesbaden 1956.
- Bericht über die Ergebnisse einer vergleichenden bodenkundlichen Begehung von Steppenböden in Österreich und Jugoslawien, zwecks Klärung der genetischen und systematischen Stellung der Steppenböden im Oberrheinalgraben usf. Am 24. 12. 1957 an die DFG.
- Die Böden des Rheingaukreises und ihre pflanzenbauliche Nutzung. — Der Rheingau von morgen, Beiheft 1, S. 43—69, Wiesbaden 1958.
- Durchlässigkeitsuntersuchungen an Böden unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogleye. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 32, 63 S., Wiesbaden 1960.
- & V. NEUGEBAUER: Die Smonica. — Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenk. (in Druckvorbereitung).

Manuskript eingegangen am 2. 10. 1961

Anschrift des Autors:

Privatdozent Dr. HEINRICH ZAKOSEK, Regierungsgeologe beim
Hessischen Landesamt für Bodenforschung,
Wiesbaden, Leberberg 9–11

Für die Redaktion verantwortlich:

Privatdozent Dr. FRITZ KUTSCHER, Oberregierungsgeologe beim
Hessischen Landesamt für Bodenforschung,
Wiesbaden, Leberberg 9–11

In dieser Reihe bisher erschienen

Heft 1:	JOHANNSEN, A.: Die geologischen Grundlagen der Wasserversorgung am Ostrand des Rheinischen Gebirges im Raume von Marburg-Frankenberg-Borken. 1950. 87 S., 10 Taf., 8 Abb.	8,— DM
Heft 2:	SCHÖNHALS, E.: Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Mit einer bodenkundlichen Übersichtskarte 1:300000. 1954. 288 S., 15 Taf., 25 Abb., 60 Tab.	15,— DM
Heft 3:	KUBELLA, K.: Zum tektonischen Werdegang des südlichen Taunus. 1951. 81 S., 2 Taf., 14 Abb.	5,— DM
Heft 4:	GÖRGES, J.: Die Lamellibranchiaten und Gastropoden des oberoligozänen Meeressandes von Kassel. 1952. 134 S., 3 Taf.	7,50 DM
Heft 5:	SOLLE, G.: Die Spiriferen der Gruppe <i>arduennensis-intermedius</i> im rheinischen Devon. 1953. 156 S., 18 Taf., 45 Abb., 7 Tab.	20,— DM
Heft 6:	SIMON, K.: Schrittweises Kern- und Messen bodenphysikalischer Kennwerte des ungestörten Untergrundes. 1953. 63 S., 3 Taf., 19 Abb.	7,— DM
Heft 7:	KEGEL, W.: Das Paläozoikum der Lindener Mark bei Gießen. 1953. 55 S., 3 Taf., 3 Abb.	6,— DM
Heft 8:	MATTHES, S.: Die Para-Gneise im mittleren kristallinen Vor-Spessart und ihre Metamorphose. 1954. 86 S., 36 Abb., 8 Tab.	12,50 DM
Heft 9:	RABIEN, A.: Zur Taxonomie und Chronologie der Oberdevonischen Ostracoden. 1954. 269 S., 7 Abb., 5 Taf., 4 Tab.	17,— DM
Heft 10:	SCHUBART, W.: Zur Stratigraphie, Tektonik und den Lagerstätten der Witzenhäuser Grauwacke. 1955. 67 S., 4 Taf., 8 Abb.	8,— DM
Heft 11:	STREMMER, H.: Bodenentstehung und Mineralbildung im Neckarschwemmlern der Rheinebene. 1955. 79 S., 3 Taf., 35 Abb., 28 Tab.	7,— DM
Heft 12:	v. STETTEN, O.: Vergleichende bodenkundliche und pflanzensoziologische Untersuchungen von Grünflächen im Hohen Vogelsberg (Hessen). 1955. 67 S., 1 Taf., 4 Abb., 2 Tab.	5,50 DM
Heft 13:	SCHENK, E.: Die Mechanik der periglazialen Strukturböden. 1955. 92 S., 21 Abb., 13 Tab., 10 Taf.	12,— DM
Heft 14:	ENGELS, B.: Zur Tektonik und Stratigraphie des Unterdevons zwischen Loreley und Lorchhausen a. Rhein (Rheinisches Schiefergebirge). 1955. 96 S., 31 Abb., 2 Tab., 15 Diagramme, 5 Taf.	12,60 DM
Heft 15:	WIEGEL, E.: Sedimentation und Tektonik im Westteil der Galgenberg-Mulde (Rheinisches Schiefergebirge, Dill-Mulde). 1956. 156 S., 41 Abb., 7 Taf., 7 Taf.	18,60 DM
Heft 16:	RABIEN, A.: Zur Stratigraphie und Fazies des Oberdevons in der Waldecker Hauptmulde. 1956. 83 S., 2 Abb., 2 Tab., 3 Taf.	7,— DM
Heft 17:	SOLLE, G.: Die Watt-Fauna der unteren Klerfer Schichten von Greimerath (Unterdevon, Südost-Eifel). Zugleich ein Beitrag zur unterdevonischen Mollusken-Fauna. 1956. 47 S., 7 Abb., 6 Taf.	5,— DM
Heft 18:	Beiträge zur Geologie des Vorspessarts. Mit 6 Beiträgen von BEDERKE, BRAITSCH, GABERT, MURAWSKI, PLESSMANN. 1957. 167 S., 65 Abb., 18 Tab.	13,— DM
Heft 19:	BISCHOFF, G.: Die Conodonten-Stratigraphie des rhenohertzynischen Unterkarbons mit Berücksichtigung der <i>Wocklumeria</i> -Stufe und der Devon/Karbon-Grenze. 1957. 64 S., 1 Abb., 2 Tab., 6 Taf.	8,— DM
Heft 20:	PILGER, A. & SCHMIDT, W.: Die Mullion-Strukturen in der Nord-Eifel. 1957. 53 S., 42 Abb., 8 Taf.	9,80 DM
Heft 21:	LEHMANN, W. M.: Die Asterozoen in den Dachschiefern des rheinischen Unterdevons. 1957. 160 S., 31 Abb., 55 Taf.	30,— DM

Heft 22:	BISCHOFF, G. & ZIEGLER, W.: Die Conodontenchronologie des Mitteldevons und des tiefsten Oberdevons. 1957. 135 S., 16 Abb., 5 Tab., 21 Taf.	20,— DM
Heft 23:	ZÖBELEIN, H. K.: Kritische Bemerkungen zur Stratigraphie der Subalpinen Molasse Oberbayerns. 1957. 91 S., 2 Abb.	8,— DM
Heft 24:	GUNZERT, G.: Die einheitliche Gliederung des deutschen Buntsandsteins in der südlichen Beckenfazies. 1958. 61 S., 14 Abb., 7 Tab.	14,— DM
Heft 25:	PAULY, E.: Das Devon der südwestlichen Lahnmulde und ihrer Randgebiete. 1958. 138 S., 41 Abb., 6 Taf.	20,— DM
Heft 26:	SPEHLING, H.: Geologische Neuaufnahme des östlichen Teiles des Blattes Schaumburg. 1958. 72 S., 14 Abb., 5 Tab., 10 Taf.	10,— DM
Heft 27:	JUX, U. & PELUG, H. D.: Alter und Entstehung der Triasablagerungen und ihrer Erzvorkommen am Rheinischen Schiefergebirge, neue Wirbeltierreste und das Chirotheriumproblem. 1958. 50 S., 11 Abb., 3 Taf.	5,60 DM
Heft 28:	SCHMIDT, H.: Die Cornberger Fährten im Rahmen der Vierfüßler-Entwicklung. 1959. 137 S., 57 Abb., 9 Taf.	15,— DM
Heft 29:	Beitrag zur Geologie der Mittleren Siegener Schichten. Mit 9 Beiträgen von BAUER, FENCHEL, MÜLLER, PAHL, PAPROTH, PILGER, REICHENBACH, SCHMELCHER, WENTZLAU. 1960. 363 S., 85 Abb., 22 Taf., 10 Tab.	36,— DM
Heft 30:	BURRE, O.: Untersuchungen über die Berechnung der dem Grundwasser von den Niederschlägen zugehenden Wassermengen aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels. 1960. 68 S., 1 Abb., 8 Tab., 5 Taf.	8,60 DM
Heft 31:	RÖDER, D. H.: Ulmengruppe in sandiger Fazies (Unter-Devon, Rheinisches Schiefergebirge). 1960. 66 S., 4 Abb., 1 Tab., 7 Taf.	8,— DM
Heft 32:	ZAKOSEK, H.: Durchlässigkeitsuntersuchungen an Böden unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogleye. 1960. 63 S., 12 Abb., 2 Taf., 1 Tab.	11,— DM
Heft 33:	KREBS, W.: Stratigraphie, Vulkanismus und Fazies des Oberdevons zwischen Donsbach und Hirzenhain (Rheinisches Schiefergebirge, Dill-Mulde). 1960. 119 S., 21 Abb., 7 Tab., 11 Taf.	14,80 DM
Heft 34:	STOPPEL, D.: Geologie des südlichen Kellerwaldgebirges. 1961. 114 S., 21 Abb., 2 Tab., 4 Taf.	—
Heft 35:	MATTHESS, G.: Die Herkunft der Sulfat-Ionen im Grundwasser. 1961. 85 S., 3 Abb., 31 Tab.	7,60 DM
Heft 36:	STENGER, B.: Stratigraphische und gefügetektonische Untersuchungen in der metamorphen Taunus-Südrand-Zone (Rheinisches Schiefergebirge). 1961. 68 S., 20 Abb., 4. Tab., 3 Taf.	9,— DM