

BAYERISCHES LANDWIRTSCHAFTLICHES JAHRBUCH

**ZUGLEICH ZEITSCHRIFT DER BAYERISCHEN LANDESANSTALTEN FÜR
BODENKULTUR, PFLANZENBAU UND PFLANZENSCHUTZ MÜNCHEN
SAATZUCHT WEIHENSTEPHAN
TIERZUCHT GRUB
WEIN-, OBST- UND GARTENBAU WÜRZBURG
BIENZUCHT ERLANGEN**

**HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAG DES BAYER. STAATSMINISTERIUMS
FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN
VON MINISTERIALDIREKTOR LUDWIG HOPFNER
UND REGIERUNGSDIREKTOR DR. HABIL. U. KEYMER**

44. JAHRGANG · SONDERHEFT 3/1967



BAYERISCHER LANDWIRTSCHAFTSVERLAG MÜNCHEN BASEL WIEN

BLV Bayerischer Landwirtschaftsverlag GmbH, 8 München 13, Lothstraße 29, Tel. 37 64 31, Telex 522591 blvmn. — Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der fotomechanischen Wiedergabe, sind vorbehalten, jedoch wird gewerblichen Unternehmen die Anfertigung einer fotomechanischen Vervielfältigung (Fotokopie, Mikrokopie) für den innerbetrieblichen Gebrauch nach Maßgabe des zwischen dem Börsenverein des Deutschen Buchhandels und dem Bundesverband der Deutschen Industrie abgeschlossenen Rahmenabkommens gestattet, wenn für jede angefangene Druckseite bzw. je Fotokopierblatt eine Gebührenmarke im Betrage von —,10 DM verwendet wird. — Für unverlangt eingegangene Manuskripte wird keine Gewähr übernommen; Rücksendung erfolgt nur, wenn Rückporto beiliegt. — Printed in Germany. — Höhere Gewalt entbindet den Verlag von der Lieferungsverpflichtung. — Gerichtsstand und Erfüllungsort sind München. — Druck: Buchdruckerei Manz, Dillingen.

3. Kolloquium über Fragen
des Bodenwasserhaushalts
vom 3. bis 4. März 1966 in München

Zugleich Arbeitstagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft

(Kommission VI, Bodentechnologie)

Vorsitz:

Professor Dr. Hans B a u m a n n , Kiel

Teilnehmer

Ort	Institution	Direktor	Name	Referat	Seite
Ahrweiler	Landes-Lehr- und Versuchsanstalt für Weinbau, Gartenbau und Landwirtschaft	ORLR Broicher	Dr. Schulte-Karring	II 2	43
Berlin	Institut für Kulturtechnik und Grünlandwirtschaft	Prof. Dr. Husemann	Priv.-Doz. Dr. Wolkewitz	VI 3	173
Bonn	Institut für Pflanzenbau	Prof. Dr. Kmoch	Prof. Dr. Kmoch	VII 2	194
			Dr. Hanus	VI D	183
	Institut für Bodenkunde	Prof. Dr. Dr. Mückenhausen	Dr. Kopp	VII 3	195
			Dipl. agr. Merbitz	IV 1	110
Braunschweig	Landwirtschaftskammer Rheinland			II 3	62
	Institut für Bodenbearbeitung	Prof. Dr. Frese	Prof. Dr. Frese	V D	149
	Technische Hochschule Braunschweig		Dr. Czeratzki	VIII 1	201
Bremen	Staatliche Moorversuchsstation	Prof. Dr. Baden	Prof. Dr. Schaffer	VIII D	222
			Prof. Dr. Baden	IX 1	228
			Priv.-Doz. Dr. Kuntze	X 1	238
			Bmstr. Eggelsmann	XI D	267
Essen	Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen	Prof. Dr. Dr. Hettche	Dr. Kopp	IX 3	234
			Priv.-Doz. Dr. Wohlrab	I 3	20
			Dr. Ing. Bahr	X D	243
			FA Günther	XI 4	264
			Dr. Krämer	V 1	139
			Dr. Langner	XI 1	249
			Dr. Sunkel	VI 5	181
				X 3	241
Gent	Leerstoel voor Bodemfysica	Prof. Dr. de Boodt	Prof. Dr. de Boodt	IV 2	112
Gießen	Institut für Landeskultur	Prof. Dr. Weber	Prof. Dr. Weber	XII D	296
			Dr. Borchert	VIII 4	214
			Dr. Kowald	II 1	37
			Dr. Mertin	II 3	55
			Dipl. agr. Meimberg	II 3	55
Göttingen	Kuratorium für Kulturbauwesen; Ausschuß für Bodenerosion		Prof. Dr. Jung		
	Institut für Bodenkunde	Prof. Dr. Dr. Scheffer	Dr. Kramer		
	Institut für Zuckerrübenforschung	Prof. Dr. Lüdecke	Dr. v. Müller	IV 3	130

Ort	Institution	Direktor	Name	Referat	Seite
Goslar	Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft, Fachgebiet Bewässerung und Beregnung		Dr. Schonnopp		
Hannover	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung	Prof. Dr. Martini	Dr. Benecke Dr. Müller	VIII 3	208
	Institut für Bodenkunde	Prof. Dr. Schachtschabel	Prof. Dr. Hartge	VIII 2	203
	Bundesanstalt für Bodenforschung	Prof. Dr. Martini	Dr. Strebel	VII D	195
	Kunststoffrohr- und Filterentwicklungsgesellschaft		Dipl. agr. Schlegtehdal		
Heidelberg	Zweites Physikalisches Institut	Prof. Dr. Haxe	Dr. Münnich Dipl. phys. Zimmermann	V 3 V 3	148 148
Infeld	Grünlandlehranstalt und Marschversuchstation	Dr. Sommerkamp	Dr. Sommerkamp	I 1	13
Kelheim	Forstamt Kelheim-Süd		Dr. Sanktjohanser	V 4	149
Kiel	Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen	Prof. Dr. Baumann	Prof. Dr. Baumann	II 5 I D	68 30
			Priv.-Doz. Dr. Schendel Dr. Mann Dr. Paschäl	XI 2 I 5	251 25
Kleve-Kellen	Forschungsstelle für Grünland und Futterbau	Dr. Mott	Dr. Foerster	III 1	84
Koblenz	Bundesanstalt für Gewässerkunde	Präs. Dr. Wallner	Dr. Liebscher		
Krefeld	Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen	Prof. Dr. Hesemann	Dr. Colin Dr. Wichtmann	X 4 III 1 III 3	243 84 96
Landshut	Regierung von Niederbayern		ORBR Scheurmann	X 2	239
München	Bayer. Geologisches Landesamt	Dr. Nathan	Dr. Kohl Dr. Diez Dr. Rückert Dr. Wittmann	III D III 2 III 2	107 89 90
	Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz	Dr. Vidal	Dr. Vidal Dr. Dancau Dr. Rid Dr. Süß Dr. Schmid Dr. Schuch L.-Insp. Schurmann	IX D VII 1 VI 2 VI 1 VI 2	235 187 160 156 160

Ort	Institution	Direktor	Name	Referat	Seite
München	Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde	Präs. Völk	Dr. Hebestreit	XII 4	287
			Dr. Karl	XII 2	279
			ORBR Koepf	XII 3	282
			Priv.-Doz. Dr. Seibert	III 4	100
Nord- hastedt	Ingenieurbüro Dr. Kaminski KG		Dr. Kaminski	I 4	22
Petzen- kirchen	Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und technische Bodenkunde	Dr. Blümel	Dr. Blümel	III 5	104
Sigmarin- gen	Wasserwirtschaftsamt Sigmaringen; Kultur- technische Boden- und Moorkunde		Priv.-Doz. Dr. Göttlich	IX 2	233
Steinach	Lehr- und Forschungs- institut zur Förderung der Grünlandwirtschaft	Prof. Dr. Zürn	Prof. Dr. Zürn		
Stuttgart- Hohenheim	Institut für Bodenkunde	Prof. Dr. Schlichting	Dr. Blume Dr. Menge	V 3 IX 2	148 233
Sudenburg	Staatl. Ingenieurschule für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik	RBD Damrath	Dr. Schwerdt- feger		
Weißen- stephan	Agrarmeteorologische Forschungsstelle Staatl. Lehr- und For- schungsanstalt für Gar- tenbau	Dir. Dr. Penningsfeld	Priv.-Doz. Dr. van Eimern		
			Dr. Penningsfeld		
			Priv.-Doz. Dr. Hoffmann	XI 3	258
Wien	Kuratorium für Kulturbauwesen		Prof. Dr. Ramsauer		
Weilheim	Wasserwirtschaftsamt		ORBR Seyberth	VI 4	176
Zürich/ Birmens- dorf	Eidgen. Anstalt für das forstl. Versuchswesen		Prof. Dr. Richard	V 2	142
				IV D	133
Zürich	Institut für Kultur- technik d. E. T. H.	Prof. DDr. Grubinger	Prof. DDr.	I 2	16
			Grubinger	II D	72
			Dipl.-Geol. Siegenthaler	XII 1	274

**Teilnehmer am 3. Kolloquium über Fragen des Bodenwasserhaushalts
in München am 3. und 4. März 1966**

Lfd. Nr.	Name	Ort	Beitrag	Seite
1	Prof. Dr. M. Baden	Bremen	IX 1	228
2	Dr.-Ing. Bahr	Essen	XI 4	264
3	Prof. Dr. H. Baumann	Kiel	II 5	68
4	Dr. P. Benecke	Hannover	VIII 3	208
5	Dir. Dr. F. Blümel	Petzenkirchen	III 5	104
6	Dr. H. P. Blume	Hohenheim	V 3	148
7	Prof. Dr. de Boodt	Gent	IV 2	112
8	Dr. H. Borchert	Gießen	VIII 4	214
9	Dr. H. Colin	Krefeld	III 1; X 4	243
10	Dr. M. Czeratzki	Braunschweig	VIII 1	101
11	Dr. B. Dancau	München		
12	Dr. Dietl	München		
13	Dr. Th. Diez	München	III 2	89
14	Bmstr. R. Eggelsmann	Bremen	IX 3	234
15	Doz. Dr. van Eimern	Weihenstephan		
16	Dr. Foerster	Kleve-Kellen	III 1	84
17	Prof. Dr. H. Frese	Braunschweig	V D	149
18	Doz. Dr. K. Göttlich	Sigmaringen	IX 2	233
19	Prof. DDr. Grubinger	Zürich	I 2	16
20	F.-Ass. Günther	Essen	V 1	139
21	Dr. H. Hanus	Bonn	VII 3	195
22	Prof. Dr. K. H. Hartge	Hannover	VIII 2	203
23	Dr. Hebestreit	München	XII 4	287
24	Doz. Dr. G. Hoffmann	Weihenstephan	XI 3	258
25	Dr. H. Jerz	München		
26	Prof. Dr. L. Jung	Gießen		
27	Dr. Kaminski	Nordhastedt	I 4	22
28	Dr. Karl	München	XII 2	279
29	Prof. Dr. H. Knoch	Bonn	VII 2	194
30	ORBR Köpf	München	XII 3	282
31	Dr. F. Kohl	München	III D	107
32	Dr. E. Kopp	Bonn	IV 1	110
33	Dr. Kowald	Gießen	II 1	37
34	Dr. Krämer	Essen	XI 1	249
35	Dr. W. Kramer	Göttingen		
36	Doz. Dr. H. Kuntze	Bremen	X 1	267
37	Dr. Chr. Langner	Essen	VI 5	181
38	Dr. Liebscher	Koblenz		
39	Dipl.-Ldw. Mann	Kiel	I 5	25
40	Dipl.-Ldw. Meimberg	Gießen	II 3	55
41	Dr. Menge	Hohenheim	IX 2	233
42	Dipl.-Ldw. J. Merbitz	Bonn	II 4	62
43	Dr. A. v. Müller	Göttingen	IV 3	130
44	Dr. W. Müller	Hannover		
45	Dr. Münnich	Heidelberg	V 3	148
46	Dr. Paschai	Kiel		
47	Dir. Dr. F. Penningsfeld	Weihenstephan		
48	Prof. Dr. Ramsauer	Wien		
49	Prof. Dr. Richard	Zürich	V 2	142
50	Dr. H. Rid	München	VII 1	187
51	Dr. H. Rückert	München		

Lfd. Nr.	Name	Ort	Beitrag	Seite
52	Dr. Sanktjohanser	Kelheim	IV 4	149
53	Doz. Dr. G. Schaffer	Braunschweig	VIII D	222
54	Dr. U. Schendel	Kiel	XI 2	251
55	Dipl.-Ldw. Scherz	München		
56	ORBR Scheurmann	Landshut	X 2	239
57	Dipl.-Ldw. Schlegtendal	Hannover		
58	Dr. G. Schmid	München		
59	Dr. Schonnopp	Goslar		
60	Dr. Schuch	München	VI 1	156
61	Dr. H. Schulte-Karring	Ahrweiler	II 2	43
62	Landw.-I. Schurmann	München	VI 2	160
63	Dr. G. Schwerdtfeger	Sudenburg		
64	Doz. Dr. Seibert	München	III 4	100
65	ORBR Seyberth	Weilheim	VI 4	176
66	Dipl.-Geol. Siegenthaler	Zürich	XII 1	274
67	Dr. G. Sommerkamp	Infeld	I 1	13
68	Dr. O. Strebelt	Hannover		
69	Dr. A. Süß	München	VI 2	160
70	Dr. R. Sunkel	Essen	X 3	241
71	Prof. Dr. H. Weber	Gießen	XII D	296
72	Dr. H. Wichtmann	Krefeld	III 3	96
73	Dr. O. Wittmann	München	III 2	90
74	Doz. Dr. B. Wohrab	Essen	I 3	243
75	Doz. Dr. H. Wolkewitz	Berlin	VI 3	173
76	Dipl.-Phys. Zimmermann	Heidelberg	V 3	148
77	Prof. Dr. Zürn	Steinach		

Referate

		Seite
I. Abschnitt: Dränung	Vorsitz: Prof. Dr. Baumann	
1. Dr. G. Sommerkamp	Betriebswirtschaftliche Beurteilung von Meliorationen	13
2. Prof. DDr. H. Grubinger	Das Entwässerungsproblem im Bergland	16
3. Priv.-Doz. Dr. B. Wohlrab	Über die Entwässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Bergsenkungsgebieten	20
4. Dr. F. Kaminski	Probleme der Dränpraxis	22
5. Dipl.-Ldw. G. Mann	Versuche mit Mitscherlich-Töpfen über den Eintritt von Bodenmaterial durch verschieden große Schlitzweiten in PVC-Platten	25
I. Diskussion	Leitung: Prof. Dr. Baumann	30
II. Abschnitt: Dränung und Lockerung	Vorsitz: Prof. DDr. Grubinger	
1. Dr. R. Kowald	Der Einfluß von Drängraben, -filter und -rohr auf die Wasserführung	37
2. Dr. H. Schulte-Karring	Die Verbesserung des Wasserhaushalts staunasser Böden durch systematische Rohrdränung oder tiefe Bodenlockerung	43
3. Dipl. agr. R. Meimberg	Die Wirkung von Untergrundlockerung und Maulwurfdränung auf den Wasserhaushalt verdichteter Böden	55
4. Dipl. agr. H. Merbitz	Beobachtungen der Dränwirkung und Maßnahmen zur Wassererhaltung in der Praxis	62
5. Prof. Dr. H. Baumann	Über erste Ergebnisse von Dränversuchsfeldern in Schleswig-Holstein	68
II. Diskussion	Leitung: Prof. DDr. Grubinger	72
III. Abschnitt: Kartierung	Vorsitz: Reg.-Dir. Dr. Kohl	
1. Dr. H. Colin, Dr. E. Foerster	Die gegenseitige Ergänzung von Boden- und Vegetationskarten bei der Standorterkundung	84
2. Dr. Th. Diez, Dr. O. Wittmann	Bodenkartierung und Pflanzenökologie als Hilfsmittel zur Kennzeichnung des Wasserhaushaltes von Böden, dargestellt an der Bodenkarte 1:25 000 Ansbach-Süd	89
3. Dr. H. Wichtmann	Die Bedeutung der Bodenkarte 1:25 000 für die Planung von Meliorationsmaßnahmen, dargestellt am Blatt Soest	96
4. Priv.-Doz. Dr. P. Seibert	Grundwasserstufenkarte mit Darstellung der Wassereigenschaften	100
5. Dr. F. Blümel	Der Aussagewert des Eisens im Boden bei der Deutung des hydrologischen Bodenprofils	104
III. Diskussion	Leitung: Reg.-Dir. Dr. Kohl	107

IV. Abschnitt: Wasserhaushalt und Standort	Vorsitz: Prof. Dr. Richard	Seite
1. Dr. E. Kopp	Topogene Zonen meliorationsbedürftiger Böden in der Eifel	110
2. Prof. Dr. L. de Leenheer, Prof. Dr. M. de Boodt Ir. E. Robberechts	Variations in Soil Moisture Content and Crop Yields in a Toposequence of the Belgian Loess-Loam Landscape during the Years 1964 and 1965	112
3. Dr. A. v. Müller	Über den optimalen Bereich der Bodenfeuchte in einer Parabraunerde aus Löß, beobachtet am Wachstum der Zuckerrüben in trockenen und nassen Vegetationsperioden	130
IV. Diskussion	Leitung: Prof. Dr. Richard	133
V. Abschnitt: Wasserhaushalt und Waldbau	Vorsitz: Prof. Dr. Frese	
1. Forstass. K.-H. Günther	Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen auf das Baumwachstum	139
2. Prof. Dr. F. Richard	Zur Frage der Wasserspiegelabsenkung in Hangböden	142
3. Dr. H.-P. Blume, Dr. K. O. Münnich, Dipl.-Phys. U. Zimmermann	Der Wasserhaushalt einer Parabraunerde aus Löß unter Laubwald	148
4. Dr. L. Sanktjohanser	Einige Beobachtungen über den Wasserhaushalt im bayerischen Flyschgebiet	149
V. Diskussion	Leitung: Prof. Dr. Frese	149
VI. Abschnitt: Methodische Fragen	Vorsitz: Prof. Dr. Kmoch	
1. Dr. M. Schuch	Eine neue Methode zur Bestimmung der Größe des Oberflächenabflusses auf nur gering geneigten Flächen	156
2. Dr. A. Süß, Ing. agr. O. Schurmann	Erfahrungen bei der Messung von Bodendichte und Bodenfeuchte mit Hilfe der Sondenmethode	160
3. Priv.-Doz. Dr. H. Wolkewitz	Die Reißbildmethode als Beurteilungsgrundlage für die Ausbildung des Absonderungsgefüges	173
4. Ob.-Reg.-Baurat M. Seyberth	Die auf das Bodenwasser wirkenden Spannungen und Kräfte	176
5. Dr. Chr. Langner	Zur Methodik der pF-Bestimmung	181
VI. Diskussion	Leitung: Prof. Dr. Kmoch	183
VII. Abschnitt: Bodenstruktur	Vorsitz: Prof. Dr. Hartge	
1. Dr. H. Rid	Zusammenhänge zwischen Grobstruktur und Bodenwasserhaushalt	187
2. Prof. Dr. H. Kmoch	Vergleichsmessungen der Luftdurchlässigkeit des Bodens im Freiland und im Labor	194
3. Dr. H. Hanus	Wechselbeziehungen zwischen Wasser- und Luftdurchlässigkeit	195
VII. Diskussion	Leitung: Prof. Dr. Hartge	195

		Seite
VIII. Abschnitt: Bodenfeuchte	Vorsitz: Prof. Dr. Schaffer	
1. Dr. W. Czeratzki	Korrelative Beziehungen zwischen Kennwerten des Bodenwasserhaushaltes von sandigen Böden im Beregnungsgebiet der Lüneburger Heide	201
2. Prof. Dr. K. Hartge	Ergebnisse von Tensiometermessungen	203
3. Dr. P. Benecke	Über Ergebnisse und Bedeutung der pF-Messung für die Beurteilung der Drämfähigkeit	208
4. Dr. H. Borchert	Vorversuche mit Multitensiometern auf einer maulwurfgedrännten Fläche	214
VIII. Diskussion	Leitung: Prof. Dr. Schaffer	222
IX. Abschnitt: Moorböden	Vorsitz: Ob.-Reg.-Dir. Dr. Vidal	
1. Prof. Dr. W. Baden	Grundwasser- und Bodenfeuchtegang — Kriterien für das Ent- und Bewässerungsbedürfnis von Moor- und Anmoorkulturen	228
2. Priv.-Doz. Dr. K. Göttlich, Dr. L. Menge	Wasserbindungsintensität und Bodenfeuchtegang einiger Anmoor- und Moorböden	233
3. Bmstr. R. Eggels- mann	Oberflächengefälle und Abflußregime der Hochmoore	234
IX. Diskussion	Leitung: Ob.-Reg.-Dir. Dr. Vidal	235
X. Abschnitt: Grundwasser	Vorsitz: Priv.-Doz. Dr. Wohlrab	
1. Priv.-Doz. Dr. Kuntze	Die Messung des geschlossenen und offenen Kapillarsaumes in natürlich gelagerten Böden	238
2. Ob.-Reg.-Baurat K. Scheurmann	Der Einfluß der natürlichen Flußbettdichtung auf die Grundwasserstände	239
3. Dr. R. Sunkel	Auswirkungen eines Grundwasserentzuges im Emsquellgebiet	241
4. Dr. H. Colin	Die Auswertung von Grundwasserstandsbeobachtungen auf Sandböden zur Beurteilung der Entwässerungsmöglichkeiten	243
X. Diskussion	Leitung: Priv.-Doz. Dr. Wohlrab	243
XI. Abschnitt: Grundwasserfragen	Vorsitz: Priv.-Doz. Dr. Kuntze	
1. Dr. Krämer	Grundwasserentzug und Zuckerrübenenertrag Messungen mit Grundwasserlysimetern.	249
2. Dr. U. Schendel	Der Einfluß oberflächennaher Grundwasserstände auf den Wasserverbrauch von Klee gras	251
3. Priv.-Doz. Dr. G. Hoffmann	Die Versickerung von Wasser und Nährstoffen in drei verschiedenen Bodenarten nach Messungen am Lysimeter des Agrikulturchemischen Instituts Weihenstephan	258
4. Dr. Ing. R. Bahr	Zum Einsatz von Lysimetern zur Klärung des dampfförmigen Wasseraufstiegs aus dem Grundwasser	264
XI. Diskussion	Leitung: Priv.-Doz. Dr. Kuntze	267

	Vorsitz: Prof. Dr. Weber	Seite
XII. Abschnitt: Oberflächenabfluß und Wasserhaushalt		
1. Dipl.-Geol. C. Siegenthaler	Infiltration und oberflächlicher Abfluß auf Weiden im Voralpengebiet	274
2. Dr. J. Karl	Einige Untersuchungen über Bodenabtrag und Ablagerung im alpinen Bereich	279
3. Ob.-Reg.-Baurat E. Köpf	Überlegungen zur Abflußregelung der niederbayerischen Vils	282
4. Dr. H. Hebestreit	Einige Feldmethoden der Meliorationsberatung	287
XII. Diskussion	Leitung: Prof. Dr. Weber	296

Betriebswirtschaftliche Beurteilung von Meliorationen

Von Dr. Georg Sommerkamp,

Direktor der Grünlandlehranstalt und Marschversuchsstation, Infeld

Soziologische Entwicklungstendenzen und neue Möglichkeiten zur Erzielung wirtschaftlicher Leistungen in der Bodennutzung bewirken mehr oder weniger rasche Wandlungen in der Beurteilung landwirtschaftlicher Meliorationen bzw. deren Folgemaßnahmen. Letztere haben ihre Ziele, von der Produktivität weg, mehr zum allgemein rationellen bzw. vom technischen zum wirtschaftlichen Erfolg hin umgesteckt.

Moderne Pläne der Landeskultur beinhalten — insbesondere für Wohngebiete — Maßnahmen der Landschaftshygiene und des Landschaftsschutzes, um entweder Naturlandschaften durch zielstrebige Meliorationen in biologisch hochwertige Kulturlandschaften zu entwickeln oder aber die durch Naturkräfte — bzw. menschliches Versagen verfallenen Landstriche zu rekultivieren.

Mit dem Wandel agrarsoziologischer und ökonomischer Verhältnisse, welcher in der Bundesrepublik hauptsächlich durch die industrielle Entwicklung verursacht wird, steigt auch die Bedeutung der Meliorationen. An letztere werden heute sehr hohe betriebswirtschaftliche Anforderungen gestellt. Als Folge mangelnder Arbeitskräfte stehen Fragen der Rationalisierung im Vordergrund. Sie verlangen gründliche Verbesserungen in der Struktur von Gemeinwesen und Einzelbetrieben. Den Meliorationen vorweg gehen alle Maßnahmen zur Verbesserung der Agrarstruktur, weil künftig jede Bodennutzung vollmechanisch erfolgen muß. Hier handelt es sich um meistens überbetriebliche Regelungen, welche — z. B. im Rahmen eines Wege- und Gewässerplanes — dem Einzelbetrieb möglichst große, zum Gehöft günstig gelegene Flurstücke zuweisen. Ein weiteres überbetriebliches Ziel liegt in der planerischen Sondierung der Acker- und der Grünlandflächen als in sich geschlossene Komplexe mit ihrer Zuordnung zum Einzelbetrieb. Alle Strukturverbesserungen müssen auf möglichst lange Sicht ausgerichtet sein; denn sie bestimmen die Art der Bodennutzung mit all ihren Chancen zur horizontalen Betriebsvereinfachung bis zur Schaffung einseitiger Ackerbau- oder reiner Grünlandbetriebe.

Die heutige betriebswirtschaftliche Beurteilung von Meliorationen beruht auf modernen mathematischen Methoden, wie sie die „lineare Programmierung“ behandelt. Gerade diese ist dazu geeignet, alle betriebswirtschaftlichen Spezialfragen, welche ein Meliorationsvorhaben berühren, durch elektronische Spezialisierung exakt und erschöpfend zu beantworten. Sind zum Beispiel die Fragen der Bedürftigkeit und Durchführbarkeit einer Standortverbesserung zu bejahen, so stellen sich betriebswirtschaftliche Fragen der Meliorationswürdigkeit. Diese im einzelnen zu beantworten, dient die lineare Programmierung bzw. Optimierung für den Einzelbetrieb und hier auch für Einzelmaßnahmen. Hierzu bedarf es der Ermittlung von exakten und gesicherten Zahlen und Daten über Aufwands- und Ertragsleistungen. So werden bei wasserwirtschaftlichen Meliorationen be-

reits alle hydrologischen und ökologischen Fakten so registriert, daß diese sich wiederum mit Ertragsleistungen des Bodens in Beziehung setzen lassen.

Aus dem gesamten Zahlenkomplex von Meliorationswirkungen wird das Aufwands-Ertrags-Verhältnis der Bodenleistung — vor und nach Durchführung zum Beispiel einer Dränung — mathematisch ermittelt. Um den ökonomischen Effekt einer Melioration festzustellen, bedarf es zunächst der Errechnung des sogenannten „Deckungsbeitrages“. Das ist der Geldrohertrag einer Fläche abzüglich variabler Kosten für Produktionsaufwendungen. — Denn im Rahmen eines bis auf die betreffende Melioration unveränderten Betriebes kann auf die Anrechnung fixer Kosten und somit auf die Ermittlung des spezialkostenfreien Rohertrages verzichtet werden. — Nach den nunmehr zehnjährigen Ertragsermittlungen des Infelder Dränversuchsfeldes konnte der Deckungsbeitrag im Getreideanbau um etwa 50% erhöht werden. Dabei stieg der Hektarertrag von 35 dz auf 49 dz, also um 40%, während sich die Spezialkosten für Saatgut, Dünger und Arbeit anteilig soweit senken ließen, daß der Deckungsbeitrag um mehr als 50% gegenüber den undrängierten Flächen anstieg.

Neben dem erhöhten Deckungsbeitrag, der damit die Wirtschaftlichkeit einer Melioration ausweist, kann diese einen weiteren Nutzeffekt dadurch erbringen, daß zum Beispiel aus Grünland ein sicherer Acker-Standort entsteht oder eine Mähwiese beweidungsfähig wird. Auch hier mag man zunächst vergleichbare Deckungsbeiträge über Hektarleistungen vor und nach der Melioration ermitteln. Darüber hinaus aber sollte auch der für den jeweiligen Gesamtbetrieb erreichbare ökonomische Effekt dadurch festgestellt werden, daß man alle die meliorierten Einzelflächen betreffenden Werte in eine Programmierung bzw. Optimierung der Organisation des Gesamtbetriebes einbaut. Dann ergeben sich exakte Hinweise zum rationellen Ausschöpfen aller Möglichkeiten zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Einzelbetriebes.

Aus den bisherigen Infelder Meliorationsversuchen geht bereits hervor, daß es kaum lohnendere betriebswirtschaftliche oder betriebstechnische Maßnahmen gibt als rationell durchgeführte Standortverbesserungen. Rationell heißt hier: Nach Notwendigkeit bzw. Dringlichkeit und Wirkungsstärke konsequent und lückenlos vorzugehen.

Bei Grünland-Meliorationen der Niederungen gilt als

- I. Stufe: Schutz gegen Fremdwasser,
- II. Stufe: Sicherung ausreichender Vorflut,
- III. Stufe: Ausbau fester Wirtschaftswege,
- IV. Stufe: Weitere Folgemaßnahmen, wie Dränen, Vorratsdüngen, Umbruch und Neuansaat, Koppeleinteilung, Windschutz usw.

Die exakte betriebswirtschaftliche Beurteilung von Meliorationen mit mathematischen Methoden wird in Zukunft rasch an Bedeutung gewinnen. Die Technische Hochschule Hannover hat bereits alle Daten des Dränversuchsfeldes Infeld in ihrem Rechenzentrum ausgewertet. Darüber hinaus werden andernorts weitere Ergebnisse von Meliorationsversuchen in Rechenzentren mathematisch ausgewertet und betriebswirtschaftlich verarbeitet.

Es wird dringend erforderlich, daß alle vorliegenden Ergebnisse von Meliorationsversuchen nach einheitlichen mathematischen Methoden und Fragestellun-

gen betriebswirtschaftlich ausgewertet werden. Denn es gilt, den ökonomischen Effekt von Einzelmaßnahmen standortgemäß dahingehend zu ermitteln, daß auf Grund exakter Zahlen und Daten in der Bodennutzung der Meliorationseffekt am Grenznutzen, d. h. durch vergleichende Aufwands-Ertragsverhältnisse gemessen wird. Die hier ermittelten Werte sind sodann bei der Optimierung der Bodennutzung und beim Grünland auch in die Veredlung einzuarbeiten. In Zukunft geht es darum, dem Zwang zur Struktur- und zur Standortsverbesserung rationell und mit wirtschaftlichem Erfolg nachzukommen. Das bedeutet letzten Endes, unsere Betriebe „meliorationsverdaulich“ zu machen, d. h. ihre Erfolgsmöglichkeiten rationell auszuschöpfen.

Auf dem Gebiete des Einsatzes elektronischer Datenverarbeitungsanlagen für Vorhaben der Landeskultur arbeitet die Koninklijke Nederlandsche Heidemaatschappij in Arnheim sehr intensiv. Im Rahmen von Flurbereinigungsverfahren werden die Katastergrundlagen verarbeitet und die neu vermessenen Flurlagen und Grenzen, Wege und Gewässer mathematisch erfaßt und sogar elektronisch gezeichnet. Das unvorstellbar leistungsfähige Rechenzentrum arbeitet auch für die Programmierung sowohl von einzelnen Meliorationsmaßnahmen als auch für die Sanierung ganzer Landschaften bzw. Wohngebiete. Die Koninklijke Nederlandsche Heidemaatschappij, welche im Bundesgebiet durch die „Gesellschaft für Landeskultur“ sehr aktiv geworden ist, arbeitet mit Meliorationsinstituten, zum Beispiel mit Wageningen auf dem Gebiet der Zweckforschung zusammen. Die von ihr angewendeten elektronischen Rechenverfahren und Programmierungsmethoden können auch beim Gestalten von Folgemaßnahmen in unserer Landeskultur von Bedeutung werden.

Das Entwässerungsproblem im Bergland

Von Professor DDr. H. Grubinger,
Direktor des Instituts für Kulturtechnik der ETH Zürich

Im Bergland, schärfer umgrenzt: im schweizerischen Alpenraum, gehen die Aufgaben der Entwässerung vielfach über rein landwirtschaftliche Erfordernisse hinaus.

Wir unterscheiden echte Bodenmeliorationen von den Aufgaben der Konsolidierung einzelner Flächen und ganzer Geländekomplexe. Während es sich im ersten Falle um hydropedologische Fragen handelt, sind im zweiten Falle Bodenfließen, Rutschungen aller Art, aber auch tiefgreifende Massensackungen zu bekämpfen. Vielfach sind beide Aufgaben, welche von den Talböden bis in die Alpreigion reichen, untrennbar miteinander verzahnt.

Geomorphologische Differenzierung

1. Die großen Talböden.

Sie erweisen sich vielfach als eine Abfolge von Becken, die durch Felsbarren, seitlich zutretende Schuttkegel und Bergsturmassen und durch die Verlandung von Seen entstanden sind. Hochwasserüberflutung, Zutritt von Seitenbächen und Quellen, gespannte Grundwässer, Versumpfung und mangelnde Vorflut sind kennzeichnend. Bei der Detailentwässerung bedient man sich der bekannten Modellvorstellungen über die Bewegung des Bodenwassers auf Grund der Potentialtheorie. Man wendet die gleichen halbempirischen Bemessungs- und die Bauverfahren wie in Mineral- und Moorböden außeralpiner Bereiche an. Gelegentlich sieht man sich zu Poldereinteilung und Schöpfwerksbetrieb genötigt. Die großen Werke dieser Art sind weitgehend vollendet.

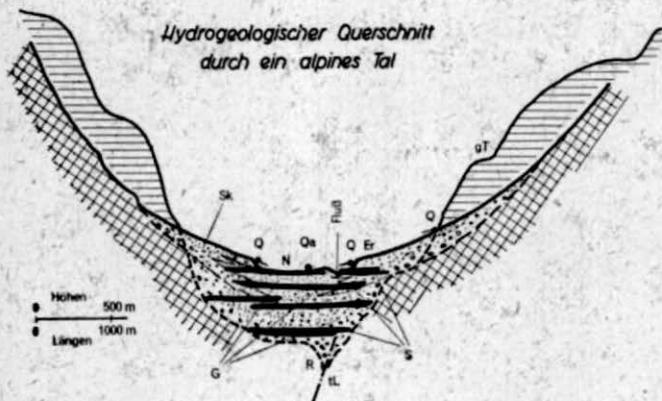


Abb. 1

Erläuterungen:

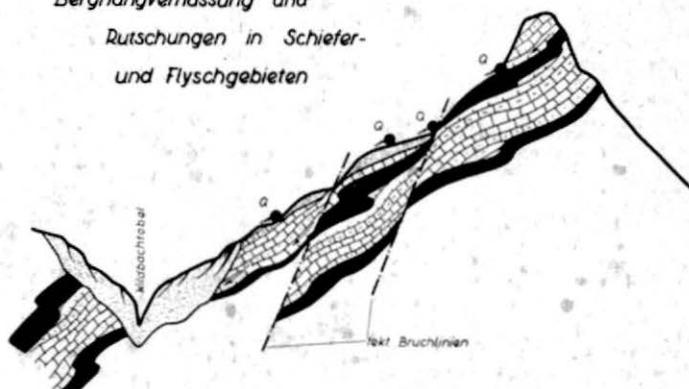
- Er Erosionsrand (fluvial)
- G Grundwasserstockwerke mit zum Teil gespannten Wässern
- N Vernähte Niederung mit Moorflächen
- Q Quellen
- Qa Aufsteigende Quellen
- R Tiefenrinne
- S Schluff- und Seetonlagen
- Sk Wildbach-Schuttkegel, Schotterfächer
- gT Glaziale Terrasse
- tL Tektonische Störungslinie

2. Die vernäbten Berghänge und Terrassenzonen in den weiten Fluchten der Haupt- und Nebentäler sind von höchst aktueller Bedeutung. Sie sind bis hoch hinauf bevorzugtes Siedlungs- und Wirtschaftsgebiet, weil klimatisch günstig und vor Hochwasser relativ sicher. Hänge mit 50% und mehr Neigung werden im Rahmen von Graswirtschaften, Wiesen-, Alp- und Acker-Alpbetrieben noch genutzt. Man schätzt etwa je 800—1000 km² Weide und Wald als versumpft und vielleicht die Hälfte davon als entwässerungswürdig (gilt für die Schweiz).

Berghangvernässung und
Rutschungen in Schiefer-
und Flyschgebieten

Abb. 2

Q Quellaustritte
Man beachte die komplizierte geologische Lagerung und die Lockermassen, auch greift das hydrographische Einzugsgebiet oft weit über das geographische hinaus.



Die Berghangentwässerung

Grundlagen: Die ausgedehnten Vernässungszonen sind mit bestimmten tektonischen Einheiten und geologischen Schichtgliedern verknüpft. Flyschserien (Oberkreide, Alttertiär), die auch in den Ostalpen als tonig-mergelige und klastische Sedimente mit ihrer besonderen technologischen Eigenart bekannt sind; dann Bündnerschieferflysch und echte Bündnerschiefer aus Ton- und Kalkschiefern usw. Alles in allem unübersichtliche, diagenetisch und metamorph veränderte Sedimente mit den bekannt unruhigen Fließ- und Rutschstrukturen der oberflächlich aufgelockerten bis lockeren Massen. Dazu kommen gewisse Molassesedimente und vor allem glaziale und fluvioglaziale Ablagerungen (Moränen, Seetone, Schluffdecken). Man beobachtet mächtige Verwitterungsschwarten urtd umgelagerte Lockermassen, jedoch bodenkundlich gesehen, schwache Horizontausbildung, Roh- und Skelettböden und bei dauernd oder wechselnd feuchtem Milieu eine Dynamik in Richtung Vergleyung und Podsolierung.

Die Bodenart variiert zwischen grusig-sandig und schluffig-tonig mit allen daraus resultierenden bodenphysikalischen Besonderheiten (z. T. große Verdichtung, Primitivgefüge, hohe Wasserbindung, Thixotropie usw.). Teilweise fallen diese Zonen in den feucht-kühlen Bereich der Nordalpen mit Jahresniederschlägen bis 2200 mm.

Vernässungsursachen: Reichlich Tagwasser als Fremdwasser, welches durch Bodenwunden einsickert oder erodiert, weniger das Eigenwasser;

weitere die unterirdische Zusickerung aus verdeckten Quellhorizonten und längs Sand- und Grus-Schnüren. Selten und nur in Mulden bildet sich zusammenhängendes Grundwasser, sonst ist frei zirkulierendes Wasser auf Adern und wasserzügige Zonen beschränkt. Schließlich ist auf den dauernd hohen Wassergehalt der Böden mit hoher Sorptionskraft und das Vorhandensein hydrostatischer und dynamischer Druckwirkung zu verweisen. In den schluffreichen Böden unter Wiesen und Weiden versagt die systematische Röhrendrängung vielfach; der Boden gibt das Wasser nicht rasch genug ab, die Sauger verlagern sich und verschlammen. Wiedervernässung und Wiederverdichtung auch als Folge des Viehtrittes sind allgemein zu beobachten. Daher sind die Schweizer Forstleute unter Anleitung von Prof. Dr. RICHARD (Forstliche Versuchsanstalt Birmensdorf) in Waldarealen mit Erfolg zu offenen Gräben von 40—60 cm Tiefe bei Abständen von 6—8 m übergegangen. Man nennt dieses Verfahren wenig glücklich „Skelettentwässerung“. Im offenen Weideland ist damit wenig anzufangen.

Forderungen der Meliorationspraxis:

- Rasche Ableitung des Tag- und Bodenwassers, so daß es auch in Naßjahren kaum mehr zu schädlichen und tiefgreifenden Vernässungen größerer Flächen und Zonen kommen kann.
- Möglichkeit der Teilmechanisierung, geringe Transportgewichte, billige Bauweisen, keine Nutzungsbehinderung.
- Beachtung der kritischen ökonomischen Situation der sog. „Grenzbetriebe“.

Das kombinierte Verfahren der Berghang-Entwässerung

Für Planung und Ausbau ist das jeweilige Hauptziel der Entwässerung klarzustellen.

- a) Bodenmelioration von — Grünland, Weide
— Waldarealen
- b) Konsolidierung von Boden- und Massenbewegungen aller Art und Schutz gegen Abfluß-Schäden.

Die Bodenmelioration ist überdies wirtschaftlich nur auf den Flächen vertretbar, die eine entsprechend intensive Bodennutzung erwarten lassen.

Dies alles bedingt die weitgehende Abkehr von der bisherigen systematischen, besser schematisch zu nennenden Flächendrängung und den Übergang zu einer Denk- und Arbeitsweise mit vertiefter Beobachtung aller hydrogeologischen und hydropedologischen (BLÜMEL) Erscheinungen und der Bodennutzung im jeweiligen hydrologischen Einzugsgebiet. Die anfangs genannten Modellvorstellungen über die Bodenwasserbewegungen lassen sich nur mehr auf kleinste Flächen übertragen. Somit ergibt sich als

1. Aufgabe: Schutz der Hangflächen vor ober- und unterirdischem Fremdwasser.
2. Aufgabe: Verbesserter und beschleunigter Entzug des Wassers aus dem Boden selbst.

Zur Lösung dieser Aufgaben empfiehlt sich die folgende Vorgangsweise:

a) Gründliche Vorstudien

- Umfassende hydrogeologische Aufnahme, Aufspüren der Vernässungsursachen (Quellen, Bodenwunden, Viehtränken),

- Studium des Abflusses zu allen Jahreszeiten, Beachtung der während der Schneeschmelze häufig veränderten Abflußwege,
- Bodenkundlich-geotechnische und vegetationskundliche Aufnahme des Perimeters.

b) Vorentwässerung (Konsolidierung)

- Schadloße Ableitung des Fremdwassers z. T. nach den Regeln der Wildbachverbauung,
- technisch-biologischer Bodenschutz,
- Verhindern der Wiedervernässung (Folgequellen, Abläufe aus Tränkanlagen, Rieselrinnen usw.),
- Beginn der flächenhaften Sanierung von oben her,
- Entwicklung von selektiv angepaßten Graben- oder Rohrsystemen nach Art der Bedarfsdränung.

c) Detailentwässerung

Auf die wertvollsten oder empfindlichsten Flächen beschränkt, sind technische und biologische, also oft speziell pflanzenbauliche Mittel zur Erzielung eines ausgeglichenen Wasser- und Lufthaushaltes im Boden einzusetzen und das verbesserte Bodengefüge zu stabilisieren.

Ungelöste Probleme:

Sie ergeben sich vor allem bei der Detailentwässerung.

- Wasserbindung und -bewegung in typischen Flysch- und Schieferböden,
- Gefügeveränderung und Stabilisierung, Wiederverdichtung,
- Abfluß und Versickerung auf Weideböden,
- Pflanzenbauliche Maßnahmen, z. B. umbruchlose Narbenumwandlung bei Grünland,
- Anwendung von Kunststoff-Dränrohren, Filtersprobleme, dabei Übergang zu einfacheren Formen von Dränzügen,
- Zulässige Mindesttiefen für Dräns, Wirkung großer Längsgefälle in der Flächenentwässerung,
- Verbesserung des Bodenwasserhaushaltes durch direkte Umgestaltung des Gefüges mit technischen, biologischen und chemischen Mitteln,
- Teilmechanisierung oder Vorfabrikation unter Beachtung der extremen Situation hinsichtlich Gelände, Lage der Baustelle und Kosten.

Offen bleibt die Frage nach der Retention und nach dem Ausgleich zwischen unerläßlicher Entwässerung und erwünschter Speicherung. Ebenso wenig kann hier auf den Landschaftsschutz eingegangen werden.

Über die Entwässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Bergsenkungsgebieten

Von Priv.-Doz. Dr. B. Wohlrab,

Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes
Nordrhein-Westfalen, Essen¹⁾

In Gebieten mit Untertagebergbau treten, vor allem in unbebautem, land- oder forstwirtschaftlich genutztem Gelände, häufig ganz charakteristische Erscheinungen auf. Sie gehen von Bodenbewegungen aus, die der untertägige Abbau, d. h. der dabei entstehende Massenverlust, verursacht. Die Komponenten der Bodenbewegung — Senkung, Verschiebung, Schieflage, Längenänderung, Pressung und Zerrung — stören vor allem im Flachland mehr oder weniger stark die natürliche oder ausgebaute Vorflut und können dann zwangsläufig zu Überflutungen, Grundwasseraustritt und Versumpfungen des betroffenen Geländes führen. Eine Rekultivierung derartiger Bergsenkungsgebiete setzt die Regulierung der Grund- und Oberflächenwasserverhältnisse voraus. Die bei der Binnenentwässerung zu beachtenden Grundsätze lassen sich für die nachstehenden drei verschiedenen Fälle wie folgt zusammenfassen:

1. Am einfachsten ist die Planung und Durchführung der Entwässerungsmaßnahmen, wenn das betroffene Gebiet vom Bergbau verlassen wurde und die Bodenbewegungen abgeklungen sind. Die Binnenentwässerung kann dann wie in jedem anderen naturbedingt unter Wasserüberschuß leidenden Gelände erfolgen. Dabei sind, wenn es sich um Grundwasser handelt, besonders Fremdzufüsse aus Nachbargebieten oder etwa aufsteigendes Wasser infolge nachhaltiger Störungen der hydrogeologischen Untergrundverhältnisse zu berücksichtigen. Außerdem müssen die Anlagen älterer Dräne sehr sorgfältig geprüft und ggf. versiegelt werden.
2. Ist das Ende der Bodenbewegungen nach Ausmaß und Zeit noch nicht abzusehen, sind insbesondere die künftigen Gefäll- und Vorflutverhältnisse gänzlich ungewiß, dann muß die Binnenentwässerung provisorisch und in der Weise durchgeführt werden, daß sie die später möglichen Störungen und Schäden nicht noch verstärkt. Auf Rohrdränung wird man daher in der Regel verzichten müssen. Abgesehen von offenen Gräben, die Erscheinungen der Bodenbewegungskomponenten schon zu Beginn augenfällig zeigen, kommen bei schweren Böden höchstens noch Maulwurfdräne als Sauger in Frage.
3. Sind die Bodenbewegungen noch nicht abgeklungen, aber steht eindeutig fest, daß entweder nur Senkungen zu erwarten sind oder die Verschiebungen, Zerrungen und Pressungen ein verhältnismäßig geringes Ausmaß annehmen werden und die Schieflage die Gefällverhältnisse nicht umkehren wird, dann lassen sich schon Dränungen, unter Umständen kombinierte Maulwurf-

¹⁾ Ausführliche Veröffentlichung in der Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz, Heft 7 (1967), S. 80—90; Verlag Girardet, Essen.

dränungen, durchführen. Als Material sind filterverkleidete, besonders flexible Kunststoffrohre in der Erprobung. Es wird zu prüfen sein, ob und inwieweit sie den Bodenbewegungen standhalten. In der Vergangenheit haben sich Steindräne bewährt, deren Verlegung aber heute wohl aus arbeitswirtschaftlichen Erwägungen ausscheidet. Ferner ist zu beachten, daß die einzelnen Dränabteilungen möglichst klein und die Sammler- und Saugerstränge möglichst kurz sind, um tatsächlich auftretende Störungen flächenmäßig besser zu lokalisieren. Der Vorfluter sollte aus gleichem Grunde stets als offener Graben ausgebaut werden. Ein genauer Lageplan mit zuverlässigen und sicheren Vermarkungen im Gelände hat in diesem Zusammenhang seine ganz besondere Bedeutung.

Probleme der Dränpraxis

Von Dr. F. Kaminski, Ingenieurbüro Dr. Kaminski KG, Nordhastedt

Durch die gezielten Förderungsmaßnahmen staatlicher Stellen hat in Schleswig-Holstein die Dränung einen Umfang angenommen, der nunmehr 3000 bis 4000 ha/Jahr erreicht haben dürfte. Die Projektierung sieht sich vor einige schwierige Probleme gestellt.

Warum wirft die Dränung, die doch eine alte, bekannte und bewährte Meliorationsmaßnahme ist, nun plötzlich Probleme auf?

Das liegt wohl in einer Erweiterung der Zielsetzung, auch macht sich die technische Weiterentwicklung bemerkbar. Während in früheren Jahren auf an sich gesunden, gut durchlässigen Ackerböden mit einem natürlichen, hohen Ertragspotential das Grundwasser abgesenkt werden sollte, dränt man heute im Zeitalter der Technisierung der Ackerwirtschaft mehr und mehr auch gegen Stauwasser und versucht Böden mit an sich ungünstigen Wasserführungseigenschaften durch die Dränung strukturell zu verbessern. So kommt es, daß im Rahmen von Flurbereinigungsverfahren in Norddeutschland 20—30% der Verfahrensfläche über grundstücksgebundene Maßnahmen gedränt werden. Daraus entstehen für die Unternehmer Aufträge, die sich in Größenordnung von 100 bis 300 ha Dränfläche bewegen. Solche Aufträge sind heute nur noch in Maschinenarbeit zu bewältigen. Vor einigen Jahren kamen aus den Niederlanden und aus Amerika die ersten großen Spezialbagger mit Leistungen bis zu 3000 m/Tag nach Norddeutschland. Was auf dem einen Boden geht, geht auf dem anderen Boden noch lange nicht.

In Böden, die zur Verschlammung neigen, mit niedrigem pH, die ihre Durchlässigkeit lediglich einer von Pflanze und Kleinlebewelt aufgebaute Durchporung verdanken, erhält Handarbeit, wenn mühevoll Spitz für Spitz mit dem Spaten ausgehoben wird, das Gefüge. Eine schnellaufende Fräskette dagegen zerschlägt die Struktur. Der Boden erscheint wie durch eine Fleischmaschine gedreht, besonders durch Arbeiten während ungünstiger Witterung. Die Größe des Objektes zwingt ja den Unternehmer, das ganze Jahr hindurch zu arbeiten. So wird das frischverlegte Dränrohr mit nassem Schlamm eingepackt, vergraben.

Wir wundern uns nachher, daß die Dränung nicht funktioniert.

Das größte Dränvolumen liegt in den Niederungen. Hier müssen die Forderungen der Kulturtechniker den Wasserbauern m. E. eindeutig klargemacht werden. Z. B. verwendet der Wasserbauingenieur den Begriff „Entwässerungstiefe“. Leider sind die Auffassungen der Praxis nicht ganz eindeutig. Das Grundwasser ist ja nicht statisch zu erfassen, sondern muß dynamisch betrachtet werden. Wenn z. B. an den Entwurfsaufsteller die Forderung nach einer Entwässerungstiefe von 80 cm gestellt wird, was bedeutet das nun? Bedeutet das Saugertiefe? Bedeutet das Wasserstand zwischen den Dränsträngen? Bedeutet das mittlere Wasserstand, höchster Wasserstand? Welche Amplitude dürfen wir voraussetzen? Was darf bei plötzlichen hohen Niederschlägen passieren?

Nun, das sind Fragen, die noch nicht eindeutig zu klären sind. Ich kann zunächst aus meiner Erfahrung mit einem lachenden und einem weinenden Auge sagen, daß sich viele Fragen leider größtenteils von selbst lösen — einfach durch nicht ausreichende Vorflut.

Wenn bei systematischer Dränung eine Mindestüberdeckung von beispielsweise 70 cm gefordert wird, kann man rechnen: 70 cm Überdeckung am Brechpunkt, 30 cm für das Gefälle, 10 cm für den Übergang zum Sammler, 30 cm Sammlergefälle, 20 cm Aufschlag über Mittelwasser, 30 cm Mittelwasser im Graben — macht zusammen 1,90 m. Diese Vorflut werden wir in den seltensten Fällen (zumindest in Norddeutschland) finden.

Sollte tatsächlich im Entwurf eine derartige Entwässerungstiefe vorgesehen sein, so kommt das nächste Problem: Wie sieht es in drei Jahren aus? Der Vorfluter ist abgerutscht, verschlammt, zugewachsen — unsere ganze Anlage liegt im Rückstau. Wie könnte man mit einem geringeren Gefälle, als nach der Dränanweisung vorgeschrieben, arbeiten? Können wir mit modernen Materialien, z. B. Kunststoffrohren, von der Forderung 0,3‰ heruntergehen?

Ein weiteres Problem: Wann wird in der breiten Landwirtschaft bekannt, daß eine Dränung, die doch ein ziemliches Investitionsobjekt darstellt, auch unterhalten werden muß? Wir wissen doch heute immer noch kein Mittel gegen die Verockerung; also müssen wir von der Projektierung aus unsere Systeme so anlegen, daß wir später spülen oder reinigen können.

Einige Bilder sollen zeigen, wie wir das Problem im Niederelberaum zu lösen suchten. Für die Sauger: Mindestgefälle 0,3‰, Sammler mit 0,15‰, kanalisierte Nebenvorflut mit 0,05‰, Betonschächte in 50-m-Abständen zum reinigen, offene Vorflut mit 0,015‰ Gefälle, weil wir mit Rohrleitungen zu tief kommen. Sie sehen, daß die Böschungen des Grabens abgerutscht sind. Er müßte vom Bauern unterhalten werden, das wird ihm aber nicht möglich sein. Einen derart schlecht befestigten Vorfluter kann der Anlieger nicht auf Dräntiefe halten.

Die nächsten Bilder zeigen einige technisch gelungene neben fehlerhaften Maßnahmen. Wenn die Vorflut nicht ausreicht, setzen wir Schöpfwerke ein. Ungefähr 100 ha werden vor einem Schöpfwerk zusammengefaßt. Das Schöpfwerk kostet ungefähr 15 000,— DM mit Pumpe, die Hubhöhe beträgt 2,50—3 m.

Für die Hauptsammler werden grundsätzlich Kunststoffrohre verwandt, weil Tonrohrsammler in diesen Tiefen zu viel Grundwasser aufnehmen würden, die Schöpfwerke praktisch ständig laufen müßten und die Stromkosten zu hoch würden. Der letzte Stich muß mit der Hand ausgeworfen werden, damit die Rohre an den Seiten Widerlager haben und nicht plattgedrückt werden können. Die Schächte haben durchlaufendes Gerinne, also keinen Schlammfang. Wir wollen den Schlamm aus den Saugern durch die Sammler befördern und möglichst in die Hauptkanalisationsstrecken hineinbekommen.

Die Dränbagger fahren mit ausgefahrenem Fahrgestell rittlings über dem bestehenden Beetgraben und versuchen, mit Glaswolle umwickelte Kunststoffrohre zu verlegen. So geht es hinter der Dränmaschine zu. Der Unternehmer läßt einfach eine Schleppe dahinter fahren und kratzt den Schlamm praktisch wieder in den Drängraben rein. Das nasse Material gipst das Rohr ein. Der Entwässerungserfolg wird nicht zufriedenstellen.

Was Sie nach einer gelungenen Melioration noch sehen — hier als weiße Punkte — sind die Kontrollschächte — und sonst eine ebene Fläche ohne die bisher so störenden Beetgräben.

Ich hoffe, mit diesem Beispiel einige Anregungen gegeben zu haben.

Versuche mit Mitscherlich-Töpfen über den Eintritt von Bodenmaterial durch verschieden große Schlitzweiten in PVC-Platten

Von Dipl.-Ldw. G. M a n n, Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen der Universität Kiel

Bei allen Fragen zur Kunststoffrohrdränung spielt das Problem der Gestaltung und der Flächengröße der Eintrittsöffnungen von PVC-Rohren eine wichtige Rolle. Der eigentliche Vorteil, vorgefertigte, definierte Eintrittsöffnungen als eine Voraussetzung für die optimale Dränung landwirtschaftlicher Nutzflächen herstellen zu können, erweist sich bisher in der Praxis als nachteilig. Dies wird so lange der Fall sein müssen, wie die Kenntnisse über die Auswirkung der Eintrittsöffnungen vornehmlich auf Abflußpende und Verschlammungsgrad der Dränrohre unzureichend sind.

Nach den bisherigen Beobachtungen (3) lassen die Anzahl der Eintrittsöffnungen und die Schlitzweite mit der Abflußpende hauptsächlich wegen der im Boden eintretenden Verminderung der theoretisch wirksamen Eintrittsfläche keinen gesicherten Zusammenhang erkennen. Ein Einfluß von Filterstoffen auf den Eintritt von Bodenmaterial in die Dränrohre ist dagegen augenscheinlich, wie entsprechende Untersuchungen bestätigen (4, 5). Ziel unserer Versuche — über die nachfolgend berichtet wird — ist es, den Eintritt von Bodenmaterial durch verschieden große Schlitzweiten in PVC-Platten ohne Bedeckung durch Filterstoffe im Labor modellhaft darzustellen.

Für die Versuche wurden Mitscherlich-Kulturgefäße mit einem Fassungsvermögen von 6,2 l benutzt. In den Boden eines jeden Topfes wurde eine — mit genau geschnittenen Eintrittsöffnungen versehene — Kunststoffplatte eingepaßt. Zur Verminderung des Randeffektes brachten wir geeignete, aufgeschnittene Kunststoffbeutel an den Platten festschließend an und zogen die dünne Folie bis an den oberen Topfrand hoch.

Bei der Einwaage von 5000 g naturfeuchten Bodens (etwa bei 30—40% der NK) wurde der Mitscherlich-Topf durchschnittlich zu dreiviertel gefüllt. Oberhalb des Bodens blieb im Gefäß noch Platz für die Zugabe von Wasser. Wir gingen dabei folgendermaßen vor: Jede einzelne Wasserzufuhr betrug umgerechnet 20 mm. (Bei einer Bodenoberfläche von 308 cm² entspricht dies einer Wassermenge von 616 cm³, oder für 100 mm den fünffachen Wert 3,1 l.) Erst wenn die Wassergabe von 20 mm eingesickert war und auf der Bodenoberfläche kein Wasser mehr „spiegelte“, gaben wir die nächsten 20 mm, bis die angestrebte Gesamtwassermenge erreicht wurde. Kontrollmessungen bezüglich der Durchlaufzeit und der Ausschlammung erfolgten gestaffelt bei je 100 mm. Zum Schutz gegen die Ausspülung der oberen Bodenschicht bei der Wasserzugabe wurde diese mit einem Papierfilter abgedeckt.

Für die Untersuchung verwendeten wir den entkalkten, leichten Seemarschboden unseres Meldorfer-Dränversuchsfeldes, der erfahrungsgemäß stark zur Einschlammung in Dränrohre neigt. Er enthält nach der Dispergierung mit Natriumpyrophosphat etwa 12% Rohton, die Hauptkorngröße ist der Schluff mit etwa 50%. Die Entnahme des Bodens erfolgte in Dräntiefe (0,60—1,00 m unter Flur).

In einem Testversuch wurde zuerst der Einfluß der unterschiedlichen Strukturierung des Bodens auf die Verschlammung geprüft. Dazu füllten wir den Boden einmal gleichmäßig und fein durchmischt — gleichsam homogenisiert —, zum andern ohne Homogenisierung in die Mitscherlich-Töpfe.

Bei dieser Voruntersuchung wurde als Auflage für den Boden eine 3 mm starke Kunststoffplatte aus Polyäthylen benutzt. Im Abstand von jeweils 1 cm waren 3 mm weite Löcher — insgesamt 293 — angeordnet. Das ergibt eine Durchtrittsfläche von 20,7 cm². Dieser Wert entspricht bei einem Kunststoffdränrohr von 4 bzw. 5 cm Durchmesser der Eintrittsöffnung von 85 bzw. 106 cm²/lfdm, d. h. also etwa dem zehnfachen der normalen Dränrohre.

Im Mittel von 4 Wiederholungen zeigte sich folgendes, in der Abbildung 1 dargestelltes Ergebnis.

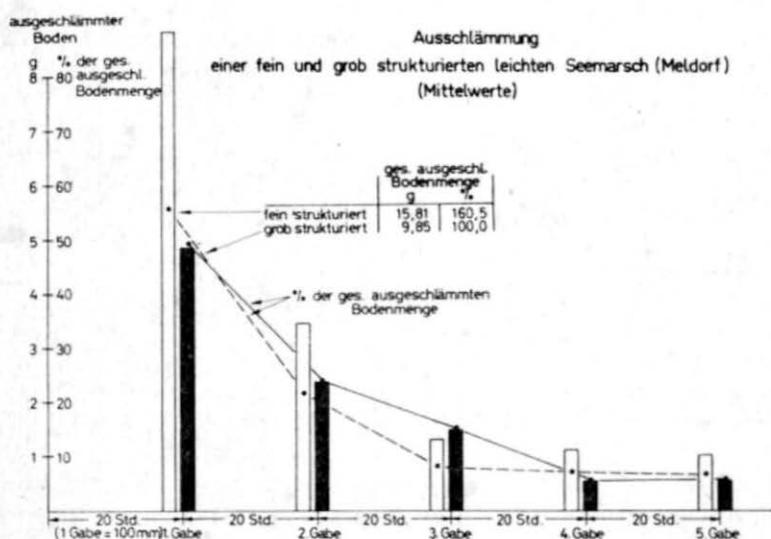


Abb. 1

Die Durchlaufzeit des Wassers für jede 100-mm-Gabe blieb bei diesem Versuch während der Versuchsdauer im wesentlichen gleich. Mit weiterer Zugabe von jeweils 100 mm nahm die Menge des ausgeschlammten Bodens ab. Die Abnahme war bei dem feinstrukturierten Boden bei den ersten Gaben etwas stärker. In der Abnahme der ausgeschlammten Bodenmenge spiegelt sich eine in der Praxis häufig festgestellte Beobachtung — ganz unabhängig von der Schlitzweite der Dränrohre — wider, die Einspülung der Dränrohre findet meistens verstärkt in der ersten Zeit nach dem Verfüllen der Gräben statt. Nach der Zufuhr von

insgesamt 500 mm in 100-mm-Gaben ist aus dem feinstrukturierten Boden 60% mehr Bodenmaterial als aus dem grobstrukturierten ausgeschlämmt worden. (Die Differenz ist zu $P = 0,05$ statistisch signifikant.) Die Strukturzerstörung hat also einen großen Einfluß auf die Ausschlämzung von Bodenmaterial gehabt, ohne die Streuung der Werte zu vermindern. In den weiteren Versuchen wurde daher ohne Homogenisierung gearbeitet.

Für die ausgeschlammte Bodenmenge der 1. und 2. 100-mm-Gabe war die Analyse der Textur möglich (Abb. 2).

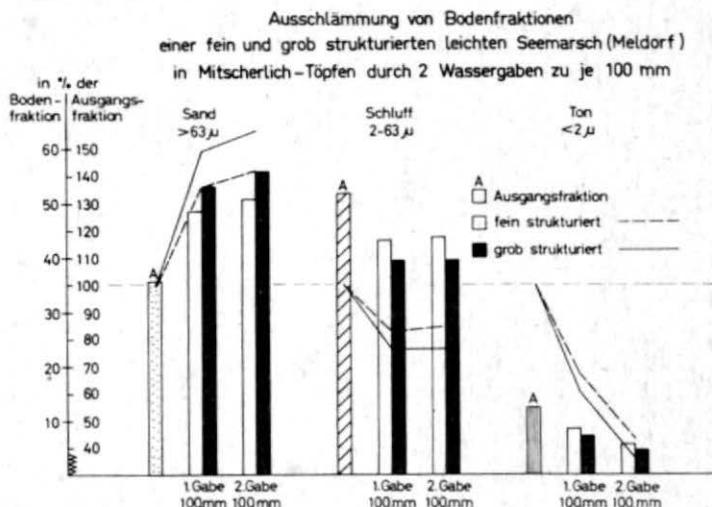


Abb. 2

Es zeigt sich bei dem ausgeschlammten Boden der feinen Strukturierung gegenüber dem der groben ein etwas höherer Gehalt an Schluff (8%) und Ton (7%), die Sandfraktion ist im Verhältnis niedriger (14%). Einheitlich ist bei dem Ausschlämzungsmaterial aus beiden Behandlungen nach insgesamt 200 mm Wasserzufuhr ein wesentlich höherer Anteil an Sand (45%) und geringere Gehalte an Schluff (20%) und Ton (48%) festzustellen als der Ausgangsfraktion entspricht. Eine gleiche Abweichung der Texturwerte des ausgeschlammten Bodenmaterials von der Ausgangsfraktion ergab auch die anschließende Versuchsanstellung.

In Abänderung zu der bisher erörterten wurde bei der folgenden Untersuchung eine 1 mm starke PVC-Platte mit 0,4 bzw. 1,0 mm breiten und 30 mm langen Schlitzten in den Mitscherlich-Töpfen verwendet. Der Abstand zwischen den Schlitzten betrug 3 cm. Insgesamt belief sich die Eintrittsfläche für die 0,4 mm Schlitzweite auf 1,92 cm² und für die der 1-mm-Schlitzte auf 4,80 cm². Dies entspricht bei einem 4-cm-Kunststoffdränrohr einer Eintrittsöffnung von 7,8 bzw. 19,6 cm²/lfdm — also Werten, die auch in der Praxis zu finden sind. Untersucht wurde wiederum der Meldorfer-Marschboden, wobei diesmal nur mit der groben Strukturierung, d. h. möglichst ohne Strukturzerstörung gearbeitet wurde. Jede der beiden Schlitzbreiten-Varianten wurde in achtfacher Wiederholung untersucht. In der Abbildung 3 wird der Einfluß bei 0,4 und 1,00 mm Schlitzbreite auf

Bodenausschlämmung und Durchlaufzeit am Meldorfer Marschboden wieder gegeben.

An der gegenüber der vorherigen Untersuchung insgesamt niedrigeren Menge an ausgeschlammtem Bodenmaterial kann klar die Auswirkung der Verringerung der Eintrittsöffnungen in den Kunststoffplatten erkannt werden. Ganz eindeutig überwiegt die durch 1,0 mm breite Schlitze durchgeschlammte Bodenmenge die der von 0,4 mm. Analog zum Ergebnis des 1. Versuches hat hier die 1. 100-mm-Gabe die stärkste Bodenausschlämmung zur Folge, mit jeder weiteren Wassergabe passiert bei engen und weiten Schlitzen immer weniger Bodenmaterial die Schlitze.

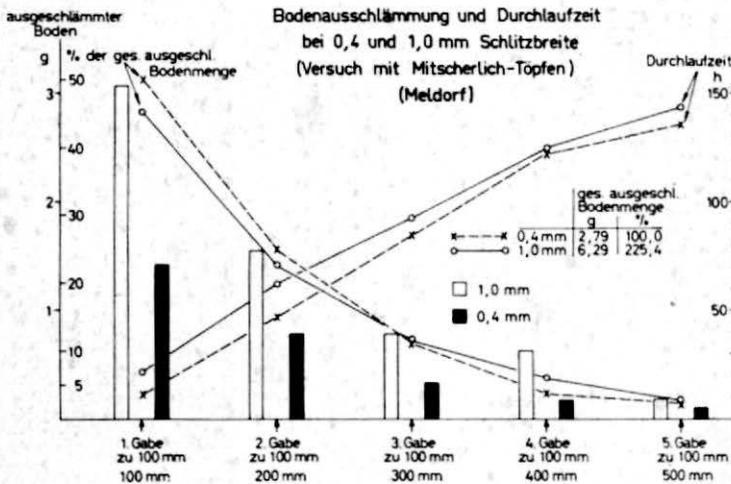


Abb. 3

Überraschende Werte ergeben sich in diesem Versuch für die Durchlaufzeit der Wassergaben: Sie liegen bei den 1-mm-Schlitzen über den von 0,4 mm. Das heißt, trotz der größeren Schlitzbreite, die die gesamte Eintrittsfläche verzweieinhalbfacht, gelangt je Zeiteinheit weniger Wasser durch die Kunststoffplatten. Vor allem bei der 1. und 2. 100-mm-Gabe sind diese Differenzen in der Durchlaufzeit statistisch signifikant ($P = 0,05$ und $P = 0,01$).

Hierfür gibt es folgende theoretische Erklärungsmöglichkeit: Bekannt ist die geringe Benetzbarkeit der Kunststoffe, sie dürfte beim Kontakt mit Wasser zu einer stärkeren Kohäsion und damit Oberflächenspannung führen. Die Überwindung der Oberflächenspannung ist aber für den Durchfluß des Wassers erforderlich. (Diese Notwendigkeit entfällt selbstverständlich für die von innen benetzten Öffnungen.) Es ist nun offensichtlich so, daß bei dem breiteren Schlitz diese Oberflächenspannung, die die Bildung von Tropfen verursacht und das Fließen des Wassers behindert, leichter überwunden wird als bei dem schmaleren Schlitz. Dadurch kommt es beim 1,0-mm-Schlitz zu einem plötzlichen und schnellen Durchtritt der an der Kunststoffplatte zugeflossenen Wassermenge. Nun kann aber die Wassernachlieferung des Bodens gebremst werden, wenn sich an der Austropfstelle Menisken bilden und auf Grund der Oberflächenspannung nur

verzögert Tropfen entstehen. Dieser Vorgang wiederholt sich beim breiten Schlitz während bestimmter Perioden, vermutlich ständig.

Anders liegen die Verhältnisse bei der 0,4-mm-Schlitzweite. Die stärkere Oberflächenspannung verzögert das Abfließen des Wassers nur anfänglich. Ist dieser Widerstand überwunden, so erfolgt ein kontinuierlicher Durchfluß beim schmalen Schlitz, da der Wasserablauf gleich oder niedriger als der Wasserzulauf aus dem Boden ist. Der Wasserfaden reißt beim 0,4-mm-Schlitz nicht ab, wodurch insgesamt eine schnellere Wasserabführung erreicht wird. Der Wasserdurchfluß je Minute und Quadratmillimeter von der 1. bis zur 5. 100-mm-Gabe liegt beim engen Sägeschlitz fünf- bis dreimal über der der breiteren Öffnung.

Sicherlich ist diese Theorie nicht die einzig mögliche Erklärung, uns erscheint sie am verständlichsten, da sie den Benetzungswiderstand der Kunststoffe und seine Auswirkung auf die Oberflächenspannung des Wassers und auf den Fließvorgang berücksichtigt.

Es scheint, als ob diese Beobachtungen nicht nur im Labor zu machen sind. DE JAGER (1) berichtet, daß bei Untersuchungen an Kunststoffdränrohren hinsichtlich des Wasserabflusses durch enge Öffnungen gegenüber dem von weiten kein größerer Widerstand festgestellt wurde. Auch genügten in bestimmten Böden relativ kleine Eintrittsflächen/lfdm, dagegen reichte vor allem in sandigen Böden die fünffache Fläche nicht aus. Die scheinbar gute Wasserdurchlässigkeit eines Bodens kann somit nicht allein als Kriterium für die Beziehung zwischen Schlitzweite und Wasserdurchfluß dienen, andere Faktoren dürften diese ebenfalls beeinflussen. Im zitierten Fall spielte möglicherweise nicht nur die Blockierung der Schlitz durch Sandkörner, sondern auch die wassereinstauende Wirkung tragender Menisken eine Rolle, die sich an der Grenzfläche Boden und Kunststoffrohr bilden können (2).

Unsere Versuche lassen erkennen, daß feinstrukturierter Boden stärker zur Verschlammung neigt als Boden mit grober Bröckelung. Die größere Eintrittsöffnung in Kunststoffplatten hat eine größere Durchspülung von Bodenmaterial zur Folge. Sie muß aber nicht parallel mit einem schnelleren Durchlauf des Wassers einhergehen. Bei bestimmten Böden kann die Durchlaufzeit des Wassers am engen Kunststoffschlitz unter der des weiten liegen.

Literatur

1. de Jager, A. W.: Eintrittsöffnungen von Kunststoffdränrohren. Z. f. Kulturtechnik 3, 1962, 47—48.
2. Köhnlein, J., und Oehring, M.: Zur Problematik der Wasserbewegung in Ackerkrumen-Lysimetern. Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 109, 1965, 1—17.
3. Kuntze, H.: Stand der Erfahrungen in der Verwendung von Kunststoffdränrohren. Z. f. Kulturtechnik 4, 1963, 1—11.
4. Muth, E.: Untersuchung über die Wirkung von Filterstoffen bei Abflußstörungen in Dränanlagen. Diss. Gießen, 1963.
5. Neuhäus, H., und Kuntze, H.: Untersuchungen über Eigenschaften neuartiger Dränfilterstoffe. Wasser und Boden 15, 1963, 362—366.

I. Diskussion

Leitung: Prof. Dr. Baumann

BADEN: Meine Damen und Herren, es ist zu begrüßen, daß einleitend in betriebswirtschaftlicher Sicht alles das noch kurz untermauert und in der Zielsetzung aufgezeigt worden ist, was uns in der Tat bewegt. Ganz kurz darf man feststellen, daß in der Zeit vor der Melioration auf Grünlandflächen 50 Doppelzentner saures Rauhfutter, nach der Melioration 80 Doppelzentner gutes Heu geerntet wurden — deshalb also ein 100%iger Erfolg — freilich unter hoher Belastung. Ich frage mich nun nur, wie die sehr einleuchtenden und eingehenden Berechnungen von Infeld auf andere Standorte übertragen bzw. ausgewertet werden können für große zusammenhängende Meliorationsgebiete. Bei den so vielgestaltigen ökonomischen Voraussetzungen über viele Betriebsgrößen mit völlig uneinheitlich aufgebauten Betriebstypen bleibt doch wohl, das ist nun meine Frage, nur ein Weg, wie er — glaube ich — von den Landbauaußenstellen auch gegangen wird, in dem man in solch einem Meliorationsgebiet typische Betriebe benennt, die irgendwie für Teilgebiete repräsentativ sind und daß man diese Betriebe möglichst rückschauend durchleuchtet und zu erfahren sucht, wie der ganze Effekt vor der Melioration gewesen ist und dann vorausberechnet, wie er nach der Melioration sein wird. Wohl gilt es, sich zunächst mit Teilstücken zu befassen, deren Einzeluntersuchungen sodann hinein zu projizieren sind in mehr oder weniger einfache Betriebskalkulationen bzw. Betriebsprogrammierungen. Dabei kann natürlich die höhere Mathematik, möchte ich sagen, ja gar nicht genug eingebaut und ausgewertet werden.

Ich möchte noch einen Schritt weitergehen: Sollten wir bei diesen unerläßlichen Wirtschaftsberechnungen aus der betriebswirtschaftlichen Sicht stehenbleiben? Wäre nicht aller Anlaß gegeben — in einer Zeit, wo die Gelder knapper werden —, dies volkswirtschaftlich zu sehen und diese Frage weiter zu ventilieren oder zu berechnen: Wie groß ist der einmal ausgelöste aber jährlich wiederkehrende zusätzliche volkswirtschaftliche Impuls, der von jeder — um beim Thema zu bleiben — neu gedränten Fläche ausgeht? Wäre das nicht wichtig, um vielleicht darauf hinzuweisen, daß auch wir im Bundesgebiet noch unterentwickelte Gebiete haben, die den Markt, den deutschen Markt, den Absatz für lange Zeit sichern können, ohne daß er uns in Europa oder in Übersee eines Tages wieder verlorengeht. Ich glaube, dieses Moment, der jährlich wiederkehrende volkswirtschaftliche Impuls jeder Meliorationsmaßnahme, jeder Dränung, kann wirklich gar nicht präzise unter Beweis gestellt werden.

SOMMERKAMP: Herr Professor Baden, wir möchten, daß alle Institute stets mit der Wasserwirtschaft so gut zusammenarbeiten — ob Ihres oder das von Prof. Baumann in Kiel, wie wir seit Jahren mit dem Institut von Prof. Billib in Hannover. Künftig sollte man exakte Daten, zum Beispiel über hydrologische Vorgänge im Boden, sogleich auf Lochkarten bzw. Streifen übernehmen. Wir lassen nach einer sogenannten Programmierungsfibel alles einheitlich aufarbeiten. Das gilt vor allem für Ergebnisse der Infelder Meliorationsversuche und die Betriebsbuchführung, wie sie aus den Jahren vor und nach den verschiedenen Meliorationsmaßnahmen anfielen. Sodann programmieren wir Wirtschaftsweisen,

wie sie vor und nach den Meliorationen ausfallen würden. In der breiten Praxis der Landbauaußenstellen müssen wir uns zunächst mit Deckungsbeiträgen begnügen. Wenn wir die errechnet haben — in Infeld z. B. auf dem Dränversuchsfeld eine 50%ige Erhöhung der Deckungsbeiträge für den Hektar dräniertes Ackerfläche — wenn wir jetzt diese Unterlagen gesammelt haben, dann kann der mögliche Meliorationserfolg auch in Form einer Maximierung ermittelt werden. Man kann sogar aus den mathematischen Grundlagen zu den Deckungsbeiträgen die optimale Kombination der Faktoren ablesen. Dabei sind die Leistungen von Boden, Kapital und Arbeit im einzelnen so zu isolieren, daß in bestimmten Meliorationsgebieten schon gesagt werden kann: Wenn in einem großen Programm diese oder jene Maßnahme durchgeführt wird, dann sehen diese oder jene Einzel- oder Gesamterfolge so aus, daß die Meliorationsvorhaben von A bis Z im voraus — vor allem finanziell — durchkalkuliert werden kann. Aus Infeld lassen die Ingenieure die Aufzeichnungen ihrer Apparate durch das Rechenzentrum der Technischen Hochschule Hannover kontinuierlich auswerten, während wir uns bis dahin mit den üblichen Auswertungsmethoden begnügten. Jetzt aber haben wir uns mit unseren Arbeiten den modernen Rechenverfahren angepaßt. Wir stehen zur Zeit auch mit Prof. Woermann, Göttingen, in Verbindung, um in dessen betriebswirtschaftlichem Institut für alle Grünlandstandorte der Niederungen exakte Erzeugungsdaten zu erstellen. Ich könnte Ihnen noch einige Literatur nennen, welche sich auch mit dem Meliorationswesen betriebswirtschaftlich-mathematisch befaßt:

1. Elektronische Digitalrechner
2. Programmierfibel
— beide erschienen im Telekosmos-Verlag, Franckh'sche Verlagshandlung Stuttgart,
3. Die lineare Programmierung in der landwirtschaftlichen Betriebswirtschaft
4. Wirtschaftslehre der landwirtschaftlichen Produktion
— beide erschienen in der Bayer. Landw. Verlagsgesellschaft München—Basel—Wien.

HEBESTREIT: Weil Sie gerade Literatur erwähnen, Herr Dr. Sommerkamp, folgende Frage:

Die 4. Auflage des Lehrbuches von BLOHM enthält den nach der 3. Auflage vielleicht gemilderten Satz, daß der kulturtechnische Aufwand für manche Böden in der intensiven Kulturwirtschaft sich — wohlgemerkt: privatwirtschaftlich — kaum rentiert. Gilt dieser Satz noch oder müssen wir ihn nach Ihrem Referat jetzt anders sehen?

SOMMERKAMP: In der Landwirtschaft gibt es kaum Maßnahmen, die sich besser rentieren als ganz bestimmte Meliorationen, z. B. wasserwirtschaftlicher Art.

Wenn wir mit den Infelder Zahlen arbeiten und sie übertragen in die Programmierung, dann können wir nachweisen, daß wir jetzt auch den gesamten Versuchsbetrieb so meliorationsverdaulich gemacht haben, daß er einen wesentlich erhöhten Kapitaldienst als zuvor verträgt. Wir wissen, daß der Meliorationserfolg gerade im Zeichen der Vollmechanisierung außerordentlich wirtschaftlich sein kann.

BAUMANN: Die Ausführungen von Herrn Kollegen Grubinger haben insbesondere grundsätzliche Bedeutung für die Frage, wie wir an die Entwässerung von Einzelflächen heranzugehen haben! Wenn sie an die Grafiken in der Dränanweisung denken, so gehen wir immer noch von der Textur des Bodens aus. Die Dränanweisung bezieht sich auch durchweg auf eine systematische, es wurde gesagt „schematische Dränung“. Nur gelegentlich kommt dort das Wort „Bedarfsdränung“ vor. Die grundsätzliche Sache, die Herr Grubinger herausstellte ist die, daß es fast weniger auf den Boden als auf die hydrologischen Verhältnisse, auf die hydrogeologischen Verhältnisse, daß es auf eine genauere Erfassung des Fremdwasserzustromes ankommt. Ich glaube, daß das auch in den Niederungen selbst eine wesentlich größere Rolle spielt als man bisher annimmt. Mein Steckenpferd ist das Beobachten des Verhaltens des oberflächennahen Grundwassers. Wenn wir seine Fließrichtung beobachten und z. B. in der Marsch sein Verhalten vergleichend auf Flächen ähnlichen Bodens beobachten, dann sehen wir, daß nicht das am Ort einsickernde Regenwasser entscheidend ist für die Bemessung der Dränung, sondern daß eben gerade das Fremdwasser und die Grundwasserbewegung, entscheidend zu sein scheinen. Ich meine, daß wir viel stärker gerade die hydrologischen Verhältnisse im Auge haben müssen, wenn wir eine Dränung richtig bemessen wollen.

RAMSAUER: Wir haben unsere Aufmerksamkeit darauf gewandt, daß es ja nicht so sehr darauf ankam, welchen Grundwasserstand wir haben, sondern daß es auf den Kapillarsaum ankommt! Das ist das Entscheidende. Der Saum, der dafür sorgt, daß die Pflanze genügend Wasser bekommt. Sobald wir auf das unser Augenmerk klar richten, werden wir sofort sehen, daß die Grundwasserstände ganz anders sein können, als wir sie normalhin annehmen. Wir haben z. B. bei den Versuchen in Purgstall festgestellt, daß nach einer Wassersenkung von 80—90% (bei diesem Wasser natürlich) absolut höchste Erträge erzielt werden können.

BLÜMEL: Ich wollte nur noch bestätigen, daß bei uns in Österreich in alpinen Gebieten auch das hydrogeologische und das hydropedologische Problem und nicht so sehr eine Schematisierung ausschlaggebend ist.

BAUMANN: Nun würde mich noch die Frage interessieren, wie weit im alpinen Bereich gerade mit dem Glaswollfilter Erfahrungen bei Kunststoffrohren gemacht worden sind.

GRUBINGER: Im Berggebiet der Schweiz werden in vermehrtem Umfange Kunststoffdräns verlegt; daher ergeben sich zwangsläufig Gefälle von 10—15% und mehr. Man hat nun beobachtet, daß das Wasser bis zum Filter (Kies, Tannenreisig, Styromull) einsickert, bei den großen Gefällen jedoch nicht mehr in die Rohrleitung eindringt, sondern im Filter talwärts läuft. Daher stellt sich die Frage, ob man den Eindringwiderstand nicht eliminieren kann, indem man das Rohr ganz wegläßt. Aus diesen Gründen habe ich in meinem Referat auch von „Wasserzügen oder Dränleitungen“ aber nicht von Dränrohren gesprochen. Es ist nicht klar, ob wir in Fällen der unterirdischen Berghangentwässerung bei den derzeitigen Rohrarten und Typen verbleiben werden. Wir suchen hierfür ein hydraulisch wirksames, dräntechnisch einfaches und wirtschaftliches

System. Die extreme Lage der Baustellen und die geringe Rendite der Alpmelioration erzwingen dies.

Eine zweite Anmerkung: Zum Schutze der Arbeiter werden Kunststoff-Dränrohre samt Glasfaserfilter mit Papier umwickelt geliefert. Nach der Verlegung sollte das Papier sich im Boden rasch zersetzen. Es war nun sehr unangenehm, daß als Folge ungeeigneter Papiersorte die Dräns fein säuberlich verpackt im Boden lagen, ohne Wasser aufnehmen zu können.

HARTGE: Sind ähnliche Beobachtungen, wie sie Herr Mann über den Wassereintritt in Kunststoffdränrohre zeigte (daß manchmal auch mehr hereinkommt, wenn sie enge Schlitz haben) auch an anderen Materialien gemacht worden, an Tondränrohren oder an sonst irgendeinem, oder handelt es sich dabei um ein ausgesprochen kunststofftypisches Phänomen?

KOWALD: Wir haben diesbezüglich Versuche eingeleitet. Tonrohre, die schon drei Jahre im Freien lagen — sich also nicht mehr ausdehnten —, haben wir plangeschliffen und zwar senkrecht zur Rohrachse. Dann haben wir diese Rohre im Feld verlegt und zwischen die Rohre Kunststoffplättchen verschiedener Dicke gelegt. Nach dem Verlegen des Stranges wurden diese Kunststoffplättchen wieder herausgezogen. Auf diese Weise entstanden künstlich Stoßfugen von 0,1—0,3—0,5—1 und 2 Millimeter Weite. Wir beobachten zur Zeit die Abflüsse und die Verschlammung. Ich glaube, daß dieser Versuch dem entspricht, was Sie, Herr Prof. Baumann, eben anregten.

BAUMANN: Damit machen Sie einen ähnlichen Versuch wie wir in Meldorf, wo es ja auch um die Einschlammung geht, wo in der Tendenz eine mit zunehmender Schlitzgröße steigende Verschlammung festzustellen ist. In Süderdeich liegen einzelne unummantelte Stränge. Dort stellen wir eine wesentlich höhere Abflußleistung gegenüber den ummantelten Dräns fest. In Schleswig-Holstein wird das glatte PVC-Rohr von der Praxis z. T. gänzlich abgelehnt.

VIDAL: Liegen Erfahrungen mit filterummantelten Kunststoffrohren auf Moorböden vor?

Ich habe gehört, daß da Schwierigkeiten aufgetreten sein sollen, weil die Filter durch die organische Substanz besonders rasch verstopft und damit in kurzer Zeit undurchlässig werden.

Die zweite Frage ist, ob man Kunststoffrohre auf Grund bisheriger Erfahrungen der Praxis überhaupt schon empfehlen kann. Es wäre nämlich tragisch, wenn man nach kurzer Zeit feststellen müßte, daß der eine oder andere Typ überhaupt nicht oder nur sehr mangelhaft funktioniert. Bei der Flurbereinigung kann es vorkommen, daß ein Bauer ein gut gedräntes Feld verliert und ein anderes bekommt, dessen Wasserhaushalt erst geregelt werden muß. Man steht dann heute vor der Frage: Dränt man mit Ton- oder mit Kunststoffdränrohren oder wendet man vielleicht nur die Maulwurfsdränung an? Der Grundbesitzer möchte eine Methode auf dem Feld angewendet sehen, die ihm 20 bis 30 Jahre lang — so lange hält ja die herkömmliche Tonrohrdränung etwa — den gleichen oder einen besseren hydraulischen Erfolg wie diese bei möglichst geringeren Kosten garantiert.

WELLING: Wir waren gerade in den letzten Tagen bei einem süddeutschen Werk, das Dränrohre herstellt. Es handelt sich hierbei um geriffelte Rohre, die mit Schlitzfenstern versehen sind. Diese Schlitzfenster sind mit einer Kunststoffoberfläche abgedeckt nach außen hin. Es besteht nun ein Versuch mit Saugern und Sammlern, wobei die Sauger von oben rechtwinklig in die Sammler einmünden. Hierbei zeigt es sich, daß sich tatsächlich in dem Knick dicke Bodenklumpen ansammeln, feines Material, das stark mit Nylonfaser durchsetzt ist.

Man frage nach den Gründen für dieses Verstopfen. Wir kamen zu der Feststellung, daß es sich um einen Strömungsbruch handelt: die Strömung wird unterbrochen und das Wasser durch einen Wirbel zunächst etwas beruhigt. Dadurch kann dieses Filtermaterial mit dem Bodenmaterial (meistens handelt es sich um Eisenausscheidungen oder Eisendioxyd oder Ton) tatsächlich so fest sedimentieren, daß es zur Verstopfung dieser Rohre kommt. Ich habe dem Werk vorgeschlagen, den Knick der Einmündung zum Sauger etwas glatter zu machen, damit eine gleichmäßige Strömung des Wassers gewährleistet ist.

Andererseits habe ich eine Frage an Herrn Dr. Kaminski: Ich habe vorhin herausgehört, daß hier in Deutschland sehr wenig Verpackungsmaterial für die Dränrohre, besonders für die Kunststoffrohre benutzt wird. Ich hatte während eines Aufenthaltes in den USA bei einem Bewässerungsinstitut Gelegenheit gehabt, mir dort einmal die Dränarbeit anzusehen. Man verwendet dort grundsätzlich drei verschiedene Arten von Dränrohren: einmal Tonrohre von etwa 30 cm Länge, dann Zementrohre von etwa 60 cm Länge und Bitumenkunststoffrohre von 2,40 m, die eine Perforierung ringsherum hatten: Löcher von etwa 1 bis 2 cm Durchmesser. Die Ton- und Zementrohre wurden in Kiesverschalung eingelegt, so daß etwa 5 cm Kies unter die Rohre gelegt wurde und eine etwa 2 1/2 cm dicke Kiespackung obenauf. Die Rohre lagen in etwa 2 m Tiefe in sehr feinem Boden. Die Bitumenrohre wurden meistens in Glaswolle eingelegt, und zwar in Glaswollstreifen, die die entsprechende Breite des Drängrabens hatten und dann eine Decke bekamen, die um das ganze Rohr herumging. Die Leute haben eine Erfahrung von etwa 15 bis 20 Jahren mit der Dränung des ganzen Gebietes von 3500 ha. Herren, mit denen ich dort gesprochen habe, sagen, daß sie mit diesem Verfahren wirklich gute Erfahrungen gemacht hätten. Dort hatten sie ein Gefälle von 0,1‰ und — wie gesagt — in 2 m Tiefe verlegt, so daß sie keine Verwerfung innerhalb des Rohrzuges in den einzelnen Sammlern hatten.

KAMINSKI: Zunächst einmal ist die Industrie ohne Zweifel mit den Kunststoffrohren wohl etwas stark vorgeprellt und hat sich zu stark auf holländische Werte mit einer günstigen Wasserführung verlassen und auf den 0,4-mm-Schlitz. Es kommt hinzu, daß die Ausführung meistens nicht 0,4 war, sondern — das addiert sich nachher — es wurde eigentlich nur 0,2 geliefert. Und das ist nun einwandfrei zu wenig.

Wir stehen in der Praxis manchmal vor der Frage: Ist nun der enge Schlitz daran schuld oder bildet auch die mechanische Verlegung einen Ausschlag. Wenn wir das gleiche Rohr schön sauberlich mit der Hand verlegen würden und es schön sauberlich mit trockenem Boden anfüllten, würde es dann nicht genausogut ziehen wie ein Tonrohr oder ist nur mechanisches Einschlämmen des Aushubs daran schuld, daß die Kunststoffdränung — auch die mit Glaswolle umspannenen

Rohre — teilweise versagt? Der Rückgang der Durchlässigkeit ist tatsächlich enorm, aber die Ursache nicht ganz klar.

BAUMANN: Nach den Erfahrungen in Schleswig-Holstein steigt mit zunehmendem Gehalt an zersetzter organischer Substanz die Gefahr des Dichtens der glatten, längsgeschlitzten Kunststoffrohre mit 0,4 mm Öffnung; man nimmt deshalb größere Schlitze 0,8—1 mm. Wenn tatsächlich etwas organisches Material in die Rohre kommt, so ist bei einem normalen Gefälle doch gewährleistet, daß es ausgespült wird. Man überläßt es heute noch dem Bauunternehmer oder den Bauern, ob sie ein Tonrohr oder ein Kunststoffrohr nehmen sollen. Das ist unbefriedigend. Gerade deswegen haben wir die Verpflichtung, uns sehr stark um die Funktion zu kümmern. Praktisch muß die Frage im Einzelfall beantwortet werden. Ist das Kunststoffrohr für den Boden geeignet oder nicht?

HEBESTREIT: Auf die Frage von Herrn Dr. Vidal (Kann man Kunststoffrohre überhaupt empfehlen?) würde ich mit „ja“ antworten, aber diese Antwort durch den klassischen Satz der Landwirtschaft erweitern „je nachdem, mehr oder weniger“. Einen Grund für diesen Nachsatz hat Herr Dr. Kaminski angegeben: Die Qualität von Kunststoffrohren ist unterschiedlicher als die der Hersteller mit im Boden gemessenen Unterschieden 1:1000.

Den zweiten Grund hat wohl Herr Prof. Grubinger schon genannt: Der Zeitpunkt ist wichtig. Dafür konnten wir kürzlich ein sehr gutes Beispiel beobachten: In einem Boden aus Schwemmlöß wurden gleichzeitig PVC-Rohre bester Qualität und Tonrohre verlegt. Zunächst herrschte trockene Witterung. Die Arbeit ging weiter bei strömendem Regen. Der übliche Effekt trat ein. Die Leistung der neuverlegten Rohre — Ton und PVC — ging zeitlich von anfangs 100 auf nunmehr 10 bis 0 zurück. Das wurde jedoch dem PVC-Rohr angelastet.

Wenn man also ein Rohrmaterial empfiehlt, muß man den Ausbildungsgrad des Verlegenden mit berücksichtigen. Kommt er ins Schmieren ohne es zu merken, dann zitiert er nicht seine Kunst, sondern den Empfehlenden.

BAUMANN: Etwas, was ich in Holland immer wieder gehört habe: Wir müßten eigentlich im Sommer dränen und nicht im Winter. In Schleswig-Holstein kommt es nach Mitteilung der Unternehmer z. T. darauf hinaus, sie haben das ganze Jahr zu tun.

EGGELSMANN: Bei dem Einsatz von Kunststoff-Dränrohren in Moorböden sollte man stets Torfart und Zersetzungsstatus der Torfe sowie Verlegeart beachten.

So ergaben sich bei einem von Hand verlegten Dränversuch in wenig zersetztem Sphagnumtorf (Weißtorf) mit fünf verschiedenen Fabrikaten von Plastikrohren und Tonrohr bisher kaum Unterschiede im Abfluß; dabei wies eine Plastikrohrart Schlitzweiten von 0,6, 0,8 und 1,6 mm auf.

KOWALD: Es wurde eben das gewellte Rohr (Schönebecker oder Hegler) erwähnt. Von diesem Rohr sagte man, daß durch Wasserwirbel, die in diesem Rohr entstehen, eine Ablagerung von Schlamm verhindert wird. Wir haben jetzt einen alten Drän aufgedrückt und fanden, daß die Schlitze durch Tonteilchen verstopft waren. Eigentümlich war, daß die Rillen nicht mit Schlamm ausgefüllt

waren. Es lag lediglich eine Tonhaut über den Rillen und den Schlitzten, die von der Innenseite des Rohres gesehen auf den Wellenbergen liegen. Damit dürfte die Theorie, daß Wasserwirbel entstehen, die das Tonmaterial in Bewegung halten, unsicher geworden sein.

BAUMANN: Stellt es immer einen Nachteil dar, daß die Schlitzte zu sind? Können denn Schlitzte in einem aufgenommenen Dränrohr überhaupt offen sein?

KOWALD: Ja, es lag Filtermaterial um dieses Dränrohr. Der Ton wandert natürlich durch das Filter und hat sich dann an der Rohrwand festgesetzt; Wassereintritt ist an diesen Stellen nicht mehr möglich.

GRUBINGER: Dem Grundwasser-Hydrauliker und Brunnenbauer ist es selbstverständlich, daß man den strömungstechnisch günstigsten Übergang vom Grundwasserleiter zum Brunnenfilterrohr durch granulometrisch wohl-abgestimmte Stufenfilter erreichen kann.

Im Dränfeldversuch ist das System: Boden — Grabenfüllung — Filter — Eintrittsquerschnitt durch mannigfaltige unscharf erfaßbare Faktoren gekennzeichnet.

Wir wollen nun beginnen, dieses System hydraulisch genau definiert im Labor zu simulieren und in Variationen zu untersuchen. Es besteht kein Zweifel darüber, daß man über die Wasserbewegung in Drännähe wohl redet, aber sehr wenig weiß. So möchte ich vorläufig aus den Ergebnissen von Feldversuchen allein kein Urteil über die Eignung von Dränrohren und deren Schlitzung fällen.

Der Einfluß von Dränggraben, -filter und -rohr auf die Wasserführung

Von Dr. R. Kowald, Institut für Landeskultur der Universität Gießen

Es muß vorausgeschickt werden, daß die im folgenden beschriebenen Untersuchungen auf Marschböden durchgeführt wurden. Es handelt sich also um grundwasservernäßte Böden, deren Korngrößen unter 0,2 mm liegen.

Ein Drän hat die Aufgabe, bei hohen Niederschlägen, d. h. bei starker Durchfeuchtung des Bodens und hoch ansteigendem Grundwasser, vor allem innerhalb der Vegetationsperiode möglichst viel pflanzenschädliches Wasser pro Zeiteinheit abzuführen. Um dies zu erreichen, variiert man je nach den Bodenverhältnissen den Dränabstand und die Dräntiefe. Was bisher wesentlich weniger beachtet wurde, ist die Frage, ob der Drän das an der Dränggrabenwand aus dem gewachsenen Boden austretende Wasser in jedem Fall aufnehmen kann.

Verfolgt man den Weg des Wassers durch den gewachsenen Boden zum Drän, so erkennt man, daß sich die Strömungslinien zum Dränggraben hin verdichten (Abb. 1). Es besteht also die Gefahr, daß das andringende Wasser durch eine zu

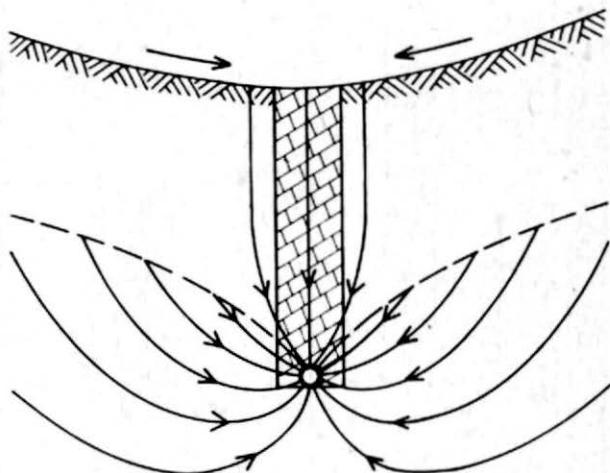


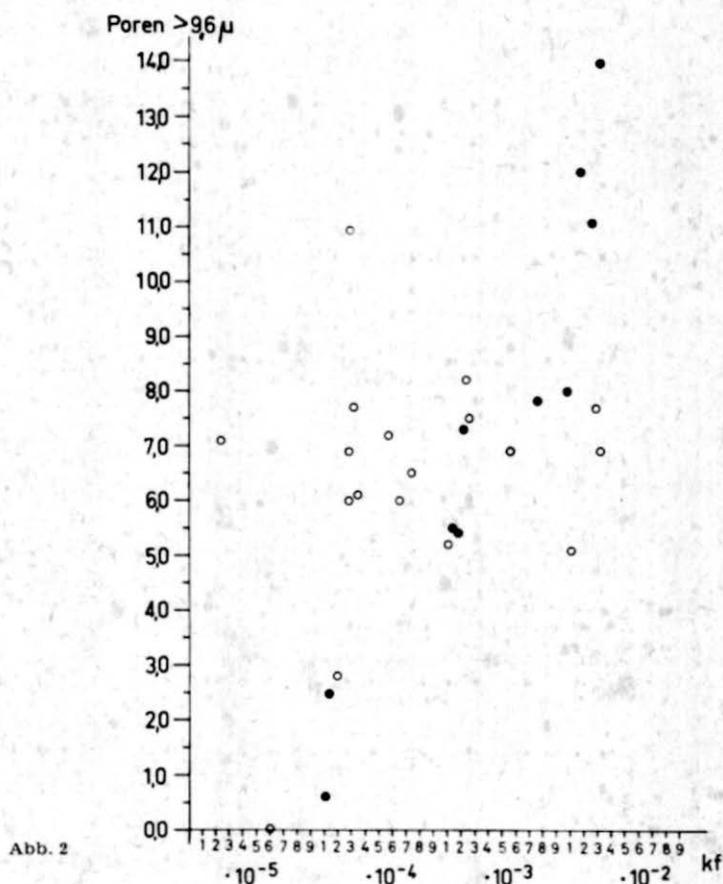
Abb. 1

geringe Durchlässigkeit der Grabeneinfüllerde oder des Filters, durch eine zu geringe Eintrittsöffnung der Dränrohre oder durch eine zu geringe lichte Weite der Dränrohre gestaut wird.

Im folgenden soll der Weg des Wassers vom ungestörten Boden durch die Grabeneinfüllerde, den Filter und die Stoßfuge bis ins Rohr verfolgt werden. In den Lehrbüchern ist meist die Meinung vertreten, daß die Grabeneinfüllerde über

Alter (Jahre)	Lenz			Herlyn I		Juitswarf		Herlyn II					
	ungest.	1	Drän 35	ungest.	Drän 8	ungest.	Drän 5	ungest.	6	Drän 16	26		
Tiefe	Wasserdurchlässigkeit												
12	cm/sec												
30	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$
45	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$					$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$
	Gesamtporenvolumen												
12	%												
30	39,0	45,0	41,9	43,2	43,0	42,6	45,9	49,1	47,3	42,9	39,5	40,7	40,2
45	48,4	44,8	45,2					53,9	52,7	48,6	42,5	42,8	41,2
	Poren $> 10 \mu$												
12	%												
30	5,4	5,2	6,0	7,3	6,1	11,1	7,5	0,6	0,0	8,0	5,1	6,9	6,9
45	5,5	7,2	7,1					2,5	2,8	12,2	7,7	6,9	6,5

Jahre oder sogar über Jahrzehnte lockerer und damit wasserdurchlässiger bleibt als der gewachsene Boden (1; 2). Es wurden an einer Reihe von Dränsystemen verschiedenen Alters Bodenproben aus dem Graben und dem gewachsenen Boden entnommen, und zwar gewöhnlich in 30 und 45 cm Tiefe. An diesen Proben wurde u. a. das Gesamtporenvolumen, die Porengrößen-Verteilung und die Wasserdurchlässigkeit ermittelt (Tab. S. 38). In der Tiefe von 30 cm war das Gesamtporenvolumen und die Wasserdurchlässigkeit außer in einem Fall im ungestörten Boden-



immer höher als im Drängraben. In der Tiefe von 45 cm war diese Tendenz nicht erkennbar. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei dem Anteil der groben Poren ($> 10 \mu$). Trägt man den Anteil der Poren größer als 10μ und die Wasserdurchlässigkeit in ein Koordinatensystem ein, so erkennt man eine Korrelation zwischen diesen Werten nur bei denen des ungestörten Bodens (Abb. 2). Im gestörten Boden, d. h. im Drängraben, besteht offensichtlich keine Korrelation zwischen dem Anteil der Poren größer als 10μ und der Wasserdurchlässigkeit.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß auf den untersuchten Flächen die Drängrabeneinfüllerde meist eine geringere Wasserdurchlässigkeit aufweist als der ungestörte Boden. In einigen Fällen war der k_f -Wert im Drängraben sogar um zwei Zehnerpotenzen niedriger als im gewachsenen Boden. Diese geringe Wasserdurchlässigkeit der Grabenerde gegenüber der des gewachsenen Bodens wird dazu führen, daß das aus der Grabenwand eindringende Wasser gestaut wird; zumal der durchflossene Querschnitt mit geringer werdender Entfernung vom Drän stark abnimmt. Um das zu verhindern, muß zwischen Grabenwand und Dränrohr ein Material gebracht werden, das eine genügend große Wasserdurchlässigkeit besitzt.

In sehr vielen Fällen wird der Drän mit einem sog. Filterstoff ummantelt oder abgedeckt. Dieses Material müßte neben der Filterwirkung gleichzeitig die Funktion der Wasserleitung übernehmen. Früher, als man noch den Drän mit einem Schüttstoff wie Schlacke, Torfmull, Splitt usw. ummantelte oder abdeckte, erfüllte dieses Material beide Aufgaben. Heute ist man aus arbeitswirtschaftlichen Gründen vielfach zu mattenförmigen Stoffen übergegangen. Das äußerste Glied dieser Reihe stellt das Glasfaser-Vlies dar. Dieses Material besitzt noch eine Filterwirkung, ist aber kaum noch in der Lage, die Funktion der Wasserleitung zu übernehmen, sondern hemmt sogar durch das oft beobachtete Zusetzen der Poren den Wasserstrom. Die mattenförmigen Filterstoffe sind dort angebracht, wo die Drängrabeneinfüllerde keine wesentlich geringere Wasserdurchlässigkeit aufweist als der gewachsene Boden. Da man aber bis heute im voraus kaum sagen kann, wie sich die Drängrabeneinfüllerde verhalten wird, besteht die Gefahr, daß sich zwischen der Grabenwand und dem Filter eine Bodenwand mit geringer Wasserdurchlässigkeit aufbaut und eine optimale Wirkung der Dränung verhindert. Aus diesem Grunde scheint es angebracht, ein Verfahren zu entwickeln, bei dem auf der Dränmaschine maschinell aus einem kleinen Volumen ein Filter hergestellt wird und mit diesem maschinell die gesamte Grabenbreite bis einige cm über dem Drän ausgefüllt wird. Zur Zeit laufen Versuche, in denen ein auf der Dränmaschine erzeugter Kunststoffschaum geprüft wird. Die ersten Versuche brachten recht gute Ergebnisse.

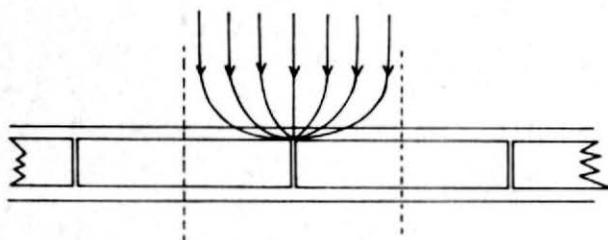


Abb. 3

Abb. 3 zeigt die Wasserströmung unmittelbar am Dränrohr, und zwar an einem Tondränrohr. Alle Strömungslinien streben auf die Stoßfuge zu.

Der durchflossene Querschnitt unmittelbar an der Stoßfuge ist auf ein Minimum zusammengeschrumpft. Da unmittelbar vor der Eintrittsöffnung gewöhnlich ein Filterstoff liegt, bedeutet das, daß wenn die Wasserströmung nicht

gehemmt werden soll, der Filterstoff eine sehr große Wasserdurchlässigkeit besitzen muß. Besitzt er sie aber, so dürfte seine Filterwirkung nur gering sein. Große Wasserdurchlässigkeit und große Filterwirkung schließen sich gewöhnlich gegenseitig aus. Aus diesem Grunde schien es angebracht, ein Rohr zu entwickeln, bei dem die Strömungslinien im Filter nicht auf engstem Raum zusammenlaufen. Ein Dränrohr zu perforieren dürfte nicht sinnvoll sein, da dadurch die Rauigkeit der Innenwandung stark zunimmt und damit die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr abnimmt, was wiederum zu einer stärkeren Ablagerung von Schlammteilchen im Rohr führt. Um das zu umgehen, wurde ein Rohr entwickelt, dessen

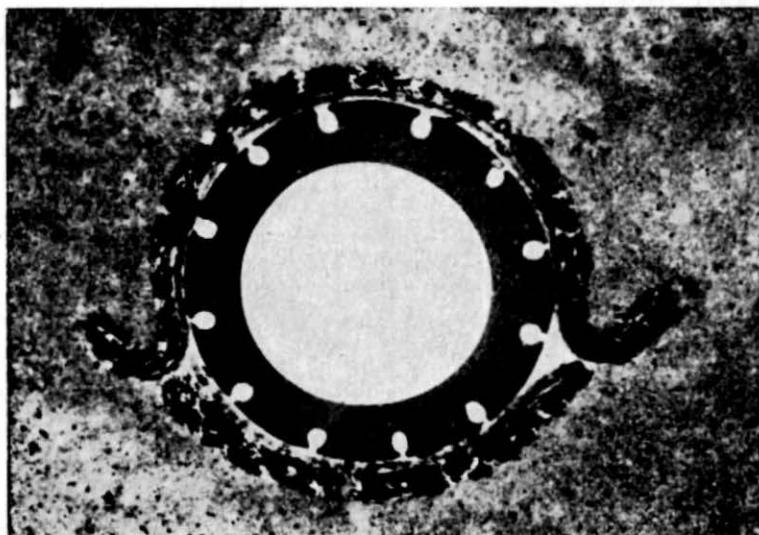


Abb. 4

Wandung Rillen aufweist (Abb. 4). Das Wasser kann nun an sehr vielen Punkten den Filter passieren und dann frei in der Rille zur Stoßfuge abfließen (Abb. 5).

Dieses Rohr zeigte sowohl im Dränkasten als auch in einer Reihe von Feldversuchen eine Wasserspende, die weit über der der üblichen Dränrohre lag.

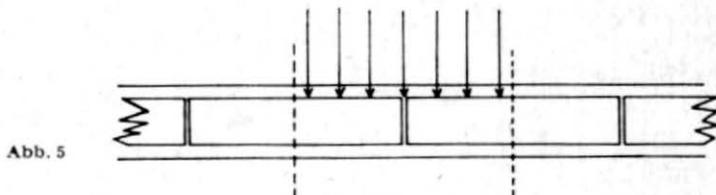


Abb. 5

Den letzten Engpaß, den das Wasser auf seinem Weg in den Drän überwinden muß, bildet die Eintrittsöffnung, bei Tondränrohren die Stoßfuge. Die DIN 1180 fordert möglichst enge Stoßfugen. Sie dürften zunächst ausreichen, um das eindringende Wasser aufzunehmen. Es konnte aber festgestellt werden, daß sich

Tondrännrohre, wenn sie nach ihrem Brand mit Feuchtigkeit in Berührung kommen, ausdehnen. Seit etwa 2 Jahren wird die Feuchtigkeitsausdehnung einiger Rohrfabrikate gemessen (3). Bis heute ist diese Ausdehnung noch nicht abgeschlossen (Abb. 6).

Es ist also denkbar, daß die Eintrittsöffnung durch die Feuchtigkeitsausdehnung selbst und durch eingeklemmte Bodenteilchen im Laufe der Jahre kleiner

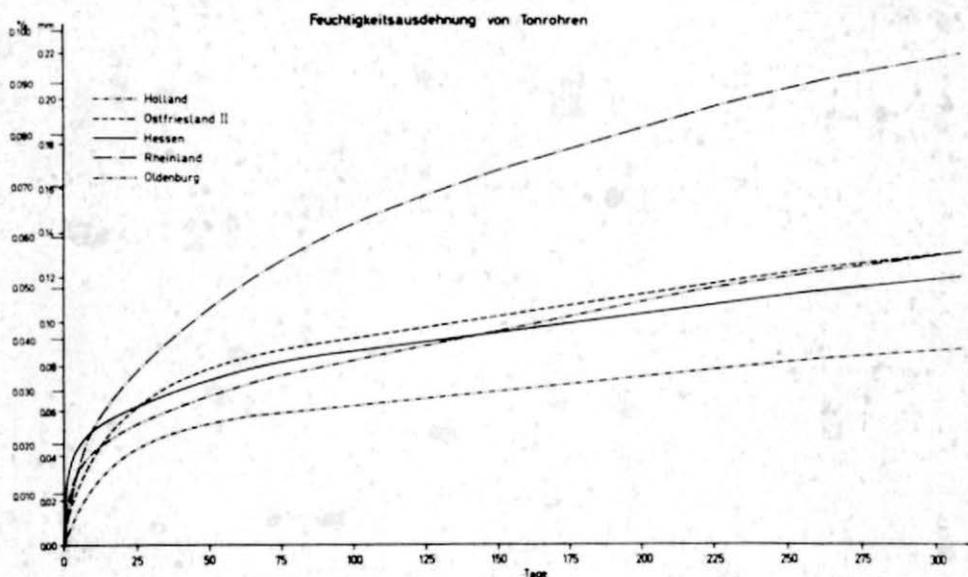


Abb. 6

wird. Zur Zeit wird versucht, den Einfluß der Feuchtigkeitsausdehnung auf die Stoßfugenweite und damit auf die Eintrittsöffnung der Rohre zu ermitteln. Außerdem soll die optimale Stoßfugenweite bez. der Wasserspende und Verschlammlung der Dräne ermittelt werden.

Durch die beschriebenen Versuche soll ein Drän gefunden werden, der eine optimale Abführung des pflanzenschädlichen Bodenwassers bewirkt, dessen Herstellung weitgehend mechanisiert ist und dessen Strömungsverhältnisse und Verschlammlung möglichst günstig sind.

Literatur

1. Fauser, O.: Kulturtechnische Bodenverbesserung S. 76. Walter de Gruyter-Verlag Berlin, 1947.
2. Schroeder, G.: Landwirtschaftlicher Wasserbau S. 267. Springer-Verlag Berlin, 1958.
3. Kowald, R.: Die Feuchtigkeitsausdehnung von Tondrännrohren. Ztschr. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 6. Jg., Hl. 1965, 36—43.

Die Verbesserung des Wasserhaushalts staunasser Böden durch systematische Rohrdränung oder tiefe Bodenlockerung

Von Dr. H. Schulte-Karring, Landeslehr- und Versuchsanstalt für Weinbau, Gartenbau und Landwirtschaft, Ahrweiler

Unter den meliorationsbedürftigen Böden sind die sogenannten Staunässeböden weit verbreitet. Im Gegensatz zu den durchlässigen Böden, die unterhalb des bearbeiteten Oberbodens genügend Hohlräume besitzen, um das Niederschlagswasser regenreicher Jahreszeiten speichern zu können, sind die Staunässeböden verdichtet. Die Folgen dieser ungünstigen Struktur, die meist mit einer ausgeprägten Pflugsohle beginnt und dann den Zugang zum Unterboden ganz verschließt, sind nicht nur gestaute Nässe, sondern auch Wassermangel, was bei den flachwurzelnden Kulturpflanzen leicht zu Nässe- und Trockenschäden führt.

Seit nunmehr über 100 Jahren bedient man sich der systematischen Rohrdränung, um das Zuviel an Wasser in der Krume, die Staunässe, zu beseitigen und um damit die Wachstumsbedingungen der Kulturpflanzen zu verbessern.

Die Wirkung dieser Melioration sei sehr vielseitig, so glaubt man allgemein. Die zuvor verstopften und nunmehr vom Wasser befreiten Poren würden der besseren Sauerstoffversorgung dienen, Wurzelwachstum und Bodenleben könnten tiefere Zonen erschließen, und die besseren Feuchtigkeits- und Durchlüftungsverhältnisse würden im Frühjahr zu einer schnelleren Abtrocknung und Er-

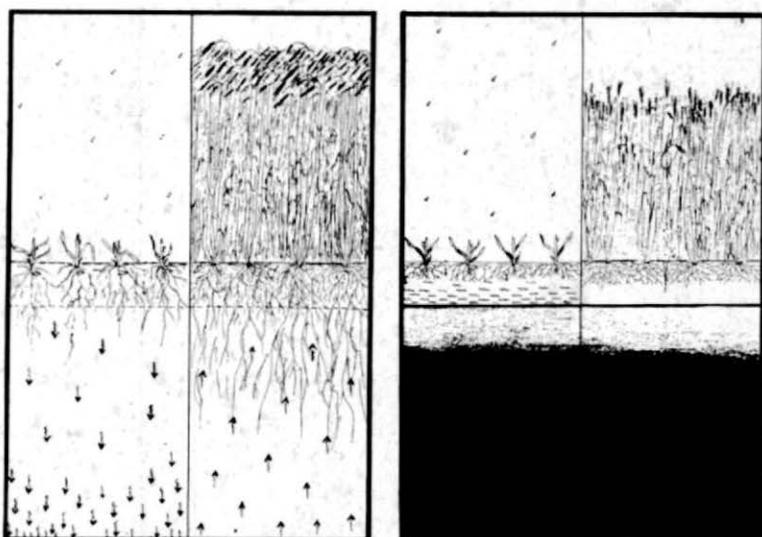


Abb. 1:
Das Pflanzen-
und Wurzel-
wachstum bei
einem durchlässi-
gen und bei
einem dicht-
lagernden Boden



Abb. 2:
Besseres Pflanzenwachstum
über den Drängräben



Abb. 3:
Besseres Pflanzenwachstum
über den Drängräben

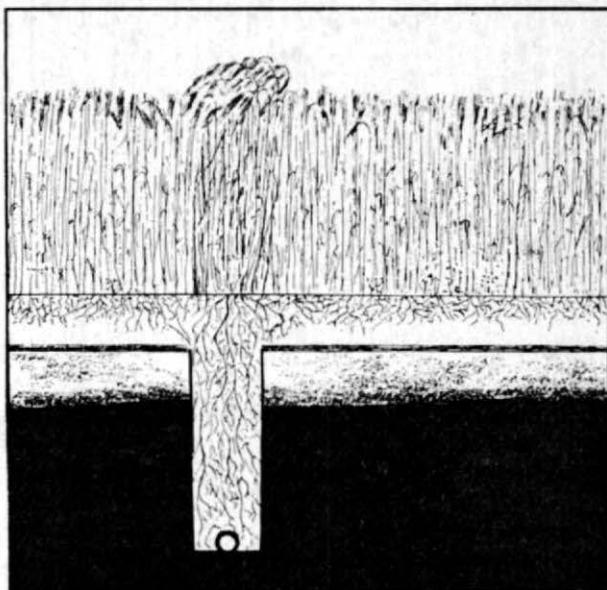


Abb. 4:
Besseres Pflanzenwachstum
über den Drängräben

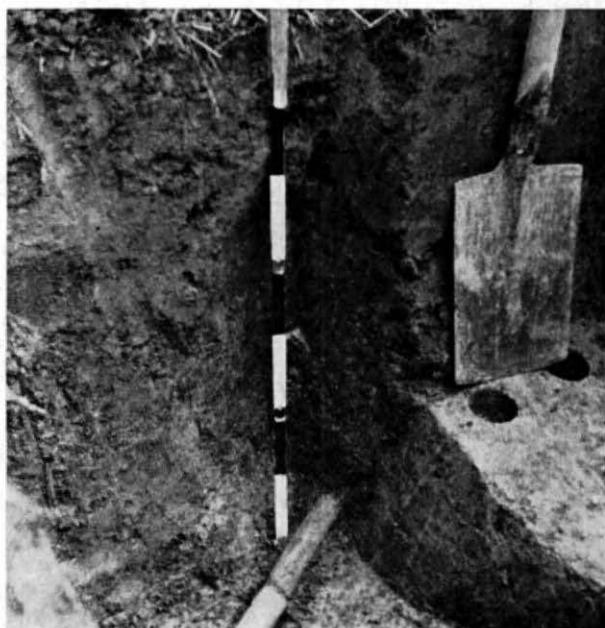


Abb. 5:
Dichtlagernder Unterboden
eines vor etwa 70—80 Jahren
gedrängten Löß-Graulehm-
Pseudogleys

wärmung des Bodens führen; kurz, die Rohrdränung sei ein Allheilmittel, so behauptet man.

Wie aber wirkt sich das Meliorationsverfahren in den Staunässeböden tatsächlich aus?

Beobachtet man den Stand der Pflanzen auf den gedrähten Staunässeböden, dann kann man vor allem in extrem nassen, aber auch in trockenen Jahren ein üppiges Pflanzenwachstum auf den Drängärten feststellen. Der Grund des besseren Wachstums sind zweifellos die günstigeren Feuchtigkeitsverhältnisse und die intensive und tiefe Durchwurzelung des bis zur Grabensohle aufgelockerten Bodens. Neben den Gräben jedoch besteht die Verdichtung, die Ursache der Schäden, nach wie vor. Der Boden bleibt schlecht durchlüftet, das Wurzelwachstum unverändert flach, und das Speicherungsvermögen ist durch die Rohrdränung keinesfalls verbessert worden.

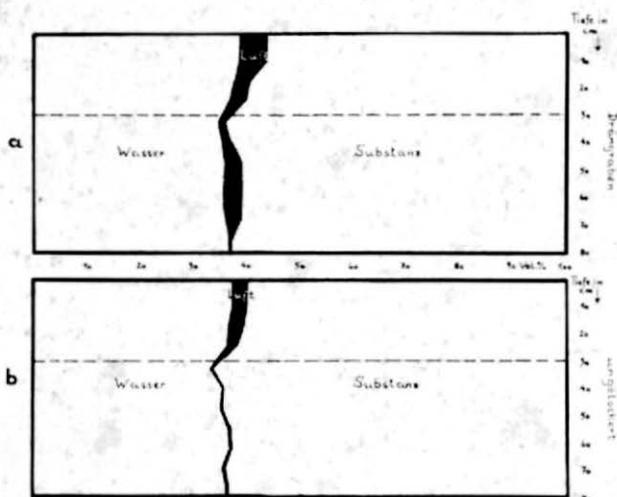


Abb. 6:
Das Porenvolumen
a) des etwa 70–80 Jahre alten
Drängrabens und
b) des Bodens in unmittelbarer
Nähe des Grabens

Der Gedanke, den gestörten Wasserhaushalt mit einer anderen Maßnahme, und zwar mit einer ganzflächigen Auflockerung des Untergrundes wirksamer verbessern zu können, veranlaßte uns Versuche anzulegen, deren Beginn auf das Jahr 1954 zurückgeht. Die Auswertung dieser Untergrundlockerungsversuche führte dann zu der Anlage von Lockerungs- und Tiefendüngungsversuchen, zu kombinierten Drän-, Lockerungs-, Tiefendüngungs- und schließlich zu Lockerungs-, Tiefendüngungs- und Kalkmeliorationsversuchen. Um das Verfahren der Untergrundlockerung und Tiefendüngung eventuell großflächig einzusetzen, mußte es vorerst eingehend geprüft werden. Die nunmehr 10 Jahre lang andauernden Untersuchungen erstreckten sich auf eine Vielzahl von Ertragsermittlungen, Porenvolumen-¹⁾ und Dränwassermessungen, Feuchtigkeitsbestimmungen, Wurzelgrabungen, auf die Feststellung der Mikroorganismenzahl und ihre Tätigkeit¹⁾ und auf mikromorphologische Untersuchungen¹⁾.

¹⁾ ausgeführt vom Institut für Bodenkunde der Universität Bonn, Direktor Professor Dr. Dr. E. Mückenhausen.

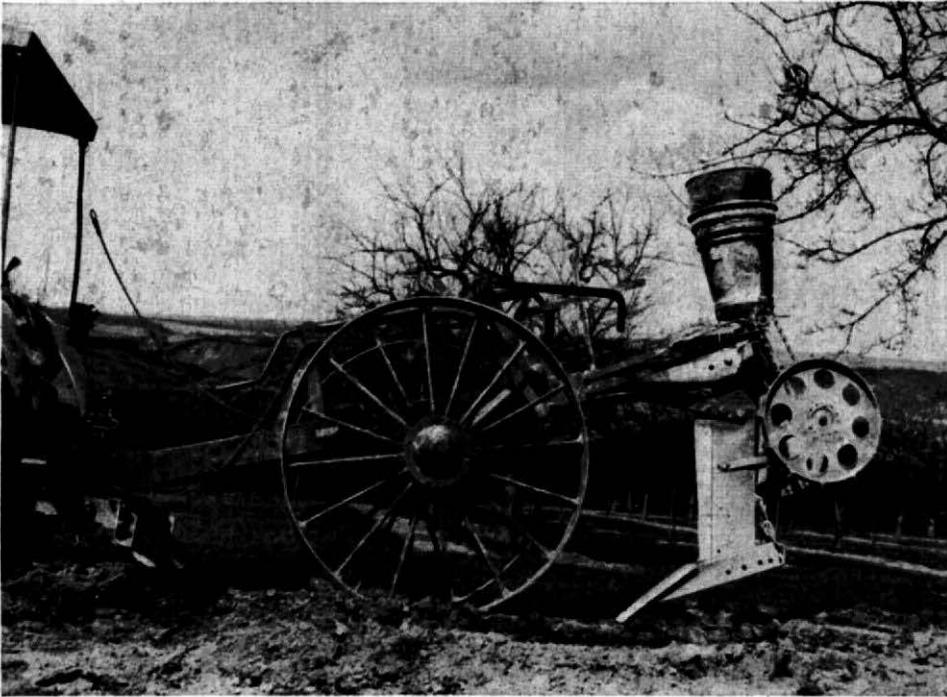


Abb. 7: Das in den Ahrweiler Versuchen eingesetzte Untergrundlockerungsgerät mit einer selbstgebauten Tiefdüngungsanlage

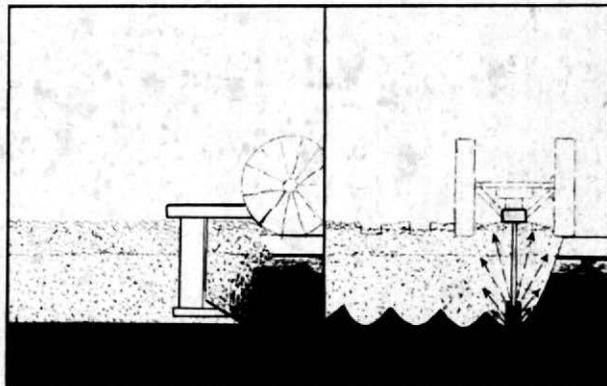


Abb. 8:
Der gelockerte Boden
(Lockerungsfurchen in Längs-
und Querschnitt)

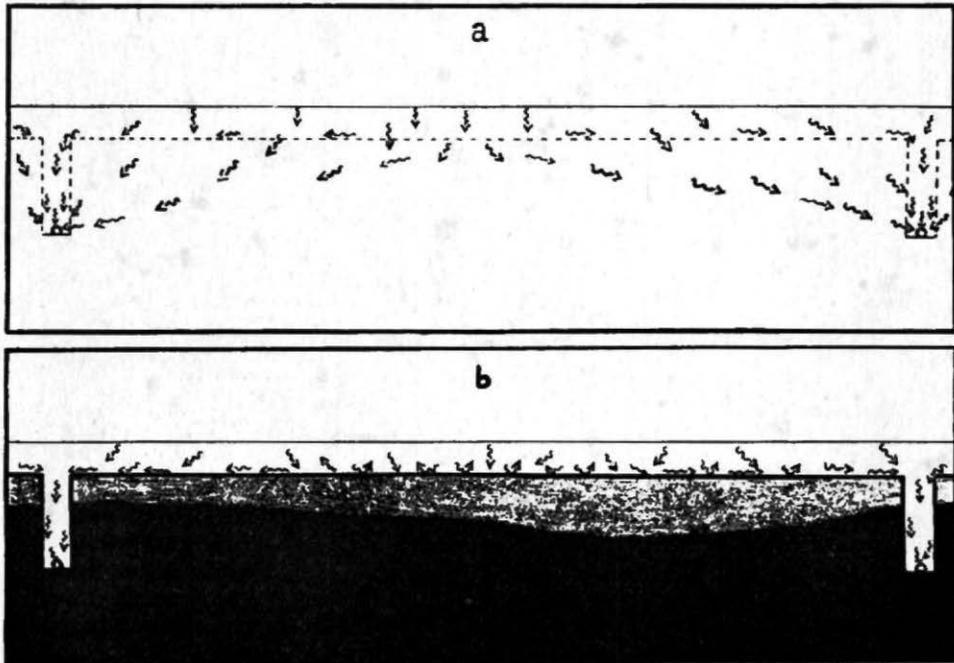


Abb. 9: Rohrdränung und Wasserbewegung
 a) in durchlässigen und b) in dichtlagernden Stau-
 nässeböden (vgl. auch Abb. 9c, d, e)



Abb. 9c:
 Rohrdränung und
 Wasserbewegung in
 dichtlagernden Stau-
 nässeböden

Abb. 9d:
Rohrdränung und
Wasserbewegung in
dichtlagernden Stau-
nässeböden

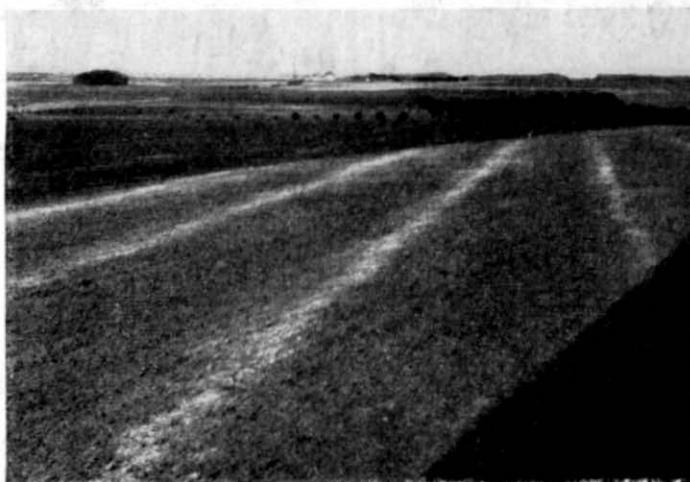


Abb. 9e:
Rohrdränung und
Wasserbewegung in
dichtlagernden Stau-
nässeböden



Im Rahmen dieses Kurzreferates sollen dem Thema der Tagung entsprechend nur Fragen des Wasserhaushaltes behandelt werden.

Überall da, wo der Unterboden gründlich und tief aufgelockert worden ist, zeigen sich in jedem Frühjahr merkliche Feuchtigkeitsunterschiede, und zwar sowohl über den Dränggräben als auch über den Lockerungsfurchen.

Eine Reihe von Aufnahmen, die während der vergangenen Jahre von einer im Jahre 1961 gedränten und einer danebenliegenden ebenfalls im Jahre 1961 gedränten und im Jahre 1963 zusätzlich gelockerten Parzelle gemacht worden sind, möge die zuvor beschriebene Wirkung beider Meliorationsmethoden noch einmal vor Augen führen.



Abb. 10a:
Lockerung und
Wasserhaushalt:
Ungelockertes
Teilstück eines
Versuches
zwischen
gelockerten Teil-
stücken
(Frühjahr 1964)

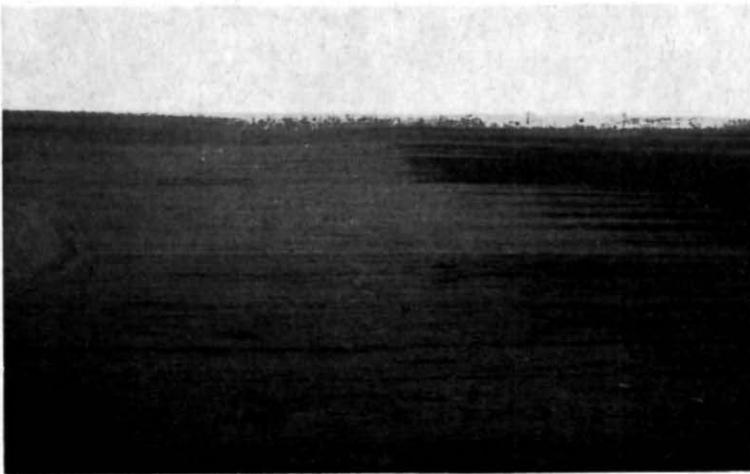


Abb. 10b:
Lockerung und
Wasserhaushalt:
Auslaufende
Lockerungs-
furchen, ein-
gezogen in eine
ungelockerte
Parzelle
(Frühjahr 1964)

Daß die Leistung bereits vorhandener Dräns durch die Untergrundlockerung erheblich verbessert wird, haben die Ergebnisse der Dränwassermessungen der während der Jahre 1961 und 1962 angelegten und seither kontrollierten Dränversuche gezeigt. Die bei der Auswertung dieser Versuche ermittelten Ergebnisse und die aus den Ergebnissen gezogenen Folgerungen sind so umfangreich, daß sie bei anderer Gelegenheit behandelt werden sollen. Hier sollen nur die Ertrags-ergebnisse des einen ackerbaulich genutzten Dränversuches über den Erfolg der einzelnen Meliorationsmethoden aussagen. (Tabelle 1)

Tabelle 1:

**Untergrundlockerungs-, Tiefendüngungs- und Dränversuch „Krupp-Mönchesch 1961“
Die Ertragsergebnisse von drei Untersuchungsjahren**

	ungelockert	gedrünt	gedrünt gelockert	gedrünt gelockert tiefgedüngt
1962 Weideumbruch	—	—	—	—
1963 Hafer	100	102	102	131(+)
1964 Winterweizen	100	102(+)	101	117(+)
1965 Wintergerste	100	104	114	131(+++)



Abb. 11:
Lockerung und
Pflanzenwachstum: Besseres
Pflanzenwachstum über den
Lockerungsfurchen

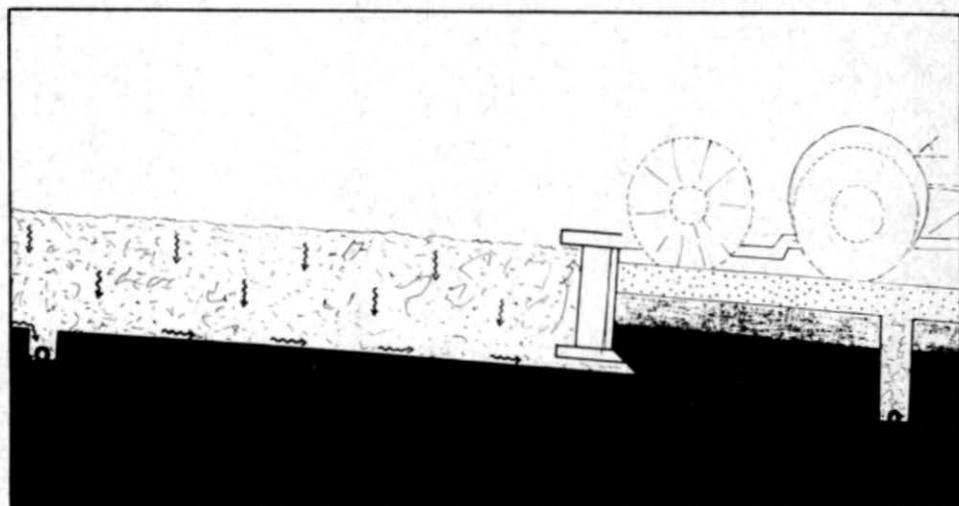


Abb. 12a: Die tiefe Auflockerung erhöht die Dränleistung bereits bestehender Rohrdränungen



Abb. 12b:
Das Profil eines gelockerten und
nunmehr durchlässigen
Pseudogleys



Abb. 12c:
Eine im Jahre 1961
systematisch gedränte
Fläche (Graulehm—
Löß—Pseudogley),
deren linke Parzelle
im Herbst 1963 gelockert
und tiefgedüngt wurde.
Links: gelockert und
tiefgedüngt; rechts:
nur gedränt

Abb. 12d:
Gelockerte Parzelle
durch gleichmäßiges
und zeitigeres
Abtrocknen früher
bearbeitbar



Abb. 12e:
Gelockerte Parzelle
jetzt „zuckerrüben-
fähig“



Die Ertragsunterschiede zeigten sich nicht nur bei diesem, sondern auch bei den anderen Versuchen und großflächig durchgeführten Untergrundlockerungen vielfach bereits an dem Wuchs der jungen Pflanzen. Die Tatsache, daß sich die Drängräben auch in den Getreidebeständen der gelockerten Teilstücke abzeichneten, deutete auf den Wert besonders tief vorgenommener Auflockerungen hin.

Zum Schluß dieser Ausführungen soll ein Fazit aus den seit 10 Jahren ermittelten Untersuchungsergebnissen gezogen und eine zusammenfassende Antwort auf die im Thema dieses Kurzreferates enthaltene Frage gegeben werden.

Nicht nur Nässe, sondern auch Wassermangel sind die Gründe für die Ertragsunsicherheit der meliorationsbedürftigen Staunässeböden.

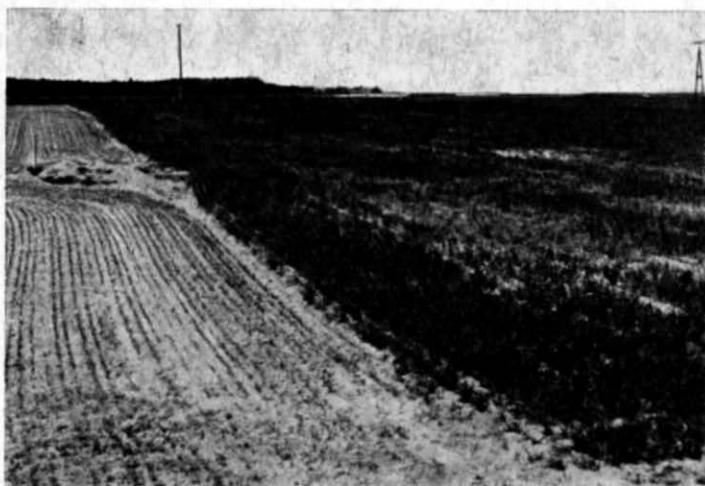


Abb. 12f:
Auswinterungsschäden
zwischen den Drän-
gräben der nur
gedrängten Parzelle

Eine wirksame Abhilfe für diese Mängel kann nur mit einer Maßnahme erzielt werden, die das Wasserspeichungsvermögen des Unterbodens verbessert.

Die systematische Rohrdränung

kommt der Forderung nach einer Erhöhung der Wasserspeicherung so gut wie überhaupt nicht nach. Die Ertragsunsicherheit der Staunässeböden kann mit der Beseitigung des Stauwassers bestenfalls nur teilweise behoben werden. Die Funktion der Rohrdränung hört zudem mit zunehmender Verdichtung des Bodens, also mit dem Anstieg der Schädigung, mehr und mehr auf. In den dringendsten Fällen bleibt der Meliorationserfolg ganz aus.

Die Untergrundlockerung

dagegen, richtig durchgeführt, d. h. gründlich und zusammen mit einer ausreichenden Tiefendüngung, vielfach auch mit einer notwendig werdenden Bedarfdränung beseitigt die Ursache der Schäden, die Verdichtung, und verbessert durch die grundlegende Veränderung der Struktur das Wasserspeichungsvermögen nachhaltig und in erheblichem Maße. Die physikalischen Veränderungen führen zudem zu einer schlagartigen Verbesserung der Wachstumsbedingungen.

Die positiven Untersuchungsergebnisse und die guten Erfolge, die wir mit der seit einigen Jahren großflächig durchgeführten Untergrundlockerung und Tiefendüngung erzielt haben, veranlassen uns, dieses für die Staunässeböden so wirksame Meliorationsverfahren zur allgemeinen Anwendung dringend zu empfehlen.

Die Wirkung von Untergrundlockerung und Maulwurfdränung auf den Wasserhaushalt verdichteter Böden

Von Dr. R. Meimberg,

Institut für Landeskultur der Universität Gießen

Vom Landeskulturamt Hessen in Wiesbaden werden seit etwa 8 Jahren Untergrundlockerungen auf 70—80 cm Tiefe, im Abstand von 80 cm, verbunden mit einer Untergrundkalkung, vorgenommen. Auf Bemerkungen zur Technik der Durchführung soll hier verzichtet werden (1). Seit zwei Jahren wird die Wirkung dieser Maßnahmen am Institut für Landeskultur der Universität Gießen im Rahmen eines Forschungsauftrages untersucht (3). Hierzu sollen einige vorläufige Ergebnisse mitgeteilt werden. Dabei sind weniger absolute Werte zu diskutieren, als gewisse Tendenzen aufzuweisen.

Abb. 1 zeigt das Profil eines Pseudogleyes (Gemarkung Lanzenhain) im Vogelsberg. Der Standort wurde im Jahr 1961 durch Untergrundlockerung melioriert. Das Ausgangsgestein ist ein umgelagerter, von Basalt überrollter Löß über



Abb. 1 Nullprofil (Pseudogley)

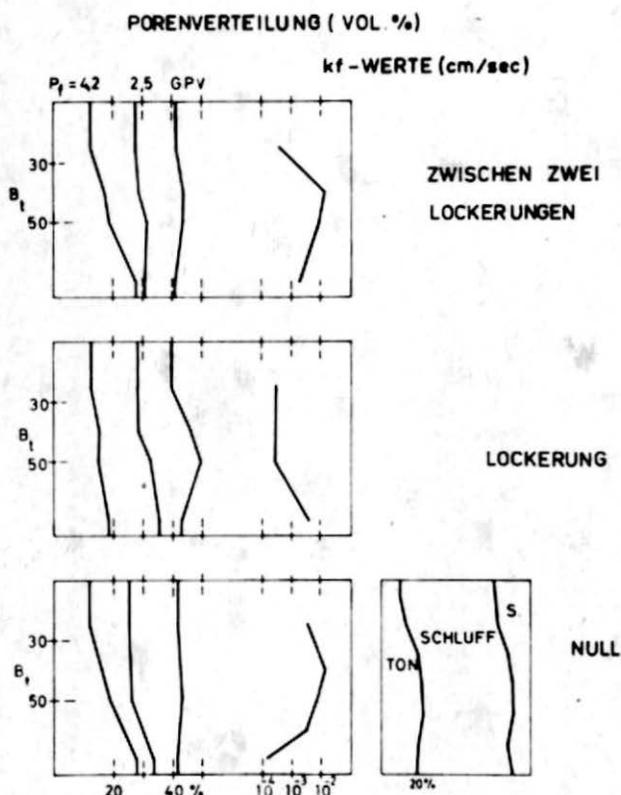


Abb. 2 Lockerungszone (4 Jahre alt) (Pseudogley)

Basalt. Der Tongehalt liegt bei 10—20—25% (A—S_w—S_d-Horizont), der Gesamtschluffgehalt bei 75—60%; der Steingehalt ist sehr hoch. Abb. 2 stellt das meliorierte Profil dar. Noch 4 Jahre nach Durchführung der Melioration ist die Lockerungszone gut zu erkennen.

Die Porenverteilung und Durchlässigkeitswerte für Null (nicht melioriert), Lockerung und den Bereich zwischen zwei Lockerungen gibt Darst. 1 wieder. Die Lockerungszone hebt sich deutlich durch einen höheren Anteil grober Poren (>10 μ) vom nicht meliorierten Profil ab, bedingt durch ein höheres Gesamtporenvolumen. Der Anteil der mittleren Poren (0,2—10 μ) entspricht im S_w-Horizont dem des nicht meliorierten Profils, während er im S_d-Horizont in 60 cm Tiefe, im Zentrum der Lockerung, um etwa 7% höher liegt. Der Bereich zwischen zwei Lockerungen ist ungünstiger zu beurteilen als das nicht meliorierte Profil, denn der Anteil grober Poren ist gleich, während der Anteil mittlerer Poren etwas geringer ist.

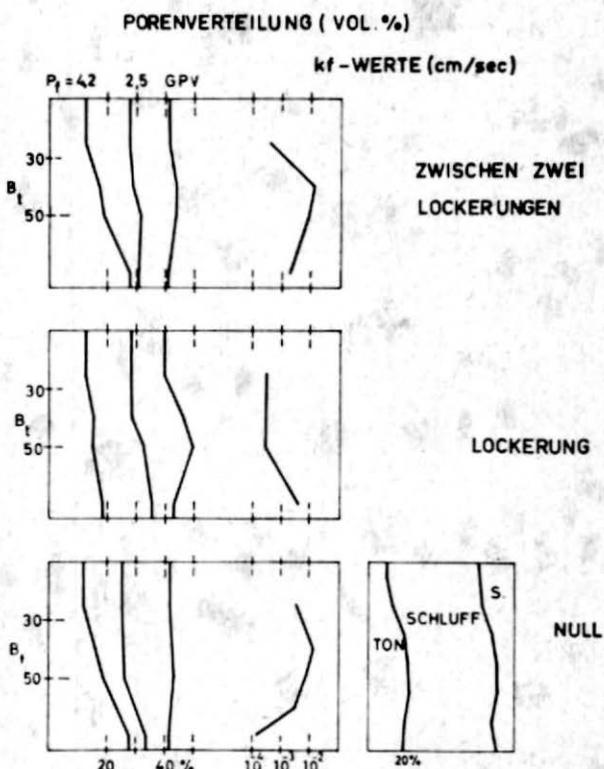
Die Durchlässigkeitswerte können nicht eingehend interpretiert werden, da sie wegen zu geringer Zahl an Parallelen und zu großer Streuung, bedingt durch den hohen Steingehalt des Bodens, nicht genügend fundiert sind. Die Durch-



Darst. 1:
Porengrößenverteilung und Durchlässigkeit eines tiefgelockerten Pseudogleys (Lanzenhain) vier Jahre nach der Melioration

lässigkeit in der Lockerungszone scheint gleich geblieben zu sein, trotz des höheren Anteils grober Poren.

Darst. 2 zeigt die Porenverteilung und Durchlässigkeitswerte einer Parabraunerde auf Löß (Gemarkung Langenselbold) mit einem B_t -Horizont ab 30 cm Tiefe. Der Tongehalt liegt bei 15–28%, der Schluffgehalt im ganzen Profil bei etwa 60%. Der Boden ist völlig steinfrei; die Breite des Lockerungsbereiches fiel daher relativ schmal aus. Der Standort wurde im Herbst 1964 melioriert. Die Ergebnisse stammen vom Herbst 1965. Der Anteil grober Poren ist im gelockerten Bereich

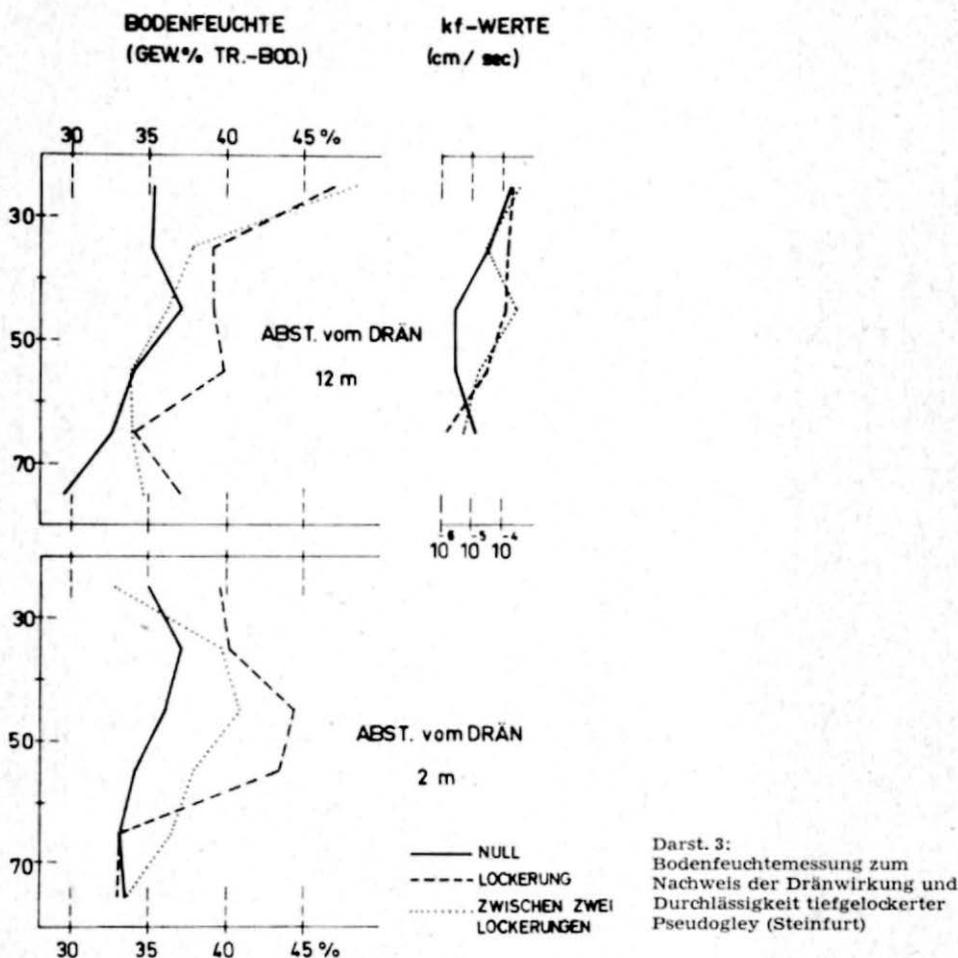


Darst. 2:
Porengrößenverteilung und Durchlässigkeit einer tiefgelockerten Parabraunerde (Langenselbold) ein Jahr nach der Melioration

des B_t -Horizontes gleich dem Nullprofil, während er im oberen Teil des B_t kleiner ist. Das dürfte auf eine starke Einwaschung von sehr schluffhaltigem Krumenmaterial zurückzuführen sein. Dagegen haben die mittleren Poren um etwa 8% zugenommen, auf Grund einer Erhöhung der Feldkapazität bei $pF = 2,54$ und einer Erniedrigung des Welkepunktes in Abhängigkeit von der Dichte des Bodens. In dem Bereich zwischen zwei Lockerungen ist der Anteil grober Poren zugunsten der mittleren Poren im Vergleich zu Null etwas zurückgegangen. Die k_f -Werte sind im Lockerungsbereich kleiner — d. h. die Durchlässigkeit ist geringer — als im nicht meliorierten Boden und im Profil zwischen zwei Lockerungen. Sie

liegen mit 10^{-2} bis 10^{-4} cm/sec zwar noch im Bereich der mittleren Durchlässigkeit, haben jedoch gegenüber Null um mindestens eine Zehnerpotenz abgenommen. Direkt im Gang bei 70 cm Tiefe liegt der Wert allerdings höher. Dieses Ergebnis wird bestätigt durch Messungen der Luftdurchlässigkeit im Feld. Die Meßwerte lagen im Lockerungsbereich ungünstiger, was nicht auf einen höheren Wassergehalt in dieser Zone zurückgeführt werden konnte, sondern durch mangelhafte Struktur bedingt ist. Die Erklärung ist in den hohen Niederschlägen im Jahr nach der Melioration zu finden, die für einen Strukturaufbau sehr ungünstig waren; die weitere Entwicklung muß abgewartet werden.

Obwohl die bodenphysikalischen Ergebnisse nicht unbedingt positiv zu beurteilen sind, brachte die Ertragsmessung auf der Lockerung einen gesicherten Mehrertrag gegenüber nicht melioriert von 45 dz/ha (= 11,5%) Zuckerrüben und



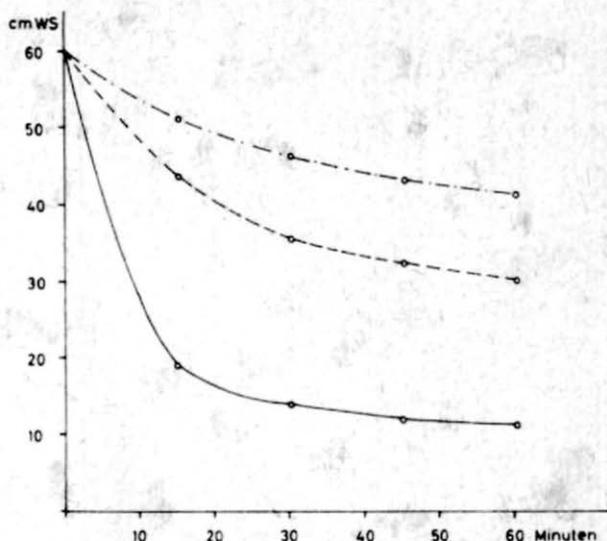
der Verlauf der Feuchte des nicht meliorierten Bodens nicht auf eine Dränwirkung hin, da der Wassergehalt bei beiden Entnahmestellen mit geringen Abweichungen gleich ist; nur in der Tiefe von 70—80 cm ist er am Drän höher. Dagegen ist in der Lockerung eine Dränwirkung zu erkennen, denn am Drän ist ein Anstieg der Bodenfeuchte gegenüber der Dränmitte vorhanden, sowohl für die Lockerungszone als auch für den Bereich zwischen zwei Lockerungen. Es muß allerdings erwähnt werden, daß die Zahl der Parallelen der Bodenfeuchtemessung in diesem Beispiel mit 3 recht gering ist. Jedoch wurde auf anderen Standorten mit Untergrundmelioration, die nicht gedränt waren, vorwiegend die gleiche Zuordnung der 3 Kurven zueinander gefunden wie am Drän, während ein Bild entsprechend dem der Dränmitte dann vorlag, wenn längere Zeit keine Niederschläge gefallen waren. Durch die Dränung war eine Entwässerung gewährleistet und die Lockerung konnte wirksam bleiben, was sich in den k_f -Werten niederschlägt. Sie liegen in der Lockerungszone und im Bereich zwischen zwei Lockerungen um eine bis eineinhalb Zehnerpotenzen höher als im nicht meliorierten Profil.

Das Institut für Landeskultur führt seit 4 Jahren Untersuchungen über Maulwurfdränung durch. Die Ergebnisse wurden in einer Dissertation von MERTIN (2) veröffentlicht. Hier sollen einige charakteristische Bemerkungen gemacht werden. Auf einem schwach podsoligen Pseudogley auf Löß über Basaltverwitterung im Vogelsberg (Gemarkung Oberseibertensrod) wurden 1962 Maulwurfdräne im Abstand von 2 m auf 50 cm Tiefe gezogen. Aus Darstellung 4 sind die Messungen der groben Poren und der Durchlässigkeit über einen Zeitraum von 3 Jahren zu ersehen, und zwar für eine Tiefe von 40 cm. Die Werte des Nullprofils sind gleich 100 bzw. gleich 1 zu setzen. Der Gehalt an groben Poren in der Lockerungszone liegt zu allen Zeiten um etwa 40 bis 100% höher als im nicht meliorierten Boden. Dies geschah sowohl durch eine Erhöhung des Gesamtporenvolumens als auch durch Erniedrigung der mittleren Poren. Die gleiche Tendenz zeigen die Durchlässigkeitswerte. Im Frühjahr 1965 war die Durchlässigkeit in der Lockerung etwa 90mal so groß wie im Nullprofil. Diese Verbesserungen sind nur auf eine relativ kleine Lockerungszone beschränkt, denn schon 50 cm daneben haben sich ab Frühjahr 1964 die groben Poren um etwa 10—30% verringert, desgleichen ist die Durchlässigkeit geringer geworden. In der Lockerungszone herrschen also für eine Wasserbewegung günstigere Bedingungen. Dies wird bestätigt durch einen Versickerungsversuch im Herbst 1965, Darst. 5. In der Lockerzone war von einer 60 cm hohen Wassersäule nach 20 Min. schon $\frac{3}{4}$ versickert, während im nicht meliorierten Boden von der gleichen Wassersäule nach 60 Min. erst $\frac{1}{4}$ versickert war. Auch zwischen Maulwurfdränen ist die Versickerungsgeschwindigkeit etwas günstiger als im nicht meliorierten Boden.

Der Maulwurfdränung liegt mehr der Gedanke der Entwässerung zugrunde. Noch nach drei Jahren lassen sich die Gänge als lockere Zonen nachweisen, jedoch reichen die Verbesserungen der charakteristischen Werte nicht mehr zu einer befriedigenden Entwässerung aus, so daß die Erddräne nach einer gewissen Zeit erneuert werden müssen. Der Grundgedanke der Untergrundmelioration ist der, das Niederschlagswasser voll zu speichern und der Pflanze möglichst das ganze Jahr über nutzbar zu machen. Dies ist bei durchschnittlichen

Darst. 5:
Versickerungsmessung in einem
maulwurfgedrännten, schwach
podsoligen Pseudogley (Ober-
seitbertenrod) drei Jahre nach
der Melioration

— Lockerungszone
- - - - - zwischen zwei Erd-
dränen
- . - . - Nullparzelle



Niederschlägen von etwa 600—700 mm und einer günstigen Regenverteilung auch durchaus der Fall. Bei höheren Niederschlägen (700—900 mm) — in den genannten Beispielen betragen sie im vorigen Jahr zum Teil über 1000 mm — übersteigt jedoch das Angebot das Speicherungsvermögen der Lockerung, was für den Aufbau einer Struktur auf den genannten Böden ungünstig ist. Auch eine Vergrößerung der Lockerungstiefe kann dies nicht verhindern, da dadurch die Bedingungen für eine Verschlammung nicht beseitigt werden. Die Wirkung einer Untergrundmelioration — desgleichen einer Maulwurfdränung — kommt in diesen Gebieten erst dann zum Tragen, wenn sie durch eine für die jeweiligen Verhältnisse zweckmäßige Bedarfsdränung unterstützt, bzw. überhaupt erst gewährleistet wird.

Literatur

1. Steinmetz, H. J.: Ein Beitrag zum Problem der Bodenmelioration in Hessen. Zeitschr. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung 6, 1965.
2. Mertin, W.: Bodenverbesserung durch Maulwurfdränung im Vogelsberg. Diss. Gießen 1966.
3. Meimberg, R.: Die Auswirkung von Meliorationsmaßnahmen, insbesondere der Tieflockerung, auf bodenphysikalische Kennwerte staunasser Böden. Diss. Gießen 1967.

Beobachtungen der Dränwirkung und Maßnahmen zur Wassererhaltung in der Praxis

Von Dipl.-Landw. H. Merbitz, Landwirtschaftskammer Rheinland, Bonn

I. Dränwirkung

Die Mechanisierung der Landwirtschaft und Gareschwund vieler Böden verursachen zunehmend Störungen des Wasserhaushaltes im Boden. Der Wechsel zwischen Vernässung und Austrocknung verstärkt sich deshalb auch auf wertvolleren, durchlässigen Böden. Das führt zu verbreiteter Entwässerung und Beregnung; beide wären bei besserer Bodenpflege oft nicht notwendig. Auch früher bessere Dränwirkung verringert sich unter dem Einfluß der Strukturverschlechterung. Diese Verschlechterungen waren 1952 Anlaß, mit Unterstützung des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten im Lande Nordrhein-Westfalen Tiefenlockerungsgeräte einzusetzen.

Die seit diesem Jahr begonnenen Lockerungsarbeiten auch mit Tiefendüngung setzten die 1929 eingeleiteten gemeinsamen Versuchsarbeiten mit W. VON NITZSCH fort, die bereits damals wie jetzt gute Erfolge brachten. Alle diese Arbeiten bestätigten nur die günstigen Erfahrungen mit der Tieflockerung, die seit 1677 in England durch WORLIDGE, 1846 durch SPRENGEL und 1856 durch PROTZ in Verbindung mit Dränung bekannt wurden.

Die Landwirtschaftskammer Rheinland erreichte durch die neuen, aber seit Jahrhunderten bekannten Lockerungserfolge eine starke Verbreitung von mehr als 300 Tieflockerungsgeräten, die stetig in einzelnen Betrieben wie in Wasser- und Bodenverbänden zunehmen.

Die Lockerung verbesserte die Dränwirkung. Sie ersparte in einem Betrieb mit vorwiegend Lößlehm — dichte Parabraunerde und Pseudogley — Kosten für die geplante Dränung in Höhe von 130 000 DM. Nachdem auf benachbarten, ähnlichen Böden die Dräns wenig wirkten und versagten, wurde versucht, zunächst durch Lockerung den Wasserhaushalt für nasse und trockene Jahre zu verbessern, um evtl. später nur eine Bedarfsdränung durchzuführen, die sich jedoch erübrigte. Dieser Weg, erst zu lockern und später nur eine Bedarfsdränung durchzuführen, dürfte für viele Betriebe zur Verringerung des Entwässerungsaufwandes angebracht sein.

Die Praxis kann nicht auf neue Bestätigung weiterer Ergebnisse einzelner Lockerungsversuche warten. Die in verschiedenen Betrieben des Rheinlandes eingesetzten Geräte veranlaßten den Kauf derartiger Geräte. Die Lockerungserfolge führten zur Ausbreitung dieses Verfahrens. Landwirte lassen sich leicht überzeugen, wenn sie Erfolge und Mißerfolge von Arbeitsgängen in benachbarten Betrieben erkennen. Ergebnisse einiger Versuche unter unbekanntem Verhältnissen können sie nicht gut auf den eigenen Betrieb übertragen.

Das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Düsseldorf förderte die Ausbreitung der Lockerung durch Beihilfen. Die Frage, wie lange

eine einmalige Lockerung durch eine sehr teure Arbeit mit einem schweren Gerät durch einen Unternehmer wirksam bleibt, spielt für die Betriebe mit eigenen oder gemeinschaftlichen Geräten keine Rolle. Die selbst durchgeführte billige Lockerung mit eigenen Schleppern oder bei gemeinschaftlicher Arbeit mit Nachbarbetrieben gehört wie der Zweischichtenpflug zu einer Bodenbearbeitung, die nach drei oder vier Jahren wiederholt wird.

Die Dränanweisungen (DIN 1185 und DIN 4220) sollen Richtlinien für die Dränung sein. Sie empfehlen die Feststellung der Vernässungsursachen, Vergleiche der Wirkung von Dränungen auf ähnlichen, benachbarten Böden und Berücksichtigung von Erfahrungen der Landwirte mit deren Böden. Das geschieht in der Praxis nicht oder nur selten. Die vorgeschlagenen chemischen und physikalischen Bodenuntersuchungen unterbleiben in der Praxis. Einmal fehlen Zeit und Arbeitskräfte für Probenentnahme und für Untersuchungen im Labor. Ergebnisse weniger Proben haben bei starkem Wechsel der Textur und Struktur geringen Aussagewert, der sich durch Änderung der Nutzungsart und durch die in verschiedenen Jahren unterschiedlichen mechanischen Verdichtungen der Böden verringert.

Die geforderte Untersuchung der Böden durch Schürfgruben und Bohrungen erfolgen zu oft unzureichend. Einige Einschlüge bilden aber keine Grundlage für die Erstellung der Dränpläne. Manche verlustreiche Dränung ließe sich vermeiden, wenn die zu dränenden Flächen genau bodenkundlich aufgenommen würden. Durch noch rechtzeitige Kartierung konnten einige größere Fehler vermieden werden, so daß schon bezahlte Dränpläne verworfen und neue Pläne kostenlos erstellt werden mußten. In einem Fall konnte die geplante Dränfläche auf 10% verringert werden. Die Einsparungen durch Kartierung betragen in zwei anderen Gemeinden jeweils rund 100 000 DM.

Die Kartierung kann nicht jede kleine Stelle mit stark abweichenden Bodenverhältnissen erfassen, diese jedoch zeigen sich in offenen Drängräben! Extremer Bodenwechsel muß zur Änderung der geplanten Strangentfernung führen, was bewährte Schachtmeister zugeben. Aber sie lehnen die notwendige Veränderung ohne Genehmigung des zuständigen Amtes ab. Ehe diese Genehmigung eintrifft, ist die Dränung weit fortgeschritten oder abgeschlossen. Mehr Freizügigkeit beim Verlegen der Stränge mit Anpassung an den Boden und danach eine Ergänzung der Dränpläne wäre sinnvoller.

Die Landwirte verstehen auch die Lage der Stränge im Hanggefälle nicht, statt durch Stränge quer oder schräg zur Fließrichtung das Wasser abzufangen. Teure systematische Dränung an Hängen mit tiefliegenden Dräns im undurchlässigen Boden versagen zu leicht, während durch einige wenige Fangdräns mit hoher Steinverfüllung eine erfolgreichere und billigere Entwässerung erreicht würde; dies wird zur Ergänzung systematischer Dränung ohnehin oft notwendig.

Wenn besonders teure Dränungen in Tälern mit schluffreichem Boden mit Gley versagen, so sollte unter gleichen Verhältnissen weitere Dränung in anderen Tälern unterbleiben. Dräne in angeschnittenen Quellen bringen mitunter so viel Wasser, daß es nicht vom Sammler aufgenommen wird und an die Oberfläche steigt. Derartige oder ähnliche Auswirkungen auf angrenzende Flächen tragen zu heftigen Auseinandersetzungen bei, die sich bei stärkerer Berücksichtigung

der Wirkung von Entwässerung auf fremde, nicht entwässerte Gebiete vermeiden ließen.

Der wichtigste Schritt zu erfolgreicherer Dränung sollte sein, alle Dränungen in bodenkundliche Karten einzutragen, um durch die dabei festgestellten unterschiedlichen Dränwirkungen die Folgerungen zu ziehen. Derartige Kritik und Erfassung von Erfolgen und Mißerfolgen der Wasserregelung forderten bereits im Jahre 1856 PROTZ, sehr eindringlich ALWIN SEIFERT und später BAUMANN.

Bei dieser Prüfung würden auch den Ausmündungen mehr Beachtung geschenkt werden, die mitunter nicht oder nur schwer zu finden sind. Manche vergessene, später gefundene und frei gelegte Ausmündung bringt viel Wasser. Unter diesen Umständen könnte manche zweite Dränung unterbleiben, bei der frühere Dränsysteme gefunden werden. Eine Empfehlung zur Kennzeichnung der Ausmündungen genügt nicht; sie muß zur Pflicht werden und bei Unterlassung der Kennzeichnung von Ausmündungen zur Ablehnung der Abnahme von Dränungen führen. Steine an Ausmündungen waren in ostdeutschen Großbetrieben eine Selbstverständlichkeit. Sie trugen zur besseren Pflege der Ausmündungen und somit der Dränungen bei, was in anderen Gebieten ebenso möglich sein muß.

Die notwendige Mechanisierung der Dränarbeiten führt leider durch Ermüdung der Dränbaggerführer oder aus anderen Gründen nicht immer zur notwendigen Sorgfalt, selbst falsche Gefälle treten auf!

Der Landwirt hat keinen Einfluß auf die Art der Dränungen. Von ihm vorgebrachte Bedenken werden fast ausnahmslos überhört. Er muß jedoch für versagende Dränungen zahlen. Eine Ablehnung von Zahlungen für Arbeiten, die erfolglos sind und auf die der Bauer keinen Einfluß hat, dürfte bei gesundem Rechtsempfinden verständlich sein. Die Entwässerungskosten für nicht entwässerungsbedürftige Böden belasten zu gleichen Teilen Landwirt und den Staat, was kaum zu vertreten ist.

II. Entwässerung und Wassererhaltung

Die Entwässerung steht trotz des sprunghaft steigenden Wasserbedarfes und des Grundwasserschwundes mit wiederholter Vertiefung der Brunnen im Vordergrund.

Gedränte Böden nahmen früher mehr Oberflächenwasser auf als ungedränte, nasse Böden. Die zunehmenden Verdichtungen der Böden durch Maschinen und Geräte verzögern die Versickerung und erhöhen die Wasserverluste durch unproduktive Verdunstung und Wasserabfluß.

Seit VERGIL und COLUMELLA vor rund 2000 Jahren die Wiederaufforstung von Höhen und Hängen zur Wassererhaltung forderten, setzte sich später der Dominikaner ALBERTUS MAGNUS im 14. Jahrhundert für Transversalfurchen an Hängen ein, um Wasser und Boden zu halten. Die Erfolge von HEUSINGER 1827 in Thüringen, durch Fanggräben mit verzögertem Wasserabfluß Hochwasserschäden zu verhindern, fanden in jüngster Zeit in gleichem Gebiet eine Fortsetzung. Die größte Arbeit leistete vielleicht in Deutschland der Gemeindeförster CLEMENS DE LASSAULX Mitte des 19. Jahrhunderts in Adenau, Eifel. Er legte, angeregt durch den Kulturbauingenieur Manskopf, rund 47 km Fanggräben an. Die Not der Menschen in diesem Gebiet durch Verarmung der Böden und Hochwasserschäden als

Folge des 1774 begonnenen starken Holzeinschlages veranlaßte den preußischen Staat, von 1885 an durch den Eifelfonds jährlich 10 000 Taler für Aufforstung und Fanggräben bereitzustellen.

Immer wieder wird die Forderung erhoben, Wasser und Boden an Hängen zu halten, Erosionen zu bekämpfen. Vergeblich warnten 1878 LUDLOFF, 1880 KOCH, 1882 TOUSSAINT, 1883 DÜNKELBERG, 1891 HAZARD und später KURON, MÜCKENHAUSEN, JUNG und andere Männer vor den Auswirkungen der Erosion. Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen und Feststellungen bestätigen die wachsenden Schäden durch schnellen Wasserabfluß und Bodenabtrag. Die Warnungen werden überhört. Zeit und Geld für Untersuchungen sind verloren.

Rücksichtsloser werden alle alten Möglichkeiten zur Wassererhaltung beseitigt. Die Notwendigkeit und Vorteile der Flurbereinigung sind allgemein bekannt, aber wenn sie aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen die Pflicht der Erosionsbekämpfung übersieht, den Wasserabfluß in jeder Weise fördert, werden die dafür verantwortlichen Stellen früher oder später den Vorwurf hinnehmen müssen, daß ihre Arbeit die Verarmung der Böden in Höhegebieten beschleunigten und die Hochwassergefahr erhöhten.

Den kurzfristigen Vorteil durch ungestörte Bearbeitung großer Schläge stehen die sich verstärkenden Schäden der Zukunft gegenüber. Die Anlieger am Unterlauf der Flüsse tragen bereits immer größere Belastung durch den Ausbau der Flüsse als eine Folge des schnellen Wasserabflusses in Höhegebieten. Einige Rückhaltebecken werden errichtet. Größere Hochwasserschäden regen zur Planung neuer Rückhaltebecken an, aber mit der Verwirklichung dieser Pläne steht es kurz nach dem Hochwasser schlecht.

Beihilfen unterstützen die Errichtung von Teichen, deren vielseitiger und günstiger Einfluß nicht unterschätzt werden kann. Ihre Anlage bringt außerdem hohe Einnahmen und macht mitunter eine ohnehin versagende Dränung überflüssig.

Wasserhaltung läßt sich in Höhegebieten auch durch Verlagerung von Dränwasser ermöglichen. Vorschläge, Quell- und Dränwasser von Höhen den tieferliegenden austrocknenden Weiden auf Rendzina, Ranker und mittelgründiger Braunerde über Grauwacke und Schiefer zuzuführen, wurden als wertvoll anerkannt. Das Wasser aus den Dräns sollte innerhalb der Gemarkungen von zwei Betrieben Vieh tränken, dem Boden zu dessen Durchfeuchtung und für das Grundwasser zugeführt werden. Weil Zeit für die Planung fehlte, läuft das Wasser jetzt ungenutzt in Gräben ab; dafür muß Tränkwasser gefahren werden. Derartige Beispiele gibt es viele.

Entwässerung und Wasserhaltung lassen sich ebenfalls durch Sickerschächte und Schlinggruben verbinden. Viele Bauern legten seit mehr als 100 Jahren in Bodensenken Schlinggruben an, um Wasser aus Senken und von kleinen Dränsystemen in durchlässigen Untergrund abzuleiten. Sie verfüllten die Schächte mit Steinen, Kies oder Fichtenstämmen, mauerten die Wände oder führten Betonringe ein. Die ältesten bekannt gewordenen Schächte funktionieren seit 1845 bis heute. Auch in der Gegenwart werden verschiedentlich Schlinggruben bei fehlender Vorflut angelegt. Die Entwässerung der zahlreichen Bodensenken wird dringender. Der Boden in mehr oder weniger großen und zum Teil tiefen

Senken leidet immer mehr. Früher wurden die Mulden getrennt von dem gesamten Schlag bearbeitet.

Die Maschinen und große Geräte lassen das selten zu. Sie pressen und verdichten den oft feuchteren Boden in den Senken stärker, der Wasserstau nimmt deshalb zu und erfaßt größere Flächen. Erschwerungen der Bearbeitung und Ertragsausfälle bleiben nicht aus.

Um alte Bauernarbeit fortzusetzen, wurden von 1953 ab Schächte mit einem Stihl-Bohrer bis 6 m Tiefe und 35 cm Durchmesser ausgehoben und mit Kies verfüllt. Mehr als 300 mit dem Stihl-Bohrer angelegte Schächte in einer Gemeinde leiten seit 1964/65 das Wasser aus Senken im Lößlehm mit Parabraunerde und degradiertes Schwarzerde in 7—11 m mächtigem Löß mit gutem Erfolg ab.

Der 1956 versuchsweise eingesetzte englische Chesire-Bohrer hob im stark verhärteten Kies in 10—11 Minuten 6,25 m tiefe Schächte mit 62 cm Durchmesser aus. Bohrdurchmesser wie Länge des Bohrgestänges lassen sich vergrößern, um größere Sicherheit der Wasserableitung zu haben.

Die Bohrkosten bei 6 m Tiefe veranschlagte ein Unternehmer bei Gewährung einer ausreichenden Beihilfe zum Kauf des Bohrers auf 60—70 DM. Der Plan war, dadurch billig und schnell zahlreiche Schächte anzulegen, für die es keine weiteren Beihilfen gibt. Jetzt werden immer mehr Schächte von Hand und mit Brunnengreifern ausgehoben. Sie erhalten vorwiegend Betonringe. Die Kosten für das Ausheben betragen 80—90 DM/lfd. Meter, mit Betonringen 160—180 DM/lfd. Meter. Ein Schacht mit Betonringen kostet für 6 m Tiefe etwa 1000 DM, für 8 m Tiefe 1280—1440 DM. Die Anlage mit Beihilfen erfordert Genehmigungen, Bewilligung und Abnahme durch Ämter, die dadurch noch mehr belastet werden. Die Beihilfen betragen für 200 Schächte mit 6 m Tiefe 96 000—108 000 DM und mit 8 m Tiefe 128 000—144 000 DM. Die Landwirte müssen mindestens den gleichen Betrag aufbringen. Zu hohe Kosten rechtfertigen nicht immer die Anlage derartiger Schächte in den kleineren Senken. Die Verluste und Schäden nehmen dadurch zu, was sich durch gebohrte Schächte vermeiden ließe.

Die mit Kies verfüllten Schächte funktionieren 20—25 Jahre. Die Lebensdauer kann sich verringern, und Mißerfolge können auftreten. Die Ablehnung derartiger Sickerschächte und Verweigerung einer Unterstützung durch Dienststellen mit dem Hinweis auf kurze Funktionsdauer ist nicht ganz zu verstehen, denn das Versagen von Dränungen ist bekannt, aber niemand wird diese Entwässerungsart für alle Flächen ablehnen. Wenn der Staat durch eine Beihilfe zum Kauf eines großen Bohrgerätes mit etwa 70 000 DM Anschaffungskosten eine Beschränkung der Bohrkosten bestimmt, so würden wesentlich höhere Summen des Staates eingespart, da die Beihilfen für Anlagekosten entfielen, die Landwirte auch weniger zu zahlen hätten. Durch diese vertikale Entwässerung würde außerdem Wasser für das Grundwasser gewonnen.

Die Entwässerung einiger Senken erfolgt auch durch Dräns. Schwierigkeiten treten jedoch bei tieferen Senken auf. Die Dränstränge liegen entweder auf angrenzenden, höher liegenden, dränbedürftigen Flächen so tief, daß die Dräns versagen. Oder die Dräns haben in Senken zu flache Lage, daß sie durch Maschinen verschoben werden, außerdem ist die notwendige tiefere Lockerung des dichten Bodens unmöglich.

Landwirtschaftliche Betriebe mit ungünstigen, entwässerungsbedürftigen Böden sind von Natur aus benachteiligt. Ihre wirtschaftliche Lage verschlechtert sich weiter, so können sie keinen Aufwand für unbefriedigende und versagende Entwässerungsmaßnahmen tragen. Die Mechanisierung beeinträchtigt außerdem die Dränwirkung der bereits dichten Böden noch mehr. Die Dränungen müssen deshalb sorgfältiger geplant und durchgeführt werden. Die Dränanweisungen mit ihren Empfehlungen, ihren Richtlinien und mit mathematischen Berechnungen brachten keine sicheren Entwässerungserfolge. Der Wert wissenschaftlicher Untersuchungen wie der Dränversuchsfelder ist sicher groß, aber die Ergebnisse finden in der Dränpraxis genauso wenig Beachtung wie Untersuchungen und Erhebungen über Erosionsschäden.

Mißerfolge der Entwässerung lassen sich verringern, wenn eingehende bodenkundliche Kartierungen Grundlage für Entwässerungsmaßnahmen wird, Erfolge und Mißerfolge der Entwässerung durch überparteiliche Stellen zur besseren Durchführung neuer Dränungen erfaßt und wenn die Dränarbeit häufiger und sorgfältiger überwacht würde. Die Arbeitsüberlastung der Ämter für Wasserwirtschaft ist durch Arbeitskräftemangel groß, aber wenn die höheren Dienststellen die Dränpraxis oft sehen würden, so dürfte das zu einer klaren Beurteilung und erfolgreichen Dränung beitragen, was nicht durch Planung vom Schreibtisch aus möglich ist.

Die Entwässerung darf nur ein Teil der Beeinflussung des Wasserhaushaltes sein, die Verbindung Entwässerung mit Wassererhaltung muß stärker in den Vordergrund treten. Die Klagen über Grundwasserschwind und schnellen Wasserabfluß nützen nichts, wenn nicht in jeder Weise durch kleine Maßnahmen Wasser erhalten wird. Die Wege, um dieses Ziel zu erreichen, sind sehr unterschiedlich und lassen sich schwer in Richtlinien für Beihilfe einordnen. Bestimmungen, die Maßnahmen zur Wassererhaltung erschweren oder sogar verhindern, sind dringend änderungsbedürftig. Sie müssen dem durchzuführenden Beamten größere Entscheidungsfreiheit geben. Das erfordert viel stärkere Beachtung aller natürlichen Verhältnisse.

Über erste Ergebnisse von Dränversuchsfeldern in Schleswig-Holstein

Von Professor Dr. Hans B a u m a n n ,
Direktor des Instituts für Wasserwirtschaft und Melorationswesen
der Universität Kiel

Bei der Anlage unserer Dränversuchsfelder haben wir das Ziel verfolgt, unter verschiedenen Standortverhältnissen die Funktion der Dränung durch Messung des Grundwasserstandes und des Abflusses zu verfolgen. Jeder Anlage liegt nur eine Versuchsfrage zugrunde. Die ersten Ergebnisse von vier Feldern sollen hier erläutert werden.

Der ersten Versuchsanlage in Meldorf auf einer schluffig-feinsandigen Seemarsch mit etwa 12% Ton, einem Boden, auf dem Tonrohrdräns in 8—12 Jahren versanden, liegt die Fragestellung zugrunde: Welche Einschlämmungen sind in den verschiedenen 1964 zur Verfügung stehenden Rohrarten zu beobachten? Zwei teilweise mit Glaswollvlies überdeckte Tonrohrweiten wurden mit PE-Rohren, glatten und gerillten PVC-Rohren, die ebenfalls teilweise mit Glaswollvlies vollummantelt oder überdeckt sind, verglichen. Zehn Varianten stehen in fünffacher Wiederholung im Versuch. Alle Stränge münden einzeln aus.

Das zweite Feld wurde in Norderheistedt auf einem lehmig-sandigen Gleypodsol vom Kulturamt Heide angelegt. Hier werden in sieben je etwa 1 ha große Abteilungen PE-Rohr, glattes und gerilltes PVC-Rohr, ummantelt und unummantelt, mit dem Tonrohr ohne Wiederholungen verglichen.

In Süderdeich wird von uns die Frage der Auswirkung unterschiedlichen Saugergefälles bei ummantelten, glatten PVC-Rohren in zweifacher Wiederholung geprüft. Zwei unummantelte Stränge sind eingeschaltet. Der Seemarschboden ist dem Meldorfer, abgesehen von einem etwas stärkeren Wassereinfluß, sehr ähnlich.

In Damp-Dorotheenthal werden auf einem Niedermoor wechselnder Mächtigkeit nur die Grundwasserstände zwischen Saugern verschiedener Tiefenlage verfolgt.

Die in Meldorf nach einjähriger Versuchsdauer gefundenen Dräneinschlämmungen sind zusammengefaßt in der Tabelle 1 angegeben. Danach wird die Einschlämmung in Tonrohre durch Überdeckung mit Glaswollvlies um etwa 50% reduziert, wird durchschnittlich in das Tonrohr mit seinen wechselnden, teilweise großen Eintrittsöffnungen zehnmal mehr Sand eingespült als in die Kunststoffrohre mit ihren gleichmäßigen kleinen Eintrittsöffnungen. Außerdem liegt die Einschlämmung in die PE-Rohre mit ihren konischen Öffnungen besonders niedrig. Auch in Modellversuchen läßt sich die an sich naheliegende Erscheinung nachweisen, daß in schluffig-sandigen Böden die Einschlämmung mit der Schlitzgröße zunimmt.

	Einschlammung (je 33 cm Dränrohr)		Signifikanz der Differenzen
	in g	in %	
Tonrohr:			
6,5 cm Ø - ungefiltert	160,11	100,0	95%
6,5 cm Ø - gefiltert	73,56	45,9	
Kunststoffrohr:			
PVC-Rohre, 4 cm Ø	6,24	3,9	90%
PE-Rohre, 4 cm Ø	2,38	1,5	
sämtliche Tonrohre	116,83	73,0	99%
sämtliche Kunststoffrohre	12,43	7,8	

Tab. 1:
Einschlammung
in Dränrohren
nach einjähriger
Versuchsdauer

Die Eigenschaften der Rohrarten bezüglich des Abflusses können nur beurteilt werden, wenn die natürlich gegebene, in ihrer Richtung wechselnde Grundwasserfließrichtung berücksichtigt wird bzw. wenn diese durch eine genügend große Anzahl von Wiederholungen eliminiert werden kann. In Meldorf ist bei tiefen Grundwasserständen die natürliche Grundwasserfließrichtung zum Hauptgraben und nach Süden gerichtet (Abb. 1). Bei hohen Ständen staut offenbar eine im Süden gelegene Straße das Grundwasser auf. Jetzt (März 1965) steht das Grundwasser im Süden höher, die Entwässerungswirkung des Hauptgrabens ist abgeschwächt.

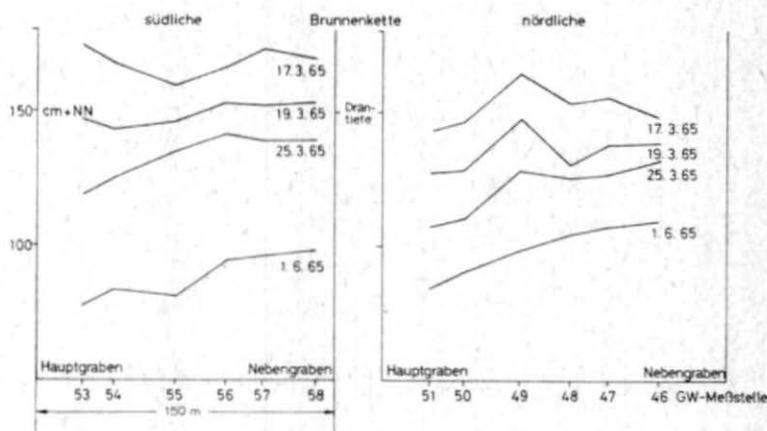


Abb. 1:
Wechselseitige
Fließrichtung des
Grundwassers
bei tiefen und
hohen Ständen,
bei ebener Bo-
denoberfläche
(Marsch)

Die Abflußmessungen von dem ohne Wiederholungen angelegten Versuchsfeld in Norderheistedt spiegeln nur die stark wirksamen, natürlichen Grundwasserhältnisse wider. Ihr Einfluß ist so stark, daß über die spezielle Funktion der einzelnen Rohrarten eine Aussage nicht möglich ist. Das Grundwasser fließt von Südosten nach Nordwesten annähernd parallel zur Bodenoberfläche (Abb. 2). Der Abfluß aus den sieben Abteilungen nimmt von Osten nach Westen zu, d. h. je tiefer eine Abteilung auf dem schrägen Hang des Feldes gelegen ist, desto stärker ist der Abfluß aus ihr. Bei hohen Grundwasserständen (16. 12. bis

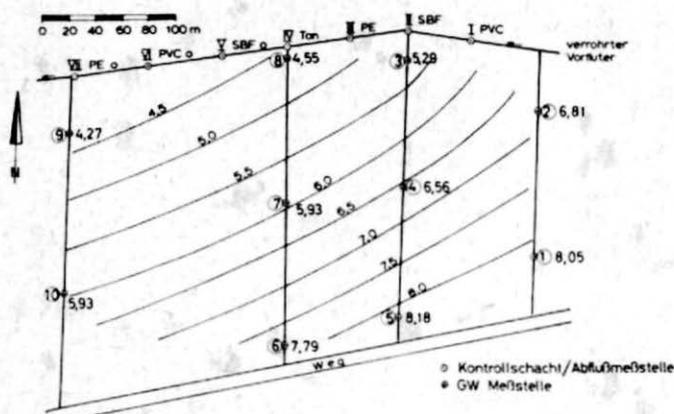


Abb. 2:
Grundwassergleichen an
einem nach NW geneigten
Hang im Altmoränen-
gebiet (Gleypodsol)
und Ausmündungen von
7 Drainabteilungen

23. 12. 1964) sind die Unterschiede zum Teil nicht gegeben. Nach Bonituren an der Oberfläche kann man lediglich sagen, daß alle Rohrarten in diesem Falle bisher ausreichend gewirkt haben. Die Tabelle zeigt eine Auswertung registrierter Abflußmessungen an 63 Tagen im Winter 1964/65, an denen alle Schreiber exakt gearbeitet haben, und zwar von einem Ausschnitt aus der Mitte des Versuchs. Schon die Abflußzahlen aus drei benachbarten Abteilungen zeigen die Tendenz. Die höher gelegene PE-Abteilung zeigt geringere Abflüsse als die im Gelände unterhalb folgenden Abteilungen mit Tonrohren und ummantelten Rillenrohren (SBF). In Norderheistedt verbietet das Fehlen von Wiederholungen eine differenziertere Auswertung der Versuchsfrage.

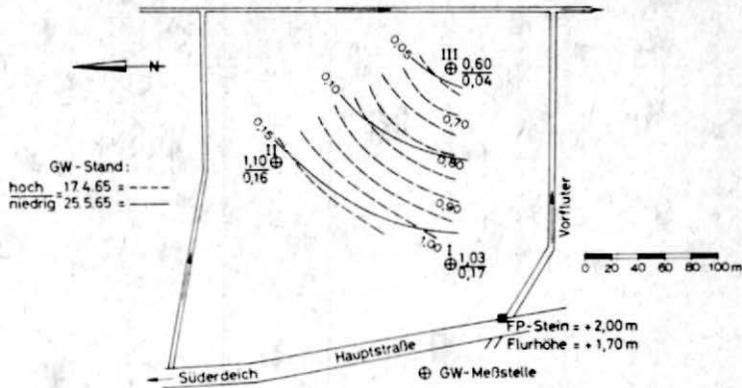
lfd. Nr.	Zeitraum	Anzahl der Tage	Abt 5	Abt 4	Abt 3
			SBF o	Ton	PE
1	112 - 21264	2	2,844	3,996	1,476
2	912 - 111264	3	4,932	4,878	1,076
3	1612 - 231264	8	8,172	12,600	10,638
4	1.1 - 8.1.65	8	20,772	15,876	18,198
5	12.1 - 15.1.65	4	7,236	5,904	6,732
6	19.1 - 30.1.65	12	16,056	10,026	8,856
7	1.2 - 26.2.65	26	24,372	19,908	15,282
gesamt		63	84,384	73,188	62,258

Die Unterschiede zwischen Ton zu SBF und Ton zu PE sind statistisch nicht signifikant
Die Unterschiede zwischen SBF o und PE sind zu 95% statistisch signifikant

Tab. 2:
Abfluß aus drei benachbarten
Drainabteilungen in mm/Zeit-
raum

In Süderdeich beeinflussen die natürlichen Grundwasserverhältnisse die Messungen ebenfalls stark. Sie bewirken, daß der Abfluß auf diesem praktisch völlig ebenen Feldstück von Westen nach Osten abnimmt (Abb. 3). Die Abflußwerte bei geringerem Gefälle (0,1 und 0,2‰) (Tab. 3) können daher nur jeweils mit den Werten der benachbarten Parzellen verglichen werden, in denen die Stränge mit 0,3‰ verlegt wurden. Die zusammengefaßten Werte der mehr westlich gelegenen

Abb. 3:
Grundwassergleichen
auf einem ebenen
Marschstück



(Einzelmessungen)

Dränstränge: 2-5 und 10-13	l/s/ha	%	Signifikanz der Differenzen
J = 0,3% PVC gefiltert	0,067	100,0	99%
J = 0,2% PVC gefiltert	0,055	82,1	
J = 0,2% PVC ungefiltert ^x	0,096	143,3	

Dränstränge: 6-9 und 14-17	l/s/ha	%	Signifikanz der Differenzen
J = 0,3% PVC gefiltert	0,117	100,0	99%
J = 0,1% PVC gefiltert	0,070	59,8	
J = 0,1% PVC ungefiltert ^x	0,131	112,0	

Tab. 3:
Abflußspenden bei unterschiedlichem Gefälle. Mittelwerte aus acht Einzelmessungen

^x Mittelwert aus 8 Messungen eines Einzeldrains

Stränge 6—9 und 14—17 liegen um 45% höher als die östlich gelegenen Stränge 2—5 und 10—13, jedenfalls bei dem in Einzelmessungen erfaßten Abfluß. Gegenüber den Nachbarsträngen war der Abfluß bei Abnahme des Gefälles von 0,3 auf 0,2% um 20% vermindert, bei Gefällverminderung von 0,3 auf 0,1% sogar um rund 50%. Die Ummantelung hemmte den Abfluß ganz wesentlich.

Auch bei den Beobachtungen in Damp-Dorotheenthal ergibt sich das Bild einer relativ schwachen Wirkung unterschiedlicher Dränmaßnahmen (Abb. 4) gegenüber dem Grundwasserandrang, der hier aus einer diluvialen Durchtragung kommt. Er ist so stark, daß eine tiefe Lage der Stränge (1,30 u. Fl.) den Grundwasserstand zwischen den Strängen kaum stärker abzusenken vermag wie eine flache Lage (80 cm u. Fl.). Der mittlere Wasserstand in der Mitte der tiefen Stränge liegt Anfang Mai bis 35 cm Flurabstand nur 3 cm, Ende Mai bei 60 cm Flurabstand nur 7 cm und Mitte Juni bei dem tiefsten Flurabstand des Jahres (80 cm) um 12 cm tiefer als bei der flachen Dränung. Bei den 1 m tiefen Dräns liegt eine Störung der Anlage vor.

Diese vier Beispiele sollten Ihnen zeigen, daß es wohl richtig und notwendig ist, die Funktion der Dränung unter den verschiedensten Standortsbedingungen zu beobachten. Es stellt sich in allen Fällen heraus, daß nicht so sehr die physi-

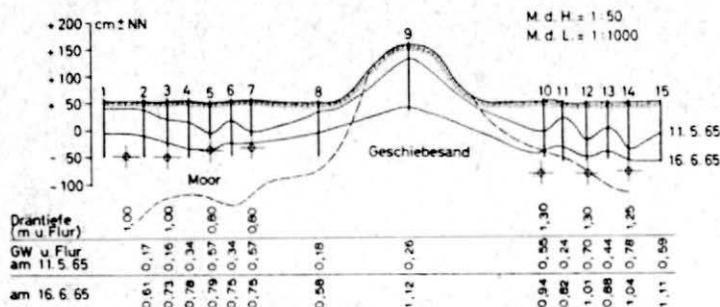


Abb. 4:
Grundwasserstände
bei 1,30 und 0,80 m
Dräntiefe im
Niedermoor

kalischen und chemischen Bodeneigenschaften als vielmehr die hydrologischen Verhältnisse die Wirkungsweise der Dränung beeinflussen.

Unterschiede zwischen verschiedenen Maßnahmen der Dräntechnik kann man nur ermitteln, wenn man eine ausreichende Anzahl von Wiederholungen hat. Wahrscheinlich führt ein Vergleich ganzer Abteilungen nicht zum Ziel. Messungen an einzelnen Saugersträngen sind erforderlich. So könnte das Ergebnis in Damp-Dorotheenthal auch dadurch entstanden sein, daß die Vorflut der Tiefenstränge weniger gut ist als die der flachen, mit anderen Worten, daß sie häufiger im Rückstau liegen. Theoretisch ist allerdings Vorsorge getroffen, daß dieser Fehler ausgeschlossen sein sollte.

II. Diskussion

Leitung: Prof. DDr. Grubinger

BENECKE: Ich möchte auf den Hinweis von Herrn Schulte-Karring eingehen, daß Staunässeböden häufig auch unter Wassermangel leiden. Diese Beobachtung haben wir auch gemacht. Ich möchte das also bestätigen.

In den niederschlagsarmen Gebieten des Vorharzes gibt es außerordentlich schwere, aber gut strukturierte Tonböden, die zur Krume hin etwas leichter werden. Diese Böden können sowohl unter Staunässe wie unter Wassermangel leiden. Sie sind (und das ist das Kuriose daran) als beregnungsbedürftige Flächen ausgewiesen.

Nun eine mehr methodische Frage:

Die Vernässung der Böden führt neben anderem zur Untergrundlockerung. In dem Vortrag von Herrn Meimberg haben wir gehört, daß eine tiefgelockerte Parabraunerde aus Löß nach der Lockerung ungünstigere physikalische Bodenwerte aufwies als vorher. In diesem Zusammenhang möchte ich darauf hinweisen, daß erstens ein offensichtlicher Mangel besteht an geeigneten Kriterien, die das Verhalten des Bodens auf eine derartige mechanische Lockerung kennzeichnen. Ich kann aber einen anderen Befund hinzufügen. Man erzielt offensichtlich bessere Erfolge auf den Parabraunerden, wenn man versucht, den Tongehalt im ganzen Profil zu erhöhen. Es liegen Erfahrungen mit dem Tiefumbruch einer Parabraunerde vor. Ich habe die bodenphysikalischen Auswirkungen verfolgt

und zumindest feststellen können, daß auf Grund der pF-Werte keine Verschlechterung der Struktur im Laufe eines knappen Jahres erfolgte.

KUNTZE: Die größte Gefahr der Bewertung einer Untergrundlockerung bei landeskulturellen Versuchen liegt darin, daß man versucht, zu verallgemeinern!

Mir hat ein Satz in den Ausführungen von Herrn Schulte-Karring nicht ganz gefallen, in dem er sagt, daß man diese Verfahren zur allgemeinen Anwendung den Kulturtechnikern bereits empfohlen habe. Die Ausführungen von Herrn Meimberg, die anschließend folgten, haben wiederum bewiesen, daß von Boden zu Boden recht unterschiedliche Auswirkungen der Lockerung zu beobachten waren — positiv und negativ. Der Erfolg einer Lockerung im landeskulturellen Versuch kann man ja nur an der Dauer seiner möglichst positiven Wirkung feststellen. Meine Frage geht also dahin, wie weit man heute schon in der Lage ist, spezifiziert auf die einzelnen lockerungsbedürftigen Böden Aussagen über die Wirkung zu bringen.

Ich darf vielleicht in diesem Zusammenhang an eine Arbeit von Kollegen Rid erinnern, der eine derartige Gliederung nach Bodentypen einmal durchgeführt hat. Das Ergebnis seiner Untergrundlockerungsversuche war, daß 30% der Versuche negativ, 30% positiv und 30% indifferent ausfielen. Diese Zahlen beleuchten, wie sehr wir doch die Versuche auf den einzelnen Standort ausrichten müssen.

Ich darf wohl so formulieren, daß in dem speziellen Gebiet von Herrn Kollegen Schulte-Karring (in den Graulehen-Pseudogleyen) ganz besonders günstige Verhältnisse für Lockerungsversuche vorliegen. Denn die Frage der Niederschlagshöhe, Niederschlagshäufigkeit, Zeitpunkt der Untersuchung, Lockerungsbedürfnis des Bodens, Strukturstabilität und vieles andere mehr spielen letztlich in den Erfolg hinein. Wir sind nun an einem Punkt angelangt, wo wir Filigranarbeit zur schärferen Abgrenzung geeigneter Böden leisten müssen, so daß derartige Ausführungen sicher manche Anregungen gegeben haben.

VAN EIMERN: Ich bitte um Entschuldigung, wenn meine Bemerkung vielleicht etwas gegen die Dränung klingen wird. Das ist aber nicht die Absicht. An sich ist es die Aufgabe der Dränung, den Pflanzen optimale Wasserbedingungen zu geben, das Zuviel an Wasser zu verhindern, ohne ein Zuwenig zu fördern. Ich möchte nur darauf hinweisen, daß man das Jahr 1965 für Süddeutschland nicht oder kaum heranziehen kann, um zu beurteilen, ob Versuche über Dränung positiv oder negativ verlaufen sind.

Wir hatten in Weihenstephan bis Mitte Juli schon 100% der normalen Jahresniederschlagsmenge erreicht. In der Zeit von Anfang April bis zum 10. Juni hatten wir 500 mm Niederschlag! Gegen solche Niederschläge dränen zu wollen, ist beinahe unmöglich. Ich kann also nur darauf hinweisen, daß man vorsichtig sein sollte, das Jahr 1965 in Süddeutschland irgendwo als Maßstab für ein nasses Jahr anzusehen. 1965 war kein nasses Jahr, sondern es war ein Überschwemmungsjahr. Das ist in hundert Jahren in Weihenstephan nur ein einziges Mal vorgekommen.

SCHAFFER: Es sei noch eine Bemerkung zu dem Vortrag von Herrn Dr. Schulte-Karring erlaubt. Obwohl der Erfolg einer Tieflockerung eklatant ist

und durch die Bilder gut belegt werden konnte, ist wohl eine Verallgemeinerung der Ergebnisse nicht zulässig. Es scheint, daß diese Erfolge mit der besonderen klimatischen Lage des Untersuchungsraumes, dem Entwicklungs- und Ausprägungsgrad des Bodens und seinen Gefügeverhältnissen zusammenhängen. Eine treffende Standortbeurteilung und entsprechend gewählte Tieflockerung sind wohl die Ursachen des Erfolges.

KMOCH: Ich möchte auch auf die ungünstigen Wirkungen in der Grenzzone kurz hinweisen, die im Referat von Herrn Meimberg gerade anklangen. Erwähnt wurden hierbei vor allen Dingen die Grenzzone im oberen Lockerungsbereich. Ich glaube, genau so große Aufmerksamkeit müßten wir wohl dem Grenzbereich schenken, der an der unteren Grenze zwischen Lockerungsbereich und ungelockertem Boden liegt.

Es ist gut möglich, daß Wirkungen auf den gesamten Lockerungsbereich festzustellen sind, die von der unteren Grenzzone ausgehen. Wir haben ähnliche Untersuchungen — allerdings in einem vertikal wesentlich beschränkteren Bereich, im ackerbaulichen Bereich — bei Tiefbearbeitungsversuchen dargestellt. Die Tiefbearbeitung hatte zunächst einmal durch die Vertiefung der Krume recht günstige Wirkung, nämlich die Auflösung einer vorher vorhandenen Pflugsohle. Nun aber entstand an der unteren Grenze eine Pflugsohle, die sich wesentlich schwieriger selbständig auflockerte, einfach weil die Bodenaktivität in diesem Bereich geringer war und nach und nach der gesamte obere Bereich ungünstig beeinflusst wurde. Meist aber ist gerade die langjährige Wirkung entscheidend.

Meine Frage geht an die Referenten, aber vielleicht auch an den einen oder anderen, der in diesem Bereich irgendwelche exakten Messungen vorgenommen hat:

Sind derartige Fernwirkungen von einer Grenzzone auf einen größeren Bereich schon einmal quantitativ festgestellt? Ihre Existenz würde uns nämlich erlauben, die sonst ja so sehr mühsamen bodenphysikalischen Messungen gezielt anzusetzen, so daß wir auch mit besseren Resultaten rechnen könnten.

BAUMANN: Zu diesem Problem einige Ergebnisse von Herrn Köhnlein: In der ostholsteinischen Braunerde und in den Pseudogleyen werden durch Lockerung die natürlichen Wurzelgänge und Wurmgänge zerstört. Deshalb lehnt die Praxis dort die Lockerung auf Grund älterer Versuche ab. Auch Herr Köhnlein sagt, wenn es naß ist, muß ich flach pflügen, damit ich ja nicht in größeren Tiefen eine Verdichtungszone bekomme. Eine Verallgemeinerung wäre ein Unglück.

HEBESTREIT: Zur Bemerkung von Herrn Professor Kmoch noch zwei Bilder:

1. Bildpaar (Getreidefeld nach der Ernte; Spuren des Mähdreschers, der sich festgefahren hatte).

Der Bauer forderte daraufhin — aus überkommener Vorstellung der Praxis — systematische, engste Dränung. Dies ohne Rücksicht darauf, daß die hinderliche Vernässung nur an einer Stelle auftrat, man also die Ursache mit geringem Aufwand hätte finden und beseitigen können.

Als Bodentyp hat sich hier — es handelt sich um einen sehr alten Granit-Verwitterungsboden — ein Pseudogley entwickelt. Würde man hier bei dieser Verwässerungsursache den Untergrund lockern, dann wäre der Mißerfolg da.

Ich kenne Bodenlockerungen, die immerhin den Erfolg hatten, daß der Landwirt ein Jahr lang nicht wirtschaften konnte. Die Felddiagnose erkennt den Sachverhalt später am Profil.

2. Bildpaar (Reduktionszonen nach nasser Pflugarbeit).

In der Tat zeigt der so behandelte Boden für längere Zeit Merkmale des Gley. Vielleicht unterstützen diese Bilder noch die Hinweise von Herrn Prof. Baumann.

WOHLRAB: Mir scheint die Frage „Untergrundlockerung mit oder ohne Dränung“ von besonderer Bedeutung zu sein. Von besonderem Einfluß ist in diesem Zusammenhang der Niederschlag, und zwar nach Höhe und Verteilung. Man sollte die Extremjahre, die nassen Jahre, zur Beurteilung herausuchen und die Niederschlagsmenge dem später zu erwartenden Fassungsvermögen des tief zu lockernden Bodens gegenüberstellen. In Ermangelung von Bodenfeuchtebestimmungen könnte dies nach der klimatischen Wasserbilanz erfolgen (Haude, Korte, Czeratzki). Wenn der Boden im tiefgelockerten Profil auch in einem Naßjahr die Niederschläge weitgehend aufnehmen kann, dann genügt die Lockerung; ist das nicht der Fall, dann muß zusätzlich gedränt werden.

RAMSAUER: Ich möchte darauf hinweisen, daß wir ja in der Dränanweisung (DIN 1185) seinerzeit für die schweren Böden Dränabstandsangaben gemacht haben. Die sind überholt! Darüber sind wir uns klar. Die neuen Richtlinien werden neue Grundsätze vertreten.

Grundsätzlich kann man sagen, daß wechselfeuchte Böden für eine systematische Dränung nicht geeignet sind, weil der Zufluß zum Drän einzig und allein an der Oberfläche und auf der Krumensole erfolgt — nicht durch den Boden, weil er eben undurchlässig ist oder zu wenig durchläßt. Daher ist es zweckmäßig, in diesen Böden entweder Untergrundlockerungen oder Maulwurfdränung mit Sammeldräne durchzuführen. Die Frage: „Untergrundlockerung oder Maulwurfdränung?“ hängt von den Niederschlägen ab.

Die Maulwurfdränung bezweckt Abzug des überschüssigen Wassers, aber Speicherung wird nicht verhindert durch die Maulwurfdränung! In trockenen Jahren wird nach Speicherung im Untergrund das Wasser wieder kapillar gehoben, so daß ein gewisser Ausgleich — eine gewisse, gesunde Wasserhaltung — erfolgt. Darauf kommt es natürlich an. Es ist die Frage: „Untergrundlockerung allein oder Untergrundlockerung und Maulwurfdränung“ abzuklären! Die Frage muß noch näher behandelt werden.

Wir sind jedenfalls in Österreich dabei. Wir haben mit dem Maulwurfdrän Entwässerungen mit bestem Erfolg erzielt. Die Maulwurfdränungen funktionieren mindestens — wie wir sie jetzt wieder beobachten — mehr als zehn Jahre ganz wunderbar. Es kommt dabei nicht darauf an, daß der Maulwurfgang erhalten bleibt, sondern er soll einfallen. Das schadet ja gar nicht. Im Gegenteil, es wird ein Lockerraum geschaffen, durch den die Abflußverhältnisse in keiner Weise behindert werden. Wir haben in unseren Versuchen festgestellt, daß nach zehn Jahren die Abflußverhältnisse kaum anders geworden sind, als bei der ersten Ausführung, wo die Maulwurfgänge vollkommen bestehen.

RID: Eine mechanische Lockerung erhält doch erfahrungsgemäß etwa drei bis fünf Jahre. Nun würde mich interessieren: Liegen Erfahrungen darüber vor, wie weit Bodenstabilisatoren wie Kalk oder Styromull diese Lockerung festigen können. Das ist von sehr großer wirtschaftlicher Bedeutung, denn wenn nach fünf Jahren diese mit großem Aufwand durchgeführte Lockerung wirkungslos wird, dann ist in der Praxis das Verfahren nicht brauchbar. Hält die Lockerung längere Zeit an, also zehn Jahre und länger, dann ist eine Wirtschaftlichkeit gegeben. Deshalb wäre es sehr wesentlich, einmal von diesen Erfahrungen zu hören.

Im übrigen haben wir auch mit dem Dränpflug, der ausschließlich als Lockerer — also als Vorfluter — eingesetzt wurde, sehr gute Erfolge zu verzeichnen.

Dann möchte ich ganz besonders unterstreichen, immer wieder die bodenkundlichen Verhältnisse zu berücksichtigen; daneben sind die klimatischen Verhältnisse wichtig. Nur wenn wir diese Dinge von Grund auf berücksichtigen, dann kommen wir einen Schritt weiter.

BADEN: Weit zurückreichende Erfahrungen mit der Untergrundlockerung im Raum der nordwestdeutschen Heide und Podsolböden sollten aller Anlaß sein, dem Problem differenziert nachzugehen! Dort liegt das Problem zweifellos einfach. Der Einwaschungshorizont liegt verbreitet der Oberfläche so nahe, daß man — das ist wichtig — schon mit verhältnismäßig flacher Untergrundlockerung eine sehr günstige Wirkung erzielt. Der Untergrund ist dort meistens so beschaffen, daß danach eine Dränung nicht erforderlich ist. Eine erneute Podsolierung ist unter der einmal gekalkten Krume nicht denkbar, so daß eine neue Verdichtung nicht zu befürchten ist. Wir können also feststellen, daß dort auf diesen zuvor wechsellässigen Böden durch einfache Untergrundlockerung die nachhaltigsten Erfolge erzielt werden. Seitdem wir das Spurenelement-Problem gelöst haben, zählen diese „leichten und ärmsten“ Böden danach heute bekanntlich zu den ertragsichersten Standorten, die wir uns nur denken können.

Wir haben aber ein anderes Problem: Eine Krume 50:50 toniges Material und Torf-Anteil; darunter 1—2 Dezimeter vielleicht auch 3 Dezimeter sehr verdichteter, beinahe knickartiger Boden über wenig zersetztem, sehr wasserzügigem Bruchwaldtorf; dort könnte man gleichfalls zu einer Untergrundlockerung versucht sein. Danach steht ein nachhaltiger Erfolg allerdings um so mehr in Frage, wie in dieser Schicht — in der zweitobersten — erneute Verdichtungen zu befürchten sind.

Bisher nur am Rande erwähnt wurde die Untergrundkalkung. Mich würde es sehr interessieren, ob dieses Problem, das man früher bei technisch unvollkommenen Geräten nicht hat lösen können, gelöst ist; ob man heute den Untergrund genügend gleichmäßig mit Kalk durchsetzen kann. Das scheint mir eine wesentliche Voraussetzung für den bleibenden Erfolg einer Unterkalkung zu sein.

Ich muß erneut davor warnen, bei diesen Meliorationsmaßnahmen aus kurzfristigen Beobachtungen endgültig Schlüsse zu ziehen; dieselben können allenfalls eine Tendenz aufzeigen und uns zunächst hoffnungsvoll stimmen, ohne uns durch Anfangserfolge zu blenden.

GRUBINGER: Über den Unterschied von unverrohrter Maulwurfdränung und Tiefenlockerung bzw. Untergrundlockerung dürfte im wesentlichen nun kein Zweifel mehr sein.

Mit der Herstellung der Maulwurfgänge oder Erddrains ist zwangsläufig eine Bodenlockerung verbunden. Das Maß derselben, man könnte auch von „Aufbrechgrad“ sprechen, hängt von der Bodenart und dem Durchfeuchtungszustand ab.

SCHAFFER: Eine Bemerkung zu dem Vortrag von Herrn Meimberg scheint zur Klärung der Begriffe Permeabilität und Versickerung notwendig zu sein. Wir müssen unterscheiden zwischen Permeabilität, hydraulischer Leitfähigkeit und Infiltrationsrate. Die Permeabilität ist ein Bodenkennwert, der keine Abhängigkeit von dem hindurchtretenden Medium (Flüssigkeit oder Gas) beinhaltet. Die hydraulische Leitfähigkeit (k_f -Wert) wird oft mit Bodendurchlässigkeit gleichgesetzt. Die Infiltrationsrate gibt die Wassermenge an, die pro Flächeninhalt in der Zeiteinheit in den Boden eindringt und in ihm versickert. Aus Ihrer Meßanordnung muß man schließen, daß Sie die Infiltrationsrate gemessen haben.

MERTIN: Die Permeabilität wurde mit der Bohrlochmethode gemessen (Gerät von Stihl). In der gelockerten und aufgelockerten Zone wurde die Versickerung mit vertikal eingebauten Dränrohren im Zeitpunkt völliger Sättigung des ganzen Bodens gemessen. Genauso wurde auch die Wasserbewegung in der Lockerungszone nach starken Niederschlägen nachgewiesen. Es stieg also das Wasser im Rohr in der Lockerungszone wesentlich schneller als im ungelockerten Boden, im gelockerten zwei- bis achtmal schneller als im ungelockerten Boden.

Die Lockerung legt ja die Stausohle tiefer, damit entsteht eine Verbindung zu einem eventuell durchlässigen Untergrund. Daher möchten wir anregen, bei Versuchen nicht immer nur das Bodenprofil vor und nach der Lockerung anzugeben. Erforderlich ist die Kenntnis der Niederschläge und der hydrologischen Daten. Mit ihrer Hilfe kann man Erfahrungen sammeln, wo ein Verfahren möglich ist und wo nicht.

Zu dem Problem „Styromull“: In Gießen haben wir eine Schlitzdränung mit Styromull versucht. Damit sollte die Lockerungszone auf sehr undurchlässigen Böden stabilisiert und damit eine Wasserbewegung gewährleistet werden.

WEBER: Die Frage nach der Wirkung von Maulwurfdränen konnten wir drei Jahre untersuchen. Dabei haben wir festgestellt: Es kommt selbstverständlich immer auf den Standort an. Aber auch nach drei Jahren können wir noch nicht sagen, auf diesem Standort ist die Untergrundlockerung gut, auf jenem die Maulwurfdränung und auf einem anderen die Rohrdränung“. Wir wollen diese Frage beantworten. Vielleicht kann ich Ihnen in zehn Jahren mehr darüber sagen! Heute sollten Sie lediglich einmal von uns hören, daß wir bei der Untergrundlockerung teilweise gute Ergebnisse hatten, und daß wir auch teilweise weniger gute Ergebnisse hatten.

Zur Frage der Lockerung: Ich bin der Meinung, daß eine Maulwurfdränung — insbesondere mit dem österreichischen Maulwurfspflug, mit dem wir arbeiten — zugleich immer eine Lockerung ist. Deswegen ist auch hier von Lockerungszone gesprochen worden. Diese Lockerungszone ist natürlich unterschiedlich groß. Wenn der Boden einen hohen Ton- und verhältnismäßig hohen Wassergehalt hat, entsteht eine kleine Lockerungszone. Wenn man aber zur rechten Zeit lockert, wird die Lockerungszone größer. Und besonders locker bleibt der frühere Maulwurfgang. Auf dem Standort, auf dem Herr Meimberg gearbeitet hat, im Vogels-

berg, einem degradierten Löß, fällt der Gang natürlich schon nach einem Jahr zusammen. Aber es sollte gezeigt werden, daß die Wasserzügigkeit bei der Maulwurfdränung bestehen bleibt, was Herr Ramsauer ja auch immer behauptet hat. Sie ist über drei Jahre bestehen geblieben. Natürlich wird man den Gang noch nach einer Weile wieder nachziehen müssen. Wenn aber Fangdräne liegen, dann kann das der Bauer mit dem österreichischen Pflug ohne weiteres selber machen. Es ist im Grunde genommen nur eine etwas tiefergehende Bodenbearbeitung. Aber es ist berechtigt, von einer Lockerungszone zu sprechen.

BADEN: Maulwurfdränung auf Moor ist eine Dränung und keine Bodenlockerung!

BORCHERT: Ergebnisse unserer mikromorphologischen Untersuchungen mögen das, was Herr Professor Ramsauer vorhin sagte, noch unterstreichen. Zwei Versuchsfelder mit Maulwurfdränung wurden auf degradiertem Löß nebeneinander angelegt, davon ein Versuchsfeld ohne die zusätzliche Bedarfsdränung. Der Maulwurfgang bei dem nicht zusätzlich gedränten Versuchsfeld war bereits nach einem Jahr wieder gänzlich gefüllt. Man erkannte im Bodenschliff Schluffnester, ein völlig verdichtetes Gefüge, schlechter als es vorher war. Die Vergleichsuntersuchungsstelle neben dem gelockerten Boden (etwa 0,7 bis 1,0 m daneben) zeigte ein besonderes Bodengefüge. In dem Versuchsfeld mit der Bedarfsdränung sah das Bild so aus: In dem Gang bestand ein durch Bodentiere im Zyklus des Jahres immer wieder aufgelockertes Gefüge und daneben im ungelockerten Boden jetzt im Vergleich dazu ein schlechtes Gefüge.

HARTGE: Wie Herr Kuntze vorhin sagte, ist bei Tieflockerungen ein Teil der Ergebnisse ausgesprochen negativ. Einer der Gründe dafür ist folgender: Wenn man einen Metallkörper durch den Boden zieht — sei es nun durch Maulwurfspflugkörper oder irgendein Lockerungsgerät — dann gibt es zwei Ergebnisse: entweder der Boden bröckelt oder er schmiert. Meistens tut er beides, d. h. er verhält sich nicht extrem. Je nachdem, ob mehr geschmiert oder mehr gebröckelt wird, muß das Ergebnis im Hinblick auf den Ertrag nachher sehr unterschiedlich sein. Denn immer dann, wenn geschmiert wird, wird homogenisiert und vorhandene grobe Poren zerstört. So wird die Struktur der einer Verdichtungszone sehr ähnlich. Man kann zwar an der Bodenoberfläche erkennen, ob der Boden bei der Bearbeitung schmieren oder bröckeln wird. Das Ergebnis kann man aber nicht immer direkt auf den Untergrund beziehen, weil die Neigung zum Schmieren mit zunehmender Auflast stets größer wird. Das heißt, der Feuchtigkeitsbereich in dem in größeren Bodentiefen gebröckelt statt geschmiert wird, wird mit zunehmender Bodentiefe immer kleiner.

DE BOODT: Ein zentrales Problem der Untergrundlockerung bildet die Krümelstabilität, das Problem ist verknüpft mit Fragen der Bodentextur der Feuchte u.a.m. Vor etwa zwei Jahren glaubten wir zu Beginn unserer Untersuchungen bei einem Boden mit hohem Tongehalt gute Erfolge durch Calcium zu erzielen. Es waren jedoch Gehalte von 1% Calcium — bezogen auf 0—2 μ in Prozent des Gesamtbodens — notwendig. Dabei steigt das pH zu weit. Wir mußten also einen anderen Krümelstabilisator suchen. Wir kamen auf Bitumen und beschäftigten uns mit den Arbeiten der Petroleum-Gesellschaften.

Es ist damit möglich, das Bodengefüge zu stabilisieren.

SCHULTE - KARRING : Eine Antwort auf die Frage, wie lange die Lockerungswirkung anhält, möchte ich mit einigen Bildern geben: Das Profil zeigt eine 65 cm tiefe Auflockerung, die im Jahr 1959 zusammen mit einer Tiefendüngung (Thomasphosphat, Kali, Kalkstickstoff) in einem Staunässeboden durchgeführt worden ist. Die Verteilung des Düngers war, wie Sie an dem kompakten Düngerband sehen, schlecht. An der gleichmäßigen braunen Färbung des gelockerten ehemaligen Graulehm-Löß-Pseudogleys aber ist zu erkennen, daß sich der Unterboden innerhalb von 6 $\frac{1}{2}$ Jahren sehr stark verändert d. h. verbessert hat. Der Meliorationserfolg bezieht sich, wie festgestellt wurde, auf die physikalischen, chemischen, biologischen und auch auf die mikromorphologischen Verhältnisse des Unterbodens. Die mikromorphologischen Untersuchungen haben beispielsweise ergeben, daß die Lockerung die Bildung neuer stabiler Poren zur Folge hatte. Diese Poren besitzen nicht mehr die für den ungelockerten Boden typischen Tonplasma-Auskleidungen. Das Fehlen des Tonplasmas ist der Grund für die beständige Durchlässigkeit der gelockerten Graulehme oder ähnlicher Böden. Es ist nicht anzunehmen, daß die hier erkennbare Meliorationswirkung der Untergrundlockerung und Tiefendüngung sehr bald wieder erlischt.

Wenn auch die Erfolge der Untergrundlockerung nicht immer so überzeugend sind, so ist diese Maßnahme dennoch im Vergleich zu der systematischen Rohrdränung bei allen Staunässeböden die richtigere. Nur mit der mechanischen Auflockerung ist es möglich, den gestörten Wasserhaushalt, d. h. das Speichervermögen dieser Böden wirksam zu verbessern. Diese Überzeugung hat mich veranlaßt, die Untergrundlockerung zur allgemeinen Anwendung zu empfehlen. Wir kämen natürlich nie auf die Idee, durchlässige Grundwasserböden oder Marschböden zu lockern! Ich beziehe die Empfehlung der allgemeinen Anwendung selbstverständlich nur auf alle Staunässeböden.

Die Kulturtechniker von Rheinland-Pfalz, mit denen wir eng zusammenarbeiten, haben sich von der guten Meliorationswirkung der Untergrundlockerung überzeugt und werden die Staunässeböden in Zukunft nur noch mit dieser Methode verbessern.

Die Untergrundlockerung muß natürlich richtig durchgeführt werden, wenn sie erfolgreich sein soll. So ist u. a. beispielsweise das tiefe Einbringen von kalkreichen Nährstoffen eine unumgängliche Notwendigkeit, um die feine Struktur des aufgelockerten Bodens über lange Zeit mit Hilfe einer chemischen und biologischen Stabilisierung zu erhalten.

Zu der Bezeichnung „Untergrundlockerung“ sei zu sagen, daß dieses Wort leider bei allen, auch bei den flachen Unterbodenbearbeitungen Anwendung findet. Die vorhin hier angeführten, meines Wissens nach nur 40 cm tiefen Lockerungen der Versuche von Dr. Rid werden beispielsweise auch mit „Untergrundlockerungen“ bezeichnet. Eine so flache Lockerung kann über den Wert der von uns gemeinten tiefen Untergrundlockerung nichts aussagen. Mit einer 40 cm tiefen Lockerung kann man den Wasserhaushalt der allgemindichten Staunässeböden nicht wirksam verändern!

GRUBINGER : Gestatten Sie, daß ich kurz zusammenfasse:

Es scheint mir so zu sein, daß wir alle Elemente, die pro und contra sprechen — seien sie nun geologisch bedingt oder lägen sie in Richtung Bodenphysik —

eigentlich kennen und daß es nun unsere Aufgabe ist, und auch beim heutigen Stand des Wissens sein kann, für gewisse, weit verbreitete Normalfälle immerhin Empfehlungen zu geben. Wir wissen allgemein schon, wo wir heute eine Maulwurfdränung, wo wir nur eine Untergrundlockerung zu empfehlen haben. Wir kennen genau die Fälle, wo wir systematisch dränen müssen.

Zu der Gefügestabilisierung wäre noch zu sagen, daß auch diese sich da und dort immer wieder aufdrängt, daß wir sie aber in Grenzbereichen, wie solche z. B. auf alpinen Weideböden gegeben sind, nie in Erwägung ziehen können. Hingegen müssen lokale Maßnahmen der Grünlandfachleute zusammen mit einer vernünftigen Bewirtschaftung und Düngung unterstützend dazu herangezogen werden. Wir kennen auf den Fleyschböden viele Verdichtungen durch Weidegang. Wesentlich erscheint mir, daß die kulturtechnische Seite mehr als bisher das alte Postulat von Herrn Ramsauer verfolgt, eine viel gründlichere Bodenaufnahme und die genaue Aufklärung der Boden-Wasserverhältnisse vorzunehmen. Daraus kann man seine Schlüsse ziehen und wird nicht primär die Dränenweisung als der Weisheit letzten Schluß betrachten.

SCHAFFER: Aus den Untersuchungen von Herrn Prof. Baumann geht hervor, daß die Einschlamm- und Ausspülmenge bei Tonröhren größer ist als bei Kunststoffrohren. Darf man daraus schließen, daß durch das Kunststoffrohr die Tonverlagerung und -auswaschung teilweise verhindert wird? Kann es dadurch zu einer Anreicherung von Abschlammbarem vor den Eintrittsöffnungen der PVC-Rohre und damit zu einer Abnahme der Leistungsfähigkeit kommen?

BAUMANN: So kompliziert sehe ich die Sache nicht. Es besteht die Tendenz, daß mit Verkleinerung der Eintrittsöffnung der Tongehalt des eingeschlämten Materials zunimmt. Auf alle Fälle ist er bei Verwendung von Glaswollfiltern stark erhöht. Der Sand wird zurückgehalten.

Weil die für die Diskussion vorgesehene Zeit bereits überschritten war, konnte Dr. Schulte-Karring einige Fragen nicht mehr beantworten. Ihm wird an dieser Stelle Gelegenheit gegeben, seinen Diskussionsbeitrag zu ergänzen:

SCHULTE-KARRING: Es ist meines Erachtens nicht richtig, die unterschiedlichen Erfolge der Untergrundlockerung in erster Linie der Verschiedenartigkeit der Böden oder des Klimas zuzuschreiben. Ich bin der Meinung, daß der Grund hauptsächlich in der unterschiedlichen Ausführung der Auflockerung zu finden ist.

Herr Prof. Hartge hat bereits angeführt, daß der Erfolg der Untergrundlockerung von der Feuchtigkeit des Bodens abhängt und diese Meliorationsmaßnahme sowohl zu einer wirksamen Verbesserung als auch zu einer Verschlechterung der Struktur führen kann. Die hier angeführte Bodenfeuchtigkeit ist zwar ein wichtiger, doch nur einer der vielen Faktoren, die den Umfang der Auflockerung und damit den Erfolg bestimmen. Die Lage, die Oberfläche und der Verdichtungsgrad des Bodens sowie die Leistungsfähigkeit und der Einsatz des Gerätes (Arbeitstiefe, Arbeitsbreite) sind weitere, für die Wirkung der Untergrundlockerung ausschlaggebende Faktoren.

Ich habe während der Jahre 1954 und 1955 die ersten Untergrundlockerungsversuche angelegt und konnte damals nur geringe Meliorationserfolge erzielen.

Erst später, nachdem ich wußte, wie man einen verdichteten Boden richtig auflockert, gelang es mir, die gleichen Böden zu ertragssicheren und in vielen Fällen zuckerrübenfähigen Kulturböden umzugestalten.

Wenn ich von Mißerfolgen höre oder lese, dann drängt sich mir die Frage auf, ob die Versuchsansteller überhaupt eine gründliche Auflockerung durchgeführt haben.

Was nützen beispielsweise die umfangreichen Untersuchungen eines Doktranden über die Auswirkungen der Untergrundlockerung in mehrjährigen Ertragsanlagen (Obstbau), wenn das mit wenig wirksamen Geräten durchgeführte Lockern keine wesentliche Strukturverbesserung sondern nur das Abreißen eines Teiles der wichtigen Saugwurzeln der Obstbäume zur Folge hatte. Solche wissenschaftlichen Arbeiten schaden der Sache nur, und deshalb sollte nicht jeder, der sich mit der Untersuchung von Untergrundlockerungen befaßt, von vorne beginnen, sondern man sollte viel mehr zusammenarbeiten, um auf dem Gebiete der Melioration der Staunässeböden weiterzukommen.

Bevor die von den Diskussionsrednern angeregten Lockerungsversuche durchgeführt werden, sollte man vor allem die mit der Untergrundlockerung und Tiefendüngung zusammenhängenden technischen Probleme gelöst haben. Die Versuche müßten dann mit einem serienmäßig hergestellten und für die Melioration großer Flächen in Frage kommenden Gerätetyp durchgeführt werden. Erst die Untersuchungsergebnisse der einheitlich durchgeführten Lockerungen würden miteinander vergleichbar sein.

Während der vergangenen Jahre hatte ich des öfteren Gelegenheit, Untergrundlockerungen zu begutachten, die in den verschiedensten Gegenden der Bundesrepublik angelegt worden waren. In allen Fällen, in denen die Melioration mißlungen war, lag es nicht am Boden, sondern an einer zu flachen Lockerung. Flache Lockerungen sind nur dann voll wirksam, wenn es mit der Zerstörung der Verdichtung (Pflugsohle, Ortstein) gelingt, den Anschluß an den darunterliegenden durchlässigen Unterboden zu erreichen. Die Auflockerungen der allgemeindichteten Böden müssen so umfangreich sein, daß der gelockerte Unterboden die gesamten Niederschläge zu speichern vermag. In den Fällen, in denen dieses Vorhaben nicht gelingt (muldige Lagen, Hanglagen, hohe Niederschläge) muß zusätzlich gedränt werden (Bedarfsdränung). Der Umfang der Bedarfsdränung richtet sich in erster Linie nach der Geländeform und -neigung, erst an zweiter Stelle nach der Höhe und Verteilung der Niederschläge. Der verdichtete, feinerdereiche Boden zerfällt einige Zeit nach der Auflockerung in eine sehr feine Struktur (Sekundär- und Selbstauflockerung). Mit dem Zerfall steigt sein Speichervermögen an, was wiederum das Ausmaß der Bedarfsdränung verringert. Man sollte deshalb erst lockern und dann, wenn es notwendig erscheint, bei trockenem Boden dränen. Die Annahme, daß die feine Struktur der gelockerten Böden durch ein Zuviel an Wasser zerfließt, ist zumindest bei unseren Böden nicht bestätigt worden. In einem 65 cm tief gelockerten und teilweise gedüngten Versuch (extrem toniger Graulehm) haben wir beispielsweise festgestellt, daß die Struktur der gelockerten Teilstücke trotz einer zeitweisen starken Vernässung gut erhalten geblieben ist. In diesem Fall handelt es sich um eine horizontal gelegene Fläche, deren Lockerungsfurchen während der regenreichen Jahre 1965 und 1966 wochenlang unter Wasser standen, weil die Lockerungstiefe von 65 cm nicht ausreichte.

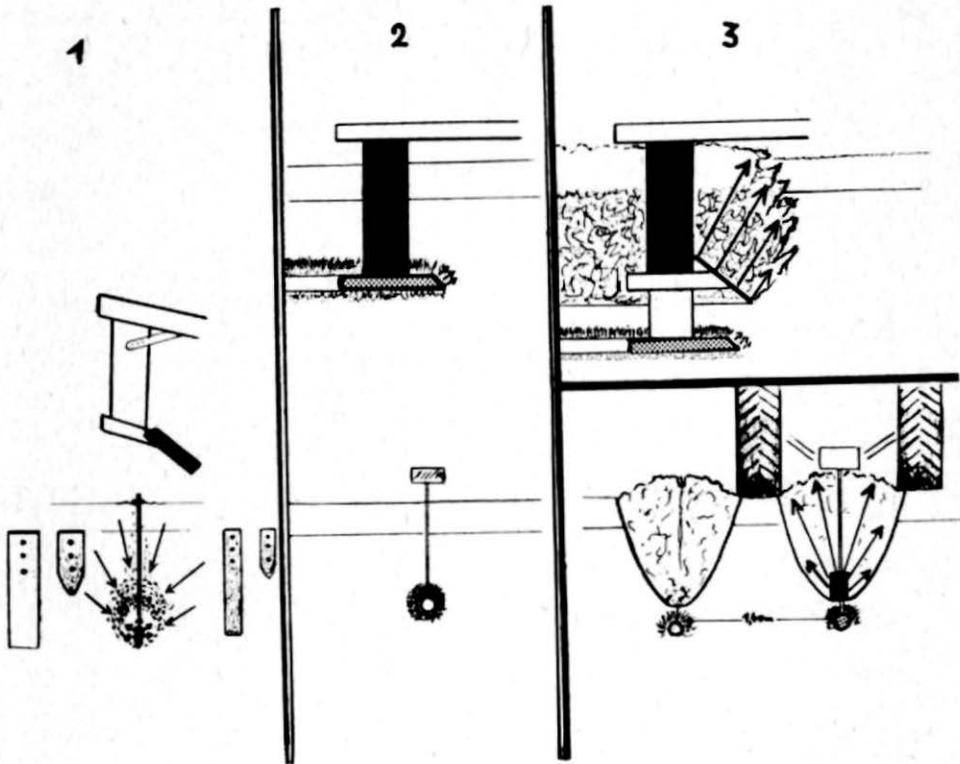


Abb. 13

Wir wollen es nun noch mit einer 90 cm tiefen Auflockerung versuchen, bevor wir eine Bedarfsdränung zur Abführung des überschüssigen Wassers vornehmen.

Der Hinweis auf die Gefahr, daß die Untergrundlockerung erneut zu einer tiefergelegenen „Pflugsohle“ führen könnte, ist meines Erachtens unbegründet. Selbst wenn man unterstellt, daß das Lockerungsschar eine Verdichtung hinterläßt, was mir im trockenen Boden kaum möglich erscheint, dann erstreckt sich diese Verdichtung auf nur wenige Zentimeter (Breite der Stirnwand des Lockerungsschar) und je nach Arbeitsbreite auf einen Abstand von 70 bis 140 cm. Wenn diese angenommene Verdichtung bei den „Pflugsohleböden“ keine Gefahr eines erneuten tieferen Wasserstaus darstellt, dann hat sie bei den allgemündichten Böden schon gar keine Bedeutung, weil der unter dem lockernden Schar liegende Boden (Staukörper) sowieso dicht lagert.

Die Frage nach den Lockerungsvermögen eines Maulwurf-Dränkörpers berührt eine der vielen technischen Fragen, die mit der Untergrundlockerung verbunden sind. Die technischen Probleme der Untergrundlockerung werden besonders deutlich, wenn man das Lockerungsvermögen der einzelnen Geräte überprüft. Unter den z. Z. serienmäßig hergestellten 14 Typen gibt es kein Gerät,

mit dem man den Unterboden in der von uns gewollten und mit einem umgebauten Gerät in unseren Versuchen durchgeführten Weise verbessern kann. Keines der Lockerungsgeräte ist beispielsweise mit einer Tiefendüngungsanlage ausgestattet. Das ist aber nur ein Mangel. Andere schwerwiegendere Mängel sind an den Lockerungsscharen vorhanden. Das an einem Schwert angebrachte Lockerungsschar (Abb. 13/1), und zwar dessen Größe, Form und Schrägstellung bestimmen den Umfang der Auflockerung. Je kleiner (schmal oder abgefahren) das Schar ist, desto geringer ist die von diesem Schar ausgehende Hubkraft. Diese zu geringe Hubkraft kleiner Schare ist vergleichbar mit der Wirkung des Dränkörpers. Auch bei dem Maulwurfdränkörper ist die für die Lockerung maßgebende Fläche an der Stirnwand viel zu klein, um eine größere Bodenlast anheben und aufbrechen zu können. Bei dem Eberhardt - Dränkörper ist die Lockerungsfläche beispielsweise 800 mm^2 groß — die für eine 60 cm tiefe Auflockerung geforderte Schargröße beträgt dagegen 5000 mm^2 (Abb. 13/2).

Ich kenne kein Gerät, das eine stabile Röhre hinterläßt und den Unterboden gleichzeitig intensiv auflockert. Wenn ein ausgeprägtes Lockerungsschar fehlt, dann kann es zu keiner guten Auflockerung kommen, und wenn es vorhanden ist, dann bleibt die gewünschte Röhre in dem aufgelockerten Boden nicht erhalten. Beides, sowohl eine Röhre als auch eine gute Auflockerung, kann es nur dann geben, wenn der Dränkörper an dem verlängerten Schwert unterhalb des Lockerungsschares angebracht wird (Abb. 13/3).

Die gegenseitige Ergänzung von Boden- und Vegetationskarten bei der Standorterkundung

Von Dr. H. Colin, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld
Dr. E. Foerster, Forschungsstelle für Grünland und Futterbau, Kleve-Kellen

Einleitung

Die Voraussetzung für jede landwirtschaftliche Planung ist eine eingehende Kenntnis der verschiedenen Standorte. Die gebräuchlichsten Methoden der Standortbeschreibung sind bodenkundliche oder vegetationskundliche Angaben, vor allem Boden- und Vegetationskarten.

Auf den Bodenkarten wird angegeben, welche Einzelfaktoren, wie z. B. Bodenart, Bodenartenschichtung, Grundwasserstand usw., am Standort wirksam werden. Daneben werden auch Faktorenkomplexe, z. B. die typologische Entwicklung des Bodens, zur Standortbeschreibung herangezogen. Alles in allem gibt die Bodenkarte jedoch eine analysierende Beschreibung des Standortes. Dabei muß berücksichtigt werden, daß die mögliche Genauigkeit der Einzelangaben sehr verschieden sein kann und daß sich die Verbreitung der einzelnen Bodeneigenschaften nur stichprobenartig bestimmen läßt.

Die Vegetationskarte beschreibt den Standort durch die Angabe der Pflanzengesellschaft, die das Zusammenwirken aller am Standort auftretenden Einzelfaktoren wiedergibt. Ein Vorteil der Vegetationskartierung liegt dabei darin, daß Pflanzengesellschaften relativ gut definierbar, gut klassifizierbar und vor allem auch gut reproduzierbar sind. Außerdem läßt sich die Verbreitung einer Pflanzengesellschaft wesentlich leichter und genauer festlegen als die einer bodenkundlichen Kartiereinheit. In vielen Fällen erscheint die Vegetationskarte vor allem deswegen als unentbehrliche Ergänzung der Bodenkarte, weil die Pflanzengesellschaft auf Veränderungen des Standorts zwar langsam genug reagiert, um nicht jede Schwankung der Jahreswitterung wiederzugeben, im Vergleich zum Bodenprofil aber sehr schnell, so daß die Pflanzengesellschaft oft den gegenwärtig wirksamen Einfluß eines Faktors — besonders der Bodenfeuchte — besser wiedergibt als die Bodenkarte.

Seit 1960 werden in Nordrhein-Westfalen Boden- und Vegetationskartierungen zur Standorterkundung durchgeführt. Die Karten stehen den Landwirtschaftsdienststellen, den Wasserwirtschaftsämtern und den Ämtern für Flurbereinigung und Siedlung für deren Planungen zur Verfügung. An einfachen Beispielen aus einer dieser Kartierungen wird gezeigt, wie sich Boden- und Vegetationskarten auf Grund ihrer teilweise unterschiedlichen Aussage zu einer umfassenderen Beschreibung des Standortes ergänzen.

Das Kartiergebiet

Das Kartiergebiet liegt im Ostmünsterland zwischen dem Oberlauf von Ems und Lippe. Es umfaßt den Bereich des Bokel-Mastholter Wasser- und Boden-

verbandes. Morphologisch handelt es sich um ein fast vollständig ebenes Gebiet, das nur durch ganz seicht eingetieft Bachrinnen und flache Dünenrücken gegliedert wird. Die Höhenunterschiede betragen nicht mehr als 6 m. Die Ablagerungen des Untersuchungsgebietes bestehen vorwiegend aus fluviatilen Mittel- bis Feinsanden des Pleistozän, die teilweise äolisch umlagert sind. Im Nordwesten, rund um den östlichsten Ausläufer der Beckumer Berge, sind stark schluffige Feinsande verbreitet. Modifiziert wird dieses einförmige Bild nur durch einige Vorkommen geringmächtiger, lehmig-toniger Hochflutablagerungen im Norden und Westen sowie einiger Niedermoorvorkommen. Der Untergrund des Gebietes wird von Tonmergeln der Oberkreide gebildet, die in etwa 8—20 m Tiefe unter der Oberfläche anstehen.

Pflanzensoziologie des Gebietes

Die Vegetationskartierung Mastholte beschränkt sich auf die Pflanzengesellschaften des Grünlandes. Im Untersuchungsgebiet ist die Tendenz zur Weidenutzung sehr ausgeprägt, so daß die Weidelgrasweide — *Lolio-Cynosuretum* — die am häufigsten vertretene Pflanzengesellschaft darstellt. Sie tritt vorwiegend in ihren feuchteren Untereinheiten auf. Zerstreut findet sich auch die Rotschwingelweide — *Festuco-Cynosuretum* —, die auf nährstoffärmeren Standorten im gleichen Feuchtigkeitsbereich wie die Weidelgrasweide vorkommt. Die Mähwiese dieses Feuchtebereichs, die Glatthaferwiese — *Arrhenatheretum* — ist nur auf einzelnen Parzellen vertreten. Das Grünland der nicht weidefähigen Standorte wird vor allem von der Wassergreiskrautwiese — *Bromo-Senecionetum* — gestellt, die im Gebiet vorwiegend verbreitete Gesellschaft des Sumpfdotterblumenwiesenverbandes — *Calthion* — darstellt. Vereinzelt, vielleicht durch basenreicheres Grundwasser bedingt, kommt aus diesem Verband auch die Kohldistelwiese — *Cirsio-Polygonetum* — vor. Weiterhin finden sich mit kleinerem Anteil die Binsen-Pfeifengraswiese — *Junco-Molinietum*, eine stickstoffbeeinflusste Ausbildung der Hundsstraußgras-Grauseggengesellschaft — *Agrosti-Caricetum canescentis*, verschiedene, meist fragmentarische Großseggengesellschaften und schließlich die Flutschwaden-Untergesellschaft des Knickfuchsschwanzrasens — *Alopecuro-Rumicetum crispum*, Subass. v. *Glyceria fluitans*. Für das Gebiet charakteristisch ist das Fehlen der trockenen Untergesellschaften der Frischwiesen und -weiden und die vorherrschende Weidenutzung, die auf den nasser Standorten durch die sandige, kaum plastische Bodenart ermöglicht wird.

Beispiel 1

Beim ersten Beispiel wird eine Bodenkarte aus einem bodenartlich weitgehend einheitlich aufgebauten Bereich des Bokel-Mastholter Boden- und Wasserverbandes mit der Vegetationskarte und der daraus ableitbaren Feuchtestufenkarte verglichen. Die Böden bestehen hier aus Mittel- bis Feinsanden und die auf der Bodenkarte ausgeschiedenen Kartiereinheiten sind in erster Linie Bereiche mit unterschiedlichem Grundwassereinfluß. Um derartige Bereiche ausgrenzen zu können, wurde sowohl der aktuelle Grundwasserstand als auch die hier gut feststellbare Obergrenze des Gr-Horizontes verfolgt. Ferner wurde die typologische Ausbildung des Bodenprofils berücksichtigt.

Die Angabe des „durchschnittlichen“ Grundwasserstandes dient bei der Kartierung Mastholte dem Vergleich des Feuchtezustandes in den verschiedenen Kartiereinheiten. Der aktuelle Grundwasserstand weicht in Abhängigkeit von den Niederschlägen kurzfristig erheblich davon ab. Grundwasserspiegelschwankungen von 1 m und mehr innerhalb eines Monats sind hier nicht selten.

Durch künstliche Übersandung der anmoorigen bis moorigen Bereiche sowie durch Auftrag von humosem Bodenmaterial (Plaggendüngung) treten Modifikationen der angeführten Kartiereinheiten auf.

Pflanzensoziologie — Folgerungen

Da die Darstellung als Karte der Pflanzengesellschaften etwas unübersichtlich ist, weil die besonders interessierenden Feuchteabstufungen nur wenig augenfällig sind, wird aus der Karte der Pflanzengesellschaften eine Feuchtestufenkarte abgeleitet. Die Feuchtestufen sind gleichzeitig Nutzungseignungsstufen. Zum unmittelbaren Vergleich zwischen Boden- und Vegetationskarte wird im folgenden die Feuchtestufenkarte verwendet.

Im vorliegenden Beispiel finden wir eine weitgehende Übereinstimmung in der Aussage beider Karten. Acker und ackerfähiges Grünland treten auf Podsol-Gley und Gley-Podsol sowie auf den Plaggenböden auf, das weidefähige Grünland auf Gley, nicht oder beschränkt weidefähiges Grünland auf Naßgley und Anmoorgley, wobei der letztere Standort durch Sandauftrag in verschiedenem Maße günstig beeinflusst wird.

Beispiel 2

Die stärkere Differenzierung der Feuchteverhältnisse durch die pflanzensoziologische Kartierung läßt das zweite Beispiel klar erkennen. Die Bodenkarte zeigt eine sowohl bodenartlich als auch bodentypologisch gleichförmige Fläche. Es handelt sich um Gleye und Podsol-Gleye auf Mittel- bis Feinsanden in so eng-räumigem Wechsel, daß es selbst bei einer Kartierung im Maßstab 1:2000 nicht möglich wäre, die beiden Bodenformen zu trennen. Der durchschnittliche Grundwasserstand liegt zwischen 0,4 und 0,8 m u. O.

Pflanzensoziologie — Folgerungen

Während die Bodenkartierung in diesem Beispiel auf praktisch nicht überwindliche Schwierigkeiten bei der Abgrenzung von feuchtebedingten Kartiereinheiten stößt, z. T. weil in dem ebenen Gelände auch die Geländemorphologie keine Hilfestellung bietet, zeigt die Vegetationskarte ein in den Feuchtestufen ziemlich reich gegliedertes Bild. Die großen Zusammenhänge, etwa Acker auf Plaggenboden, Grünland auf Gley bis Naßgley bleiben allerdings auch hier gewahrt. Eine an dieser Stelle auftretende Diskrepanz — Acker auf Gley/Naßgley — ist wahrscheinlich durch relativ junge künstliche Grundwasserabsenkung infolge Dränung zu erklären.

Beispiel 3

Daß Unterschiede sowohl in der Bodenart und Bodenartenschichtung als auch in den Grundwasserverhältnissen von der Vegetationskarte unter Umständen nicht wiedergegeben werden, zeigt das dritte Beispiel.

Auf der Bodenkarte sind hier drei Bereiche mit verschiedenem Bodenarten-
aufbau ausgegrenzt. Es finden sich Böden, die aus Mittel- bis Feinsanden auf-
gebaut sind (1), neben Böden, die über dem Sand noch eine Decke von lehmig-
tonigen Hochflutablagerungen tragen (2). Außerdem sind besonders im westlichen
Teil der Karte Böden aus schluffigen bis lehmig-schluffigen Feinsanden verbrei-
tet (3). Während bei den reinen Sandböden (1) und den Sandböden mit Hochflut-
lehmdecke (2) das Grundwasser im Durchschnitt in 0,4—0,8 m u. O. steht, ist es
im Bereich der schluffigen Feinsandböden (3) erst in 0,8—1,3 m Tiefe u. O. anzu-
treffen. Eingesprengt in die angeführten, weiter verbreiteten Böden treten auf
dem Kartenblatt noch mit unterschiedlicher Bodenartenschichtung sowohl feuch-
tere Böden, z. B. Nass-, Anmoor- und Moorgleye, als auch trockenere Böden, z. B.
Esche und Gley-Braunerden auf.

Pflanzensoziologie — Folgerungen

Während auf den Sandböden mit und ohne Hochflutlehmdecke bei hohem
Grundwasser (1,2) die gleichen Beziehungen zwischen Boden- und Vegetations-
karte bestehen wie in den bisher besprochenen Beispielen, verschiebt sich das
Bild auf den schluffigen Feinsandböden (3). Die Pflanzengesellschaften zeigen
nicht mehr die gleichen Grundwasserstufen an wie bisher, vielmehr wird der
Grundwassereinfluß überlagert von dem Einfluß der auch bodenkundlich fest-
stellbaren Staunässe im Oberboden. Die Vegetationskarte ermöglicht es hier, die
nach dem Bodenprofil schwer einzuschätzende pflanzenbauliche Wirksamkeit der
Staunässe zu fassen. Andererseits ist die Tatsache, daß hier ein gewisser Wechsel
in der Aussage der Vegetationskarte vorliegt, erst im Vergleich mit der Boden-
karte zu erkennen.

Unsere Beispiele wurden aus routinemäßigen Kartierungen nach sehr zufäl-
ligen Gesichtspunkten ausgewählt. Solche Kartierungen können naturgemäß
nicht alle Möglichkeiten der bodenkundlichen und vegetationskundlichen Methode
ausschöpfen. Es war unsere Absicht zu zeigen, daß unter solchen Bedingungen
die kombinierte Auswertung beider Karten zu einer wesentlich vollständigeren
Erfassung des Komplexes „Standort“ führt als die Auswertung einer von beiden
Karten allein.

Zusammenfassung

In Nordrhein-Westfalen werden seit 1960 Boden- und Vegetationskartierungen
zur landwirtschaftlichen Standorterkundung durchgeführt. An einigen Beispielen
aus diesen Kartierungen wird gezeigt, wie sich Boden- und Vegetationskarten
in ihrer Aussage ergänzen. Die kombinierte Auswertung beider Karten ver-
mittelt eine wesentlich umfassendere Kenntnis der Standorte, als die Betrachtung
nur einer Karte.

Der bodenkundliche Teil der Darstellung wurde von Dr. H. COLIN, der pflanzen-
soziologische von Dr. E. FOERSTER verfaßt.

Literatur

- Colin, H., 1965: Grundlagen, Möglichkeiten und Ziele einer Bodenkartierung als
Beitrag zur landwirtschaftlichen Standorterkundung. Z. f. Kulturtechnik 6, S. 21—35.
Franz, H., 1960: Feldbodenkunde. Verlag G. Fromme, Wien.

- Klapp, E., 1959: Die Vegetationskartierung als Mittel zur Beurteilung des Wasserhaushaltes für die Bodennutzung, insbesondere zur Planung und Überwachung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen. Verb. d. Europäischen Landwirtschaft — CEA, Mitt. Nr. 2, Brugg/Schweiz.
- , 1965: Grünlandvegetation und Standort. Verlag Parey, Berlin und Hamburg.
- Kubiena, W. L., 1948: Entwicklungslehre des Bodens. Verlag Springer, Wien.
- Mückenhause, E., 1961: Bodenkundliche Untersuchungsmethoden. In: A. Bentz, Lehrbuch der angewandten Geologie. Verlag Encke, Stuttgart.
- , 1962: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. Verlag DLG, Frankfurt/Main.
- Sadownikow, J. F., 1958: Bodenkundliche Untersuchungen sowie deren Auswertung durch Bodenkarten. Akademie-Verlag, Berlin.
- Tüxen, R., 1954: Die Wasserstufenkarte und ihre Bedeutung für die nachträgliche Feststellung von Änderungen im Wasserhaushalt einer Landschaft. Angewandte Pflanzensoziologie H. 8, S. 31—36.

Bodenkartierung und Pflanzenökologie als Hilfsmittel zur Kennzeichnung des Wasserhaushaltes von Böden

dargestellt an der Bodenkarte 1:25 000 Ansbach Süd

Von Th. Diez und O. Wittmann, Bayerisches Geologisches Landesamt,
München

I. Bodenkartierung (DIEZ)

Die Bodenkartierung als Hilfsmittel zur Kennzeichnung des Wasserhaushaltes fußt auf der Erkenntnis, daß sich die hydrologischen Eigenschaften eines Bodens seinem Profilbild mitteilen. Ziel der Bodenkartierung in hypopedologischer Hinsicht ist es, Böden mit gleichem oder ähnlichem Wasserhaushalt in der Karte zur Darstellung zu bringen und die den Wasserhaushalt betreffenden Profilvermerkmale richtig zu deuten.

In der Bundesrepublik ist seit einigen Jahren die Bodenkartierung auf typologischer Grundlage im Maßstab 1:25 000 angelaufen. Im vergangenen Jahr erschienen die von der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde der Geologischen Landesämter in jahrelanger Zusammenarbeit erstellten Richtlinien für die Herstellung dieses modernsten Bodenkartenswerkes (Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde 1965), das damit auf eine bundeseinheitliche Grundlage gestellt ist. Anhand des soeben im Druck erschienenen Blattes Ansbach Süd (1966) soll kurz auf den Inhalt einer Bodenkarte im Maßstab 1:25 000 hingewiesen werden, soweit er die Kennzeichnung des Wasserhaushalts betrifft.

Ein erster Blick auf die Karte zeigt bereits an der Farbverteilung die hydrologische Verschiedenheit der Böden: die braunen Farben stellen die trockenen, als Flächen nicht entwässerungsbedürftigen Böden dar, die roten die schweren Tonböden ohne erkennbare Nässemerkmale, die grauen die Staunässeböden der Hochflächen, die blauen die grundwasserbeeinflussten Talböden. Mischfarben, Schraffen und Wellensignaturen werden zur Feinabstufung des Vernässungsgrades verwendet.

Neben der Darstellung des typologischen Profilprägung wird besonderer Wert auf die Bodenart gelegt. Insbesondere werden Art und Tiefenlage wasserstauer Schichten des Unterbodens, in der Regel bis zu 1 m Tiefe, sorgfältig erfaßt und zur Darstellung gebracht. Weitere Definitionsmerkmale der Bodeneinheit sind ihre Entwicklungstiefe und ihr Ausgangsmaterial. Mit dem Ausgangsmaterial wird ein ganzer Eigenschaftenkomplex umrissen, der den Böden vom geologischen Substrat her vererbt ist. Außerdem erfolgt dadurch die gerade für Wasserregelungsverfahren so wichtige Kennzeichnung des Untergrundes.

Die Registrierung all dieser am Bohrstock bzw. Aufschluß ablesbaren Merkmale erlaubt, weitgehende Rückschlüsse auf den Wasserhaushalt eines Bodens zu ziehen. Voraussetzung ist allerdings, daß die bodeneigenen Kriterien, also die Merkmale des Bodentyps, in ihrer Aussagekraft geeicht und kritisch überprüft

werden. Daß beispielsweise starke Naßbleichung, Konkretionen oder Fleckigkeit stets Anzeichen einer starken Vernässung darstellen, darf nicht ohne weiteres als selbstverständlich angenommen werden. Im Gebiet alter Rumpfflächen, wie z. B. auf Blatt Ansbach Süd, sind intensive Nässemerkmale häufig das Ergebnis einer sehr alten Bodenbildung; das weitgehend irreversible Profilgepräge stark naßgebleichter Pseudogleye spiegelt u. U. heute die hydrologischen Verhältnisse einer längst vergangenen Zeit wider. Ähnliches gilt bei Grundwasserabsenkungen für Gleyböden. Umgekehrt lassen schlecht zeichnende Böden trotz starker Vernässung häufig nur geringe Nässemerkmale erkennen. In niederschlagsreichen Klimaten treten gelegentlich starke Nässeschäden durch kurzzeitige Wasserübersättigung oder Überstauung auf, die sich im Profilbild nicht oder kaum anzeigen.

Alle diese Fakten müssen berücksichtigt werden, wenn man grobe Fehler bei der hypopedologischen Ausdeutung des Profilbildes vermeiden will. Aufgabe und Chance des Kartierers ist es deshalb, im Gelände die mannigfachen Hinweise auf den ökologisch wirksamen Wasserhaushalt der Böden zu sammeln und mit dem Profilbild zu korrelieren. Wertvolle Hinweise liefern beispielsweise die Bodennutzung, die Vegetation und Vegetationsentwicklung, Bodenfeuchtebeobachtungen am Bohrstock, die Schnelligkeit des Abtrocknungsprozesses im Frühjahr und nach Starkregen, Nässe- und Bearbeitungsschäden usw. Eine weitere, nicht zu unterschätzende Erkenntnisquelle ist das Gespräch mit den Bodenbewirtschaftern, für das sich während der Kartierung immer reichlich Gelegenheit bietet.

Im Laufe einer meist zweijährigen Geländearbeit gewinnt der Kartierer auf diese Weise recht gute Vorstellungen vom Wasserhaushalt der Böden, die in den Erläuterungen zur Bodenkarte ihren Niederschlag finden.

(Verfasser zeigt anschließend die Profilbilder der verbreitetsten Bodeneinheiten des Blattes Ansbach Süd im Farbbild und erläutert sie in bezug auf ihren hydrologischen Aussagewert.)

II. Pflanzenökologie (WITTMANN)

In den Erläuterungen zu den Bodenkarten 1:25 000 ist jeweils ein Kapitel über die Pflanzendecke vorgesehen. Dieser Abschnitt soll sich nicht in einer Beschreibung der vorkommenden Gesellschaftseinheiten erschöpfen. Vielmehr kann, wie schon in den vorhergegangenen Vorträgen bemerkt wurde, die ökologische Aussagekraft der Pflanzengesellschaften und insbesondere der Zeigerwert von kennzeichnenden Pflanzengruppen die Erkenntnisse der Bodenkunde über den Standort oft wesentlich ergänzen und verfeinern. Dies gilt besonders für Faktoren, die meist nur durch langwierige Meßreihen erfaßbar sind, wie z. B. die Wasserverhältnisse. So können durch eine auf ökologische Gesichtspunkte ausgerichtete Auswertung von Pflanzenaufnahmen einmal die einzelnen Bodeneinheiten eines Gebietes hinsichtlich ihrer durchschnittlichen Wasserverhältnisse zueinander in Relation gebracht werden; andererseits können Anhaltspunkte für die Variationsbreiten gewonnen werden, die im Wasserhaushalt innerhalb der Einheiten möglich sind. Methodisch bieten sich hierfür bei Grünland- und Ackerunkrautgesellschaften die Feuchte- bzw. Wasserhaushaltszahlen nach ELLENBERG (1950, 1952) an. Wiesengesellschaften liefern dabei die sichersten Werte. Aber auch

Ackerunkrautgesellschaften sind durchaus brauchbar. Im Gelände lassen sich die feuchteren oder trockeneren Varietäten einer Bodeneinheit am besten durch Differentialarten lokalisieren. Diese ermöglichen auch eine weitere Aufteilung der Bodeneinheiten der Karte, was für denjenigen bedeutsam ist, dem der Maßstab zu klein erscheint.

Vorbedingung für solche Untersuchungen ist, daß für jede Pflanzenaufnahme der Profilaufbau wenigstens durch Bohrung festgestellt wird und die vegetationsstatistische Auswertung des Aufnahmematerials nach Bodeneinheiten getrennt geschieht.

Bei den Erläuterungen zu Blatt Ansbach Süd haben wir diesen Weg erstmals eingeschlagen. Die Ergebnisse seien in den folgenden Übersichten kurz dargestellt.

Die Abbildung 1 gibt die Feuchtezahlen von Wiesengesellschaften auf verschiedenen Bodeneinheiten wieder. Um Fehlerquellen möglichst auszuschalten,

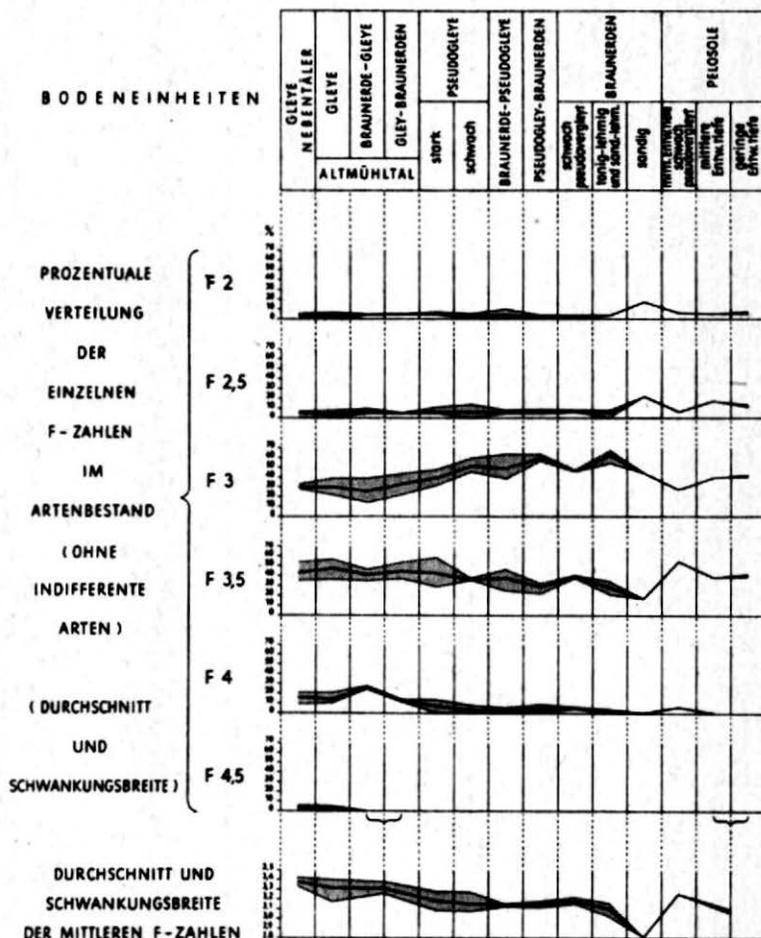


Abb. 1: Feuchtezahlen von Grünlandgesellschaften auf verschiedenen Bodeneinheiten des Blattes Ansbach Süd

wurden nur gleichartig bewirtschaftete Aufnahmeflächen verglichen. Die mittleren Feuchtezahlen der unteren Kurve errechnen sich aus den Feuchtezahlen der einzelnen Arten eines Bestandes, wobei von den Extremzahlen die Feuchtezahl F 1 solchen Arten zukommt, die auf sehr trockenen Standorten gedeihen und F 5 solchen, die auf nassen, niemals austrocknenden Böden wachsen.

Die Kurve der mittleren Feuchtezahl als Charakteristikum des durchschnittlichen Feuchtegrades des Bodens zeigt, von den Gleyen der Nebentäler angefangen, über die Pelosol-Gleye des Altmühltals, über die Pseudogleye bis zu den Braunerden eine ständig fallende Tendenz, die bei der sandigen Braunerde ihren tiefsten Punkt erreicht. Beim pseudovergleyten Pelosol steigt sie wiederum stark an, um bei den nicht staunässebeeinflussten Pelosolen etwa auf das bei Braunerde-Pseudogleyen und Pseudogleye-Braunerden ermittelte Maß herabzusinken. Die Schwankungsbreiten der mittleren F-Zahlen sind bei den Gleyen und Pseudogleyen verhältnismäßig hoch. Es kommt zu Überschneidungen, die manche Pseudogleye der Hochflächen feuchter erscheinen lassen als Gleye des Altmühltals.

Die mittlere Feuchtezahl läßt sich aufschlüsseln, indem man die prozentualen Anteile von Trockenheits- und Feuchtezeigern sowie von Zeigern für ausgeglichene Wasserverhältnisse in die Betrachtung einbezieht. Hier zeigt sich von den schwachen Pseudogleyen an über Braunerde-Pseudogleye, Pseudogleye-Braunerden bis zu den lehmigen Braunerden ein relativ hoher Anteil an Arten mit der Feuchtezahl 3, die für ausgeglichene Wasserverhältnisse kennzeichnend ist. Sowohl bei den Gleyen als auch bei der sandigen Braunerde und den Pelosolen nehmen die Vertreter dieser Gruppe ab. Bei der sandigen Braunerde ist dies auf ein deutliches Hervortreten von Arten der zu trockenen Seite hinneigenden Gruppen 2 und 2,5 zurückzuführen. Hingegen wachsen bei den Pseudogleyen in Richtung zu den Gleyen und bei den Pelosolen in Richtung zum pseudovergleyten

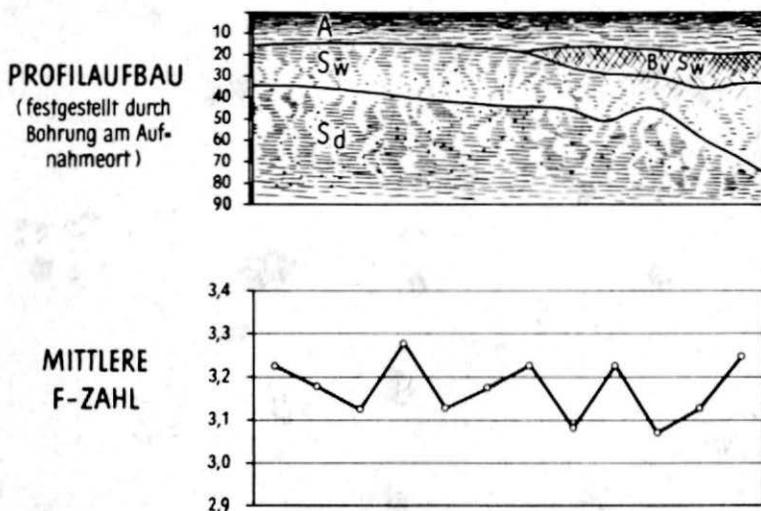
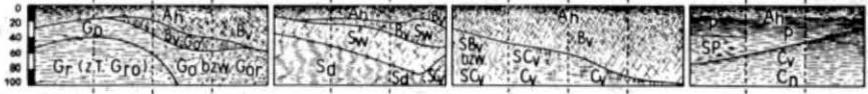


Abb. 2:
Mittlere Feuchte-
zahlen von Grün-
landgesell-
schaften auf
Pseudogleyen
mit fossilen
Merkmalen auf
Blatt Ansbach
Süd

**VERBREITUNG EINIGER ARTEN
AUS GRÜNLANDGESELLSCHAFTEN
DES BLATTES ANSBACH-SÜD
AUF VERSCHIEDENEN
BODENEINHEITEN**

GLEYE NEBENTÄLER	GLEYE	BRAUNERDE-GLEYE	GLEY- BRAUNERDEN	PSEUDOGLEYE		BRAUNERDE-PSEUDOGLEYE	PSEUDOGLEY- BRAUNERDEN	BRAUNERDEN		PELOSOLE	
				stark	schwach			schwach pseudovergl.	tonig-lehmig und sand-lehm.	sandig	mittl. Entw.tiefe
ALTMÜHLTAL											

PROFILAUFBAU
(festgestellt durch Bohrung
am Aufnahmeort)



- Trollius europæus*
- Cirsium oleraceum*
- Filipendula ulmaria*
- Geum rivale*
- Silaum silaus*
- Sanguisorba officinalis*
- Colchicum autumnale*
- Ranunculus auricomus*
- Lathyrus pratensis*
- Lotus uliginosus*
- Myosotis palustris*
- Lychnis flos cuculi*
- Lysimachia nummularia*
- Ajuga reptans*
- Ranunculus repens*
- Cardamine pratensis*
- Vicia sepium*
- Glechoma hederaceum*
- Archenatherum elatius*
- Dactylis glomerata*
- Bromus hordeaceus ssp. mollis*
- Heracleum sphondylium*
- Geranium pratense*
- Plantago media*
- Ranunculus bulbosus*
- Galium verum*

- (Trollblume)
- (Kohldistel)
- (Mädesüß)
- (Bach-Nelkenwurz)
- (Wiesensilge)
- (Gr. Wiesenknopf)
- (Herbst-Zeitlose)
- (Gold-Hahnenfuß)
- (Wiesen-Platterbse)
- (Sumpf-Hornklee)
- (Sumpf-Vergißmeinnicht)
- (Kuckucks-Lichtnelke)
- (Pfennigkraut)
- (Kriechender Günsel)
- (Kriechender Hahnenfuß)
- (Wiesen-Schaumkraut)
- (Zaun-Wicke)
- (Gundelrebe)
- (Glatthafer)
- (Wiesen-Knäuelgras)
- (Weiche Tresse)
- (Wiesen-Bärenklau)
- (Wiesen-Storchschnabel)
- (Mittlerer Wegerich)
- (Knolliger Hahnenfuß)
- (Echtes Labkraut)

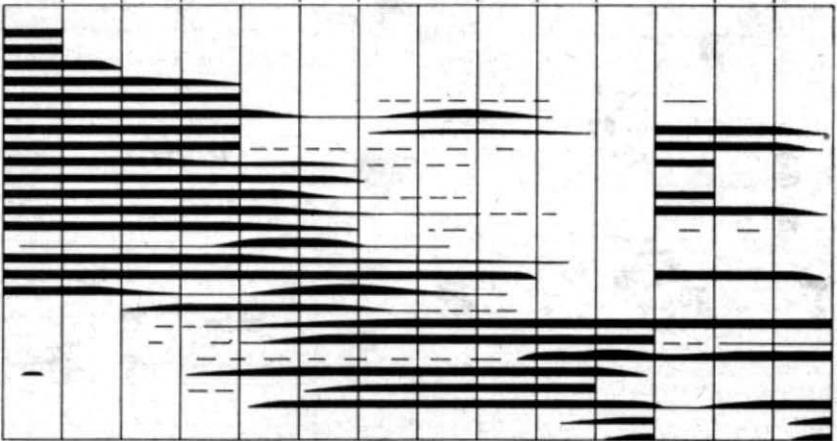


Abb. 3

Pelosol die Anteile der Frische- und Feuchtezeiger der Gruppen 3,5, 4 und 3,5 progressiv an, wobei Arten der Gruppe 4,5 nur auf Gleyen vorkommen.

In der Abbildung 2 werden die mittleren F-Zahlen von Wiesengesellschaften auf Pseudogleyen dem Profilaufbau gegenübergestellt, um die Schwankungsbreiten näher aufzuzeigen. Alle Standorte befinden sich in ebener Lage und auch hinsichtlich ihres Bodenartenaufbaus sind sie vergleichbar. Es zeigen sich beträchtliche Schwankungen, die nicht mit dem zum Teil fossilen Profilbild in Übereinstimmung zu bringen sind. Ihr Ausmaß wird daran deutlich, daß die oberen Werte an die Durchschnittszahlen der Gleye heranreichen, während die unteren im Braunerdebereich liegen. Für die Aussagekraft der Feuchtezahlen spricht, daß die Schwankungen bei den Übergangstypen zu den Braunerden und bei den Braunerden selbst viel geringer sind (Abb. 1). Auch hat sich in Gebieten mit jungen, ausschließlich im Spät- und Postglazial gebildeten und nicht von fossilen Merkmalen überprägten Böden eine ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen mittleren Feuchtezahlen und den Wasserverhältnissen, wie sie auf Grund der profilmorphologischen Ansprache unter Berücksichtigung der klimatischen Gegebenheiten vermutet werden, ergeben (vgl. WITTMANN 1967).

Bei der Geländearbeit ist es umständlich, mit den Feuchtezahlen zu arbeiten. Differentialarbeiten, die auf die Bodeneinheiten zugeschnitten sind, lassen sich rascher handhaben. Auf der Abbildung 3 ist die Verbreitung kennzeichnender Arten auf verschiedenen Bodeneinheiten des Blattes Ansbach Süd von den Gleyen bis zu den sandigen Braunerden und Pelosolen dargestellt. Es sollen uns nur die Pseudogleye interessieren. Auf ihnen kommen Arten der Gleye und der Braunerden zusammen vor. Mit dem Vorherrschen der einen oder der anderen Gruppe läßt sich eine auf Unterschieden im Wasserhaushalt beruhende Gliederung der Pseudogleye vornehmen. Die Arten der Braunerden deuten dabei weniger auf Trockenphasen, als vielmehr auf ausgeglichene Wasserverhältnisse hin.

Auch bei Ackerunkrautgesellschaften kann man in gleicher Weise verfahren. Die Kurven verlaufen hier umgekehrt, weil die nasseliebenden Ackerunkräuter durch die Wasserhaushaltszahl W 1 und die trockenheitsertragenden durch W 5 charakterisiert werden. Die mittleren Wasserhaushaltszahlen der Tabelle 1 weisen von den Pseudogleyen zu den pseudovergleyten Braunerden und zu den

Tabelle 1:

Wasserhaushaltszahlen von Ackerunkrautgesellschaften auf verschiedenen Bodeneinheiten des Blattes Ansbach Süd

		Pseudogleye	Pseudogley-Braunerden und pseudovergleyte Braunerden	sandig-lehmige Braunerden	Kalkhaltige Pelosole und Tonmergelrendzinen
Mittlere Wasserhaushaltszahl W	Durchschnitt	2,61	2,78	2,95	3,00
	Schwankungsbreite	2,45—2,75	2,63—2,90	2,89—3,00	2,78—3,15

Braunerden zunehmend trockenere und ausgeglichene Verhältnisse aus. Das Ansteigen der Werte wird hauptsächlich durch das Zurücktreten von Nässezeigern verursacht. Bei den Tonmergelrendzinen mit mittleren Werten von über 3,1 fehlen Nässezeiger fast ganz, eine Reihe von Trockenheitszeigern kommt hinzu.

Die vorgetragenen Untersuchungen stellen einen Versuch dar, die Pflanzen zur ökologischen Interpretation der Bodeneinheiten einer Bodenkarte 1:25 000 systematisch heranzuziehen. Auf dem Nachbarblatt Ornbau, das demnächst zur Kartierung ansteht, sollen die Erkenntnisse vertieft werden. Sie dürften dann für einen großen Teil der mittelfränkischen Sandsteinkeuperlandschaft Gültigkeit besitzen. Mit der gezeigten Form der Darstellung streben wir an, daß auch der bodenkundlich-pflanzensoziologisch nicht geschulte Benutzer unserer Karten Nutzen daraus ziehen kann.

Literatur

- Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde: Die Bodenkarte 1:25 000; Anleitung und Richtlinien zu ihrer Herstellung, Hannover 1965.
- Ellenberg, H.: Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden. Stuttgart 1950.
- : Wiesen und Weiden und ihre standörtliche Bewertung. Stuttgart 1952.
- Wittmann, O.: Die Pflanzendecke. — In: Diez, Th.: Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 7931, Landsberg a. Lech, München 1967.

Die Bedeutung der Bodenkarte 1:25 000 für die Planung von Meliorationsmaßnahmen, dargestellt am Blatt Soest

Von Dr. H. Wichtmann, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen,
Krefeld

Mit der Bodenkarte 1:25 000 ist ein Kartenwerk in Angriff genommen worden, das die bodenkundlichen Verhältnisse unseres Landes in einer übersichtlichen Form darstellt und gleichzeitig wichtige Einzelheiten mitteilt. Da die Karten zusammen mit den dazugehörigen Erläuterungen gedruckt werden und im Handel erhältlich sind, ist die Möglichkeit einer vielseitigen Auswertung gegeben. Besonders vordringlich und interessant ist dabei die Anwendung der neuen Unterlagen für Fragen der Landeskultur.

Das z. Z. in Druck befindliche Blatt Soest (HOHNVEHLMANN und WICHTMANN) erfaßt im wesentlichen einen Ausschnitt aus der Soester Börde und gibt damit die Bodenverhältnisse eines der fruchtbarsten Ackerbaugebiete Westfalens wieder, das durch seine ungewöhnliche Fruchtfolge (Vierfeldersystem mit über 75% Halmfrucht) ackerbaulich besonders interessant ist. Die Darstellung der 1958 und 1959 durch J. HOHNVEHLMANN aufgenommenen Bodenverhältnisse erfolgt gemäß der Kartieranleitung in der Form von Bodeneinheiten (Kombination von Bodentyp und Bodenart) bei gleichzeitiger Angabe der Wasserverhältnisse (Grundwasser in fünf, Stauwasser in vier Abstufungen). Der Abgrenzung der Bodeneinheiten liegen die Ergebnisse von etwa 2500 Handbohrungen bis 2 m Tiefe und zahlreiche Profiluntersuchungen an Schürfgruben zugrunde. Außerdem wurden auch die Unterlagen der Reichsbodenschätzung ausgewertet und die geologischen Verhältnisse (GRABERT 1950, BODE und WORTMANN 1949) berücksichtigt. Damit sind die Anforderungen der Dränanweisung (DIN 1185) bzgl. der Durchführung der Bodenuntersuchungen weitgehend erfüllt, obwohl sich die Wiedergabe der Ergebnisse natürlich der Kategorien und Definitionen der genetischen Bodenkunde (MÜCKENHAUSEN 1962) bedient. Daß sich — übereinstimmend mit den bisherigen Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit den kulturtechnischen Dienststellen in Nordrhein-Westfalen — daraus jedoch keine Nachteile für die Planung von Meliorationsmaßnahmen ergeben müssen, zeigte auf Blatt Soest der Vergleich der Bodenkarte mit einer Karte der Verbreitung der Bodendränung, die freundlicherweise von Herrn Kulturbaumeister MENNEMANN, Soest, zur Verfügung gestellt wurde. Er ließ erkennen, daß zwischen der typologischen Ausbildung der Böden und der Verbreitung der Bodendränung engste Beziehungen bestehen. Zu weit über 90% liegen die Dränflächen in der Niederbörde, deren Böden großflächig durch Grundwasser und Staunässe beeinflusst sind (Bodengesellschaft der Gleye mit Übergängen zu Parabraunerde und Pseudogley). Im übrigen Blattgebiet, das typologisch durch die Bodengesellschaft der Parabraunerden und Braunerden mit nur örtlichem Auftreten von Pseudogleyen gekennzeichnet ist, sind nur vereinzelt Dränungen durchgeführt worden.

Das macht deutlich, daß die Bodenkarten 1:25 000 mit der topologischen Einordnung der Böden erstens eine ausgezeichnete Übersicht über den Dränbedarf des Untersuchungsgebietes abgeben. Damit aber wird jede Planung wesentlich erleichtert. Die Bodenartenschichtung und die Grundwasserstände orientieren über die technischen Voraussetzungen für die Durchführung der Dränung. Die typologische Ausprägung der Böden läßt den zu erwartenden Umfang eines Projektes erkennen, gibt die Möglichkeit, den Ausbau der Vorfluter entsprechend zu planen und vermittelt schließlich sogar konkrete Vorstellungen über die Wirkung der geplanten Maßnahme, wenn gleiche Böden in der Nachbarschaft vorkommen, die bereits früher gedränt worden sind. Nur ein Beispiel mag zeigen, was diese Übersicht über den Dränbedarf für die Praxis bedeutet.

So wurde vor meiner Tätigkeit in Soest ein Dränantrag aus der Oberbehörde gestellt und, den Vorschriften entsprechend, großräumig bearbeitet, d. h., es wurde eine Planung für ein Gebiet von insgesamt etwa 700 ha in Auftrag gegeben. In Wirklichkeit waren nach dem Ergebnis der Bodenkartierung nur etwa 10 ha dränbedürftig. Die umfangreichen Planungsarbeiten, die Vermessung des Gebietes, die Entnahme der Bodenproben usw. waren also überflüssig und hätten kostenmäßig eingespart werden können, wenn eine Bodenkarte zur Verfügung gestanden hätte¹⁾.

Die Übersicht über den Dränbedarf erwies sich weiter als nützlich bei der Untersuchung von Dränflächen, bei denen die Melioration keine Wirkung zeigt. Die Zugehörigkeit einer Fläche zu einer bestimmten Bodeneinheit vermittelt hier dem Sacharbeiter Auskunft über den Wasserhaushalt des betreffenden Bodens und nimmt ihm damit die Unsicherheit, daß vielleicht eine Fläche gedränt ist, die gar nicht dränbedürftig war. Erst dann ist es sinnvoll, den anderen Möglichkeiten nachzugehen, die ein Versagen der Anlage bedingen, wie z. B. starke Bodenverdichtungen, Pflugsohlen oder technische Fehler bei der Erstellung der Anlage.

Zweitens bietet die Bodenkarte 1:25 000 bereits eine wertvolle Bezugsbasis für eine Inventur der Bodendränung. Sicher wird man dabei im Hinblick auf den Maßstab keine genaue Auskunft über Einzelheiten der Dränpraxis und ihre Beziehungen zum Boden im Sinne von BAUMANN (1965) erwarten können. Daß aber eine sozusagen globale Inventur bereits interessante Ergebnisse zeitigen kann, macht Tab. 1 (Seite 98) über die Beziehung zwischen Bodentyp und Bodendränung auf Blatt Soest deutlich.

Wie diese Übersicht zeigt, stehen flächenmäßig und prozentual die Böden 2, 3 und 4 mit tiefem Grundwasser (Gr-Horizont mehr als 1,3 m u. Fl.) an der Spitze der Dränflächen, während die Böden mit hohem Grundwasser 6 und 7 zurücktreten. Ob das mehr auf den Ausbau des Gewässernetzes in den Tallagen, in denen letztere verbreitet sind, und seinen günstigen Einfluß auf die Grundwasserhältnisse zurückzuführen ist oder ob die hier noch verbreitete Grünlandnutzung eine Dränung als weniger notwendig erscheinen ließ, sei dahingestellt. Wissenschaftlich interessiert mehr die Tatsache, daß auf Blatt Soest vorwiegend Böden gedränt sind, die nach weitverbreiteter Lehrmeinung gar nicht dränbedürftig sind. Nach SCHROEDER (1950) z. B. soll der optimale Grundwasserstand

¹⁾ Es muß in diesem Zusammenhang erwähnt werden, daß die Unterlagen der Reichsbodenschätzung auf Blatt Soest eine moderne Bodenkarte keinesfalls ersetzen können. Auf die Gründe wird später noch hingewiesen.

Tabelle 1:

Bodentyp und Bodendrainung im Bereich der Niederbörde, Blatt Soest

Nr.	Bodentypen	Flächenanteil	davon gedränt	
		ha	in ha	in %
1	Pseudogley-Parabraunerde	86	17	19
2	Pseudogley-Parabraunerde mit Grundwasser, Gr-Horizont bei 2—3 m	258	158	61
3	Gley-Parabraunerde, pseudovergleyt	1562	490	31
4	Gley-Vega	121	47	39
5	Pseudogley	40	8	20
6	Gley	1289	452	35
7	Naß- und Anmoorgley	28	9	34

¹⁾ Bodenartlich bestehen sämtliche Böden aus schluffigem Lehm (Lößlehm).

ackerbaulich genutzter Mineralböden zwischen 80 und 120 cm liegen. Nach den Erfahrungen des Schätzungsbeirates müßte bei diesen Böden von einem optimalen Grundwasserstand von 150 cm u. Fl. und bereits mit einer Wertminderung von etwa 5% gerechnet werden, wenn der Grundwasserstand auf 2 m absinkt. In Wirklichkeit aber wird der Wasserhaushalt dieser Böden als so ungünstig empfunden, daß die Kosten einer Drainung zu seiner Verbesserung nicht gescheut werden. Wie ist dieser Gegensatz zwischen üblicher Dränpraxis und gängiger Lehrmeinung zu erklären?

Wahrscheinlich wird man nicht fehlgehen, wenn man annimmt, daß den Angaben von SCHROEDER genau so wie denen des Schätzungsbeirates die Erfahrungen zugrunde liegen, die bei der Art des Landbaus gemacht wurden, die durch das Pferd als Zugkraft gekennzeichnet ist. Im Hinblick auf die viel größere Belastung unserer Böden und ihrer Struktur durch die Vollmechanisierung (FRESE 1962) ist es kein Wunder, daß sich die Verhältnisse inzwischen grundlegend geändert haben. Ebenso wenig darf es überraschen, daß die Bodenkarten auf der Grundlage der Bodenschätzung, die ja nach den Erfahrungen des Schätzungsbeirates aufgenommen wurden, keine Hinweise auf die Dränbedürftigkeit der auf Blatt Soest am meisten gedränten Flächen enthalten. Die Anforderungen des Ackerbaus an den Wasserhaushalt der Böden haben sich seit der Durchführung der Bodenschätzung offenbar erheblich weiter entwickelt, während die wissenschaftlichen Meinungen stehengeblieben sind.

Die Behandlung des gewählten Themas wäre unvollständig, wenn nicht auch auf die Grenzen hingewiesen würde, die für die landeskulturelle Auswertung der Bodenkarte 1:25 000 bestehen. Hier ist vor allem auf den Maßstab hinzuweisen, dessen Größe es unmöglich macht, eine so feine Differenzierung der Böden vorzunehmen, wie sie bei kleinflächigem Bodenwechsel im Untersuchungsgebiet gelegentlich vorkommt. So werden nach wie vor die örtlichen Erfahrungen der beteiligten Landwirte mitverwertet werden müssen. Das gleiche gilt im Hinblick auf Böden, deren Wasserhaushalt durch menschlichen Eingriff — wie Ausbau des Gewässernetzes oder Anlage einer Kanalisation — künstlich verändert wurde. Vermutlich wird hier von Fall zu Fall entschieden werden müssen, ob die vorliegenden Unterlagen nicht besser noch durch bodenkundliche Spezialuntersuchungen ergänzt werden.

Die gleiche Einschränkung und die gleiche Konsequenz ergibt sich, wenn eine sorgfältige, bis in alle Einzelheiten gehende Inventur der Entwässerungsanlagen im Sinne von BAUMANN (1965) durchgeführt werden soll. Es ist zu hoffen, daß in einem Zeitpunkt, in dem die Zweckmäßigkeit der Bodendränung gegenüber dem Nutzen der Bodenlockerung auf bestimmten Standorten generell in Zweifel gezogen wird (SCHULTE-KARRING 1966), dieses Anliegen bald verwirklicht wird. Die Bodenkarte 1:25 000 wird hier zumindest darüber Auskunft geben, wo die Untersuchungen zur Lösung derartiger Fragen angesetzt werden können.

Literatur

1. Arb.-Gemeinsch. Bodenkunde der GLÄ: Die Bodenkarte 1:25 000, Anleitung und Richtlinien zu ihrer Herstellung. Hannover 1965.
2. Baumann, H.: Vorschläge für die Erhebung von Entwässerungsanlagen bei der Bodenkartierung. Eine Enquete der Entwässerungsanlagen. Mitt. d. deutschen Bodenk. Ges. 2, 1965, S. 257.
3. Bode, H., Wortmann, H.: Geologisch-bodenkundliche Kartierung der Stadtgemeinde Soest. Mit Erläuterungen. Unveröff. Manusk. im Arch. d. Geol. Landesamtes NRW, Krefeld 1949.
4. Deutscher Normenausschuß: Dränanweisung (Din 1185). Berlin 1959.
5. Colin, H.: Erfahrungen über die Aussagemöglichkeit von Bodenkarten zu Entwässerungsfragen. Mitt. d. deutschen Bodenk. Ges. 2, 1965, S. 189.
6. Frese, H.: Zur Situation der Forschung auf dem Gebiet der Bodenbearbeitung. Kühn-Archiv 76, 1962, S. 19.
7. Grabert, H.: Geologische Übersichtskartierung des Meßtischblattes Soest im Maßstab 1:100 000. Unveröff. Manusk. im Arch. des Geol. Landesamtes NRW, Krefeld 1950.
8. Hohnvehlmann, J.: Vergesellschaftung, Entstehung und Eigenschaften der Böden im Soester Hellweggebiet. Diss. Bonn 1963.
9. —, Wichtmann, H.: Bodenkarte 1:25 000 Soest (Nr. 4414). Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld. Im Druck.
10. Merbitz, H.: Die Landwirtschaft bezahlt Fehler der Wasserwirtschaft. Mitt. DLG 79, H. 45, 1964, S. 1531.
11. Mückenhausen, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. Frankfurt 1962.
12. Wichtmann, H.: Die Bodenform als Grundlage für die Planung von Meliorationsmaßnahmen. Mitt. d. deutschen Bodenk. Ges. 2, 1965, S. 181.
13. Schroeder, G.: Landwirtschaftlicher Wasserbau. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1950.
14. Schulte-Karring, H.: Strukturranke Böden fordern wirksamere Bodenmelioration. Mitt. DLG 81, H. 14, 1966, S. 590.

Eine Grundwasserstufenkarte mit Darstellung der Wassereigenschaften

Von Priv.-Doz. Dr. P. Seibert, Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde,
München

Bei pflanzensoziologischen Kartierungen, die sich auf Einzugsbereiche verschiedener Gewässer erstrecken, werden oft Unterschiede festgestellt, die auf eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung der Sedimente oder auch des gewässerbegleitenden Grundwasserstroms zurückzuführen sind.

Im Mündungsgebiet des Lech findet man z. B. Eschenauen, die am Lech charakterisiert sind durch kalkliebende Pflanzen wie eingriffeliger Weißdorn, wolliger Schneeball, Seidelbast, Blausegge und Berberitze. Die Eschenauen der Donau dagegen sind charakterisiert durch eine Artengruppe mit Eisenhut, Scilla, Bärlauch, Zweiblatt und Haselwurz, also Nährstoffzeiger. Im Übergangsbereich, wo sich die Sedimente vermischen, kommen beide Artengruppen gemeinsam vor. Im gesamten Bereich sind sowohl in den trockenen als auch in den feuchten Ausbildungen der Eschenauen diese Unterschiede zu finden, also muß der chemische Unterschied des Bodens sedimentgebunden sein.

Anders in den Isarauen der Pupplinger Au südlich von München. Hier finden wir solche Unterschiede nur in den grundwasserabhängigen Pflanzengesellschaften trockenfallener Flußarme. Die Karte zeigt in zwei verschiedenen Farben rot und grün nur diese grundwasserabhängigen Pflanzengesellschaften, die anderen Flächen sind weiß gelassen. Sie sehen am rechten Rand der Au die durch grüne Farben charakterisierten Flächen, die durch Hangwasser und von dem Seitengebiet her einmündende Gewässer beeinflusst sind. In der Mitte die roten Flächen sind die grundwasserbeeinflussten Flächen, die mit der Isar, mit dem grundwasserbegleitenden Strom der Isar, zusammenhängen.

Bei der Grünlandkartierung des Itzgrundes südlich von Coburg fanden wir eine ökologische Reihe, die im trockenen Bereich ohne Grundwassereinfluß mit der Glatthaferwiese beginnt und über Silgenwiesen schließlich zur Schlankseggenwiese hingeht. Die Grundwasserstände bzw. die oberen Grenzen des Reduktionshorizontes betragen bei der Glatthaferwiese über 1 m, bei der Silgen-Glatthaferwiese 80 cm, bei der typischen Wiesenknopf-Silgenwiese 65 cm und — ich will sie nicht alle aufzählen — bei der Schlankseggenwiese noch 10 cm unter Flur.

Daneben haben wir eine zweite Reihe, die durch die Kohldistel-Glatthaferwiese mit Grundwasserständen 60 cm unter Flur, die Reine Kohldistelwiese 40 cm unter Flur und eine Schlankseggen-Fazies der Kohldistelwiese 10 cm unter Flur charakterisiert ist.

Es stellt sich natürlich gleich die Frage: Warum gibt es hier zwei verschiedene ökologische Reihen, warum gibt es eine Kohldistelreihe neben einer Silgenreihe? Da sich beide Reihen nur im grundwasserabhängigen Bereich unterscheiden, muß

man auch hier annehmen, daß der Unterschied mit dem Grundwasser zusammenhängt, und zwar nicht mit dessen Lage zur Geländeoberfläche, weil ja verschiedene Grundwasserabstände in diesen Reihen belegt sind, sondern mit anderen Eigenschaften. Wir fanden bei der Kartierung die Gesellschaften der Kohldistelreihe zunächst nur am Fuß der Talhänge und, trotz hohen Grundwasserstandes, oft deutlich über dem Niveau der Talsohle liegend. Das ließ auf Hangwasserzuzug schließen.

Diese Vermutung des Hangwasserzuzugs erhielt eine weitere Stütze durch den Fund von *Carex davalliana*, der Torfsegge, die ja Charakterart des *Caricetum davallianae* ist, einer ganz typischen Quellmoor-Gesellschaft. Später fanden wir auch in zwei dieser Kohldistelwiesen die Quellfassungen eines Dorfes und einer Mühle, so daß wir also unsere Vermutung auf mehrere Indizien stützen konnten.

Ein großes Vorkommen der Kohldistelwiese im Talgrund schien allerdings unserer Auffassung zu widersprechen, doch konnten wir anhand der geologischen Karte feststellen, daß hier diluviale Schotter über undurchlässigen Feuerletten am Hang liegen und hier ein großes Hangwassereinzugsgebiet vorhanden ist, das auch noch in die Talauen hinein sich auswirkt. Bei weiteren Untersuchungen fand schließlich unser Mitarbeiter Dr. VOLLRATH auch noch Kohldistel-Glatthaferwiese und Kohldistelwiesen an anderen bezeichneten Stellen, nämlich oberhalb der Mühlenstau, wo Druckwasser vom Fluß her durch die Uferrehne in die Talau sickert, wo also eine ähnliche ökologische Situation herrscht wie beim Hangwasserzug: größere Strömungsgeschwindigkeit und höherer Sauerstoffgehalt des Grundwassers.

Nun machen wir, weil Vegetationskarten oft sehr differenziert sind, bei unseren pflanzensoziologischen Vorarbeiten für wasserwirtschaftliche Projekte Wasserstufenkarten, die wir aus den Vegetationskarten ableiten, aber keine Wasserstufenkarten, die sich auf das Ertragspotential beziehen, wie es TÜXEN macht, sondern Grundwasserstufenkarten.

Wir gehen von der Überlegung aus, daß der Grundwasserstand durch die Wasserbaumaßnahmen verändert werden soll, und daß den Wasserbauer vor allen Dingen die Höhendifferenzen interessieren, die zwischen dem Grundwasserspiegel der in ihrem Ertragspotential optimalen und den Grundwasserspiegeln der für hohe Erträge zu nassen oder zu trockenen Pflanzengesellschaften bestehen. Die Zuordnung von Pflanzengesellschaften zu bestehenden Grundwasserstufen kann natürlich nur für ein verhältnismäßig kleines Gebiet Gültigkeit haben, in dem andere den Wasserhaushalt beeinflussende Geländefaktoren, vor allem also die Höhe der Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Körnung und Bodenstruktur annähernd gleich sind. In solchen kleinen Gebieten sind aber dann tatsächlich die Koinzidenzen zwischen Vegetationseinheiten und Grundwasserganglinien recht eng.

Wir haben natürlich — weil es immer drängt — nicht die Zeit, langjährige Grundwasserganglinien zu beobachten, sondern begnügen uns mit einmaligen Bohrungen, die vielleicht genügen, weil es ja wirklich nur auf die Differenzen ankommt. Die Unterschiede, die wir durch die Vegetation angezeigt bekommen, finden wir einmal in hangwasserbeeinflussten Flächen und zum anderen im Tal, in grundwasserbeeinflussten Flächen. Diese Unterschiede haben wir in die Wasserstufenkarten mit übernommen; denn für den Wasserbauer ist dies wichtig,

weil die Methoden, die übermäßige Nässe zu beseitigen, sich in beiden Fällen erheblich voneinander unterscheiden.

Das Talgrundwasser läßt sich durch Tieferlegen des Flusses oder Baches absenken. Eine solche Maßnahme wirkt sich auf das Hangwasser überhaupt nicht aus. Hier muß man mit Fangdränen oder Fanggräben arbeiten, um das überflüssige Wasser zu beseitigen, wie wir ja heute morgen schon gehört haben von Herrn Prof. Dr. GRUBINGER. Wir sind also dazu übergegangen, in den Wasserstufenkarten — in den „Grundwasserstufenkarten“, wie wir sie nennen — die Hangwassereinflüsse durch Signaturen zu charakterisieren.

Die Vegetationskarte vom Schwarzachtal in der Nähe von Waldmünchen in der Oberpfalz zeigt einige Gesellschaften auf sehr durchlässigen Böden, die aus Gneisverwitterungsprodukten bestehen. In diesen Gesellschaften fehlt *Ranunculus repens*, den wir in den meisten Grünlandgesellschaften finden. Im Schwarzachgebiet tritt er nur in bestimmten Ausbildungsformen einzeln oder auch faziesbildend auf und weist hier auf bindigere Böden und Staunässe hin, die entweder durch Rückstau von Mühlen oder gehemmten Hochwasserabfluß bedingt ist.

Auf den flachen Talhängen der benachbarten Gneisgebirge haben wir Solifluktionsschutt, aus dem am Hangfuß sehr häufig Grundwasser austritt und die Entstehung von *Scirpus-silvaticus*-Ausbildungen oder *Scirpus-silvaticus*-Fazies in verschiedenen Grünlandgesellschaften bedingt.

Aus der Vegetationskarte wird die Grundwasserstufenkarte abgeleitet. Deren Farbgebung geht von rot = trocken bis blau = feucht oder naß. Die Bogensignaturen, die auf der Wasserstufenkarte im unteren Teil des karierten Gebietes zu erkennen sind, zeigen die Hangwasserzüge an. Waagrechte Strichsignaturen deuten auf gestaut und stagnierendes Wasser hin.

Es ist also möglich, mit Hilfe dieser Karten die Stellen zu finden, wo Hangwasser, wo Fremdwasser auftritt, die Stellen, von denen Herr Prof. GRUBINGER heute morgen schon sagte, daß man sie suchen muß.

Literatur

- Ellenberg, H.: Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. In: H. Walter, Einführung in die Phytologie. IV. Grundlagen der Vegetationsgliederung. I. Teil. 136 pp. Stuttgart 1956.
- Eskuche, U.: Vergleichende Standortsuntersuchungen an Wiesen im Donauried bei Herbertingen. Veröff. Landesst. Natursch. Landschaftspflege Baden-Württ. 23. und Jber. Ver. vaterl. Naturk. Württ. 109: 33—135. Ludwigsburg und Tübingen 1955.
- Meisel, K.: Anwendung der Pflanzensoziologie zur Beurteilung von Wasserschäden in der Landwirtschaft. Angew. PflSoziol. 8: 127—129. Stolzenau/Weser 1954.
- : Die Pflanzengesellschaften des Emstales und ihre Beziehungen zu Boden und Wasser. Mitt. flor.-soz. ArbGemeinsch. N. F. 5: 110—113. Stolzenau/Weser 1955.
- : Die Auswirkung der Grundwasserabsenkung auf die Pflanzengesellschaften im Gebiete um Moers (Niederrhein). Stolzenau/Weser 1960. 105 pp.
- und Wattendorff, J.: Über eine von der Wirtschaft unabhängige Wasserstufenkarte. Mitt. flor.-soz. ArbGemeinsch. N. F. 9: 230—238. Stolzenau/Weser 1962.
- Seibert, P.: Die Pflanzengesellschaften im Naturschutzgebiet „Pupplinger Au“ (mit fbg. Vegetationskarten 1:8000). Landschaftspflege und Vegetationsk. 1: 1—79. München 1958.

- Seibert, P.: Über eine Grundwasserstufenkarte mit Darstellung verschiedener Wassereigenschaften. Mitt. flor.-soz. ArbGemeinsch. N. F. 10: 223—231. Stolzenau/Weser 1963.
- Tüxen, R.: Ein einfacher Weg zur nachträglichen Feststellung von Entwässerungsschäden. Mitt. flor.-soz. ArbGemeinsch. N. F. 3: 128—129. Stolzenau/Weser 1952.
- : Die Wasserstufenkarte und ihre Bedeutung für die nachträgliche Feststellung von Änderungen im Wasserhaushalt einer Landschaft. Angew. PflSoziol. 8: 31—36. Stolzenau/Weser 1954.
- Walther, K.: Über die Abhängigkeit der Pflanzengesellschaften der Staustufe Offenbach vom Wasser. Erläuterung zur Grundwasser- und Wasserstufenkarte. Mskr. Stolzenau/Weser 1955.
- : Erläuterungen zu den Vegetations- und Wasserstufenkarten des Wassergewinnungs-Geländes der Gewerkschaft Auguste-Viktoria in Marl/Westf., zugleich Gutachten über die Auswirkung der Grundwassergewinnung auf die Vegetation. Mskr. Stolzenau/Weser 1957.
- : Pflanzensoziologie und Kulturtechnik. Z. Kulturtechnik 1: 65—76. Berlin und Hamburg 1960.

Der Aussagewert des Eisens im Boden bei der Deutung des hydrologischen Bodenprofiles

Von Dr. F. Blümel, Direktor des Bundesversuchsinstituts für Kulturtechnik und technische Bodenkunde, Petzenkirchen

Die stark färbende Kraft der Eisenverbindungen im Boden ist seit jeher aufgefallen, und es liegt daher nahe zu versuchen, die Eisenverbindungen als Indikator für verschiedene Vorgänge im Boden zu verwenden. Da die Beweglichkeit der Eisenverbindungen und die oxydierenden sowie reduzierenden Bedingungen weitgehend von der Wasserführung des Bodens abhängen, können die chemischen Formen bzw. die Ausbildung der Eisenausscheidungen besonders als Anzeiger für eine unterschiedliche Wasserführung herangezogen werden.

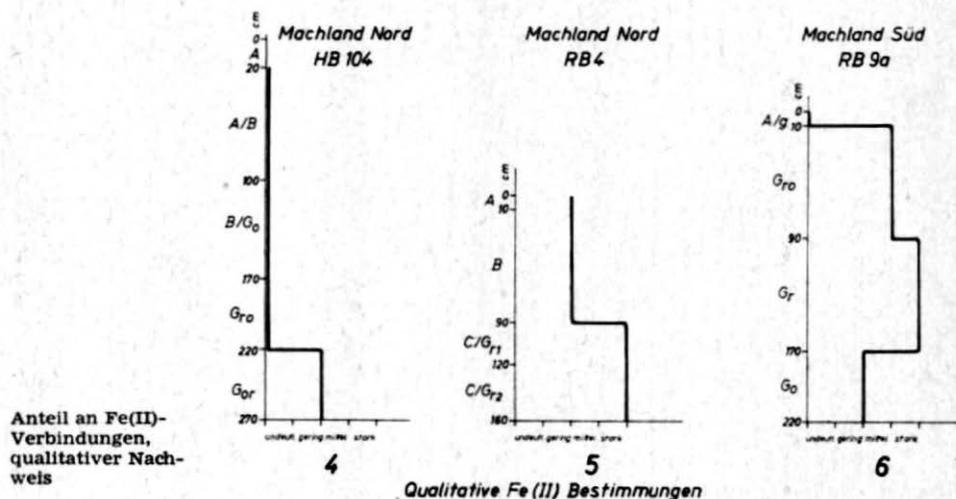
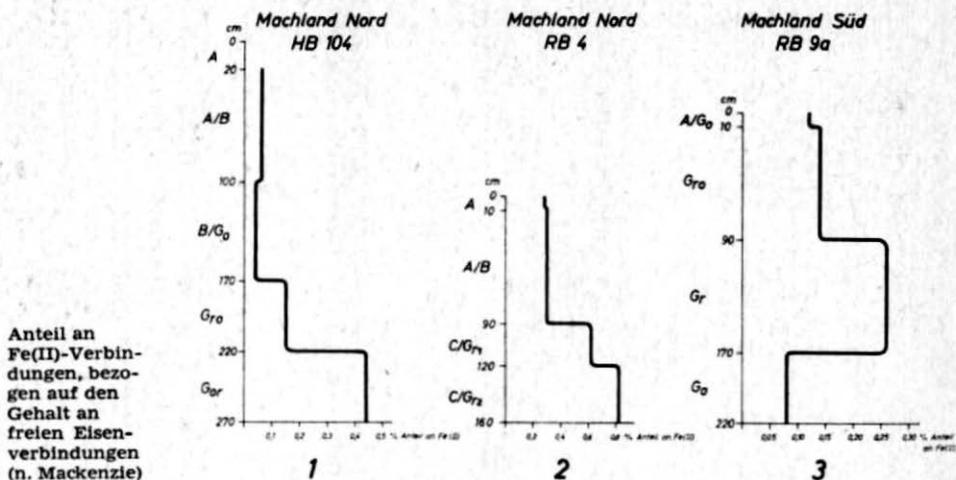
Für die Profilmorphologie, die Hydrologie und den landwirtschaftlichen Wasserbau lassen besonders die Reduktion und Oxydation der Eisenverbindungen in grundwasservernässten Böden einen Schluß auf die verschieden hohen, mittleren Grundwasserspiegellagen zu.

In der Bodenkunde werden die im Reduktionsbereich liegenden grauen, blauen oder grünlich gefärbten Horizonte G_r , die den Grundwasserspiegelschwankungs- und Kapillarbereich anzeigenden, rostbraun- und graugefleckten Horizonte G_o genannt. Prof. E. MÜCKENHAUSEN unterscheidet noch G_{ro} - und G_{or} -Horizonte. Nach den Grundwasserspiegellagen und den Grundwasserspiegelschwankungen gliedert MÜCKENHAUSEN die Gleye weiter auf.

Für den landwirtschaftlichen Wasserbau und die Hydrologie wäre es nun wichtig zu wissen, wie weit und mit welcher Sicherheit graue und graublau Horizonten als G_r -Horizonte bezeichnet werden können und somit Grundwasserspiegellagen anzeigen können. Zur Feststellung des Grades der Reduktion in den G_r - und G_o -Horizonten wurden daher die austauschbaren, zweiwertigen Eisenverbindungen in grundwasservernässten Böden nach JACKSON (siehe graph. Darst. 1, 2 und 3) ermittelt.

Überdies wurden die Fe(II)-Jonen qualitativ mit o-Phenanthroliniumchlorid (graph. Darst. 4, 5 und 6) bestimmt. Die qualitativ und quantitativ ermittelten Fe(II)-Werte lassen in den aufgenommenen Profilen die G_o - und G_r -Horizonte deutlich zum Ausdruck kommen. Sehr interessant ist das morphologische und Fe(II)-Profil „Machland-Süd, RB 9a“ (graph. Darst. 3). Hier liegt unter dem G_r -Horizont ein wasserstauer, weniger reduzierter G_o -Horizont, der durch die Fe(II)-Werte sehr gut wiedergegeben wird. Nach diesem Beispiel könnten im allgemeinen auch Grundwasserstockwerke erkannt werden.

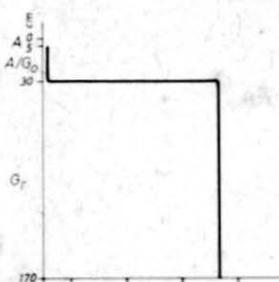
Die graphischen Darstellungen 1—6 zeigen Profile und Fe(II)-Verbindungen von leichten bis mittelschweren, vergleyten Auböden, während die Abbildungen 7—10 die Profile und Fe(II)-Werte eines schweren Hanggleyes darstellen. Der 1965 gemessene Grundwasserspiegel lag im Profil „Grabenegg“ in etwa 25 cm Tiefe, also ungefähr an der Oberkante des G_r -Horizontes.



Da es nun unter Umständen auch grau und grünblau gefärbte Bodenhorizonte bzw. -schichten (z. B. Schlier usw.) gibt, die keine G_r -Horizonte sind, aber mit diesen verwechselt werden können, wurde versucht, den Fe(II)-Gehalt nach JACKSON als Untersuchungskriterium heranzuziehen. Tatsächlich haben graue und grünblaue geologische Substrate einen relativ wesentlich geringeren Anteil an Fe(II)-Verbindungen als die über diesem Substrat (Schlier) liegenden, wasserbeeinflussten G_r -Horizonte.

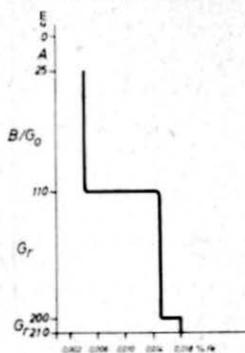
Aus den bisherigen Untersuchungen, zu denen eine größere Anzahl von Proben herangezogen wurden, die jedoch noch nicht abgeschlossen sind und durch

Grabenegg



7

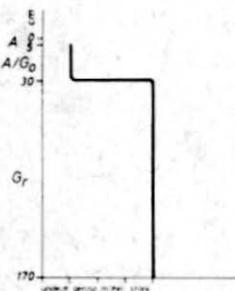
Petzenkirchen, Nasse Wiese



8

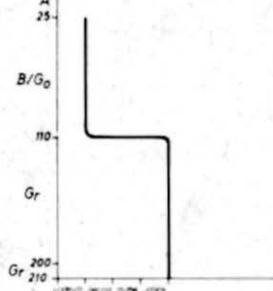
Anteil an Fe(II)-Verbindungen in % Fe

Grabenegg



9

Petzenkirchen, Nasse Wiese



10

Anteil an Fe(II)-Verbindungen, qualitativer Nachweis

Grundwassermessungen ergänzt werden sollen, kann daher angenommen werden, daß die Fe(II)-Werte nach JACKSON im Verein mit der Profilmorphologie Aussagen über das hydropedologische Profil, den Grundwasserstand usw. zulassen. Solcherart können die hydrologischen Untersuchungen ergänzt bzw. ersetzt werden. Es ist selbstverständlich, daß in gewissen Fällen z. B. bei gestörten Bodenprofilen oder kurz nach wesentlichen Veränderungen des Grundwasserregimes die Deutung der Untersuchungsergebnisse schwieriger ist. Aber auch in diesen Fällen wird es möglich sein, Aussagen zu machen. Dies um so eher, als die Fe(II)-Werte bei den von uns untersuchten Böden von anderen wichtigen Bodenmerkmalen nicht wesentlich abhängig sind (Veröffentlichung „Vergleich von Eisenbestimmungsverfahren für Böden und die Beziehungen der Fe(II)-Werte zu einigen charakteristischen Bodenmerkmalen von W. BACHLER und H. HACKL).

III. Diskussion

Leitung: Reg.-Dir. Dr. K o h l

PASCHAI: Wenn man berücksichtigt, daß die Naturerscheinungen nicht als etwas Abstraktes und Losgelöstes von sonstigen Bedingungen, sondern im Zusammenhang mit vielen anderen Faktoren, in diesem Fall mit bodenphysikalischen und chemischen Eigenschaften stehen, dann darf man auch nicht jede Naturerscheinung verallgemeinern.

Zu meinem Bedauern mußte ich feststellen, daß im ersten Teil der Diskussion diese Verallgemeinerungen festzustellen waren, die zum Teil auch beanstandet wurden.

Wenn man einen Boden als Pseudogley anspricht, der zufällig dränbedürftig ist, dann darf man auch nicht dieses verallgemeinern und jeden Pseudogley als dränbedürftig erklären. Wir kennen viele Pseudogleye in Moränenlandschaften Schleswig-Holsteins, die nicht dränbedürftig sind.

Um diesen Fehler zu vermeiden, müssen wir versuchen, den Begriff Pseudogley oder Gley durch physikalisch-chemische Werte für kulturtechnische Zwecke zu ergänzen. Dieses Problem kam in den vorher gezeigten bodenkundlichen und pflanzensoziologischen Bildern zum Ausdruck.

Um denjenigen praktischen Kulturtechnikern, die pflanzensoziologisch und bodenkundlich nicht geschult sind, die Arbeit zu erleichtern, möchten wir hier die Ermittlung des Redox-Potentials im Boden als Maß für die Dränbedürftigkeit vorschlagen, die sich unserer bisherigen Erfahrung nach gut bewährt hat.

BLUME: Es wurde von mehreren Referenten der Wert der Bodentypenkartierung für den Wasserbau gezeigt. Allerdings ist es für viele Praktiker schwierig, aus der Typenkarte direkt auf den Wasserhaushalt zu schließen. Eine Möglichkeit wäre nun, indirekte, also abgeleitete Karten aus pflanzensoziologischen Aufnahmen zu erarbeiten. Eine zweite Möglichkeit läge darin, die Aufnahme der Bodenschätzung direkt zu verwerten, weil zwar keine direkte, aber eine indirekte Beziehung zwischen Bodenart und nutzbarer Wasserspeicherleistung besteht.

Der Praktiker braucht eine Karte, aus der er für den Wurzelraum seines Standortes die nutzbare Wasserspeicherleistung (z. B. in mm Niederschlagshöhe) entnehmen kann. Es bestehen hierfür Beziehungen zur Bodenart, sofern man Lagerungsdichte, Humusgehalt, Stein- und Kiesgehalt angemessen berücksichtigt. Man soll sich dabei nicht begnügen, für den Wurzelraum die durchschnittliche Wasserspeicherleistung zu schätzen, sondern eine mit der Tiefe abnehmende Abstufung für die einzelnen Lagen vornehmen.

Ergänzt werden müßte eine solche abgeleitete Karte selbstverständlich durch eine Karte der Grundwasserstände. Bei den Grundwasserkarten genügt es nicht, den Kapillarhub zu ermitteln, physiologisch entscheidend ist ja, mit welcher Geschwindigkeit durch die Kapillaren das Wasser nachgeliefert wird. Man kann sagen, daß der Kapillarhub nur dann produktiv ist, wenn er mindestens 0,2 mm je Stunde beträgt. Auch dort gibt es eine grobe Beziehung zur Bodenart, so daß man wiederum aus der Bodenartenschätzung auf den Kapillarhub schließen kann.

Eine Charakterisierung des Grundwassereinflusses durch Fe(II)-Bestimmungen erscheint mir vor allem aus meßtechnischen Gründen recht problematisch. Was man messen müßte, ist das Redox-Potential.

BLÜMEL: Zum Maßstab der Kartierung:

Dient die Karte M 1:25 000 als allgemeine Grundlage für den landwirtschaftlichen Wasserbau oder ist es eine Planungsunterlage? Wir benötigen Projektunterlagen, und deswegen wählen wir einen anderen Maßstab.

Zur Bemerkung von Herrn Dr. Blume:

Maßgeblich ist doch der Grundwasserspiegel und der Kapillarsaum. Wenn wir diese nachweisen können, können wir unter Umständen auch das Redoxpotential dazu heranziehen. Aber es müssen tatsächlich konkrete Nachweise erbracht und keine bloßen Annahmen gemacht werden. Entscheidend ist, ob die Grundwasserspiegellagen und der zugehörige Kapillarsaum mit G_r -, G_o - usw. -Horizonten übereinstimmen. Ob sie dann das Redoxpotential oder die Fe-Bestimmungen verwenden, ist eine sekundäre Frage.

RAMSAUER: Es ist vollkommen ausgeschlossen, mit einer Unterlage M 1:25 000 einen Meliorationsentwurf zu erstellen. Der kleinste Maßstab ist M 1:10 000. Weiter herunter zu gehen ist vollkommen ausgeschlossen; denn Sie sehen ja keine Parzellen mehr, Sie können also die einzelnen Punkte nicht mehr beurteilen. Es gibt daher nur M 1:10 000 oder, wie wir ihn meistens gehabt haben, M 1:5000. Das sind die richtigen Unterlagen.

KOHL: Die Bodenkarte 1:25 000 soll zunächst einen bodenkundlichen Überblick geben und eine Inventur aller vorhandenen Bodenbildungen darstellen. Sie soll und kann nur ein Hilfsmittel sein für Projekte, die beispielsweise für Entwässerungen geplant sind. Wenn man Zahlen hört, wie sie zum Beispiel von Herrn Wichtmann genannt wurden, wo hunderte von Hektaren gedränt wurden und die Bodenkartierung nachträglich gezeigt hat, daß eine Dränung von nur 5 Hektar notwendig gewesen wäre, so gibt dies doch sehr zu denken. Hier sind offenbar Staatsmittel nicht richtig und zweckmäßig eingesetzt worden.

Die Bodenkarte 1:25 000 soll keine Projektkarte sein. Sie kann aber doch eingehend Auskunft geben über die Verbindung z. B. von Gleyen und Pseudogleyen in ihrer verschiedenenartigen Ausprägung in bestimmten Gebieten. Durch die Bodenkarte soll dem Kulturtechniker und Wasserwirtschaftler eine gründliche Kenntnis des Bodens vermittelt werden, wie dies Professor Grubinger heute schon gefordert hat.

SCHWERDTFEGGER: Herr Seibert, noch eine Frage: Wenn die Grundwasserstufenkarte nicht ganz bei den Erträgen bleibt, sondern in erster Linie den Grundwasserstand angibt, habe ich die Frage an Sie, ob es nicht möglich ist, daß sie auch Grundwassermengen angibt, sei es zur Berechnung, aber noch vorrangiger für Versorgungsanlagen, so daß aus einem engeren Einflußgebiet die nutzbaren Grundwassermengen auf Grund Ihrer Kartierungen angegeben werden können.

MÜLLER: Zur Frage der Kartenmaßstäbe möchte ich aus Niedersachsen folgendes berichten:

Es werden Bodenkarten verschiedener Maßstäbe für jeweils verschiedene Zwecke hergestellt. Karten i. M. 1:25 000 betrachten wir als Übersichtskarten, die

relativ schnell fertiggestellt werden. Solche Karten sind niemals als Projektkarten gedacht, sie dienen als Unterlage für die Vorplanung, nicht für die Durchführung von Projekten.

Dargestellt werden auf Karten i. M. 1:25 000 bei allen Landesämtern keine Bodentypen, sondern Bodeneinheiten. Diese umfassen den Bodentyp, die Bodenart, die Bodenartenschichtung, das geologische Ausgangsmaterial sowie Angaben über die Wasserverhältnisse. Da der Bodentyp an erster Stelle steht, mag die Karte bei oberflächlicher Betrachtung wie eine einseitige Bodentypenkarte aussehen. Dies trifft jedoch nicht zu.

Als Unterlage für die Durchführung von Arbeiten an bestimmten Projektgebieten stellen wir **Bodenkarten** i. M. 1:5 000 und großmaßstäblicher her. Hierbei wird immer ein sogenanntes Auswertungsdeckblatt angefertigt, das Angaben über die optimale Bodennutzung und mögliche oder notwendige Meliorationsmaßnahmen enthält, so z. B. zur Dränung mit Angaben über Dränabstand, Dräntiefe und mögliche Dränwirksamkeit, oder in anderen Fällen Angaben zur Untergrundlockerung, Tiefpflugeinsatz usw. Es gibt also durchaus Bodenkarten, aus denen Angaben zu Meliorationsprojekten zu entnehmen sind. Der Umfang derartiger Arbeiten ist wahrscheinlich durch unsere derzeitige Arbeitskapazität begrenzt.

Die Karten i. M. 1:5000 werden in Schwerpunktgebieten hergestellt, in denen bestimmte Projekte durchgeführt werden sollen. Wo derartige Projekte erforderlich sind, geht z. T. aus vorangegangenen Übersichtskartierungen i. M. 1:25 000 hervor. Die Übersichtskartierung führt also dazu, daß die aufwendige großmaßstäbliche Projektkartierung gezielt auf begrenzte Gebiete konzentriert werden kann.

WICHTMANN: Nach den Erfahrungen der Kartierung sind die Möglichkeiten der Bodenschätzung sehr gering. Als vor mehr als 20 Jahren die Bodenschätzung durchgeführt wurde, hat man in großen Gebieten einen Grundwassereinfluß im tieferen Unterboden nachweislich gar nicht berücksichtigt. Aber ich glaube, daß wir auch das Redoxpotential nicht anwenden können, um die Dynamik eines Bodens zu erfassen; denn das Redoxpotential wechselt ja jahreszeitlich. Es ist abhängig von der Temperatur und wird beeinflusst von der Zusammensetzung des Bodens, beispielsweise von den organischen Bestandteilen. Was wir brauchen, ist eine Grundlage, die alles zusammenfaßt. Vermutlich gibt es keine bessere als den Bodentyp, der ergänzt wird durch die Angabe der Bodenart, der Grundwasser- und der Basensättigungsverhältnisse.

KOHL: Die Vorträge des Abschnittes III haben gezeigt, wie sehr auch andere Disziplinen bemüht sind, sei es von seiten der Bodenkunde und Bodenkartierung, sei es von seiten der Pflanzensoziologie und Vegetationskartierung, den Wasserhaushalt des Bodens zu charakterisieren, um den Kulturtechnikern und Wasserwirtschaftlern bei ihren Planungen wichtige Hilfsmittel in die Hand zu geben, die — im Allgemeininteresse — entsprechende Beachtung finden sollten.

Topogene Zonen meliorationsbedürftiger Böden in der Eifel

Von Dr. E. K o p p, Institut für Bodenkunde der Universität Bonn

Auf Initiative der Landesregierung Rheinland-Pfalz wurden in der Eifel in einigen Flurbereinigungsverfahren die als meliorationsbedürftig angegebenen Flächen bodenkundlich untersucht. Es sollten die tatsächlich meliorationsbedürftigen Flächen ermittelt und objektgerechte Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen werden.

Die Böden des Kartierungsgebietes sind überwiegend stark sandige Lehme bis Lehme, die aus Tonschiefern und Grauwacken des Unterdevons, z. T. aber auch aus Buntsandstein, Muschelkalk und Basalttuff entstanden sind. Die Höhenlage schwankt zwischen 400 bis 560 m über NN. Die Niederschläge betragen im langjährigen Mittel 800—970 mm, und die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt bei 6,5° C.

Die Kartierung der vernäßten Flächen ergab sehr bald: 1. unterschiedliche Vernässungsursachen, 2. eine deutliche Abhängigkeit bestimmter Vernässungstypen von der Geländegestalt und damit 3. enge Beziehungen zur geologisch-topographisch bedingten Hydrologie bestimmter Gelände-Positionen und 4. eine, die Wechselwirkung von Geologie (Periglazialschutt, Schichteinfallen, Verwitterungsrelikte u. a.), Topographie (Hangposition) und Hydrologie (Fremdwassereinfluß, Gefälle) widerspiegelnde Abfolge von Bodentypen.

Aus den spezifischen Kombinationen der geologischen, topographischen, hydrologischen und bodenkundlichen Faktoren ergaben sich zwingend ganz spezielle Meliorationsmaßnahmen. Diese Korrelationen sind in der beigefügten Abb. in einem Schema für das Unterdevon der Eifel dargestellt.

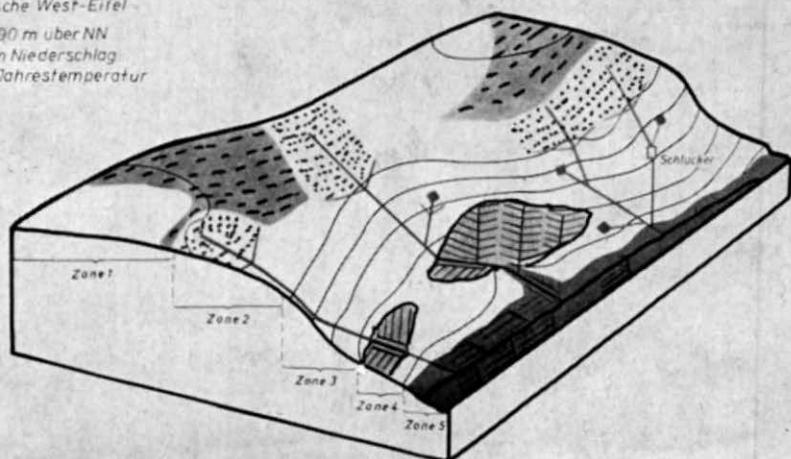
Es lassen sich fünf Zonen ausscheiden. Das Auftreten vernäßter Flächen in Berglagen ist ursächlich durch geologische Besonderheiten bedingt, z. B. durch Vorkommen alter, verdichteter Verwitterungen und Schuttdecken auf dem Plateau und Oberhang, Ausräumung am steilen Mittelhang, Schuttakkumulation am flachen Unterhang, Quellen und Quellzonen an Störungen, Einflüsse des Schichteinfallens auf die Versickerung u. a. Die Zonengliederung folgt etwa den Hangpositionen von der Kuppe abwärts bis zum Talboden. In dieser Richtung lassen sich auch die hydrologischen Faktoren durch den hangabwärts zunehmenden Fremdwassereinfluß (Oberflächenwasser und Quellen) und bestimmte Gefälleverhältnisse zur Geologie und Topographie in logische Beziehungen setzen. Von mäßiger Staunässe auf dem Plateau führt eine Sequenz über zunehmende fremdwasserbeeinflusste, periodische und permanente Vernässungen zum stets grundwassererfüllten Talboden hinab. Die Bodentypen drücken diese unterschiedlichen Einflüsse der Umweltfaktoren innerhalb der Zonen in einer bestimmten Abfolge aus, die von pseudovergleyten Rankern auf dem Plateau über Braunerde-Hangpseudogleye, Hangnässegleye u. a. bis zu den Gleyen im Tal führt. Das Schema

**Die Korrelationen zwischen Geologie, Topographie, Hydrologie und Bodentypen
und die daraus resultierenden Meliorationsmaßnahmen**

(Schematisch)

Zone	1	2	3	4	5
Topographie	Kuppen und Plateaus	Oberhang und Plateaumulden	(Ober-)Mittel- und Unterhang	Mittel- und Unterhang	Talböden
Hydrologie	Flachgründig, Stauung mäßig, periodisch, kein Fremdwasser	Flachgründig mit etwas Fremdwasser, Periodische Vernässung, abhängig von Grundtiefe und Gefälle	Nalßgallen und Quellen, kleinflächige permanente Vernässung mit periodisch wechselnder Intensität	Flächenhafte und permanente Vernässung durch Quellzonen und Fremdwasser/Off-Flachgründig	Flächenhafte, starke und permanente Vernässung
Bodentypen	Pankek-Pseudogley, Braunerden	Hangpseudogley-Braunerden, Braunerde-Hangasudogley	Hangasudogley und Hangasudogley	Hangasudogley und Hangasudogley	Auengleye, Gleye und Nalßgleye
Meliorationen	Lockerung ohne Drainage	Lockerung mit Drainage	Bedarfsdrainage, Schlucker	Fangdräne weitmaschige Systemdrainage 27 später Lockerung	Systemdrainage, vertikaler Aufbau

Devonische West-Eifel
400–600 m über NN
900 mm Niederschlag
6,4 °C Jahrestemperatur



(s. Abb.) zeigt die logische Einheit von Geologie, Topographie, Hydrologie und Bodenbildung.

Ursachen und Grad der Vernässung sind in den einzelnen Zonen verschieden. Die Meliorationen müssen den spezifischen Wasser- und Bodenverhältnissen Rechnung tragen. Von der bislang obligatorischen Systemdrainage wurde abgegangen. Für die sehr flachgründigen, staunassen Plateau- und Oberhangflächen wurden Untergrundlockerungen mit angepaßter, weitmaschiger Drainage oder Fangdrainage vorgesehen. Die Untergrundlockerung ist hier kein billiger Ersatz für eine Systemdrainage, sondern eine objektgerechte Melioration von Böden, die eben durch die Systemdrainage nicht befriedigend verbessert werden können. Bedarfsdrainage und Muldenentwässerungen wurden verstärkt angewendet. Die Systemdrainage wurde praktisch auf stark vernässte Unterhänge und Talböden beschränkt.

Die bodenkundlichen Untersuchungen der zu meliorierenden Böden ermöglichte: 1. eine Reduzierung der Maßnahmen auf objektiv meliorationsbedürftige Flächen, 2. eine beträchtliche Kostenersparnis und 3. den tatsächlichen Bodenverhältnissen gerecht werdende, gezielte Meliorationen.

Es ist bedauerlich, daß bisher die bodenkundlichen Voruntersuchungen für die sehr aufwendigen Meliorationen in viel zu geringem Maße vorgenommen werden.

**CORRELATION BETWEEN CROP YIELDS IN A TOPOSEQUENCE OF THE
BELGIAN LOESSLOAM LANDSCAPE AND THE SOIL WATER ECONOMY
DURING THE YEARS 1964 AND 1965¹⁾**

Prof. Dr. L. De Leenheer, Prof. Dr. M. De Boedt,
and Jr. E. Robberechts,
Rijksfakulteit der Landbouwwetenschappen, Gent

In an agricultural practice where chemical fertilizers are amply applied and selected seeds are used, the limiting factor in yields is often to be found in the interrelationship between the physical properties of the soil and the climatological conditions.

Physical factors can be assessed in different ways, but their choice to study the correlation with crop yields should be appropriate to the region and the prevailing climate. Therefore, in this study made on dry loess-loam deposits in eastern Belgium, the soil water economy (based on the variation in soil moisture content with time) has been selected as a good soil fertility factor; the authors believe it to be a good indicator, integrating soil physical properties and climatological weather conditions. However, it is not the intention to consider water economy alone, as other growth parameters, such as the air economy, might be involved especially in a very wet year like 1965.

The sole consideration of physical conditions of the soil cannot be sufficient to get an insight into yield variations, as plant production is after all a conversion of energy into dry matter; therefore solar radiation during the vegetation period must also be considered.

I. CHARACTERISATION OF WATER AND AIR ECONOMY IN THE SOIL

When attempting to characterise water economy during a vegetation period, the first requirement is to find a suitable method for the determination at regular intervals of the soil moisture content throughout the profile and to interpret the results in terms of water availability for plant growth.

1. Gravimetric or radio-active determination of the soil moisture content

As it was decided that the soil moisture profile should be determined every fortnight during the growing season, it was logical to check the quick radio-active determination against the more elaborate method of taking soil samples with an auger at different depths and a subsequent determination of the moisture content by drying the samples in an oven at 105° C. However, the latter method (called

¹⁾ Research supported by the Belgian institute "Irsia" (Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture, Bruxelles).

gravimetric determination) is considered to be the right one. Consequently the standard deviation of this method was first studied.

On a small surface of 1 m² and at a depth of 60 cm on the plateau of the loessloam toposequence, 50 soil samples were taken with an auger. The moisture content was determined gravimetrically taking 10 g of each sample²). For a mean water content of 15.1 weight percent the standard deviation was 0.4.

To determine the standard deviation of the neutron scattering method (with a Berthold neutron moisture meter) the readings were done in the same auger hole, but at different time intervals. The readings made at the different depths were in fact paired observations, the neutron source being lowered for the first series of countings and raised for the second series. The standard deviation obtained this way (on the basis of the difference between the paired observations) was 0.7 for a mean water content of 34.0 volume percent.

To increase the reliability of the gravimetric method it was decided to take 2 samples per horizon in the deeper layers of the profile, while for the first and second horizon (the variability being larger) three samples per horizon were considered to be satisfactory.

As far as the standard deviation is concerned, the comparison of the 2 methods allows the conclusion that preference must be given to the gravimetric method of soil moisture determination. Another phenomenon however confirms our preference for the gravimetric method of determination. In freshly bored holes the neutron moisture determinations yielded good results when compared to the gravimetric method, while in old holes (when the access tube remained on the spot during several weeks) poor results were obtained. The neutron moisture readings were lower during a drying period, but markedly higher at the beginning of a rainy period.

As can be seen in table 1, the radio-active moisture measurements made in an old auger hole were, at the end of a 5 months „drier“ period and to a depth of 1 meter, about 5.5% lower than the actual water content according to the gravimetric reference method. At the beginning of a rainy period however the moisture content values obtained by neutron scattering in an old auger hole were about 12% higher than those found by gravimetric determination in two loam soil profiles (12 volume % being the average difference for the whole profile, as well in the soil type of the plateau as in the soil type of the depression; tables 1 and 2). The explanation is the following:

1) after some time the soil does not longer fit tightly around the access tube, due to a drying out of the soil which causes a widening of the hole and hence the geometry of the measurement is lost;

²) The gravimetric moisture determination of soil profile samples is made as follows: with an auger a \pm 50 g soil sample is taken from a given depth (samples taken in duplicate from 2 borings) and put into a 30 cm³ bottle. The bottle (with a tightly closing plastic snap cap) must be filled completely to avoid water evaporation and subsequent condensation on the bottle wall. Transportation to the laboratory is made in adapted wooden boxes. In the laboratory a 10 g sample is taken by pushing a cork-gimlet into the soil-containing bottle. The cork-gimlet is then withdrawn and easily emptied with a pencil over a calibrated metal sample dish (sold with the electrical oven described below). The inside diameter of the cork-gimlet being 12 mm and the useful height of the bottle being 6 cm, only small corrections are to be made for taking exactly 10 g soil samples. These samples are dried at 105°C for 1 to 1½ hour (depending on the clay content of the soil) in a semi-automatic electrical oven, type „Brabender“ (Duisburg, Germany F.R.). The oven is equipped with a warm-air blower, a special revolving table for 10 calibrated sample dishes and a built-in balance, allowing a direct reading of the percentage moisture loss.

TABLE 1

DIFFERENCE BETWEEN THE MOISTURE CONTENT AS DETERMINED IN A FRESHLY DRILLED AND IN AN OLD AUGER HOLE AFTER A DRYING PERIOD. COMPARISON BETWEEN DATA FROM NEUTRON MOISTURE MEASUREMENTS AND GRAVIMETRIC DETERMINATIONS (OVEN DRYING AT 105° C).

Depth in cm	Freshly drilled auger hole with tight-fitting access tube			Old auger hole with the access tube remaining 5 months on the spot		
	Moisture % per volume as derived from Neutron moisture measurements	Gravimetric determination (reference method)	Difference in %	Moisture % per volume as derived from Neutron moisture measurements	Gravimetric determination (reference method)	Difference in %
30	34,5	34,40	+0,3	34,1	36,35	-6,2
45	34,8	35,08	-0,8	33,8	36,25	-6,8
60	35,1	34,52	+1,7	35,5	36,62	-3,1
90	36,6	36,36	+0,7	34,5	36,62	-5,8
120	39,0	38,66	+0,9	38,6	38,20	+1,0
150	39,2	38,84	+0,9	37,0	36,12	+2,4
180	39,5	40,10	-1,5	37,4	37,45	-0,1
	Mean difference: +0,3%			Mean difference: 0-100 cm: -5,5% 100-200 cm: +1,1%		

TABLE 2

DIFFERENCE BETWEEN THE MOISTURE CONTENT AS DETERMINED IN AN OLD AUGER HOLE (5 MONTHS) WITH THE NEUTRON MOISTURE METER AND GRAVIMETRIC DETERMINATIONS AT THE BEGINNING OF A RAINY PERIOD IN TWO SOIL PROFILES (PLATEAU AND DEPRESSION) OF A GENTLY ONDULATING LOAM LANDSCAPE.

Depth in cm	Soil profile in depression			Soil profile on plateau		
	Moisture % per volume as derived from Neutron moisture measurements (old auger hole)	Gravimetric determination (freshly bored samples)	Difference in %	Moisture % per volume as derived from Neutron moisture measurements (old auger hole)	Gravimetric determination (freshly bored samples)	Difference in %
30	38,0	37,38	+ 1,7	42,6	35,55	+19,8
45	37,4	34,45	+ 8,6	39,8	35,59	+11,8
60	38,5	33,46	+15,1	41,9	34,87	+20,2
90	40,8	34,76	+17,4	39,8	35,39	+12,5
120	42,5	38,65	+10,0	40,8	35,96	+13,5
150	43,0	37,98	+13,2	35,7	35,77	- 0,2
180	42,9	39,22	+ 9,4	36,6	31,47	+16,3
	Mean difference: +10,8%			Mean Difference: +13,4%		

2) along the access tube preferential drainage or infiltration may occur; as a result the soil in the immediate vicinity of the access tube will be drier or wetter than in the more remote places of the soil layer, depending on the weather conditions.

Therefore good neutron moisture determinations should be made in freshly bored holes. However, if one has to make the measurements in old auger holes,

the readings can be corrected by calculation taking into account reference values previously obtained (DE BOODT, MOERMANN and DE BOEVER, 1966).

All the soil moisture data given in this paper correspond to samples obtained by borings at respectively 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 and 180 cm depth, followed by gravimetric moisture determination, the replica of the samples being as stated above.

2. Determination of the plant available water

a. Preliminary determination of the pF-curve

In order to interpret the data of the moisture profiles on the different soil types of the loess-loam toposequence, the pF curves of the soil in the different layers

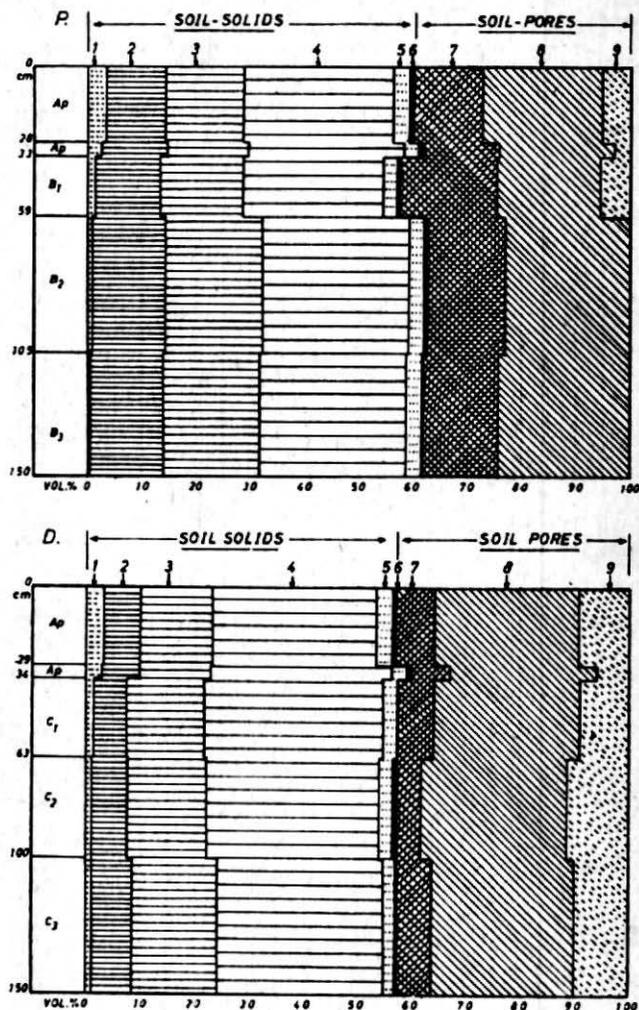


Fig. 1:
Volumetric distribution of soil solid components and of soil pores in 2 soil profiles. The 2 profiles are located on the plateau (P) and in the dry (D) of the toposequence of a large experimental field in the Belgian loessloam area (field "Grande Terre", Juprelle).

1: humus
2, 3, 4, 5: grain size fractions, respectively 0-2, 2-20, 20-50 and >50 μ
6: CaCO₃
7, 8, 9: soil pore groups, subdivided in respectively: the non-available water retention pores, the water retention pores and the drainage pores.

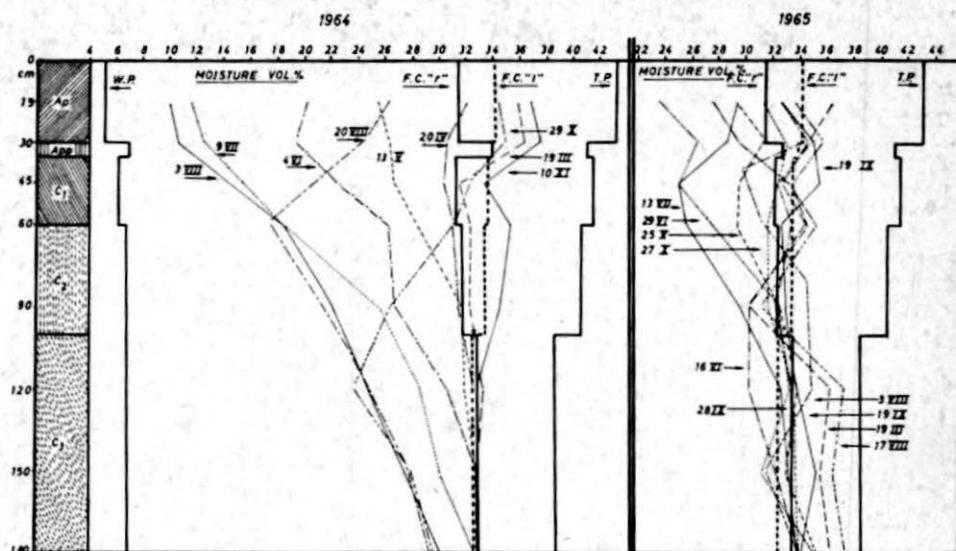


Fig. 3: Moisture profiles in the colluvial soil type of the same experimental field as fig. 2 in 1964 and 1965. Compare with fig. 2

W. P.: water content (vol.%) at wilting point (for each season)

F. C. "r": water content (vol.%) at the "real" (in situ) field capacity.

F. C. "l": water content (vol.%) at field capacity (laboratory determination)

T. P.: total porosity.

9 VII, 3 VIII, etc.: data of moisture determination (July 9th, August 3rd, etc.)

As is illustrated in fig. 2, all moisture profiles found in 1965 on the plateau soil type show lower values in the B horizons than the field capacity as determined in the laboratory. This however is impossible because 1965 has been such a wet year that the plateau soil profile has certainly been on its "real" field capacity for some period. According to the definition of "field capacity" this period should occur:

- after a rainy period, assuming that the amount of rain is sufficient to saturate the actual field capacity,
- long enough after the rainy period, to ascertain that all the drainage water has percolated,
- assuming that there is no vegetation, so there is no transpiration by plants,
- assuming that the meteorological circumstances are such that water loss by evaporation at the soil surface is minimal.

The 3 moisture profiles or hydric profiles respectively obtained on Sept. 10, Sept. 28 and Oct. 27 entirely satisfy the conditions mentioned above (fig. 4):

- the very high rainfall in July and August having been far above the potential evapotranspiration (fig. 10) ascertained a water saturation,
- the cereals having been harvested and no green manure having been grown on this part of the field, the transpiration by plants was minimal,

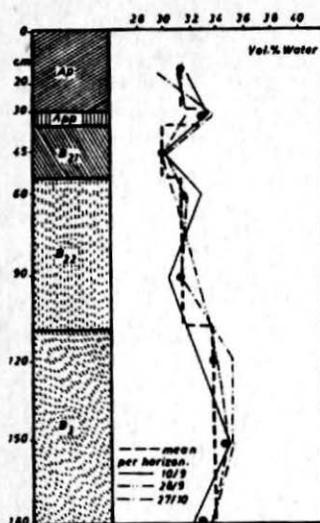


Fig. 4:
Deduction of the "real" (in situ) field capacity of the different horizons of a given soil profile. The field capacity of each horizon represents the mean value of 3 moisture profiles obtained under nearly ideal conditions.

- the soil having been freshly plowed, the capillary conductivity in the arable layer and hence the evaporation were reduced to a minimum.

Moreover:

- the changes in the 3 hydric profiles were very low, although the observation period extended over 7 weeks: this proves an equilibrium of the actual field capacity over the whole profile depth,
- the rainfall during the observation period having been exceptionally low (far below the potential evapotranspiration), no percolation of drainable water took place.

For these reasons the mean values of the 3 hydric profiles have been taken as the actual field capacity of the profile; for the arable layer however the moisture content on October 27 was neglected, the drying out of the soil being evident. The small variations of water content on the same day in the different profile horizons are a normal consequence of the changes in soil composition with depth. As can be observed in fig. 2 and 3 (data of 1964) the water content below 150 cm depth often corresponds to the "real" F.C.

The difference between the field capacity as observed in the field on the one hand and in the laboratory on the other hand can be explained by the fact that the subsoil samples "in situ" are less or not subject to volume changes with changing moisture content, which is always the case with the soil samples in the laboratory. As can be seen also in fig. 2 and 3 and in table 3, the subsoil samples with the highest clay content (plateau soil type) show the greatest difference between the field and the laboratory data. This means that in the laboratory, when dealing with subsoil samples, an extra pressure in the porous-plate apparatus should (theoretically) be applied, to replace the extra pressure "in situ" from the soil layers above.

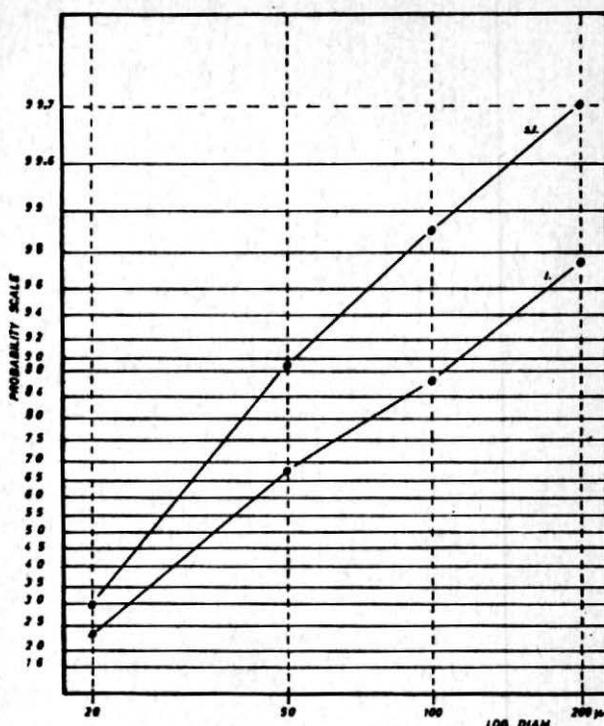


Fig. 5:
The average grain size distribution of sandy loam (s. l.) and loam (l.) in Belgium (these soil textures almost correspond to the terms "silt loam" and "silt" as used in the U.S.A.) can be represented by a straight line on probability graph paper. This however is not true for the fine eolian sand of Northern Belgium.

c. Determination of the "real" field capacity by a graphic correction of the laboratory data

The grain size distribution of a sediment is characterized by a curve, which can be represented by a straight line on log-probability paper (probability graph paper; KRUMBEIN and PETTICORN, 1938). According to our experience, this is true for eolian loess-loam in Belgium³⁾, as illustrated in fig. 5: the 2 nearly straight lines represent the average grain size distribution of 429 sandy loam samples and of 307 loam⁴⁾ samples, all taken in a relatively small but homogeneous sedimentation area (East-Flanders).

If the loam grain size distribution can be represented as a straight line on log-probability paper, it is logical that this should also be true for the pore size distribution of the same material, assuming that (almost) single grain structure can be expected, as is the case for loam subsoil samples.

Fig. 6 represents this distribution, the pore sizes being expressed as logarithmic values by the pF curve data; the subsoil samples of the more or less compact plough-sole (Aps) and of the deeper B horizons (B₂₁ and B₂₂) belong to the same

³⁾ This however is not true for the fine eolian sand of Northern Belgium (publication under preparation by De Leenheer and Van Ruymbeke).

⁴⁾ The terms "sandy loam" and "loam" as used here do not correspond to the identical terms as used in the U.S.A. The corresponding terms in the U.S.A. would rather be "silt loam" and "silt".

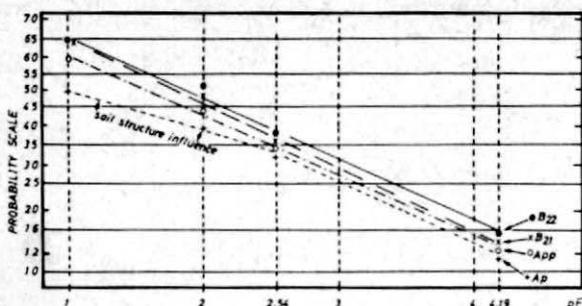


Fig. 6:

The pore size distribution (assuming a single grain structure) of a silty eolian sediment (or subsoil) can be represented by a straight line on probability graph paper. A deviation from the straight line shows the influence of soil structure factors (see the sample of the arable layer of the same profile as the subsoil samples).

profile (plateau soil type). If the influence of soil structure factors becomes more important, as in the arable layer (horizon Ap), the structural pore size distribution (at pF values 1, 2 and 2,5) is no longer in straight line with the very fine pores (pF 4.2) (fig. 6).

The problem now consists in finding a procedure to correct the water content at field capacity as determined in the laboratory in order to get the real field capacity. The correction needed is already experimentally known (table 3). We only want to determine the extra pressure, that has to be applied in the porous-plate apparatus to replace the extra pressure in the field of the soil layers above the sample. This extra pressure, however, cannot be calculated, as it is not only partly a function of the weight of the soil layers above, but much more a

TABLE 3

**DISCREPANCY BETWEEN THE FIELD CAPACITY IN A LOAM SOIL
(JUPRELLE, 1965) AS LABORATORY DETERMINATION ($1/3$ ATM.) AND THE
REAL CAPACITY OBSERVED IN THE FIELD (FIG. 3)**

SOIL PROFILE IN THE PLATEAU					
Horizon	% Clay content	"lab."	Field capacity		difference
			"lab."	"real"	
Ap	19,1	34,3	31,3	9,6%	
Aps	20,5	34,9	33,0	5 %	
B ₂₁	24,0	36,2	30,0	20 %	
B ₂₂	24,0	38,7	31,5	23 %	
B ₃	23,3	41,4	34,0	22 %	

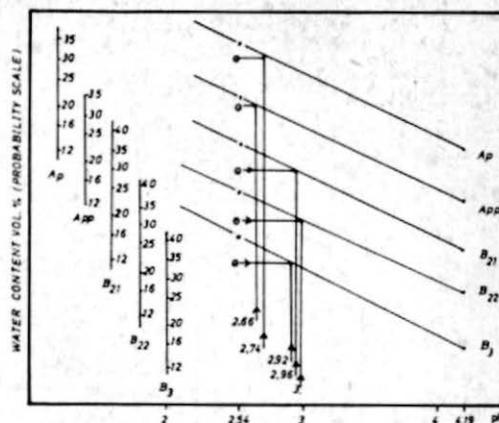
SOIL PROFILE IN THE DEPRESSION					
Horizon	% Clay content	"lab."	Field capacity		difference
			"lab."	"real"	
Ap	12,0	34,3	32,5	5,5%	
Aps	13,3	34,0	32,5	5 %	
C ₁	10,1	33,6	32,0	3 %	
C ₂	10,3	33,5	32,0	3 %	
C ₃	11,5	32,6	33,5	-3 %	

Ap = ploughed layer

Aps = plough sole

Fig. 7:

Graphical determination of the extra pressure needed to find the "real" field capacity of subsoil samples. The centered circles indicate the "real" water content at field capacity of the soil horizon "in situ": e.g. 30% in horizon B₂₁. To find this water content in the laboratory the suction on the soil sample must be increased to pF value 2.96. For the subsoil samples of the profile studied the corresponding average pF value is 2.96 (average of the 3 subsoil horizons) instead of 2.54.



function of the clay content (this content being the most important factor of the swelling by moistening) (table 3). The probability chart helps us to find graphically the extra pressure needed. Knowing the exact moisture content which corresponds to the actual field capacity, it is easy to read the corresponding extra pressure needed to find the true field capacity in the laboratory. Fig. 7 shows how to make the corrections. For the soil profile on the plateau the extra pressure needed (above the theoretical 1/3 atm. value) varies with the depth of the layers and the clay content from 100 to 700 millibars; for the colluvial soil type (with a rather low clay content) the extra pressure needed is much lower: only 0 to 200 millibars.

d. Calculation of the plant available water

To calculate the amount of plant available water, the difference (on a volume basis) should be made between the water content at wilting point and at (actual) field capacity. Thus it is evident (fig. 2 and 3) that the amount of available water of the colluvial soil is much greater than on the plateau soil. From studies made in 1964 (De LEENHEER, 1965) we know already that in these soils the water depletion under the influence of the suction of roots goes at least to a depth of 180 cm (see also fig. 2 and 3, left hand part). The overall amount of available water per profile in the soil types on the plateau and in the depression is shown in fig. 8 and 9. In these figures all data are given as volumes expressed in mm height of water (which means also mm of rainfall). For the calculation, one has to consider the height of each horizon and to know that one volume percent of water corresponds to a water layer of 1 mm (1 mm rainfall) per unit area (cm²) and per height of 10 cm of the horizon.

3. Determination of the non-available water

The volume of non-available water is also represented in fig. 8 and 9 in mm rain (height of water layer); it is calculated from the volume % water which is left in a soil sample after the equilibrium is reached with a 15 atm.-pressure in the pressure membrane apparatus.

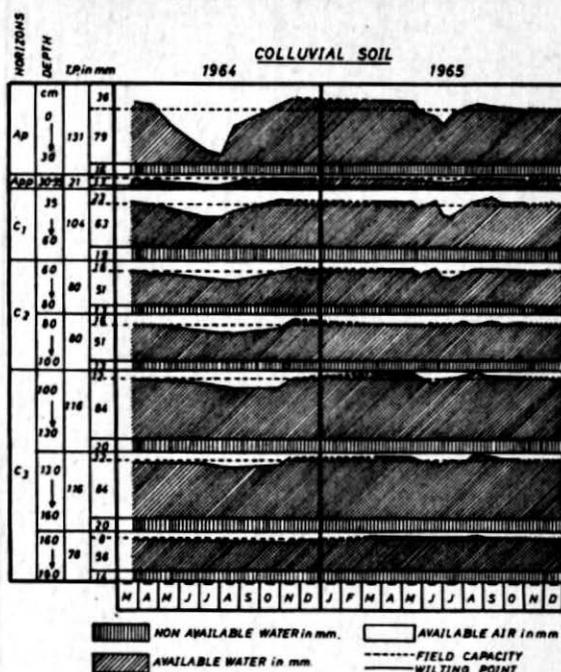


Fig. 9:
Changes in moisture and air content of the different profile horizons of a colluvial soil in 1964 and 1965. The colluvial soil is located on the same experimental field as the plateau soil (represented in fig. 8)

II. CHARACTERISATION OF CLIMATOLOGICAL CONDITIONS IN RESPECT TO PLANT GROWTH

In order to handle climatological information in a statistical way one has to deduce an integrated single value. Different methods have been proposed. At the meteorological station in Juprelle, situated about 1 km from the toposequence studied, the measurements are made which are needed to determine the actual evaporation or to calculate the evapotranspiration as proposed by different authors.

1. Determination of the potential evapotranspiration (ETp)

In 1965 the solarimeter equipment needed for the measurement of global radiation was not yet installed; the insolation was measured with a Campbell-Stokes heliograph. The potential evapotranspiration ETp during the growing period was therefore calculated according to the Turc formula (Turc, 1961).

In fig. 10 the potential evapotranspiration according to Turc for both the years 1964 and 1965 is given, together with the rainfall. This picture reflects quite well the difference in climatological conditions in 1964 and 1965, the first being a very dry the second a very wet year.

2. Wheat production and potential evapotranspiration rate

In 1964 the rainfall deficit versus the ETp for the months of April, May, June, July and August was respectively -22 , -73 , -67 , -101 , -39 mm⁵). This means

⁵ These figures are much higher than the ones (-8 to -36 mm) considered by ASLYNG (1965) in Denmark as being desirable for a high wheat production. It stresses the influence of the physical conditions of the soil; those would be quite different in the neighbourhood of Copenhagen from those in the Eastern part of Belgium.

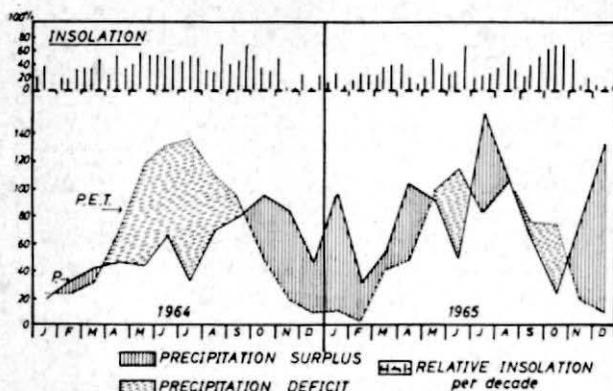


Fig. 10: Insolation per decade (in % of the maximum), rainfall (P) in mm and potential evapotranspiration (ET_p, according to Turc) in 1964 and 1965, as measured on the agro-meteorological station near the experimental field.

that for the whole growing period of the wheat until its ripening (end of July) the deficit totalled 263 mm. On the other hand, the amount of water taken up by the crop during the same period from the plateau soil and the colluvial soil, as calculated from the moisture profiles (fig. 8 and 9), reached respectively 204 and 229 mm. From these data it can be concluded that the wheat was growing nearly at its potential evapotranspiration rate. Thus a high yield could be expected (fig. 11).

The same calculations being made for 1965, the monthly rainfall excess (+) or deficit (—) in April, May, June, July and August was respectively +5.5, —7.5, —6.3, +74.0, +5.2 mm. The water balance for the growing period of the wheat (until the end of July), closed with an excess of +5.7 mm. The calculated amount of water, however, taken up by the crop from the plateau soil and the colluvial soil (as deduced from the moisture profiles) was respectively 97 and 99 mm. This is too high to match the water balance. The only possible explanation is a water percolation of nearly 100 mm through the profile.

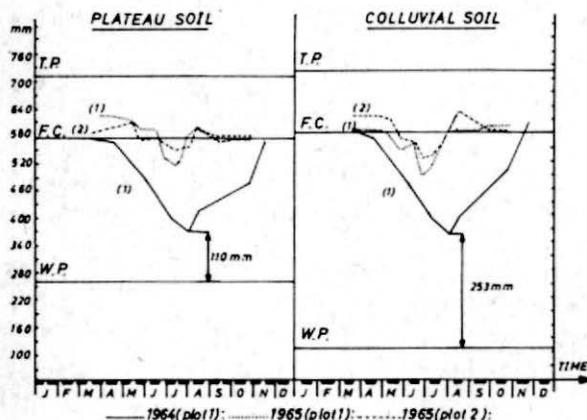


Fig. 11: Variation in moisture content of 2 soil profiles (0—180 cm) in 1964 and 1965. The 2 soil profiles are the plateau soil and the colluvial soil which occur on the same experimental field as the one represented in fig. 8 and 9. Crop: winter wheat (variety Marchal)

3. Crop production and insolation

In several cases the differences between precipitation and potential evapotranspiration do not reflect the weather factor in respect to crop production. The relative insolation in percentages of the total possible insolation should then be taken into account, especially for the flowering and ripening period of the wheat and the ripening period of the sugar-beet. The insolation data are given at the top of fig. 10. As may be observed the insolation as determined according to Campbell Stokes was high in June and July 1964, thus predicting a good wheat harvest. In 1965 the radiation as a whole was very low, but it was high during the months of August, September and October; this means a last-minute yield improvement of the sugar content. In 1965 the sugar produced in the beets during those 3 months lay about 10% higher than the average production over the same 3 months during the last 10 years⁶⁾. In the autumn of 1965 the influence of high insolation on the sugar-production was undoubtedly one of the reasons why no correlation could be found between yield and rainfall deficit, expressed as the difference between precipitation and potential evapotranspiration. The differences of sugar-beet yields in 1964 and 1965 are illustrated in table 4.

TABLE 4

SUGAR-BEET YIELDS IN KG/HA FIELD OF "GRANDE TERRE", JUPRELLE, BELGIUM

	Plateau Soil		Colluvial Soil	
	1964	1965	1964	1965
Roots	66,000	51,000	55,000	49,000
Sugar content	18.5%	17.7%	18.3%	16.4%
Leaves	27,000	51,000	27,000	50,000
Sugar production	12,210	9,027	10,065	8,036

III. AN INTEGRATION OF SOIL PHYSICAL FACTORS AND CLIMATOLOGICAL CONDITIONS

The water-balance and other climatological information studied are to be considered as different features of the complex problem of the relationship soil—climate—yield. To find out what parameters or group of parameters are the most involved in the production of dry matter, one should try to use integrated factors of soil physical parameters and climatological conditions. Therefore a correlation study was made between the yields and the amount of water taken from the soil during the vegetation period. The justification for choosing water depletion as a parameter is due to the fact that it is the result not only of evaporation but also of active transpiration by the plant. This is not the case when considering the potential evapotranspiration values alone (LEHANE & STAPLE, 1965).

It should also be observed that in certain years the water depletion in soils with a deep water table⁷⁾ allows a rather good estimate of the water used by the crop (the % of interception water used by the plants is neglected). This was the

⁶⁾ Information received from the Belgian Institute for the Improvement of Sugarbeets (Tienen).

⁷⁾ It is assumed that the influence of capillary rise (from the water table) on the water balance is zero.

case in 1964: during the whole vegetation period the moisture content of the soil was below field capacity so no water percolated the soil profile. Hence all water depletion in the profiles was caused by plant growth (fig. 11).

The total water depletion was calculated by the integration of the area between the field capacity (horizontal line F.C., fig. 11) and the moisture curve during the growing period of the wheat. Each point of the curve represents the total water content in the soil profile (0—180 cm) at a given moment (e.g. the hydric profiles of fig. 2 and 3).

This was done for the two soil types (with one plot in 1964 and two plots in 1965); the results are shown on the abscissa in fig. 12, while the yields are put on the ordinate. The trend is evident and leads to the idea that grain production in

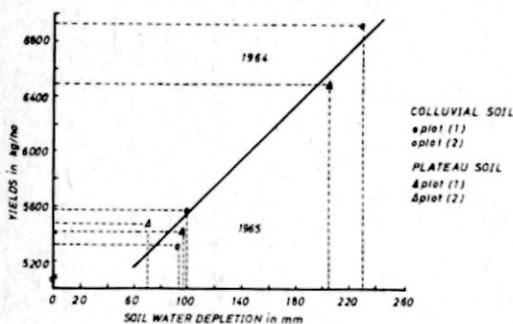


Fig. 12:
Correlation between water depletion in the soil and yield of winter wheat (variety Marchal) in 1964 and 1965.

the Belgian loam region could be estimated a short time before harvest by calculating the water depletion in the soil. This method however does not allow to predict sugar-beet productions, as no correlation could be found between the yield and the quantity of water taken up from the profile.

IV. SUMMARY AND CONCLUSIONS

It is supposed that in a leading agricultural region, where chemical fertilizers are amply applied and where selected seeds are used, the limiting factor in crop production is often to be found in the interrelationship between soil physical properties and climatological conditions.

First it is studied how the moisture profiles in a toposequence in the dry loess-loam region of Belgium can be assessed. Therefore the neutron-moisture method was compared with the gravimetric determination (oven drying at 105°C) of samples taken with an auger at depths varying from 0 to 180 cm; the sampling took place every fortnight during the vegetation period in 1964 and 1965, on two different soil types; i. c. a plateau soil and a colluvial soil in a gently undulating landscape.

The conclusion is that the neutron-moisture meter yields good results only when the determinations are made in freshly bored auger holes. The original idea to leave the access tube on the spot in order to save time and to make the readings always at exactly the same place was abandoned. Indeed, the hole in which the

access tube fitted tightly when fresh became larger with time thus giving poor results. The preferential path-way for drainage or infiltration of the water along the access tube after a rainy period increases the measurement error. However, if the measurements are made in old auger holes correction can be calculated, assuming that some reference values are available.

When the data from soil-moisture profiles are combined with the laboratory determination of total porosity, field capacity and wilting point, the following conclusions can be drawn.

- a) Below the plow-layer the field capacity as determined in the laboratory (at 1/3 atmosphere pressure) does not correspond with the field capacity as observed in the field; the reason is that a soil "in situ" in the deeper horizons does almost not swell nor shrink under the influence of soil moisture changes, while the sample in the porous-plate apparatus does. The discrepancy between "field capacity" as a field or as a laboratory notion is function both of the weight of the horizons above the place of sampling and of the clay content of the soil sample. To obtain the correct determination for samples of the plateau soil type, the pressure in the apparatus had to be increased up to 1 atmosphere (pF 3), while for the colluvial soil type the needed extra soil pressure above 1/3 atmosphere was smaller (table 3).
- b) In the colluvial soil profile the quantity of available water is much larger than in the plateau soil profile, mainly because the wilting point in the former is much lower.
- c) In the region studied even in a very wet year as 1965, the available air never is a limiting factor for plant growth.

The differences between the potential evapotranspiration—calculated with the formula of Turc—and the precipitation during the two years of observation show a satisfactory correlation with the wheat yields.

For some crops the correlation between climatological conditions and crop yields can be improved by taking into account the relative insolation. This is particularly true for sugar-beets.

In order to find an integrated factor between soil physical conditions and climate, the calculation of the quantity of water taken up from the soil profile by the crop is proposed. The dry loam toposequence in Belgium seems to confirm this idea, especially in those years (1964) when from the beginning of the crop growth (in the spring) until harvest time the moisture content in the soil profile is always below field capacity. Under such circumstances no vertical water percolation occurs and the depletion of the soil moisture must be a consequence of water uptake by the plants. This method also gave satisfaction in 1965, the quantity of water taken up from the profile correlating well with wheat production, but failed for sugar-beet yields. The method proposed has the advantage that an estimate of the grain production can be made a short time before harvest.

The justification for using this parameter (water depletion) is due to the fact that it is the result not only of evaporation but also of active transpiration by the plant. This is not the case if only the potential evapotranspiration is taken into consideration. The whole of this study will take 12 years (i.e. 4 replica of a 3 years-rotation).

References

- Aslyng H. C. 1965.
Weather, water balance and plant production at Copenhagen 1955—1964.
Royal Veterinary and Agricultural College, Copenhagen, Yearbook 1966, 1—21.
- De Boodt M., Moermann P. & De Boever J. 1966.
Comparative study of the water balance in the aerated zones with radio-active methods and weighable lysimeter.
Symposium on water in the unsaturated zone. Wageningen (Netherlands) 19—25 June 1966. In press: Unesco, Paris.
- De Leenheer L. et al. 1960.
Monografie der Zeepolders.
Verhandeling 2. Pedologie, Gent, 1—416.
- De Leenheer L. 1965.
Etude de la structure et de la fertilité physique du sol sur grandes fermes mécanisées.
Pédologie, Gand, 15, 84—109.
- Krumbein W. C. & Pettijohn F. J. 1938.
Manuel of sedimentary petrography.
Appleton Century Crofts, New York.
- Lehane J. J. & Staple W. J. 1965.
Influence of soil texture, depth of soil moisture storage and rainfall distribution on wheat yields in southwestern Saskatchewan.
Canadian Journal of Soil Science, 45, 207—219.
- Richards L. A. 1947.
Pressure membrane apparatus. Construction and use.
Agricultural Engineering, 28, 451.
- Turc L. 1961.
Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. (Formule climatique simplifiée et mise à jour).
Annales agronomiques, 12, 13—50.

Zusammenfassung

Korrelation zwischen Ernteerträgen in einer Toposequenz der belgischen Löblehm-landschaft und dem Wasserhaushalt des Bodens im Laufe der Jahre 1964 und 1965

Diese Untersuchung ist ein Versuch, die Bodenkapazität mit dem Wasserhaushalt des Bodens während der Vegetationsperiode zu korrelieren.

Zuvor muß aber darauf aufmerksam gemacht werden, daß, im Moment jedenfalls, die Untersuchung der Feuchtigkeitsvariationen im Bodenprofil als Funktion der Zeit genauer mit der gravimetrischen Methode als mit der Technik der Neutronendiffusion gemacht werden kann (Tabellen 1 und 2).

Als zweite vorherige Bemerkung wird betont, daß für die Interpretation der Feuchtigkeitsschwankungen im Bodenprofil die Feldkapazität und der Welkepunkt der einzelnen Bodenhorizonte bekannt sein müssen, daß aber auch die Laboratoriumsbestimmung dieser Feldkapazität für die tieferen Bodenhorizonte nicht der Realität entspricht und korrigiert werden muß. Wegen des Druckes der oberliegenden Bodenschichten tritt bei Wasseraufnahme keine Quellung im Untergrund ein, und die Korrektur berücksichtigt diese Quellungsminde rung (Fig. 7).

Die Ergebnisse der Feuchtigkeitsvariationen mit der Zeit (Fig. 2 und 3) werden anschließend als produktive Verdunstung umgerechnet. Als Ausdruck dieser nutzbaren Verdunstung haben die Autoren die gesamte Wassermenge, welche durch die Pflanze während der Vegetationsperiode aus der kapillaren Feuchtigkeitsreserve des Bodenprofils aufgenommen wurde, gewählt (Fig. 11).

Diese gesamte Wassermenge, die aus der kapillaren Bodenreserve und als Kompensation des Regendefizits aufgenommen wurde, konnte mit den Ernterträgen für Weizen, 1964 und 1965, korreliert werden (Fig. 12). Für Zuckerrüben aber ist dieser dynamische Parameter der physikalischen Bodenfruchtbarkeit nicht befriedigend, weil die Insolation für die Zuckerproduktion durch die Pflanze einen zu großen Einfluß hat.

Résumé Français

Corrélation entre les rendements dans une toposéquence de la région limoneuse belge et l'économie en eau du sol au cours des années 1964 et 1965

Cette étude constitue un essai de corrélation entre le rendement du sol et son économie en eau au cours de la période de croissance.

Au préalable les auteurs attirent l'attention sur le fait, qu'en ce moment du moins, l'étude de la variation de l'humidité dans un profil pédologique en fonction du temps se fait d'une façon plus exacte par la méthode gravimétrique que par la technique de diffusion de neutrons (tabl. 1 et 2).

Comme seconde remarque préliminaire, il est souligné que l'interprétation de la variation d'humidité dans un profil de sol suppose la connaissance de la capacité au champ et du point de flétrissement de chaque horizon du profil, mais que la détermination au laboratoire de cette capacité au champ des horizons inférieurs à la couche arable ne répond pas à la réalité et requiert d'abord une correction. La correction tient compte du «gonflement empêché» du sous-sol (par suite du poids des couches supérieures la fixation d'une quantité d'eau ne s'accompagne pas du gonflement qui se produit en surface (fig. 7).

Moyennant ces données préalables il devient possible de traduire les variations de l'humidité du sol en fonction du temps (fig. 2 et 3) en une économie en eau utile pour le système racinaire. Les auteurs estiment que cette économie en eau utile se traduit de façon satisfaisante par la quantité totale d'eau que la plante parvient à puiser de la réserve d'eau capillaire du profil au cours de sa période de croissance (fig. 11).

Cette quantité totale d'eau puisée de la réserve du sol en compensation «du déficit de pluie» a pu être corrélée avec le rendement de froment en 1964 et 1965 (fig. 12). Pour les betteraves sucrières cependant ce paramètre dynamique de la fertilité physique du sol ne donne pas entièrement satisfaction, car l'insolation exerce une influence importante sur la production de sucre.

Über den optimalen Bereich der Bodenfeuchte in einer Parabraunerde aus Löß, beobachtet am Wachstum der Zuckerrüben in trockenen und nassen Vegetationsperioden

Von Dr. A. v. Müller, Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen

Auf der Bodenkundlichen Tagung in Würzburg im September 1963 habe ich über das Verhalten der Zuckerrüben in Göttingen im Dürrejahr 1959 berichtet. Bodenfeuchtemessungen hatten 1959 gezeigt, daß die allgemein als Hauptwurzelhorizont angesehene Profiltiefe von 0—60 cm schon bis zum WP ausgetrocknet war, ehe das Wachstum irgendeine Störung aufwies. Im Gegenteil — bis in den Hochsommer 1959 blieb das Wachstum nicht hinter dem des Rekordjahres 1953 zurück. Erst die anhaltende Dürre ab August 1959 und das Vordringen des WP bis in eine Profiltiefe von 90 cm führten nacheinander zu einer Einschränkung des Blattwachstums, sodann zum Stillstand des Zuwachses am Rübenkörper und schließlich auch zum Stagnieren in der Zuckerbildung. — Da ein Beregnungsversuch auf diesem Standort nicht durchgeführt werden kann, blieb offen, in welchem Bereich das Optimum der Austrocknung hätte verweilen sollen.

Es ist zuzugeben, daß die These von der „nützlichen Austrocknung“ nicht verallgemeinert werden kann. Beregnungserfolge auf leichten Böden im gleichen Klimagebiet und auf schweren Böden in wärmeren Lagen haben das bewiesen. Offensichtlich braucht jedoch in den kühlen Lagen Südhannovers der degradierte Löß mit seinen Verdichtungshorizonten und seiner trägen biologischen Dynamik diese teilweise Austrocknung, welche die Luftkapazität in entscheidender Weise erhöht.

Das nächste trockene Jahr mit gutem Zuwachs war in Göttingen 1963. Die Abb. 1 zeigt den dekadenweisen Zuckerertrags-Zuwachs (nicht die Summenkurve der jeweils erreichten Ertragshöhe, sondern den Zuwachs von einer Dekade zur anderen, was die wechselnde Leistung des Pflanzenbestandes deutlicher macht). 1963 brachte höchsten Zuwachs nach der Austrocknung Ende Juli, eine Senkung mit der Anfeuchtung Ende August und einen erneuten geringen Anstieg mit der zweiten Austrocknungsphase im September. Im ganzen verlaufen die Kurven spiegelbildlich. Dies gilt auch für das bisher noch nicht erwähnte Jahr 1962. Hier ließ die Nässe im Juli das Wachstum nur sehr zögernd beginnen. Die stärkste Austrocknung im August gab den ersten Kulminationspunkt, die langsame Austrocknung im September den zweiten.

Selbstverständlich soll nicht der Anschein erweckt werden, daß der Bodenfeuchtezustand die Berücksichtigung der übrigen Wachstumsfaktoren überflüssig mache. Der Temperatur kommt ebenfalls eine große Bedeutung zu. Durch sie entsteht im langjährigen Mittel die Glockenform der Zuwachskurven; im Zusam-

menwirken mit der Bodenfeuchte ergeben sich dann im Einzelfall auch zwei- bis mehrgipflige Kurven.

Die in ihrer Feuchtigkeit so unterschiedlichen Jahre 1964 und 1965 sind in Abb. 2 dargestellt. Die Bodenfeuchte ist hier in Prozent der nutzbaren Kapazität erfaßt, was numerisch etwas geringere Werte liefert als in mm, bezogen auf 60 cm Profiltiefe.

1964 ergab sich schon im Juni eine deutliche Bodenaustrocknung; der Rübenzuwachs, dessen Kurve ähnlich wie die des Zuckerertragszuwachses verläuft, fiel entsprechend gut aus. Nach einem vorübergehenden Rückschlag durch 30 mm Regen Anfang Juli trocknete dann der Boden in drei Wochen bis 60 cm Tiefe völlig aus, während der Zuwachs Rekordwerte erreichte. Für Böden mit geringerer Wasserkapazität in anderen Gebieten drohte bereits ernstliche Dürre, als in ganz Norddeutschland Mitte August ziemlich einheitlich 50 mm Regen fielen. Für den Göttinger Boden brachte dies eine vorübergehende Anfeuchtung auf 40% der nutzbaren Kapazität. Da die nachfolgende Wuchsleitung zu einer Rekordernte führte, darf gefolgert werden, daß auf dieser Löß-Parabraunerde die insgesamt weitgehende Austrocknung von 1964 etwa dem ökologischen Optimum entsprach.

1965 setzte im Juni eine normale Austrocknung ein, die zu früherem Wachstumsbeginn führte als vergleichsweise 1962. Dann vernäbten jedoch über 100 mm Regen in der 2. Julidekade den Boden und verhinderten hohen Zuwachs. Obgleich später im Nachsommer die Niederschläge unter dem Durchschnitt lagen, kam es nicht mehr zu einer merklichen Bodenaustrocknung; möglicherweise lag dies an einer kapillaren Wiederanfeuchtung von noch nicht abgeflossenem Sickerwasser her. (Eine große Baugrube gab Einblick in den tieferen Unterboden, der deutliche Stauley-Symptome zeigte.) Der Ertrag erreichte 1965 nur durchschnittliche Werte.

Die Fragestellung des Themas erscheint mit diesem Material ausreichend beantwortet: nur in Verbindung mit einer schon im Juni einsetzenden und nachhaltigen Bodenaustrocknung sind in Göttingen auf einem Boden, der in nassem Zustand nur etwa 5—7% Luftkapazität besitzt, Höchstserträge an Zuckerrüben erzielt worden. Der optimale Austrocknungsgrad konnte nicht genau ermittelt werden, jedoch läßt sich aus einem Vergleich der Jahre 1959 und 1964 feststellen, daß keine Dürreschäden auftreten, solange die obersten 60 cm des Bodens noch Spuren von pflanzenverfügbarem Wasser enthalten. Bleiben dagegen ständig mehr als 50% (60 mm) Bodenfeuchte erhalten, so ist wie 1962 nur mit einer schlechten oder wie 1965 allenfalls mit einer mittleren Ernte zu rechnen.

Abschließend ist noch der Versuch eines Beweises zu machen, daß die Bodenaustrocknung nicht nur die Wirkung eines starken Zuwachses mit seiner entsprechend höheren Transpiration ist, sondern im Sinne meiner Hypothese eben die Ursache.

Der Schlüssel zu dieser Betrachtung liegt in der Jugendentwicklung: solange der Bestand noch nicht schließt, kann der Boden durch Evaporation zwar nicht in der ganzen Tiefe des später durchwurzelten Profils, aber doch in den oberen Dezimetern so weit austrocknen, daß die Rübe zur Bildung von Tiefwurzeln veranlaßt wird. Diese ermöglichen später, die Bodenfeuchte auch unterhalb 60 cm zu nutzen, so daß die starken Austrocknungsgrade in den oberen Schichten wie 1959 bis August und wie 1964 den Bestand in seiner Wasserver-

sorgung nicht berühren. Nach dem Schließen ist die unproduktive Verdunstung gering zu veranschlagen; deshalb verlaufen dann Austrocknung und Zuwachs, zeitlich gesehen, synchron.

Zur weiteren Beweisführung ist die Temperatur als zweitwichtigster Wachstumsfaktor heranzuziehen. Der verschiedene Zuwachs 1962 und 1963 (Abb. 1) erfolgte von Juli bis September bei sehr ähnlicher Temperatur (Differenz

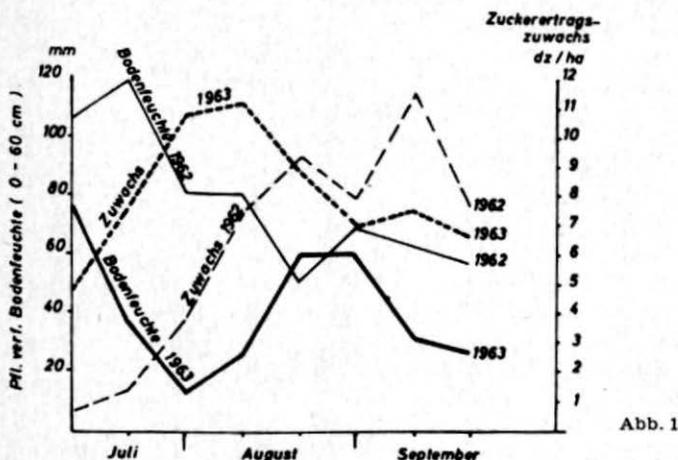


Abb. 1

der beiden Jahre hier $0,3^\circ$ in der mittleren Tagestemperatur). — Der Zuwachs zwischen 1964 und 1965 war (zwar nicht im Verlauf, jedoch quantitativ) nicht „verschiedener“ als der zwischen 1962 und 1963, obgleich die Temperatur 1964 um $2,1^\circ$ höher lag als 1965. — Oder ein detaillierter Beweis: Abb. 2 zeigt, daß am

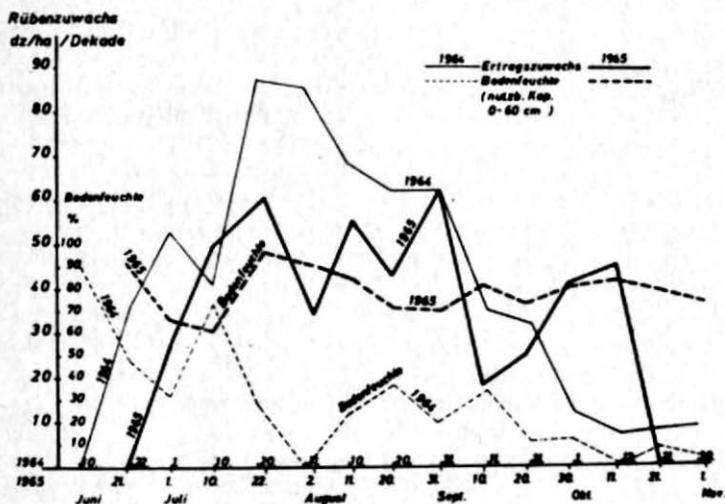


Abb. 2

1. Juli der Zuwachs 1964 höher war als 1965. Die Temperatur der zugehörigen Dekade lag jedoch 1965 höher. Umgekehrt war es bis zum 10. Juli 1965 kälter als 1964, jedoch 1964 konnte der hohe Zuwachs sich nicht halten, weil 30 mm Regen störend dazwischenkamen.

Ohne die in Wirklichkeit komplizierten Zusammenhänge simplifizieren oder in einfache Zahlenwerte pressen zu wollen, sehe ich damit meine Aufgabe als erfüllt an, den generationenlang vernachlässigten Wachstumsfaktor „optimale Bodenfeuchte“, der durch Niederschlagsmessung alleine nicht erfaßt werden kann, einmal hervorgehoben zu haben. Zusammenfassend sollen, ergänzt durch die Erfahrungen der Völkenroder Berechnungs-Beratung, Versorgungsgrade von 50—70% der nutzbaren Kapazität für die leichten Böden und solche von 30—50% für Rüben auf schweren Böden empfohlen werden. Hieraus ergibt sich von selbst, daß eine zusätzliche Berechnung für schwere Böden nicht lohnt, da sie zu selten (vor 1959 vielleicht 1947) nötig gewesen ist.

IV. Diskussion

Leitung: Prof. Dr. Richard

BAUMANN: Herr Kollege Kopp, Sie zeigten, wie weit ihr Einfluß auf die Gestaltung der Melioration dort wirksam werden konnte. Meines Erachtens sollte man nach etwa sechs Jahren prüfen, ob tatsächlich die nach ihren Vorschlägen durchgeführte Melioration ein Erfolg gewesen ist. Das wäre eine wichtige Prüfung!

GRUBINGER: Meiner Erfahrung und Analyse organisatorischer Probleme zufolge sind vornehmlich drei kritische Punkte zu beachten.

1. Der Ingenieur, der in der Meliorationspraxis projiziert und baut, lebt in anderen Denkkategorien als Sie hier mit vornehmlich naturwissenschaftlich-philosophischer Zielsetzung. Der Ingenieur hat Termine einzuhalten, ein klar erkenn- und ausführbares Projekt zu liefern und als Baukaufmann in Budgetjahren zu denken.

Wirft man ihm nun ein Paket wissenschaftlicher Streitfragen und hunderterlei verschiedene Rezepte auf den Zeichentisch, dazu Kartenmaterial in allen erdenklichen Maßstäben mit jeweils anderer Nomenklatur, wird man nicht erreichen, daß die so wichtigen bodenkundlich-physikalischen Vorarbeiten für ein Projekt gemacht und vor allem als Bemessungsgrundlage auch benutzt werden.

2. Pedologen und Ingenieure reden vielfach aneinander vorbei. Eine entsprechende Situation war jahrzehntelang bei Ingenieuren und Geologen gegeben. Erst als die Geologen einzusehen begannen, daß der Ingenieur einige wenige Fragen klar beantwortet haben will, an Fossilisten und Debatten über Feinstratigraphie aber nicht direkt interessiert sein kann, begann die fruchtbare Zusammenarbeit.

Mit anderen Worten: Der reine Naturwissenschaftler muß sich Denkweise und Begriffswelt der Technik aneignen.

3. Das letzte Problem liegt darin, daß — gestatten Sie mir diese Feststellung als Außenstehender — in Deutschland die Ausbildung der Leute, die heute Kul-

turtechnik treiben, entweder nur auf Technikumsbasis erfolgt, bzw. daß die Akademiker im wesentlichen aus dem Bauingenieurwesen kommen, also letzten Endes nur Wasserwirtschaftler sind und dann irgendwo in das Meliorationswesen einsickern. Damit fehlen diesen Ingenieuren die wesentlichen naturwissenschaftlichen, will sagen pedologisch-agronomischen Grundlagen und Einsichten.

Es ist bekannt, daß in Deutschland vielfach die Meinung vertreten wird, Kulturtechnik müsse kein eigenes akademisches Fachstudium sein. So betreut der Geodät die Flurbereinigung und sieht darin eher ein Rechenexempel als die Integralmelioration, während der Bauingenieur vornehmlich die wasserwirtschaftlichen und baulichen Aspekte wahrnimmt, dem Agronomen wiederum fehlen die technischen Kenntnisse. Ich darf erinnern, daß beim „Service du Génie Rural“ in Frankreich Bauingenieure, Landwirte, Elektroingenieure usw. nach ihren vollen akademischen Studien zwei Jahre am Institut de Génie Rural eine komplette diesbezüglich ergänzende Ausbildung zum Kulturingenieur machen müssen. Die Schweiz und Österreich sowie dessen Nachfolgestaaten bilden seit nunmehr 80 Jahren Kulturingenieure in eigenen Studienrichtungen aus.

Ich halte ein gezieltes pedologisches Gutachten als Grundlage jeglichen Meliorationsprojektes und eine spätere Funktionskontrolle der Bauten mit Erfahrungsbericht durch eine Versuchsanstalt aus wirtschaftlichen Erwägungen für unerlässlich.

SCHWERDTFEGGER: Wir haben heute morgen gerade im ersten Einführungsvortrag gehört, daß die Zusammenarbeit der Hochschule mit der Praxis so eng ist, daß hier die Dinge wirklich auch auf der Diplomingenieurseite sicher weitgehend so verwirklicht sind, wie Sie wollen. Gerade Professor Billib, der auch für die Bodenkunde ein recht offenes Herz hat, würde die Forderung zur Gründung einer Bundesanstalt für landwirtschaftlichen Wasserbau stellen, in der alles zu Hause wäre. Aber ganz so schlecht ist die mittlere Ausbildung unserer Ingenieure — daß wir sie heute noch als Wiesenbauer bezeichnen könnten — sicher nicht.

HEBESTREIT: In der Diskussion wurde bereits vor Verallgemeinerungen gewarnt. Auch jetzt sollten wir diese Warnung beachten. Vielleicht ist es richtiger, nach Maßstäben zu suchen:

Ein einfaches Kriterium zeigt den Einfluß der Fachbildung: Verschaffen Sie sich einen Überblick über die praktizierten Dränverfahren und die Dimensionswahl.

Wenn man trotz großer Relief- und Bodenunterschiede stets demselben Schema begegnet, muß eine ernste Lücke in der Fachbildung bestehen.

Fragen Sie vielleicht den Praktiker nach der Vernässungsursache, so erweisen sich oft bereits die ersten Abschnitte der Dränanweisung als unbekannt. Im Gelände sieht man häufig, daß keines der zahllosen Merkmale von Vernässungen und ihren Ursachen beachtet oder überhaupt gesehen wurde.

Während die beiden ersten Tests bereits ein Vakuum offenbarten, wird der dritte gefährlich: Fragen Sie den Praktiker nach den ihm bekannten Dränverfahren!

Um das Verständnis durch Anschauung zu stützen, haben wir ein Modell ausgestellt, das dem von Herrn Dr. Kopp gezeigten Bilde entspricht. Auf ein erläuterndes Referat wollten wir verzichten, um die Diskussionszeit nicht zu beschränken. Hoffentlich spricht die Darstellung nach dem Referat von Herrn Dr. Kopp für sich.

MERBITZ: Ich kenne die Arbeiten der Wiesenbaumeister aus Schlesien, Brandenburg und Pommern. Dort habe ich den Eindruck gehabt, daß sie den tatsächlichen Verhältnissen entgegengekommen sind und ihre Projekte bodengerecht durchgeführt haben. Ich würde gerade jetzige Kulturtechniker bitten, herauszukommen und neue laufende Drängräben anzusehen! Kilometer auf Kilometer! Dann werden Sie erschrecken, wie es nun tatsächlich aussieht, wie wenig mit den mathematischen Berechnungen anzufangen ist und welche Verluste entstehen!

SCHAFFER: Ich möchte Herrn Schwerdtfeger sekundieren. An der TH Braunschweig sind die Verhältnisse nicht ganz so schlimm, wie sie Herr Prof. Grubinger als im allgemeinen vorherrschend annimmt und dargestellt hat. Auch bei uns bekommen die Ingenieure etwas von Bodenkunde zu hören.

KOPP: Wir haben unser Gutachten nicht als Kartierung gemacht und dann der zuständigen Behörde übergeben, sondern die Bauern der Flurbereinigungsgemeinde, Ingenieure des Kulturamtes und die Techniker sind zur Untersuchung mitgegangen. Wir haben an Ort und Stelle praktisch jeden Dränstrang erbohrt. Von dem, was ich hier vorgetragen habe, konnten die Bauern gleich das Wichtigste sehen und hören, so daß an Ort und Stelle praktiziert wurde, was wir erkannt haben. Die Praktiker sind sehr dankbar dafür. Das soll man nicht unterschätzen. Fehlleistungen sind nicht böser Wille, sondern für sie liegen ganz andere Gründe vor.

VAN EIMERN: Ich danke Herrn Professor de Boodt, daß er eine Sache bestätigt, die ich dauernd versuche, im agrarmeteorologischen Dienst stärker auszudrücken. Wir sollten wirklich wesentlich mehr Strahlungsmessungen durchführen. Es wird immer wieder bestätigt, daß die Strahlung für die Verdunstung der wesentliche Faktor ist. Der Einfluß der Strahlung auf die Verdunstung übertrifft den Einfluß der anderen meteorologischen Elemente wie den der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und des Windes bei weitem.

In Bayern ist z. B. ein Juli-Monat mit 110 mm Regen noch ein ganz normaler Monat, weil Südbayern 20% mehr Einstrahlung erhält als z. B. der Niederrhein, das Münsterland oder Nordwestdeutschland. 110 mm Regen im Juli bedeuten daher in Nordwestdeutschland schon, daß der Monat zu naß ist. In Südbayern wird ein solcher Niederschlag aber durch die größere Strahlung verkräftet.

Zu dem Referat von Herrn von Müller: Ich habe in der vorigen Woche von Herrn Professor Aslyng aus Kopenhagen einen Aufsatz über den Zuwachs verschiedener Feldfrüchte in Abhängigkeit von der Verdunstung erhalten¹⁾. Er hat den Wasserverbrauch verschiedener Feldfrüchte (Getreide, Kartoffel, Rüben, Gras) mit der potentiellen Verdunstung der sogenannten Class-A-Pan verglichen. Er hat den täglichen Zuwachs der verschiedenen Früchte zu dem Quotienten pflanzlicher Wasserverbrauch zur Panverdunstung in Beziehung gesetzt und kommt so bei allen Früchten zu praktisch der gleichen täglichen Zuwachsrate.

Der Wasserverbrauch scheint mir demnach vielleicht doch noch wichtiger für die Zuwachsrate zu sein, als die Höhe der Bodenfeuchte selbst.

CZERATZKI: Zu dem Referat von Herrn Dr. von Müller: Bei langjährigen Ertragsvergleichen zwischen einem Sandboden unter Beregnung und einem Lehmboden konnte für die Rübenenerträge auf dem Sandboden eine Korrelation zur Strahlung von $V = +0,90$ errechnet werden. Für den Lehmboden war keine Korrelation festzustellen. Dort, wo die Bodenstruktur keine Störfunktion verursacht (Luftmangel u. a.), scheint die Strahlung für die Ertragsbildung entscheidend zu sein.

SÜSS: Herr Professor de Boodt, Sie haben die Neutronenprobe erwähnt und festgestellt, daß sie für Ihre Zwecke wenig geeignet war, wenn Sie kontinuierliche Messungen machen wollten. Wir haben uns dieser Methode jetzt schon einige Zeit zugewandt und finden keine Schwierigkeiten mit der Verrohrung. Unsere Rohre sitzen nach einem halben Jahr noch so fest, daß wir Spezial-Hebewerkzeuge anwenden müssen, um sie wieder herauszubringen. Wir gehen bis auf 1 m Tiefe und bringen eine Bohrung an von 42 mm und setzen dann ein Rohr von 41 mm ein. Damit erreichen wir guten Schluß und festen Sitz des Rohres. Grundsätzlich muß bei diesen Methoden mit Neutronen- oder Gammastrahlen einwandfrei, exakt geeicht werden. Messungen des Wassergehaltes mit Neutronen geben hochsignifikante Korrelation zwischen dem Ton- und Schluffgehalt und dem Wassergehalt.

BAUMANN: In der ganzen Welt ist heute die Bemessung des Beregnungswassers nach der Bodenfeuchte eingerichtet. Wir haben immer wieder beobachtet, daß es durchaus Zeiten gibt, die trotz hohen Wassergehaltes im Boden eine starke Produktivität des Bewässerungs- oder Beregnungswassers bringen. Wir haben noch keine bestimmte Theorie, die das begründet; aber gerade die Bemerkung von Herrn Czeratzki zeigt, daß die Strahlung Reaktionen hervorruft. Man muß eventuell für ein kontinuierliches, sicheres Wachstum der Pflanze während erhöhter Strahlung viel Wasser zur Verfügung stellen, damit sie kritische Vegetationsperioden überwindet. Wir kommen in Versuchen mit verschiedenen Beregnungsterminen nebeneinander immer wieder zu den erstaunlichsten Ergebnissen. Die Gemüsebaupraxis geht heute schon zum „Klimatisieren“ über (abendliche Regengabe von 2 mm), um Unterbrechungen des Wachstums und Qualitätsminderung zu vermeiden.

KMOCH: Wir haben über sechs Jahre Durchwurzelungsuntersuchungen auf verschiedenen Standorten gemacht. Die Unterschiede sind tatsächlich so groß wie zu erwarten war: Pseudogleye, Braunerden, Sande führen zu ganz verschiedener Wurzelbildung. Aber noch größer im Hinblick auf Dichte und Tiefe der Bewurzelung sind die Unterschiede im Laufe der Vegetationszeit und noch größer die Unterschiede zwischen Jahren mit verschiedener Witterung. Natürlich — wir müssen irgendwo vereinfachen; ich bin auch sehr dafür! Aber wir dürfen nicht deswegen zu schematisch vorgehen. Wir können im Einzelfall nicht sagen, bis zu welcher Tiefe das Wasser für die Pflanzen ausnutzbar ist. Es wäre schon leichter, wir würden die maximale Tiefe angeben, die die verschiedenen Pflanzen in Trockenjahren wirklich ausnutzen können.

In nassen Jahren wird die Pflanze das Wasser aus diesem Raum nicht ausnutzen, da wird sie all ihr Wasser aus den oberflächennahen Schichten nehmen. So gern ich Sie unterstützen würde — allgemeingültige Zahlen für die Tiefe der Wasserentnahme aus der Wurzelverteilung zu gewinnen —, so scheinen mir doch allzu einfache Richtwerte eher gefährlich als nützlich zu sein.

DE BOODT: Zur Frage nach der Neutronen-Sonde:

Bei Beginn der Messungen mit einer Neutronen-Sonde ist der Boden um das Rohr fest, aber dennoch tritt eventuell Absickerung entlang der Rohrwand auf. Der Einfluß geht in die dritte Potenz je nach Wassergehalt und Grundwassertiefe. Solange die Rohre feststanden, konnten wir den Fehler nur mit einem guten Lysimeter feststellen. Zwar sehen die Feuchteprofile sehr gut aus, aber sie sind nicht genau. Die Bilanz zeigt das. Dem Rohr läßt sich das nicht ansehen. Es steht so fest, daß man es nach fünf Monaten ausgraben muß.

Schwierigkeiten mit dem Tensiometer beruhen darauf, daß Ton je nach dem Wassergehalt Risse bildet, so daß kein einwandfreier Kontakt zwischen Tensiozelle und Boden besteht. Der Fehler wächst mit der Spannung. Eine halbe Atmosphäre hat keine große Bedeutung. In meinem Referat habe ich auf den Welkepunkt hingewiesen.

Einen Faktor müßte man noch erwähnen: die Änderung des Luftgehaltes mit dem pF. (Darum muß man z. B. auch Tensiometer mit einem Entlüftungsventil versehen.) Der Transport geht im Bereich von 20 Atm. sehr, sehr langsam, dagegen rasch bei 5 Atm. Saugspannung. Wir suchen nach einer einfachen Darstellung der Bindung des Wassers, weil von hier aus unsere ganze Ansicht der Pflanzenversorgung erweitert wird.

BENECKE: Ich möchte darauf aufmerksam machen, daß die Tensiometerzellen durchaus mitten in einem Aggregat oder auch in einer Spalte stecken können. In tonigen Böden, besonders in den tieferen Lagen, liegt meist eine sehr ungleichmäßige Feuchteverteilung vor und die Reaktion der Tensiometer kann aus diesem Grunde sehr unterschiedlich sein. Im übrigen haben wir auch die Beobachtung gemacht, daß die üblichen Tensiometer bei etwa 500 cm Wassersäule aufhören, zuverlässig zu arbeiten.

BLUME: Dr. Schaffer regte heute morgen an, nur klar definierte Begriffe zu benutzen. Es wurden hier beispielweise die Begriffe „Wassergehalt“ und „Feuchte“ nebeneinander verwendet.

Ich halte es für sinnvoll, scharf zwischen beiden Begriffen zu unterscheiden. Wir verstehen unter ersterem den Gehalt an Wasser, angegeben in Vol. $\%$, unter „Feuchte“ dagegen den herrschenden Sättigungsgrad mit Wasser. Dimensionen der Feuchte wären also „cm Wassersäule“, „at“ oder „pF“.

Zum Referat von Professor de Boodt: Wenn ich recht verstanden habe, haben Sie aus Niederschlag und Wassergehaltsdefizit gegenüber Feldkapazität eine Wasserbilanz zu errechnen versucht. Das ist doch nur dann zulässig, wenn keine Wasserbewegung unterhalb der Feldkapazität in Ihrem Standort stattfände und eine solche wäre gerade bei Lößboden wahrscheinlich. Man kann annehmen, daß bei Lößlehm mindestens die Hälfte des Wassers sich unterhalb der Feldkapazität bewegt und zwar gerade in trockenen Jahren, also 1964, in denen Niederschläge nach einer langen Trockenperiode einen ausgeprägten Saugspannungsgradienten

zur Tiefe hervorrufen. Eine solche Versickerung bei „unsaturated flow“ würde von Ihrer Bilanz nicht erfaßt werden und demnach als zusätzliche Evapotranspiration gedeutet werden.

DE BOODT: Aber hoffentlich ist dieser Niederschlag nicht so groß, daß er das Profil durchsickert.

BLUME: Wir konnten im Trockenjahr 1964 in einer Löß-Parabraunerde mittels THO-Markierung eine Wasserbewegung auch dann noch feststellen, als der Boden über pF3 hinaus ausgetrocknet war.

CZERATZKI: Wie kann man die große Diskrepanz in der Saugspannung bei Feldkapazitäten im Feld und bei der Laborbestimmung erklären und wie wird die Feldkapazitätsbestimmung im Labor durchgeführt? Werden Proben in Stechzylindern oder gestörte Proben verwendet?

DE BOODT: Es sind ungestörte Proben, aber im Labor kann die Probe schwellen.

PENNINGSFELD: Mich hätte interessiert, welche Bodensonde von Herrn Prof. de Boodt verwandt wurde. Wir machten nämlich in Tunesien ebenfalls in schweren Böden mit Tensiometern schlechte Erfahrungen und gingen deshalb zu Neutronensondemessungen über. Die Sonde wurde von der Firma Berthold in Wildbad geliefert. Wir begannen mit den Messungen kurz nach Einstellung der Feldkapazität, und zwar bei bewachsenem und unbewachsenem Boden (Luzerne). Die Untersuchungen wurden in Metallrohren durchgeführt, die bis zu 1 m Tiefe reichten. Einige Profile gruben wir nach Ermittlung der in verschiedenen Tiefen feststellbaren Impulsraten auf und stellten dann den Wassergehalt des Bodens in den gleichen Horizonten gravimetrisch fest. Anschließend ließen wir den Boden etwa vier Wochen lang austrocknen und beobachteten, wie die Impulszahlen, die in den restlichen, stehengebliebenen Metallrohren ermittelt wurden, von oben nach unten laufend abnahmen, bis schließlich der Welkepunkt erreicht war. Dann gruben wir auch die letzten Profile auf und bestimmten wiederum die Bodenfeuchte in den einzelnen Tiefen. Auf diese Weise erhielten wir gut brauchbare Werte. — Mich hätte nun interessiert, warum sich die von Prof. de Boodt verwandte Neutronensonde nicht bewährte.

DE BOODT: Meine Beispiele waren genommen nach einer Regenperiode und am Anfang einer Regenperiode, dadurch kommt die Diskrepanz. Es ist klar, daß nach drei Wochen Trockenzeit der Feuchtegehalt in Nähe der Rohre gleich dem Feuchtegehalt in größerem Abstand ist. Aber wenn am Anfang der Regenperiode die Gefahr besteht, fehlerhaft zu messen, müssen Sie zwei oder drei Wochen warten.

PENNINGSFELD: Wir sind bei unseren Versuchen noch weiter gegangen. Nach Festlegung des Bereiches, in dem der Wassergehalt des Versuchsfeldbodens schwanken darf, ohne daß hierdurch das Pflanzenwachstum beeinträchtigt wird, können wir die Bewässerung mit Hilfe eines Schaltrelais, das von der Neutronensonde aus bei Unter- bzw. Überschreiten des gewünschten pF-Bereiches betätigt wird, automatisch regeln; d. h. sobald der Boden zu trocken wird, schaltet sich die Bewässerung von selbst ein, wenn er genügend feucht ist, wird sie wieder ausgeschaltet. Diese Arbeiten wurden gemeinsam mit Herrn Dr. Scharpenseel, Bonn, durchgeführt (Int. Atom-Energie-Kommission, Wien).

Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen auf das Baumwachstum

Von F.-Ass. K.-H. Günther¹⁾

Die heutigen Anforderungen an das Grundwasser werden in Zukunft immer dringender von uns auch eine Antwort auf die Frage nach den Auswirkungen einer Grundwasserabsenkung auf das Baumwachstum fordern. Bisher sind unsere Kenntnisse darüber noch gering; es fehlt uns der Einblick in die biologischen Abläufe, in die Unterschiede in der Reaktion der verschiedenen Holzarten, es fehlt an einer eindeutigen Vorstellung vom wirtschaftlichen Ausmaß eines Schadens und es fehlen Maßnahmen, die einem solchen Schaden entgegenwirken.

Umfangreiche Entsümpfungsmaßnahmen im Rheinischen Braunkohlengebiet führten seit 1957 zu großräumigen Grundwasserabsenkungen, die nicht ohne Auswirkungen auf den Wald blieben. Die Untersuchungen über diese Auswirkungen hatten folgendes vorläufiges Ergebnis:

1. Unterschiedliche Reaktion der Holzarten

An älteren Stieleichen ist vereinzelt die gesamte Krone vertrocknet; weit häufiger ist es aber, daß nur Äste im unteren Teil der Krone abgestorben sind, im übrigen aber der Baum lebensfähig blieb.

Ähnliche noch stärkere Kronenschäden können an Pappeln entstehen. Auf das Vertrocknen von Kronenteilen oder der ganzen Krone reagiert die im allgemeinen sehr regenerationsfähige Pappel mit einer vielfältigen Wasserreiserbildung. Oft haben aber auch diese Wasserreiser ein gänzlich Absterben des Baumes nicht verhindern können; Windbruch und Windwurf haben die Zerstörung des Bestandes dann fortgesetzt.

Am stärksten ist die bisher an das reichliche Grundwasser gewöhnte Schwarzerle durch die plötzliche Grundwasserfreiheit betroffen worden. Die zum natürlichen Waldbild auf diesen Auestandorten gehörende Erle ist seit Beginn der Grundwasserabsenkung 1957 nahezu gänzlich aus den Laubmischwäldern verschwunden.

An Esche und Feldulme ist äußerlich eine Schädigung nicht oder wenigstens nur sehr schwer festzustellen.

2. Zuwachsschädigung

Durch die Messung der Jahrringbreiten kann der jeweilige jährliche Zuwachs eines Baumes auf längere Zeiträume zurückverfolgt werden. Hier im Diagramm (Abb. 1) sind die Werte solcher Messungen aufgezeichnet: über dem jeweiligen Jahr auf der Abzisse die dazugehörige Jahrringbreite auf der Ordinate. Oben die

¹⁾ Ausführliche Veröffentlichung in der Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 43 Essen-Bredeney, in Vorbereitung.

Jahringbreiten

(Mittel aus 4 Messungen an Stammscheiben)

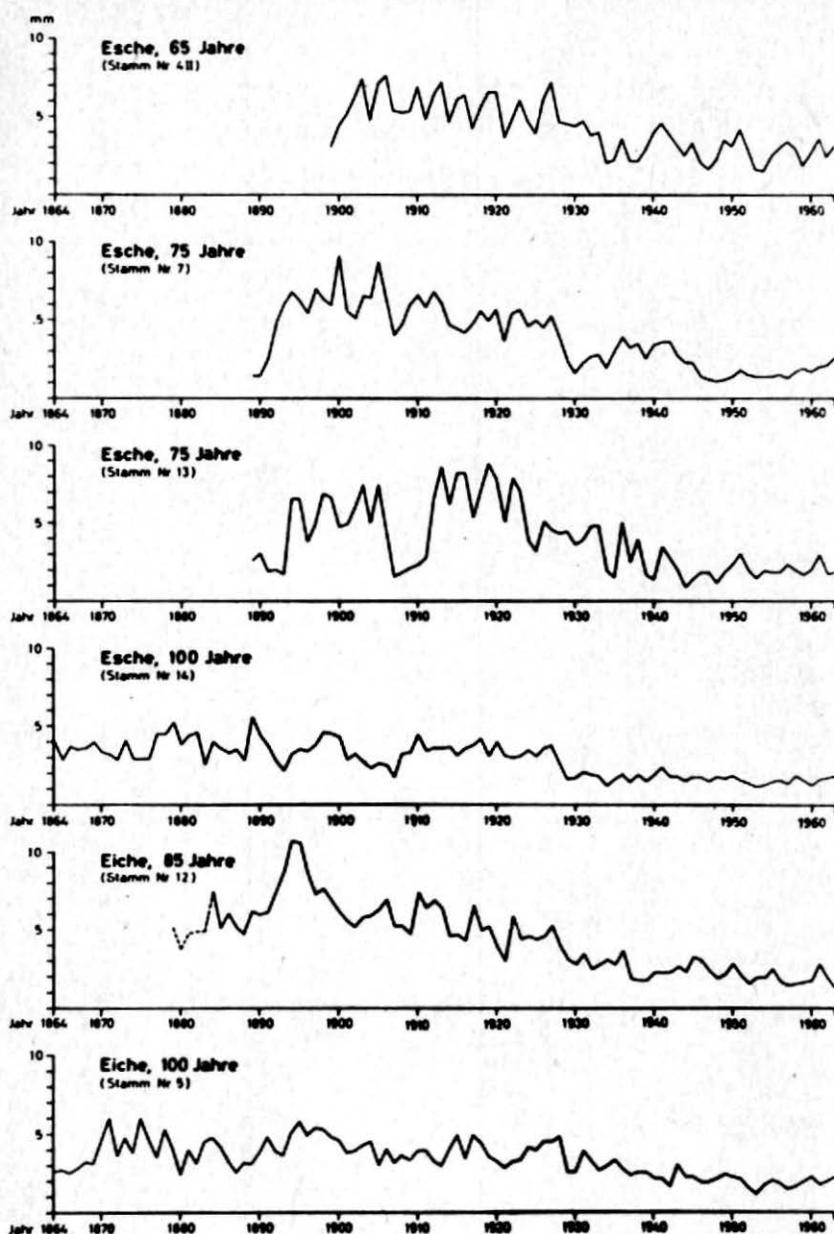


Abb. 1: Jahrringkurven einiger Eschen und Eichen. Etwa vom Jahre 1930 an verringern sich sowohl die jährliche Schwankung der Jahrringbreiten als auch die Jahrringbreiten selbst.

Auswertung von vier Eschenstammscheiben, unten von zwei Eichenstammscheiben.

Bei der Auswertung einer größeren Zahl von Stammscheiben war es zunächst sehr überraschend, daß die Grundwasserabsenkung 1957 keinen Rückgang in der Jahrringbreite erkennen ließ.

Verfolgt man die Jahrringentwicklung aber um etwa 30 Jahre zurück, so ist sowohl an Eschen als auch an Eichen ein Zuwachsrückgang in den 30er Jahren zu erkennen. Und dieser Zuwachsrückgang fällt zusammen mit dem Bau eines neuen Wasserwerkes, also mit einem Eingriff in die damals herrschenden Vorflutverhältnisse und damit zusammenhängend mit einer Grundwasserabsenkung. Obwohl diese Grundwasserabsenkung nur wenige Dezimeter — im Durchschnitt etwa 1 m — ausmachte, hat sie das Baumwachstum entscheidend beeinflußt.

3. Wirtschaftliche Auswirkungen

Als letztes ein Beispiel nun dafür, welcher wirtschaftliche Schaden am Wald durch eine Grundwasserabsenkung entstehen kann.

In einem von der Grundwasserabsenkung stark betroffenen, etwa 100 ha großen Laubmischwald ist die Erle in den vergangenen neun Jahren fast ganz ausgefallen. Die Erle war vor der Grundwasserabsenkung 1957 noch mit über 4% an dem Mischwald beteiligt. Ihr Ausfall bedeutet einen Verlust von rund 1250 fm Holz, was fast dem dreifachen des gesamten jährlichen Hiebsatzes des 100 ha großen Forstbetriebes entspricht. In Geld ausgedrückt entspricht der Verlust etwa 450,— DM je ha. Angesichts der derzeit sich vielfach in roten Zahlen ausdrückenden Reinerträge in der Forstwirtschaft ist ein solcher Betrag außerordentlich hoch.

Zur Frage der Wasserspiegelabsenkung in Hangböden

Von Prof. Dr. Felix Richard, Bodenphysik ETH und Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Zürich/Birmensdorf

1. Das Entstehen eines Wasserspiegels in Hangböden

Ausgedehnte Wald- und Weideböden der Alpen und des Alpenvorlandes sind unvollkommen durchlässig. In einer bestimmten Bodentiefe findet man tonreiche, feinporige Bodenschichten, deren Durchlässigkeit zu klein ist, um das einsickernde Niederschlagswasser ohne Verzug durchsickern zu lassen. Da die Niederschläge ziemlich gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt sind und im großen Mittel 100—220 mm pro Monat ausmachen, müssen wir in solchen Böden mit häufigen, profilumfassenden Vernässungen rechnen. Im Wurzelraum wird längere Zeit ein Wasserspiegel anwesend sein, der zum Absinken mehrere Tage benötigt. Bei allzu häufigen Niederschlägen wird sich der Wasserspiegel nahezu pausenlos im Wurzelraum heben und senken. Sollen solche Böden für die pflanzliche Produktion verbessert werden, dann muß man die Sickergeschwindigkeit vergrößern, denn nur so kann der Wasserüberschuß rascher abgeführt werden. In Aufforstungsflächen hat man den Vorteil, offene Gräben anlegen zu können, in Weidegebieten muß man Dränrohre legen.

Wie können wir das Problem der Wasserspiegelabsenkung in einem unvollkommen durchlässigen Hangboden numerisch lösen?

2. Die allgemeine Strömungsgleichung

Zur Untersuchung der Wasserbewegung im gesättigten wie im ungesättigten Boden verwenden wir das DARCY-Gesetz. Für die Hangströmung genügt es aber nicht allein. Das DARCY-Gesetz hat den Charakter eines Vektors, die Richtung des Gradienten ist beliebig. Damit wir für die Lösung mehrdimensionaler Strömungsprobleme eine brauchbare Funktion erhalten, müssen wir das DARCY-Gesetz mit dem allgemein gültigen Kontinuitätsgesetz kombinieren. Wir nehmen an, das Wasser sei nicht zusammendrückbar, im Stromfluß sei weder eine Senke noch eine Quelle vorhanden. Es muß die in einem porösen Volumen pro Zeiteinheit erfolgte Änderung der Wassermasse gleich sein der Differenz aus allen Zu- und Wegflüssen. Durch die Kombination des DARCY-Gesetzes mit dem Kontinuitätsgesetz erhalten wir die allgemeine Strömungsgleichung für Flüssigkeiten durch poröse Medien.

$$\frac{\delta c}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} (k_x \cdot \frac{\delta \phi}{\delta x}) + \frac{\delta}{\delta y} (k_y \cdot \frac{\delta \phi}{\delta y}) + \frac{\delta}{\delta z} (k_z \cdot \frac{\delta \phi}{\delta z}).$$

Diese Gleichung sagt, daß die momentane Konzentrationsänderung $\frac{\delta c}{\delta t}$ pro

Volumeneinheit Boden gleich sei der Summe der Geschwindigkeitsänderungen in den x-, y-, z-Richtungen. Für diese Form der Strömungsfunktion sind noch keine numerischen Lösungen gefunden worden.

Was dürfen wir an dieser Gleichung vereinfachen, um sie auf unser Problem der zweidimensionalen Wasserbewegung in einem grabendurchzogenen Boden anwenden zu können? Wir nehmen an, der Boden sei homogen und unterhalb des Wasserspiegels vollständig mit Wasser gesättigt. Der Wassergehalt ändert sich nicht mit der Zeit, die Strömung wird stationär. Ferner nehmen wir an, der Boden sei isotrop, das heißt, k sei in den x-, y-, z-Richtungen gleich groß. Unter diesen Annahmen geht die allgemeine Strömungsgleichung in die Laplace-Gleichung über und kann wie folgt formuliert werden:

$$\frac{\delta^2 \phi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \phi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \phi}{\delta z^2} = 0$$

Nehmen wir ferner an, in der y-Richtung sei kein Potentialunterschied, dann gelangen wir zu folgendem Ausdruck:

$$\frac{\delta^2 \phi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \phi}{\delta z^2} = 0$$

Für unsere Untersuchungen der Wasserspiegelabsenkung ist das Potential ϕ gleich der hydraulischen Höhe H eines gegebenen Ortes im Boden. Wir ersetzen deshalb ϕ durch H und erhalten:

$$\frac{\delta^2 H}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 H}{\delta z^2} = 0$$

Diese Gleichung gibt uns die für eine zweidimensionale Strömung notwendige Beziehung der hydraulischen Höhen.

Wir benützen die Analogie des DARCY-Gesetzes und des OHMSCHEN Gesetzes zur Bestimmung der Verteilung der hydraulischen Höhen in einem zweidimensionalen Strömungssystem. In einem elektrischen Leiter ist die pro Zeiteinheit durch den Leiter fließende Strommenge I von der spezifischen Leitfähigkeit k' und vom Spannungsunterschied δV analog abhängig wie die sickende Wassermenge Q im Boden von der Permeabilität k und vom hydraulischen Gradienten i .

Mit Hilfe dieser Analogie können wir an einem elektrischen Widerstandsnetzwerk eine Potentialverteilung messen, die der Verteilung der hydraulischen Höhen im Boden analog ist. Das elektrische Widerstandsnetzwerk besteht aus einer Summe von Widerständen, die in quadratischen Maschen angeordnet sind. Die Eckpunkte nennen wir Knotenpunkte. Der Widerstand zwischen zwei Knotenpunkten simuliert die homogene Durchlässigkeit der Bodenmasse.

Die Verwendung des Analoges verlangt das Einhalten bestimmter Randbedingungen, die durch die Natur des Objektes gegeben sind. In unserem Falle sind das die Wandungen der Entwässerungsgräben, die als Sickerflächen wirken, der Wasserspiegel in einer bestimmten Lage, die undurchlässige Schicht, die Durchlässigkeit und die Hangneigung.

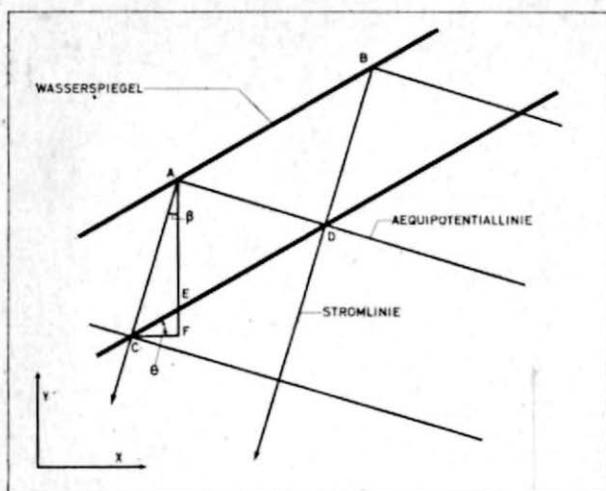


Abb. 1:
Schematische Darstellung des Wasserspiegels, der Äquipotentiallinien, der Stromlinien und der Berechnung des absinkenden Wasserspiegels in eine Parallelposition (Lösung nach Kirkham und Gaskel, 1950)

Das elektrische Widerstandsnetzwerk wird zu einem Modell des zu untersuchenden Bodenquerschnittes, an dem wir die zur Berechnung der Wasserspiegelabsenkung notwendige Potentialverteilung bestimmen können.

Unter Verwendung des DARCY-Gesetzes berechnen wir nun die Absenktiefe des Wasserspiegels die Funktion der Zeit. Das Schema ist in Bild 1 wiedergegeben. Wir nehmen an, ein unendlich kleiner Teil des Wasserspiegels senke sich längs einer Stromlinie in eine Parallelposition. Der hydraulische Gradient i wirkt längs der Stromlinie A. Zur Berechnung der Falltiefe während der Zeit T wählen wir die lotrechte Komponente des hydraulischen Gradienten. Diese Berechnung wird für alle Knotenpunkte im Wasserspiegel ausgeführt. Bei uns waren 60 örtliche Gradienten zu berechnen, das Knotenintervall betrug in der Regel 10 cm.

An dieser Stelle unserer Untersuchungen müssen wir uns an die eingangs betonten Annahmen erinnern. Die Lösung der Potentialverteilung mit dem elektrischen Widerstandsnetzwerk setzt stationäre Strömung voraus. Der sinkende Wasserspiegel ist aber ein nichtstationärer Vorgang, das heißt, daß die Potentialverteilung am sinkenden Wasserspiegel sich dauernd ändert. Wir wenden eine stationäre Lösung auf einen nichtstationären Vorgang an. Unsere Lösung wird um so ungenauer, je größer die Absenkstrecke ist. Wir dürfen deshalb nur kurze Absenkstrecken berechnen. Wir wandeln so die nichtstationäre Wasserspiegelabsenkung in eine Summe von zeitlich gestaffelten, kleinen, stationären Schritten um. Diese Annäherung genügt unseren Ansprüchen. Bis heute wählten wir Absenktiefen von 2—4 cm, das will heißen, daß wir eine 2—4 cm tiefer gelegene Wasserspiegelposition als die vorausgegangene neu im Analog einstellen. Die in dieser Lage gültige Potentialverteilung benötigen wir zur Berechnung der nächsten Falltiefe.

Mit diesen Untersuchungen können wir erst die Wassermenge berechnen, die während der gewählten Fallzeit aus dem Boden ausfließt. Wir müssen aber auch

wissen, aus welchem Bodenraum diese Wassermenge ausfließen kann. Oberhalb des Wasserspiegels ist der Boden ungesättigt. Der Wassergehalt nimmt mit zunehmender Entfernung vom Wasserspiegel ab. Im ungesättigten Boden ist der Wassergehalt nicht konstant. Der Grad des Wasserentzuges ist von der Porosität des Bodens abhängig und wird durch die entwässerbare Porosität f bestimmt (Bild 2).

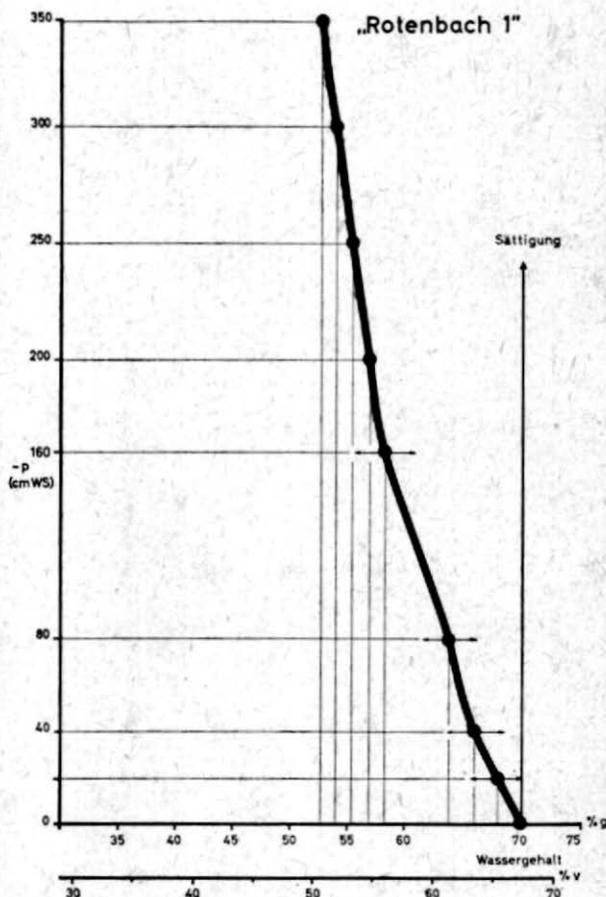


Abb. 2:
Wasser-Desorptionskurve
ohne Kapillarsaum und ent-
wässerbarer Porenanteil als
Funktion der Saugspannung

Die entwässerbare Porosität bestimmen wir aus der Wasser-Desorptionskurve des betreffenden Bodens. Im Bild sehen wir das entfernbare Wasser als Dreiecksfläche zwischen Sorptionskurve und der Ordinate, die durch den Wassergehalt bei Bodensättigung gezogen werden kann. Wir wollen dabei beachten, daß die Entfernung eines Ortes über dem Wasserspiegel in Zentimeter gleich ist der Saugspannung in WS_{cm} , unter der das Wasser an diesem Orte steht. Im nächsten Bild 3 sehen wir dieselbe Darstellung nur mit dem Unterschied, daß auf der Abszisse die

Entwässerbare Porosität f für Boden „Rotenbach 1“Steigung = $0,0008 \text{ cm}^3/\text{cm}^2\text{-cm}$ stationär ; $f = F(h)$ Entwässerbares Volumen E_d

$$q = \int_{h_2}^{h_1} F(h) dh = 0,0008 \int_{h_2}^{h_1} h \cdot dh$$

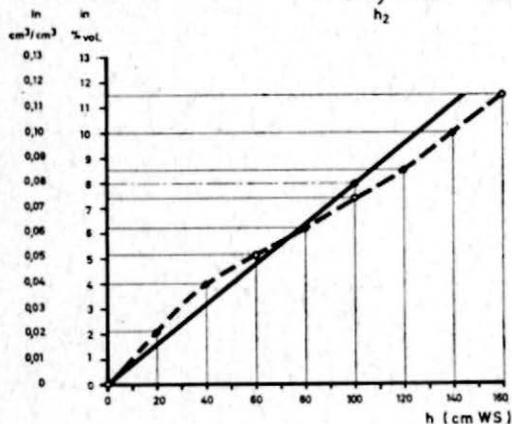


Abb. 3

Absenktiefe (identisch mit der Saugspannung) und auf der Ordinate der Wassergehalt in Volumenprozenten angegeben ist. Die während der Fallzeit T durch den Boden sickernde Wassermenge ist gleich dem Flächeninhalt unter der Kurve.

„Rotenbach 1“

0 Pos. = Bodensättigung		
1. " = 2 Std. von 0. Pos.	= 0,1 Tage	
2. " = 8 " " 0. "	= 0,3 "	
2a. " = 20 " " 0. "	= 0,8 "	
3. " = 32 " " 0. "	= 1,3 "	
4. " = 56 " " 0. "	= 2,3 "	
5. " = 80 " " 0. "	= 3,3 "	
6. " = 128 " " 0. "	= 5,3 "	
7. " = 200 " " 0. "	= 8,3 "	
8. " = 272 " " 0. "	= 11,3 "	
9. " = 344 " " 0. "	= 14,3 "	

$$k = 18 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec} = 15 \text{ cm/Tag}$$

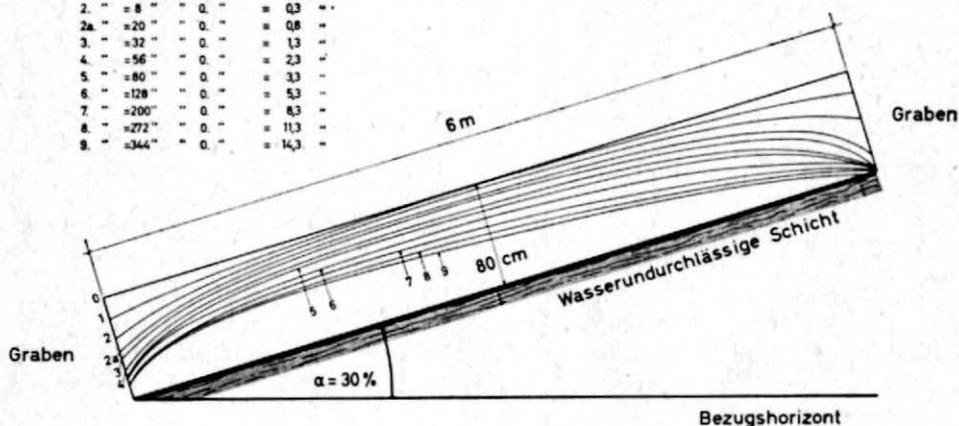


Abb. 4: Mull — Weideboden „Rotenbach 1“. Darstellung des fallenden Wasserspiegels in neun Positionen als Funktion der Zeit

Aus dieser Beziehung wird die Absenktiefe unter Berücksichtigung der entwässerbaren Porosität berechnet.

Im folgenden Bild 4 zeigen wir als Zeitfunktion neun Positionen des Wasserspiegels des Weidebodens „R o t e n b a c h 1“. Die Grabenentfernung beträgt 6 m, die Tiefe zur undurchlässigen Schicht 0,80 m, die Durchlässigkeit ist 1,5 cm/Tag und die Hangneigung ist 70‰. Der Boden ist schlecht durchlässig, und wir müssen mit einer schlechten Entwässerung rechnen. Aus der Geschwindigkeit der Wasserspiegelabsenkung und der entwässerbaren Porosität können wir den ökologischen Erfolg der ausgeführten Entwässerung untersuchen. Das Beispiel zeigt die lang andauernde inhomogene Entwässerung des Bodens zwischen den Gräben. Während mehreren Tagen bleibt der Boden halbwegs zwischen den Gräben praktisch wassergesättigt.

Es ist unsere Absicht, durch Variation des Grabenabstandes, der Hangneigung, der undurchlässigen Schicht und der Durchlässigkeit einen Katalog von Lösungen zusammenzustellen. Kennen wir für einen zu entwässernden Boden die eben erwähnten Parameter, die leicht zu bestimmen sind, dann können wir im Analogieschluß jenen Grabenabstand wählen, der uns die vorteilhaftesten ökologischen Verbesserungen gibt.

Literatur

- Kirkham, D., und Gaskell, R. E. (1950): The falling water table in tile and ditch drainage. SSSA, Proc. Volume 15, 37—42.
- Luthin, J., und Richard, F. (1965): Zur Untersuchung der Wasserbewegung in Hangböden mit unvollkommener Durchlässigkeit. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Verswes. Band 41, Heft 6.

Der Wasserhaushalt einer Parabraunerde aus Löß unter Laubwald

Von Dr. H.-P. Blume, Institut für Bodenkunde der Landw. Hochschule
Stuttgart-Hohenheim

Dr. K.-O. Münnich und Dipl.-Phys. U. Zimmermann,
Physikalisches Institut der Universität Heidelberg ¹⁾

Das Verhalten des Bodenwassers einer Löß-Parabraunerde unter Laubwald bei Stuttgart wurde im Trockenjahr 1964 und im Naßjahr 1965 untersucht. Es wurden der Jahrgang der Wassergehalte 14tägig bis 130 cm Tiefe gravimetrisch nach Bohrstockprobenahme bzw. mit Neutronensonde bestimmt. Aus ihm ließ sich mittels der einmalig an Stechzylinderproben bestimmten Wasserbindungskapazität auch der Feuchtejahrgang rekonstruieren. Die Wasserbewegung wurde mit Tritium als Indikator verfolgt. Da sich das Wasser weitgehend unter Verdrängung älteren Bodenwassers bewegte, ließen die Ergebnisse näherungsweise Aussagen über die Höhe der Evapotranspiration, Bindung im Boden und Versickerung zu.

¹⁾ Auszug aus BLUME, H.-P., MÜNNICH, K.-O., ZIMMERMANN, U.: Das Verhalten des Wassers in einer Löß-Parabraunerde unter Laubwald, Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 112, 1966, 156.

Einige Beobachtungen über den Wasserhaushalt im bayerischen Flyschgebiet

Von Dr. L. Sanktjohanser, Forstamt Kelheim-Süd

Die Flyschberge am Nordrand der Alpen sind seit jeher bekannt als ein Gebiet mit teilweise äußerst ungünstigen Verhältnissen im Wasserhaushalt. Besonders kennzeichnend sind häufige Hochwasser, verbreitete Bodenvernässungen und vor allem ausgedehnte Rutschungen anlässlich von Starkregen.

Besonders auf den meist dichtgelagerten Böden der vorherrschenden Mergelfazies ergeben sich bei ergiebigen Niederschlägen Schwierigkeiten in der Versickerung bzw. im Abfluß der Niederschlagsmengen. Wie Sickersversuche zeigen, dringt das Niederschlagswasser nur in den flachen Wurzelraum der Waldbäume ein, wird dann aber an dessen Untergrenze gestaut und geht dann in einen oberflächennahen Hangwasserzug über. Hierbei kommt es, von bestimmten Geländeformen gefördert, zu einer starken Durchfeuchtung der obersten Bodenschichten mit der Folge von meist wenig tiefreichenden Bodenrutschungen, Untersuchungen ergaben nun, daß diese Rutschungen in hohem Maße vom Waldzustand abhängig sind. Es ist eine markante Häufung der Rutschungen in großflächigen, etwa 10- bis 40jährigen Fichtenreinbeständen zu beobachten. In Altbeständen, auch solchen aus reiner Fichte, kommen dagegen kaum Rutschungen vor. Die Ursache dieser Erscheinung ist in dem Zusammentreffen von zwei ungünstig wirkenden Faktoren zu suchen: Einerseits kommt es in den Jungbeständen infolge des geringeren Ausmaßes von Transpiration, Evaporation und insbesondere Interzeption zu einer stärkeren Bodendurchfeuchtung als in Altbeständen, und andererseits zeigen die Bestände dieser Altersklassen noch eine wenig tiefreichende Bodendurchwurzelung. Gleichzeitig geht die bodenfestigende Wirkung des Wurzelwerks des Vorbestands in dieser Periode durch Verrotten der Wurzeln verloren.

Zur Vermeidung von Rutschungen ist deshalb eine Waldbehandlung zu fordern, die sowohl einen ständigen hohen Wasserverbrauch als auch eine intensive und tiefreichende Bodendurchwurzelung gewährleistet. Der Idealzustand in dieser Hinsicht wäre in einem tannenreichen Plenterwald zu sehen.

V. Diskussion

Leitung: Prof. Dr. F r e s e

EGGELSMANN: In den Zuwachs-Kurven, gezeigt von Herrn Reg.-Rat Günther waren mehrere Ungleichmäßigkeiten. Wie sind diese zu erklären?

GÜNTHER: Es handelt sich hierbei um jährliche Schwankungen, die natürlich auf ein unterschiedliches Wasserangebot teils vom Grundwasser her, teils durch die Witterungsumstände entstehen. Schwankungen innerhalb der Kurve

waren bis 1930 durch Überschwemmung außerordentlich stark auf diesem Standort; in trockenen Zeiten zeigt sich ein Nachlassen im Zuwachs. 1930, nach der Senkung des Grundwassers um wenige Dezimeter, war die Schwankung fast völlig ausgeräumt und das Wachstum gleichmäßiger.

SCHLEGTENDAL: War das Wachstum des Waldes vor 1930 ein Luxurieren verglichen mit anderen Waldbeständen, so daß es nach der Absenkung der Wachstums-Zunahme anderer Waldbestände entsprechen würde?

GÜNTHER: Ja! Die Verhältnisse auf diesen Standorten waren überoptimal. Die heutigen Absenkungen bringen vielleicht ein normales Wachstum. Immerhin sind das Einbußen für den Besitzer.

BENECKE: Herr Prof. Richard hat bei seiner Ableitung einen durchlässigen Körper von einem undurchlässigen Körper unterschieden. Ab wann muß man von einem undurchlässigen Körper sprechen?

Bei der Anwendung derartiger Nomogramme stellt sich immer wieder die Frage: Wann haben wir es mit einem undurchlässigen Körper zu tun? Einen undurchlässigen Körper im Sinne einer echten Undurchlässigkeit haben wir im Bodenbereich doch kaum.

RICHARD: Die Frage ist absolut berechtigt. Wir betrachten einen Boden als undurchlässig in Größenordnungen von 10^{-6} cm/s. Aber die ganze Analogie-Berechnung hindert nicht, eine Durchlässigkeit der unteren Lagen anzunehmen und das einfach zu addieren zur Wasserspiegelabsenkung. Grundsätzlich sind beide Lösungen möglich. Nur haben wir zunächst einmal den einfacheren Weg genommen und eine undurchlässige Schicht mit einem k_f -Wert 10^{-6} cm/s angenommen. Ich glaube, das ist eine faire Annahme.

DE BOODT: Vielleicht muß man bei Ableitungen der genannten Art zwei Fehlerquellen beachten. Erstens ist das Ohm-Gesetz nicht mit dem Darcy-Gesetz vergleichbar, weil im Ohm-Gesetz der Faktor konstant und nicht von der Geschwindigkeit des elektrischen Stromes abhängig ist. Der Faktor k im Darcy-Gesetz ist abhängig von der Geschwindigkeit mit dem Potential „Eins“. Eine Wasserquelle ist nicht dieselbe, wenn sie einmal langsam und einmal schnell fließt. Die Analogie trifft nur zu, wenn man noch unterstellt, daß die Leitfähigkeit unabhängig von der Geschwindigkeit ist.

Ein zweiter Hinweis: Das Wasseranstiegsvolumen ist auch nicht konstant; es kann nicht von den pF-Kurven abgeleitet werden, weil es auch abhängig ist (Sie können das sehr einfach im Laboratorium nachprüfen) von der Geschwindigkeit, mit der man eine gewisse Potentialdifferenz einschleppt.

RICHARD: Wir setzen stationäre Strömung voraus! Es gibt keine Veränderung der Strömung mit der Zeit, damit wir überhaupt die ganze Laplace-Gleichung anwenden können. Es darf, um die Kontinuitätsgleichung zu erfüllen, keine Quelle und keine Senke geben. Was Sie sagten, das haben wir vorausgesetzt. Das ist notwendig, damit wir diese Lösung finden können.

Wenn Sie einen Sandboden mit einem k_f -Wert von 10^{-3} bis 10^{-2} entwässern, dürfen Sie das nicht machen. Aber dann kommen wir mit einer anderen Formel. Wir haben eine mathematische Funktion zur Lösung der nichtstationären Wasserspiegelabsenkung.

Alle diese Fälle, die Herr Kollege De Boodt erwähnt, setzen nichtstationäre Strömung voraus; bei hoher Geschwindigkeit können wir mit der Analogie wie dieser, wo die stationäre Strömung Voraussetzung ist, nicht mehr arbeiten. Da ist eine Veränderung der Wasser-Konzentration als Funktion der Zeit vorauszusetzen. Das braucht eine andere Lösung. Ferner sind die Durchlässigkeiten in unseren Flysch-Böden in der Größenordnung von 10^{-5} . Die Bewegung ist so langsam, daß wir eben Kontinuität der Strömung annehmen dürfen. Das ist unser Trost in diesen sehr tonreichen Böden; in den sandigen müssen wir vorsichtig sein, das ist klar.

DE BOODT: Man kann eine stationäre Strömung haben; entscheidend ist jedoch, daß die Menge der Strömung gleich sein muß. Die Menge des Wasser-gehaltes dK/dp muß konstant sein. Die Strömung hat ein Bett, das keine Schwankungen haben darf, gegenüber dem Anfangszustand; auf diesen letzten Punkt kommt es an!

CZERATZKI: Wie weit kann man dieses Analogon in der Natur nachprüfen? Damit würde sich dann die Frage von Herrn Prof. De Boodt beantworten.

RICHARD: Wir sind daran: zunächst einmal die Analogie-Lösung!

Die zweite Prüfung ist die mit Kollegen Grubinger zusammen im Gelände, wo er ganz andere Probleme löst: Wir möchten einmal untersuchen, wie in der Praxis der Wasserspiegel absinkt. Die Lösung gilt um so angenäherter, je homogener der Boden ist. Wir haben gesagt, wir setzen homogene Isotropie voraus. Es ist unsere Absicht, in Modellen die Lage des Wasserspiegels zu überprüfen — auch mit der Formel für die nichtstationäre Strömung, die durch unsere Mathematiker ausgearbeitet worden ist.

KRAMER: Sie erwähnten eingangs, daß das Darcy-Gesetz sowohl für die gesättigte als auch für die ungesättigte Bewegung des Wassers im Boden gelten würde, aber soweit ich mich entsinne, hat Gardner herausgearbeitet, daß erst durch die Anwendung der Kontinuitäts-Gleichung diese Erweiterung zutrifft, daß ohne sie also das Darcy-Gesetz nur erfüllt ist für die gesättigte Wasserbewegung.

RICHARD: Eine Quelle oder eine Senke gibt im gesättigten Zustand einen positiven Bruch. Es dürfen bei der Kontinuitäts-Gleichung, wenn die hier Gültigkeit haben soll, keine Quelle und keine Senke da sein. Es muß also eine kontinuierliche Strömung vorhanden sein. Dies natürlich sowohl bei Wassersättigung, aber ebenso im ungesättigten Boden.

DE BOODT: Herr Dr. Blume hat gesagt, „wir nehmen an, daß die Diffusion des Tritiums nicht besteht“. Im vorigen Jahr hat aber van Bavel in einer Veröffentlichung darauf hingewiesen, daß die Diffusion je nach der Wassergeschwindigkeit erheblich in Betracht gezogen werden muß.

MÜNNICH: Es ist sogar ein wesentlicher Punkt, daß die Diffusion bei diesen Untersuchungen eingeht. Herr Blume hat gesagt, daß die Stromlinien-Dispersion bei der Verbreiterung dieser Marken keine wesentliche Rolle spielt, sondern daß reine molekulare Diffusion des Tritium im übrigen Wasser die Hauptursache der Verbreiterung der Marken in vertikaler Richtung ist. Wenn man sich auf Grund der aus anderen Experimenten bekannten molekularen

Diffusionskonstanten des Tritiums ausrechnet, wie eine ursprünglich scharfe Tritium-Marke nach einer bestimmten Zeit aussehen muß, so erhält man etwa die gezeigten Verteilungen und kann somit wenigstens in sehr vielen Fällen die Verbreiterung praktisch allein mit der molekularen Diffusion erklären, ohne zusätzliche Verbreiterungs-Mechanismen heranzuziehen.

DE BOODT: Aber die Diffusion des Tritiums entspricht nicht der Diffusion des Wassers; darauf hat van Bavel hingewiesen!

MÜNNICH: Für uns ist die molekulare Diffusion vor allen Dingen für einen anderen Effekt wesentlich, nämlich für den Effekt, daß wirklich das Tritium den ganzen Bodenraum in einer Schicht erfüllt, ehe sich die Markierung weiter nach unten fortpflanzt. Das Wasser bewegt sich immer in irgendwelchen Leitbahnen; wir haben immer daneben Wasser, das sich entweder viel langsamer bewegt oder möglicherweise überhaupt nicht bewegt, etwa in einer „Sackgasse“. Da könnten Sie zunächst annehmen, daß das markierte Wasser an dem nicht-beweglichen normalen Wasser vorbeiläuft, aber die molekulare Diffusion in Querrichtung macht ein solches Vorbeilaufen im allgemeinen unmöglich. Sie können nämlich zeigen, daß auf diesen kurzen Strecken (ein paar Zehntelmillimeter) die Diffusion kein langsamer, sondern ein sehr schneller Prozeß ist, und daß ein Ausgleich über eine Strecke von einem halben Millimeter in weniger als einer Minute erfolgt.

DE BOODT: Ja, aber Sie sprechen immer vom markierten Wasser. Das ist die klassische Auffassung. Van Bavel weist aber auf den Effekt — nicht des markierten Wassers, sondern des Tritiums selbst hin.

MÜNNICH: Selbstverständlich haben Sie beim Tritium Unterschiede wegen der verschiedenen Massen. Hier kommt es uns aber in erster Linie darauf an, daß der Ausgleich überhaupt stattfindet. Ob der Austausch beim Tritium vielleicht infolge der größeren Masse des Isotopes 10 oder 20% langsamer geht, als wenn Tritium genauso schwer wäre wie normaler Wasserstoff, ist hier praktisch ohne Belang und wir brauchen auf die Unterschiede im Verhalten von Tritium und normalem Wasser in diesem Zusammenhang nicht einzugehen.

DE BOODT: Von einer Tritium-Front können Sie nicht eine spezielle eigene Diffusion des Tritiums in das markierte Wasser und auch in das normale Wasser annehmen.

MÜNNICH: Bei einer Markierung mit Salz würden die Verhältnisse ganz ähnlich liegen, obwohl u. U. das Salz selbst vergleichsweise fast gar nicht aktiv diffundiert. Trotzdem käme der Queraustausch auch in diesem Fall nicht wesentlich langsamer zustande, weil das reine Wasser sicher in die Salzlösung diffundiert und das Salz dann durch den osmotischen Druck auch in die „Sackgasse“ getrieben wird (oder umgekehrt). Man sieht also, daß die Tatsache einer eventuell etwas langsameren aktiven Diffusion des Tritiums sicher nicht von Belang sein kann.

BENECKE: Wie wird folgende Situation berücksichtigt: Im Boden unterscheiden wir das Wasser nach seiner physikalischen Bindung an die Festsubstanz. Wenn wir Tritium zugeben, wird es vom Wasser zunächst aufgenommen. Jetzt sind doch zwei Arten von Diffusionen möglich, wenn ich das recht sehe, nämlich

erstens relativ schnell bewegliches Wasser, das das Tritium mitnimmt, und das schwächer bewegliche Wasser, das das Tritium zurückhalten würde. Mir ist nicht klar geworden, ob das unterschieden worden ist.

MÜNNICH: Nein. Soweit Sie unterstellen können, daß die Austauschrate zwischen dem festgebundenen Wasser und dem beweglichen Wasser genügend rasch ist, berücksichtigen Sie dieses Wasser. Sie können aber auch Wasserstoff haben, der überhaupt nicht mitspielt, z. B. mineralisch gebundenen Wasserstoff (Tritium markiert ja nur den Wasserstoff). Haben Sie nun Wasserstoff, der in Ton-Mineralien wirklich mineralisch fest gebunden ist, dann wird er u. U. überhaupt nicht mit berücksichtigt werden, denn es wird nur solches Wasser wirksam, in dem der Wasserstoff durch Austausch mit Tritium in endlicher Zeit ersetzt werden kann. Wo das Tritium hineingeht, geht es im wesentlichen auch mit derselben Geschwindigkeit wieder heraus, sonst würden wir ganz erhebliche Isotopentrenneffekte haben. Die hat man zwar, aber sie sind mäßig.

BENECKE: In gesättigten Löß-Böden können wir 10—20% des Gesamtwassers zum Totwasser rechnen, das mit mehr als pF 4,2 gebunden wird. Ist denn da die Diffusionsgeschwindigkeit nun wesentlich größer, als die Beweglichkeit dieses Wassers, das in jedem Falle mit markiert wird?

MÜNNICH: Ich würde sagen, daß es zum großen Teil markiert wird.

BENECKE: Eben, aber dessen Beweglichkeit ist doch praktisch gleich Null. Kann man denn bei der Auswertung davon ausgehen, daß bei der Abwärtsbewegung des Sickerwassers dieses Wasser quantitativ mit verdrängt wird?

MÜNNICH: Die Bezeichnung „Verdrängung“ ist zwar dem Anschein nach richtig, aber nicht eigentlich dem Wesen nach. Tritium in einer „Sackgasse“ irgendwelcher Art wird nicht mechanisch, sondern dadurch „verdrängt“, d. h. bei der weiteren Abwärtsbewegung des Bodenwassers wieder mitgenommen, daß es mit dem vorbeilaufenden Wasser im Austausch steht und deshalb an der Rückflanke der Markierung (wieder sinkende Tracer-Konzentration nach Passieren des Tracer-Maximums) durch „Austausch“ wieder aus der Sackgasse herausgeholt wird.

BENECKE: Kann man dann noch, wenn das der Fall ist, eine Bilanz aufmachen?

MÜNNICH: Ja, denn Sie würden dieses Wasser ja auch beim Trocknen des Bodens herausholen. Die Bilanz wird falsch, wenn man erhebliche Mengen fest gebundenen Wasserstoffs, der nicht zum Bodenwasser rechnet, trotzdem austauscht und deshalb durch die Methode zum Bodenwasser hinzurechnet, ohne daß man dies bei der Auswertung entsprechend berücksichtigt.

BENECKE: Nur gehört in die Bilanz auch die Beweglichkeit des Tritiums.

MÜNNICH: Ob die Bilanz möglich ist oder nicht, hängt praktisch davon ab, ob die Markierung vom reinen Wasser überholt wird oder nicht, d. h. ob Wasser etwa bei sehr starkem Regen in sehr groben Löchern ohne Queraustausch durch die markierte Schicht hindurchfließen kann.

CZERATZKI: Ein Kriterium für die Richtigkeit Ihrer Anschauung sollte doch eigentlich sein, daß fast eine Gauß-Verteilung in den Säulen besteht. Also

dürfte die Schwerkraft oder irgendeine andere Größe keine Rolle spielen, andernfalls müßte es ja eine schiefe Verteilung geben.

M Ü N N I C H : Nein, das ist nicht richtig.

H A R T G E : Die Wasserbindungsfestigkeit bezieht sich ja nur auf die Möglichkeit einer Entwässerung. Wenn Sie aber nur Wasser durchlaufen lassen, dann ist es für dies Wasser einerlei, ob es fest gebunden ist oder nicht.

Zweitens haben die Kurven gezeigt, daß das Maximum für die Tritiumkonzentration mit zunehmender Bodentiefe immer kleiner wird. Das paßt ganz gut zusammen mit den Untersuchungen von Biggar & Nielsen, die festgestellt haben, daß ein gleichzeitiger Durchtritt einer Salz- oder Tritiumlösung durch das ganze Porenvolumen nur dann eintritt, wenn es sich um ganz gleiche Poren handelt. Sonst bekommen Sie unterschiedliche Geschwindigkeiten in verschiedenen Porengrößen.

M Ü N N I C H : Ja, das ist die Stromliniendispersion. Und diese Stromliniendispersion findet man extrem bei der laminaren Strömung in einem Rohr. Da läuft das Wasser in der Mitte am schnellsten und am Rande gar nicht, und man hätte eine riesige longitudinale Verschmierung der Markierung, wenn es keinen molekularen Austausch durch Diffusion in Querrichtung gäbe. Es zeigt sich auch hier, daß, wenn das Wasser genügend langsam läuft, die Verbreiterung einer Tracermarke in Flußrichtung nicht größer ist als sie allein durch molekulare Diffusion in Flußrichtung zu erwarten ist. Läuft das Wasser aber schneller, dann wird die Verschmierung des Tracers in Flußrichtung größer. Bei genügend großer Fließgeschwindigkeit im Boden würden Sie, ähnlich wie bei der Strömung im Rohr, eine größere Verschmierung der Tracermarke in Fließrichtung finden, infolge der Stromliniendispersion.

Die molekulare Diffusion wirkt also hier in doppelter Weise, einmal „verzahnt“ sie in Q u e r r i c h t u n g die einzelnen Strombahnen verschiedener Strömungsgeschwindigkeit bezüglich ihrer materiellen Zusammensetzung und verhindert so, daß Tracer etwa in einer schnellen Strombahn zu weit vorausseilt, d. h. die molekulare Diffusion verringert die Längsdispersion, soweit sie von der verschiedenen Geschwindigkeit benachbarter Strombahnen herrührt. Zum anderen erzeugt sie aber selbst in L ä n g s r i c h t u n g eine Verschmierung, die mit sinkender Strömungsgeschwindigkeit allmählich größer als die von der Stromliniendispersion herrührende und schließlich allein bestimmend wird.

B L U M E : Ja, der obere Teil des B₁ war, zum Teil zusammen mit dem unteren Teil des A_{1v}, stets am feuchtesten. Allerdings lassen sich die Befunde dieses einen Standortes nicht verallgemeinern, zumal wir erst nach Abschluß der Messungen das Sondenrohr herausgraben und dann die möglicherweise mitverantwortliche Wurzelverteilung exakt feststellen können. Wir hoffen, weitere Aufschlüsse aus zur Zeit laufenden Feuchtemessungen an verschiedenen Staunässeböden zu bekommen.

B E N E C K E : Ist der Standort, den Sie untersucht haben, von Fremdwasser-Einfluß frei und in welcher Tiefe liegt der Grundwasserspiegel?

B L U M E : Das Grundwasser befindet sich ganz sicher mehr als 10 m tief. Der Standort ist autonom. Wer Messungen im Wald gemacht hat, weiß, daß der Nie-

derschlagsfall im Wald außerordentlich heterogen ist, so daß die Messungen praktisch nur für den Bereich gelten, in dem wir die Sondenmessungen gemacht haben. Das heißt andererseits, daß wir im Wald auf Sondenmessungen angewiesen sind. Bohrstockproben an verschiedenen Stellen müssen zwangsläufig die Fehler vergrößern.

Eine neue Methode zur Bestimmung der Größe des Oberflächenabflusses auf nur gering geneigten Flächen

Von Dr. M. Schuch, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau
und Pflanzenschutz, München

Bei Untersuchungen des Wasserhaushaltes von land- oder forstwirtschaftlich genutzten Gebieten, von Ödländern interessiert oft der Oberflächenabfluß, d. h. jenes Niederschlagswasser, das auf der Oberfläche abfließt, ohne tiefer in den Boden einzudringen. Meist wird der Oberflächenabfluß in Verbindung mit Erosionserscheinungen betrachtet und hat in dieser augenfälligen Form Eingang in die Literatur gefunden (z. B. J. E. NASH, 1958).

Im vorliegenden soll von dem Wasser die Rede sein, das von verhältnismäßig kleinen Testflächen oberflächlich abfließt. Zu seiner Beobachtung wird hierzu vielfach eine rechteckige Versuchsfläche mit entsprechendem Gefälle durch ein etwa 20 oder 30 cm hohes Brett oder Metallstreifen gegen die Umgebung abgegrenzt. Das Brett oder Blech wird senkrecht in den Boden gesteckt, so daß es nur zu einem geringen Teil über die Oberfläche ragt. An der tiefsten Stelle der so abgegrenzten Versuchsfläche wird das hier zusammenfließende Wasser quantitativ und qualitativ erfaßt und untersucht. — Dieses Verfahren eignet sich auf stark geneigten Flächen. So wurden z. B. von v. DELFS und KIESEKAMP Gelände mit Hangneigung von 30—40% auf ihren Abfluß untersucht.

Vor Jahren wurde auf den Versuchsflächen der Moorforschungsstelle in Bernau z. Z. der Schneeschmelze ein erheblicher Oberflächenabfluß beobachtet. Hierdurch wohl angeregt, wurden auf einem kultivierten und unkultivierten Hochmoor zwei 100 qm große Flächen durch Einstecken von Blechstreifen in den Boden von der Umgebung abgegrenzt und das von diesen Flächen abfließende Wasser beobachtet. Während die Meßstelle auf dem kultivierten Gelände nur ein einziges Mal während etwa vier Beobachtungsjahren bei extrem starken Niederschlägen einen Oberflächenabfluß zeigte, fließt von der Versuchsstelle auf dem unberührten Moor sehr oft im Jahr Wasser ab.

Bei dem nahezu ebenen Gelände treten nur geringe Fließgeschwindigkeiten auf. Blechstreifen allein sind nicht geeignet, jeglichen oberflächlichen Fremdwasserzutritt oder unkontrollierten Wasserabfluß von der Beobachtungsfläche zu unterbinden. Immer wird irgendwo an Fugen der Abgrenzung Wasser zu- oder wegfließen, oder das Blech bzw. Brett wird unterspült und die Meßergebnisse dadurch verfälscht.

Die Abbildung 1 zeigt dies im Schnitt schematisch. Die Verhältnisse sind zur deutlichen Veranschaulichung stark übertrieben. Schon ein geringer hydrostatischer Niveauunterschied kann zu einem Wasserzu- oder -abfluß an den Fugen der Trennwand (symbolisch links im Bild dargestellt) oder zu einer Umfließung

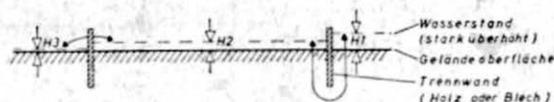


Abb. 1: Die Skizze zeigt die Geländeoberfläche und zwei in den Boden eingebaute Trennwände. Die Pfeile deuten einen eventuellen Wasserzu- oder -abfluß an. Er kann durch Ritzen der Trennwände (links) oder durch Umfließen der Trennwände (rechts) erfolgen, sobald sich auf irgendeine Weise ein unterschiedlicher Wasserstand ($H_1 / H_2 / H_3$) eingestellt hat

(rechts im Bild) führen. Eine exakte Messung des Oberflächenabflusses wird hierdurch unmöglich.

Diese Fehlerquellen werden beseitigt, wenn

1. die Trennwand durch nahtloses Material ersetzt wird und
2. beiderseits der Trennwand ein perforiertes Rohr eingebaut wird, das die Ausbildung eines hydrostatischen Niveauunterschiedes verhindert.

Als nahtlose Trennwand hat sich Plastikmaterial, wie es zur Einfassung von Gartenbeeten verwendet wird, hervorragend geeignet. Perforierte, flexible Plastikrohre der modernen Dräntechnik bewährten sich bei den Versuchen aufs beste.

Die Abbildung 2 zeigt einen Querschnitt durch die Anlage, die der Beobachtung des Oberflächenabflusses von nur gering geneigten Flächen dient. Die perforierten Rohre I und A befinden sich in gleicher Höhe. Zwischen beiden Rohren

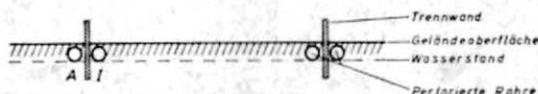


Abb. 2: Die Ausbildung unterschiedlicher Wasserstände innerhalb und außerhalb der Versuchsfläche kann vermieden werden, wenn beiderseits der Trennwände perforierte Rohre in gleicher Höhe verlegt werden. Eine ringförmige Ausbildung der Rohre erwies sich als zweckmäßig. Der Innenring I wird durch ein T-Stück geschlossen. An dieses wird auch das Ableitungsrohr zum Meßgefäß montiert

steht senkrecht eine nahtlose Trennwand. Das äußere Rohr A leitet das von außen zufließende Wasser ab, das innere Rohr I ist durch ein als T ausgebildetes Rohr geschlossen und führt das von der kreisförmigen Versuchsfläche (10 m^2) oberflächlich abfließende Wasser einer Beobachtungsstelle zu. Die Rohre selbst sind nur wenige cm unter die Geländeoberfläche verlegt und besitzen ein geringes Gefälle. Die Ausbildung eines Niveauunterschiedes, der zu einer Umfließung der Trennwand führen könnte, ist bei dieser Anlage nicht möglich. — Für die Beobachtung des aus dem inneren Rohr abfließenden Wassers hat sich das von VIDAL (1961) entwickelte und neuerdings von BELLIN (1965) verbesserte Zeitmenregistriergerät bestens bewährt.

Anschließend sollen einige Erfahrungen mit obenbeschriebener Meßanordnung für die Beobachtung des Oberflächenabflusses mitgeteilt werden.

An verschiedenen Stellen wurden bei der Moorforschungsstelle in Bernau Versuche zur Bestimmung des Oberflächenabflusses angelegt. Um über die Zuverlässigkeit der Methode Aufschluß zu erhalten, wurden die Versuche stets paarweise angelegt, d. h. an einer Stelle mit homogenen Bodenverhältnissen wurden stets zwei 10 m² große Versuchsflächen auf ihren Oberflächenabfluß untersucht. Zunächst ergaben die Registrierungen nahezu gleiche Abflüsse auf den unmittelbar nebeneinanderliegenden Flächen. Die Unterschiede der Abflüsse von Flächen mit verschiedener Bodenbeschaffenheit waren hingegen beträchtlich. — Ein vor vielen Jahren mit Gräben vorentwässertes, etwa 4 m mächtiges Moorkvorkommen weist z. B. ähnliche Oberflächenabflüsse auf wie ein gedräntes, 4 m mächtiges, kultiviertes Moor. Auf Gebieten mit nur geringer Torfbedeckung wurden hingegen nur sehr selten Abflüsse registriert.

Die Abbildung 3 zeigt ein Beispiel aus den Registrierungen des Oberflächenabflusses auf einem kultivierten Moorkvorkommen nahe unserer Moorforschungs-

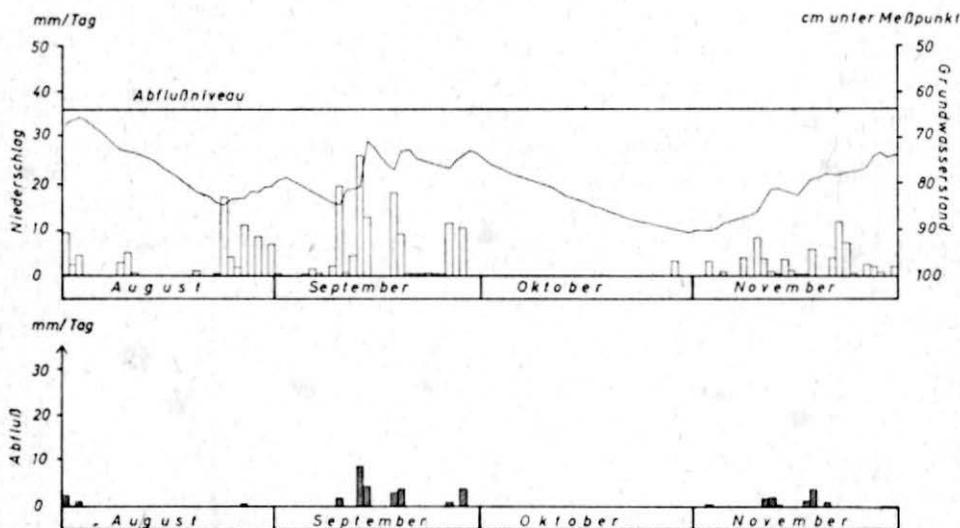


Abb. 3: Niederschlags- und Oberflächenabfluß, beobachtet an unserer Moorforschungsstelle in Bernau in der Zeit von August mit November 1965. Der Grundwasserstand ist eingetragen. Das perforierte Rohr liegt an seiner tiefsten Stelle in der mit „Abflußniveau“ gekennzeichneten Höhe. Im Beobachtungszeitraum wurde der Oberflächenabfluß vom Grundwasser nicht direkt beeinflusst. In dem dargestellten Zeitraum flossen 19,7% der beobachteten Niederschläge oberflächlich ab

stelle in Bernau in den Monaten August mit November 1965. Die Rohre der Anlage wurden wenige cm unter die Grasnarbe zwischen zwei etwa in 1,2 m unter Gelände liegenden Dränsträngen eingebaut. Das Wasser des äußeren Rohres A wurde in die Dränstränge eingeleitet. Der Abfluß des inneren Rohres I wurde gemessen. Die beobachteten Tagesabflußwerte in mm wurden unter die Tagesniederschläge in Abbildung 3 aufgetragen. Ferner wurde der Grundwasserstand in cm unter Meßpunkt dargestellt (obere Bildhälfte, Skala rechts). Mit „Abflußniveau“ ist die tiefste Lage der Rohre des Oberflächenabflußversuches gekenn-

zeichnet. Sie bezieht sich auf die Skala des Grundwasserstandes und ist durch einen Strich in der Abbildung 3 gekennzeichnet. Man sieht, daß die Rohre an keinem Tag im Einflußbereich des Grundwassers lagen. Setzt man den Niederschlag in den Monaten des angeführten Beispiels gleich 100%, so beträgt der Oberflächenabfluß 19,7%. Dieser Wert ist relativ hoch. Er erstaunt um so mehr, als es sich um eine gedränte Fläche handelt. Der Grund für den hohen Abfluß ist wohl in der geringen Wasserdurchlässigkeit des Bodens zu sehen. Er beträgt im Bereich der Anlage etwa 0,25 (m/Tag).

Bei einer kritischen Betrachtung der Versuchsanlage kann gesagt werden: Fließt Wasser oberflächlich ab, so wird es mit der Anlage erfaßt. Wird mit der Versuchsanlage Oberflächenabfluß beobachtet, so folgt nicht daraus, daß ohne dessen Vorhandensein ein Oberflächenabfluß stattfindet. Wir haben es also nicht mit einer eindeutig umkehrbaren Beziehung zu tun. Trotzdem besitzt die neue Methode zur Bestimmung des Oberflächenabflusses von nur gering geneigten Flächen einen erheblichen Aussagewert, was sofort klar wird, wenn man an die Möglichkeit denkt, Abflußergebnisse von verschiedenen Flächen untereinander in Beziehung zu setzen.

Literatur

- Bellin und K. Deutsch-Evern: Ein neues Gerät zur Messung des Dränabflusses. Wasser und Boden H. 12/1965, S. 390.
- Delfs, J. von, Friedrich, W., Kieseckamp und Wagenhoff, A.: Der Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflußvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. Hannover 1958.
- Nash, J. E.: Determining run-off from rainfall. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. 10, S. 163—184, London 1958.
- Vidal, H.: Ein neuer Wassermengenschreiber. Z. f. Kulturtechnik, S. 341—349, Berlin—Hamburg 1961.

Erfahrungen bei der Messung von Bodendichte und Bodenfeuchte mit Hilfe der Sondenmethode

Von Dr. A. Süß und L.-OInsp. G. Schurmann, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München

1. Einleitung

Bodenstruktur und Wasser sind neben Temperatur und Nährstoffversorgung die wesentlichsten Bedingungen für ein gutes Pflanzenwachstum. Um Veränderungen von Bodendichte und Bodenfeuchtigkeit zu verfolgen, werden heute verschiedene Methoden eingesetzt. Eine Methode, die gegenüber den bisherigen zahlreiche Vorteile besitzt, stellt die sog. Sondenmethode dar. Mit Hilfe moderierter Neutronen wird die Bodenfeuchte und über die Streuung von γ -Strahlen die Bodendichte gemessen. Zahlreiche Arbeiten beschäftigen sich schon mit dieser Methode und ergaben grundsätzlich eine gute Brauchbarkeit für eine Reihe von Problemen (siehe Literaturverzeichnis).

Bei unseren Untersuchungen gingen wir von dem Gedanken aus, ob die Sondenmethode als Routinemethode für eine größere Zahl unterschiedlicher Böden geeignet ist. Für diese Untersuchungen wurden die Geräte der Firma Berthold benützt, die uns von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellt wurden. (Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für die finanzielle Förderung dieser Arbeiten.)

2. Beschreibung der Methode und der Versuchsböden

Bei den Messungen von Bodendichte und Bodenfeuchte nach der Sondenmethode geht man davon aus, daß nach einer gegebenen Eichkurve der Dichte- oder Feuchtwert auf Grund der gemessenen Zählrate ermittelt wird. Dadurch ergibt sich schon das Problem, eine geeignete, allgemeingültige Eichkurve zu finden, da es schwierig und umständlich erscheint, für jeden Boden eine eigene Eichkurve zu erstellen.

a) Beschreibung der Versuchsböden

Die Erprobung der Feuchte- und Dichtesonde der Fa. Berthold im Gelände erstreckte sich auf fünf Versuchsorte bzw. Versuchsböden.

Versuchsboden P u c h

Geologische Formation: Löß

Bodenart: Lehm

Bodentyp: schwach gebleichte, schwach pseudovergleyte Parabraun-
erde

Versuchsboden Brandhof

Geologische Formation: Blasensandstein

Bodenart: lehmiger Ton

Bodentyp: roter, schwach pseudovergleyter Pelosol (Buntton)

Versuchsboden Mühlstetten

Geologische Formation: fluvialer Diluvialsand

Bodenart: anlehmiger Sand

Bodentyp: mittelgründige Braunerde

Versuchsboden Lehenfelden

Geologische Formation: Granit

Bodenart: anlehmiger Sand

Bodentyp: mittelgründige Braunerde

Versuchsboden Polling

Geologische Formation: Alluvium

Bodenart: feinsandiger Lehm

Bodentyp: schwarzerdeähnlicher Aueboden

In Ergänzung dazu durchgeführte chemische und physikalische Untersuchungen ergaben, daß es sich um sehr unterschiedliche Böden handelt.

b) Eichung der Meßanordnung

Für die gelieferten Meßanordnungen wurden von der Firma Berthold Eichkurven zur Verfügung gestellt, die bei unseren Arbeiten an Hand von Standardmethoden ergänzt wurden (für die Dichtebestimmung wurde die Nitzsch-Zylindermethode, für die Feuchtigkeit die Trockenschrankmethode gewählt). Die Stechzylinder wurden unmittelbar nach der Entnahme im Feld gewogen und im Labor weiter verarbeitet. Dabei wurde bei allen Böden nach folgendem Prinzip verfahren. In einem Bohrloch von 41 mm ϕ wurde ein Messingrohr ($\phi = 40$ mm)

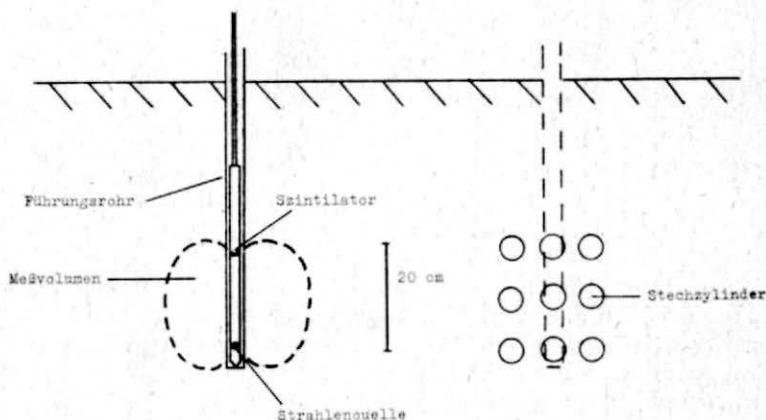


Abb. 1:
Darstellung der
Meßvolumina
bei der Sondier-
methode

eingesetzt, in dem alle 10 cm die Bodendichte und Bodenfeuchte mit den Strahlensonden gemessen wurde. Anschließend wurde an derselben Stelle aufgedigelt und für die betreffenden Schichten (für 10 cm = 3 Zylinder) Stechzylinderproben entnommen. Die nach beiden Methoden erzielten Ergebnisse wurden miteinander verglichen und das Meßvolumen bei der Sondenmethode berücksichtigt.

Allgemein wurde festgestellt, daß die vertikale Meßschicht bei beiden Sonden den Abstand von Strahlenquelle zum Kristall bzw. Detektor nicht wesentlich überschreitet.

Die Dichtebestimmung nach der Stechzylindermethode ergab eine durchschnittliche Streuung von $\pm 2,32\%$ (0—6,2%) bei 44 Schichten der einzelnen Bodenarten.

Die Streuung der Stechzylindermethode bei der Dichtebestimmung betrug pro Meßvolumen im Durchschnitt von 68 Meßvolumen $\pm 2,16\%$ (1 Meßvolumen = 3×10 cm Schichten = 9 Stechzylinder).

Daraus ergibt sich eine Eichkurve für den Dichtebereich von 1,2—2,5 g/cm³ wie in Abb. 2 dargestellt.

Dichte Eichkurve für Bertholdsonde

Meßbereich: 1,2 - 2,5 g/cm³

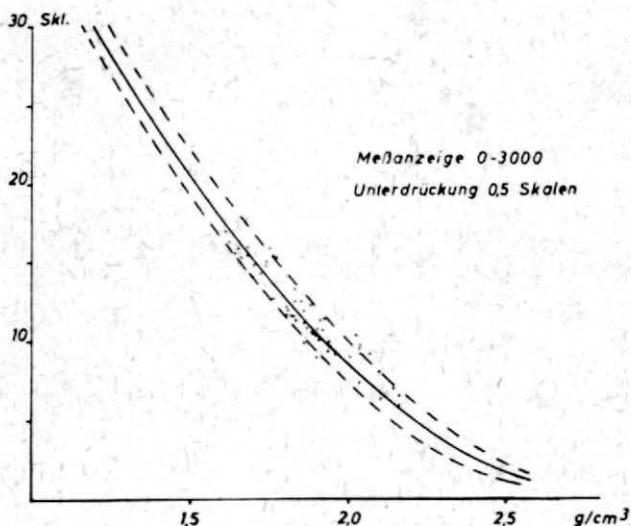


Abb. 2

Die durchschnittliche Differenz der mit den Sonden gemessenen Dichte gegenüber der Zylindermethode betrug bei 68 Meßvolumina 1,98% (max. 5,7%). Berücksichtigt man bei der Eichkurve eine Abweichung im Durchschnitt von $\pm 3,5\%$ zur Standardmethode, so zeigt sich, daß in diesem Streubereich von 68 Meßwerten 56 (= 82,4%) eine geringere Abweichung als 3,5% haben.

Im Rahmen dieser Arbeiten interessierte auch noch die Frage, inwieweit mit der Sondenmethode noch geringere Bodendichten (wie z. B. bei organischen Böden) gemessen werden können. Bei diesen Untersuchungen wurde in derselben Weise wie bei der Eichung verfahren. Nachdem die Werte mit der Sondenmethode ermittelt waren, wurden mit Hilfe der Stechzylinder die Kontrollen durchgeführt (zur Erstellung von Meliorationsgutachten hat Dr. SCHUCH BLA diese Profile untersucht).

Dichte Eichkurve für Bertholdsonde

Meßbereich: 0,8 - 1,5 g/cm³

Meßanzeige 0-3000 Unterdrückung 10

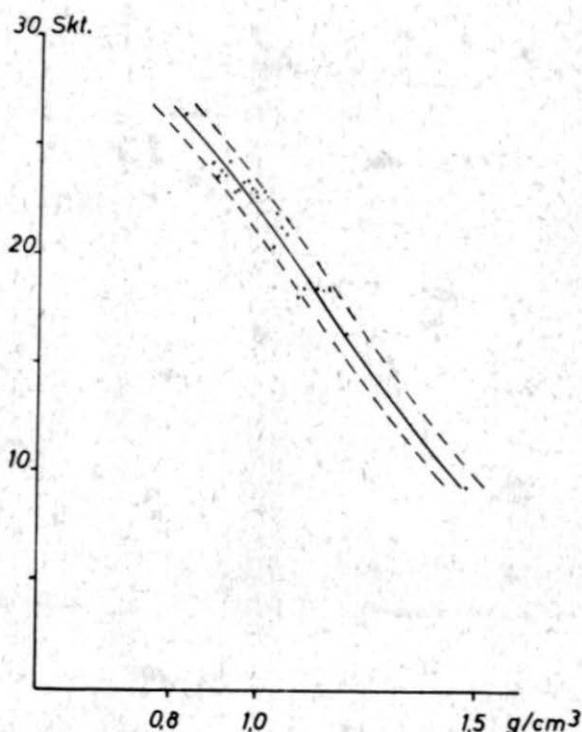


Abb. 3

An vier verschiedenen Profilen wurden 64 Meßvolumina gemessen und den einzelnen Standarddichtewerten zugeordnet. Auf Grund von Wiederholungsmessungen ergaben sich für eine Durchschnittsdichte bis zu zehn Meßwerte. Die Differenz der durchschnittlichen Meßdichte zur ermittelten Eichkurve betrug $\pm 5\%$.

Für die erweiterte Eichkurve ($0,8-1,2 \text{ g/cm}^3$) beträgt der Neigungswinkel $\text{tg } \alpha = 0,66$ bei $0,85 \text{ g/cm}^3$ und $0,88$ bei $0,90 \text{ g/cm}^3$. Für Dichtewerte unter $0,8 \text{ g/cm}^3$ wird die Eichkurve sehr flach, wodurch ein größerer Meßfehler zustande kommt. Die durchschnittliche Differenz der Sondenmeßwerte zur Standardmethode mit Zylindern betrug $\pm 3,4\%$, maximal $10,6\%$. Die Streuung der Stechzylinderwerte schwankte in einem Meßvolumen von $4,4-22,7\%$. Bei dieser erweiterten Eichkurve liegen bei einer Schwankungsbreite von $\pm 5\%$ $83,5\%$ der Meßwerte.

c) Korrektur der Feuchteeichkurve

Im Gegensatz zu den Bodendichtebestimmungen trat bei der Bestimmung der Bodenfeuchte je nach Bodenart eine durchschnittliche Differenz von $+1,5 \text{ Vol.}\%$ bis $-8,5 \text{ Vol.}\%$ auf. Bei weiteren Untersuchungen stellte sich heraus, daß diese Abweichung hauptsächlich vom Anteil des Bodens an der Fraktion $<0,05 \text{ mm}$ bestimmt wird ($r = 0,93$ $P_1 \%$ $= 0,32$). Auf Grund dieser Ergebnisse wurde ein Korrekturfaktor ermittelt, wobei durch einen Schluff- und Tonanteil $<0,05 \text{ mm}$ von $6,8\%$ ein Volumenprozent Wasser weniger angezeigt wird. Rechnerisch er-

Feuchte - Eichkurve für Bertholdsonde

Meßbereich 0-40 Vol. %

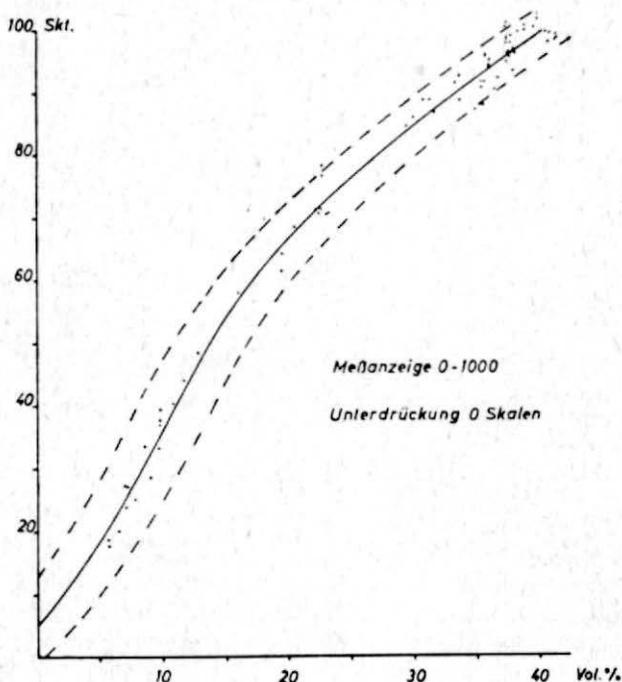


Abb. 4

mittelt sich der Korrekturfaktor aus der reziproken Regression zwischen Schluff- und Tonanteil (<0,05 mm) und dem Wassergehalt.

Die daraufhin erstellte Eichkurve bezieht sich auf einen Schluff- und Tonanteil <0,05 mm von 30,6%.

Auf Grund dieser Beziehung konnten bei verschiedenen Böden die notwendigen Korrekturen angebracht werden.

Tabelle 1:

Zusammenhänge zwischen Abweichung der Feuchtwerte und Gehalt an Ton und Schluff bei verschiedenen Böden

Ort	ϕ Differenz zur phys. ermittelten Feuchte (Standardmeth.)	Bodenteilchen unter 0,05 mm in der Schicht von 10–100 cm	s \bar{x} für 10×10 cm Schichten	Korrektur	ϕ Restdifferenz
Mühlstetten	+1,5 Vol.%	20,38%	4,48	-1,5 Vol.%	0 Vol.%
Lehenfelden	-1,5 Vol.%	40,89%	11,98	+1,5 Vol.%	0 Vol.%
Puch	-8,6 Vol.%	84,24%	7,65	+7,9 Vol.%	-0,7 Vol.%
Brandhof	-6,3 Vol.%	76,04%	8,97	+6,6 Vol.%	+0,3 Vol.%
Polling	-8,5 Vol.%	84,70%	3,39	+8,0 Vol.%	-0,5 Vol.%

Bei der Standardfeuchtebestimmung ergab sich eine Streuung von 0–20,8% je Schicht. Das Meßvolumen bei der Feuchtesonde betrug 20 cm (= 2×10-cm-Schichten = 6 Stechzylinder). Nach der Korrektur der Meßwerte ergab sich im Vergleich zur Standardmethode eine durchschnittliche Differenz von $\pm 1,31$ Vol.‰ (max. 4 Vol.‰). Von 70 Meßwerten haben 91,4% eine geringere Differenz zur Standardmethode als ± 3 Vol.‰ Feuchte.

Daraus ergab sich wieder ein Streuungsbereich, wie er in Abbildung 4 dargestellt ist.

In Tabelle 2 sind die Abweichungen der einzelnen Methoden noch einmal zusammenfassend erwähnt.

Tabelle 2:

Zusammenstellung der prozentualen Streuung bei verschiedenen Methoden

Methode	Anzahl der Wiederholungen	Dichte		Feuchte	
		Durchschnittl. Streuung zum Mittelwert	Anzahl der Wiederholungen	Durchschnittl. Streuung zum Mittelwert	abs.
Stechzylinder/ 10-cm-Schicht	44	$\pm 2,32\%$	44	$\pm 1,13$ Vol.‰	= ϕ 5,28%
Stechzylinder/ Meßvolumen	48	$\pm 2,16\%$	70	$\pm 1,51$ Vol.‰	
		Durchschnittl. Differenz zur Stechzylinder-methode		Durchschnittl. Differenz nach Korrektur	
Sondenmethode	48	$\pm 1,98\%$	70	$\pm 1,31$ Vol.‰	

An Hand der erzielten Ergebnisse zeigte sich, daß im Bereich von 0—40 Vol.‰ Feuchte mit dieser Ausrüstung zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden konnten. Die Meßgenauigkeit wird bei höherer Feuchte als 40 Vol.‰ geringer, da die Eichkurve abflacht.

3. Veränderungen von Bodenfeuchte und Bodendichte während der Vegetationszeit

Im Hinblick auf eine Anwendung dieser Methode zum Studium verschiedener Probleme stellt sich die Frage, bis zu welcher Bodentiefe gemessen werden muß, um Veränderungen noch zu erfassen. Für den Versuchsort Puch wurden die Veränderungen innerhalb der Profile von 10—100 cm in Abbildung 5 zusammengestellt.

Bodenfeuchte- und Bodendichteveränderung im Profil
Versuchsort: Puch

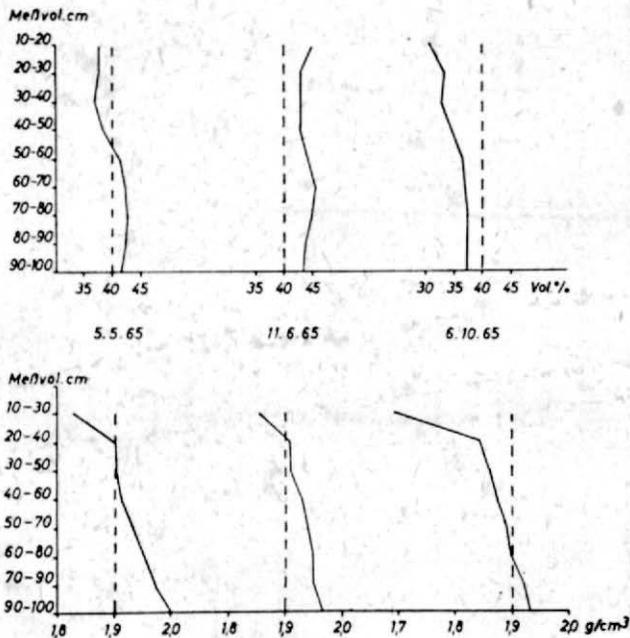


Abb. 5

Diese Ergebnisse beweisen, daß bei allen Bodenarten bis zu einer Tiefe von 100 cm während der Vegetationszeit deutliche Veränderungen von Bodendichte und Bodenfeuchte auftraten. Sie werden durch die Ergebnisse der anderen Standorte bestätigt.

Bei den Versuchsstandorten Lehenfeldern, Mühlstetten und Puch nahm die Bodendichte in der Schicht von 10—100 cm im Laufe der Vegetationszeit ständig

ab, während sie beim Standort Brandhof in derselben Schicht zuerst zu- und später wieder abnahm.

Der Feuchteverlauf innerhalb eines Profils war nicht sehr einheitlich und hängt sowohl von den Niederschlägen als auch vom Pflanzenbestand ab. Letzterer dürfte auch für Dichteveränderungen eine wesentliche Rolle spielen. Dazu kommt noch, daß bei Dichteveränderungen durch den Wassergehalt, das Quellvermögen der Kolloide und andere Faktoren (z. B. Mikroorganismen-tätigkeit) von Einfluß sein können.

4. Veränderungen der Bodenfeuchte beim Standort Puch bei verschiedenen Kulturen

Beim genannten Versuchsort liefen Versuche, wo auf kleiner Fläche (500 m²) verschiedene Pflanzen nebeneinander angebaut waren und bei denen die Veränderungen von Bodenfeuchte und Bodendichte verfolgt werden konnten. Es handelte sich um die Früchte Zuckerrüben, Sommergerste und Rotklee. Pro Frucht waren zwei Meßstellen vorhanden. Die im Laufe der Vegetationszeit gefallenen Niederschläge wurden gemessen.

Versuchsbeginn: Puch = 5. 5. 65

Niederschläge während der Versuchsdauer:

Puch: Zuckerrüben	= 750,5 mm
Sommergerste	= 618,4 mm
Rotklee	= 665,1 mm

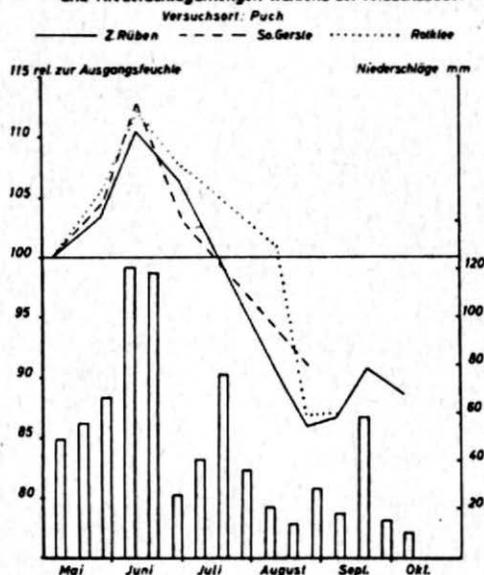
Zur Beurteilung des Bodenfeuchteverlaufes während der Versuchszeit wurden die Werte für den durchschnittlichen Feuchtegehalt über das Profil von 10—100 cm errechnet, nachdem gefunden wurde, daß Änderungen des Feuchtegehaltes bis in 1 m Tiefe auftreten können. Um eine bessere Gegenüberstellung zu ermöglichen, wurden die durchschnittlichen Bodenfeuchtwerte zu Versuchsbeginn gleich 100 gesetzt. Die Messung von Bodenfeuchte und -dichte erfolgte in Abständen von etwa drei Wochen. Lediglich zwischen Juli und August konnten infolge eines Defektes an den Sonden keine Messungen durchgeführt werden.

Der durchschnittliche absolute Bodenfeuchtegehalt in der Schicht von 10—100 cm war bei Versuchsbeginn bei allen Früchten gleich (38,5—39,5 Vol. %). Bis zum 11. 6. 65 nahm der Feuchtegehalt des Bodens bei allen Früchten zu, wobei zwischen den einzelnen Früchten keine wesentlichen Unterschiede auftraten (Abb. 6).

Nach diesem Zeitpunkt fiel die relative Durchschnittsfeuchte bei allen Früchten trotz hoher Niederschläge laufend ab. Der Kurvenverlauf gibt die unterschiedlichen Wasseransprüche der einzelnen Pflanzen wieder. Das Minimum der durchschnittlichen relativen Bodenfeuchte wurde am 24. 8. 65 gemessen (Gerstenernte). Zwischen den einzelnen Früchten wurden zu diesem Zeitpunkt Unterschiede von relativ 4—5 Vol. % Feuchte festgestellt. Die Gerstenparzelle hatte zu dieser Zeit noch die relativ höchste, die Zuckerrübenparzelle die geringste Bodenfeuchte.

Bei der Bodendichte wurde lediglich bis anfangs Juni eine geringe Erhöhung der durchschnittlichen Dichtewerte (10—100 cm) beobachtet (0,05—0,07 g/cm³). Spätere Messungen zeigten, daß der Boden Puch seine Ausgangsdichte wieder

Relative Bodenfeuchte in der Schicht von 10-100 cm bei verschiedenen Früchten und Niederschlagsmengen während der Versuchsdauer



erreicht hatte. Daraus ergibt sich, daß dieser Boden, im Gegensatz zu den Böden Mühlstetten und Lehenfelden, ein großes Quellvermögen hat.

Die durchschnittliche Bodendichte der gemessenen Profile betrug in Puch $1,87 \text{ g/cm}^3$.

Es sei noch bemerkt, daß diese Darstellung der Bodendichte einige Mängel aufweist, da die Veränderungen über das ganze Profil wesentlich stärker schwanken als z. B. die Bodenfeuchtwerte. Dichteänderungen treten in den obersten Bodenschichten am deutlichsten auf.

Zusammenfassend läßt sich bei diesen Testversuchen sagen, daß der Bodenfeuchteverlauf in der ersten Pflanzenentwicklungsphase parallel zu den Niederschlägen verläuft. In dieser Zeit sind die Differenzen zwischen den einzelnen Pflanzen auch gering. Erst bei weiterer Pflanzenmasseproduktion wird das Bodenwasser unterschiedlich stark in Anspruch genommen. In dieser Zeit ist eine Beziehung zur Höhe der Niederschläge nicht mehr gegeben. In Beziehung zu diesen Ergebnissen müssen später noch die Trockenmasseerträge der einzelnen Pflanzen berücksichtigt werden. Dichteänderungen in Abhängigkeit vom Pflanzenbestand waren bei diesen Versuchen relativ gering.

5. Veränderung von Bodenfeuchte und -dichte bei Winterroggen auf zwei verschiedenen Standorten (Mühlstetten und Lehenfelden)

	Mühlstetten	Lehenfelden
Versuchsbeginn:	31. 4. 65	28. 4. 65
Niederschläge während der Dauer des Versuches:	301,9 mm	355,5 mm

Veränderung der Bodenfeuchte in der Schicht von 10-100cm bei Winterroggen und Niederschlagsmengen während der Versuchsdauer

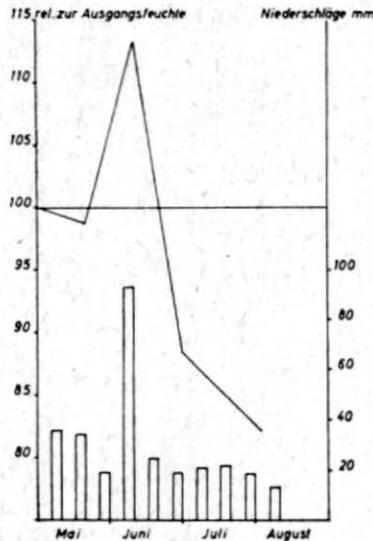
Versuchsort: Mühlstetten
Niederschläge insgesamt: 301,9 mm

Abb. 7

Nachdem die Erprobung der Feuchte- und Dichtesonden im Gelände, bedingt durch die ungünstige Witterung im Frühjahr, sich verschoben hat, erfolgte der Versuchsbeginn zu einem relativ späten Zeitpunkt. Die Ausgangsfeuchte zu Beginn der Vegetationszeit konnte deshalb nicht ermittelt werden.

Ähnlich wie bei den genannten Versuchen wurde der Ausgangswert dieser beiden Standorte für die durchschnittliche Bodenfeuchte in der Schicht von 10—100 cm gleich 100 gesetzt. In Mühlstetten betrug der Bodenfeuchtegehalt zu Versuchsbeginn im Durchschnitt 9,72 Vol.%, in Lehenfeldern 23,95 Vol.%.

Zuerst fiel bei beiden Versuchsorten ein ziemlich einheitlicher Kurvenverlauf für die Bodenfeuchte auf. An beiden Orten wurden anfangs Juni für das ganze Profil die höchsten Bodenfeuchtegehalte beobachtet (Mühlstetten ϕ 11,0 Vol.%, Lehenfeldern ϕ 25,37 Vol.%). Der Bodenfeuchtegehalt ging anfangs den Niederschlagsmengen parallel. Die niedrigsten Bodenfeuchtwerte wurden bei Versuchsende, das mit der Ernte des Winterroggens zusammenfiel, gemessen (Mühlstetten ϕ 7,97 Vol.%, Lehenfeldern ϕ 20,29 Vol.%).

Weiter wurde beobachtet, daß an beiden Versuchsorten während der Vegetationszeit bei Winterroggen der Ausgangsfeuchtegehalt um etwa denselben Betrag (Mühlstetten 27,0%, Lehenfeldern 25,3%) abnahm. Zu diesen Ergebnissen müssen natürlich auch wieder die Ertragsverhältnisse berücksichtigt werden.

Bei Betrachtung der Bodendichtewerte während der Vegetationszeit zeigt sich, daß die Durchschnittswerte über das ganze Profil sich sehr stark ändern und deshalb ein Durchschnittswert nur wenig aussagt. Hier müßte man doch die einzelnen Schichten für sich selbst betrachten.

Veränderung der Bodenfeuchte in der Schicht von 10-100 cm bei Winterroggen
und Niederschlagsmengen während der Versuchsdauer

Versuchsart: Lehenfeldern
Niederschläge insgesamt: 355,5 mm

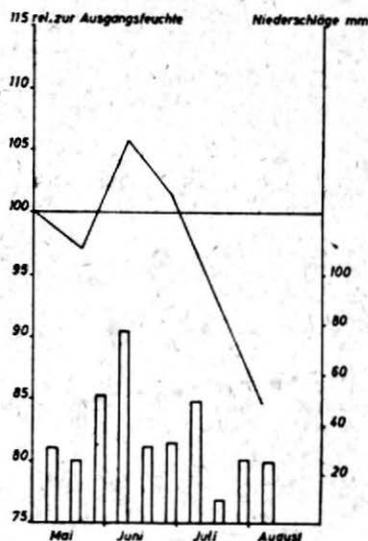


Abb. 8

6. Zusammenfassung und Diskussion

Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, daß die Messung der Bodendichte mit Hilfe von γ -Strahlen auch für stark unterschiedliche Böden brauchbare Ergebnisse bringt. Für die Bestimmung der Bodenfeuchte mit Hilfe von Neutronen sind die Schwankungen methodisch bedingt größer. Neben dem Gehalt an organischer Masse beeinflusst, wie gezeigt wurde, der Schluff- und Tonanteil ($<0,05$ mm) das Meßergebnis. Die Gründe dafür können recht zahlreich sein. Sei es, daß Tonteilchen Neutronen absorbieren, daß der gebundene Wasserstoff andere Moderierungseigenschaften besitzt, oder daß Elemente an den Ton gebunden sind, die einen großen Neutroneneinfangsquerschnitt haben.

Weiterhin muß bei dem Vergleich der Sondenmethode mit der Standardmethode berücksichtigt werden, daß sich das Meßvolumen in Abhängigkeit von der Dichte und Feuchte des umgebenden Bodens ständig ändert. Dadurch wird es schwierig, genau auf das Meßvolumen bezogene Kontrollwerte zu erreichen. Gewisse Berücksichtigung muß außerdem noch das Quellvermögen des Bodens finden, da sich dadurch weitere Dichteveränderungen ergeben können.

Da in diese Untersuchung ständig zwei Meßstellen pro Versuchsort bzw. Versuchsrucht einbezogen wurden, konnten auch Erfahrungen über die Streuung der Meßwerte einzelner Meßstellen gemacht werden. Bei den Versuchsorten Brandhof und Lehenfeldern zeigten sich größere Abweichungen, obwohl die Meßstellen nur 2 m auseinander lagen. Man müßte deshalb, um für eine größere

Fläche genauere Angaben zu bekommen, je nach Bodenunterschieden eine entsprechend große Zahl von Meßstellen anlegen.

Für die weiteren Arbeiten wäre für die Feuchtesonde eine Anordnung von Quelle und Szintillationskristall zu wählen, die eine Messung bis zu 100% Feuchte gestattet. Wie verschiedentlich bewiesen, hängt der Feuchtebereich einer Sonde, für den ein gradliniger Anstieg gegeben ist, wesentlich von der Anordnung von Quelle zu Detektor ab. Die integrale Meßanzeige bringt zusätzlich einen gewissen Ablesefehler (1—2%), was bei stark wechselnden Bodenschichten besonders nachteilig ist. Hier wäre eine digitale Meßanzeige von Vorteil. Für die Reduzierung des Meßvolumens bei der Dichtemessung könnte man an das Durchstrahlungsprinzip denken. Durch einen Einkanal Diskriminator wird nur die Direktstrahlung erfaßt, während die gestreuten γ -Strahlen nicht registriert werden. Die durchstrahlte vertikale Schichtdicke wäre dann im wesentlichen von den Ausmaßen des verwendeten Detektors abhängig.

Wenn dann noch Messungen der Dichte und Feuchte in den obersten Bodenschichten mit der Oberflächensonde vorgenommen werden, lassen sich mit Hilfe der Strahlensonden mit guter Genauigkeit Angaben über das gesamte Profil erzielen. Wie die wenigen Beispiele zeigen, ist es möglich, mit Hilfe der Sondenmethode neben Dichteänderungen auch Wasserhaushaltsstudien durchzuführen.

Literatur

1. Audrience et al C.: Mesure en profondeur de la teneur en leudes sols per rallutissement des neutrons rapides. Radioisotopes in Soil-Plant nutr. Stud. IAEA. Proc. Ser. 187—219, Vienna 1962.
2. Barrada, Y.: The neutron moisture meter and its value in water-use efficiency studies. Atomic energy review, 3, No. 2, 1965.
3. Bavel, C. H. M. van, Hood, E. E., and Underwood, N.: Vertical resolutions in the neutron method for measuring soil moisture. Trans. AmGeophys. Union 35, 595—600, 1954.
4. Bavel, C. H. M. van: Soil densiometry by gamma transmission. Soil Sci, 87, 50—58, 1959.
5. Cohen, O. P.: Procède de calibrage an champ de l'humidimetre a neutrons. Israel J. agr. Res. 4, 1964.
6. Demagner, I.: Condizions d'utilisation de la sonde 2 neutrons pour les diterminations d'humidizè dans les sol. Influence de le densite apparente et de la salure. IAEA, Proceedings Series, 159—169, Vienna 1962.
7. Diez, Th.: Feuchte- und Dichtebestimmung in Böden mit Hilfe von radioaktiven Strahlen. Zeitschrift für Kulturtechnik 4, 12—35, 1965.
8. Finern, H.: Bodenfeuchte- und Bodendichteuntersuchungen mit umschlossenen radioaktiven Isotopen sowie ein Vergleich mit herkömmlichen Methoden. Diss. Universität Bonn, 1962.
9. Hinsch, H., und Niemann, E. G.: Ein kombiniertes Gerät zur Messung von Dichte und Wassergehalt am lebenden Baumstamm. Atompraxis 10, 1964.
10. Kühn, W.: Messung der Schüttdichte und ihr Einfluß auf die Feuchtigkeitsbestimmung mit Neutronen. Atompraxis 5, 335—338, 1959.
11. Mieghe, A. C., und Skipo, B. O.: Gamma ray and neutron method of measuring soil density and moisture. Geotechnic 10, 1960.

12. Mortier, D. M., de Boodt und L. de Leenhear: Über das Auflösungsvermögen der Neutronendifusionsmethode für Feuchtigkeitsbestimmungen im Boden. *Z. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde* **87**, 244—250, 1959.
13. McHenry and Roger, J.: Measurement of sediment density by attenuation of transmitted gamma rays. *Soil Sci Soc. Amer. Proc.* **6**, 1964.
14. Reginato, R. J.: Soil water measurement with gamma attenuation. *Soil Sci Soc. Amer. Proc.* **6**, 1964.
15. Unger, K., und Claus, S.: Der Einfluß der Bodendichte auf radiometrische Feuchtigkeitsbestimmungen. *Kernenergie* **7**, 567—570, 1964.

Die Reißbildmethode als Beurteilungsgrundlage für die Ausbildung des Absonderungsgefüges

Von Priv.-Doz. Dr. H. Wolkewitz, Institut für Kulturtechnik und Grünlandwirtschaft der TU Berlin

Mein Thema wendet sich in erster Linie methodischen Gesichtspunkten zu. Die Bedeutung des Bodengefüges für den Wasserhaushalt des Bodens und damit auch als Beurteilungsgrundlage für die Bodenmeliorationen steht außer Zweifel und soll nicht diskutiert werden.

Bekannt ist die Abhängigkeit der Ausbildung des Absonderungsgefüges von bodenphysikalischen Vorgängen wie Quellung, Schrumpfung oder auch Einwirkung des Frostes. So kann in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren bei gleichem Tongehalt und bei gleicher Ausgangsfeuchte ein unterschiedliches Bodengefüge entstehen. Ich erinnere in diesem Zusammenhang nur an die unterschiedliche Auswirkung von Natrium- und Calcium-Ionen.

Besondere Bedeutung hat die Art der Gefüge-Ausbildung für die Beurteilung der Wasserdurchlässigkeit im Boden und damit auch für die Ermittlung der optimalen Dränabstände. Nach der zur Zeit gültigen Dränanweisung wird der Dränabstand auf Grund der Korngrößenanalyse ermittelt, wobei man von der Voraussetzung ausgeht, daß die Korngrößenanalyse bei milder Vorbehandlung, also bei Dispergierung in Wasser durchgeführt werden soll, um die bestehenden Aggregate weitgehend zu erhalten. Korrekturmöglichkeiten sind durch Zu- und Abschläge für die Faktoren gegeben, die Wirkung auf das Bodengefüge haben.

Zur Zeit wird die DIN 1185 neu bearbeitet. In diesem Zusammenhang werden auch die Drän-Abstandsbestimmungen einer Prüfung unterzogen, zumal besonders bei tonreichen und bei tagwasservernäßten Böden häufig unzureichende Ergebnisse erzielt wurden. Es wird deshalb zur Zeit von dem Ausschuß Dränung- und Bodenuntersuchung im Kuratorium für Kulturbauwesen eine Methode gesucht, die es gestattet, die durch eine Entwässerung zu erwartende Gefüge-Änderung zu beurteilen. Hier bietet sich die Reißbild-Methode an.

Zunächst eine kurze Beschreibung der Methode:

Durch Zugabe von Wasser zu Bodenproben werden Bodenschlicker hergestellt, die so dünnflüssig sind, daß beim Durchrühren mit einem Glasstab gerade ein entzerrtes Spiegelbild zu erkennen ist. Nun stellt man diesen Schlicker sehr genau horizontal auf eine Glasscheibe und läßt ihn eintrocknen. Nimmt man die richtige Menge Schlicker je Flächeneinheit, z. B. 7 g trockenen Boden auf 78,5 cm² Fläche, so wird sich als Folge der Trocknung ein Reißbild einstellen, das in Abhängigkeit von den innerhalb des Schlickers herrschenden physikalisch-chemischen Bedingungen ein typisches, reproduzierbares Bild ergibt.

In zahlreichen Versuchen konnten wir gute Korrelationen zwischen Reißbild und Kationenbelegung, Humusbeimengung und Eisengehalt feststellen.

Ausgewertet werden bei dieser Methode Zahl und Breite der Risse und der Rißtyp. Grob dargestellt, können wir drei Rißbild-Typen unterscheiden. Bei Böden mit weniger als 20% Tonanteil tritt keine Rißbildung auf. Wir könnten diesen Typ noch als weiteren Typ „Null“ aufführen. Die Rißtypen wurden zunächst an Modellböden gefunden, zeigen aber auch gute Korrelationen zu den unter natürlichen Bedingungen entstandenen Gefüge-Elementen.

Das erste Bild zeigt ein System weitverzweigter dünner Risse mit gezackten Rißwandungen. Dieser Rißtyp entsteht bei einem Wasserstoff-Ton. Ein System sehr gleichmäßiger Risse mit glatten Wandungen dagegen entsteht durch Calcium-Behandlung. Mit Natrium belegter Ton zeigt ein unregelmäßiges Netz von wenigen glatten Rissen; das ist der Typ 3.

Die Entstehung dieser unterschiedlichen Typen erläutert ein Kurzfilm, der den ganzen Vorgang mit dem Zeitraffer aufgenommen zeigt. Dazu wurde in Einzelschaltung alle 10 bis 30 Sekunden eine Aufnahme gemacht. Man erkennt, daß bei den Typen 1 und 2 die Risse sich relativ schnell im feuchten, also dunkel gefärbten Boden ausbilden, dagegen im Typ 3 sich erst dann Risse zeigen, wenn der Schlicker hell wird, also wenn Luft in das System eindringt. Bevor sich die Farbe aufhellt, also bevor Luft in die Poren der Oberfläche eintritt, beobachtet man Dunkelfärbung. Wir glauben, daß sich hier die Bodenteilchen einander so weit genähert haben, daß Zwischenkräfte wirksam werden, die die Teilchen aneinander ziehen. Dadurch wird Wasser aus dem System gepreßt.

Der Film zeigt drei Bodenschlicker, die langsam eintrocknen. Beim Typ 1 wird zunächst der Schlicker matt, jetzt bildet sich in der Mitte ein Riß und plötzlich das fast ausgebildete System. Nun setzt beim Typ 2 die Rißbildung ein. Zunächst bilden sich Inseln, die sich dann später teilen.

Im Typ 3 ist noch kein Riß aufgetreten, zunächst wird der Schlicker dunkler, dann heller; im Hellen entsteht jetzt der Riß.

Wenn die Substanz noch im feuchten Zustand reißt, wie es bei Typ 1 und 2 der Fall ist, muß das System unter geringer Spannung stehen. Es war deutlich zu erkennen, daß bei weiterer Trocknung die Risse sich verbreiterten. Typ 3 dagegen reißt erst bei geringerem Wassergehalt. Luft trat in das System, so daß sich Schwächezentren als Ausgangspunkte für die Risse bildeten. Austrocknung erweiterte Risse im Typ 3 nicht mehr. Die Ausbildung dieses Rißtyps muß unter großen Spannungen erfolgen.

Die Aufspaltung bei Typ 3 wäre mit dem Aufspalten von Holz zu vergleichen. Die unterschiedlichen Spannungen der Rißtypen können auch damit erläutert werden, daß im Typ 1 sich der Riß bei einer Wasserbindungsintensität pF 2,3, im Typ 2 bei pF 2,6 und im Typ 3 erst bei pF 4,4 entwickelte.

Drückt man diese Werte durch die Ausrollgrenze, also die untere Grenze der Plastizität aus, so liegt nur der Riß des Typs 3 im nicht-plastischen Zustand. Bei Rißbeginn des Typs 1 hat der Boden eine Adhäsion von 260 g/cm^2 , beim Typ 2 von 490 g/cm^2 und bei Typ 3 von 980 g/cm^2 . Spannungen innerhalb des Systems drücken sich auch in der unterschiedlichen Höhe der Inseln aus. Bei großen Spannungen wirkt die Schrumpfung vorwiegend vertikal, während sie bei geringeren Spannungen in allen Richtungen gleich sein dürfte. Dem Rißtyp 1 entsprechen Inselhöhen von 1,68 cm, dem Typ 2 von 0,87 cm und Typ 3 von 0,44 cm.

Wir leiten aus den Rißbildern bzw. aus den Rißtypen ab, daß in Böden, die dem Rißtyp 3 entsprechen, während des Schrumpfungsvorganges große Spannung auftritt und die bei der Trocknung entstehenden Aggregate dem grobprismatischen oder dem Säulengefüge entsprechen. Haben wir Böden des Rißtyps 1 vor uns, so bilden sich poröse Aggregate aus, während die Böden, die dem Rißtyp 2 entsprechen, ein Polyedergefüge ausbilden.

Wir sind dabei, die Übertragbarkeit der Rißbildmethode auf die Gefügeausbildung weiter zu prüfen. Ich wäre sehr dankbar, wenn sich das eine oder andere Institut bereit fände, an dieser Überprüfung mitzuarbeiten.

Tabelle 1:

Physikalische Kennwerte bei der dem Rißbeginn entsprechenden Feuchte

Rißtyp	Rißbildung bei pF-Wert	H ₂ O-Gehalt in Vol.%	Vol.-Schrumpf. bei der Feuchte zu Beginn des Reißens	Adhäsion zu Feuchte	Ausrollgr. (pF-Wert)	Höhe der Inseln in mm	Rißzahl
I	2,3	73,8	36%	260 g cm ²	3,9	1,68	168
II	2,6	70,5	40%	490 g cm ²	3,8	0,87	144
III	4,4	39,2	20%	980 g cm ²	4,0	0,44	20

Die auf das Bodenwasser wirkenden Spannungen und Kräfte

Von ORBR M. Seyberth, Wasserwirtschaftsamt Weilheim

Einleitung

Der Begriff „Bodenwasser“ ist in DIN 4047 — Landwirtschaftlicher Wasserbau, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen, Ausgabe 1955 — wie folgt definiert:

„Bodenwasser ist das im Boden unabhängig vom Grundwasser auf schwer durchlässigen Schichten aus den Niederschlägen zeitweilig sich bildende, ungespannte und nur der Schwere unterworfenen Wasser.“

Entgegen dieser Begriffserklärung wird heute von den Wasserwirtschaftsingenieuren der Begriff Bodenwasser viel umfassender verwendet, so daß sich folgende Definition, die bei der Neufassung der DIN 4047 vom Berichterstatter vorgeschlagen wird, anbietet: „Bodenwasser ist das im Boden befindliche Wasser einschließlich des Saugsaumwassers ohne das Grundwasser.“

Die Bewegungen dieses so definierten Bodenwassers hängen von den nachfolgenden Spannungen und Kräften ab:

1. Adsorptionsspannungen

1.1 Hydratationsspannungen

Die mit einem starken negativen Ladungsüberschuß ausgestatteten Ton- und Humuskolloide bewirken elektro-chemische Vorgänge im Boden. Die H_2O -Moleküle werden dabei als Dipole ausgerichtet und von den Bodenkolloiden angezogen. Dieser sich so um die Bodenkolloide bildende Wassermantel wird bekanntlich als Hydrathülle, die auftretenden Spannungen werden als Hydratationsspannungen und die Menge des mit mindestens 50 at Bodenwasserspannung angelagerten Wassers als Hygroskopizität Hy (Volumen-%) bezeichnet. Die bei der Anlegung des Hydratwassers auftretenden Spannungen sind außerordentlich hoch bis zu 10 000 at, sie führen in unmittelbarer Kernnähe zu einer Verdichtung des Wassers und nehmen nach außen bis 0 at ab, wobei gespanntes Wasser unter 1 at das Bestreben hat, abzusickern.

1.2 Osmotische Spannungen

Die Verdichtung des Hydratwassers in unmittelbarer Kernnähe löst osmotische Spannungen aus, d. h. Bodenwasser diffundiert in das stärker gespannte Hydratwasser und versucht einen Spannungsausgleich herbeizuführen. Die Hydratations- und die osmotischen Spannungen, die zusammengefaßt auch als Adsorptionsspannungen bezeichnet werden, wirken wasserfesthaltend, aber auch in Richtung der Spannungsgradienten wasserbewegend, wobei ungesättigte Adsorptionsspannungen das Wasser in flüssiger und gasförmiger Phase herbeiziehen können.

2. Kapillarspannungen

Auf die Kapillarspannungen im Rahmen dieses Kolloquiums näher einzugehen, dürfte sich wohl erübrigen. Doch lassen Sie mich einige wenige Tatsachen bringen, die für die Beurteilung des Kapillarwasseraufstieges wesentlich sind. Die aus der Physik her bekannten theoretischen Steighöhen sind für den Boden, der nicht von einheitlichen Kapillaren durchzogen ist, bedeutungslos. Bei tief liegendem Grundwasserspiegel sind ferner die unteren Bodenschichten weitgehend gesättigt und enthalten Wasser, das nur noch mit Spannungen von 0,15—0,3 at festgehalten wird. Im Grundwasser ist die Saugspannung 0 at; das bedeutet, daß die üblicherweise vorhandene Spannungsgradienten von etwa 0,3 at einen kapillaren Aufstieg von max. 3 m ermöglicht.

Die Kapillarspannungen liegen zwischen 1000 und 0 at, wobei gespanntes Wasser unter 1 at nach unten absickert.

3. Die wasseranziehende Kraft ungesättigter Luft

Neben den Adsorptions- und Kapillarspannungen wirkt auf das Bodenwasser ferner die wasseranziehende Kraft ungesättigter Luft. Es seien nur wenige Werte genannt:

Saugspannung ungesättigter Luft

Sättigungsdefizit (‰)	0	4	10	20	30	40	50	70
Saugspannung (at)	0	50	140	295	475	690	925	1500

Dabei ist rel. Sättigungsdefizit (‰) = $100 \cdot (1 - \frac{f}{F})$, wenn f = vorhandene Wasserdampfmenge in g H₂O/m³ Luft, F = Sättigungsmenge in g H₂O/m³ Luft.

Je höher das Sättigungsdefizit, desto stärkere Spannungen entstehen also, mit denen die ungesättigte Luft sich Wasser in Dampfform heranholen will. Die ungesättigte, über dem Boden stehende Luft kann jede Art von Bodenwasser abziehen und auch die Bodenluft ihrer Feuchtigkeit berauben; sie kann die oberen Bodenschichten weitestgehend austrocknen.

4. Die Saugspannungen der Pflanzenwurzeln

In diesen Kampf ums Wasser greift nun auch die Pflanze mit den ihr arteigenen Wurzelsaugspannungen ein. Sofern im Boden nur mehr Bodenwasser mit Spannungen vorhanden ist, die über den Wurzelsaugspannungen der Pflanzen liegen, ist der Boden physiologisch trocken, d. h. für die Pflanze der Welkepunkt erreicht. Als permanenter Welkepunkt wird für die Kulturpflanzen als grober Mittelwert eine Bodenwasserspannung von 15 at angenommen.

5. Die Schwerkraft

Auf das Bodenwasser wirkt weiterhin die Schwerkraft. Alles Wasser, das mit Saugspannungen <1,0 at festgehalten wird, muß der Schwerkraft folgend absickern. Dabei sinkt gespanntes Wasser von 1,0—0,05 at so langsam ab, daß es als pflanzennutzbar bezeichnet wird. Das mit Spannungen <0,05 at im Boden festgehaltene Sickerwasser wird als schnell absinkendes Sickerwasser bezeichnet.

Das Sickerwasser gelangt schließlich in das Grundwasser. Der Begriff des Grundwassers ist in DIN 4049 — Gewässerkunde — Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen eindeutig definiert. Man versteht darunter jenes „Wasser, das Hohlräume der Erdkrinde zusammenhängend ausfüllt und nur der Schwere (hydrostatischer Druck) unterliegt“. Nur dieses Wasser folgt dem Fließgesetz von DARCY $v = k_f \cdot J$ (dabei ist $v = \frac{Q}{F}$ die Filtergeschwindigkeit und Durchgangsgeschwindigkeit und $F = B \cdot H$). Ausgehend von dieser summarischen Betrachtung der auf das Bodenwasser wirkenden Spannungen und Kräfte lassen sich nun eine Reihe von Schlußfolgerungen ziehen, von denen einige wenige herausgegriffen seien.

6. Folgerungen für die Kulturtechnik

6.1 Wie ist die Wasserversorgung der Kulturpflanzen aus dem Grundwasser (im Sinne der gegebenen Definition) zu beurteilen?

Auf Grund der geringen Spannungsgradienten zwischen den über dem Grundwasserspiegel liegenden, meist gesättigten Bodenschichten und dem Grundwasser ist der kapillare Aufstieg höhenmäßig eng begrenzt. Auch der mengenmäßige Nachschub (mm/Tag) ist — wie eine Reihe von Versuchen bestätigt haben — so gering, daß zusammenfassend festgestellt werden kann: Die Versorgung unserer Kulturpflanzen mit Wasser aus dem Grundwasser über den kapillaren Saugsaum ist sowohl von der kapillaren Aufstiegshöhe als auch von der kapillaren Aufstiegsmenge her betrachtet eng beschränkt.

Die Kulturpflanzen, für die der Wasserwirtschaftsingenieur von der Wasserseite her optimale Wachstumsverhältnisse schaffen soll, leben somit vom „Bodenwasser“ (im Sinne der in der Einleitung gegebenen neuen Definition) und nicht vom „Grundwasser“.

6.2 Welche Form hat die Sickerlinie zwischen Dränrohren?

Sie kann nur dort die in der älteren Literatur dargestellte Parabel aufweisen, wo homogener Boden vorliegt, der eine Grundwasserbewegung entsprechend dem Filtergesetz von DARCY zuläßt. Bei der Dränung grobporiger Grundwasserböden kann also diese Form durchaus auftreten. Bei staunassen Böden, die in der Dränung weitaus überwiegen, folgt die Wasserbewegung nicht dem DARCYschen Filtergesetz, sondern bevorzugten Wasserleitbahnen, z. B. Bodenrissen und Wurzelgängen. Das Bild der Sickerströmung in staunassen Böden ist rechnerisch nicht zu erfassen.

Diese Überlegungen lassen uns zu einem Kernproblem der Kulturtechnik vorstoßen.

6.3 Wie ermittelt man den richtigen Dränabstand?

Hier wird m. E. gegenwärtig das Problem viel zu detailliert und zu wenig komplex betrachtet. Man versucht mit wenigen bodenphysikalischen Kennwerten das Problem generell zu lösen.

Die bestehenden Unsicherheiten lassen sich aber einengen, wenn man zunächst von der Bodengenetik ausgehend die Dränböden in Grundwasserböden und Stauwasserböden — oder wie man in Österreich sagt — tagwasservernäßte Böden unterteilt.

In Grundwasserböden, die ja für das Wasser und, wenn man das Grundwasser absenkt, auch für die Bodenluft wegsam sind, wird man über bodenphysikalische Kennwerte zutreffenden Aussagen bezüglich des zweckmäßigen Dränabstandes kommen. In der noch gültigen DIN 1185 sind als bodenphysikalische Kennwerte die Kornverteilung, die spezifische Oberfläche, die Hygroskopizität, berücksichtigt, aber man hat auch seinerzeit versucht, chemische Eigenschaften, z. B. Kalk- und Eisengehalt oder genetische Vorgänge (Lagerungsdichte) und, was mir sehr wesentlich erscheint, die Niederschläge, in die Tafel der Dränabstände miteinzuarbeiten.

Die Bestrebungen bei der Neufassung der DIN 1185 gehen dahin, die Durchlässigkeit, also den k_r -Wert, zur Beurteilung des Dränabstandes heranzuziehen. In Grundwasserböden, aber auch in Moorböden mit über der zukünftigen Dränsohle liegendem Grundwasserspiegel ist der k_r -Wert ein charakteristischer Kennwert für die Wasserbewegung; denn in beiden Böden finden Grundwasserbewegungen statt, die dem Gesetz von DARCY folgen.

In stauwasser Böden stellt sich das Problem der Dränung ganz anders! Hier gilt es nicht, einen etwa zu hohen Grundwasserspiegel auf ein pflanzen-erträgliches Maß abzusenken, sondern den meist entwicklungsbedingt verdichteten Boden für Wasser und Luft durchlässig zu machen und damit die Durchwurzelbarkeit zu erhöhen. Das Problem der Dränung stauwasser Böden, die immerhin 80—90% unserer Dränböden ausmachen, läßt sich wohl am besten so formulieren:

Wie ist es wirtschaftlich möglich, der flächenhaften Bodenverdichtung mit all ihren Nachteilen für die Land- und Wasserwirtschaft entgegenzuwirken?

Naturgemäß bieten sich hier eine Reihe von kulturtechnischen und landwirtschaftlichen Maßnahmen an, die einzeln oder kombiniert zum Ziele führen können. In Gebieten mit hohen Niederschlägen (mittlerer Jahresniederschlag >1000 mm) und bei feinteilreichen Böden wird jedoch auch in Zukunft die Rohrdränung die Grundlage der Melioration sein. Nachdem man flächenmäßigen Bodenverdichtungen nur mit Flächenmaßnahmen begegnen kann, ist bei stauwasser Böden die systematische Dränung oder — wie ich mich lieber ausdrücke — die Flächendränung das wirksamste Mittel. Selbstverständlich kann die Flächendränung mit anderen kulturtechnischen und landwirtschaftlichen Maßnahmen, wie Untergrundlockerung, Maulwurfdränung, Tiefpflügen, Umbruch, Düngung, Meliorationskalkung und Neuansaat, gekoppelt werden.

In der überwiegenden Zahl der Flächendränungen genügen jedoch die in Bayern von den Bodenkulturstellen in der Regel nach der Dränung durchgeführten landwirtschaftlichen Folgeeinrichtungen (Umbruch, Meliorationsdüngung, Neuansaat), um einen nachhaltigen Meliorationserfolg sicherzustellen. In schwierigeren Fällen sind zusätzliche Untergrundlockerungen oder auch die Maulwurfdränung mit dem vom Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik in Petzenkirchen/Niederösterreich entwickelten Maulwurfdränpflug, der auch zu einem Heben des Bodens führt, erfolgreich.

Die gewählte Art der Flächendränung und -lockerung muß jedoch auch wirtschaftlich sein! Dies ist dann der Fall, wenn die Bau- und Jahreskosten bei gleichem Erfolg ein Minimum werden.

In den meisten bisherigen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen über zweckmäßige Dränabstände findet man nur Vergleiche der Baukosten, ohne daß auf die Jahreskosten eingegangen wäre. Zu den Jahreskosten zählen die Aufwendungen für Wartung, Unterhaltung, Kapitaldienst, Betriebskosten und Erneuerungsrücklage. Bei der gegenwärtigen Finanzierung ist in Bayern die Flächendränung mit nachfolgenden landwirtschaftlichen Folgemaßnahmen die wirtschaftlichste Art der Meliorierung staunasser Böden. Bei Betrachtung der Finanzierung muß man sich jedoch von dem manchmal geäußerten Gedanken frei machen, daß ein Landwirt alleine wegen eines Zuschusses dränieren würde. Bei rund 4000,— DM/ha Meliorationskosten (Dränung + landwirtschaftliche Folgeeinrichtungen) verbleiben dem Landwirt immerhin 1500,— DM bis 1800,— DM/ha Eigenleistung. Diese würde unsere Landwirtschaft nicht aufbringen, wenn nicht ein entsprechender Erfolg den eingesetzten Eigenmitteln gegenüberstünde.

Bei der Vielzahl der Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit der Meliorierung staunasser Böden beeinflussen, kann eine allein auf bodenkundlichen Kennwerten aufgebaute Dränabstandsberechnung keine entscheidende Aussage geben, sondern bestenfalls Anregung sein. Der Dränabstand und die mit der Dränung kombinierten landwirtschaftlichen Folgeeinrichtungen sind letztlich dann richtig gewählt, wenn bei gleichem Erfolg — wie bereits betont — die Bau- und Jahreskosten der Melioration ein Minimum werden.

Zur Methodik der pF-Bestimmung

Von Dr. Chr. Langner, Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen

Zur Untersuchung der Wasserbindungsintensität an Bodenproben in natürlicher Lagerung, also zur Durchführung von pF-Messungen, werden im Spannungsbereich bis etwa 1 atü meistens eine der drei folgenden Apparaturen verwendet:

1. Keramische Platte nach CZERATZKI (1),
2. Drucktopf mit poröser Platte nach RICHARDS (3),
3. Apparatur nach WOLKEWITZ (4).

Während Richards den zu untersuchenden Boden bekanntlich durch Überdruck entwässert, arbeiten Czeratzki und auch Wolkewitz mit Absaugvorrichtungen, also mittels Unterdruck.

Zur Klärung der Frage, inwieweit die Untersuchungsbefunde der drei Apparaturen übereinstimmen, und um zu prüfen, ob bei pF-Messungen im Spannungsbereich bis zu 1 atü zweckmäßigerweise kleinere oder größere Stechzylinder bzw. nicht ummantelte Bodenproben (2) verwendet werden sollten, führten wir einige Vergleichsuntersuchungen durch.

Die ersten Messungen sind mit 100 cm³ Stechzylindern vorgenommen worden. Aus einem weitgehend homogenen Lößlehm entnahmen wir 60 Proben. Jeweils 20 davon wurden mit Hilfe der drei Geräte in sechs verschiedenen Druckstufen, und zwar zwischen pF 1,78 und pF 2,48, untersucht. Das Ergebnis ist aus Abbildung 1 zu ersehen. Sie zeigt drei pF-Kurven, ermittelt nach CZERATZKI, RICHARDS

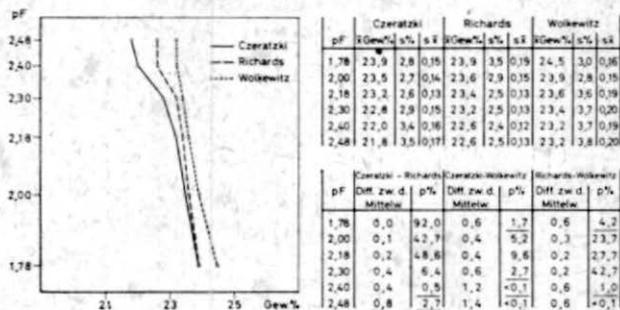


Abb. 1:
pF-Messungen, durchgeführt
mit verschiedenen Apparaturen

und WOLKEWITZ, ferner die dazugehörigen Mittelwerte in Gew.-%, die Streuung der Einzelwerte um die Mittelwerte ($s^0/0$) sowie die Fehlerbereiche der Mittelwerte ($s\bar{x}$).

Die Differenzen zwischen den Mittelwerten betragen innerhalb der sechs untersuchten Druckstufen zwischen CZERATZKI und RICHARDS lediglich bis zu

0,8 Gew.-%, zwischen CZERATZKI und WOLKEWITZ maximal 1,4 Gew.-% und zwischen RICHARDS und WOLKEWITZ sogar nur bis zu 0,6 Gew.-%. Zweifellos sind diese Unterschiede gering. Dennoch besteht keine gänzliche Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der drei Verfahren. Die Berechnung der Irrtums- oder Überschreitungswahrscheinlichkeit ($p^0/0$) ergab nämlich, daß die zwischen den drei Methoden bestehenden Differenzen teilweise gesichert sind. Signifikante Unterschiede traten in neun von 18 Fällen auf, und zwar vornehmlich in den höheren Druckstufen, wie der nach oben auseinanderstrebende Kurvenverlauf erkennen läßt. Die Variationskoeffizienten der drei Verfahren, also die Streuungen der Einzelwerte um den Mittelwert ($s^0/0$), lagen zwischen 2,4 und 3,8%. Das sind für alle drei Geräte durchaus annehmbare Werte. Außerordentlich gering waren im übrigen auch die Fehlerbereiche der Mittelwerte. Sie lagen maximal bei $\pm 0,2$. Diese geringen Fehlerbereiche sind wahrscheinlich auf die hohe Anzahl an Parallelen ($n = 20$) zurückzuführen.

Die gleichen Messungen führten wir auch mit 40 cm³ Stechzylindern durch. Diese Ringe unterscheiden sich von den 100-cm³-Zylindern durch eine geringere Höhe. Sie beträgt nur 1,5 cm. Als Untersuchungsmaterial diente ebenfalls Lößlehm. Wiedermum konnte keine völlige Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der drei Apparaturen erzielt werden. Im Gegenteil, die Differenzen sind teilweise noch größer. Sie betragen bis zu 2,5 Gew.-%. Auch hier sind 10 von 18 der zu vergleichenden Mittelwerte signifikant verschieden. Die Streuung der Einzelwerte ($s^0/0$) lag im Durchschnitt etwas höher als bei den 100-cm³-Stechzylindern. Sie betrug maximal 5%.

Zu besseren Übereinstimmungen führten schließlich die Untersuchungen mit nicht ummantelten, in natürlicher Lagerung befindlichen Bodenproben. Die aus jeweils 20 Parallelen gewonnenen Mittelwerte der drei Geräte differieren maximal um 0,6 Gew.-%. Signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der drei Methoden traten lediglich bei 15% der Untersuchungen auf.

Inwieweit diese recht gut übereinstimmenden Ergebnisse darauf zurückzuführen sind, daß die Untersuchungen lediglich in zwei Druckstufen (pF 1,78 und pF 2,48) erfolgten oder ob die Art der verwendeten Bodenproben maßgebend dafür war, werden weitere z. Z. noch laufende Messungen, die im übrigen auch mit verschiedenen Bodenarten vorgenommen werden sollen, zeigen müssen.

Bisher gingen wir dieser Frage nach, indem wir mittels des Drucktopfes nach RICHARDS Vergleichsuntersuchungen mit nicht ummantelten Bodenproben sowie

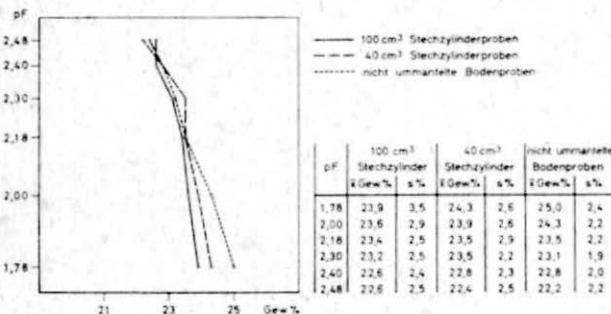


Abb. 2:
pF-Messungen, durchgeführt
mit verschiedenen Bodenproben

mit 40-cm³- und 100-cm³Stechzylinderproben durchführten. Die Messungen wurden wiederum mit jeweils 20 Parallelen in sechs verschiedenen Druckstufen vorgenommen. Wie Abbildung 2 erkennen läßt, decken sich die drei pF-Kurven weitgehend. Lediglich in einem von 18 Fällen waren die zu vergleichenden Mittelwerte signifikant verschieden. Danach zu urteilen scheint es also grundsätzlich gleichgültig zu sein, ob pF-Messungen im Spannungsbereich bis etwa 1 atü mit nicht ummantelten Bodenproben oder mit Stechzylinderproben durchgeführt werden. Diese Feststellung gilt vorerst natürlich nur für die aus Lößlehm stammenden Proben, gemessen im Drucktopf nach RICHARDS.

Literatur

1. Czeratzki, W.: Eine keramische Platte zur serienmäßigen Untersuchung von Porengrößen im Boden im Spannungsbereich bis ca 1 atü. Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 87 (133), 223, 1959.
2. Hartge, K. H.: Die Bestimmung von Porenvolumen und Porengrößenverteilung. Ztschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung; 6. Jg., H. 4 (1965), S. 193—206.
3. Richards: Pressure membrane apparatus construction and use. Agr. Engin 28, 451—454.
4. Wolkewitz, H.: Die Weiterentwicklung des Verfahrens der pF-Untersuchung zur Feststellung der Bindungsintensität des Wassers im Boden. Der Kulturtechniker, 47. Jg., Berlin, Juli/August 1959.

VI. Diskussion

Leitung: Prof. Dr. K m o c h

EGGELSMANN: Drei kurze Fragen an Herrn Dr. Schuch:

Werden die Rohre abgedeckt oder bleiben sie offen liegen? (Auf den Bildern war es nicht klar zu erkennen.)

Der Oberflächenabfluß beträgt 19,5% vom Niederschlag. Bezieht sich dieser auf das unkultivierte oder auf das kultivierte Moor?

Von Juli bis November haben Sie tiefes Grundwasser; wie tief war das Grundwasser absolut?

SCHUCH: 1. Die Rohre wurden abgedeckt. 2. Die 19,5% beziehen sich auf das kultivierte Moor. 3. Das Grundwasser liegt etwa 20 bis 30 cm unter Flur.

HARTGE: Beziehen sich Dichte-Bestimmungen auf den nassen Boden oder wurde der Wassergehalt, der ja bei der Dichte-Messung von der Sonde miterfaßt wird, schon abgezogen? Mir scheint das nicht der Fall gewesen zu sein (Größe der Dichte von 1,2 bis 2,5). Wenn das nicht der Fall war, so wird eine Dichteveränderung, die Sie gemessen haben, zum überwiegenden Teil Folge einer Wassergehaltsänderung sein. Wieviel bleibt noch, wenn der Wassergehalt weggerechnet ist; kommt dann noch ein echter Dichte-Unterschied, d. h. eine Volumenänderung des Bodens bis in größere Tiefen zustande oder nicht?

SÜSS: Die Bodendichtewerte beziehen sich auf feuchten Boden, wie er in der Natur gegeben ist. Er schwankt in den natürlichen Bereichen. Veränderungen

der Dichte durch Volumen-Änderung sind bei unseren Untersuchungen gegeben, aber nicht einheitlich. Wir glauben, daß die speziellen Eigenschaften des Bodens noch einen Einfluß haben.

BENECKE: Gibt es eine Möglichkeit, aus den Reißbildern eine Korrektur, z. B. der Zahlenwerte, abzuleiten, die man für die mit der Schlämmanalyse gefundenen Tongehalte verwenden könnte?

WOLKEWITZ: Das glaube ich nicht. Es kommen ja hier zusammen einmal der Reißtyp, den man natürlich in Zahlen ausdrücken könnte, und zum anderen das Verhältnis der Reißbreiten und Reißzahlen. Das alles mit einem Ausdruck darstellen zu können, halte ich selber für unmöglich.

Ich möchte ergänzend darauf hinweisen, daß zwischen der Auswertung des Gefüges und der Wasserdurchlässigkeit Korrelationen zu finden sind. Diese Ausführungen von mir beziehen sich praktisch auf die Ausarbeitung von Herrn Dr. Benecke.

CZERATZKI: Für die Reißbildung bei natriumbelegten Böden wird der pF-Wert 4,4 angegeben. Ein Teil der Schrumpfung besteht aber darin, daß sich der Boden vor der eigentlichen Reißbildung von der Wandung der Schale — wie auf den Bildern zu sehen ist — trennt. Man könnte vermuten, daß die Reißbildung schon vor pF 4,4 beginnt.

WOLKEWITZ: Die Reißbildung beginnt bei pF 4,4. Das Loslösen vom Rand erfolgt nicht nur durch die Kraft, die innerhalb der gesamten Masse auftritt, sondern es ist noch eine Kraftkomponente zwischen dem Gummiring und der Bodenmasse. Das Reißen innerhalb der Substanz beginnt bei pF 4,4.

CZERATZKI: Die Reißbildung findet durch Schrumpfungsvorgänge statt. Das Ablösen vom Rand ist ja lediglich ein Schrumpfungsvorgang in einem größeren Verband.

WOLKEWITZ: Es ist aber so, daß dieses Ablösen vom Rand nicht in allen Fällen auftritt.

CZERATZKI: Sie erhalten doch zumindest irgendwo einen großen Reiß. Es ist schräg oder ...

WOLKEWITZ: Nein, das beginnt erst dann, wenn Luft in das System eindringt. Das kann ich hundertfach nachweisen.

SCHAFFER: Eine kurze Frage: Hängt die Reißbildung auch von der Geschwindigkeit des Abtrocknens ab? Wenn nicht, dann wäre eine Korrelation zwischen Reißbild und tatsächlicher Gefügeausprägung in der Natur wohl denkbar. Wenn aber das Reißbild von der Abtrocknungsgeschwindigkeit abhängt, dann ist die Korrelation zwischen Reißbild und Gefügeform im Bodenprofil nicht vorstellbar. Da darüber hinaus die Gefügebildung sehr stark von der Wasserdynamik abhängt, bezweifle ich, ob überhaupt eine Korrelation zwischen Gefüge- und Reißbild besteht.

WOLKEWITZ: Das hängt von der Temperatur ab. Zum Photographieren sind die Bedingungen ja anders gewesen als unter dem normalen Verfahren. Ob die Korrelation nachher in allen Fällen übereinstimmt, soll erst geprüft werden. Es war ja zunächst einmal der Weg zu zeigen, wie man evtl. vorgehen könnte.

HEBESTREIT: Wir haben etwas Ähnliches gemacht, um die Strukturkapazität bei schweren Böden nachzubilden. Diese großflächigen Aggregate, von denen Herr Dr. Czeratzki eben sprach, entstehen möglicherweise bei langsamem Abtrocknen in einem Kalziumboden, genauso, als hätten Sie einen Natriumboden.

Wäre es nicht möglich, Ihren Kalziumboden durch entsprechend langsames Eintrocknen in das gleiche Gefüge zu bringen wie einen Natriumton?

WOLKEWITZ: Das halte ich nicht für möglich. Es kann eine Verschiebung von einem Typ zum anderen geben, aber es kann nie eine Umwandlung von einem Typ in den anderen geben.

RAMSAUER: Meine Damen und Herren, ich gehöre ja ungefähr zur großväterlichen Generation derer, die sich mit dem Bodenwasser befassen, aber ich bin nicht absolut der Meinung, daß die erstgegebene Definition anzuwenden ist. Man darf nämlich nicht vergessen, daß ein Begriff heute in der ganzen Bodenkunde herrscht, der sich in der ganzen Welt durchgesetzt hat. Das ist die Bodenfeuchte „Soil moisture“, wie es im Amerikanischen heißt. Das ist etwas anderes als das freie, der Schwere unterworfenen Wasser. Ich habe daher auch den Ausdruck „stark tagwasservernäßte Böden“ gewählt, da es sich tatsächlich nur um jenes Wasser handelt, das genauso wie das Grundwasser der Schwere unterworfen ist.

WOHLRAB: Ich bin nicht einverstanden mit der grundsätzlichen Erklärung von Herrn Seyberth, daß die Pflanzen nur vom Bodenwasser leben und nicht vom Grundwasser. Die Pflanze lebt in erster Linie vom Bodenwasser. Darüber hinaus kann sie auch vom Grundwasser leben, und zwar, wenn Wurzelraum und Saugraum ineinandergreifen.

V. MÜLLER: Herr Dr. Langner, wie geht man mit nicht ummantelten Proben bei einer pF-Bestimmung um, ohne daß sie zerkrümeln? Bei der schematischen Darstellung von Dr. Langner hatte ich Sorge. Wenn meine Augen mich nicht täuschen, waren die schon eingefallen.

LANGNER: Die Aufnahme zeigt getrocknete Bodenproben.

CZERATZKI: Bei Böden, die wenig quellen, kann man mit oder ohne Ummantelung arbeiten. Aber bei ausgesprochen tonigen Böden erhöht das Krümeln des Bodens die Wasserkapazität und nicht die Luftkapazität.

KRAMER: Herr Dr. Langner, wie weit waren Ihre Versuchsbedingungen thermokonstant und wie weit haben Sie den Platten-Widerstand geprüft? Haben Sie immer die gleichen Platten verwendet bei allen drei Methoden?

LANGNER: Wir haben den Platten-Widerstand nicht geprüft. Er ist auch sicher verschieden. Die Untersuchungen mit den drei Geräten erforderten jedenfalls einen verschieden großen Zeitaufwand. Für jede Messung mit der Wolke-witz-Apparatur benötigten wir ungefähr sechs Stunden, mit den beiden anderen Geräten bis zu zwei Tagen.

HARTGE: Herr Dr. Czeratzki, selbstverständlich bemühen wir uns, die Proben nicht zu krümeln; denn gerade für tonreiche Proben ist die erste Bedingung, daß die Struktur — also der Porungsgrad — einigermaßen erhalten bleibt. Das ist auch annähernd gegeben, wenn die Probe nur gewässert wird. In dem

Moment aber, wenn man die Probe in eine Form pressen wollte — die Beanspruchung kann noch so klein sein — erhält man eine ganz andere pF-Kurve.

Der Platten-Widerstand darf überhaupt keinen Einfluß haben, es sei denn, daß man den Gleichgewichtszustand nicht abwartet. Die Zeit, die man braucht, um das Gleichgewicht einzustellen, hängt selbstverständlich von der Durchlässigkeit der Platten und deren Dicke ab. Darüber hinaus ist die Höhe der Bodenprobe selbst von Einfluß. Je höher die Bodenprobe, desto länger wird die Zeit, die man braucht, ehe ein Gleichgewicht eintritt. Die Zeit wird um so länger, je weniger Wassergehalt man als Gleichgewicht anstrebt.

C Z E R A T Z K I : Vielleicht hängen die Unterschiede in der Schnelligkeit der Gleichgewichtseinstellung mit der Porengröße der Keramiken zusammen.

Zusammenhänge zwischen Grobstruktur und Bodenwasserhaushalt

Von Dr. H. Rid, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München

In zahlreichen Dauerversuchen mit Unterbodenlockerung wurden die Veränderungen der Bodenstruktur im Lauf der Jahre durch Aufnahme der Gefügestrukturen und Messungen der Grobstruktur nach der Stechzylindermethode festgehalten. Die Versuche liefen im Zeitraum 1948 bis 1965 an 14 verschiedenen Standorten und auf verschiedenen Bodentypen. Mit den physikalischen Messungen verbundene Ertragsfeststellungen, chemische und mikrobiologische Untersuchungen gestatten es, die Ergebnisse in einem größeren Rahmen zu sehen.

Obwohl an den einzelnen Standorten jährlich überwiegend nur eine Messung durchgeführt wurde, ist es infolge der langen Versuchsdauer möglich, den nicht geringen Umfang der Strukturveränderungen des Bodens aufzuzeigen. Aus den langjährigen Untersuchungen wird mit den Abbildungen 2—7 eine Auswahl typischer Meßergebnisse wiedergegeben. Die einzelnen Abbildungen bringen im oberen Teil die Aufzeichnungen der Gefügestrukturen, deren Zeichenerklärung sich in Abbildung 1 findet. Darunter sind die Meßergebnisse aus 4—5 Schichten, von der Oberkrume bis zum Untergrund, angegeben. Der Schwankungsbereich des Porenvolumens und der Wassergehalte ist am Ende der Meßstrecke durch eine senkrechte Linie angezeigt.

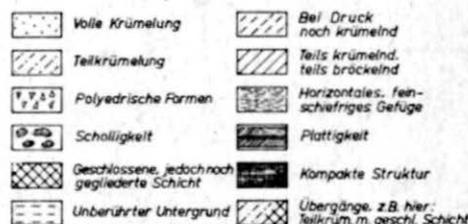


Abb. 1:
Legende für die in Abb. 2—7 aufgezeichneten
Gefügestrukturen

Aus den Aufzeichnungen der Gefügestrukturen, die in Säulen von 0—50 cm Tiefe wiedergegeben werden (Abb. 2—7), ist zu sehen, daß diese sehr verschiedenartige Formen zeigen. Es wurde weiter festgestellt, daß bestimmte Formen, wie polyedrisches, schieferiges oder plattiges Gefüge mehr oder weniger genetisch bedingt sind. Es ist deshalb bedenklich, jeden Boden, der von der Krümelstruktur abweichendes Gefüge aufweist, als krank zu bezeichnen, dafür läßt sich aus diesen Untersuchungen, besonders bei Berücksichtigung der Ertragsfeststellungen, keine Berechtigung nachweisen.

Kaum einmal in all den Versuchsjahren ergaben sich zwei sich voll entsprechende Bilder mit gleichen Gefügestrukturen. Schieferung verwandelt sich in Scholligkeit, Krümelung wird zu kompakter Lagerung. Würde man einen Boden

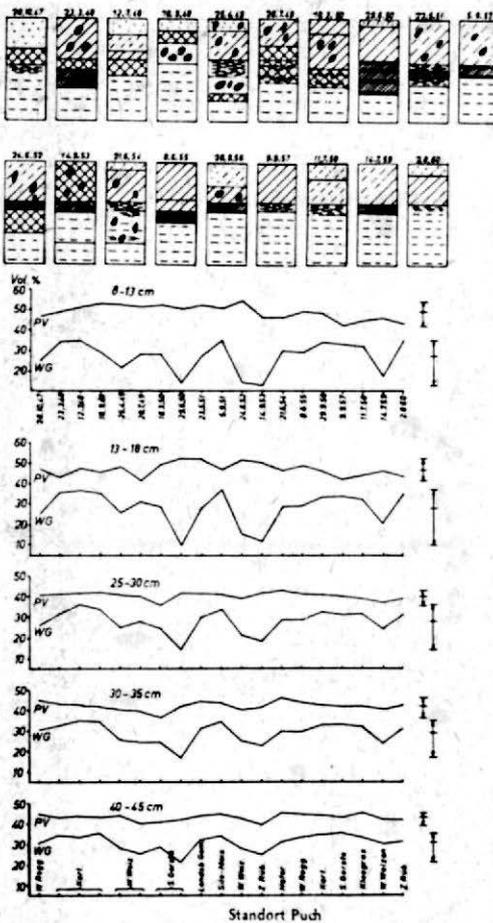


Abb. 2:
Gefügestrukturen und Grobstruktur (1947—1960)
vom Standort Puch; schwach pseudo-
vergleyte Parabraunerde, Lößlehm;
PV = Porenvolumen, WG = Wassergehalt
in Vol. %

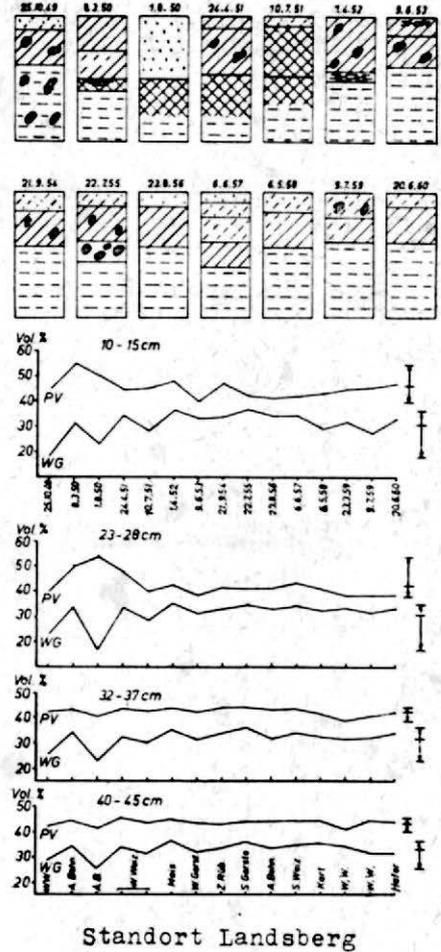


Abb. 3:
Gefügestrukturen und Grobstruktur (1949—1960)
Landsberg „Naß-Schwarzerde“, Lößlehm

allein auf Grund seiner Gefügestrukturen beurteilen, so käme man einmal zu dem Schluß, es mit einem gesunden Boden, ein anderes Mal, es mit einem kranken Boden zu tun zu haben. Eine Bodendiagnose, die allein auf der Beurteilung der Gefügestrukturen beruht, ist nicht tragbar, denn diese unterliegen sowohl im Jahresablauf wie im Ablauf der Jahre zu großen Schwankungen. Eine feste Grundlage ist dagegen der Bodentyp. So hatte der in diesen Feldversuchen eingesetzte Zweischichtenpflug keinen Erfolg, dort wo er verdichtete Schichten unterfuhr, sondern nur auf den pseudovergleyten Standorten.

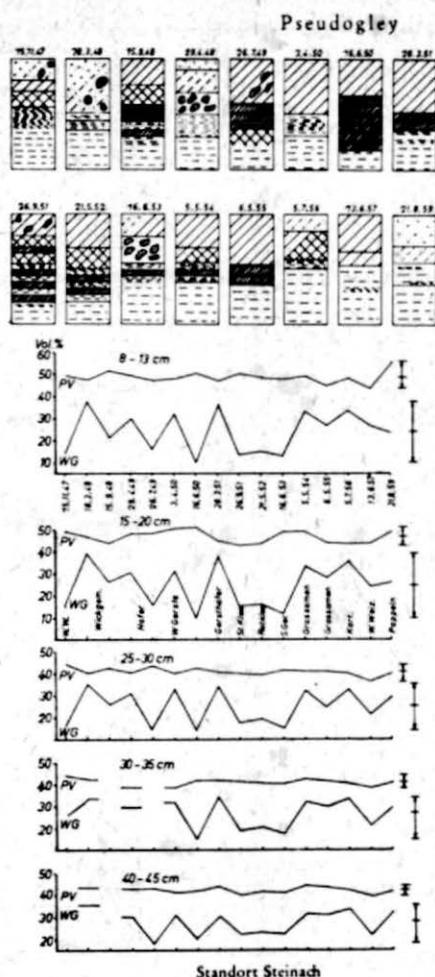


Abb. 4:
Gefügeformen und
Grobstruktur
(1947—1959).
Steinach, Pseudo-
ogley, Lößlehm.

Ähnlich wie die vom Auge erfaßten Gefügeformen schwanken auch die in Zahlen festgelegten Werte des Porenvolumens, die Abbildungen 2—7 zeigen dies deutlich: die Schwankungen des Porenvolumens am gleichen Standort betragen bis zu 15%. Hervorgerufen werden die Änderungen der Grobstruktur im Bereich der Krume vor allem durch die Bearbeitung und die Fruchtfolge. Es sind deshalb die an den Standorten angebauten Früchte in den Diagrammen mit angeführt. Der Einfluß der Durchwurzelung läßt sich auch in tieferen Schichten noch nachweisen.

Beherrschend aber ist der Effekt des Bodenwassers: bei geringer Bodenfeuchte tritt Schrumpfung ein, sie äußert sich in einem geringeren Porenvolumen, während die Quellung bei größerer Bodenfeuchte das Porenvolumen anhebt. Diese Tendenzen treten vor allem in den tieferen Schichten durchwegs zutage. Derartige

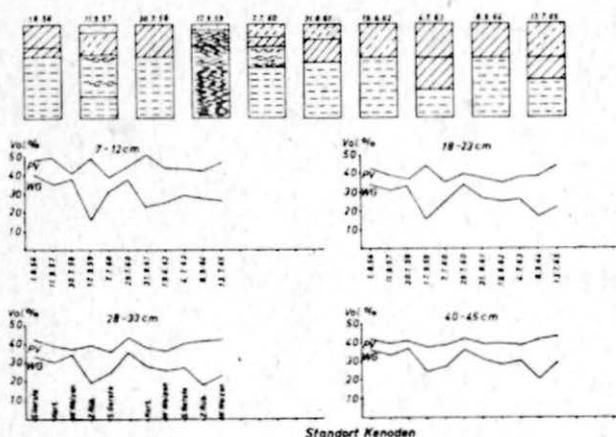


Abb. 5:
Gefügeformen und Grobstruktur (1956—1965). Kenoden,
Pseudogley, Lößlehm auf
Tertiär

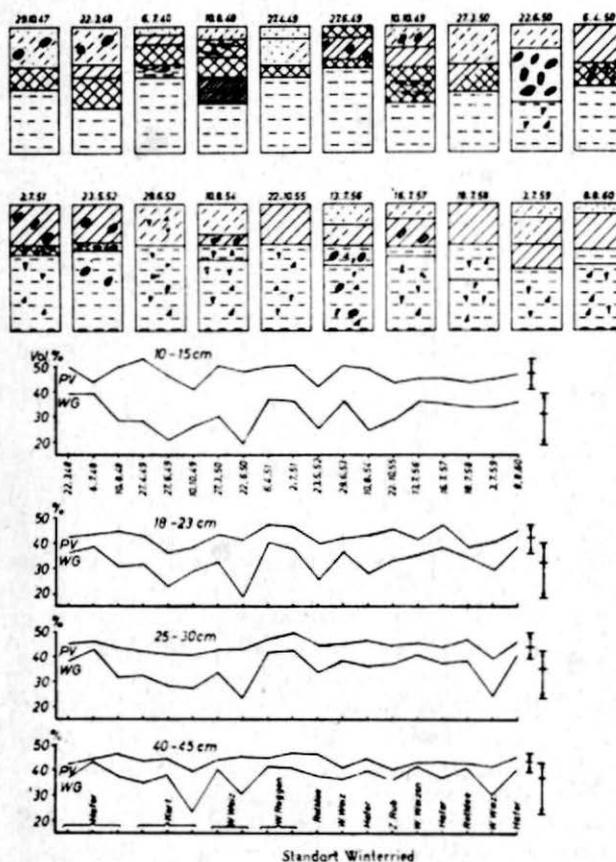


Abb. 6:
Gefügeform und Grobstruktur
(1949—1960). Winterried,
Pseudogley — Pelosol, Tertiär

Gley

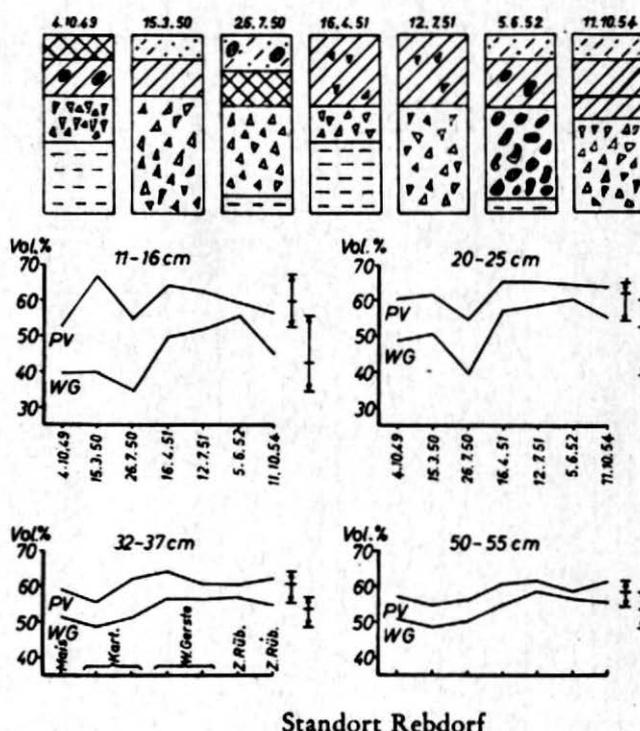


Abb. 7:
Gefügeform und Grobstruktur
(1947—1959).
Rebdorf, Gley, Alluvium

feststehende Beziehungen zwischen Wassergehalt und Porenvolumen lassen sich rein optisch nachweisen an im Trockenschrank getrockneten Stechzylindern (Abb. 8). Ebenso ergaben sich in einem Berechnungsversuch auf Grünland nach einer Regengabe höhere Wassergehalte und ein höheres Porenvolumen als vor der Beregnung im trockenen Boden (Abb. 9).

Art und Tempo der Austrocknung bzw. Durchfeuchtung haben großen Einfluß auf die Bildung des Porenvolumens. Es wird die Schwierigkeit deutlich, wenn man versucht, vom Porenvolumen ausgehend, eine Grenze für eine günstige oder ungünstige Grobstruktur zu ziehen. Wiederholte Messungen am gleichen Standort zeigten jedoch, daß es möglich ist, annähernd gleiche Ergebnisse zu bekommen, wenn Stechzylindermessungen bei abklingender Bodenfeuchte — wenn die Bodenstruktur gewissermaßen zur Ruhe gekommen ist — durchgeführt werden (1).

Degradierte Bodentypen wie Pseudogleye und Pseudogley-Pelosole scheinen die Fähigkeit des Schrumpfungens und Quellens nur in geringem Umfang zu besitzen, der Umfang der Substanzbewegungen ist auf diesen Böden gehemmt. Das geht aus einem Vergleich der Abbildungen 2 und 3 mit den Abbildungen 4 und 5



Abb. 8:
Verschiedener Grad der
Schrumpfung von Stech-
zylinderproben (100 cm³) in
sandigem Lehm (oben),
degradiertem Lehm (unten)
und humosem Ton (links)

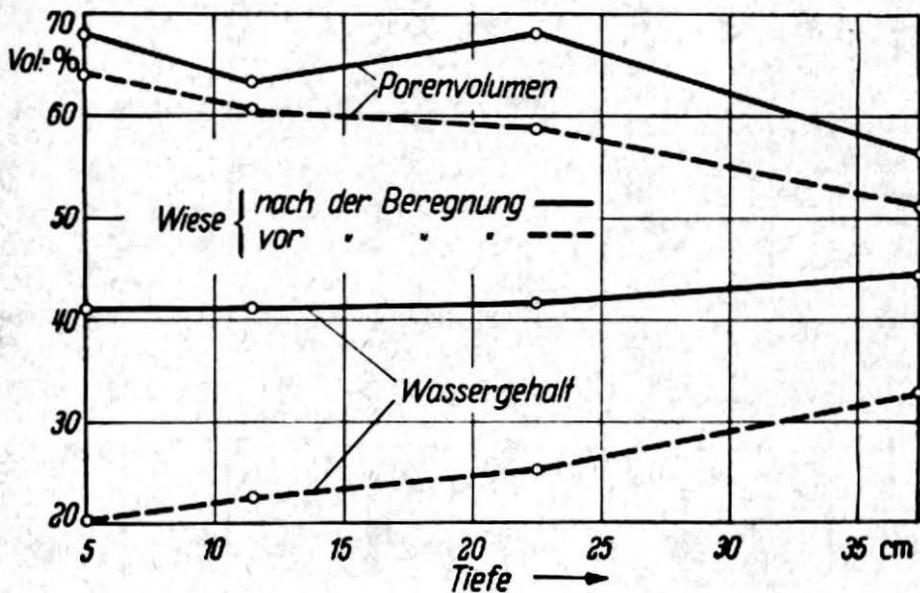


Abb. 9: Veränderungen des Porenvolumens und Wassergehalts auf Grünland — Bodentyp: brauner Auenboden — durch eine Wassergabe von 60 cm

hervor. Der Kurvenverlauf des Porenvolumens ist auf den Parabraunerden und in ihrer Struktur vergleichbaren Bodentypen vielgestaltiger als auf den degradierten Böden, sie besitzen eine ausgeprägte Fähigkeit zur Eigenbewegung. Daraus läßt sich die Notwendigkeit einer Lockerung der Schichten degradierter Böden erkennen, zugleich ergibt sich eine Erklärung für den Erfolg von Maßnahmen einer tiefen Lockerung.

Die Abbildungen 4 und 5 illustrieren zugleich die mangelnde Dynamik des Wasserhaushaltes von Pseudogleyen. Das Auf und Ab der Linien der Wassergehalte ist wesentlich stärker ausgeprägt als z. B. auf Parabraunerden, mit ihm verläuft parallel die Ertragsentwicklung auf diesen Böden. Die typische Eigenschaft des Pseudogleys, die Wechselfeuchte, das Schwanken zwischen schroffer Austrocknung und stauender Nässe, ist besonders deutlich am Standort Steinach (Abb. 4) feststellbar.

Andere strukturbildende und strukturformende Faktoren wie das Bodenleben oder der Humusgehalt treten an Bedeutung hinter den Einflüssen der Niederschläge und der Bodennutzung zurück. Gewiß sind Bakterien und Bodentiere in der Lage, Einfluß auf Gefügeform und auf die Lagerung des Bodens zu nehmen, angesichts des Umfangs der Bewegung des Porenvolumens, wie sie sich allein aus Veränderungen des Bodenwassergehaltes ergeben, ist jedoch zu sagen, daß derartige große Impulse weder durch Bakterien noch durch andere Bodentiere möglich sind. Auch der Humusgehalt des Bodens scheint nach dieser Richtung eine untergeordnete Bedeutung zu besitzen. Parabraunerden aus Löß mit Humusgehalten zwischen 2 und 3% weisen die gleichen hohen Schwankungsbereiche des Porenvolumens auf wie andere Standorte mit doppeltem Humusgehalt.

Gefügeformen und Grobstruktur sind Größen, die mit sehr variablen Erscheinungsbildern und Meßwerten aufwarten. Sucht man nach einer solideren Basis, so bietet sich der Bodentyp an, in ihm kommt die Gesamtheit der physikalischen, chemischen, biologischen, klimatischen und übrigen bodenbildenden Faktoren zum Ausdruck. Er sollte deshalb auch die Grundlage der Standortcharakteristik bei wasserwirtschaftlichen und anderen Maßnahmen bilden, die auf eine Gefügebesserung abzielen, denn er gestattet zugleich auch eine Vorhersage über deren Erfolg. Zahlreiche Meßergebnisse unterstreichen diese Feststellung, deren Gültigkeit sich bis zur Dränage erstreckt.

Über weitere Ergebnisse zu den Beziehungen zwischen Wassergehalt, Gefügeform und Grobstruktur wird an anderer Stelle berichtet (2).

Literatur

1. Rid, H.: Physikalische Eigenschaften von Böden des Schwarzen, Braunen und Weißen Jura. Bayer. Landw. Jahrbuch 39, Sh. 1, 1962.
2. —: Strukturveränderungen des Ackerbodens im Bereich der Krume, der Pflugsohle und des Untergrundes, nachgewiesen durch Strukturdiagnosen und Messungen der Grobstruktur. Z. f. Acker- und Pflanzenbau 114, 1, 1961/62.

Vergleichsmessungen der Luftdurchlässigkeit des Bodens im Freiland und im Labor¹⁾

Von Professor Dr. H. G. K m o c h , Institut für Pflanzenbau der Universität Bonn

Die von GROVER an einem elektrischen Analogon ermittelten und von TANNER berichtigten „G-Werte“ sollen eine Größe liefern, die bei der Messung der Luftdurchlässigkeit den durchflossenen Raum erfaßt und damit die Anwendung des DARCY-Gesetzes auch bei Messungen am gewachsenen Boden erlaubt.

An einer Reihe von Modelluntersuchungen wurde bei geringer Durchlässigkeit des Bodenmaterials eine gute Übereinstimmung festgestellt, wenn die Durchlässigkeit

- a) am „gewachsenen Boden“ mit eingetriebenem Probenbehälter und
 - b) an einer „ungestörten Probe“ nach Ausgraben des Probenbehälters
- gemessen und die Permeabilität, k_{00} , nach den entsprechenden Gleichungen errechnet wurde. Auch die Überprüfung an einer großen Zahl von Stechzylindern aus verschiedenen Böden ergab eine gute Übereinstimmung. Die Bestimmung der Luftdurchlässigkeit könnte sich somit, abgesehen von sonstigen Vorzügen, als Prüfmethode für die Zuverlässigkeit von „ungestörten“ Bodenproben eignen.

¹⁾ Im vollen Wortlaut veröffentlicht in Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 7 (1966), 341.

Wechselbeziehungen zwischen Wasser- und Luftdurchlässigkeit¹⁾

Von Dr. H. H a n u s, Institut für Pflanzenbau der Universität Bonn

Inhaltsübersicht:

Sofern die Methoden zur Bestimmung der Wasser- und Luftdurchlässigkeit auf dem DARCY-Gesetz aufbauen und die „intrinsic permeability“ k' bzw. der k_{00} -Wert nach ZUNKER berechnet wird, müßte man theoretisch zu gleichen Ergebnissen gelangen, gleichgültig, mit welchem Fluidum die Durchlässigkeit gemessen wurde. Anhand von Durchlässigkeitsuntersuchungen, die an ungestörten Bodenproben verschiedener Herkunft durchgeführt wurden, konnte jedoch nachgewiesen werden, daß die Bestimmung der „intrinsic permeability“ mit Hilfe von Luft in der Regel zu Werten führt, die um etwa zwei Potenzen höher liegen als die Werte, die mit Hilfe von Wasser ermittelt werden. Die Übereinstimmung zwischen Luft- und Wasserdurchlässigkeit war um so besser, je höher die Durchlässigkeit war. Die Quotienten zwischen Luft- und Wasserdurchlässigkeit waren unabhängig von der Höhe der Luftdurchlässigkeit, zeigten aber eine gesicherte Abhängigkeit von der Höhe der Wasserdurchlässigkeit. Aus diesem Ergebnis wird geschlossen, daß die Proben bei der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von dem Fluidum beeinflusst werden. Es ist deshalb nicht zutreffend, in dem k_{00} -Wert bereits eine Größe zu sehen, die von den Eigenschaften des Fluidums unabhängig ist. Vielmehr müßte die Gleichung zur Berechnung des k_{00} -Wertes um einen Faktor erweitert werden, der die Wechselwirkung zwischen Fluidum und Probe kennzeichnet. Aus den Ergebnissen war zu ersehen, daß die Höhe dieses Faktors sowohl von der Textur als auch von der Stabilität der Bodenstruktur gegenüber Wasser beeinflusst wird. Die Quotienten zwischen Luft- und Wasserdurchlässigkeit können deshalb erst dann als Indizes für die Strukturstabilität gewertet werden, wenn es gelingt, den Einfluß der Textur auf die Höhe des Quotienten zu eliminieren.

VII. Diskussion

Leitung: Prof. Dr. H a r t g e

HARTGE: Herr Dr. Rid, wenn man die Struktur in verschiedenen Jahren untersuchte, bekam man stets andere Gefüge-Bilder. Liegt das daran, daß die einzelnen Untersuchungstermine nicht genau um ein Jahr verschieden lagen, also die Abstände verschieden groß waren?

¹⁾ Im vollen Wortlaut veröffentlicht in Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 8 (1967), 85—90.

Man muß ja doch annehmen, daß die bekannten jahreszeitlichen Veränderungen der Struktur in gewissen Zeitabständen auf den ursprünglichen Stand zurückkommen. Wenn das nicht der Fall wäre, dann müßten wir mit recht schneller Veränderung der Bodenstruktur und damit auch des Bodentyps rechnen.

R I D : Die Überlegung ist durchaus richtig.

Die Untersuchungen erstrecken sich zum Teil auf mehr als ein Jahrzehnt. Wir haben so genügend Varianten vorliegen, die über verschiedene Bodenzustände Auskunft geben. Beobachtungen auch außerhalb dieser Aufzeichnungen zeigen immer wieder, daß die Struktur auf ein und demselben Boden doch außergewöhnlichen Schwankungen unterliegt, die sowohl von den klimatischen Bedingungen gegeben sein können, aber auch von der Bearbeitung, von der Fruchtfolge und anderem herrühren.

C Z E R A T Z K I : Könnten diese großen Schwankungen nicht auf einen Einfluß des Wassergehaltes zurückgeführt werden? Das Erkennen von Absonderungen ist im feuchten Zustand schwieriger als im trockenem.

R I C H A R D : Sie nehmen aus einem gewachsenen Boden aus einer bestimmten Tiefe ein Bodenstück heraus, das doch unter einem bestimmten erdmechanischen Druck steht. Sobald wir eine solche Probe herausnehmen, wird die Struktur bereits verändert. Ich habe keine Ahnung, wie groß diese Kräfte im gewachsenen Boden sind und wie eine Probe sich verändert, wenn man diese herausnimmt.

D E B O O D T : Gestern habe ich dazu einige Zahlen vorgelegt; für eine Parabraunerde ist das von einer gewissen Tiefe an genau eine halbe Atmosphäre Druck. Im allgemeinen ist das eine Funktion auch des Tongehaltes.

R I C H A R D : Wassergehalt?

D E B O O D T : Ja, auch des Wassergehaltes, doch würde ich sagen: „der Tongehalt“ um die Dynamik des Tones in die des Wassergehaltes hineinzubringen.

R I C H A R D : Das ist wahrscheinlich ein Problem der Bodenmechanik, das aber gelöst werden sollte.

D E B O O D T : Häufig kann man dies nicht theoretisch anfassen, weil zwei Variable vorkommen. Bis heute haben wir das immer im Felde bestimmen müssen.

K M O C H : Wenn ich Herrn Dr. Rid recht verstanden habe, sind Hohlraumvolumen und Wassergehalt wesentliche Indizien für die Veränderung der Struktur. Beide ergänzen sich. Möglicherweise ist auch das Wasser als Maß für den Porengehalt etwas ungeeignet, weil mit der Veränderung der Poren sich die Anlagerungsbedingungen für das Wasser selbst verändern. Ich weiß nicht, ob man das unter Umständen durch zusätzliche pF-Messungen herausbekommen könnte.

R I D : Ganz sicher ist die Wasserbewegung bzw. das An- und Abschwellen des Wassergehaltes der Grund dafür, daß sich auch das Porenvolumen so weit verändert. Die Schwankungen betragen bis 15%; im Mittel messen wir Schwankungen um 7%. Selbstverständlich könnte man durch pF-Messungen dieser Frage näherkommen. Ich wollte herausstellen, wie schwierig und problematisch es ist,

allein vom Porenvolumen auszugehen oder das Porenvolumen als eine Grenze für irgendwelche Werturteile wie „günstig“ oder „ungünstig“ zu verwenden.

SCHAFFER: Es wurde hier vorgeschlagen, den K_0 -Wert genauer zu definieren bzw. den K_{00} -Wert fallenzulassen. Nach reiflicher Überlegung muß man jedoch zu dem Schluß kommen, daß wir nur drei sogenannte K-Werte brauchen:

1. Der K-Wert ist die Permeabilität mit der Dimension (cm^2). Die Permeabilität ist unabhängig von den Eigenschaften des hindurchtretenden Mediums (Wasser oder Luft).
2. Der k_f -Wert ist die hydraulische Leitfähigkeit, welche oft auch als Bodendurchlässigkeit bezeichnet wird; ihre Dimension ist (cm/sec).
3. Der k_i -Wert (vgl. Zeitschrift für Kulturtechnik, 7 [1966] 193 ff.) ist die Infiltrationsrate mit der Dimension ($\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$) = (cm/sec). Zu beachten ist, daß es sich um keine Geschwindigkeit handelt.

Wenn wir diese drei Definitionen in der Bodenkunde und Landeskultur allgemein anerkennen und verwenden, wäre eine Übereinstimmung mit den Begriffsbestimmungen in der Physik, Hydromechanik, Baugrundmechanik usw. erzielt.

Ich darf mir deshalb den Vorschlag erlauben, in Zukunft so zu verfahren und die Permeabilität (K), die hydraulische Leitfähigkeit (k_f) und die Infiltrationsrate (k_i) mit den entsprechenden Begriffsdefinitionen streng auseinanderzuhalten und nur die vorgeschlagenen Indices zu verwenden.

BENECKE: Der K-Wert in ungesättigten Medien muß ja auch definiert werden. Wollen wir ihn als k_a bezeichnen? Oder bietet sich eine andere zweckmäßige Bezeichnung an?

MÜNNICH: Ich möchte fragen, ob dabei berücksichtigt ist, daß die Luft in feinporigem Material sich anders verhalten kann als das Wasser, einfach deshalb, weil die Luftmoleküle überwiegend an die Wand stoßen und die Wassermoleküle nicht. Der Unterschied ist bei den Poren von $1 \mu \phi$ und Atmosphärendruck schon merklich.

HANUS: Wir konnten feststellen, daß die Luftdurchlässigkeit in feinporigem Material höher liegt als die Wasserdurchlässigkeit, vor allem, wenn das Material Wasser binden kann. Dann wird der effektive Porenraum für die Durchlässigkeit eingeschränkt.

Wir finden bei der Wasserdurchlässigkeit eine sehr enge Korrelation zwischen Poren über 50μ und dem k_f -Wert, weil bei der Wasserdurchlässigkeit die Feinporen viel stärker an der Durchlässigkeit beteiligt sind, als das bei der Luftdurchlässigkeit der Fall ist.

DE BOODT: Die verschiedenen Symbole sollten einerseits die Wechselwirkung zwischen Luft und Boden, andererseits die Wechselwirkung von Wasser und Boden berücksichtigen. Die Dielektrizitäts-Konstante der Flüssigkeit gibt ein solches Maß.

Der Grundgedanke ist sehr interessant. Wir korrelieren Luft-Permeabilität und Wasser-Permeabilität; aber man müßte die Dielektrizitäts-Konstante (E) in den Vorstellungen berücksichtigen (etwa $1/E^2$).

Als praktische Folgerung zeigt dann die Laboratoriums-Bestimmung von Luft- und Wasser-Permeabilität Einflüsse, die von den Poren ausgehen, und liefert einen Ausdruck für die Aggregatstabilität.

HARTGE: Wenn ich richtig verstanden habe, ist im Prinzip K in Hinsicht auf Luft und Wasser gleich. Die Ausnahme tritt dann auf, wenn die Böden nennenswerte Anteile an Tonmineralen haben, die eine Reaktion zwischen Wasser und Bodengrenzfläche induzieren. Bei Sandböden oder bei sonstigen tonarmen Proben stimmen K_{Wasser} und K_{Luft} überein?

DE BOODT: Ja!

SUNKEL: Liegen irgendwelche Beobachtungen über die Abhängigkeit der Luftdurchlässigkeit vom Wassergehalt vor?

Ich könnte mir vorstellen, daß eine Abhängigkeit besteht, weil mit zunehmendem Wassergehalt das Luftvolumen geringer wird. Es wäre denkbar, daß der Unterschied zwischen Luftdurchlässigkeit und Wasserdurchlässigkeit zum Teil darauf beruht, daß letztere immer an gesättigtem Boden gemessen wird und die Luftdurchlässigkeit bei verschiedenen Wassergehalten.

Sie sagten, daß der Quotient Luftdurchlässigkeit/Wasserdurchlässigkeit in Amerika zum Teil als Maß für die Stabilität des Bodens benützt wird. Ich sehe da keinen Zusammenhang. Was ist der Grund?

KMOCH: Was wir als Durchlässigkeit oder Permeabilität bestimmen, beruht zum Teil auf Eigenschaften der Flüssigkeit, die sich zum Teil herausrechnen lassen (Dichte, Viskosität). In einem für die Flüssigkeiten indifferenten Material müßten Luft- und Wasserdurchlässigkeit gleich sein, wenn man die verschiedene Verengung der Poren durch Sorption von Luft und Wasser, die nicht nur von der Flüssigkeit, sondern auch vom durchflossenen Material abhängt, zunächst einmal vernachlässigt. Die auf diese Weise berechneten Permeabilitäten für Wasser und Luft sind dabei um so ähnlicher, je mehr die Configuration des durchflossenen Raumes erhalten bleibt. Da aber Wasser beim Durchfluß die Struktur des Bodens stärker beansprucht und unter Umständen zerstört, glaubt man unter den im Boden natürlich nie ganz erfüllbaren erwähnten Annahmen einen brauchbaren Index für die Strukturstabilität zu haben.

Aus zunächst rein praktischen Gründen würde ich doch vorschlagen, einen solchen Index beizubehalten.

HANUS: Ja.

Weiterhin wurde davon gesprochen, daß bei der Luftdurchlässigkeit ein Teil des Poren-Volumens durch Wasser blockiert ist. Das stimmt selbstverständlich.

Wir haben an Modellproben, die im Trockenschrank getrocknet waren, die Luftdurchlässigkeit bestimmt. Bei reinem Sand bekamen wir eine Übereinstimmung etwa von 100 zu 80. Bei Proben, die durch Zementbeimischungen stabilisiert waren, ergab sich ein weiteres Verhältnis. Das deutet darauf hin, daß eine Bindung des Wassers an das Material die Relation verändert. Wahrscheinlich spielt auch die Bindungsintensität eine Rolle.

Man kann das Verhältnis von Luft- und Wasserdurchlässigkeit als Maß für die Strukturstabilität benutzen. Die Überlegung ist folgende: Wenn man an einer trockenen Probe die Luftdurchlässigkeit bestimmt, verändert sich die Probe nicht. Sättigt man diese Probe, dann zerfällt sie mehr oder weniger, und die Durchlässig-

sigkeit wird geringer. Dieser Unterschied gibt mit den im Referat genannten Einschränkungen ein Maß für die Stabilität der Struktur.

HARTGE: Bei welcher Wasserspannung messen Sie die Luft-Permeabilität?

HANUS: Vorläufig haben wir auf die Wasserspannung keine Rücksicht genommen, sondern bei natürlichem Wassergehalt Proben gemessen. Die Poren bis 10μ dürften frei gewesen sein, bei Wassergehalten zwischen 3—5%. Die feineren Poren haben auf das Ergebnis kaum einen Einfluß.

CZERATZKI: Nomenklaturfragen haben auch bei der Internationalen Bodenkundlichen Tagung in Madison eine große Rolle gespielt. Der Vorschlag der Arbeitsgruppe der Kommission I ist in den Mitteilungen Nr. 20 der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft veröffentlicht.

BLUME: Ich möchte anregen, daß man möglichst bald Grenzzahlen für die Bestimmung der Luftleitfähigkeit im Felde erarbeitet, damit der Bodenspezialist draußen damit arbeiten kann. In diese Grenzzahlen — sie können sehr grob sein: gut — mäßig — schlecht durchlässig — müßte als wichtigstes Kriterium der Einfluß des Wassergehaltes eingehen. Dazu braucht man nicht unbedingt den Wassergehalt zu bestimmen. Man könnte mit wenig Mühe vielleicht auf Grund einer Feuchte-Schätzung unter Berücksichtigung der Bodenart die Grenzzahlen verbessern.

SCHAFFER: Herr Hanus, was verstehen Sie unter Stabilität? Meinen Sie damit die mechanische Festigkeit oder die Hydrostabilität?

HANUS: Ich meine überhaupt die mechanische Festigkeit gegen Wasser oder andere mechanische Einflüsse.

SCHAFFER: Mir scheint hier eine Klärung der Begriffe notwendig zu sein. Wenn wir von Stabilität sprechen, müssen wir angeben, ob damit die Hydrostabilität (verschlammende Wirkung des Wassers) oder die mechanische Festigkeit (Druck-, Zug-, Scherfestigkeit) gemeint ist. Deshalb muß ich die Frage wiederholen: Welche Stabilität meinen Sie?

HANUS: In diesem Falle wäre es natürlich gleichzusetzen mit der Hydrostabilität.

BENECKE: Sie sagten eben: Wenn man mit Luft mißt, bleibt die Permeabilität konstant, im Wasser nimmt sie ab. Letzteres dürfte aber normalerweise nur bei gestörten Proben so sein. Nach meinen Erfahrungen bekommt man mit einwandfreiem Wasser auch bei Schluffproben eine konstante Permeabilität.

Zuruf: „Hydraulische Leitfähigkeit!“

HANUS: Dieses Problem haben wir in Kiel (2. Kolloquium) besprochen. Damals waren wir der Ansicht, daß man aus der Abnahme der Durchlässigkeit auf die Strukturstabilität des Gefüges schließen könnte, wie es zum Beispiel auch amerikanische Autoren getan haben. Die Ergebnisse sind aber zu wenig einheitlich: Bei manchen Proben nimmt die Durchlässigkeit mit der Zeit ab, bei manchen nimmt sie zu. Die Konstante stellt sich innerhalb eines Horizontes bei verschiedenen Probenahmebedingungen erst nach verschieden langer Zeit ein. Die Abnahme der Permeabilität ist möglicherweise auch eine Funktion der Porengrößen.

HARTGE: Sie zeigten ein Diapositiv, wo bei höheren Permeabilitäten die Wasser-Permeabilität höher lag als die Luft-Permeabilität. Die Meßpunkte lagen unter der 45°-Linie. Und bei geringeren Permeabilitäten war das umgekehrt. Da sie aber mit verhältnismäßig feuchten Proben gearbeitet haben, waren wohl die kleinsten Poren noch voll Wasser. Wie ist dann zu erklären, daß die Luft-Permeabilität größer wurde als die Wasser-Permeabilität, da sie ja doch wahrscheinlich gar nicht den Bereich erreicht haben, in dem die Wirkung der Luft auf die feste Grenzfläche einen wesentlichen Einfluß haben kann. Soweit mir aus der Literatur bekannt ist, ist dieser Effekt erst bei etwa $K = 10^{-10}$ bis 10^{-11} cm² beobachtet worden. Das aber waren keine Böden, sondern Gesteine.

HANUS: Vielleicht resultiert die Frage aus einem Mißverständnis. Der Maßstab ist verzerrt. Die Abzissen zu den Koordinaten kommen in einem Verhältnis von 100:1.

Im Bereich geringerer Permeabilitäten war es höher als 100:1; im Bereich hoher Permeabilitäten niedriger als 100:1. Rein theoretisch wäre denkbar, daß wir an einen Punkt kommen, wo die Permeabilität noch höher wird und dann das Verhältnis 1:1 erreicht.

Korrelative Beziehungen zwischen Kennwerten des Bodenwasserhaushaltes von sandigen Böden im Beregnungsgebiet der Lüneburger Heide

Von Dr. W. Cz er a t z k i, Institut für Bodenbearbeitung,
Braunschweig-Völkenrode

Für die Einsatzlenkung der Feldberegnung ist die Kenntnis der drei Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes: Feldkapazität, Welkepunkt und nutzbare Kapazität erforderlich. Während die Feldkapazität unter Beachtung der für sie geltenden Grenzbedingungen mit Hilfe der gravimetrischen Methode verhältnis-

FK und WP aus 84 Heideböden, 1965

		Feldkap.	Welkepunkt	nutzb. Kap.			
I)	FK	B =	—	0,673	0,961		
		r =	—	0,820		0,980	
		y =	—	0,224 x + 0,204		0,774 x — 0,171	
	Krume	WP	B =	0,673	—	0,477	
			r =	0,820	—	0,691	
			y =	3,006 x + 4,224	—	1,200 x + 4,248	
		Gehalt <60 µ	B =	0,637	0,227	0,710	
			r =	0,798	0,477	0,843	
			y =	0,191 x + 9,031	0,031 x + 2,575	0,159 x + 6,472	
		Gehalt % C	B =	0,229	0,590	0,115	
			r =	0,479	0,768	0,340	
			y =	3,04 x + 10,586	1,332 x + 1,678	1,704 x + 8,915	
II)	FK	B =	—	0,622	0,969		
		r =	—	0,789		0,985	
		y =	—	0,172 x + 0,187		0,824 x — 0,113	
	Unter- grund	WP	B =	0,622	—	0,456	
			r =	0,789	—	0,675	
			y =	3,617 x + 3,406	—	2,590 x + 3,487	
		Gehalt <60 µ	B =	0,858	0,487	0,843	
			r =	0,927	0,698	0,918	
			y =	0,195 x + 5,629	0,032 x + 1,196	0,161 x + 4,494	
	III)	FK	B =	—	0,703	0,961	
			r =	—	0,839		0,980
			y =	—	0,229 x — 0,156		0,766 x + 0,222
Gesamt		WP	B =	0,703	—	0,513	
			r =	0,839	—	0,716	
			y =	3,062 x + 4,282	—	2,045 x + 4,341	
		Gehalt <60 µ	B =	0,666	0,268	0,735	
			r =	0,816	0,517	0,857	
			y =	0,201 x + 7,105	0,035 x + 1,794	0,165 x + 5,352	

mäßig einfach in situ bestimmt werden kann, sind zur Feststellung des Welkepunktes Labormethoden erforderlich. Ihre Anwendung bringt bei größeren Beregnungsgebieten Schwierigkeiten mit sich, da die erforderlichen Laboratoriumseinrichtungen meist nicht vorhanden sind.

Deshalb wurde auf Anregung des Ausschusses für Feldberegnung bei der DLG die Frage untersucht, ob Welkepunkt und nutzbare Kapazität aus der Feldkapazität mit Hilfe einer Regressionsgleichung bestimmt werden können. Für diese Untersuchungen wurden 84 sandige und schwach lehmige Böden im Beregnungsgebiet der Lüneburger Heide herangezogen.

Die Feldkapazität wurde in situ unter Beachtung der für sie geltenden Untersuchungsbedingungen getrennt für Krume und Untergrund ermittelt, der Welkepunkt durch Entwässern des Bodens bei 15 at, die nutzbare Kapazität als Differenz von Feldkapazität und Welkepunkt. Neben diesen Werten wurden der Humusgehalt und der Gehalt an Bodenteilchen $<60 \mu\text{m}$ bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden mit Hilfe der Korrelations- und Regressionsanalyse ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in der vorhergehenden Tabelle enthalten.

Hieraus ergibt sich:

1. Die Korrelation zwischen Feldkapazität und nutzbarer Kapazität ist mit $r = +0,980$ sehr straff, so daß die Bestimmung der nutzbaren Kapazität aus der Feldkapazität mit Hilfe der angegebenen Regressionsgleichung möglich ist.
2. Die Beziehung zwischen Feldkapazität und Welkepunkt ist mit $r = +0,839$ weniger straff, jedoch für die Anwendung der angegebenen Regressionsgleichung noch ausreichend.
3. Die Korrelation zwischen den drei Kennwerten und dem Teilchengehalt $<60 \mu\text{m}$ sowie dem Kohlenstoffgehalt ist von unterschiedlicher Straffheit. Bei Feldkapazität dominiert der Gehalt $<60 \mu\text{m}$, bei Welkepunkt der C-Gehalt.
4. Aus den Regressionskoeffizienten ergibt sich, daß 1% Kohlenstoff die Feldkapazität um 3,0, den Welkepunkt um 1,3 und die nutzbare Kapazität um 1,7 Gew.-% Wasser beeinflusst; daß 10% Teilchen $<60 \mu\text{m}$ die Feldkapazität um 2,0, den Welkepunkt um 0,3 und die nutzbare Kapazität um 1,7 Gew.-% Wasser beeinflussen; daß 1% Kohlenstoff ungefähr denselben Einfluß auf die Bodenkenwerte hat wie 10% Teilchen $<60 \mu\text{m}$.

Ergebnisse von Tensiometermessungen

Von Professor Dr. K. H. Hartge, Institut für Bodenkunde der TH Hannover

In der Zeit von März bis Oktober 1965 wurden auf dem Gelände des Instituts für Bodenkunde der TH Hannover Untersuchungen mit Tensiothern ausgeführt, deren Ergebnisse im folgenden beschrieben werden sollen.

Material und Methoden

Die Messungen wurden mit zwei Tensiothern (Modell Moisture-Equipment-Calif. USA) durchgeführt, die in etwa 10 cm Abstand voneinander so im Boden eingebaut waren, daß die Zellen 15 und 30 cm tief unter der Bodenoberfläche standen. Die Ablesungen wurden außer Sonnabend und Sonntag zweimal täglich (7.30 und 16.30 Uhr) durchgeführt. Der Sandboden, auf dem die Messungen durchgeführt wurden, enthielt 8% Anteile $< 2 \mu$, 4% organische Substanz, hatte ein pH von 6,4 und war mit einem regelmäßig auf 5—6 cm Höhe geschnittenen Rasen bestanden.

Nach Beendigung der Tensiometerablesungen wurden die Wasserspannungskurven in 15 und 30 cm Tiefe nach RICHARDS (1949), die Wasserleitfähigkeit im wassergesättigten Zustand mit einem früher beschriebenen Gerät (HARTGE, 1966), die Korngrößenverteilung (LÜTTMER und JUNG, 1955, abgewandelt), der Anteil an organischer Substanz (nasse Verbrennung) und der pH-Wert bestimmt.

Ergebnisse

a) Allgemeiner Verlauf

Abb. 1 zeigt den Verlauf der Wasserspannungen während der Meßzeit. Es ist zu erkennen, daß über die ganze Zeit Anstieg und Abfall der Wasserspannung abwechseln. Die dabei erreichten Maxima der Wasserspannung sind in den Sommermonaten höher als im Frühjahr und im Herbst. Die Minimalwerte unterschreiten sehr selten 20 cm WS. Die Abbildung läßt auch erkennen, daß der Verlauf der Wasserspannung in 15 und 30 cm Tiefe hinsichtlich der bisher genannten Eigenschaften gleich ist. Der einzige Unterschied liegt in der stets viel geringeren Höhe der Wasserspannungsmaxima in 30 cm Tiefe.

Die geringe Speicherfähigkeit des Versuchsbodens für Wasser zeigt sich darin, daß die überwiegende Mehrzahl aller Niederschlagsfälle die Wasserspannung bis in 30 cm Tiefe stets bis auf etwa 20—25 cm WS absenkte.

b) Das Absinken der Wasserspannung

Starkes Absinken der Wasserspannung erfolgt nur infolge Zufuhr großer Wassermengen, im vorliegenden Falle, da der Rasen nicht künstlich bewässert wurde, ausschließlich durch Regen. Der Verlauf der Wasserspannungen nach einem Re-

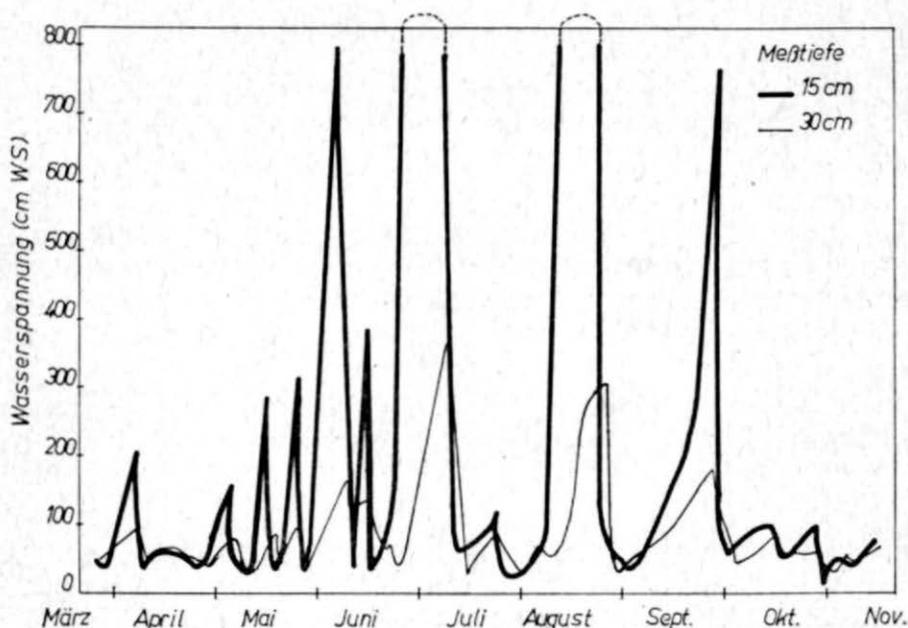


Abb. 1: Verlauf der Tensiometerablesungen, Sandboden 1965 (vereinfacht)

gen ist in Abb. 2 dargestellt. Infolge des in den Morgenstunden des 25. 5. gefallen Regens sinkt die Wasserspannung in 15 cm Tiefe ziemlich schnell und tief, in 30 cm Tiefe setzt der Abfall später ein, er verläuft langsamer und endet bei einer höheren Wasserspannung als in 15 cm Tiefe.

Dieser sehr typische Verlauf der Wasserspannungen zeigt, daß das Regenwasser ähnlich einer Welle durch den Boden sickert, die beim Eindringen immer

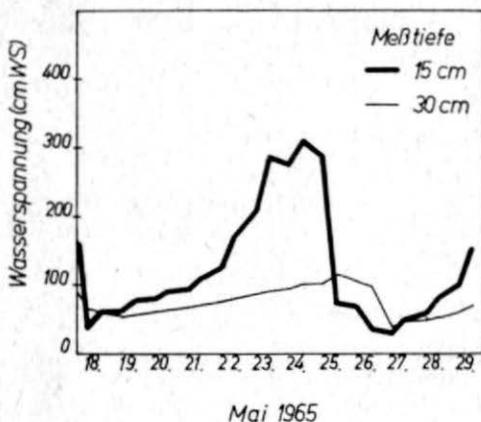


Abb. 2:
Verzögerung des Absinkens der Wasserspannung durch Verlängerung der Infiltrationsstrecke

flacher und breiter wird. Die Ursache für das Breiterwerden sind die verschiedenen großen Poren im Boden, in denen verschieden große Fließgeschwindigkeiten auftreten. Die Ursache für die Verzögerung der Druckfortpflanzung liegt darin, daß hierfür in ungesättigtem Boden ein Wassertransport notwendig ist. Wäre der Boden gesättigt, so würde die Druckfortpflanzung bei weiterer Wasserzufuhr keine Verzögerung zeigen, da dann kein Wassertransport notwendig wäre (HARTGE, 1963).

Neben diesem Absinken der Wasserspannung infolge von Niederschlägen wurde noch eine andere Form des Absinkens beobachtet, sobald die Wasserspannung dieses Bodens ~ 250 cm WS überschritten hatte. Dieses Absinken trat nachts, d. h. zwischen der Abend- und Morgenablesung, auf. Abb. 3 zeigt je ein Beispiel hierfür aus 15 cm (links) bzw. 30 cm Tiefe (rechts). Im linken Beispiel ist die

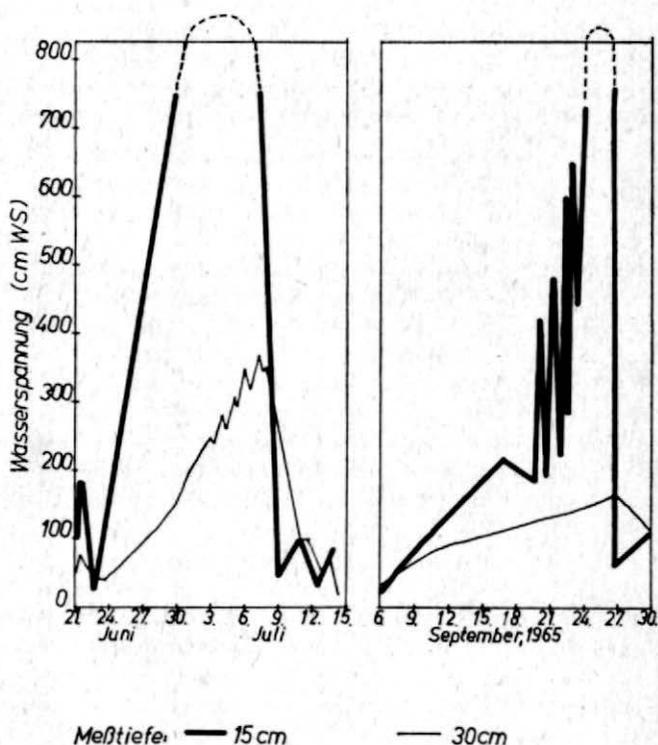


Abb. 3:
Einfluß der Kondensation
auf den Verlauf der
Wasserspannung

Veränderung in 15 cm Tiefe nicht feststellbar, da die Wasserspannung dort den Meßbereich der Tensiometer übersteigt. Im rechten Beispiel sind die stärksten in 15 cm Tiefe beobachteten nächtlichen Absinkbewegungen dargestellt. In 30 cm Tiefe zeigten sich dabei, wie die Abbildung erkennen läßt, keine Veränderungen. Nächtliches Absinken der Wasserspannung wurde während der Meßperiode in 15 cm Tiefe 25mal, in 30 cm Tiefe siebenmal beobachtet. Da der Betrag, um den die Wasserspannung bei einer gegebenen Wasserzufuhr absinkt, von der An-

fangshöhe der Wasserspannung abhängig ist, ist diese Größe für sich allein nicht sehr aufschlußreich. Daher wurden die für ein solches Absinken für die Bodenschicht von 15—30 cm Tiefe benötigten Wassermengen mit Hilfe der Wasserspannungskurven errechnet. Es zeigte sich dabei, daß die Wassergehaltszunahme der genannten Schicht meist ($\sim 70\%$ der Fälle) unter 0,5 mm je Nacht lag. In je vier Fällen (je 15%) betrug die Wassergehaltszunahme 0,7—0,9 mm bzw. 1,2—1,7 mm.

Es war auffallend, daß die stärksten Wassergehaltszunahmen im Herbst erfolgten, und zwar in Nächten mit extrem starkem Tau. Vergleiche mit Messungen der Bodentemperatur eines 500 m entfernten meteorologischen Meßfeldes zeigten keinen Zusammenhang zwischen Temperaturabnahmen während der Nacht und der Wassergehaltsänderung. Ebenso wenig war ein Zusammenhang mit der Höhe der Wasserspannung am vorhergehenden Abend feststellbar. D. h. die Koeffizienten dieser beiden Korrelationen waren nicht signifikant von Null verschieden. Nur mit der Zeit innerhalb der Meßdauer ergab sich eine schwache aber sichere Korrelation ($r = 0,61^{**}$) derart, daß die nächtlichen Wassergehaltszunahmen von Ende März bis Ende September in der Regel zunahmen.

Die Ursachen für diese Beobachtungen sind nicht ganz klar. Zunächst ist natürlich die Möglichkeit eines Meßfehlers nicht ganz auszuschließen. Ein solcher Fehler kann aber kaum durch den Temperatureinfluß auf die Tensiometer selbst zustande kommen, denn dann müßte das beobachtete Absinken der Wasserspannung bei beiden Geräten gleichzeitig auftreten, was nie beobachtet wurde. Außerdem müßte dann ein Zusammenhang mit der Anfangswasserspannung bestehen, da kleine Wassermengen, die durch einen systematischen Fehler in oder an das Tensiometer gelangen, einen um so stärkeren Abfall der Wasserspannung erzeugen müßten, je trockener der umgebende Boden war. Ein Zusammenhang zwischen Wasserspannung und Ausmaß des nächtlichen Abfalles konnte jedoch, wie beschrieben, nicht festgestellt werden. Das Fehlen dieses Zusammenhanges zeigt auch, daß Wasserspannungsausgleich durch kapillaren Aufstieg nicht die auslösende Ursache sein kann. Ein solches Nachfließen müßte außerdem jede Nacht auftreten.

Über ähnliche Beobachtungen, nämlich z. B. Auftreten von Tau ohne entsprechende Gewichtszunahmen des Lysimeters, berichtet ASLYNG (1965) und erklärt diesen Vorgang durch Destillation aus dem Unterboden. Für eine Destillation im beobachteten Ausmaß sind jedoch die in der Bodenluft enthaltenen bzw. durch Diffusion heranführbaren Wassermengen zu klein (HOFFMANN, 1955). Trotzdem berichten z. B. MARSHALL (1959) (zusammenfassende Darstellung) und CARY (1965) über Versuche, die zeigen, daß der Wassertransport in porösen Medien wie Böden oft ein Vielfaches von dem durch Diffusion allein erklärbaren Ausmaß erreichen kann. Als Ursache für diesen verstärkten Wassertransport wird die verschiedene Wärmeleitfähigkeit der festen, flüssigen und gasförmigen Bodenkomponente mit den dadurch hervorgerufenen Temperaturgradienten genannt und das Vorkommen verschieden geformter Menisken im Boden mit den dadurch bedingten Dampfdruckunterschieden.

Man kann daher unter den gegebenen Umständen wohl annehmen, daß das nächtliche Abfallen der Wasserspannung tatsächlich eine Folge von Wasser-

gehaltsänderungen im Boden ist, die durch dampfförmige Wasserbewegung verursacht wird.

c) Das Ansteigen der Wasserspannung

In der oberen Bodenschicht steigt die Wasserspannung, wie Abb. 1 zeigte, schneller und höher an als in der unteren. Dabei tritt im untersuchten Boden eine große Regelmäßigkeit der Verhältnisse zwischen den Wasserspannungen in 15 und 30 cm Tiefe auf. Der Zusammenhang ist durch einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,896$ gekennzeichnet. Das bedeutet, daß in diesem Boden zu jedem Wassersättigungsgrad ein typisches Wasserspannungsgefälle gehört. Dazu kommt noch, daß auch zwischen dem Betrag, um den die Wasserspannung z. B. im Laufe eines Tages (7.30 und 16.30 Uhr) ansteigt, und der Wasserspannung zu Tagesbeginn ebenfalls ein sehr enger Zusammenhang besteht ($r_{15 \text{ cm}} = 0,953$, $r_{30 \text{ cm}} = 0,999$).

Diese Ergebnisse zeigen, daß bei dem untersuchten Sandboden zwar die Anstiegshöhe jahreszeit- und damit witterungsbedingt ist (vgl. Abb. 1), nicht aber die Anstiegsrate. Diese letzte ist somit allein durch die Bodeneigenschaften bedingt, vor allem also von der Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Zustand und der zur Verfügung stehenden Wassermenge.

Zusammenfassung

Messung der Wasserspannung an einem Sandboden in 15 und 30 cm Tiefe von März bis Oktober erbrachte folgende Ergebnisse:

1. Die durch Niederschläge verursachte Wasserdruckwelle wird im nicht mit Wasser gesättigten Boden mit einer Verzögerung fortgepflanzt. Sie wird dabei flacher und breiter.
2. Nachts sinkt gelegentlich die Wasserspannung in 15 cm Tiefe, wenn sie abends >250 cm betrug. Dieses deutet auf Wassergehaltszunahmen der Schicht von 15—30 cm hin, die meistens $<0,5$ mm WS/Nacht betragen. Als Ursache dafür wird Wasserdampftransport angenommen.
3. Der Anstieg der Wasserspannung infolge der Evapotranspiration und/oder Versickerung ist hinsichtlich der Endhöhe jahreszeit-, d. h. witterungsbedingt. Hinsichtlich seiner Geschwindigkeit ist er überwiegend bodenbedingt und damit abhängig von der Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Boden und dem Wasservorrat.

Literatur

- Aslyng, H. C.: Acta Agric. Scand. **15**, 1965, 275—283.
Cary, W. J.: Soil Sci. **100**, 1965, 168—175.
Hartge, K. H.: Z. Kulturtechnik **4**, 1963, 115—123.
—: Z. Kulturtechnik u. Flurber. 1966.
Hoffmann, G.: Ber. Dtsch. Wetterd. **3**, 1955, 18/1—45.
Lüttmer, J., und Jung, L.: Notizbl. Hess. Landesanst. Bodenf. **83**, 1955, 282—291.
Marshall, T. J.: Relations between water and soil. Commonw. Bureau of Soils, Harpenden England, Techn. Comm. Nr. 50, 1959.
Richards, L. A.: Soil Sci. **68**, 1949, 95—112.

Über Ergebnisse und Bedeutung der pF-Messung für die Beurteilung der Drämfähigkeit

Von Dr. P. B e n e c k e, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover

Mangelhafte Dränerfolge in den südniedersächsischen Parabraunerden aus Löß waren der Anlaß, bodenphysikalische Untersuchungen an solchen Böden vorzunehmen.

Die wesentlichsten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den folgenden Abbildungen 1—6 dargestellt.

Zunächst erfolgt in Abbildung 1 die allgemeine bodenphysikalische Kennzeichnung einer Lößparabraunerde mit gelegentlicher Übersättigung, die sich vor allem bei der Frühjahrspflanzung nachteilig auswirkt. Solche Böden treten in den niedersächsischen Lößgebieten verbreitet auf.

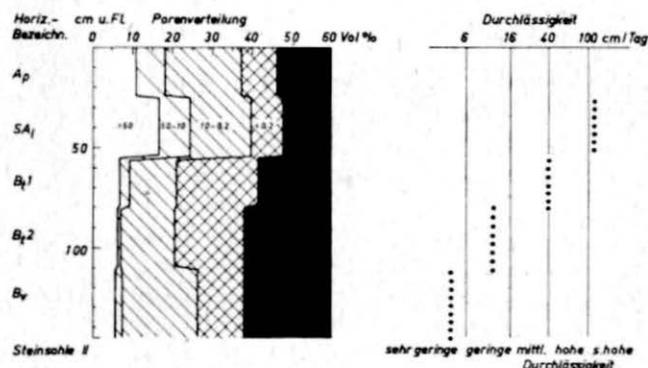


Abb. 1:
Porengrößenverteilung und Durchlässigkeit einer Parabraunerde

In den A-Horizonten — bis etwa 50 cm u. Fl. — ist eine nennenswerte, ausdauernde Aggregierung mit deutlicher Klüftung nicht zu beobachten. Die hydraulische Durchlässigkeit ist hoch (oben im rechten Bildteil).

Die Porenverteilung zeigt, daß im A₁ die Hälfte aller Poren oder >20% des Gesamtvolumens aus Grobporen >10 μ (HARTGE, 1961) bestehen.

Der B_t-Horizont dagegen zeigt ein mit deutlicher, halboffener Klüftung in prismatische und polyedrische Aggregate gegliedertes Gefüge. Die Durchlässigkeitswerte liegen bis in über 1 m Tiefe noch im mittleren Bereich. Im Vergleich zum A₁ entfällt nur noch ein geringer Anteil Grobporen, nämlich <10%, auf das Gesamtvolumen.

In Abb. 2 sind die Ganglinien der Bodenfeuchteänderungen vom 5. 6. bis 5. 7. 1965 dargestellt. Auf diese Abbildung wird später näher eingegangen. Hier soll sie zeigen, daß auch in einer Periode starker Niederschläge in dem ohnehin

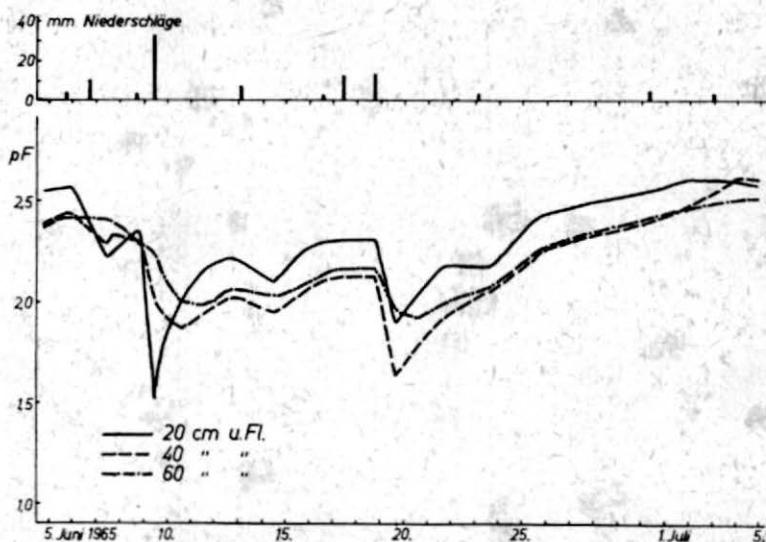


Abb. 2:
Niederschläge
und Ganglinien
der Wasserspan-
nung

niederschlagsreichen Jahr 1965 die pF-Werte um 2 schwanken und selbst nach Extremniederschlägen kaum 1,5 im A_p erreichen.

Diese Beobachtung, die sich durch zahlreiche weitere Messungen belegen läßt, ist hier wesentlich: aus ihr folgt, daß der Boden praktisch nie volle Sättigung im Bereich des Solums erreicht. Das bedeutet, daß alle Veränderungen der Bodenfeuchte – soweit sie nicht durch Verdunstung bedingt sind – durch kapillares Fließen zustande kommen. Diese Art der Wasserbewegung erfolgt bei den vorherrschenden pF-Werten in Bodenporen mit Äquivalentdurchmessern (HARTGE, 1961) von $\approx 50 \mu$ und kleiner. Alle mit dem bloßen Auge erkennbaren Hohlräume bleiben damit ohne Einfluß auf die Wasserbewegung. Dies gilt für die zahlreichen, meist groben und poröswandigen Regenwurmröhren und für die Klüftung des B_1 -Horizontes ebenso wie für eine etwaige Dränung.

Die Ursache für die Nichtfüllung der \pm spannungsfreien Boden Hohlräume mit Niederschlagswasser liegt im Verhältnis Niederschlagshöhe : Speicherkapazität. Geht man von der durchschnittlich im Herbst angetroffenen Bodenfeuchte aus, so würden die gesamten durchschnittlichen Winterniederschläge in Höhe von rund 300 mm nicht ausreichen, um den Boden – auf 1 m Tiefe bezogen – bis zur vollen Sättigung aufzufüllen. Da aber auch während des Winters durch kapillares Fließen Niederschlagswasser in den Untergrund abzieht, dessen Höhe lt. vorliegender Messungen mit etwa 100 mm veranschlagt werden kann, wäre der tatsächliche Bedarf an Niederschlägen zur Erreichung des Sättigungszustandes noch beträchtlich höher. Tatsächlich lassen eigene Beobachtungen erkennen, daß mit Verringerung der kapillaren Leitfähigkeit der Sättigungspunkt annähernd erreicht wird.

Um die Bedingungen, denen Niederschlagswasser bei der Infiltration in einen ungesättigten Boden unterliegt, übersichtlich zu veranschaulichen, sind die beiden folgenden Abb. 3 und 4 eingefügt. Sie zeigen im Modell die Infiltration ohne und mit Grundwasser.

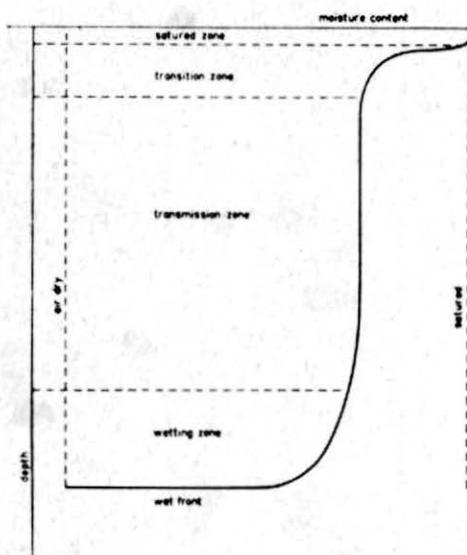


Abb. 3:
Wasserinfiltration in einen ursprünglich trockenen Boden.
Säulenversuch nach BODMAN und COLEMAN

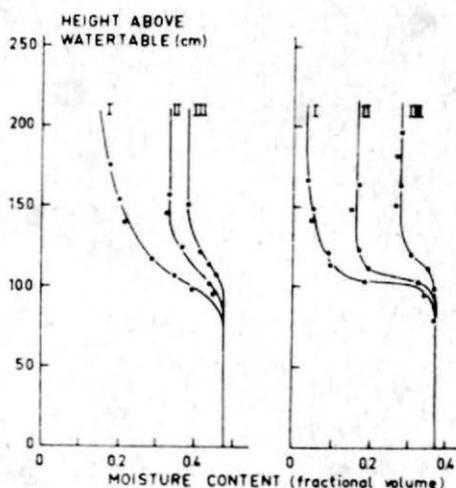


Abb. 4:
Wasserinfiltration in einen Boden mit „Grundwasser“ (nach YOUNGS)

Läßt man (Abb. 3) überschüssiges Wasser in einen trockenen Boden infiltrieren, so wird (nach BODMAN und COLEMAN, 1943) nur in den oberen 2—3 cm etwa volle Sättigung erreicht, während darunter eine rasche Abnahme des Wassergehaltes stattfindet. BAVER (1965) führt dazu aus, daß — unabhängig von der Tiefe der Befeuchtung — sich ein Mittelwert zwischen voller Wassersättigung und „Wasserkapazität“ einstellt, der nirgends mehr überschritten wird.

Wählt man die Bedingungen so, daß es zur Entstehung eines konstanten „Grundwassers“ kommt, so ergeben sich nach YOUNGS (1957) die durch die Lage der Äste (Abb. 4) gekennzeichneten Feuchteverteilungen. Der linke Ast entspricht der „Feldkapazität“, also einem Gleichgewicht ohne Strömungsvorgänge. Werden konstante Infiltrationsraten verschiedener Höhe zugeführt, so ergeben sich nach Erreichen des jeweiligen stationären Strömungszustandes die durch die Lage der beiden übrigen Äste bezeichneten Feuchteverteilungen.

Diese Bilder geben modellartig die Situation in den Parabraunerden recht gut wieder: die Niederschläge können eine zeitweilige Übernässung der obersten Bodenschichten hervorrufen, und sie ist der Grund für das Bedürfnis nach Dränung. Hierbei werden durch die Verschlammungsneigung des schluffigen, strukturschwachen Oberbodens die Erscheinungen noch wesentlich verschlimmert. Die Niederschläge reichen jedoch nicht aus, eine volle Sättigung hervorzurufen. Da mangels Aggregation und infolge hoher kapillarer Leitfähigkeit auch kein Kluftwasser im A₁ entstehen kann, ist kein Zustand denkbar, in dem Wasser in seinen spannungsfreien Hohlräumen auftreten könnte.

Daß dies der Fall ist, geht auch aus Bodenfeuchtemessungen während Vernässungsphasen hervor. Ergebnisse solcher Messungen sind außer in Abb. 2 in der folgenden Abb. 5 dargestellt.

Es handelt sich um eine zeitgleiche Feuchtemessung in drei Parabraunerden unterschiedlichen Vernässungsgrades. Selbst im deutlich pseudovergleyten Profil 223 betragen die pF-Werte zwischen 1,7 und 2.

Aus dieser Abbildung wird zugleich die Wirkung des B_t -Horizontes auf den kapillaren Wasserabzug deutlich. Eine konstante Erscheinung dieser Böden während der Naßphasen ist das ausgeprägte Feuchtemaximum im Basisbereich des A_1 . Dieses Maximum weist um so niedrigere Saugspannungswerte auf, je geringer der Grobporenanteil des B_t -Horizontes ist.

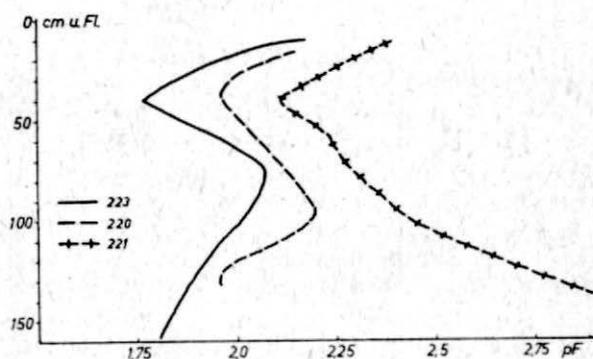


Abb. 5:
Wasserverspannungsverteilung in
Parabraunerden (Löß) unterschiedlicher
Pseudovergleyung

Die hemmende Wirkung des B_t -Horizontes auf den kapillaren Abzug des Niederschlagswassers wird ebenfalls aus den Ganglinien der Abb. 2 deutlich: Die Linie der niedrigsten Saugspannungswerte verläuft in 40 cm Tiefe, also im Basisbereich des A_1 , und nur wenn Niederschläge ausbleiben, überschreiten die pF-Werte des A_1 diejenigen des B_t .

Es wurde bereits angedeutet, daß der geringe Grobporenanteil des B_t die Ursache für sein „kapillares Stauvermögen“ sei. Dieser Zusammenhang beruht darauf, daß die kapillare Leitfähigkeit, die ebenso wie die hydraulische Leitfähigkeit dem DARCY-Gesetz folgt, bei gegebenem Saugspannungsgefälle vom zugehörigen Durchflußquerschnitt abhängig ist. Für letzteren ergibt die pF-Messung ein Maß (Abb. 6).

Die ausgezogene Linie des A_1 -Horizontes weist im pF-Bereich 0—2,5 eine wesentlich stärkere Steigung auf als der entsprechende Teil der (gestrichelten) Linie des B_t . Das bedeutet, daß an jeder Stelle dieses Bereiches im A_1 ein größerer durchfließbarer Querschnitt für kapillares Bodenwasser gegeben ist als im B_t .

Zusätzlich sind (strichpunktirt) die Summenkurven der Porengrößenanteile des B_t -Horizontes einer pseudovergleyten Parabraunerde (223) und (punktirt) diejenige des B_t einer Parabraunerde mit Schwarzerderresten (221) eingezeichnet.

Nach den vorliegenden Beobachtungen und Erfahrungen stellen diese Kurven der B_t -Horizonte Kriterien für die Vernässungsneigung der zugehörigen Parabraunerden dar, gültig für südniedersächsische Klimabedingungen und aus-

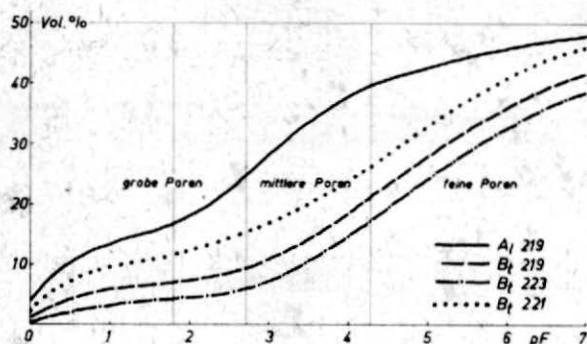


Abb. 6:
Porengrößenverteilung in A_1 - und B_t -Horizonten von LÖB-Parabraunerden

schließlich vom Niederschlagswasser gespeisten Bodenwasserhaushalten in Parabraunerden aus Löß.

Und zwar kennzeichnet die Kurve 221 eine Parabraunerde ohne irgendwelche Vernässungserscheinungen. Im Bereich der Linie 219 zeigt sich zwar noch keine Fleckung, gelegentliche Übernässung — besonders im Frühjahr — tritt jedoch auf und behindert besonders Bestellung und Bearbeitung. Der Wunsch nach Melioration des Wasserhaushaltes wird laut. Mit dem Übergang auf Linie 223 nehmen die Vernässungserscheinungen zu: Marmorierung, Plattigkeit, Reduktionsmerkmale u. ä. Das Bedürfnis nach Melioration steigt gleichsinnig.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Die physikalischen Eigenschaften der verbreitet in Südniedersachsen auftretenden Parabraunerden aus Löß verhindern unter den herrschenden Klimabedingungen die Entstehung von freiem Sickerwasser oder hydraulisch zusammenhängendem Gravitationswasser.

Dies hat zur Folge, daß kein Wasser in spannungsfreie natürliche und künstliche (Dränung) Hohlräume übertreten kann.

Das Wasser wird vielmehr durch kapillares (ungesättigtes) Fließen in den Untergrund geführt. Für diese Fließbewegung stellt der B_t -Horizont jedoch ein Hindernis dar, wodurch eine nachteilige Übernässung des A_1 hervorgerufen wird. Die abzugshemmende Wirkung des B_t nimmt zu mit abnehmendem Grobporenanteil.

Eine Melioration muß zum Ziel haben, eine möglichst hohe und gleichmäßige kapillare Leitfähigkeit herzustellen (z. B. durch Tiefumbruch, s. BENECKE [1965]). Eine Dränung kann nicht zum gewünschten Erfolg führen.

Literatur

- Hartge, K. H.: Die Erfassung der Kontinuität der groben Poren aus ihrem Anteil im Boden und dem Permeabilitätskoeffizienten. Z. Pflanzenernähr., Düng. und Bodenkunde 94, 1961, 147—154.
- Bodman, G. B., and Colman, E. A.: Moisture and energy conditions during downward entry of water into soils. Soils Sci. Soc. Amer. Proc. 8 (1943), 116—122.
- Baver: Soil Physics. 3. Edition, 1956, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chapman & Hall, Limited, London.

Youngs, E. G.: Moisture profiles during vertical infiltration. *Soil Sci.* 84, 1957, 283—290.

Wesseling: Principles of the unsaturated flow and their application to the penetration of moisture into the soil. Institute for Land and Water Management Research Technical Bulletin 23, 1961, Wageningen, The Netherlands.

Benecke, P.: Über die Wasserbewegung in Parabraunerden aus Löß. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.* 4 (1965), 163.

Vorversuche mit Multitensiometern auf einer maulwurfgedrängten Fläche

Von Dr. Heinz Borchert, Institut für Landeskultur der Universität Gießen

In Hessen werden im Zuge der Flurbereinigung in zunehmendem Maße Bodenmeliorationen durchgeführt. Das Bodengefüge wird dabei grundlegend verändert (Tiefpflug, Tieflockerung mit und ohne Kalkung oder Düngierzufuhr) oder bei extremen Bodenverhältnissen (wie zeitweilig zu großes Wasserdargebot) vorübergehend mehr oder weniger stark beeinflusst (Maulwurfdränung, Schlitzdränung, Rohrdränung). Das Institut für Landeskultur der Universität Gießen hat die Bodengefügeuntersuchungen an einigen dieser Meliorationsflächen übernommen. Seit 1962 liegen neben den Ergebnissen der üblichen bodenphysikalischen und -chemischen Untersuchungen auch mikromorphologische Gefügebeobachtungen vor.

An Hand von Bodenschliffbildern von maulwurfgedrängten Flächen war bei Böden mit regem Bodentierleben nicht nur eine über die Jahre abnehmende Auflockerung des Bodengefüges zu sehen, sondern auch ein jahreszeitliches Schwanken im Gefügebau (1, 2). Das über Winter verdichtete Bodengefüge lockerten die Bodentiere im Laufe des Jahres auf.

Um die Bodengefügeveränderungen nach der Meliorationsmaßnahme über die Jahre im allgemeinen und die jahreszeitlich durch die Tiere bedingte Gefügeveränderung im speziellen kontinuierlich beobachten zu können, schien die Anwendung von Multitensiometern recht erfolgversprechend. Auf Grund größeren Porenraumes im aufgebrochenen Boden des Lockerungsbereiches über dem Erdrön mußte hier der Wassergehalt bzw. die Wasserbindung an den Boden, mithin die Tensiometeranzeige, gegenüber dem gewachsenen Boden ohne Meliorationseingriff unterschiedlich sein.

Durch einen Vorversuch sollte die Möglichkeit für eine ganzjährige Anwendung im Jahre 1966 geprüft werden. Das Krofdorfer Versuchsfeld der Universität Gießen erschien günstig: Nahe Lage mit täglicher Ablesung, Wetterstation 60 m vom Standort, der wegen Staunässe für einen Maulwurfdränversuch geeignet war.

Der Boden ist ein Auenboden des Lahnalluviums. Der Staubschluffgehalt (Abb. 1) ist im ganzen Profil mit etwa 60% recht hoch. Der Tonanteil steigt bis 33% im Oberboden, wo er stauend wirkt, und bis 35% im Unterboden. Die Lockerung durch den Petzenkirchener Maulwurfspflug reicht bis 45 cm Tiefe. Der Anteil grober Poren (Abb. 1) liegt im gelockerten Boden in 15—20 cm Tiefe um 4,5 Vol.% und in 30—35 cm Tiefe um 12,7 Vol.% höher als im gewachsenen. Die zu vergleichenden Tensiometermessungen wurden in diesen Tiefen vorgenommen, dazu in unbeeinflusster Tiefe von 60—70 cm bzw. 75—80 cm.

Die Multitensiometer lieferte die Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (CZERATZKI). Fünf 5 cm lange Keramikzellen sind im Abstand

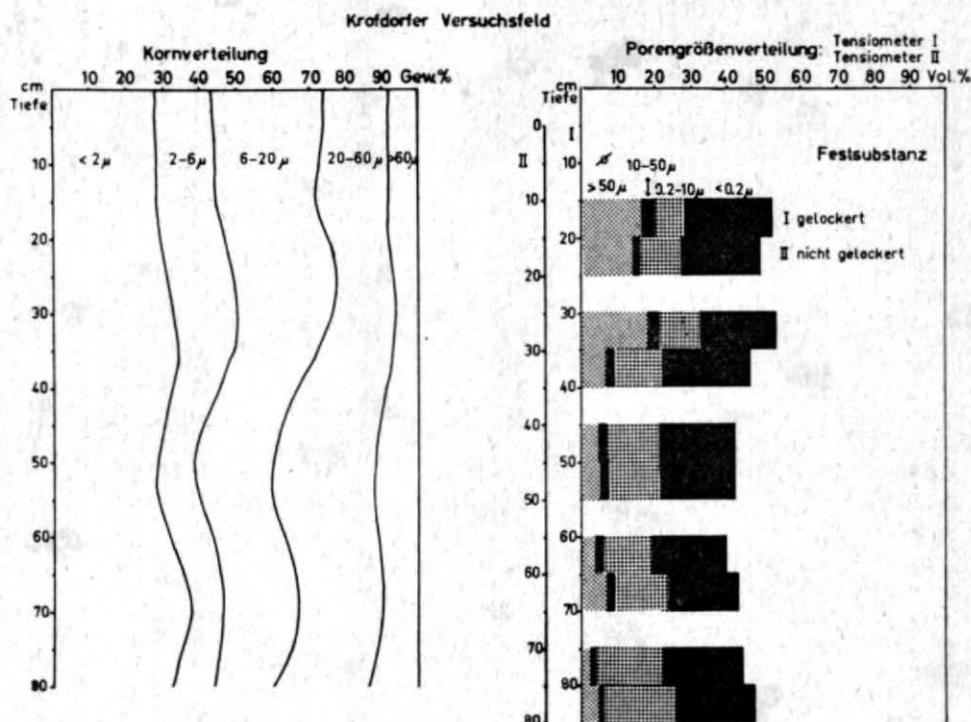


Abb. 1

von 10 cm an einem Rohr angebracht. Ein Multitensiometer stand im gelockerten Boden, ein anderes 1,50 m vom gelockerten (3 m Dränabstand) um 8 m versetzt. MT I und II sowie MT III und IV standen als Paar zusammen; die Paare waren etwa 30 m voneinander entfernt. Bereits beim Herstellen der Eichkurven der verschiedenen Bodenschichten traten Schwierigkeiten auf. Durch den relativ hohen Tonanteil verlief die Wasserbewegung nur zögernd.

Zur Orientierung sei eine Eichkurve — die von 30—40 cm Tiefe — beigelegt (Abb. 2). Die für die gravimetrische Wasserfeststellung bestimmten Bodenproben aus dem Gelände durften einerseits nicht zu nahe am Tensiometer entnommen werden, andererseits war die Tensiometerangabe schnell verändert, ohne daß der 10—20 cm entfernt liegende Boden auf Grund des hohen Tongehaltes und der dichten Lagerung einen Wassergehaltsausgleich so schnell zuließ. Da durch die vorgeschrittene Jahreszeit keine einschneidenden Klimaänderungen eintraten, wurde bei dem einen Tensiometerpaar (MT I = gelockerter Boden, MT II = ungelockerter Boden) je eine Grube neben dem MT angelegt und diese mit Wasser gefüllt, um Veränderungen der Saugspannung herbeizuführen.

Auf der Abb. 4 ist dieser Eingriff vom 25. 10. 65 am jähen Abfall der Kurven zu verfolgen. Die Abb. 4 und 5 geben die am Tensiometer abgelesenen Saug-

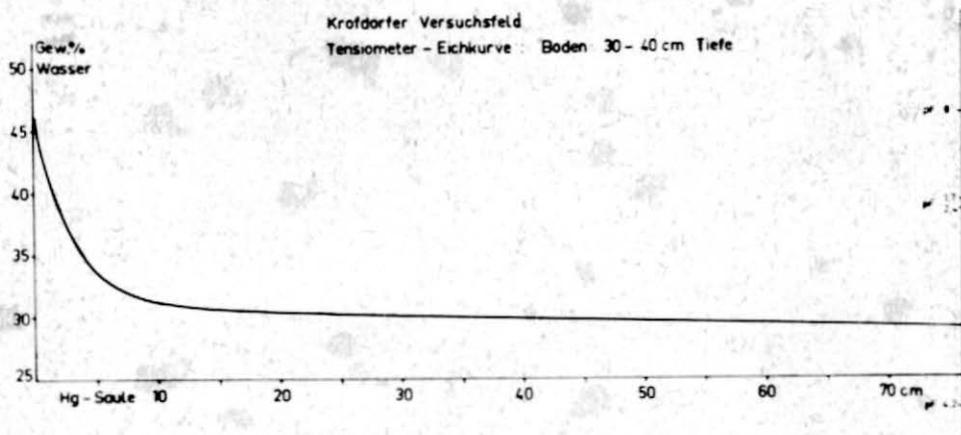


Abb. 2

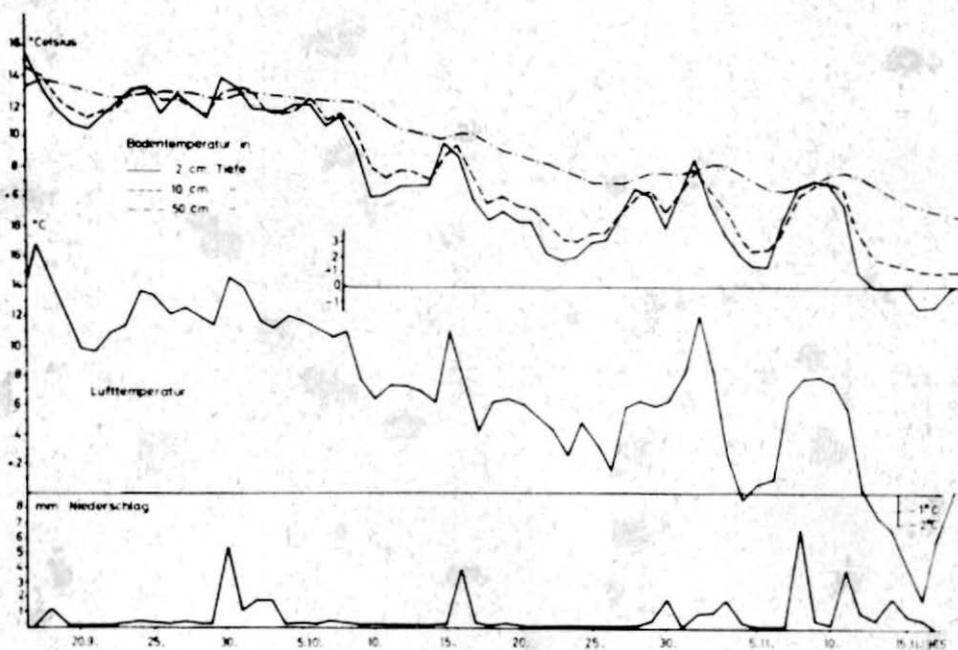


Abb. 3

spannungswerte in cm Hg-Säule wieder, dazu die entsprechenden Niederschlagsmengen.

Die am 17. 9. 65 aufgenommenen Messungen spiegeln noch die zwischen dem 12. und 15. 9. 65 gefallenen Niederschläge wider. Ebenso sind die Einflüsse der Niederschläge zwischen dem 30. 9. und 4. 10. 65, am 16. 10. 65, zwischen dem

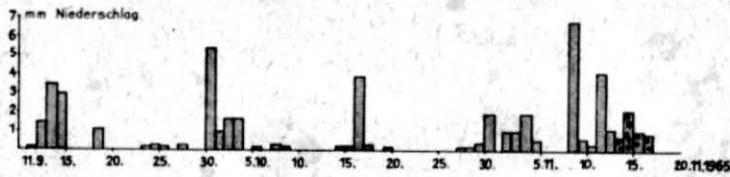
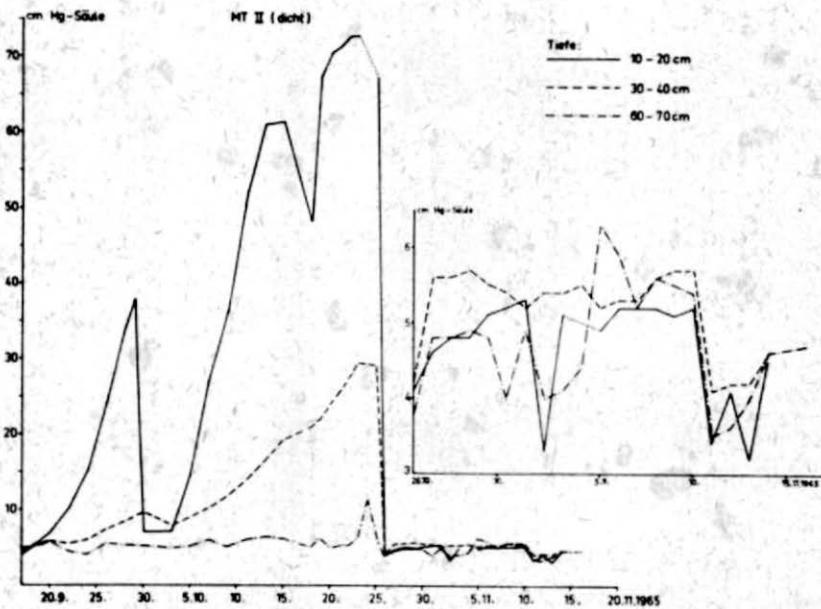
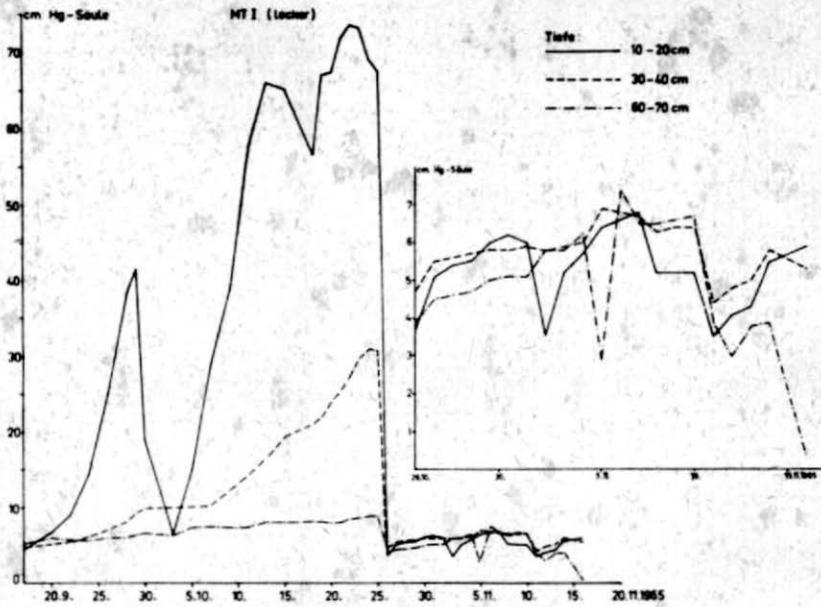


Abb. 4

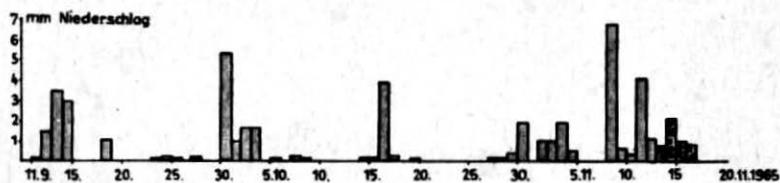
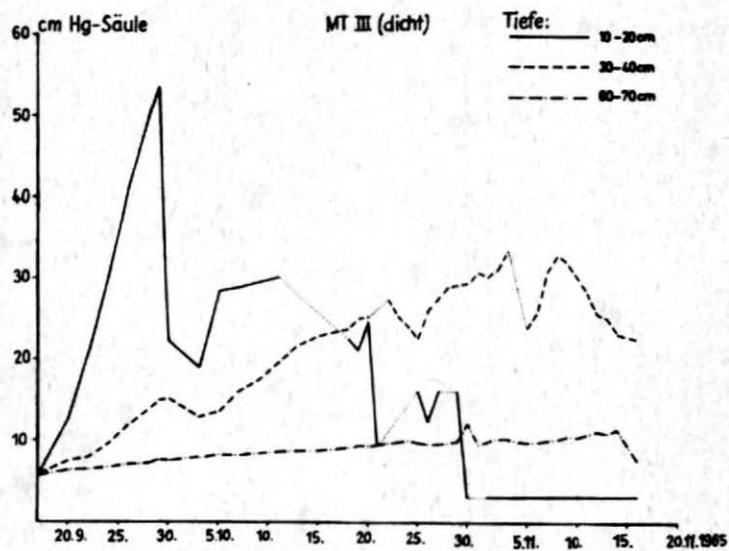
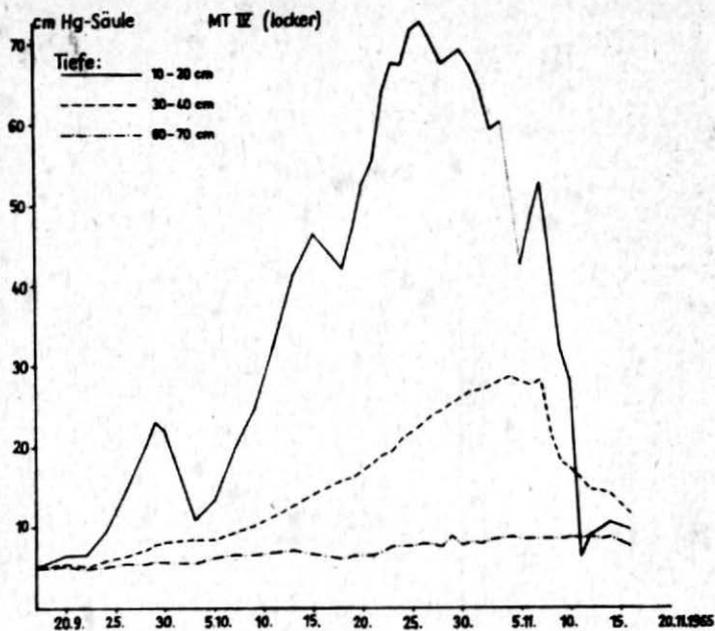


Abb. 5

30. 10. 65 und 4. 11. 65 und besonders der am 8. 11. 65 in den Tensiometer-Messungen zu erkennen. (Die schwachpunktierten Kurventeile stellen Meßausfälle dar.) Die Krummentensiozelle reagiert am empfindlichsten. Dies verwundert nicht, wenn man den geringen Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser in der Krume (z. B. bei MT I mit 9,0 Vol.%) und die Arbeitsbreite eines Tensiometers in Betracht zieht. So fand AYYILDIZ (3) bei seinen Tensiometerversuchen, daß bei „clay loam“ der Tensiometermeßbereich sich über 56—69% des pflanzenverfügbaren Wassergehaltes erstreckt, dagegen bei „clay soil“ sogar nur über 48—51%. Die Krumenzelle-Hg-Säule vom MT III riß anfangs ab und fiel schließlich, da kein Bodenschluß vorhanden war, ganz aus.

Die Meßkurven der Tensiozellen in 30—40 cm Tiefe sind ausgeglichener. Niederschläge werden trotz ihrer verhältnismäßigen Geringfügigkeit noch registriert, doch zeigen die Meßwerte der lockeren Standorte eine Tendenz höher zu liegen oder Niederschläge weniger zu registrieren.

Die Meßkurve in 60—70 cm Tiefe ist weitgehend ausgeglichen. Die Abweichung in Form der starken Abnahme der Saugspannung am MT I ist bedingt durch die auf Grund der Lockerung erhöhte Wasserspeicherung.

In der Abb. 3 sind zum Vergleich die Luft- und Bodentemperaturen dargestellt, die insofern interessant sind, da bei dem Kälteeinbruch vom 4. 11. 65 die Wasserreservoirs von drei Krummentensiozellen und einer Oberbodenzelle zerstört wurden, während bei den übrigen Zellen die Bodenwärme die Temperaturschwankung ausglich.

Um mögliche Unterschiede zwischen den Meßorten „glockert“ und „ungelockert“ deutlich herauszustellen, wurden die Meßwerte von „glockert“ in der Abb. 6 auf „ungelockert“ (gleich 0 gesetzt) bezogen. Ein eindeutiger Unterschied zwischen den beiden Standorten „glockert“ und „ungelockert“ ist nicht vorhanden, sieht man von der mehr austrocknenden Krume der glockerten Standorte ab. Allerdings ist der Standort von MT IV („glockert“) und MT III („ungelockert“) um wenige Zentimeter tiefer gelegen und dadurch wohl etwas feuchter. Hier wird die Bedeutung des Standortes und die Meßempfindlichkeit des Tensiometers wieder ersichtlich.

Obwohl die direkte Wiedergabe der abgelesenen Meßdaten fehlerfreier ist als solche von Werten, die erst auf eine ermittelte Eichkurve bezogen werden, sind in der Abb. 7 die Wassergehaltsangaben der vier Multitensiometer in 30—40 cm und 70—80 cm Tiefe wiedergegeben. Die feuchtere Lage des MT IV kommt hier noch stärker zum Ausdruck. Allerdings läßt sich auch hier beim Standort „glockert“ die Tendenz gut verfolgen, auf Wasserzufuhr schneller zu reagieren, um dann aber auf einen geringeren Wassergehalt als im „ungelockerten“ zu fallen.

Zusammenfassend ergab der Vorversuch, bedingt durch die Kürze und die relativ ungünstig gelegene Beobachtungszeit, keine eindeutigen Meßunterschiede zwischen Tensiometern in glockerten und ungelockerten Böden. Wohl zeichnete sich die Tendenz ab, daß der glockerte Boden Wasser schneller fester an sich band als nicht glockertes, d. h. Mangel an pflanzenverfügbarem Wasser tritt im glockerten Boden eher auf. Ein Untersuchungsstandort mit geringerem Tongehalt und tiefergehender Lockerung dürfte günstigere Untersuchungsbedingungen bieten.

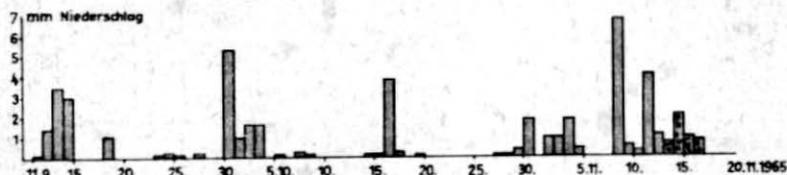
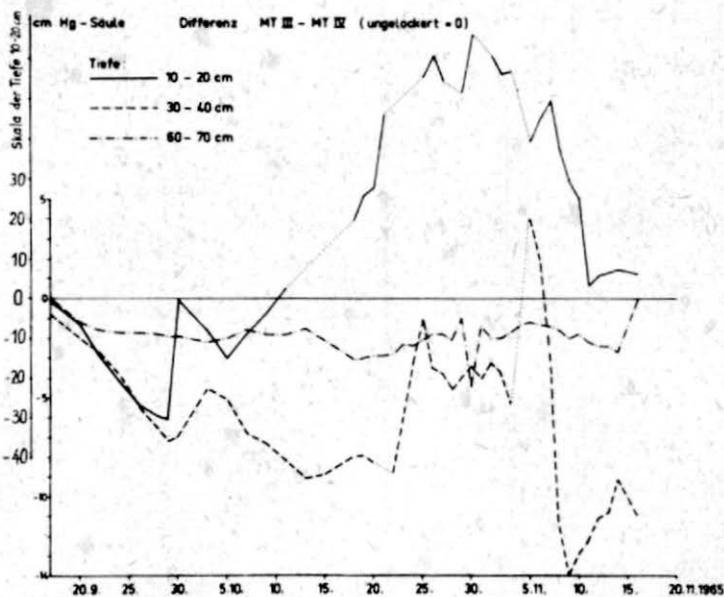
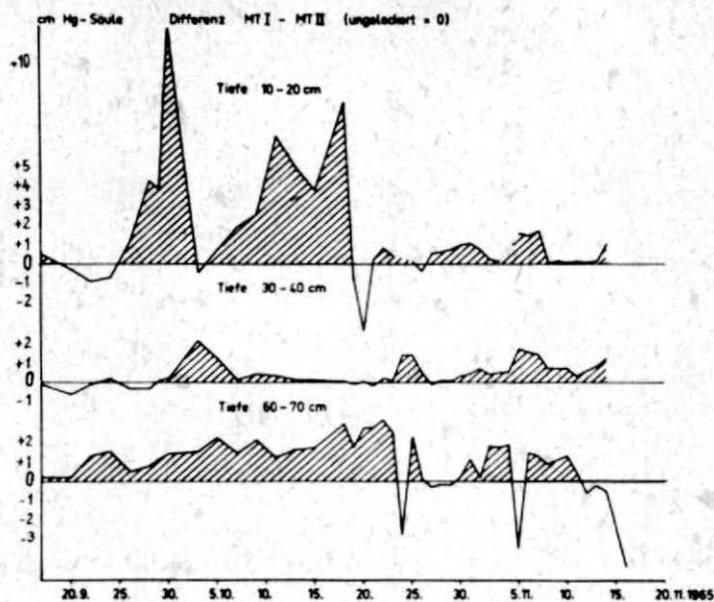
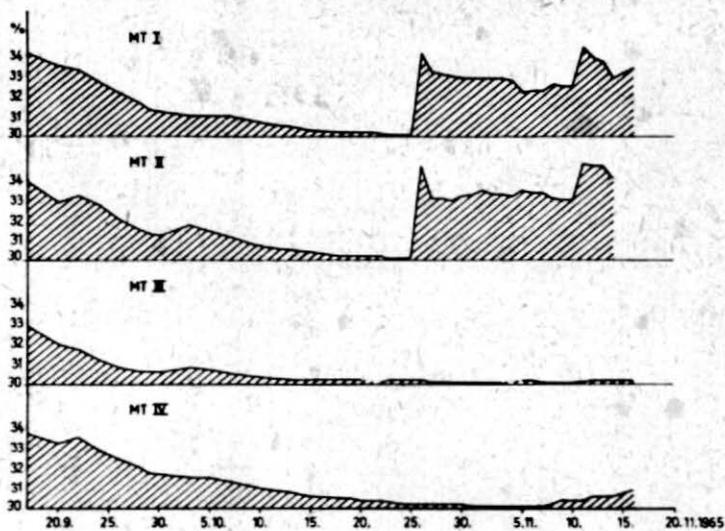
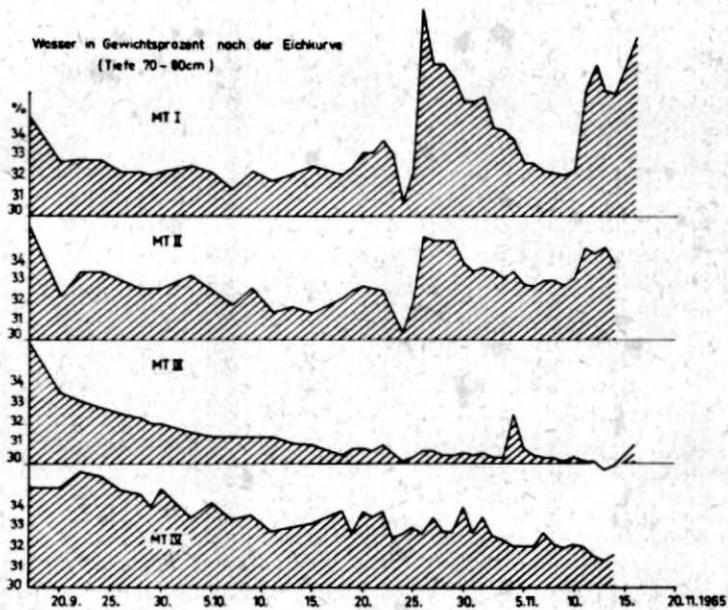


Abb. 6

Wasser in Gewichtsprozent nach der Eichkurve
(Tiefe 30-40cm)



Wasser in Gewichtsprozent nach der Eichkurve
(Tiefe 70-80cm)



7 mm Niederschlag

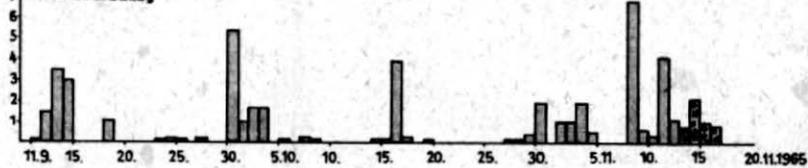


Abb. 7

Literatur

1. Borchert, H.: Mikromorphologische Beobachtungen an meliorierten Böden. A. Jongerius (Editor) SOIL MICROMORPHOLOGY, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1964.
2. —: Erfahrungen mit der Maulwurfdränung. Wissenschaftl. Zeitschrift der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe 14, 1965.
3. Ayyıldız, M.: Sulama Zamaninin Yerli Yapi Tansiyometrelerle Tayini Üzerinde Bir Arastırma. (Versuch einer Bewässerungszeitbestimmung mit Hilfe von türkischen Tensiometern.) Üniversitesi Ziraat, Fakültesi Kültürteknik Kürsüsü Asistanı, Ankara 1964.

VIII. Diskussion

Leitung: Prof. Dr. Schaffner

WOLKEWITZ: Sie hatten in Ihrem Referat eine gute Korrelation gefunden zwischen dem Welkepunkt und der Feldkapazität; trifft das auch auf tonreiche Böden zu oder ist das unabhängig von der Korngröße?

CZERATZKI: Ich möchte ausdrücklich diese Untersuchung auf die angegebenen Bodenarten bezogen haben, nämlich sandige und schwach lehmige Böden. Bei tonreicheren Böden werden sich wahrscheinlich nicht diese guten Korrelationen ergeben, weil in zunehmendem Maße Struktur-Einflüsse eine Rolle spielen werden.

BLUME: Haben Sie für die Korrelation zwischen Wasserkapazität und Bodenart die richtige Korngrößenfraktion gewählt? Ich halte für denkbar, daß ihre Fraktion mit 63μ zu groß ist. Wir haben an rund 500 Bodenhorizonten verschiedenster Körnungen eine brauchbare Korrelation zwischen der Wasserkapazität und der Korngröße $<10 \mu$ festgestellt.

CZERATZKI: Die Proben sind aufgehoben, so daß die Grenze auch bei 10μ gelegt werden kann.

KUNTZE: Ich möchte zu diesem letzten Problem gleich die Frage aufwerfen, ob nicht der mengenmäßige Anteil einer Fraktion auch hier zu berücksichtigen wäre.

Mir ist nicht ganz klar geworden, welcher Bereich der organischen Substanz erfaßt wurde. Ich könnte mir denken, daß die Korrelation zwischen Feldkapazität und Kohlenstoffgehalt mit Zunahme der organischen Substanz besser wird, als das bei den jetzt dargestellten Bodengruppen der Fall ist.

CZERATZKI: Das ist durchaus möglich. Die Beziehung zwischen Kohlenstoffgehalt und Feldkapazität wurde besser, wenn die Einflußgröße — Tongehalt — ausgeschaltet wurde.

SCHENDEL: Bezieht sich das Bild der Tensiometer, das Sie gezeigt haben, auf Einzelmessungen oder auf Wiederholungen? Meine Untersuchungen in Südafrika haben gezeigt, daß die Einzelwerte der verschiedenen Tensiometer unterschiedlich sind.

Ab welchem Saugspannungsbereich werden die Messungen ungenau, d. h. wann tritt Luft in die Tensiozellen ein?

HARTGE: Ich habe je ein Tensiometer in 15 und in 30 cm Tiefe verwendet. Wenn man mehrere Tensiometer nebeneinander hat, geben sie verschiedene Werte. Die Streuungen liegen bei dem untersuchten Boden in folgenden Bereichen: <200 cm WS ± 30 cm, 500 bis 700 cm WS ± 150 cm. Das sind natürlich sehr große Streuungen; sie sind aber nur zu einem geringen Teil dem Gerät anzulasten, sondern größtenteils Unterschieden im Boden. In sandreichem Boden, bei dem die Wasserleitfähigkeit in ungesättigtem Zustand sehr gering ist, können in geringem Abstand sehr unterschiedliche Wasserspannungen auftreten, die sehr kleinen Unterschieden im Wassergehalt parallel laufen. Außerdem bin ich von der Auffassung ausgegangen, daß man für solche Aussagen entweder einen Anstieg mit vielen Tensioometern oder aber viele Anstiege mit einem Tensiometer beobachten kann.

Bei den Geräten, die wir verwendeten (von der Moisture Equipment Corporation in Kalifornien) tritt Luft ein bei etwa 750 cm WS. Wenn erst einmal die Luft eindringt, dann geht auch bei weiterem Absinken der Wasserspannung der Lufteintritt weiter bis knapp unter 700 cm WS.

BENECKE: Wir haben Tensiometer-Messungen in verschiedenen Tiefen jeweils mit Parallelen durchgeführt. Eigentlich eine von mir selbst nicht erwartete gute Übereinstimmung der Werte in den niederen Saugspannungsbereichen gefunden.

Herr Prof. Hartge hat die vollständige PF-Kurve dargestellt, in der zwischen die hydraulische Leitfähigkeit bis zur kapillaren Leitfähigkeit bei 40 cm WS interpoliert wurde. Es stellt sich die Frage, ob der Anfangswert richtig ist. Das möchte ich einkleiden in die Frage nach dem Gefüge dieses Bodens. Wenn Sie ein homogenes, isotropes, mit anderen Worten ein ideales Gemenge annehmen, ist das sicher richtig; sonst würde ich Bedenken anmelden!

VAN EIMERN: Haben Sie gleichzeitig Temperaturmessungen gemacht bzw. bei welchem Temperaturgefälle im Boden treten diese Destillationserscheinungen auf. Das muß doch eine Rolle spielen!

HEBESTREIT: Welche Vorkehrungen gegen störende Temperatureinflüsse im Manometerteil des Tensiometers haben Sie angewendet? Hier verbirgt sich doch ein Teil der experimentellen Schwierigkeiten, mit denen wir zu kämpfen haben.

DE BOODT: Im Herbst haben wir erhebliche Schwankungen beobachtet. Was haben Sie unternommen, um sicher zu sein, daß diese Schwankungen Tensionsschwankungen sind und nicht durch Einflüsse der Temperatur zustande kommen?

HARTGE: Zunächst zu der Frage von Herrn Benecke:

Es handelt sich tatsächlich um eine Interpolation zwischen dem Wert von K im gesättigten Boden und zum Anschlußpunkt bei etwa 40 cm Wassersäule. Daß dazwischen nicht immer eine Gerade liegt, das weiß ich wohl; das hängt mit der Porengrößen-Verteilung des Bodens zusammen. Wir haben aber in dem Bereich keine Meßpunkte. Ich will also alles offen lassen.

Zu der anderen Frage: Ich weiß nicht, wie hoch die Temperaturen waren.

Zu den Fragen von den Herren Hebestreit und De Boodt: In dem dritten Bild war zu erkennen, daß die starken Schwankungen zwar in 15 cm Tiefe auftraten, nicht aber in dem darunterliegenden Tensiometer in 30 cm Tiefe (zur gleichen Zeit!). Da nun die Geräte mit ihrem größten Teil oben in der Luft sind, d. h. also mit dem größten Teil des den Temperaturwechseln der Luft ausgesetzten Gerätekörpers den gleichen Bedingungen unterlagen, glaube ich annehmen zu müssen, daß dann das, was nur das eine Tensiometer sagt — das andere aber nicht — nicht der Einfluß der Lufttemperatur sein kann.

SCHAFFER: Die „Zacken“ in der grafischen Darstellung der Tensiometermeßergebnisse erklärt Herr Prof. Hartge mit Destillationsvorgängen. Wäre es nicht auch denkbar, daß durch die temporär unterschiedliche Wasserentnahme der Pflanze diese Zacken mitverursacht werden?

VIDAL: Sehr interessiert haben mich die von Ihnen beobachteten Schwankungen der Wasserspannung. Ich habe in Bernau am Chiemsee auf einem Hochmoor ähnliche Beobachtungen gemacht. Abflußmessungen ergaben deutliche tägliche Schwankungen im Abfluß, obwohl meteorologisch gar nichts passiert war. Parallel dazu hat Dr. Schuch auf der gleichen Fläche Eigenpotentialmessungen durchgeführt, d. h. Strömungsspannungen gemessen, die durch Wasserbewegung im Boden entstehen. Auch da haben wir tageszeitliche Schwankungen beobachtet. Ich möchte glauben, daß Ihre Änderungen der Wasserspannung letztlich die gleiche Ursache haben.

RICHARD: Wir führen analoge Untersuchungen in einem Waldbestand durch und brauchen für einen Horizont in einer Tiefe 100 Tensiometer, um die Inhomogenität erfassen zu können. Wir sehen häufig, daß zeitweise im Boden die Leitfähigkeit kleiner ist als der Entzug durch die Pflanze während der Transpirationszeit. Wenn hernach die Transpiration aufhört, hat man einen Nachschub auf Grund des örtlichen Gradienten zwischen der Saugwurzel und der direkt benachbarten Bodenmasse. Dann bricht einfach das Wasser dort nach. Solche im Verlaufe des Tages immer wieder auftretende Verschiebungen geben uns entsprechende Streuungen.

BORCHERT: Bei meinen Untersuchungen mit Multitensiometern zerstörte ein plötzlicher Kälteeinbruch das Wassersystem (Wasserreservoir, Leitungen und Tensiozelle). Es ist interessant, die durch Bodentemperatur bedingten Unterschiede zu beobachten. Schon die nächst tieferen Tensiozellen waren nie gefroren, trotz niedrigster Temperatur. Differenzen im Unterdruck könnten m. E. auch durch diese Temperaturschwankungen entstehen, z. B. durch unterschiedliche Erwärmung des Wassers in den Tensiozellen auf Grund unterschiedlicher Bodentemperaturen.

HARTGE: Ich will durchaus nicht behaupten, daß das alles Kondensation ist. Aber gegen das Argument, daß es sich nur um das Ausgleichen von im Laufe des Tages entstandenen Gefälleerhöhungen handelt, sprechen zwei Tatsachen.

1. Die Tatsache, daß diese Schwankungen im Herbst am stärksten sind;
2. die Tatsache, daß die Größe dieser Zacke nicht korreliert mit der Höhe der Wasserspannung, in der sie auftritt. Es müßte nämlich, wenn es sich nur um

ein Nachfließen und einen Gefälleausgleich handelt, dieser Effekt um so größer sein, je größer die Wasserspannungsdifferenz zur nächsten Tiefe ist.

BLUME: Dr. Benecke hat den Standpunkt vertreten, daß es bei dem von ihm untersuchten Boden nicht zu einer Wasserbewegung in Gröbstporen (d. h. in Rissen oder Regenwurmgingen) gekommen ist. Auf der anderen Seite hat er diese Studien an einer Parabraunerde gemacht. Das scheint mir zunächst ein Widerspruch zu sein; denn die Parabraunerde ist dadurch charakterisiert, daß sie einen Tonanreicherungs-horizont im Unterboden aufweist, der durch Tonverlagerung aus dem Oberboden entstanden ist, wobei der verlagerte Ton in Gröbstporen an Aggregatoberflächen abgelagert wurde. Es muß demnach in einem solchen Boden zeitweilig eine Wasserbewegung in Gröbstporen stattgefunden haben.

Ich stimme völlig mit ihm überein und glaube auch, daß es normalerweise zu keiner solchen Wasserbewegung kommt. Es müssen aber zeitweilig „Katastrophenbedingungen“ vorliegen, in denen nach Starkregen eine solche Wasserbewegung in Gröbstporen stattfindet, die beispielsweise den Ton dann umlagert.

VAN EIMERN: Können Sie feststellen, wieviel Wasser durch die „Destillation“ kondensiert, so daß man mit der Verdunstungswärme bzw. der Kondensationswärme die Größenordnung der Energieabgabe des Bodens im Laufe der Nacht abschätzen kann? Ich würde diese Frage auch mit einem Vergleich des Energiehaushaltes und mit einer Betrachtung der Wärmeleitverhältnisse angehen.

WICHTMANN: Die Untersuchungen von Herrn Benecke sind sicher sehr interessant, aber eigentlich nicht aktuell, und zwar deswegen, weil man Parabraunerden normalerweise nicht dränt. Sie werden nur gelegentlich aus Versehen gedränt.

Ich hatte im vorigen Jahr Gelegenheit, den Dränerfolg mit Hilfe periodischer Bodenfeuchtemessungen in der Zeit von Anfang Juni bis Ende September zu messen. Der Einfluß der Dränung war nicht sehr groß, aber immerhin, er war vorhanden. Das hat nach meiner Meinung die Aussage praktischer Landwirte bestätigt, daß im niederrheinischen Lößgebiet eine Dränung von Parabraunerden bei starken Niederschlägen viel Wasser fortführt.

Interessant sind die Untersuchungsergebnisse vielleicht in anderer Beziehung: Ich glaube, die besonderen Saugspannungsverhältnisse in den Parabraunerden resultieren nicht aus dem Bodentyp, sondern aus der Bodenart — dem Schluff-lehm! Wenn wir die Ergebnisse auf alle Schlufflehme übertragen können — ich weiß nicht, ob das möglich ist —, dann würden auch die Bodendränungen von Pseudogleyen, die im niederrheinischen Lößgebiet sehr weit verbreitet sind, überflüssig sein.

BAUMANN: Die Auffassung von Herrn Benecke bezieht sich offensichtlich auf die Parabraunerde. Wenn man an andere Böden denkt und andere Erfahrungen mit Zustrom zu Dränungen und Ablauf aus Dränungen beobachtet hat, so will mir seine Folgerung nicht einleuchten.

Mit zunehmender Austrocknung finden wir, daß im Sommer der Abfluß vermutlich wegen Rißbildung sehr schnell da ist. Im Winter, wenn sich die Gröbstporen schließen, ändert sich die Beziehung zwischen Regenfall und Dränabfluß.

MERBITZ: Ob wir Parabraunerde dränen müssen oder nicht, hängt vom Einwaschungshorizont ab und wie dicht er liegt. Parabraunerden können größere Unterschiede aufweisen.

Was Dr. Wichtmann sagte, trifft nicht allgemein zu. Die Untersuchungen sind dort — soweit ich weiß — auf einem Schlag, der dräniert ist, und auf einem anderen Schlag, der nicht dräniert ist, also von zwei verschiedenen Schlägen durchgeführt.

Der Einfluß des Menschen durch die Bearbeitung und unterschiedliche Verdichtung des Bodens je nach Bearbeitungszeit spielen eine so große Rolle, daß wir nicht ohne weiteres die Ergebnisse von zwei Schlägen vergleichen können.

WICHTMANN: Bei den Vergleichen, die ich durchgeführt habe, handelt es sich um zwei Parzellen vom gleichen Landwirt, die gleichmäßig bewirtschaftet mit Zuckerrüben bestellt waren, am gleichen Tag gehackt wurden usw. Die Meßstellen lagen weniger als 100 Meter auseinander. Ich kann mir nicht vorstellen, daß Unterschiede durch eine Ungleichmäßigkeit der Bodenverhältnisse irgendeine Rolle gespielt haben.

BENECKE: Es handelt sich hier um Lößparabraunerden, also um ein primär homogenes Substrat, mit einem durch Gefügebildung nicht stark veränderten A₁-Horizont; also praktisch mit idealen Bedingungen, wenn man von Regenwurmängen absieht.

Der Einwand von Herrn Prof. Baumann ist zu ergänzen. Der Wasserhaushalt eines Marschbodens hängt vom Grundwasser ab. Wir können also Sättigungszustände erreichen, in denen eine Dränung selbstverständlich funktioniert. Ich habe versucht herauszustellen, daß die hohe Wasseraufnahmefähigkeit dieser Lößböden eine Sättigung verhindert, die für das Funktionieren einer Dränung erforderlich ist.

Ferner eine Frage an Herrn Blume: Warum soll keine Substanzverlagerung durch kapillares Wasser stattfinden?

BLUME: Die stärksten Beläge findet man in Poren von mehr als 1 mm Durchmesser.

BENECKE: Für den Einwand von Herrn Wichtmann bin ich sehr dankbar. Erstens zeigt er, daß bodenkundliche Befunde in Nordrhein-Westfalen offensichtlich mehr Beachtung finden als in Niedersachsen, wo Lößparabraunerden großflächig gedränt werden. Die dafür aufgewendeten Mittel können nahezu mit Sicherheit als Fehlinvestition angesehen werden. Die schwache Dränwirkung, auf die Sie hinweisen, beobachten wir auch. Sie entspricht etwa dem Flächenanteil der verfüllten Drängräben, in denen natürlich völlig andere Abzugsverhältnisse bestehen als in den dazwischenliegenden Bodenstücken.

Tensiometermessungen zwischen zwei Dräns und in einer unbehandelten Parzelle ergaben sehr gut übereinstimmenden Feuchtegang. Der Wasserhaushalt in der Dränparzelle unterschied sich nicht von dem der Nullparzelle. Das entscheidende Kriterium für die Beurteilung dieser Frage ist die Porengrößenverteilung im ganzen Profil, wie sie für die in Rede stehenden in typischer Weise vorliegt. Sie bedeutet zugleich eine sehr hohe Speicherkapazität. Auf solche Böden trifft das Gesagte am meisten zu. Ich sehe nicht ein, warum das bei anderer Bodenart, aber gleicher Porenverteilung, nicht genauso sein sollte.

Zum Einwand von Herrn Merbitz:

Aus dem Grunde habe ich meinen Vortrag beschränkt auf die Parabraunerden aus Löß in Süd-Niedersachsen, die dem Profilaufbau des ersten Dia entsprechen. Es kann als repräsentativ angesehen werden. Daß sich das auf Parabraunerden mit höherliegendem B_t -Horizont nicht übertragen läßt, geht schon daraus hervor, daß die Parabraunerden eine geringere Speicherkapazität haben. Sie können ferner in anderen Klimagebieten liegen. Dann gilt meine Aussage nicht mehr. Das muß von Fall zu Fall beurteilt werden.

Grundwasser- und Bodenfeuchtegang- Kriterien für das Ent- und Bewässerungsbedürfnis von Moor- und Anmoorkulturen

Von Prof. Dr. W. B a d e n , Direktor der Staatlichen Moor-Versuchsstation
Bremen

In den einschlägigen Lehrbüchern über Kulturtechnik und landwirtschaftlichen Wasserbau findet sich wohl fast ausnahmslos als einer der obersten Grundsätze die Empfehlung, eine *W a s s e r r e g e l u n g* durch möglichst tiefe Wintergrundwasserstände und möglichst hohe Wasserhaltung während der Vegetationszeit anzustreben. Diese Empfehlung geht in erster Linie mit auf weit zurückliegende Erfahrungen der Moor-Versuchsstation in Bremen auf Moor- und Anmoorkulturen und Marschbildungen zurück und ist zweifellos während der Anfangszeit einer neuzeitlichen Moor- und Marschkultur begründet gewesen. Seitdem ist jedoch nahezu ein Jahrhundert vergangen, während dem auch an der Moor-Versuchsstation immer häufiger Zweifel aufgekommen sind, ob diese Empfehlung allgemein sinnvoll und ob sie überhaupt zu realisieren sei. Seit auch in der Kulturtechnik und in der Hydrologie die Empirie durch aufschlußreichere Untersuchungsmethoden ergänzt und deren Aussagewert durch statistische und mathematische Auswertungen vertieft und gesichert worden ist, müssen wir rückschauend bekennen, daß wir in solchem Bemühen auf den meisten Meliorationsstandorten nicht nur einem Phantom, sondern geradezu einem Irrlicht nachgejagt sind.

Dieses Bekenntnis dürfte jedoch unseren Altvätern der Kulturtechnik und Moorkultur weniger Abbruch tun, wenn wir uns in ihre Zeit zurückversetzen, d. h. uns der primitiven Anfänge neuzeitlichen Geschehens auf diesem Gebiet erinnern: „Als wir von Bremen aus unsere Arbeit begannen, lag das Moor noch völlig verschleiert vor uns.“ — So etwa hat sich bei einem Rückblick auf das erste Jahrzehnt Moorforschung der Begründer der Moor-Versuchsstation, Moritz FLEISCHER, ausgedrückt und schon damals zugegeben, daß in diesem Nebel anfangs auch für ihn manches Irrlicht gegeistert habe. — Erinnern wir uns daran, daß das natürliche Grünland auf niedermoorartigen Standorten und in Moormarsch und Marsch — mangels der Verbreitung von LIEBIGS Lehre und einer leistungsfähigen Düngerindustrie — immer noch die Mutter des Ackerlandes war und daß vor allem kein Mensch auf der Welt es für möglich erachtet hätte, gar auf dem moos- und heidebewachsenen Hochmoor leistungsfähiges Grünland zu schaffen.

Deshalb zielte man auch in Bremen im letzten Fall auf eine Ackernutzung, noch dazu mit einer zehngliedrigen Fruchtfolge ab, strebte deshalb zunächst reine Ackerbetriebe an, baute zwar schüchtern das erste Klee gras in die Fruchtfolge ein und begann am Ende des ersten Jahrzehntes mit tastenden Weiderversuchen. Die Dränung von Moorböden steckte gleichfalls noch in den Kinderschuhen. Man entwässerte mit einem engen Netz nur 30—60 cm tiefe Gräben,

nahm die erste Bearbeitung noch Anfang dieses Jahrhunderts mit primitiven Handgeräten vor, kannte nur leichte, von mit Moorschuhlen bewehrten Pferden gezogene Moorpflüge, hatte mit primitiven, rotierenden Geräten sogar Enttäuschungen erlebt, die Wirkung schwerer Walzen bzw. des Bodendruckes auf allen organogenen Standorten, wie sie in der englischen Grünlandwirtschaft einst erkannt war, war in Vergessenheit geraten und mußte deshalb — nun allerdings unter Einsatz immer größerer Bodendrucke — gewissermaßen neu entdeckt werden.

Dank dieser ganzen Primitivität mußte die Sorge vor Wasserklemmen auf den Neukulturen mit ihrer intensiveren Nutzung — aus weit zurückreichender Empirie heraus — nur noch vergrößert werden.

Aus jener Zeit stammt deshalb der eingangs erwähnte Grundsatz: Tiefe Wintergrundwasser- und hohe Sommergrundwasserstände!

In dem Maße, wie mit der intensiveren Nutzung von Ödlandkulturen oder natürlichen Grünlandflächen die heute ziemlich klar vor uns liegende sehr labile Dynamik — vor allem der organogenen Standorte — sich auf deren Hydrologie zunächst unter dem verständigen Einsatz schwerer Walzen und jüngst — auch ungewollt und deshalb oft zur unrechten Zeit — unter Mechanisierung der Arbeitsgänge durch immer schwerere Geräte auch auf diesen Standorten ausgewirkt hat, desto mehr hat dieser Grundsatz angezweifelt werden müssen, und desto weniger hat ein solches Bemühen zum Erfolg führen können, desto mehr ist aber auch die seinerzeit verständliche Sorge um Wassermangel bei tiefen Sommergrundwasserständen — gerade für eine intensive Grünlandnutzung — verblaßt: Durch das Zusammensacken der Profile infolge von Wasserentzug, durch die damit einhergehende Dichtlagerung, die Vermehrung des Substanzvolumens, Zersetzung organischer Substanz und Einengung des Porenraumes wurde die Wasserzügigkeit der Profile zwar träger, ihr volumenprozentischer Wasseranteil aber größer, infolgedessen auch die Amplitude im Gang des Grundwassers, der kapillare Hub insgesamt größer, zeitlich zwar verzögert, aber trotzdem der breitere offene Kapillarsaum unbedenklich. Mit dieser — sagen wir kurz — gegensätzlicheren Wasserführung in den Profilen mußte jedoch das Bemühen um gleichmäßig hohe Sommergrundwasserstände in den meliorierten Standorten immer utopischer werden.

Gewiß, man hat sich — in der alten Empirie befangen — Jahrzehnte auch an der Moor-Versuchsstation redlich bemüht, die Richtigkeit der heute überholten Empfehlung unter Beweis zu stellen. Rückschauend müssen wir bekennen, daß das nicht gelungen ist und die dafür angeführten Versuchsergebnisse der Kritik heutiger fehlerstatistischer Berechnungen nicht standgehalten hätten. Das kann jedoch hier im einzelnen nicht begründet werden und sei deshalb lediglich mit dem am weitesten zurückreichenden Wiesenversuch in der Moor-Versuchswirtschaft Königsmoor belegt — wohl verstanden, auf einem Versuch, auf dem man sich zumindest drei Jahrzehnte redlich um die Sommerwasserhaltung hinter Kulturstauen bemüht hat. Die Heuerträge lassen jedenfalls eine gesicherte Beziehung sowohl zu den Sommerniederschlägen insgesamt wie zu den Niederschlägen, unterteilt nach den Mengen, die zum 1. bzw. 2. Schnitt gefallen sind, vermissen, und zwar während der ersten drei ebenso sehr wie während der letzten beiden Jahrzehnte, in denen wir den Kulturstau völlig vernachlässigt haben (Abb. 1).

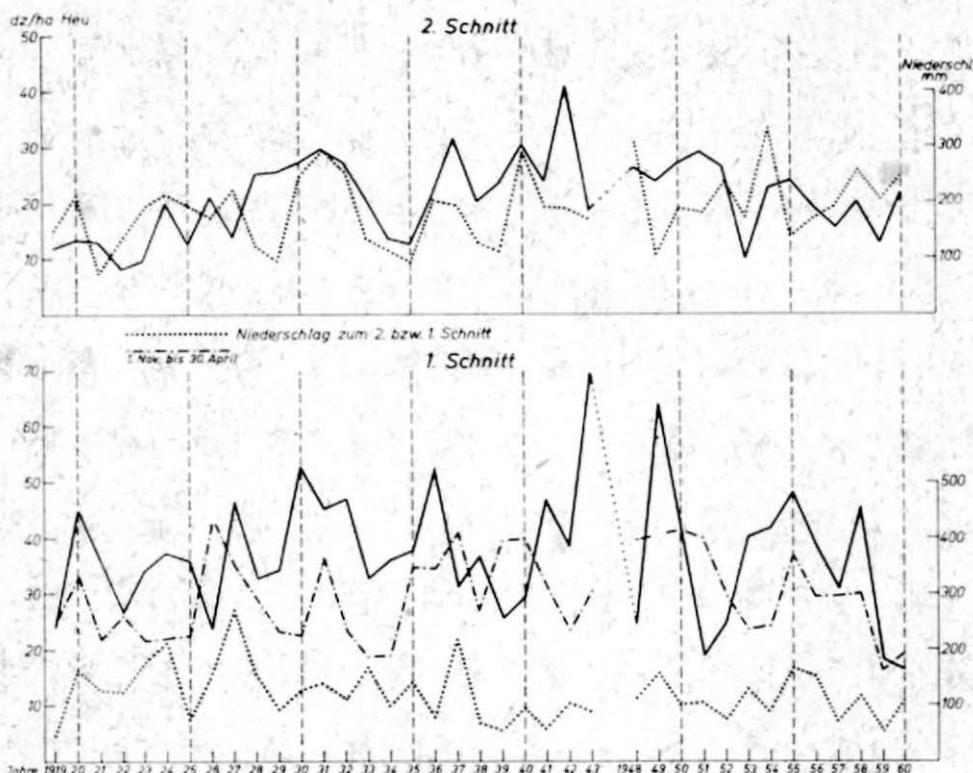


Abb. 1: Beziehung zwischen Niederschlägen und Heuerträgen auf Hochmoorwiesen 1919-1960 in Königsmoor

Die Sorge, daß selbst bei einer intensiven Nutzung mit Stickstoffdüngung Wasserklemmen auftreten würden, ist uns dann in der in Nordwestdeutschland bekanntlich einmaligen, man möchte beinahe sagen, säkularen Dürreperiode vom Sommer 1959 bis zum Sommer 1960 endgültig genommen, da deren Auswirkung selbst unmittelbar an einem Vorfluter auch auf nur etwa 1 m mächtigen Hochmoorprofilen nicht spürbar gewesen ist.

Je mehr es allerdings in Versuchen an dem einen oder anderen Nährstoff oder an allen gemangelt hat, desto verheerender hat sich die Dürre schon im ersten Sommer ausgewirkt.

Das wird vor allem deutlich in einem drei Jahrzehnte zurückliegenden Kalkversuch auf einer anderen Hochmoorwiese, dort vor allem bei zehnjährigem Phosphorsäuremangel.

Ganz ähnlich das Ergebnis in einem zehnjährigen Kali- und Phosphorsäuremangelversuch, in dem auch allgemein wieder eine eindeutige Beziehung zwischen Niederschlag, damit selbstverständlich auch zwischen Gang des Grundwassers und Ertragssicherheit vermißt wird.

Auf einem zehnjährigen Weideversuch ist allerdings schon 1959 der Weideaufwuchs wesentlich abgefallen, und zwar ganz besonders bei Unterlassung der Stickstoffdüngung, aber — eine wohl allgemeine Erfahrung — der Weiderfolg trotzdem nicht besorgniserregend.

Wir können also mit Fug und Recht sagen, daß unter diesen Standortbedingungen neben der insgesamt verständigen Nutzung und Bewirtschaftung die angemessene Nährstoffversorgung eine wirksame Vorbeuge gegen Dürreschäden ist.

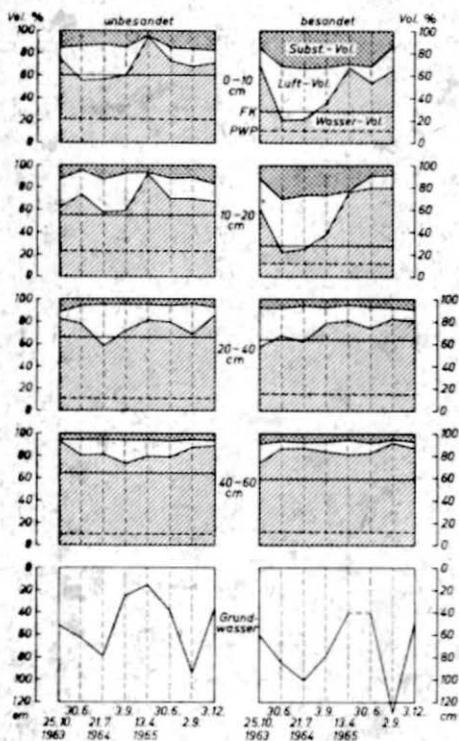


Abb. 2: Strukturdiagramme, Gang des Grundwassers und der Bodenfeuchte unter besandetem und unbesandetem Hochmoorgrünland in Königsmoor 1963–1965 (nach Eggelsmann)

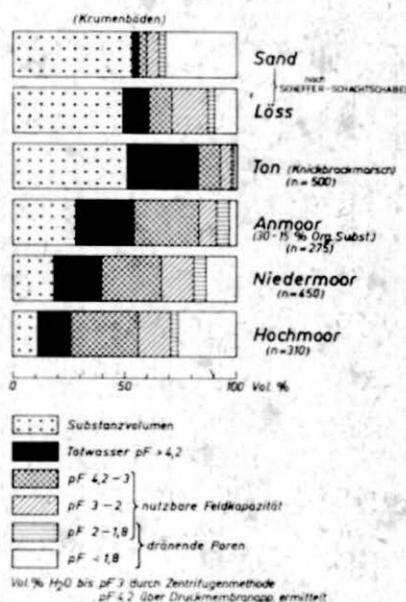


Abb. 3: Durchschnittliche Porenraumgliederung in verschiedenen Böden (nach Kuntze)

Auf dieser Weidefläche aber sind wir auf etwas anderes Bemerkenswertes aufmerksam geworden. Obwohl im Winter 1959/60 nur ganz unbedeutende Niederschläge gefallen sind, haben sie dennoch genügt, die obersten Dezimeter nahezu bis zur Feldkapazität wieder aufzufüllen. Wie in diesem Fall erfolgte die Wiederbenetzung auch in anderen Fällen zunächst von oben her und erst später kapillar aus dem tief abgesunkenen Grundwasser (Abb. 2).

In diesem Zusammenhang ist die sehr unterschiedlich große nutzbare Feldkapazität in den Pflanzenstandorten von ausschlaggebender Bedeutung, je nachdem, ob sie mehr oder weniger reich an organischer Substanz sind (Abb. 3).

Daß diese nutzbare Feldkapazität in der Tat weitgehend ausgeschöpft wird, können wir eindeutig belegen.

Nach solchen Erkenntnissen kommt deshalb u. E. dem Gang des Grundwassers bei weitem nicht die Bedeutung zu wie dem Gang der Bodenfeuchte, d. h. der mehr oder weniger großen und mehr oder weniger nachhaltigen nutzbaren Feldkapazität. Uns scheint diese Erkenntnis so bedeutungsvoll, daß diesem Problem u. E. kaum breit genug nachgegangen werden kann, vor allem mit der Fragestellung, ob man nicht mit physikalisch-hydrologischen Beobachtungen und Daten solcher Art auch auf anderen Standorten bezüglich ihres Wasserhaushaltes zu weit klareren Erkenntnissen und zu einer sichereren Aussage kommen wird, als es über Vergleiche zwischen dem Gang des Grundwassers und Erträgen — dem lange Zeit einzigen Bemühen — möglich sein wird.

Auf entsprechende Abbildungen wird hier verzichtet. Sie werden veröffentlicht in den „Mitteilungen über die Arbeiten der Staatl. Moor-Versuchsstation in Bremen“, IX. Bericht, „Bewirtschaftung und Leistung des Grünlandes auf Deutscher Hochmoorkultur. Ein Beispiel 5 Jahrzehnte langer Standortforschung“ (als Abb. 81, 79, 78, 80, 82, 76, 83 und 74). Dieser Bericht kann Interessenten auf Anforderung einstweilen noch kostenlos zur Verfügung gestellt werden.

Wasserbindungsintensität und Bodenfeuchtegang einiger Anmoor- und Moorböden

Von Kh. Göttlich und L. Menge

Anmoorböden sind vielfach durch einen unausgeglichene Wasser- und Luft-haushalt charakterisiert. Sie leiden dann wechselnd unter starker Vernässung und unzureichendem Wasserangebot an die Vegetation. Die vorgelegten Ergebnisse — ein Auszug aus der Dissertation von L. MENGE¹⁾ — sollen die Ursachen für diese Eigenschaften klären helfen.

Besprochen wurden:

Je ein vergleytes Aue-Anmoor und ein Aue-Kalkanmoor aus dem Langenauer Westerried nordöstlich Ulm sowie je ein Moorprofil von der vorentwässerten, unkultivierten und von der gedränten, kultivierten Parzelle der Moormeßstelle im Pfrunger Ried in Oberschwaben.

Über eine Zeit von sieben bzw. vier Jahren wurden an Volumenproben PV und Porenfüllung gemessen. Aus diesen Werten und der einmal ermittelten Wasserbindungsintensität wurde das Angebot an pflanzenverfügbarem Wasser errechnet und dargestellt.

Ergebnisse:

1. Weitgehendes Austrocknen des obersten Krumbereiches führte besonders bei dem grundwasserfernen Anmoor, aber auch bei den Moorböden zur irreversiblen Veränderung vor allem der kolloidalen Humusbestandteile.
2. Infolgedessen verschob sich vom tieferen A_h zur Oberfläche hin das Verhältnis von nutzbarer Wasserkapazität zum Totwasser zugunsten des letzteren.
3. Bei den Torfen haben ferner die Art der torfbildenden Pflanzen und der Grad der Humifizierung Einfluß auf die Wasserbindung.
4. Über sieben Jahre mit sehr verschiedenem Witterungsverlauf konnte der unterschiedliche Bodenfeuchtegang im grundwasserbeeinflussten und im grundwasserfernen Anmoor miteinander verglichen werden.
5. Im gedränten, als Wiese intensiv genutzten Niedermoor erwiesen sich die Bodenfeuchteverhältnisse bei einem Grundwasserstand von etwa 80 cm als optimal. Das weitere Absinken des Grundwassers im Sommer 1964 ließ den Wasservorrat in der Krume bis in die Nähe des Welkepunktes zurückgehen.

¹⁾ L. Menge: Untersuchungen über das Gefüge und die Wasserbindungsintensität einiger Anmoor- und Moorböden. Diss. Hohenheim (1965).

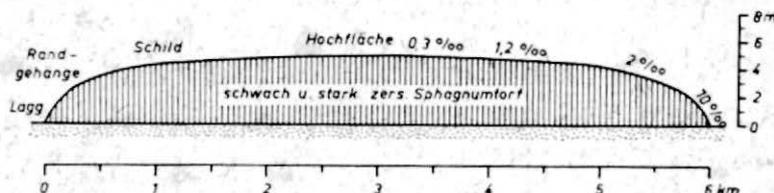
Oberflächengefälle und Abflußregime der Hochmoore¹⁾

Von R. Eggelsmann, Staatliche Moor-Versuchsstation Bremen

Die ursprüngliche Morphologie der Hochmoore — die typische konvexe Aufwölbung und die damit zusammenhängenden Entwässerungserscheinungen wie Rüllen und Lagg — ist während der vergangenen Jahrzehnte durch Entwässerung und Kultivierung, Abtorfung, Besiedlung oder Aufforstung oft weitgehend verändert oder gar nicht mehr vorhanden. Die Morphologie der ungestörten Hochmoore beeinflusste in erheblichem Maße ihr Abflußregime.

Daher wurden die Flachland-Hochmoore Niedersachsens an Hand der topographischen Karten 1:25 000 der Preuß. Landesaufnahme aus der Zeit der Jahrhundertwende überprüft. Nach weiteren Unterlagen (Moor- und Bodenkarten, moorstratigraphischer Aufnahmen u. a.) wurde ferner die Moorgenese erfaßt. Auf diese Weise wurde etwa die Hälfte der Hochmoore Niedersachsens untersucht.

Die mittleren Gefällswerte der Hochmoor-Oberfläche im Urzustand sind graphisch (s. Abb.) wiedergegeben. Es ergibt sich daraus unverkennbar die bekannte



Mittleres Oberflächengefälle nordwestdeutscher Flachland-Hochmoore im Urzustand

Mittelwerte aus 180 Gefällsmessungen in 64 Hochmooren Niedersachsens (nach den Erstausgaben von Meßtischblättern 1:25 000 der Preuß. Landesaufnahme um 1900) 125fach überhöht

„uhrglasförmige“ konvexe Aufwölbung, wobei bemerkenswert ist, daß auch die Mitte der Hochfläche keineswegs horizontal liegt. Dieser „Idealschnitt“ des niedersächsischen Flachland-Hochmoores stimmt recht gut überein mit denen vieler anderer Flachland-Hochmoore, die in der Literatur beschrieben und dargestellt sind.

Viele „kontinental beeinflussten“ Hochmoore in Niedersachsen weisen auch größere Oberflächenneigungen auf (max. 5 ‰).

Aus der Moorgenese ergab sich, daß $\frac{2}{3}$ der untersuchten Hochmoore über einem zuvor versumpften Standort, nur $\frac{1}{3}$ (teilweise) über Verlandungsmoor aufgewachsen sind.

Die als Charakteristikum der Flachland-Hochmoore vielfach erwähnten oberflächlichen Erosionsrinnen (= Rüllen) waren kartenmäßig noch in 15 Hochmooren

¹⁾ Autorreferat von „Oberflächengefälle und Abflußregime der Hochmoore“. Wasser und Boden 19 (1967), 247–252.

verzeichnet (von 64 untersuchten). Sie beweisen im Zusammenhang mit den nachgewiesenen Gefällsverhältnissen überzeugend, daß die Hochmoore auch früher nicht ausgleichend auf den Abfluß in den Bächen und Flüssen gewirkt haben können. Vielmehr pflegte in regenreichen Perioden und nach der Schneeschmelze rasch ein beträchtlicher Oberflächenabfluß einzusetzen, wie er in der älteren Literatur von zahlreichen Naturwissenschaftlern eindrucksvoll geschildert ist.

Neuere hydrologische Vergleichsmessungen haben nachgewiesen, daß Hochmoore oder überhaupt moorreiche Gebiete nicht regulierend auf die Abflußverhältnisse einwirken und daß sie vor allem nicht imstande sind, während der Trockenperioden den Abfluß in Bächen und Flüssen zu speisen.

Ganz allgemein weisen moorreiche Gebiete, besonders aber ungestörte, wachsende Hochmoore eine hohe Landesverdunstung auf, was analog den Abfluß vermindert.

IX. Diskussion

Leitung: Ob.-Reg.-Dir. Dr. Vidal

BADEN: Auch aus kontinentaleren Gebieten mit wenig Niederschlägen melden sich weitere Kronzeugen dafür, daß die Sorge vor einer tiefen Entwässerung überholt ist. Die sichersten Erträge wurden selbst dort beispielsweise bei mittleren Grundwasserständen von 1,5 m unter der Oberfläche mit Kohlrüben-erträgen von 58 bis 91 Tonnen je Hektar erzielt, bei höherem Grundwasserstand jedoch nur 34 bis 85 t/ha.

Wenn nun nach dem Referat von Herrn Dr. Menge im Schwäbischen Oberland auf Niedermoorflächen auch Wasserklemmen eintreten können, so muß nach unseren Erfahrungen auch dort auf alle Fälle zunächst richtig entwässert werden. Sonst erwachsen auf diesen organogenen Böden größere und vor allem nachhaltigere Nachteile, als sie zeitweiliger Wassermangel bringt. Ertragsschwankungen in Abhängigkeit von Witterungsgang und Temperatur, damit auch vom Gang des Grundwassers, können wir vollkommen nicht entgehen.

BAUMANN: Die Praxis in Schleswig-Holstein sträubt sich aus vielen Gründen gegen eine starke Entwässerung der Niedermoore. Wir wollen hier Hochmoore und Niedermoore auseinanderhalten. In erster Linie sind es ökonomische Gründe: Die Moore im Treene- und Eidergebiet sind künstlich entwässert, das Entwässerungsmaß wird also durch die Elektrizitätskosten bedingt. Dazu kommt ein gewisses Gefühl — vielleicht auf gewisse Theorien gestützt —, daß es stärkere Veränderungen gibt, wenn man das Moor nicht wieder auf seinen natürlichen Naßzustand zurückführt.

Weiterhin besteht die Meinung, daß ein stark entwässertes Moor eine sehr intensive Bewirtschaftung erfordert. Und da in den großen Moorniederungen Schleswig-Holsteins die Verhältnisse heute so liegen, daß große Mooranteile da sind und eine intensive Weidewirtschaft viel Kapital erfordert, ist dort eine weitgehend extensive Grünlandnutzung üblich. Es ist dort nicht das Bestreben, den alten Grundsätzen „Winter — niedrig; Sommer — hoch“ nachzukommen.

Eine Frage an Herrn Baden: Gibt es irgendwo Hinweise aus der Literatur, daß durch einen hohen Wasserstand im Moor die Sackung und Zersetzung irgendwie

angehalten wird? Es ist eine Meinung, die man immer wieder hört, daß man durch die höhere Feuchthaltung das Moor erhalten könne, damit wir nicht schon nach 20 Jahren wieder ganz neu anfangen müssen. Denn das ist die Hauptangst: vollständige Veränderung der organischen Naßböden. Wenn sie in Kultur genommen werden, sind Meliorationsmaßnahmen schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit wieder notwendig.

BADEN: Wir wollen ja nur auf die normale Dräntiefe entwässern! Wir wollen das Moor nicht „trockenlegen“ (wie man es so oft in der Praxis befürchtet). Man begegnet vor allem in Holland der Ansicht, daß man durch hohe Wasserstände bis zu einem gewissen Grade der gefürchteten „Moorsackung“ vorbeugen könne. Das wird hier und da unter ganz besonders günstigen Verhältnissen möglich sein, vor allem, wo unter einer Kleidecke wenig zersetzte Seggentorfe eine rege Wasserbewegung gewährleisten. In solchen Fällen kann man durch Kulturstau in den Gräben mit einiger Sicherheit das Wasser auch in die Beetmitte hineinbringen.

Extensive Betriebe werden in der EWG nicht bestehen, auch im Moor nicht. Wir müssen uns auch dort einer intensiven Bewirtschaftung durch Kulturstau in den Gräben mit einiger Sicherheit das Wasser zuwenden. Beim Ringen um den „immer schmaleren Geldtopf“ kann kaum genügend hervorgehoben werden, daß unsere nach dem Kriege — grozügig wie nie — angelaufenen Meliorationen in bäuerlichen Gebieten bei ungenügenden Beihilfen vielfach wieder im Anfang steckenbleiben werden. Dann wäre die Klage über die „steckengebliebenen“ Folgeeinrichtungen noch viel lauter und viel berechtigter als zwischen den beiden Weltkriegen. Wir müssen — ohne Rücksicht auf die Kosten — einmal begonnene Maßnahmen zu Ende führen und dabei vor allem auf eine auch in den Mooren intensive Entwässerung und intensive Nutzung dringen.

GÖTTLICH: Wir haben diese Untersuchungen selbstverständlich auf Flächen angestellt, die landwirtschaftlich bewirtschaftet waren, um praxisnah zu sein. Agrarstrukturelle oder agrarpolitische Fragen mußten aus dem Spiel bleiben.

Anfänglich wurden Anmoorböden untersucht, von denen wir wissen, daß sie hydrologisch schlecht gepuffert, also sehr empfindlich sind. Dann wurde versucht, die Zusammenhänge weiter auf schwierigen Niedermoorböden zu verfolgen. Wir sind auf Grund dieser langjährigen Untersuchungen, die durch Messung der osmotischen Werte ergänzt werden, welche eine genaue Vorstellung der Pflanzenversorgung mit Bodenwasser geben, zu dem Ergebnis gekommen, daß wir — das möchte ich ausschließlich auf unsere südwestdeutschen Voraussetzungen begrenzen — vor einer allgemeinen Anweisung, welche etwa besagen würde, „man könne gar nicht weitgehend genug entwässern“, dringend warnen sollten.

Die gegensätzlichen Anschauungen ergeben sich selbstverständlich aus den unterschiedlichen Böden bzw. dem Ausgangsmaterial, aus welchem diese Böden entstanden sind. Sie haben gesehen, wie außerordentlich stark schon ganz geringe Sphagnum-Anteile wirken.

Es scheinen sich also diesbezüglich jetzt zwei „Schulen“ herauszubilden, eine Bremer und eine Sigmaringer oder Hohenheimer Schule. Das spornt uns an, dieses zweifellos noch nicht völlig geklärte Problem weiter zu verfolgen. Ich

hoffe, Ihnen wahrscheinlich in zwei Jahren noch einiges dazu sagen zu können. Vielleicht dann auch mehr von der Mikrostruktur her gesehen (sie konnte heute nicht behandelt werden).

Herr Eggelsmann, glauben Sie es richtig gesagt zu haben, wenn Sie sagten „Quelle im Moor“?

EGGELSMANN: Es sind Quellen unter dem Moor, also im mineralischen Untergrund.

GÖTTLICH: Eine Ergänzung zur Nomenklatur:

Man sollte die alte Bezeichnung „Grenzhorizont“ lieber nicht mehr gebrauchen, weil man dadurch den Anschein erweckt, als ob es sich um eine in allen Mooren synchrone und entwicklungsgeschichtlich auch vergleichbare Bildung handle.

HEBESTREIT: Eine methodologische Frage: Ich habe die Akribie Ihrer Kurven bewundert, kam aber zu dem Eindruck, zwei Asymptotenpaare erkennen zu können. Sollte etwa der untere Teil vom feuchten Zustand kommend, der obere Teil vom trockenen Zustand kommend, bestimmt sein?

MENGE: Es ist so, daß wir den Gang der pF-Kurve vom Feuchten zum Trocknen einschließlich der Hygroskopizität bestimmt haben.

VIDAL: Wir haben hier in Südbayern, vor allem am Alpenrand, sehr erhebliche Niederschläge (1000—1500 mm) und sind wie Professor Baden der Meinung, daß man gut entwässern muß, um unsere Moore entsprechend intensiv bewirtschaften zu können.

Ich neige sogar zu der Ansicht, daß man auf Hochmooren am Alpenrand gar nicht stark genug entwässern kann, wodurch wir bisher nie in Schwierigkeiten gekommen sind. Bei den Niedermooren in der Umgebung von München auf den Schotterplatten mit Niederschlägen um 800 mm sieht die Sache etwas anders aus. Hier kann es bei lang anhaltender Trockenheit eventuell zu Schwierigkeiten kommen.

Es freut mich sehr, daß sich Dr. Göttlich mit seiner Schule dem Anmoor so intensiv zuwendet, denn das Anmoor ist immer stiefmütterlich behandelt worden, da es zwischen den reinen Mineral- und den Moorböden steht. Auch wir in Bayern haben große Flächen mit Anmoor, die eine gewisse Problematik beinhalten, für die landwirtschaftliche Nutzung aber von nicht unerheblicher Bedeutung sind. Ich begrüße es daher sehr, wenn auf diesem Gebiet weitergearbeitet wird.

Die Messung des geschlossenen und offenen Kapillarsaumes in natürlich gelagerten Böden¹⁾

Von Priv.-Doz. Dr. H. Kuntze, Staatliche Moorversuchsstation Bremen

Durchwurzelungstiefe und geschlossener Kapillarsaum bestimmen den optimalen Flurabstand des Grundwassers.

Unter kapillarer Steighöhe eines Bodens (= Kapillarhub, Kapillarität, h_K [cm WS]) versteht man die Höhe, um die Wasser durch Grenzflächenkräfte über den freien Grundwasserspiegel mit senkrecht nach oben gerichteten Spannungsgradienten gehoben wird. Im unteren Bereich des Kapillarsaumes sind alle Poren mit Wasser gefüllt. Zumindest zusammenhängende Luft einschlüsse fehlen. Man bezeichnet diesen Teil daher als geschlossenen Kapillarsaum. Er wird abhängig von Textur und Gefüge der Böden durch den jeweils größten Porenquerschnitt bestimmt. Mit Vorschieben der Kapillarsäulen nehmen die Luft einschlüsse zu, das mit Kapillarwasser erfüllte Porenvolumen ab. Der geschlossene geht in den offenen Kapillarsaum über. Nur dieser ist durchwurzelt.

BESKOW hat in Anlehnung an das FISCHER-Kapillarimeter ein brauchbares Gerät zur Bestimmung des geschlossenen Kapillarsaumes entwickelt. Dieses wurde von uns für Messungen an natürlich gelagerten Bodenproben verbessert. Durch langsames, kontinuierliches Absenken eines Hg-Manometers wird so lange steigender Unterdruck erzeugt, bis es zum kapillaren Abriß kommt. Der in diesem Moment vorherrschende Unterdruck in cm WS ergibt die Höhe des Kapillarsaumes.

Fehlermöglichkeiten und erste Ergebnisse von rund 200 Böden werden diskutiert. Das Maß der Streuung zwischen kleinstem und größtem Meßwert der Kapillarität von Parallelproben eines Horizontes wird als Ausdruck für den geschlossenen und offenen Kapillarsaum gewertet. Moorböden zeigen infolge starker Gliederung durch fossile Pflanzenreste zwischen offenem und geschlossenem Kapillarsaum größere Unterschiede als Mineralböden. An Hand von Häufigkeitsverteilungen werden die in insgesamt 200 Böden: Sand-, Niedermoor-, Ton- und Hochmoorböden, festgestellten Kapillaritäten aufgezeigt und daraus Konsequenzen für die jeweils optimale Entwässerungstiefe gezogen.

Durch vergleichende K_f - und h_K -Messungen an demselben Probenmaterial konnten beide Untersuchungsergebnisse zueinander in Beziehung gesetzt werden. Sie korrelieren hoch signifikant. Da K_f -Messungen im Labor sehr aufwendig und nicht ganz frei von methodischen Fehlerquellen sind, wird daher vorgeschlagen, aus der Kapillarität die Größenordnung der Durchlässigkeit abzuleiten.

¹⁾ Z. Pfl. Ern. Düngg. Bodenkunde 113 (1966) 97 ff.

Der Einfluß der natürlichen Flußbettichtung auf die Grundwasserstände

Von ORBR Scheurmann, Regierung von Niederbayern, Landshut

Bekanntlich stehen Abfluß und Spiegellage des Grundwassers in enger Beziehung zu den Betten offener Gewässer. In flachen Tälern mit durchlässiger Auffüllung schließt sich der Grundwasserspiegel in der Regel an den Flußwasserspiegel an. Meist fließt das Grundwasser mit schwachem Gefälle senkrecht oder schräg auf den Fluß zu und findet dort seine Vorflut, ohne daß es in auffälligen Quellen sichtbar wird. Ist hingegen der Flußwasserspiegel angespannt, kommt es zum Übertritt von Seihwasser in den Untergrund.

Die Hydromechanik hat zahlreiche Verfahren entwickelt, die Seihwasserbildung zu berechnen. Sie sind aber samt und sonders nur in Sonderfällen anzuwenden, denn sie erfassen die Übergangswiderstände an den Gerinnewänden nicht. Infolge des Schwebstoffgehalts des Flußwassers bildet sich eine Dichtungsschicht, die den Seihwasseraustritt herabsetzt.

Man hat sich dabei von der Vorstellung freizumachen, es entstehe nur oberflächlich eine Art Dichtungshaut. In Wirklichkeit darf jedes Feststoffteilchen der Suspension in seinem Verhalten als unabhängig betrachtet werden, wenn es in den als Filter wirkenden Flußgrund eindringt. Die Konzentrationsänderung mit zunehmender Tiefe z genügt der Differentialgleichung

$$\frac{dK}{dz} = f(K) = -\lambda K$$

wenn einfache Proportionalität vorausgesetzt wird, ausgedrückt durch die Filterkonstante λ . Die Integration liefert mit K_0 als Ausgangskonzentration die sog. 1. Hauptgleichung der Filtertheorie:

$$K = K_0 \cdot e^{-\lambda z}$$

Damit ist erwiesen, daß sich der Filtervorgang nicht nur an den Wänden eines Flußschlauches abspielt, sondern daß die Verschlämmung auch in die Tiefe wirkt. Die Dichtung schreitet um so schneller voran, je größer die Konzentration K und der Wasserdurchsatz je Flächeneinheit sind.

Hochwässer mit entsprechender Räumkraft unterbrechen den Vorgang immer wieder und erneuern die ursprüngliche Infiltrationsfähigkeit regelmäßig. Bei gewöhnlichen Abflußverhältnissen wird deshalb die Flußbettichtung nur selten besorgniserregend werden. Je ausgeglichener aber der Abfluß ist, desto seltener darf erwartet werden, daß Hochwässer ein Gerinne von Schwebstoffablagerungen reinigen.

Ein Musterbeispiel bildet die Ruhr, deren Bett weithin mit einem gedichteten Kanal ohne Verbindung mit dem Grundwasserhaushalt der Talalluvion vergleichbar ist. Die starke Wasserverschmutzung nach dem Krieg hat im Verein

mit dem dank der Talsperren vergleichmäßigten Abfluß die Grundwasserinfiltration weithin fast ganz zum Erliegen gebracht.

Ein ähnliches Phänomen begegnet uns an der Isar bei Landshut. Der Grundwasserstrom des Altstadtgebietes rechts der Isar wird vorwiegend durch Seihwasser aus dem gestauten Fluß gespeist. Vom Beginn systematischer Beobachtungen im Jahr 1951 bis zum Sommer 1959 unterscheiden sich die Jahresmittel der Grundwasserstände nur wenig. Im Herbst 1959 hingegen setzte ein zunächst unerklärlicher Abstieg der Jahresmittel ein, der bis zum Hochwasser 1965 anhielt.

Es lag die Vermutung nahe, die Erscheinung auf eine Abnahme der Infiltration zurückzuführen. Um die Ursache aufzudecken, wurden aus der Isar Geschiebepollen entnommen und mit Hilfe der Formel von MEYER-PETER auf die Grenzschleppspannung

$$\tau_0 = 0,047 \cdot \gamma''_s \cdot d_m$$

untersucht. Es bedeuten γ''_s das um 1,0 verminderte Artgewicht des Gesteins und d_m den sog. „maßgebenden Korndurchmesser“. Mit dem gefundenen Wert wurden alsdann die in den letzten 15 Jahren tatsächlich aufgetretenen Spitzenschleppspannungen verglichen. Dabei zeigte sich, daß vom Beginn der Untersuchung bis 1959 τ_0 alle Jahre erheblich überschritten, hingegen in den folgenden Jahren bis zum Hochwasser 1965 nicht mehr erreicht worden ist. Erst das Hochwasser 1965 erzeugte wieder höhere Schleppspannungen als τ_0 und bewirkte einen bleibenden Anstieg des Grundwasserspiegels auf die mittlere Lage vor 1959. Inzwischen macht sich erneut ein langsamer Abfall bemerkbar, der z. T. jahreszeitlich bedingt ist, z. T. mit der wiederum einsetzenden Flußbettdichtung zusammenhängt.

Der maßgebende Einfluß der natürlichen Flußbettdichtung auf die Grundwasserbildung erscheint durch den Vergleich der Schleppspannungen schlüssig bewiesen.

Das Ausbleiben genügend großer Hochwässer war nicht allein eine Folge des außergewöhnlichen Witterungscharakters der vergangenen sechs Jahre, sondern auch wesentlich auf den Betrieb des Sylvensteinspeichers zurückzuführen. Daraus wird offenkundig, daß Eingriffe in den natürlichen Wasserhaushalt fast immer Nebenwirkungen hervorbringen, die vorher nicht abzusehen waren.

Auswirkungen eines Grundwasserentzuges im Emsquellgebiet¹⁾

Von Dr. R. Sunkel, Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen

Das Quellgebiet der Ems wird gespeist aus einem reichen Grundwasservorkommen am Fuß des Teutoburger Waldes, das sich in den pleistozänen Vor- und Nachschüttungssanden (ds) der Senne befindet, die bis zu 30 Meter mächtig sind. Die Grundwassersohle wird von undurchlässigen Emschermergeln (kro 3) gebildet. Das Vorkommen wird seit langem durch zahlreiche Wasserwerke für die öffentliche Wasserversorgung genutzt. Im Rahmen eines umfangreichen Gutachtens (1, 2, 3) wurden unter anderem die Auswirkungen der Grundwasserentnahme einer Brunnengalerie untersucht, die dem Oberlauf der Ems oberhalb der Quelle quer vorgelagert und seit 1958 in Betrieb ist. Diese Untersuchungen erstreckten sich

auf die Abflüsse der Ems,
auf die Grundwasserstände und
auf die landwirtschaftliche Nutzung.

Die Auswirkungen des Grundwasserentzuges auf die Abflüsse der Ems sind sowohl wasserwirtschaftlich als auch landwirtschaftlich von Bedeutung; wasserwirtschaftlich insofern, als der größte Teil des geförderten Wassers im Einzugsbereich der Weser gebraucht wird und es deshalb nötig ist, den Gebietswasserhaushalt wieder auszugleichen. Das soll geschehen, indem Abwasser zurückgeführt und auf geeigneten Flächen verrieselt wird. Für die Landwirtschaft sind die Auswirkungen auf die Emsabflüsse bedeutsam, weil mit dem Emswasser zahlreiche Wiesen im Rückenbau- oder Hangrieselverfahren bewässert werden.

Die Untersuchungen haben ergeben, daß die Abflüsse bei gleichbleibenden Niederschlägen um rund 40% zurückgegangen sind, daß noch ein weiterer Rückgang zu erwarten ist und daß sich die Grundwasserentnahme durch diese Brunnengalerie auf einen noch größeren Bereich als nur auf das untersuchte Niederschlagsgebiet bis zum Pegel Hövelhof (Emskrug) auswirkt.

Die Auswirkungen der Wasserentzuges auf die Grundwasserstände sind vor allem im Hinblick auf die Wasserversorgung land- und forstwirtschaftlicher Kulturen bedeutsam. Es wurden langjährige Grundwasserbeobachtungsergebnisse (14-Tages- bzw. Monatswerte) zahlreicher Beobachtungsrohre ausgewertet, die teils innerhalb, teils außerhalb des Einflußbereiches der Wassergewinnung liegen. Die Grundwasserabsenkung ließ sich durch einen Vergleich der Jahresmittelwerte nachweisen. Sie betrug 1964 in unmittelbarer Nähe der Wasserfassung 4 Meter und war noch bis zu einer Entfernung von 2 km nachweisbar. Auch

¹⁾ Autorreferat; vollständiger Wortlaut in: Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 8 (1967), 223-234.

diese Untersuchungen ließen erkennen, daß sich bisher noch kein Gleichgewicht eingestellt hat.

Die Auswirkungen des Grundwasserentzuges auf die landwirtschaftliche Nutzung wurden mit Hilfe einer bodenkundlichen Kartierung beurteilt. Mit Ausnahme der schmalen Täler der Ems und des Holtebaches kommen im Bereich der nachgewiesenen Grundwasserabsenkung nur trockene Sandböden vor, deren Wasserhaushalt und Nutzung von der Absenkung nicht betroffen werden, weil die Pflanzen auf ihnen schon vor Beginn der Wasserentnahme keinen Anschluß an das Grundwasser mehr hatten.

Literatur

1. Sunkel, R.: Gutachten über die natürlichen landwirtschaftlichen Standorteigenschaften im Gebiet nordöstlich Hövelhof mit besonderer Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse im Hinblick auf die Grundwasserentnahme der Stadtwerke Bielefeld aus der Fassung V/Mitte sowie aus der am Krollbach geplanten neuen Fassung. Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen 1965 (unveröffentlicht).
2. Wohlrab, B.: Gutachten über die natürlichen landwirtschaftlichen Standortverhältnisse im Gebiet östlich Hövelhof mit besonderer Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse und der Wasserführung des Haustenbaches im Hinblick auf die Auswirkungen der Grundwasserentnahme der Stadtwerke Bielefeld aus der Fassung V/Süd. Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen 1964 (unveröffentlicht).
3. — und Sunkel, R.: Bodennutzungsschutz und Wasserwirtschaft. Untersuchungen über die Auswirkungen von Grundwasserentzug auf die landwirtschaftliche Bodennutzung im Quellgebiet von Ems und Lippe. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen 6 (1967), 50—75.

Die Auswertung von Grundwasserstands- beobachtungen auf Sandböden zur Beurteilung der Entwässerungsmöglichkeiten

Von Dr. H. Colin, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld

Zusammenfassung

Um die Anwendbarkeit der Bohrlochmethode zur Bestimmung der Durchlässigkeit von Sandböden zu überprüfen, wurde auf drei Versuchsfeldern aus den Veränderungen des Grundwasserstandes in Abhängigkeit von den Niederschlägen der Abfluß kalkuliert. Anhand dieser Größen und der übrigen im Feld bestimmten Werte sind die Durchlässigkeiten der Sandböden auf den drei Versuchsfeldern nach der Formel von HOUGHOUTT berechnet worden. Der Vergleich der berechneten und der nach der Bohrlochmethode bestimmten Durchlässigkeiten ergibt geringe Differenzen, die sich durch Unterschiede in den Versuchsbedingungen, vor allem durch eine geringere Durchlässigkeit des Oberbodens, erklären lassen.

X. Diskussion

Leitung: Priv.-Doz. Dr. Wohlrab

HANUS: Welche Höhen des geschlossenen Kapillarsaumes oberhalb des Grundwasserspiegels in Mineralböden wurden festgestellt?

Inwieweit decken sich die Laborbefunde mit Geländebeobachtungen oder -messungen?

KUNTZE: Es ergeben sich in den Mineralböden natürlich unterschiedliche Kapillarsäume; das hängt von Textur und Struktur der Böden ab. Kapillarsäume in Mineralböden schwanken zwischen nur wenigen Zentimetern bei groben Sanden und mehreren Metern bei dichtlagerndem Tonboden.

Die Übereinstimmung zwischen den gemessenen Werten und dem draußen Festgestellten ist recht gut. Wir haben die jeweilige Feuchtigkeit (im Volumenprozent) in Beziehung gesetzt zu den Kapillaritätswerten und in etwa 80 bis 90% der Fälle recht gute Übereinstimmung gefunden.

BENECKE: Wie haben Sie den Unterschied zwischen dem offenen und geschlossenen Kapillarsaum gemessen?

Welche Beziehung zwischen dem K-Wert und der Kapillarität bestehen?

Dann möchte ich noch eine Anmerkung machen:

Für die k_f -Messung haben Sie eine Meßdauer von mehreren Stunden oder Tagen angegeben. Das leuchtet mir nicht ein. Wir messen kaum eine Probe länger als eine halbe Stunde, weil dann in den meisten Fällen der Endwert erreicht ist. Nachfolgende Änderungen dieses Wertes dürften auf eine Veränderung der

Probe durch die Beanspruchung bei der Messung selbst zurückzuführen sein und daher das Ergebnis eher verfälschen als berichtigen.

KUNTZE: Als Größe für den offenen und geschlossenen Kapillarsaum haben wir die Variationsbreite der Messungen von parallel genommenen Proben eines Horizontes oder einer Schicht genommen. Wenn ich also bei zehn parallelen Proben zehn verschiedene Kapillaritätswerte gefunden habe, dann habe ich nicht etwa diese zehn Werte verrechnet zu irgendwelchem Mittelwert, sondern ich bin davon ausgegangen, daß dann der kleinste Wert der Kapillarität Maß für den geschlossenen, der größte für den offenen Kapillarsaum sein könnte in der Annahme, daß sich bei einem Querschnitt von 25 cm² in einer Stechringprobe diese Frage hinreichend genug abgrenzen läßt.

Zur Verrechnung (k_f zur Kapillarität) habe ich nicht die Kapillarität genommen, sondern aus dem Kapillaritätsgesetz $d = 30/h$, die Zentimeter Wassersäule, die ich mit dem Gerät gemessen habe, in den Nenner gesetzt, dann den Äquivalentdurchmesser der größten Poren erhalten und diesen mit der Permeabilität in Beziehung gesetzt. Also: Porendurchmesser mit der Maßgabe, daß es sich dann um die größte kontinuierliche Pore in dem Probezylinder handelt.

„Dauer der k_f -Messung“: das ist natürlich ein „Politikum“ (je nachdem, welche Fragestellung man wählt). Man kann natürlich eine k_f -Messung nach zehn Minuten abrechnen und die Anfangsdurchlässigkeit als den Meßwert nehmen. Andere gehen so weit und sagen, ich warte, bis Konstanz eintritt; sie warten dann vergeblich. Das ist also eine sehr variable Frage, hängt auch von der Art des Bodens ab, den ich untersuche. Bei manchen geht es sehr schnell, bis sich eine konstante Filtergeschwindigkeit einstellt, manche haben auf Grund ihrer Gefügeeigenart keine Konstanz. Ich habe ja bei meinen Messungen außerdem verglichen die Durchlässigkeit innerhalb der ersten Stunde. Ich habe also noch nicht einmal sehr lange Messungen gewählt, obwohl wir manchmal bei sehr schlecht durchlässigem Boden Tage brauchen, um überhaupt eine Durchlaufmenge zu erhalten.

SCHWERDTFEGGER: Herr Scheurmann, können Sie sagen, wieweit mineralische und wieweit organische Teile an der Auskleidung beteiligt sind?

SCHEURMANN: Das ist nicht zu unterscheiden.

Wahrscheinlich sind vorwiegend mineralische Stoffe beteiligt, denn das Flußwasser enthält ja ziemlich viel Trübe, die sich in den Bodenporen festsetzt. Wie groß der Anteil organischer bzw. anorganischer Substanzen ist, kann ich nicht beurteilen.

BAUMANN: Es handelt sich um eine Kanalisierung und um abschließende Senkung der Grundwasserstände; um welche Absenkung handelt es sich als Folge des Wegfalls von Seihwasser?

SCHEURMANN: Größenordnungsgemäß ungefähr 1 bis 1,5 m. Aber das Merkwürdige ist: Durch das Hochwasser 1965 ist der Grundwasserstand wieder auf die mittlere Höhe der Jahre vor 1959 angestiegen. Wenn wir die Ganglinie von 1959 bis jetzt darstellen, ergibt sich zunächst ein stetiger Abfall; ab 1965 sind wir wieder oben, weil das Hochwasser 1965 eine Schleppspannung entwickelte, die die Grenzsleppspannung um ein beträchtliches Maß überstiegen hat. Die Reinigung des Flußschlauches war so kräftig, daß wir nach dem Hochwasser 1965

wieder etwa die alte mittlere Grundwasserhöhe hatten. Wenn in der nächsten Zeit kein Hochwasser mehr kommt, dann wiederholt sich das gleiche Spiel, und der Grundwasserspiegel sinkt wieder ab.

BAUMANN: Betrifft das die ganze Flußauwe oder geht das unter die Terrasse? Haben Sie das Grundwasser quer über die Flußauwe gemessen?

SCHOURMANN: Ja, der Vorgang betrifft die ganze Talbreite.

WOHLRAB: Ich schließe daraus, daß — zumindest in diesem Talabschnitt — das Grundwasser maßgeblich vom seitlichen Oberflächenwasserzufluß ständig beeinflußt wird; also nicht allein der Niederschlag zu einer Auffüllung des Grundwassers führt, sondern, daß auch regelmäßig Zuflüsse aus dem Oberflächengewässer in das Grundwasser kommen. Der Zufluß aus dem Oberflächengewässer ist größer als der Übertritt vom Grundwasser in das Oberflächenwasser.

SCHOURMANN: Der Hauptanteil des Grundwassers stammt aus dem Fluß. Der Fluß ist aufgesattelt (durch zwei Wehre hochgestaut), er liegt zum Teil etwas höher als das angrenzende Gelände. Dadurch tritt Seihwasser aus und speist den Grundwasserstrom. Der Anteil der Niederschläge ist verschwindend klein im Vergleich zum Anteil, der aus dem Fluß stammt.

SCHAFFER: Besteht die Möglichkeit der Annahme, daß diese Flußbettabdichtung durch zusätzliche Abwasserbelastung und damit Eutrophierung des Gewässers hervorgerufen wird?

SCHOURMANN: Ja, diese Möglichkeit besteht zweifellos! Deshalb haben wir Schlammproben auch chemisch untersucht. Es ist anzunehmen, daß ein chemischer Betrieb, der seine Abwässer in den fraglichen Bereich einleitet, einen erheblichen Anteil der „Schuld“ daran trägt, daß die Uferinfiltration in starkem Maß zum Erliegen gekommen ist. Abwässereinleitungen spielen sicher hier eine Rolle.

BENECKE: Wenn man Auböden untersucht, dann ist ja die Frage des Wasserhaushaltes (woher kommt das Wasser und welchen Bewegungen unterliegt es; welches sind die Ursachen dafür) mitunter schon ohnehin recht kompliziert. Sie wird noch zusätzlich erschwert, wenn man jetzt nicht weiß, ob das Flußbett abgedichtet ist oder nicht. Daher meine Frage: gibt es halbwegs praktisch brauchbare Kriterien, um festzustellen, ob ein Flußbett abgedichtet ist oder nicht?

SCHOURMANN: Ja, Kriterien gibt es m. E. insoweit, als man eben feststellen kann, daß der Grundwasserstand laufend absinkt. Dies um so stärker, je kleiner die Schleppspannungen sind, die der Fluß entwickelt. Eine genaue zahlenmäßige Angabe des Wasseraustrittes wird kaum möglich sein. Ich habe ja vorhin ausgeführt, es gebe zwar zahlreiche rechnerische Methoden, aber diese Methoden berücksichtigen alle nicht genügend den Übergangswiderstand an der Flußwandung. Es gibt meines Wissens kein Verfahren, mit dessen Hilfe hier eine genaue Analyse möglich wäre.

SCHAFFER: Zu dieser Frage ist kürzlich eine Dissertation von H. Radloff erschienen. Der Titel lautet: „Vergleichende Anwendung verschiedener hydrologischer Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Grundwasserwerkes.“ Diss. Braunschweig.

WOHLRAB: Mit Grundwasserstandsmessungen in Verbindung mit den Pegelmessungen wird man Auskunft darüber bekommen, ob eine Kommunikation vorhanden ist oder ob sie gestört ist.

SEYBERTH: Die Stadt München beabsichtigt, aus dem oberen Loisachtal Grundwasser in erheblichem Umfang zu entnehmen. Die Loisach wird nun zweifellos durch diese Wasserentnahme beeinflusst. Wir führen gegenwärtig einen dreimonatigen Dauerpumpversuch durch, kombiniert mit Abflußmessungen von der Loisach. Es ergibt sich aus der Kombination Grundwasserbeobachtung plus Abflußmessungen im Gewässer die Korrelation, ob eine Einspeisung ins Grundwasser oder eine Einspeisung in den Vorfluter stattfindet. Also: die kombinierte Beobachtung der Grundwasserstände verbunden mit Wasserstandsbeobachtungen und Abflußmessungen gibt die Beziehung der Einspeisung bzw. des Wasserflusses.

MÜNNICH: Unter Umständen (in einem Fall wie hier, wo der Fluß aus dem Hochgebirge kommt) bestünde eine Unterscheidungsmöglichkeit auf Grund der Isotopenzusammensetzung, weil der Niederschlag in höheren Lagen, also im Gebirge, eine andere Isotopenzusammensetzung hat als in der Vorebene.

BAUMANN: Herr Schröder, ein ehemaliger Mitarbeiter von mir, hat diese Frage untersucht, und zwar auf zwei verschiedene Arten die Weite des Flußeinflusses untersucht, wobei er vor allem die Korrelationsrechnung zwischen Flußwasserstand und Grundwasser eine Rolle spielt. Da, wo die Korrelation schlecht wird (in größerer Ferne sind relativ gute Korrelationen), nimmt Schröder einen Bereich an, bis zu dem der Fluß Einfluß hat. Er hat noch zwei weitere Methoden.

EGGELSMANN: Herr Dr. Sunkel hatte bei seinem letzten Bild auf den geschlossenen Kapillarsaum hingewiesen, der in einem Falle 13 Dezimeter, im anderen Falle 14 Dezimeter betrug. In einem Teil standen die Rüben gut, im anderen Falle schlecht. Im Verhältnis zu den großen Wachstumsverschiedenheiten bei den Rüben erscheinen mir die Differenzen im Kapillarsaum als recht gering.

SUNKEL: Nicht der geschlossene Kapillarsaum betrug 13 bzw. 14 Dezimeter, sondern der Flurabstand der im Bohrstock feststellbaren oberen Grenze des Kapillarsaumes. Es handelt sich in der Senne um reine Sande.

EGGELSMANN: Trotzdem halte ich das für sehr gering.

SUNKEL: Diese Werte wurden aber tatsächlich gemessen! Es war auf dem Bild gut zu erkennen, daß die trockenen, verwelkten Rüben neben den frischen Rüben standen. Wir haben beim Bohren dann diese beiden Daten gefunden (und uns gefreut, daß die Werte der Grenze entsprachen, die wir immer ansetzen, wenn wir im Gelände den Grundwassereinfluß beurteilen).

Wir haben auf Weiden auch solche Trockenstellen gefunden. Dort war das Ergebnis nicht ganz so eindeutig, aber doch zufriedenstellend. Entsprechend der geringeren Durchwurzelungstiefe von Weidepflanzen lag die Grenze in diesem Fall bei 8—9 Dezimetern unter Flur.

WOHLRAB: Diese Grenzen (0,8 und 1,3 m Flurabstand) bei Sandböden decken sich mit den Flurabstandsgrenzen der bodenkundlichen Kartierung. Sie hat sich sehr deutlich im Gelände gezeigt.

Auch frühere Beobachtungen von Prof. Klapp in den Senne haben zu ähnlichen Ergebnissen geführt. Er hatte festgestellt, daß in dem trockenen Jahr 1949 sich etwa bei 1,3 m deutliche Unterschiede (im Aufwuchs von Kartoffeln) gezeigt haben. Die Kartoffeln bei tieferen Wasserständen hatten welke Blätter, bei 1,3 m Flurabstand waren sie frisch.

SCHONNOPP: Sie zeigten Linien der Grundwasserabsenkung. Handelt es sich hierbei um mittlere Grundwasserabsenkungen des Jahres oder um einen Stichtag? Das könnten ja erhebliche Unterschiede sein.

SUNKEL: Es waren Jahresmittel der einzelnen Grundwasserbeobachtungsrohre, die miteinander verbunden wurden.

SCHONNOPP: Ohne Berücksichtigung der Schwankung, ohne Berücksichtigung der Amplituden?

SUNKEL: In dieser Darstellung wurde die Schwankung bewußt ausgeklammert, um die Absenkung durch die Wasserentnahme erfassen zu können. Die Grundwasserschwankung in der Senne ist sehr unterschiedlich. Das haben Untersuchungen von Dr. Wohlrab ergeben. Je geringer die Grundwasserflurabstände sind, desto geringer sind auch die mittleren Jahresschwankungen. Im Durchschnitt betragen sie 4—6 Dezimeter.

WOHLRAB: Maximal bis zu 2 Meter!

SCHONNOPP: Wenn es sich um Gebiete handelt, in denen Wasserwerke tätig sind, dann kommen ja mindestens zwei Faktoren zusammen, nämlich erstens die Absenkung durch diese Wasserentnahme und zweitens die Schwankungen der Grundwasserstände, die nun jahreszeitlich bedingt sind und auch von Jahr zu Jahr wieder verschieden sind. Haben Sie da irgendwelche Beobachtungsrohre außerhalb des Absenkungsgebietes, auf die sich diese Feststellungen dann beziehen?

Ich nehme an, daß Schadensfeststellungsverfahren stattfinden, oder wenigstens Beweissicherungsverfahren, bei denen man zwischen diesen Faktoren unterscheiden muß (dem der natürlichen Absenkung und dem der durch die Brunnen zusätzlich erfolgten Absenkung).

SUNKEL: Die Untersuchungen in der Senne wurden zunächst von Herrn Dr. Wohlrab durchgeführt, der sehr ausführliche Untersuchungen darüber angestellt hat, die auch in seiner Habilitationsschrift niedergelegt sind. In diesem Material sind die Ergebnisse von zahlreichen unbeeinflussten Meßstellen enthalten.

Meine Darstellung zeigt zum Teil Rohre im Einflußbereich des Wasserwerkes, zum Teil solche, die außerhalb des Absenkungstrichters liegen. Grundwasserbeobachtungsrohre werden vom Wasserwerk schon seit etwa zehn Jahren (vom Wasserwirtschaftsamt zum Teil noch länger) beobachtet. Sie sind alle hinsichtlich ihrer Jahresschwankung ausgewertet worden, so daß man eine gute Grundlage für die Beweissicherung hat.

EGGELSMANN: Ich habe draußen im Gelände den k_f -Wert gemessen und durch Abflußmessungen und Grundwasserbeobachtungen kontrolliert. Sie haben den Abfluß berechnet aus m und Ihren Verdunstungsmessungen und daraus k berechnet. Nun stimmen aber die im Gelände gemessenen Werte mit den

errechneten Werten sehr wenig überein. Die ersten beiden berechneten Werte waren ungefähr dreifach größer, im anderen Fall zehnfach größer als die gemessenen k -Werte. Worauf führen Sie das zurück?

COLIN: Die dritte Messung fällt etwas heraus, es liegt wahrscheinlich an folgendem: Bei der angegebenen Berechnungsmethode soll bei fallendem Grundwasserstand der Abfluß berechnet werden. Das war im vorliegenden Fall nicht möglich. Es ist keine exakte Berechnungsmethode, es handelt sich mehr um ein Kalkulieren.

In der Praxis ist es so; man soll sofort Stellung nehmen zu einem Problem. Es ist aufgefallen, daß bei Sandböden die Dränabstandsberechnung nach HOOGHOUT nicht immer mit den Erfahrungswerten übereinstimmt. Es hat sich auch aus der Beobachtung von Grundwasserständen auf Dränflächen ergeben, daß dort häufig ein höherer Anstieg auftritt, als er nach der Berechnung sein sollte. Ich vermute, daß dies daran liegt, daß bei Sandböden der Oberboden für die Dränabstandsberechnung eine größere Rolle spielt. Man müßte wahrscheinlich die geschilderten Versuche mit exakten Methoden über einen längeren Zeitraum fortsetzen.

Grundwasserentzug und Zuckerrübenenertrag

Von Dr. F. Krämer, Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen

Zur Ermittlung der Folgen einer tiefgreifenden und weitreichenden Grundwasserabsenkung für die Ertragsbildung landwirtschaftlicher Kulturen konnte nicht mehr auf die ursprünglichen Verhältnisse zurückgegriffen werden. Daher hat die Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz innerhalb des Absenkungsgebietes — am Mittellauf der Erft in der Kölner Bucht — und außerhalb — im unteren Erfttal — Ackerversuchsflächen eingerichtet, um über den Ertragsvergleich die Folgen der Absenkung erfassen zu können. Die Versuchsflächen werden in eigener Regie bewirtschaftet, so daß eine gleichmäßige Behandlung gewährleistet ist. Ein Flächenpaar wurde als Typischer Gley, das andere als Semigley angesprochen. Die Deckschichtmächtigkeit aus Auelehm beträgt jeweils etwa 150 cm.

Selbst wenn man an die Vergleichbarkeit der Flächen höchste Anforderungen stellt, ergeben sich noch erhebliche Schwierigkeiten für die Auswertung der Ertragsfeststellungen, da die lokalen Witterungsverhältnisse auf eine Entfernung von etwa 30 km zwischen den Vergleichsflächen meist differieren. Um diese Faktoren in etwa zu berücksichtigen, wurde in Anlehnung an die von KLATT (1) entwickelte Methode zur Berechnung der Beregnungsbedürftigkeit eine Witterungsmeßzahl für die jeweilige Vegetationszeit der Zuckerrüben errechnet. Die Witterungsmeßzahl und die nach KLATT ermittelte Bodenmeßzahl ergeben eine Bedürftigkeitsmeßzahl für eine zusätzliche Wasserversorgung.

Es wird also versucht, über die Berechnung der Bedürftigkeitsmeßzahl aus der jeweils differierenden Witterungsmeßzahl und einer in diesem Fall gleichbleibenden Bodenmeßzahl zu einem einheitlichen Bewertungsmaßstab zu gelangen. Dabei bleiben die Grundwasserverhältnisse der Flächen außerhalb des Absenkungsgebietes unberücksichtigt, da deren Wirkung bzw. die Folgen des Fehlens eines zusätzlichen Wasserdargebotes aus dem Grundwasser innerhalb des Absenkungsgebietes Gegenstand der Untersuchungen ist.

Legt man die errechneten Bedürftigkeitsmeßzahlen für eine zusätzliche Wasserversorgung zugrunde, dann hatten die Vergleichsflächen in nur einem von sieben Untersuchungsjahren (1959 bis 1965) gleiche Bedingungen außerhalb und innerhalb des Absenkungsgebietes (Typischer Gley: 1964; Semigley: 1960). Jeweils in diesem Jahr waren auf den Flächen mit abgesenktem Grundwasser beträchtliche Mindererträge im Vergleich mit den grundwassernahen Versuchspartzellen aufgetreten.

Insgesamt schwankten die Bedürftigkeitsmeßzahlen, die Erträge und Ertragsdifferenzen sowohl zwischen den Flächen mit und ohne Grundwasser als auch zwischen den Jahren. Zu berücksichtigen sind außerdem die verschiedenen mittleren Grundwasserstände in den Vegetationszeiten (Typ. Gley: 84—124 cm unter Flur; Semigley: 98—150 cm unter Flur). Zwischen den Witterungsbedingungen

und dem Zuckerrübenenertrag zeichnet sich jedoch insofern ein Zusammenhang ab, als mit zunehmend feuchterer Witterung die Bedürftigkeit einer zusätzlichen Wasserzufuhr abnimmt, der Ertrag bis zu einem Höchstwert ansteigt und dann offensichtlich unter dem nachteiligen Einfluß überreichlichen Wasserdargebotes wieder abfällt. Das gilt für beide Bodentypen sowohl mit als auch ohne Grundwasser.

Die Vergleichsflächen innerhalb des Absenkungsgebietes lieferten im allgemeinen geringere Zuckerrübenenerträge als diejenigen mit Grundwassereinfluß. Die Ertragsminderung durch den Grundwasserentzug wird unter zunehmend feuchterer Witterung geringer. Im außerordentlich nassen Jahr 1965 war die Ertragsdifferenz sogar positiv zugunsten der Absenkung.

Die größten Ertragsminderungen wurden gefunden, wenn es im Absenkungsgebiet trockener war als außerhalb. Ist dagegen die Witterung im Absenkungsgebiet feuchter als außerhalb, so scheinen die negativen Folgen des Grundwasserentzuges gemildert zu werden.

Auf Grund dieser vorläufigen, noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen sind durch Grundwasserentzug bei Zuckerrüben auf Typischen Gleyen und Semigleyen von der angegebenen Deckschichtmächtigkeit und Bodenart fast immer Ertragsminderungen zu erwarten, deren Ausmaß jedoch sehr stark von der Witterung während der Vegetationszeit abhängt. Nur in außerordentlich nassen Jahren dürfte es bei dieser Frucht zu positiven Auswirkungen durch Grundwasserentzug kommen.

Literatur

1. Klatt, F.: Eine Methode zur Feststellung der Beregnungsbedürftigkeit und -würdigkeit. *Wasserwirtschaft — Wassertechnik* 8 (1958), 558—560.

Der Einfluß oberflächennaher Grundwasserstände auf den Wasserverbrauch von Klee gras

Von Dr. U. Schendel, Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen der Universität Kiel

Die Veränderungen oberflächennaher Grundwasserstände werden im wesentlichen verursacht durch:

1. vertikale Einsickerung des Niederschlagswassers,
2. horizontalen Zu- bzw. Abfluß des Grundwassers,
3. vertikale Durchsickerung des oberflächennahen Grundwassers in tiefere Grundwasserstockwerke.

Schließlich ist dann aber auch 4. noch die Verdunstung an den Schwankungen der oberflächennahen Grundwasserstände beteiligt. Welche Mengen aus dem oberflächennahen Grundwasser durch Verdunstung verbraucht werden, darüber bestehen noch keineswegs einmütige Vorstellungen. Unter natürlichen Geländebedingungen ist dieser Anteil nur schwer zu ermitteln. Eine Möglichkeit, um Aufschluß über die aus dem Grundwasser durch Pflanzenverdunstung verbrauchten Wassermengen zu bekommen, bieten lysimeterähnliche Vorrichtungen mit künstlich eingestellten oberflächennahen Grundwasserständen. Da in ihnen keine horizontalen und vertikalen Fließbewegungen des Grundwassers stattfinden, können Veränderungen des Grundwasserstandes hier nur durch die Evapotranspiration verursacht sein.

HANUS, der sich ebenfalls mit dem Einfluß oberflächennaher Grundwasserstände auf die Wasserversorgung von Grünlandpflanzenbeständen beschäftigt hat, benutzte für seine Untersuchungen Bodensäulen von 10 cm ϕ in natürlicher Lagerung und mit natürlichem Pflanzenbestand, in denen er verschiedene Grundwasserstände einstellte. Aus den Differenzwerten des Feuchtegehaltes ermittelte er den Wasserentzug durch den Pflanzenbestand in den verschiedenen Schichten bei verschiedenen Grundwasserständen sowie auch die Wassernachlieferung aus dem Grundwasser. Diese Untersuchungen haben gezeigt, daß beachtliche Wassernachlieferungen aus den oberflächennahen Grundwasserständen stattfinden und daß durch Entzug des oberflächennahen Grundwassers die Erträge stark abnahmen.

In unseren Untersuchungen wurde das Hauptaugenmerk darauf gerichtet, wie hoch die Wassermengen sind, die direkt aus dem Grundwasserbereich, d. h. also aus dem Grundwasser selbst bzw. aus dem sich über dem Grundwasser ausbildenden Kapillarsaum durch die Pflanzenwurzeln entnommen werden. Es sei vorweg bemerkt, daß eine Trennung zwischen der Entnahme aus beiden Bereichen, also dem Grundwasser selbst und dem Kapillarsaum bei den Messungen mit der Vorrichtung, die gleich gezeigt werden wird, nicht möglich war, da eine Wasserentnahme aus dem Kapillarsaum ja durch Nachlieferung aus dem Grund-

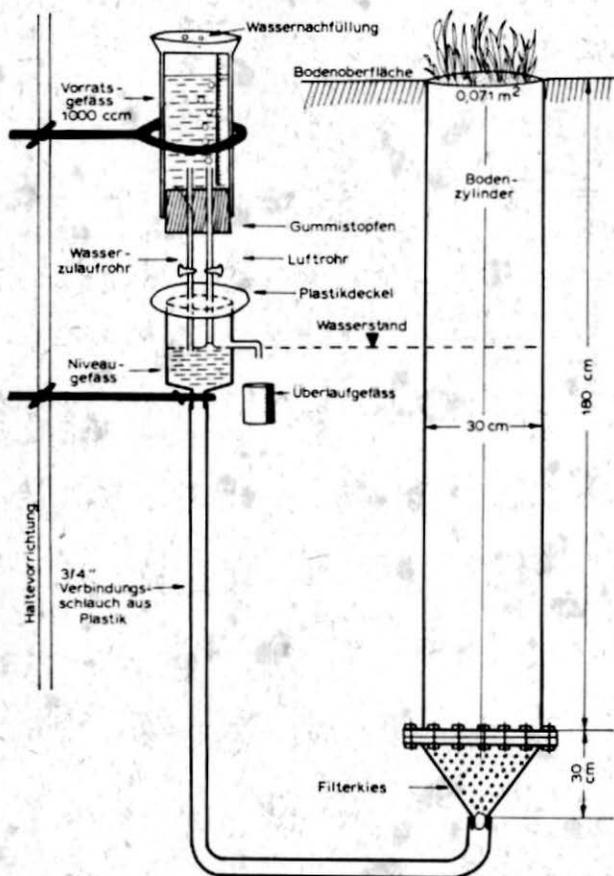


Abb. 1:
Kieler Grundwasserlysimeter

wasser immer wieder ausgeglichen wird. Deswegen wird hier auch vom Wasserentzug aus dem Grundwasserbereich gesprochen. Eine geeignete Vorrichtung zur Messung der Pflanzenverdunstung aus dem Grundwasserbereich ist das in der Abb. 1 dargestellte Gerät.

Die Vorrichtung besteht aus einem PVC-Zylinder, der mit Boden gefüllt wird. Maße: 1,80 m tief, \varnothing 30 cm, Oberfläche 710 cm². Der Boden wird künstlich eingefüllt, und zwar in der Schichtenfolge, in der er aus dem Felde entnommen wird.

An dem Trichterteil des Gefäßes ist ein $\frac{3}{4}$ -Zoll-Plastikschlauch befestigt, der die Verbindung zu einem Niveaugefäß herstellt. Mit Hilfe des Niveaugefäßes wird ein konstanter Wasserstand in dem Zylinder eingestellt. Die Wasserstände in dem Niveaugefäß und im Zylinder kommunizieren miteinander aus. Über dem Niveaugefäß befindet sich die Meßvorrichtung, bestehend aus einem 1000-ccm-Meßzylinder. Meßzylinder und Niveaugefäß sind an einer Eisenstange befestigt.

Die Verbindung zwischen dem Vorratszylinder und dem Niveaugefäß wird durch zwei Glasröhren hergestellt. Das eine Röhrchen, und zwar das rechte, dient

zur Herstellung des Luftausgleiches, während durch das linke Röhrchen Wasser aus dem Vorratszylinder in das Niveaugefäß hineinfließt.

Verdunstet nun Wasser aus dem Grundwasser in den Bodenzylinder, so reißt der Meniskus an dem rechten Röhrchen in dem Niveaugefäß ab. Luft dringt nach oben, und entsprechend der verdunsteten Wassermenge fließt Wasser durch das linke Rohr in das Niveaugefäß nach, so daß stets ein konstanter Grundwasserstand eingehalten wird. Die verbrauchte Wassermenge wird täglich an der Skala des Vorratszylinders abgelesen. Am Boden des umgedrehten Vorratszylinders sind zwei Löcher, die der Wassernachfüllung dienen.

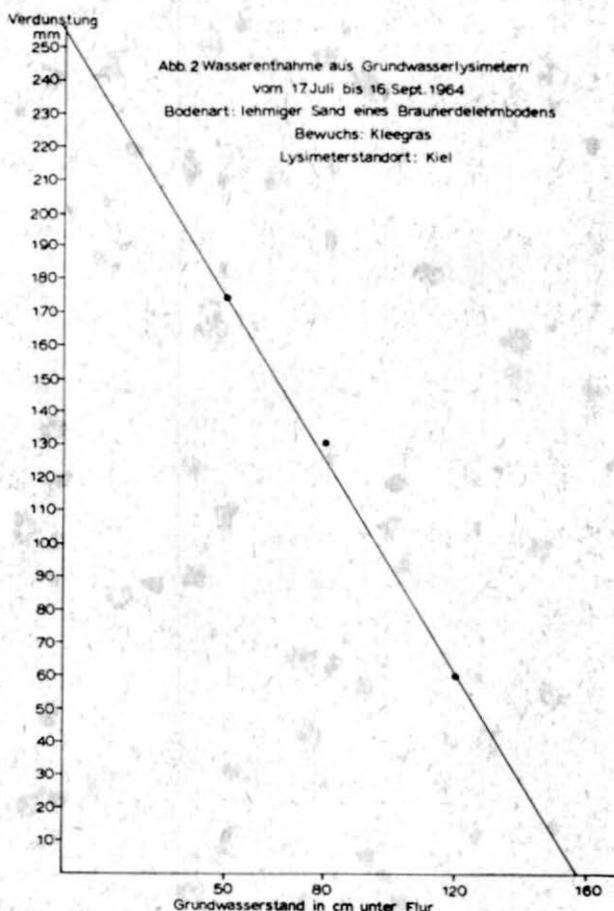


Abb. 2

Ein Anstieg des Grundwasserstandes im Bodenzylinder durch von oben einsickerndes Niederschlagswasser kann bei ein und derselben Position des Niveaugefäßes nicht erfolgen, da sämtliches Überschußwasser durch eine Auslaßöffnung am Niveaugefäß in das Überlaufgefäß abgeleitet wird.

Nachfolgend werden einige Ergebnisse von Messungen mit diesem Gerät mitgeteilt, die in den letzten zwei Jahren durchgeführt worden sind und die darüber Aufschluß geben, welche Wassermengen aus dem oberflächennahen Grundwasser an der Wasserversorgung der Pflanzen — in diesem Falle von Klee gras — beteiligt sind.

Die Abb. 2 zeigt Ergebnisse von Messungen über den Wasserverbrauch aus dem Grundwasserbereich durch einen Klee grasbestand auf einem Braunerdelehm mit überwiegendem Anteil von Deutschem Weidelgras bei drei verschiedenen Grundwasserständen (50, 80 und 150 cm) in der Zeit von Mitte Juli bis Mitte September 1964.

In den zwei Monaten von Mitte Juli bis Mitte September verbraucht das Klee gras aus dem 50 cm unter Oberfläche stehenden Grundwasser 175 mm, bei einem Grundwasserstand von 80 cm 135 mm und bei 120 cm Grundwasserstand 68 mm. Der Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden mit der Abszisse zeigt an, bis zu welcher Tiefe unter Flur auf diesem Standort das Grundwasser am Wasserverbrauch durch den Klee grasbestand beteiligt ist. Diese Tiefe ist auf dem verwendeten Braunerdelehm bei etwa 160 cm erreicht.

In Tab. 1 sind Zahlen über den Wasserverbrauch von Klee gras bei zwei verschiedenen Grundwasserständen (nämlich 50 und 100 cm) während einer längeren Meßperiode von April bis September 1965 enthalten. Die Wasserverbrauchszahlen sind monatsweise zusammengestellt, daneben sind auch die durchschnittlichen Tagesverbrauchswerte angegeben. Die Differenz aus Niederschlag minus Ablauf gibt in etwa diejenigen Wassermengen an, die aus dem Speicherraum über dem Grundwasser durch den Klee grasbestand entzogen worden sind.

Der Gesamtwasserverbrauch beträgt von April bis September bei einem Grundwasserstand von 50 cm 821 mm, bei 100 cm Grundwasserstand 752 mm. Die Wasserentnahme direkt aus dem Grundwasserbereich beläuft sich während der sechs Sommermonate 1965 bei dem Grundwasserstand von 50 cm auf 452 und bei 100 cm Grundwasserstand auf 348 mm. Umgekehrt verhält sich die Wasserentnahme aus dem Speicherraum über dem Grundwasser, die näherungsweise aus der Differenz Niederschlag minus Ablauf ermittelt werden kann. Bei 100 cm Grundwasserstand werden aus diesem Speicherraum 404 mm verbraucht, bei 50 cm Grundwasserstand dagegen nur 370 mm. Die geringere Entnahme aus dem Speicherraum über dem Grundwasser bei 50 cm Grundwasserstand gegenüber 100 cm Grundwasserstand ist darauf zurückzuführen, daß die Pflanzen bei sehr hohem Grundwasserstand ihren Wasserbedarf in stärkerem Maße aus dem hoch anstehenden, leichtverfügbaren Grundwasser decken und infolgedessen den Speicherraum über dem Grundwasser nicht ganz so stark beanspruchen als bei dem tieferen Grundwasserstand von 100 cm unter Flur.

Bemerkenswert ist die wechselseitige Ergänzung der Bodenfeuchte und des Grundwassers bei der Wasserversorgung des Klee grasgemisches. Sie kommt darin zum Ausdruck, daß die Pflanzen den beginnenden Wassermangel im Speicherraum über dem Grundwasser im Mai, noch stärker aber im Juni, durch starke Rückgriffe auf das Grundwasser kompensieren. Die sehr starken Juliniederschläge bewirken dann aber, daß in diesem Monat bei im Vergleich zum Vormonat geringeren Entzügen aus dem Grundwasser die Speicherzone über dem Grundwasser wiederum den Hauptanteil an der Wasserversorgung der Pflanzen

Tabelle 1:

Wasserbilanz in Grundwasserlysimetern von April bis September 1965

Bewuchs: Klee gras

Boden: Parabraunerde

	April		Mai		Juni		Juli		August		September		April bis September gesamt	
	Monat mm	Tag mm	mm	mm										
Niederschlag	65,8	—	68,1	—	57,7	—	165,8	—	58,1	—	94,4	—	509,9	—
Abfluß														
bei GW-Stand 50 cm	50,2	—	24,4	—	0,1	—	36,6	—	4,3	—	24,4	—	140,0	—
bei GW-Stand 100 cm	48,7	—	25,8	—	0,6	—	15,6	—	3,2	—	11,8	—	105,7	—
Entnahme aus dem Bodenfeuchtespeicher- raum														
N—A bei GW-Stand 50 cm	15,6	0,5	43,7	1,4	57,6	1,9	129,2	4,2	53,8	1,7	70,0	2,3	369,9	2,0
N—A bei GW-Stand 100 cm	17,1	0,6	42,3	1,4	57,1	1,9	150,2	4,9	54,9	1,8	82,6	2,8	404,2	2,2
Entnahme														
aus GW bei 50 cm	2,4	0,1	51,0	1,6	126,3	4,2	72,5	2,3	131,1	4,2	68,2	2,3	451,5	2,4
aus GW bei 100 cm	0,6	0,2	36,4	1,2	105,4	3,5	55,6	1,8	98,3	3,2	51,3	1,7	347,6	1,9
Verbrauch insgesamt														
bei GW 50 cm	18,0	0,6	94,7	3,0	183,9	6,1	201,7	6,5	184,9	5,9	138,2	4,6	821,4	4,4
bei GW 100 cm	17,7	0,8	78,7	2,6	162,5	5,4	205,8	6,7	143,2	5,0	133,9	4,5	751,8	4,1

GW = Grundwasser

übernimmt. Relativ geringe Niederschläge im August führen zu einer abermaligen Wasserverknappung in der Speicherzone über dem Grundwasser. Wiederum erhöht sich der Verbrauch aus dem Grundwasser — bei 50 cm Grundwasserstand naturgemäß stärker als bei 100 cm. Höhere Niederschläge im September lassen schließlich dann den Wasserverbrauch aus dem Bodenfeuchtespeicherraum wieder ansteigen.

In Tab. 2 sind die Trockenmassenerträge des Kleeegrases ohne Grundwasserstand sowie bei 50 und 100 cm Grundwasserstand unter Flur aufgeführt.

Tabelle 2:

Trockenmassenerträge¹⁾ von Klee gras in g/Grundwasserlysimeter bei zwei verschiedenen Grundwasserständen
(Bodenoberfläche der Lysimeter 706 cm²)

Schnitte	Ertrag	Ohne Grundwasserstand g	GW 50 cm unter Flur g	GW 100 cm unter Flur g
1. Schnitt	1. 6.	86	73	79
2. Schnitt	5. 7.	41	78	72
3. Schnitt	15. 8.	55	83	88
1.—3. Schnitt		182	234	239

¹⁾ Mittel aus zwei Wiederholungen.

Beim ersten Aufwuchs blieben die hohen Grundwasserstände ohne Einfluß auf die Erträge. Es ist sogar ein leichter Ertragsrückgang festzustellen. Solange ausreichend Feuchtigkeit zur Verfügung steht, bleiben hohe Grundwasserstände zur Zeit des ersten Aufwuchses im Frühsommer ohne Wirkung. Die Erwärmung und Durchlüftung des Bodens wird durch zu hohe Wasserstände behindert.

Demgegenüber sind aber die Erträge des 2. Aufwuchses durch die hohen Grundwasserstände nahezu verdoppelt worden, im 3. Aufwuchs wurden sie um mehr als die Hälfte gesteigert. Der tiefere Grundwasserstand von 100 cm unter Flur hatte dieselbe Wirkung wie der höhere Grundwasserstand von 50 cm unter Flur.

Was ist nun aus diesen Ergebnissen zu folgern bzw. was darf aus ihnen nicht gefolgert werden? Darüber abschließend einige Bemerkungen.

Zweifellos herrschen in dem beschriebenen Grundwasserlysimeter Verhältnisse, die den natürlichen Bedingungen nicht voll gerecht werden, und zwar insofern als

1. der Boden künstlich eingefüllt wurde,
2. das Grundwasser abgesehen von der Zufuhr des durch den Bestand verbrauchten Wassers aus dem Vorratszylinder weitgehend stagnierte,
3. der sog. Oaseneffekt, der sich darin äußert, daß die Verdunstung eines gut mit Wasser versorgten Bestandes in trockener Umgebung überhöhte Werte liefert, wirksam ist. Er kann aber wohl in dem feuchten Seeklima Schleswig-Holsteins als relativ gering veranschlagt werden.

Schließlich ist zu bemerken, daß Deutsches Weidelgras, das hauptanteilmäßig in der Kleegras-Mischung vertreten war, eine hygrophile Grasart ist, die ihre Wurzeln besonders stark in feuchte Grundwasserbereiche hinein entwickelt. Ob andere Gewächse imstande sind, ähnlich hohe Wassermengen aus dem Grundwasserbereich zu entnehmen, bleibt weiteren Messungen vorbehalten.

Mit diesen versuchsbedingten Nachteilen sind die dargelegten Ergebnisse behaftet.

Stellt man diese Nachteile nun wohl in Rechnung, so kann aber andererseits aber auch kein Zweifel daran bestehen, daß oberflächennahe Grundwasserstände auf dem hier verwendeten Boden bis zu etwa 150 cm Tiefe unter Flur zu beachtlichen Anteilen an der Pflanzenwasserversorgung auch im feuchten Bereich des norddeutschen Küstenklimas beteiligt sind. Das haben diese Messungen wohl gezeigt.

Unsere vor zwei Jahren auf dem Kolloquium in Kiel im Anschluß an eine Frage von Eggelsmann geäußerte Ansicht, wonach in den Niederungen der von uns untersuchten Einzugsgebiete die Verdunstung bei hohen Grundwasserständen nicht wesentlich ansteigt, bedarf also der Korrektur. Diese Ansicht stützte sich seinerzeit auf nur sehr kurzfristige, gerade erst angelaufene Messungen.

L i t e r a t u r

H a n u s, H.: Wurzelprofil und Wasserversorgung der Grasnarbe bei verschiedenen Grundwasserständen. Diss. Bonn 1962.

Die Versickerung von Wasser und Nährstoffen in drei verschiedenen Bodenarten nach Messungen am Lysimeter des Agrikulturchemischen Instituts Weihenstephan¹⁾

Herrn Prof. Dr. Ed. Hofmann zum 70. Geburtstag gewidmet

Von Priv.-Doz. Dr. Georg Hoffmann, Hauptversuchsanstalt für Landwirtschaft, Weihenstephan

Der Wasserhaushalt des Bodens beeinflusst in besonderem Maße auch seinen Nährstoffhaushalt. Im humiden Gebiet herrscht dabei die Tendenz zur Versickerung größerer Mengen an gelösten Stoffen vor, die dann im Grundwasser erscheinen. Seit langem studiert man diese Verhältnisse in Lysimetern. Die Weihenstephaner Anlage wurde in den Jahren vor dem zweiten Weltkrieg nach den Angaben von GERLACH (3) erbaut und von uns an anderer Stelle bereits kurz beschrieben (HOFMANN und HOFFMANN, 4). Sie ist nicht wägbar und hat freien Ablauf, so daß die Wirkung hängender Menisken nicht ausgeschaltet werden kann.

Die Lysimeteranlage besteht aus insgesamt 13 Becken von je 4 m² Oberfläche und 1 m Tiefe. Eines davon ist mit einem Trichter aus Drahtglas ohne bloßliegende Metallteile abgedeckt und dient als Regenmesser. Je 4 der übrigen Becken enthalten drei ihrer Natur nach sehr verschiedene Böden. Die Gefäße 1—4 waren im Versuchszeitraum mit Miocänsand, 5—8 mit Schotterbodenkrume von der Münchener Schotterebene und 9—12 mit Quartärdecklehm von unserem Versuchsfeld I in der gesamten Tiefe angefüllt.

Der Sand enthält weniger als 5% abschlämmbare Teile, er ist praktisch humus- und carbonatfrei, sehr glimmerreich und liegt in Elementargefüge vor. Der Boden der Schotterkrume ist als humushaltiger, kalkhaltiger, sandiger Lehm anzusprechen, mit etwa 40% Abschlämmbarem, bezogen auf humusfreie und kalkfreie Mineralsubstanz. Er enthält 3,8% ges. org. Substanz und rund 16% Carbonate. Der Quartärdecklehm, ein umgelagerter Löß, hat rund 45% Abschlämmbares, ist praktisch frei von Carbonaten und mit 1,6% an ges. org. Substanz humusarm.

Der Lysimeter war im Versuchszeitraum mit einem Strohdüngungsversuch mit steigenden Strohgaben bei gleicher mineralischer Düngung bestellt, der keinen signifikanten Einfluß auf die Sickerwässer und die mit ihnen ausgewaschenen Nährstoffe ausübte. In manchen Jahren konnte man lediglich eine Tendenz zur Senkung der Verluste bei größeren Strohgaben beobachten. Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Wasserproben waren daher allein vom Klima, den drei Böden und ihrem Bewuchs abhängig.

¹⁾ Der Verfasser dankt an dieser Stelle dem früheren Direktor des Agrikulturchemischen Instituts, Herrn o. Prof. emer. Dr. Ed. HOFMANN, für sein Einverständnis, die vom Verfasser erarbeiteten Daten noch vor einer zusammenfassenden Veröffentlichung für diesen Vortrag benutzen zu dürfen.

Wie bei allen Lysimetern gleicher Bauart können die Messungen nicht als Unterlagen einer echten Bilanzrechnung benützt werden; sie bieten aber sehr gute Vergleichsmöglichkeiten der relativen Durchlässigkeit verschiedener Böden für Wasser und Nährstoffe bei gleichen Niederschlagsverhältnissen.

Regen- und Sickerwasser wurden in großen, innen mit einem inerten Anstrich versehenen Metallgefäßen aufgefangen und gemessen. Monatlich, bei Anfall größerer Wassermengen auch öfter, wurde ein aliquoter Teil in Sammelgefäße aus Polyäthylen gegeben: Diese Wässer wurden vierteljährlich auf pH, Leitfähigkeit, KMnO_4 -Verbrauch, N-Fractionen und den Gehalt an HCO_3 , SO_4 , P_2O_5 , Cl, Na_2O , K_2O , CaO und MgO untersucht.

Über die Ergebnisse im einzelnen, die angewandten Methoden und verschiedene Spezialprobleme wird an anderer Stelle berichtet werden. Hier soll ein Überblick über die Befunde einer sechsjährigen Periode (1957—1962) gegeben werden, in der Jahre mit extremen Unterschieden in der Niederschlagstätigkeit auftraten. Die Mittelwerte dürften somit einem echten Durchschnitt sehr nahe kommen.

Die Ergebnisse sind als Mittel eines Kalenderjahres angegeben, in dessen Verlauf ein sehr charakteristischer Rhythmus in der Wasser- und Nährstoffbewegung in den einzelnen Böden auftritt, der sich unabhängig von der absoluten Niederschlagsmenge mit konstanter Regelmäßigkeit wiederholt. Dieser Rhythmus wurde durch Zusammenfassung der Werte für die Monate April bis September (als der Vegetationszeit) und der Werte für Januar bis März plus Oktober bis Dezember (als der Winterszeit) dargestellt, wie der Tabelle 1 zu entnehmen ist.

Im Durchschnitt von sechs Jahren waren rund 750 mm Niederschläge jährlich gefallen, von denen fast 60% auf die Vegetationszeit und 40% auf den Winter entfielen. Die Schwankungsbreite der wirklich gemessenen Mengen ist in der Tabelle in Klammern angegeben. Von der Gesamtmenge versickerte in dem sehr leichten Sandboden 63%, im humosen Schotterboden und im bindigen Lehm nur je rund 35%. Von den in der Vegetationszeit fallenden Niederschlägen gelangt im Sand ziemlich genau die Hälfte in den tieferen Untergrund, in den beiden anderen Bodenarten aber nur etwa $\frac{1}{6}$. Hier steht den Pflanzen somit eine erheblich größere Wassermenge zur produktiven Nutzung zur Verfügung als im Sand. Sogar im vegetationslosen Winter sind Schotterkrume und Lehm noch begünstigt, denn sie verlieren nur $\frac{2}{3}$ der fallenden Niederschläge gegenüber $\frac{4}{5}$, die im Sand verlorengehen.

Legt man der Verteilung auf Sommer und Winter die Jahressickerwassermengen zugrunde, so zeigt der Sand praktisch keine Periodizität; die beiden anderen Böden verhalten sich wiederum sehr einheitlich und verlieren im Sommer ungefähr $\frac{1}{4}$, den Rest im Winter.

Diese Verhältnisse ändern sich nicht, selbst wenn ein Bestand von Winterweizen vorhanden ist. Ähnliche Befunde unter Rasen sind aus der Literatur bekannt (GEERING, 2), wonach unbewachsener Boden im Winter nur etwa 1% mehr Wasser verlor als ungedüngter Rasen. Im Sommer hingegen betrug die Einsparung durch Rasenwuchs bis zu 26%. In Ermangelung eines unbewachsenen Kontrollbeckens konnte der Einfluß der Vegetation nicht so deutlich gezeigt werden, doch ist zu erkennen, daß durch den geschlossenen Pflanzenwuchs auf Schotter-

Tabelle 1:

Niederschläge und Versickerung

Herkunft der Wassermengen	Wassermenge in mm 6jähr. Durchschnitt 1957—1962		
	Jahressumme	Vegetationszeit	Winter
	Januar—Dez.	April—Sept.	Januar—März und Okt.—Dez.
Niederschläge	100 ¹⁾	59	41
	751 (589—833) 100 ²⁾	444 (369—589) 100	307 (220—437) 100
Versickerung			
Miocänsand O. S. 0,09‰ T-Wert: 5,6 mval	100 475 (336—589) 63	48 228 (165—339) 51	52 247 (156—387) 80
Schotter O. S. 3,84‰ T-Wert: 22,3 mval	100 257 (198—378) 34	28 72 (15—134) 16	72 185 (111—351) 60
Lehm O. S. 1,61‰ T-Wert: 17,1 mval	100 264 (188—401) 35	27 72 (12—138) 16	73 192 (111—370) 62

¹⁾ Horizontal: Prozentuale Aufteilung der Jahresmenge auf Vegetationszeit und Winter.

²⁾ Vertikal: Sickerwassermenge in % der Niederschläge des betreffenden Zeitraumes.

boden und Lehm im Sommer ein erheblich besserer Schutz vor Versickerung der Niederschläge gegeben ist als auf dem nur schütter bewachsenen Sand.

Für den Wasserhaushalt eines Bodens ist die Schnelligkeit der Versickerung von großer Bedeutung. In diesem Kolloquium hat der Beitrag von BLUME, MÜNICH und ZIMMERMANN mit tritiiertem Wasser gezeigt, daß beträchtliche Zeiträume verstreichen, bis das markierte Wasser auf die Tiefe von 1 m vordringt. In den Weihenstephaner Untersuchungen ließen sich nur in Jahren mit einer abgeschwächten Periodizität des sonst deutlich ausgeprägten sommerfeuchten Klimas Schlüsse auf die Versickerungsgeschwindigkeit ziehen. In solchen Jahren spendeten die Ausläufe der Becken nach relativ trockenen Wintern selbst beim Miocänsand kurz nach starken sommerlichen Niederschlägen kein Wasser. Die Phasenverschiebung konnte bei dieser Bodenart für eine 1 m tiefe Schicht mehrere Tage betragen, in den beiden anderen lag sie bei rund einem Vierteljahr. Juni—Juli gefallenes Wasser drang bis zum September—Oktober in 1 m Tiefe vor und wurde dann erst durch den Druck der Herbstniederschläge zum Austreten gebracht.

Die Auswaschung der Nährstoffe folgt im Prinzip der Versickerung der Niederschläge, ein unmittelbarer Zusammenhang mit der Düngung ist nicht zu beobachten. Als Beispiel wird Stickstoff näher behandelt und dabei dieselbe Auftei-

lung für die Zufuhr aus der Atmosphäre und den Verlust wie bei den Wässern (Tab. 2) vorgenommen.

Durch die Niederschläge wurden dem Boden unter den Weihenstephaner Bedingungen im sechsjährigen Durchschnitt 10 kg Gesamtstickstoff pro ha und Jahr zugeführt, rund $\frac{2}{3}$ davon als Nitrat. Etwa 60% davon entfielen auf die Vegetationszeit, die auch den gleichen Anteil der Jahresniederschläge brachte. Diese Werte entsprechen den Angaben der Literatur für Untersuchungsstellen mit vergleichbarer örtlicher Lage. Sie sind nur ein Bruchteil der mit der mineralischen Düngung zugeführten Gaben, die vornehmlich zu Beginn der Vegetationszeit ausgebracht werden.

Die Stickstoff-Auswaschung übertrifft die Zufuhr aus den Niederschlägen um das $6\frac{1}{2}$ - bis 10fache. Den geringsten jährlichen Verlust wies der Lehmboden auf (65,8 kg), es folgte der Sand (84,7 kg), dann der Schotterboden (99,5 kg).

Im Miocänsand verteilt sich die Auswaschung zu gleichen Teilen auf Vegetationszeit und Winter, in den beiden übrigen Böden sind die Relationen $\frac{1}{3}$ zu $\frac{2}{3}$. Der N-Verlust folgt damit eng der Wasserversickerung, deren prozentuale

Tabelle 2:

Stickstoffzufuhr und Auswaschung

Herkunft des Stickstoffs	kg Gesamt-N/ha 6jähr. Durchschnitt 1957—1962			
	Jahr	Vegetationszeit	Winter	
Niederschläge	100	59	41	
		(59)	(41)	
	10,0 (7,7—14,4) NO ₃ -N 63,4%	5,9 (4,8—9,1) 63,0%	4,1 (2,4—7,5) 63,5%	
Versickerung	Miocänsand	100	49	51
			(49)	(51)
		84,7 (46—128) NO ₃ -N 93,0%	41,2 (11—104) 91,5%	43,5 (31—69) 92,5%
Schotter	100	24	76	
		(28)	(72)	
	99,5 (54—147) NO ₃ -N 94,5%	24,1 (4—53) 93,8%	75,4 (37—137) 94,0%	
Lehm	100	26	74	
		(27)	(73)	
	65,8 (54—106) NO ₃ -N 90,4%	18,2 (1—40) 91,0%	47,6 (28—93) 90,1%	

Prozentuale Aufteilung der Jahresniederschläge bzw. Sickerwasser auf Vegetationszeit und Winter; in Klammern: gleiche Aufteilung der N-Mengen.

Aufteilung in den drei Bodenarten auf die beiden Jahreshälften annähernd die gleiche war wie bei Stickstoff.

Die Bodenart spielt für die N-Auswaschung eine viel wesentlichere Rolle als die N-Düngung, denn letztere war auf allen drei Böden gleich und betrug im Untersuchungszeitraum 490 kg Rein-N/ha. Im bindigen Lehm wurden im gleichen Zeitraum nur 395 kg N ausgewaschen. Der durchlässige Sand verlor mit 510 kg etwas mehr, als durch Düngung zugeführt wurde, und der humose Schotterboden mit 597 kg erheblich mehr.

Unter Berücksichtigung der im gleichen Zeitraum aus der Luft zugeführten 60 kg N verbleibt für den Schotterboden noch ein Defizit von etwa 50 kg Stickstoff in sechs Jahren, während die beiden übrigen Böden einen Gewinn zu verzeichnen hätten.

Betrachtet man den versickerten Stickstoff aus dieser Sicht, so ist kaum anzunehmen, daß der im Sickerwasser auftretende Anteil mit der im gleichen Jahr gegebenen mineralischen Düngung auf einem tätigen, bindigen Boden im unmittelbaren Zusammenhang steht. Aus der Versickerungsgeschwindigkeit ist zu folgern, daß die im Sommer ausgewaschenen geringen Mengen nicht aus der gleichzeitig gegebenen mineralischen N-Düngung stammen können. Diese wird nach langjährigen Versuchsergebnissen durch den wachsenden Pflanzenbestand zu 60—80% genutzt. Nach Versuchen mit ^{15}N (GADET und SOUBIES, 1) in einem vegetationslosen Lysimeter wird nicht ausgewaschener N aus der Düngung in gesunden Böden von Mikroorganismen in Körpersubstanz übergeführt und geht somit vorübergehend in das Kapital des bodeneigenen Stickstoffs über.

Es ist daher gerechtfertigt, mit PFAFF (5) zu folgern, daß aus bewachsenem Boden ausgewaschener Stickstoff in den üblicherweise in Sickerwässern auftretenden Mengen von nicht mehr als etwa 100 kg/ha und Jahr vornehmlich bodeneigener Stickstoff ist und aus der organischen Substanz stammt. Örtlich können selbstverständlich andere Bedingungen vorliegen, wenn z. B. der Boden extrem leicht, der Weg bis zum Grundwasser sehr kurz und der Boden vielleicht zusätzlich noch biologisch untätig ist oder wenn extrem hohe Stickstoffgaben evtl. zum Großteil zu ungünstigen Zeiten gegeben werden.

Tabelle 3:

Überblick über die Gesamtversickerung im Lysimeter Weihestephan

Auswaschung an	Jahressumme			Prozentualer Anteil an der Jahressumme während					
	mm Sickerwasser bzw. kg/ha Nährstoffverlust			Vegetationszeit			Winter		
	Sand	Schotter	Lehm	Sand	Schotter	Lehm	Sand	Schotter	Lehm
Sickerwasser	475	273	285	48	28	27	52	72	73
Gesamt-N	84,7	99,5	65,8	49	24	26	51	76	74
P ₂ O ₅	11,37	0,36	2,46	56	69	38	44	31	62
K ₂ O	30,8	6,5	8,5	53	28	30	47	72	70
CaO	534	616	464	49	27	27	51	73	73
HCO ₃	522	647	543	51	27	26	49	73	73
SO ₄	363	349	361	45	21	22	55	79	78
MgO	106	97	121	50	25	26	50	75	74
Cl	93	52	44	60	22	25	40	78	75
Na ₂ O	40	31	47	52	27	29	48	73	71

Die übrigen in diesen Untersuchungen bestimmten Nährstoffe zeigten das gleiche Auswaschungsbild wie Stickstoff (Tab. 3), mit Ausnahme von P_2O_5 , dessen Verhalten jedoch aus der speziellen Dynamik der Phosphate im Boden verstanden werden muß. Lediglich im Sand, der an Sesquioxiden und Calcium arm ist, besteht für diesen Nährstoff kaum eine Tendenz zur Überführung in schwerlösliche Verbindungen. Nur hier ist überhaupt eine nennenswerte Phosphatauswaschung vorhanden, die auch mit den Sickerwassermengen parallel geht.

Literatur

1. Gadet, L., und Soubies, L.: Symposium über die Verwendung radioaktiver Stoffe in der Humusforschung, Braunschweig-Völkenrode, S. 14, September 1963.
2. Geering, J.: Landw. Jahrb. d. Schweiz 1943, S. 107.
3. Gerlach, W.: Landw. Jahrb., **64**, 701 (1962).
4. Hofmann, Ed., und Hoffmann, Gg.: Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkunde **97** (124), 97 (1962).
5. Pfaff, W.: Z. Acker- u. Pflanzenbau **117**, 77 (1963).

Zum Einsatz von Lysimetern zur Klärung des dampfförmigen Wasseraufstiegs aus dem Grundwasser

Von Dr. B a h r, Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen

1. Einleitung

Anlaß zu den im folgenden beschriebenen Lysimeterversuchen gaben Untersuchungen über die Auswirkungen der Entsümpfungsmaßnahmen im Rheinischen Braunkohlengebiet auf Bodenwasserhaushalt und Bodenfruchtbarkeit. Dabei gewinnt die Frage nach den Voraussetzungen und möglichen Auswirkungen eines dampfförmigen Wasseraufstiegs aus dem Grundwasser dann entscheidende Bedeutung, wenn nach einem Absinken des Grundwassers jeglicher unmittelbare Kontakt zwischen Grundwasser sowie ggf. Kapillarsaum einerseits und dem durchwurzelten Bodenbereich andererseits unterbunden ist.

Zur Klärung dieser Frage wurden Lysimeterversuche eingerichtet, deren Aufgabenstellung vorerst auf die grundsätzlichen Fragen beschränkt ist ob ein dampfförmiger Wasseraufstieg aus dem Grundwasser festzustellen ist, und ob dieser in einer Größenordnung liegt, die als Wachstumsfaktor von Bedeutung sein kann.

2. Versuchsanlage, Meßprogramm

Die Lysimeteranlage besteht nach Abb. 1 aus nicht wägbaren Lysimetergefäßen von 1 m² Querschnitt, und zwar aus einer Gefäßgruppe mit freiem Abfluß und einer Gefäßgruppe, bei der ein konstanter Grundwasserstand von -140 cm und GOK gehalten wird. Der Bodenaufbau in den Gefäßen wurde entsprechend der Aufgabenstellung vorgegeben, die verschiedenen Bodenarten schichtenweise eingefüllt.

Neben der Erfassung der Witterungsdaten Niederschlag, Lufttemperatur, -feuchtigkeit und -druck enthält das Meßprogramm folgende tägliche Messungen:

Kontrolle des Grundwasserstandes, ggf. Nachfüllen auf den Richtwert und Feststellung des Grundwasserverbrauches aus der Nachfüllmenge, und Messung der Gefäßabflüsse und Vergleich der Abflüsse aus den beiden Gefäßgruppen, ggf. Feststellung des Grundwasserverbrauches aus den Abflußdifferenzen.

Ferner wird der Aufwuchs auf den Gefäßen regelmäßig beobachtet sowie eine Ertragsfeststellung durchgeführt. Eine wichtige Ergänzung des Meßprogramms ist die Bodenfeuchtebestimmung mittels Neutronensonde. Mit diesen noch im Anfangsstadium befindlichen Messungen soll vor allem die Wasserbewegung im Boden selbst verfolgt werden.

3. Versuchsergebnisse 1964

Die Lysimeteranlage wurde im August 1963 auf dem Versuchsgelände in Watterscheid-Höntrop eingerichtet. Das Prinzip der Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse wird am Versuchsjahr 1964 aufgezeigt, in dem in der Vegetationsperiode ein verhältnismäßig hohes Niederschlagsdefizit bei über dem Durchschnitt liegender Lufttemperatur zu beobachten war. Hierdurch können einerseits die Voraussetzungen für ein Dampfdruckgefälle auf Grund unterschiedlicher Wasserbindungskraft des Bodens zeitweise gegeben gewesen sein. Andererseits sind im Frühjahr und Spätherbst infolge von Temperaturunterschieden zwischen der Bodentiefe -50 cm und -100 cm die Voraussetzungen für ein Dampfdruckgefälle vom Grundwasser zur Deckschicht angezeigt.

Ergebnisse:

Ein Nachfüllen zur Ergänzung des Grundwasservorrats war an keinem Tag des gesamten Zeitraumes erforderlich. Unter Berücksichtigung der Ablesegenauigkeit am Grundwasserpeilrohr sind demzufolge dem Grundwasser keine Tagesmengen von mehr als 300 cm^3 durch eine Umwandlung in Wasserdampf entzogen worden.

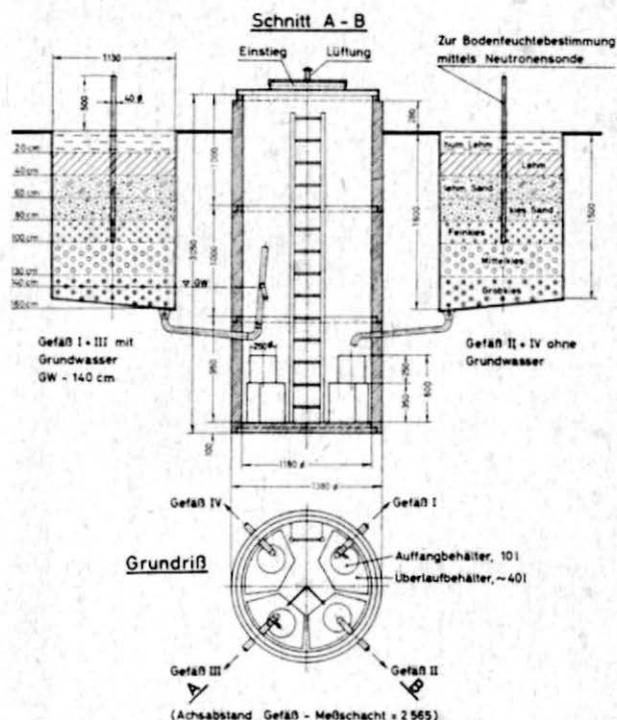


Abb. 1

Die Abflußwerte, die in Abb. 2 als Mittelwerte der Gefäßgruppen für Dekadenzeitspannen in einer Summenlinie und als Abflußdifferenz aufgetragen sind, geben jedoch Hinweise auf einen dampfförmigen Wasseraufstieg. Und zwar

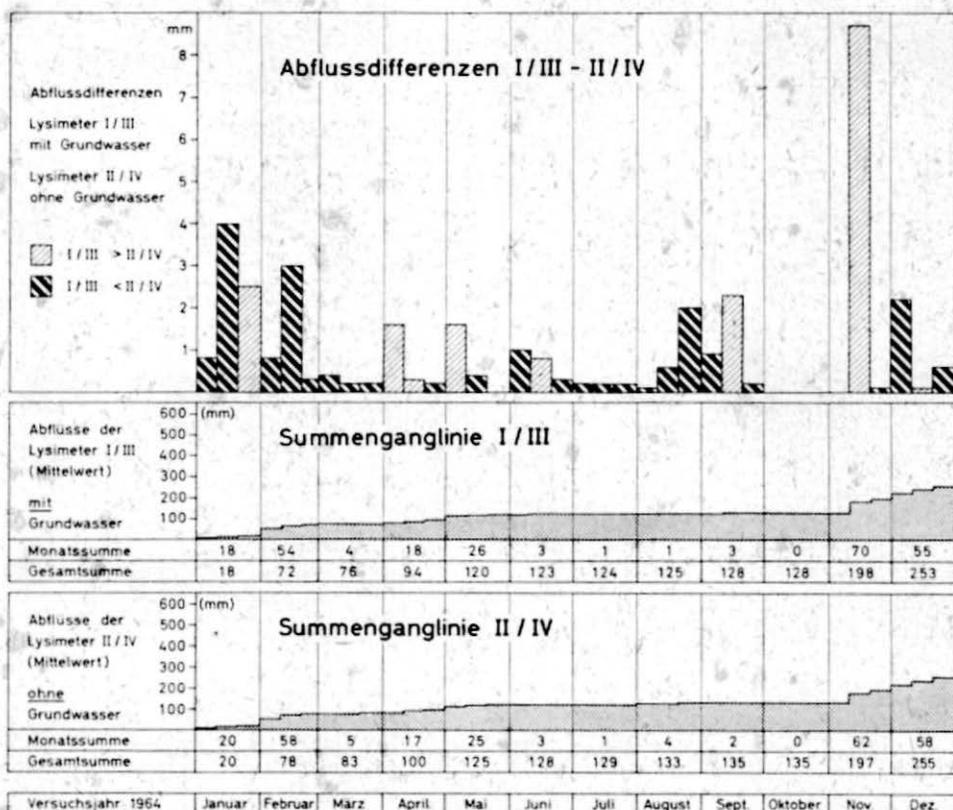


Abb. 2

zeichnet sich im Zeitraum Januar—März eine Periode ab, in der die Abflüsse aus der Gefäßgruppe mit Grundwasser kleiner sind als die Abflüsse aus der Gefäßgruppe ohne Grundwasser. Die Differenzmenge, die einer in dampfförmiger Phase aus dem Grundwasser aufgestiegenen Wassermenge entsprechen könnte, beträgt 8,2 mm entsprechend 8,2 l. Des weiteren zeichnet sich von der dritten Junidekade bis zur ersten Septemderdekade eine Periode ab, in der die Abflüsse der Gefäßgruppe mit Grundwasser ebenfalls kleiner sind als die der Gefäßgruppe ohne Grundwasser. Die Differenzmenge beträgt in diesem Fall 4,5 mm entsprechend 4,5 l.

In den Ertragswerten (Anbaufrucht Winterweizen, Nachfrucht Markstammkohl) lassen sich jedoch im Aufwuchs keine Unterschiede zwischen beiden Gefäßgruppen feststellen, die auf einen dampfförmigen Wasseraufstieg aus dem Grundwasser schließen lassen.

4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Versuchsjahres 1964 müssen als nicht gesichert angesehen werden, weil das bislang erarbeitete Zahlenmaterial noch keine vollständige sta-

tistische Auswertung gestattet. Das gleiche gilt für die hier aus Gründen der Raumersparnis nicht angeführten Ergebnisse der Versuchsjahre 1965. Im Hinblick auf die Problematik von Lysimeterversuchen müssen diese beiden Versuchsjahre ohnehin als Anlaufjahre angesehen werden.

Eine ausführliche Veröffentlichung mit theoretischen Grundlagen, eingehender Erörterung der Versuchsergebnisse sowie der vorgesehenen Erweiterung des Meßprogramms ist vorgesehen in der Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

Literatur

1. Heide, G.: Bodenkundliche Fragen zur Grundwasserabsenkung im Erftgebiet. Braunkohle, Wärme und Energie, Band 12, 1960, Heft 3.
2. Fiedler, J., und Reissig, H.: Lehrbuch der Bodenkunde. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1964.
3. Olbertz, M.: Über die am Standort des Kulturbodens erfaßbaren Größen des Wasserhaushaltes. Wissenschaftliche Abhandlungen Nr. 23, Akademie-Verlag, Berlin 1957.
4. Trénel, M.: Über Kondensationsvorgänge im Boden. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Sitzungsberichte Band III, Heft 6.
5. Wechmann, A., und Narbe, S.: Hydrologie. VEB-Verlag für Bauwesen, Berlin 1964.
6. Wohlrab, B.: Untersuchungen über die Auswirkungen des Grundwasserentzuges auf die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturen. Der Kulturtechniker, 47. Jg., 1959, November/Dezember.
7. Zunker, F.: Das Verhalten des Bodens zum Wasser. Blanck's Handbuch der Bodenlehre, Bd. VI, 1930, zitiert bei (4).

XI. Diskussion

Leitung: Priv.-Doz. Dr. Kuntze

VAN EIMERN: Herr Dr. Krämer brachte eine Meßzahl zum Vergleich der Erträge. Diese Meßzahl enthält eine Klima- und eine Bodenmeßzahl. Die Klimameßzahl ist das etwa Fünffache der Mitteltemperatur April bis September.

Kann man so stark vereinfachen, daß man die Temperatur April—Mai gleich wertet, wie die Temperatur Juli—August? Müßte man nicht den Wachstumsrhythmus der Pflanzen berücksichtigen?

Wie kommt diese kombinierte Meßzahl (Klimameßzahl und Bodenmeßzahl) zustande? Wir würden uns freuen, wenn wir den Einfluß des Wetters auf das Wachstum mit einer so einfachen Zahl darstellen könnten!

KRÄMER: Bei Zuckerrüben muß man mit Grenzdifferenzen von 30 bis 50 dz/ha rechnen, das sind etwa 10% des Ertrages. Benötigen wir unter diesen Umständen noch eine sehr genaue Methode für die Auswertung der zugehörigen Witterungsdaten?

Der eigentliche Grund für die Anwendung dieser Methode war folgender: Wir wollten mehrere Standorte vergleichen, von denen nicht überall Bodenfeuchte-

messungen vorlagen. Daher haben wir versucht, zunächst einmal über Annäherungswerte dem Problem näherzukommen. Neben den Niederschlags- und Temperaturverhältnissen wurde auch die Luftfeuchte durch Zu- oder Abschläge bewertet. Wie Sie gesehen haben, kamen wir auf diese Weise zu Werten, durch die sich die unterschiedlichen Erträge weitgehend erklären ließen. Zweifellos ist der Wasserverbrauch und der Wasserbedarf der Pflanzen in einzelnen Entwicklungsabschnitten unterschiedlich. Man könnte die Methode verfeinern und die Gesichtspunkte, die Sie genannt haben, berücksichtigen.

Die Methode: Den monatlichen Niederschlägen wird die fünffache monatliche Durchschnittstemperatur gegenübergestellt, zu der Differenz (es gibt einen positiven oder negativen Wert; der positive Wert weist auf eine nicht genügende Feuchte aus den Niederschlägen hin) wird ein Zu- oder Abschlag für die Luftfeuchte gegeben. Wenn die Luftfeuchte über 80% beträgt, berechnet man Abschläge, ist sie geringer, gibt's einen Zuschlag. Nun wird aus den einzelnen Monatswerten ein Mittelwert gebildet; zu diesem Mittelwert kommt ein Zuschlag für den Boden. Das ergibt dann die Bedürftigkeit, eine relative Größe.

SCHENDEL: Es handelt sich hier um die Methode von Herrn Dr. Klatt. Wir haben diese Methode insofern verfeinert, als wir dem Wachstumsrhythmus in etwa Rechnung tragen. Im März und April wählen wir den fünffachen, ab Mai und Juni den achtfachen Wert der Tagesmitteltemperatur und gehen im August wieder auf den fünffachen Wert zurück.

WICHTMANN: Man darf nicht versäumen, Herrn Dr. Krämer zu dem hohen Wert von 15% Ertragsabfall durch Grundwasserabsenkung zu gratulieren. In der Praxis wird die Grundwasserabsenkung im Erftgebiet nämlich als eine Art Melioration empfunden.

Ich habe im Flurbereinigungsgebiet Kerpen beispielsweise selbst an einem Termin teilgenommen, bei dem die Semigleye (deren Ertragsdepression Herr Krämer eben vorgeführt hat) nach der Grundwasserabsenkung höher geschätzt wurden. Das war durchaus notwendig, denn die Bodenschätzung hatte die aus schluffigem Lehm und Schwemmlöß entstandenen Gleye um 40% niedriger eingestuft, als die Parabraunerden nebenan. Das muß man berücksichtigen, wenn man die Untersuchungsergebnisse von Herrn Krämer auswerten will. Wir kämen bezüglich unseren Meliorationsvorstellungen und auch bezüglich unserer Vorstellungen über die optimale Nutzung solcher Böden doch in Schwierigkeiten. Was die Grünlandnutzung angeht, bin ich jedoch ganz Ihrer Ansicht; es handelt sich bei den Gleyen und den Semigleyen aus Schlufflehm um absolute Grünlandstandorte.

KUNTZE: Ist es beabsichtigt oder unbewußt, daß Sie ausgerechnet die Zuckerrübe als Testpflanze genommen haben? Sie hat ja einen etwas abweichenden Wachstumsrhythmus, der sich bei grundwassernahen Standorten dem Verlauf des Grundwassers besser anpaßt, als das beispielsweise bei den Gräsern oder gar beim Getreide der Fall sein kann.

WOHLRAB: Es war nicht beabsichtigt, unbedingt die Zuckerrübe herauszustellen. Wir wollten lediglich versuchen, anhand einer Frucht das beschriebene Verfahren anzuwenden.

Es hat sich bei den Versuchen seit 1957 ergeben, daß beim Grünland Mindererträge durch die Grundwasserabsenkung (selbst in dem außerordentlich nassen Jahr 1965) eintreten. Bei den Ackerfrüchten stellten wir fest: Getreidearten lassen im Durchschnitt kaum Mehr- oder Mindererträge erkennen. Zuckerrüben und Klee, die ihren Hauptwasserbedarf in der zweiten Hälfte der Vegetationszeit haben, zeigen Mindererträge nach der Grundwasserabsenkung besonders deutlich in Trockenjahren. Es können auch Mehrerträge bei diesen Früchten auftreten durch Grundwasserentzug, beispielsweise im außergewöhnlichen Naßjahr 1965.

Einer grundsätzlichen Heraufsetzung der Bodenzahl nach einer Grundwasserabsenkung können wir danach keinesfalls beipflichten.

VON MÜLLER: Vielleicht könnte man einer Lösung näherkommen, wenn man eine Kennziffer für den Standort hinzufügt: Wie groß ist die pflanzenverfügbare Wassermenge in einer bestimmten Bodentiefe? Vielleicht haben diese Böden einen hohen Welkepunkt, bei Grünlandnutzung reicht das pflanzenverfügbare Wasser nicht, so daß eine zusätzliche Wassermenge aus dem Grundwasser zur Verfügung stehen muß.

KRÄMER: Diese Böden haben eine nutzbare Kapazität im Schnitt von 200 bis 220 mm für 1 m durchwurzelbarer Tiefe.

WICHTMANN: Ich darf vielleicht auf die großen Unterschiede in der Bodenstruktur hinweisen, die bei der Bodenkartierung immer wieder festgestellt werden.

Beispielsweise zeigen Zuckerrüben sehr große Unterschiede in der Anfangsentwicklung auf Naßböden. Zum Teil werden die Böden ordentlich bewirtschaftet, ist die Struktur gut gepflegt. Auf der anderen Seite aber gibt es immer mehr Landwirte, die den Boden dicht und fest wie eine Tenne haben. Da wächst entsprechend auch nichts. Ich glaube, in der besonders sorgfältigen Bodenbearbeitung liegt der Grund dafür, daß Herr Krämer auf den nassen Standorten solch hohe Erträge bekommen hat.

Wenn man eine normale Bodenbearbeitung voraussetzt (sie ist in der Praxis heute im allgemeinen ganz bestimmt nicht besonders sorgfältig), dann würde das Bild etwas anders aussehen.

BAUMANN: Je schlechter die Bodenstruktur, desto empfindlicher ist jegliches Wachstum gegen Witterungseinflüsse, gegen Wassermangel sowohl wie gegen Wasserüberschuß. Das ist ja doch der Sinn der Bodenbearbeitung, die Schwankung auszuschalten.

Ich kann mir nicht vorstellen, daß die Wirkung auf gutbewirtschafteten Böden da ist, auf schlecht bewirtschafteten nicht. Es könnte höchstens sein, daß irgendwie starke Übersättigungen im Frühjahr auftreten, die Schäden herbeiführen. Grundsätzlich gilt aber die Tatsache: Je besser ein Boden in Kultur ist, desto weniger empfindlicher ist er gegen Versorgungsschwierigkeiten.

KUNTZE: Man könnte hinzufügen, daß die Gefahr einer Strukturschädigung bei grundwassernahen Standorten eben größer ist. Daraus resultieren Nachteile, die wir ursächlich dem Grundwasser zuordnen müssen.

Herrn Dr. Schendel darf ich gratulieren zu solch einfacher, aber dennoch recht aussagekräftiger Anlage! Es gibt ja sehr verschiedene Lysimeteranlagen, die sich in ihren Aufwendungen recht unterscheiden. Mir scheint, daß die von Herrn

Dr. Schendel durchgeführte und erprobte Meßanlage den Anforderungen an einen Lysimeterbetrieb durchaus gewachsen ist und — wie seine Ergebnisse gezeigt haben — ja auch zu Daten geführt hat, die vielleicht die eine oder die andere Vorstellung über den Wasserverbrauch des Klee-grases (auch wenn man die Abstriche am Schluß seines Referates berücksichtigt) doch nicht ganz widerspiegeln.

VAN EIMERN: Sie wiesen schon auf den Oasen-Effekt hin, dazu noch eine Frage: Füllung und Bewuchs war derselbe wie in der Umgebung der Lysimeter?

SCHENDEL: Der Bewuchs war auf einer Fläche von 5×5 Meter, also 25 m^2 , um die Lysimeter herum derselbe, wie in den Grundwasserlysimetern. Der Boden ist künstlich eingefüllt worden. Die Bewuchshöhe war auf der Lysimeterfläche und um die Lysimeter herum dieselbe.

EGGELSMANN: In früheren Jahren haben wir Untersuchungen durchgeführt mit Kleinlysimetern in etwas anderer Form. Auch dabei war der verhältnismäßig große Einfluß der Bodenfeuchte bzw. des Grundwassers auf den Wasserverbrauch des Grünlandes klar zu erkennen. Wenn man nämlich die Wasservorratsschwankungen (R-B) errechnet aus gemessenen N, A, V und vergleicht die errechneten (R-B)-Werte mit dem Grundwassergang, dann ergibt sich eine ganz klare und enge Korrelation.

PENNINGSFELD: Wir haben auf Flächen unseres Versuchsfeldes in Tunesien von 25 qm Größe in zahlreichen Wiederholungen und über drei Jahre hinweg genaue Messungen des täglichen Wasserverbrauchs durchgeführt. Hierbei kamen wir zu ähnlichen Werten wie Sie im Juli/August. Das spricht dafür, daß bei Verwendung von Kleinlysimetern doch ein gewisser Oaseneffekt vorliegt, da das Klima in Tunesien zweifellos trockener und heißer ist.

KMOCH: Können Sie etwas über die Tendenz der Auswirkung verschiedener Grundwasserstände sagen?

Es ist ja nicht nur wichtig, wie hoch der Anteil im Einzelfall ist, sondern wie sich dieses Wasser auf den Ertrag ausgewirkt hat — vor allem, wenn Sie von Futterpflanzen sprechen, in Zeiten, wo Futter unter Umständen knapp ist.

SCHENDEL: Im ersten Schnitt, der etwa am 1. Juni genommen worden ist, ließ sich keine Auswirkung des Grundwassers auf die Erträge feststellen. Im zweiten Schnitt war der Ertrag nahezu verdoppelt. Im dritten Schnitt war eine Ertragssteigerung um etwa ein Drittel festzustellen, so daß der Gesamtertrag aller drei Schnitte bei Grundwasserbeeinflussung 230% ist.

PENNINGSFELD: Wir haben künstliche Grundwasserstände in Lehm-böden erzeugt, und zwar in 40 und 60 cm Tiefe. Auf diesen Böden ließ sich Luzerne mit großem Erfolg anbauen. Der Wurzelverlauf wird durch den flachen Grundwasserstand allerdings wesentlich verändert. Während die Luzerne in Trockengebieten im gewachsenen Boden ohne weiteres 2 m und 2,50 m tief wurzelt, verliefen die Wurzeln in diesen Versuchspartellen flach und waren stark seitlich verzweigt. Die Luzerne vermag sich an die beschriebene Kulturmethode offensichtlich gut anzupassen, denn sie brachte im Vergleich zum normalen Boden teilweise bis zu 100% Mehrertrag.

SCHAFFER: Diese Beobachtung möchte ich bestätigen: In Saudi-Arabien stand Luzerne auf Böden mit einem Grundwasserstand von 50—60 cm. Es waren zwölf Schnitte im Jahr möglich.

KUNTZE: Dürfte das eine Erklärung sein: Der Luxuskonsum an Wasser bringt eine Wasserbewegung in den Boden, die dann der Luzerne Voraussetzungen für den Gasaustausch im Wurzelraum liefert; oder worauf führen Sie das zurück?

PENNINGSFELD: Wir lassen über einen Schwimmerregler nur so viel Wasser nachdringen wie verbraucht wird. Die Versuchsbeete sind unten und seitlich mit Kunststoffolie abgedichtet. Teilweise legten wir auch Betonbeete an. Da der Wasserzulauf an der Stirnseite der 1 m breiten und 25 m langen Beete erfolgt, kommt nur ein dem Verbrauch entsprechendes, langsames Nachströmen des Wassers in Betracht.

VIDAL: Ich möchte glauben, daß Dr. Hoffmanns Lysimetermessungen neben dem agrikulturchemischen Aussagewert noch für ein anderes Problem von Bedeutung sein können, nämlich: wie beeinflußt die mineralische Düngung, besonders im Hinblick auf die Trinkwasserversorgung, die Qualität des Grundwassers? Nach Ihren Ausführungen müßte man annehmen, daß die mineralische Düngung schon in 1 m Tiefe das Grundwasser nicht mehr beeinflußt, daß also Nitrate, die dort nachgewiesen werden, nicht aus der mineralischen Düngung, sondern aus dem Boden selbst durch Umsetzungen stammen.

Sie wissen ja vielleicht, daß gerade in letzter Zeit Stimmen laut werden, die behaupten, daß die verstärkte mineralische Düngung sich sehr nachteilig auf die Qualität des Grundwassers auswirkt und daß man Schritte unternehmen müßte, um das zu unterbinden.

Auf Grund Ihrer Untersuchungen — vor allen Dingen für die dabei verwendeten Böden — könnte man da also beruhigt sein. Und man bräuchte dann auch bei Trinkwasserbrunnen keine Schutzzonen mehr vorsehen; d. h. man könnte also bis unmittelbar an die Wassergewinnungsanlage heran mineralisch düngen, ohne daß dadurch die Wasserqualität beeinflußt würde. Nach Ihrer Darstellung müßte man in unmittelbarer Nähe von Quellen düngen können und brauchte einen Übertritt nicht ausgenutzter Nährstoffmengen in das Quellwasser nicht zu befürchten.

HOFFMANN: Wir haben die Frage in dieser Hinsicht nicht überprüft, sondern nur unter den Bedingungen unseres Lysimeters, aber es liegen ja nicht nur Untersuchungen von uns darüber vor; es sind auch in Limburgerhof und an anderen Stellen Versuche dieser Art gemacht worden.

Soweit ich die Literatur verfolgt habe, ist man allenthalben zu dem Schluß gekommen, daß in dem Wasser, das in 1 m Tiefe anfällt, nach menschlichem Ermessen kaum unausgenützte Reste der Dünger des gleichen Jahres auftreten. Ich habe Zahlen hier: In diesem sechsjährigen Zeitraum werden von uns 490 kg Reinnährstoff als Dünger gegeben. Aus der Luft sind 60 kg dazugekommen. Das wäre eine Gesamtmenge von 550 kg. Im Sickerwasser angekommen sind 395 kg im selben Zeitraum. Es wären also 165 kg im Boden verblieben. In dem gleichen Zeitraum hat die Pflanze aber ganz sicher viel mehr herausgenommen.

Diese Zahlen betreffen den Lehmboden, beim Sandboden ist der im Boden verbliebene Rest nur noch 50 kg, beim Schotterboden haben wir sogar ein Defizit von 47 kg, wie also mehr versickert sind, als gegeben wurde. Wenn diese Menge aus der obersten Schicht gekommen wäre, so würde das ungefähr 1,5 mg Stickstoff pro 100 g Boden entsprechen, wie er in diesem Zeitraum aus der obersten Schicht hergegeben hat.

BLUME: Das verstehe ich nicht ganz. Wenn gedüngte Nährstoffe durch Niederschläge in den Boden eingewaschen werden, mit dem Wasser dann wandern und erst nach einem halben Jahr unten ankommen, dann kann man selbstverständlich sagen: „Jetzt ist ein Nährstoff gekommen, der im Boden war.“ Aber trotzdem kann er durchaus aus den Düngemitteln stammen. Das können Sie doch gar nicht ausschließen! Ich würde nur dann davon sprechen, daß der Nährstoff direkt dem Boden entstammt, wenn ich nachgewiesen hätte, daß dieser Stickstoff z. B. durch Zersetzung im Boden freigesetzt wurde.

HOFFMANN: Darf ich vielleicht auf das Bild mit den Niederschlags- und Sickerwassermengen mehrerer Quartale hinweisen. Die große Niederschlagsmenge ist im 1. Quartal gefallen, im 2. Quartal (der Hauptvegetationszeit) fiel nur sehr wenig, die Sickerwassermengen waren in dem gesamten Zeitraum minimal. Die Düngung ist zu Beginn des 1. Quartals gegeben worden, während der eben erwähnten sind die Pflanzen gewachsen.

Wenn man zugrunde legt, daß von der gegebenen Stickstoffmenge mindestens 60% sofort ausgenutzt worden sind, wären es also 40% davon, die hätten versickern können. Bei der sehr langsamen Bewegung des Wassers im Boden könnten sie erst im Herbst angekommen sein.

Sicher ist nicht auszuschließen, daß gewisse Teile dieses nichtausgenutzten Stickstoffs unten ankommen, aber kaum in einer solchen Menge, daß man von einer Kontamination des Wassers sprechen kann. Es ist dagegen durchaus möglich, daß die Mikroorganismen den Stickstoff umgesetzt und in körpereigene Substanz überführt haben. In diese Richtung gehen auch die Angaben in der Literatur.

SUNKEL: Ein Boden, der kräftig gedüngt wird, reichert sich allmählich mit den entsprechenden Nährstoffen an, was Sie beispielsweise mit einer Laktat-Untersuchung nachweisen können. Nehmen wir die Phosphatdüngemittel als Beispiel: Wenn nicht ein Vierteljahr später, so kommen vielleicht nach fünf Jahren die Phosphate irgendwann einmal ins Grundwasser — direkt oder indirekt.

HOFFMANN: Das will ich nicht bezweifeln. Die Phosphatauswaschung im Schotterboden beträgt 0,4 kg/ha Jahr. Die Phosphorsäure ist das ungünstigste Beispiel.

VON MÜLLER: Wenn man Freude am Spaß hat (es wäre ein Kompromiß), sagen wir: Der ausgewaschene Stickstoff stammt aus der Düngermenge des Vorjahres! Da ja nur Nitrat gemessen ist, müssen wir uns mal fragen, was haben Sie da gedüngt? In welcher Form ist der Stickstoffdünger dazugekommen?

HOFFMANN: In diesem Fall ist der Stickstoff als Ammonnitrat gegeben worden. Das schließt nicht aus, daß er sich vor seiner Versickerung am Umsatz der organischen Substanz im Boden beteiligt haben kann, daß er also zunächst

einmal in den Bodenvorrat übergegangen sein muß. In diesem Sinne ist meine Ausführung zu werten.

PENNINGSFELD: Wenn man eine ungedüngte Variante zum Vergleich hätte, könnte man Genaueres über die Umsetzung des Düngerstickstoffes sagen. Herr Dr. Hoffmann möchte wohl mit seinen Äußerungen andeuten, daß der Stickstoff, der im Lysimeter erst nach $\frac{1}{2}$ Jahr unten angekommen ist, gewiß schon irgendwelche biologischen Umsetzungsprozesse durchmachte. Düngerstickstoff mag in einem Sandboden vielleicht nach starken Niederschlägen in wenigen Tagen unverändert durch das Bodenprofil hindurchsickern, in einem Lehmboden dürfte er sich jedoch bei längerer Durchlaufzeit mit Bakterien, Pilzen, Algen und Pflanzen umgesetzt haben. Das ließe sich allerdings nur prüfen, wenn ungedüngte Flächen parallel beobachtet und untersucht würden.

MERBITZ: Wenn nur 40 kg N/ha gegeben wurden, wird eine Auswaschung wesentlich geringer sein und auch ausbleiben, wenn aber 300 bis 400 kg N/ha verabfolgt werden, ist nach anderen Feststellungen eine N-Auswaschung auch bis zum Grundwasser zu berücksichtigen.

HANUS: Ich möchte darauf hinweisen, daß im letzten oder vorletzten Jahr in Bonn im Agrikulturchemischen Institut eine Dissertation angefertigt worden ist, die sich mit diesen Fragen befaßt. Soweit mir erinnerlich, wird darin der Standpunkt vertreten, daß die Düngungsquote eine Einfluß auf die Menge der Ionen im Sickerwasser hat.

FOERSTER: Ich möchte auf eine Arbeit von Herrn Pölt hinweisen. Es handelt sich um Paralleluntersuchungen von Lysimetern aus dem Raum Stolzenau. Lysimeterabläufe wurden chemisch analysiert (Paralleluntersuchungen zwischen gedüngtem Acker, Heide, die nicht gedüngt war, und Kiefernwäldern). Das Ergebnis: sehr hohe Stickstoffgehalte in dem Sickerwasser aus Lysimetern der gedüngten und der Kieferstandorte; dagegen zeigten die Heideproben normale Quoten.

KUNTZE: Die von Ihnen, Herr Dr. Bahr, genannten Mengen kapillar aufgestiegenen Wassers (auch wenn sie fehlerstatistisch nicht sicher sein mögen; Januar—März: 8 mm, Juni—September: 4 mm) lassen darauf schließen, daß es sich um eine Thermokondensation in den Böden handelt.

BAHR: Diese Schlußfolgerung trifft sicher zu für die im Januar—März festgestellte Menge von rund 8 mm. Für diesen Zeitraum waren nach dem Temperaturverlauf des Bodens die Voraussetzungen für eine Thermokondensation gegeben. Auch ist dieser Wert noch am ehesten gesichert.

Der für Juni—September festgestellte Wert von rund 4 mm liegt jedoch eindeutig innerhalb der vorläufigen Fehlergrenze der Untersuchungen. Auch läßt sich für diesen Zeitraum das für eine Thermokondensation erforderliche Temperaturgefälle im Boden nicht eindeutig nachweisen.

Infiltration und oberflächlicher Abfluß auf Weiden im Voralpengebiet

Von Dipl.-Geol. C. Siegenthaler, Institut für Kulturtechnik der ETH Zürich

1. Übersicht

Unter Voralpen wird hier das Gebiet zwischen schweizerischer Molasse und Kalkalpen verstanden. Es ist geologisch die Zone der mehr oder weniger mächtigen abgeschürften Flyschpakete (petrographisch eine Wechsellagerung von Ton- und Mergelschiefern mit Sandsteinen und Brekzien), welche morphologisch wenig ausgeprägte Hänge und Kuppen bilden. Die mittlere Höhenlage ist zwischen 1000 und 2000 m. Nutzungsarten: Forst- und Weidewirtschaft, untergeordnete Heu- und Streugewinnung. Vor der Barriere der SW-NE streichenden Zentralmassive gelegen, sind hohe Niederschläge zu erwarten. Langjährige Beobachtungen über die Niederschlagsverteilung liegen nicht vor, schätzungsweise dürfte das Mittel zwischen 1500 und 2000 mm pro Jahr liegen.

Große Gebiete der Voralpen sind aus geologischen und klimatologischen Gründen und als Folge der verdichtenden Wirkung des Weideganges stark vernäßt. STAUBER schätzt das vernäßte Areal im ganzen schweizerischen Alpengebiet auf über 100 000 ha für alpwirtschaftlich genutzte Flächen, davon dürfte annähernd ein Drittel auf das Gebiet der Voralpen fallen.

Nach den bisherigen Erfahrungen konzentrieren sich die ausgedehnten Vernässungen auf folgende drei Areale (von W nach E):

a) Querschnitt Rhone—Aare

La Berra (1719 m) — Gurnigel (Pfyffe 1666 m) — Gebiet mit den Ausläufern des Niremont (1514 m) und Les Alpettes (1413 m) gegen den Genfer See;

b) Querschnitt Aare—Reuß

Schlieren (Fürstein, 2040,2 m, Schlierengrat, Großschlierental);

c) Querschnitt Reuß—Linth

Hochstuckli (1566 m) — Furggelenstock (1656 m) — Großer Mutzenstein (1402,1 m) (Wäggitäl).

Östlich der Linth verschwindet der Flysch der Randketten, an dessen Stelle tritt die subalpine Molasse, die Neigung zu Vernässungen vermindert sich.

Es fällt auf, daß diese Hauptverbreitungsgebiete sich mehr oder weniger mit den Vorkommen des penninischen Schlierenflysches decken. Nur im Querschnitt Reuß—Linth überwiegen Flyschdivertikel anderer Herkunft und leicht verwitterbare Mergel der helvetischen Kalkalpen. Die Lithologie der Schlierenflyschmasse ist noch zu wenig bekannt, um etwas über die Ursachen dieser Beziehungen aussagen zu können.

2. Ausbildung der Böden

Die Bodenarten sind stark wechselnd, toniger Lehm bis sandiger Lehm, stets ist ein gewisser Tonanteil vorhanden. Häufig ist das Bodenprofil durch Rutschungen oder Aufschüttungen überfahren.

Das Bodenprofil zeigt, stark schematisiert, im allgemeinen folgenden Aufbau:

- A₀ einige cm bis 20 cm mächtiger Rohhumus bis Torf;
- A₁ stark wechselnd in der Mächtigkeit, oft fehlend. Bei günstigen Standorten mit besserer Durchlässigkeit kann dieser Horizont recht mächtig werden und den Rohhumus vollständig verdrängen;
- G Gleyhorizont mit nach unten meist rascher Abnahme der vorherrschenden Oxydationsfarbe des Eisens. Oxydationshöfe und -flecken um alte Wurzelbahnen, Wurmgänge und allfällige Klüfte. Reduktionsfarbe grüngrau bis blaugrau.

Der Übergang zum Muttergestein vollzieht sich ganz verschieden rasch. Nicht selten ist der tonreiche Untergrund zu einer breiartigen Masse verwittert.

Die Ausbildung der Oxydationsflecken spricht nach BLÜMEL für Grund- oder Hangwassergley, doch kann sich über dem eigentlichen Gleyhorizont ein Pseudogleyhorizont mit dunkelbraunen Knötchen von 1—3 mm ϕ von Eisenoxyd einschalten. Gewisse Merkmale, wie dicke Wandauskleidungen von Röhren und Klüften, lassen eine intensive Tonwanderung vermuten, ebenso die rasche Verdichtung von ungestörten Bodenproben bei der Durchlässigkeitsbestimmung im Labor (Verminderung der Durchlässigkeit um das Drei- bis Achtfache).

3. Oberflächlicher Abfluß (surface runoff)

Die Versuche von NÄGELI haben auf die geringe Infiltrationsrate der Weideböden, insbesondere der vernäßten Weiden im Flyschgebiet, aufmerksam gemacht. Es ist nun geplant, ähnliche Versuche im ganzen Voralpengebiet mit dem Ziel zu unternehmen, neue Vorschläge für die Dräntechnik auszuarbeiten. Bis heute ist bei der Vorstellung über die Wirkung der Drainage im beweideten Flyschgebiet die große Bedeutung des oberflächlichen Abflusses kaum in Betracht gezogen worden.

Methoden:

Grundsätzlich sind zwei verschiedene Methoden denkbar:

- der Abfluß von Flächen definierter Größe bei Niederschlägen (COSTER, SCHUCH) oder bei künstlicher, flächenhafter Beregnung (NÄGELI, HESMER und FELDMANN und viele amerikanische Autoren, zusammengefaßt und kommentiert von PAAR und BERTRAND);
- die Bestimmung der Versickerungsrate eines linear applizierten Niederschlages mittels eines gelochten Rohres und die nachträgliche Integration über eine beliebige große Fläche für verschiedene Niederschläge.

Für die Auswahl der geeigneten Meßmethoden war zu berücksichtigen: kleines Gewicht, leichte Aufstellung, kleiner Wasserverbrauch (trotz der kleinen Niederschläge versiegen die natürlichen Gerinne im Flyschgebiet sehr rasch). Von den Meßergebnissen erwarten wir eine Charakterisierung des Bodens im Hinblick auf die Infiltration, unabhängig vom gerade herrschenden Feuchtezustand, um

die Beobachtungsreihen verschiedener Böden mit verschiedener Flora miteinander vergleichen zu können. Ferner sollen Angaben gemacht werden können über die zu erwartenden Wassermengen bei einer allfälligen Dränung, welche alles Oberflächenwasser abzufangen vermag. Bei den häufigen Niederschlägen im Voralpengebiet scheint der stationäre Zustand den natürlichen Verhältnissen recht gut zu entsprechen. Aus Beobachtungen ergab sich, daß Tropfengröße und Fallgeschwindigkeit, im Gegensatz zu Messungen bei ackerbaulich genutzten Flächen, bei der künstlichen Beregnung keine Rolle spielen, da die Wassertropfen von der dichten Vegetation mehrfach zerteilt werden.

Diese Forderungen führten zu der in Abb. 1 gezeigten Einrichtung. Das gelochte Rohr (gelochte Länge 1 m) beregnet mit konstanter Menge, wobei ein Überfallrohr oder ein Manometer für konstanten Druck sorgt. Vor und nach jedem Versuch wird die Regenmenge bestimmt (dieser Vorgang ist in der Abb. 1 dargestellt). Ein Blech in 5 cm Tiefe und von 50 cm Länge fängt das Oberflächenwasser auf.

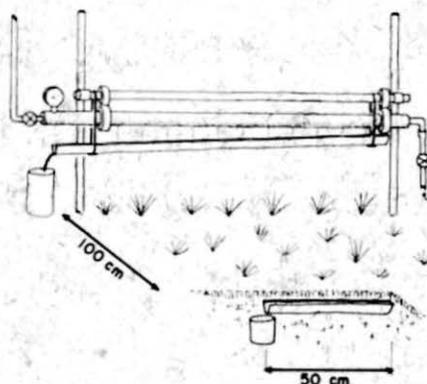


Abb. 1:
Einrichtung für die Messung der Infiltration.

Bei einer Messung wird eine bestimmte Regenmenge eingestellt, ein gleichmäßiger Abfluß abgewartet und dieser gemessen.

Die Abhängigkeit der Infiltrationsrate von der jeweiligen Beregnungsintensität stellt eine Bodencharakteristik dar und erlaubt die Bestimmung des oberflächlichen Abflusses für beliebig große Flächen bei verschiedenen natürlichen Niederschlägen mittels Integration, wobei (stets stationäre Verhältnisse vorausgesetzt):

$$\text{Oberflächlicher Abfluß} = \text{Niederschlag} - \text{Infiltration}$$

Für die Beziehung Infiltration — Beregnung (lineare) sind zwei Extremfälle anzunehmen:

1. die Infiltration ist proportional der Beregnung
2. die Infiltration ist konstant.

Die Integration ist in Abb. 2 dargestellt. Angenommen ist ein gleichmäßig geneigter und homogener Hang mit horizontalen Drängräben mit verschiedenen Abständen, wobei die Gräben nur das Oberflächenwasser ableiten sollen.

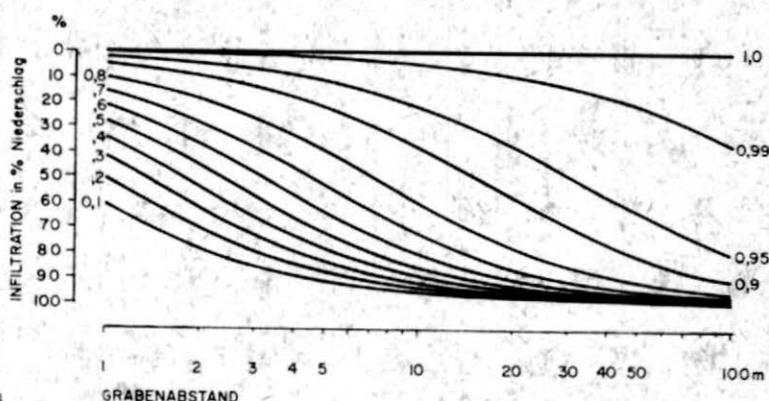


Abb. 2:
Infiltration bei
verschiedenen
Grabenabständen

Für Fall 1 (Infiltration proportional linearer Beregnung)

$$J = \frac{a^L - 1}{L - \ln a}$$

J = Infiltration in % Niederschlag

L = Grabenabstand

a = oberflächlicher Abfluß bei linearer Beregnung gemäß Versuchsanordnung Abb. 1.

Fall 2 ergibt in Abb. 2 je nach Niederschlagsintensität eine verschieden hohe horizontale Gerade.

In der Natur ist eine Kombination von Fall 1 und Fall 2 zu erwarten, und zwar Fall 1 bei kleinen, Fall 2 bei hohen Niederschlägen (oder Grabenabständen), d. h. die Kurven in Abb. 2 flachen sich mit wachsendem Grabenabstand stärker ab. Die Messungen von COSTER und von DULEY und ACKERMANN an Flächen verschiedener Länge zeigen dies sehr deutlich, doch lassen sich diese Ergebnisse nicht direkt übertragen, da nicht bekannt ist, inwieweit stationäre Zustände vorlagen.

Im Sommer 1965 sind versuchsweise einige Messungen auf verschiedenen verähten Böden am Brünnelstock gemacht worden. Die Resultate sind in Abb. 3 aufgetragen. Im Gegensatz zur besprochenen Versuchsanordnung sind die Auffangbleche für alle drei Meßstellen in 20 cm Tiefe angebracht worden, nur bei Stelle (3) ein zusätzliches Blech in 5 cm Tiefe (3'), welches aber keine wesentlich anderen Werte ergeben hat.

Wie erwartet, ist die Infiltration bei kleinen Beregnungsmengen ungefähr proportional der Beregnung (z. B. 50% bei 0,05 l/Min. Beregnung), nimmt bei größerer Intensität relativ ab (4,1% bei 9,7 l/Min. Beregnung), ohne hingegen bei den vorliegenden Versuchsbedingungen einen konstanten Wert zu erreichen.

4. Schlußfolgerungen

Eine wirksame Entwässerung im Flyschgebiet der Voralpen muß dem oberflächlichen Abfluß alle Aufmerksamkeit schenken. Wo keine offenen Gräben möglich sind, soll die Auffüllung über dem Sauger dauerhaft durchlässig gemacht

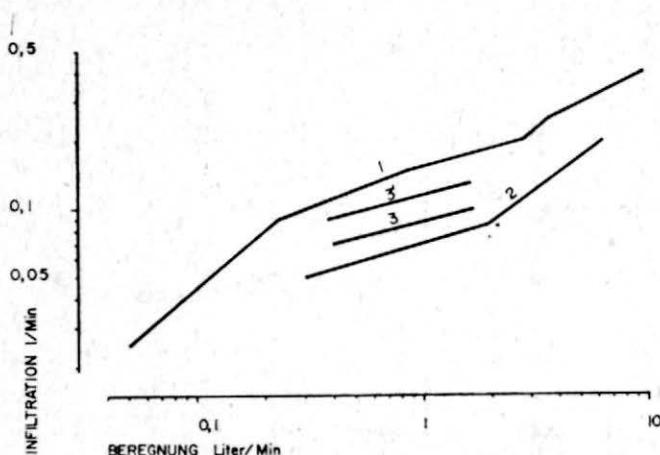


Abb. 3:
Infiltration bei verschiedenen
Beregnungsintensitäten

werden. Aus hydrologischen Gründen können die Drängräben sehr flach gehalten werden. Dadurch wird es möglich, die Gräben als schmale Schlitze auszubilden und auch relativ teure Filtermaterialien zu benutzen. Wir haben im Sommer 1965 einige Versuchsflächen mit Drängräben von 30—40 cm Tiefe und 8—10 cm Breite angelegt. Das Filtermaterial über den Rohren aus Kunststoff wurde bis an die Oberfläche verlegt. Bis jetzt kamen Splitt und Styromull zur Anwendung, für diesen Sommer sind durchlässige Platten aus Leca vorgesehen.

Literatur

- Blümel, F. (1962): Formen der Eisenoxydhydrate — Ausscheidungen in Gleyen und Pseudogleyen. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde. SA.
- Coster, Ch. (1938): Bovengrond'sche Afstrooming en Erosie op Java. Tectona 31.
- Duley, F. L., und Ackermann, F. G. (1934): Run-off and erosion from plots of different lengths. Journ. Agric. Res., 48/6.
- Hesmer, H., und Feldmann, A. (1953): Der Oberflächenabfluß auf bewaldeten und unbewaldeten Hangflächen des südlichen Sauerlandes. Forstarchiv 24, 11/12.
- Nägeli, W. (1959): Assoc. Intern. Hydrol. Sci.; Coll. Hannoversch-Münden.
- Parr, J. F., und Bertrand, A. R. (1960): Water infiltration into soils. Advances in Agronomy, 12.
- Schuch, M. (1966): Eine neue Methode zur Beurteilung des Oberflächenabflusses von nur gering geneigten Flächen. 3. Kolloquium über Fragen des Bodenwasserhaushalts, München.
- Stauber, H. (1944): Wasserabfluß, Bodenbewegungen und Geschiebetransport in unseren Berglandschaften. Wasser und Energiewirtschaft.

Einige Untersuchungen über Bodenabtrag und Ablagerung im alpinen Bereich

Von Dr. J. K a r l, Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, München

Das stark bewegte Relief, die hohen Niederschläge, die große Flußdichte und die starken Gefälle der Fließgewässer bringen es mit sich, daß im alpinen Raum die Umlagerung von Feststoffen eine bedeutende Rolle spielt. In der Gewässermorphologie sind diese Feststoffe unter der Bezeichnung Geschiebe und Schwebstoff geläufig, wobei der Terminus Geschiebe als unglücklich gewählt anzusehen ist. Der Ausdruck Geröll wäre für diese Sedimente angemessener, zudem der Begriff Geschiebe von den Glazialgeologen bereits mit Beschlag belegt ist.

Geschiebe und Schwebstoff entstammen in den wenigsten Fällen unmittelbar Böden. Wenn wir uns mit der Herkunft von Geschiebe und Schwebstoffen näher befassen, so ist festzustellen, daß etwa 80% der Feststoffherde in den Bayer. Alpen in alten Schuttkörpern liegen und glazial, periglazial oder frühpostglazial einzustufen sind. Die rezenten Schutthalde als Ergebnis der Wandverwitterung spielen als Geschiebeherde nahezu keine Rolle. Die alten Schuttkörper aber sind in der Regel von Böden bedeckt, und der Zustand dieser Böden entscheidet nicht selten darüber, ob in einem solchen alten Schuttkörper Feststoffherde freigelegt werden oder nicht. Der eigentliche Bodenabtrag fällt dabei gegenüber den aus den Lockergesteinen anfallenden Massen nicht mehr sonderlich ins Gewicht.

Herr Sanktjohanser zeigte gestern in seinem Vortrag, wie durch Fichten-Monokulturen auf empfindlichen Böden Rutschungen entstehen. Die dabei auftretenden Rutschstellen werden je nach Mächtigkeit der Lockergesteine zu mehr oder weniger ergiebigen Feststoffherden. Dieses Beispiel ist nicht vereinzelt; es ist vielmehr ganz allgemein festzuhalten, daß das Verständnis für die Entstehung und die Entwicklung von Feststoffherden im alpinen Raum vielfach nur über Kenntnisse von Bodenentwicklung und Bodenwasserhaushalt erreicht werden kann.

Zwei Gesichtspunkte spielen dabei eine entscheidende Rolle. Der eine ist die Zunahme der Rutschtätigkeit bei bestimmten Bodenentwicklungen, die meist von Vegetation und Bewirtschaftung abhängig sind, der andere ist die Zunahme der Erodierbarkeit von Böden unter gewissen Voraussetzungen.

Lassen Sie mich die Erodierbarkeit vorwegnehmen. Im allgemeinen sind die Böden des bayerischen Alpengebietes nicht allzu anfällig gegenüber erosiven Angriffen, solange sie von Vegetation irgendwelcher Art bedeckt sind. Wenn wir einmal von den extremen hochalpinen Verhältnissen absehen wollen, die in unserem Zusammenhang ohne Bedeutung sind, dann sind die meisten in Frage kommenden Böden von einer erstaunlichen Stabilität. Wenn dem nicht so wäre, hätten wir längst große vegetationsfreie Flächen weit unter der Waldgrenze. Der wirtschaftliche Eingriff in die Vegetation war in den Alpen jedoch so stark, daß

es schwerfällt, unterhalb der hochalpinen Region größere Flächen mit ursprünglicher Vegetation zu finden.

Stabil sind die vor allem im Kalkgebirge weit verbreiteten Rendzinen, wenn sie nicht durch sehr gewalttätige Einwirkungen zerstört und abgeschwemmt werden. Im allgemeinen sind auch Braunerden gegenüber der Erosion sehr unempfindlich. Die aus den Allgäuschichten des Lias entstandenen mächtigen Braunerden, wie sie vor allem in den Allgäuer Alpen weit verbreitet sind, werden allerdings in großem Umfang abgebaut. Umfangreiche Bodenzerstörungen auf den Allgäuschichten des Lias sind in Höhenlagen zwischen 1300 m und 2000 m vielerorts festzustellen. Bei Hochwasser macht sich das in einer sehr starken Schwebstoffführung der aus diesem Gebiet kommenden Wildbäche deutlich bemerkbar.

Die Geschwindigkeit des derzeitigen Abtrags und die Wirtschaftsgeschichte der betroffenen Flächen lassen den Schluß zu, daß es sich hier um einen progressiven Vorgang handelt, der erst in jüngerer Zeit begonnen hat. Ursprünglich waren die heute von Erosion ergriffenen Flächen vom Alnetum *viridis* bedeckt. Sowohl die Grünerle wie der dichte Unterwuchs aus Großstauden schützten die mächtigen Braunerden sehr gut gegen Abtragung. Im ausgehenden Mittelalter wurden die hochgelegenen Täler des Allgäus dauernd besiedelt, und zu diesem Zeitpunkt setzte mit großer Wahrscheinlichkeit in den Grünerlenbeständen eine intensive Rodung zur Gewinnung von Weideland und vor allem von Wildheurasen ein. In der Folge entwickelten sich unter dem Einfluß der Mahd stabile Rasengesellschaften mit dichtem Schluß. Je nach Höhenlage und Exposition handelt es sich dabei um Gesellschaften aus der Verwandtschaft des *Trifolietum thalii*, die vielfach übergehen in die Verwandtschaft der Milchkrautweiden des *Festuco cynosuretum*.

Die Nutzung durch Mahd wurde seit der Jahrhundertwende allmählich aufgegeben und wird heute nirgends mehr geübt. Dadurch gewannen *Nardus stricta* und *Deschampsia caespitosa* sehr stark an Raum. *Nardus stricta* ist ein Flachwurzler und erzeugt bei massenhaftem Auftreten einen teppichartigen flachen Wurzelhorizont. Gleichzeitig setzt auch an relativ steilen Hängen eine Podsolierung ein.

Als Initialstadien für die Bodenzerstörung sind zwar die an den *Deschampsia*-horsten ansetzenden Kriechschneescheiden anzusehen, die sich später durch Abgleiten von Rasenschollen auf dem B-Horizont rasch zu umfangreichen Blaiken auswachsen. Für das Abgleiten sind aber auch mit Sicherheit der veränderte Wasserhaushalt dieser Böden und die Entstehung eines Rutschhorizontes, der vorher nicht vorhanden war, verantwortlich zu machen. Dieser Gleithorizont ist bei Profilaufnahmen sehr deutlich zu sehen. Bei dieser Art des Bodenabtrags wird der Boden bis auf das Anstehende abgetragen, und die weichen Allgäuschichten liefern dann zusätzlich Verwitterungsmaterial, das nach kurzer Laufzeit als Geschiebe zerstört und als Schwebstoff weitertransportiert wird.

Mengenmäßig macht sich diese Form der Bodenzerstörung in Ablagerungsgebieten bisher nicht allzusehr bemerkbar, wenn auch Schwebstoffablagerungen in Stauräumen unerwünscht sind.

Weit unangenehmer sind Feststoffherde, die als Geschiebelieferanten in Er-

scheinung treten, da dieses Geschiebe in Form von Murgängen schwere Schäden an Kulturflächen und Baulichkeiten anrichten kann.

Mit die gefährlichsten geschiebeführenden Bäche finden sich in Flyschgebieten, obwohl hier alle Schuttkörper von mächtigen Böden bedeckt sind, die jedoch oftmals wenig stabil sind. Wir haben über diese Flyschböden in diesem Kolloquium schon des öfteren gehört. Besonders die aus der Zementmergel-Kieselkalk-Serie hervorgegangenen Böden, die etwa zwei Drittel unseres Flyschgebietes ausmachen, neigen zu einer Entwicklung, welche die Erosion außerordentlich begünstigt.

Unter der ursprünglichen Bedeckung durch einen Mischwald, der in etwa aus 50% Fichte, 40% Tanne und 10% Laubholz, insbesondere Buche, besteht, findet sich häufig ein ausreichend durchlüfteter, mäßig frischer bis frischer Braunerdegley. Bei der Einführung der Grünlandwirtschaft in den Flyschgebieten wurden vor allem im Allgäu große Teile des Waldes in Weidegebiet umgewandelt. Dabei erfuhren diese Braunerdegleye eine rasche und einschneidende Veränderung ihres Wasserhaushaltes infolge der fehlenden Pumpwirkung des Baumbestandes. Die Folge war eine weitgehende Vernässung. Die starke Vernässung dieser Böden führt zu zahlreichen größeren und kleineren Rutschungen in Form von Muschelbrüchen. Die dabei entstehenden Verflachungen bringen einen Wasserstau und als dessen Folge tiefgründige Vernässungen auch der mächtigen Schuttkörper. Der hohe Schluffanteil vieler solcher Schuttkörper läßt sie dabei hochgradig rutschtüchtig werden. Die so entstehenden großen Muschelabrüche greifen meist tief in die Lockergesteine und werden zu sehr ergiebigen Feststoffherden.

Die Zusammenhänge zwischen Bodenentwicklung und Bodenbewirtschaftung und der Entstehung von Feststoffherden sind für den Wasserbauingenieur von großem praktischem Interesse, weil es nur mit ihrer Kenntnis möglich ist, diese weitverbreiteten Schäden von der Wurzel her zu bereinigen und künftige Schäden durch ein Hinwirken auf eine entsprechende Umstellung der Bewirtschaftung zu vermeiden.

Überlegungen zur Abflußregelung der niederbayerischen Vils

Von ORBR E. Köpf, Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, München

Die niederbayerische Vils ist mit 1445 km² Niederschlagsgebiet der einzige größere Nebenfluß der Donau zwischen Isar und Inn. Sie entspringt im Landkreis Erding, 40 km nordöstlich von München, und mündet nach 100 km Tallauf bei Vilshofen in die Donau. Das Planungsgebiet gehört dem tertiären Hügelland an. Die Vils und ihre größeren Nebenflüsse sind in alluviale Talböden eingebettet. Bei ihnen handelt es sich um mineralische Grundwasserböden, die bei tiefem Grundwasserstand als Aueböden, bei hohem Grundwasserstand als Gleyböden teilweise anmoorig auftreten.

Das Gebiet der Vils zeigt überwiegend Agrarcharakter. Gewerbe und Industrie sind nur in einigen größeren Gemeinden der Vils und des Kollbaches anzutreffen. Der Planungsraum ist mit 105 000 Menschen in 122 Gemeinden aus acht Landkreisen besiedelt, die Siedlungsdichte beträgt 73 E/km² (Landesdurchschnitt 1965: 143 E/km²).

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe wurde zu 750 mm errechnet (Landesdurchschnitt 880 mm). Am Pegel Mettenhausen wurden folgende Abflüsse bzw. Abflußpenden beobachtet:

MQ	=	5 m ³ /s	Mq	=	6,8 l/s km ²
HQ ₁	=	72 m ³ /s	Hq ₁	=	98 l/s km ²
HQ ₅	=	140 m ³ /s	Hq ₅	=	191 l/s km ²
HQ ₃₀	=	288 m ³ /s	Hq ₃₀	=	460 l/s km ²

Das Gewässernetz der Vils ist derzeit nur teilweise und nicht nach einheitlichen Leitlinien ausgebaut. In den nicht regulierten Flußstrecken sind jährlich zwei und mehr Ausuferungen zu erwarten. Schon bei kleinen Hochwassern werden 40 bis 60% der Talflächen überflutet. Ausgedehnte Flächen der Talböden leiden wegen mangelnder Vorflut an zu hohem Grundwasserstand. Grundsätzlich sind zwei Schadensgruppen zu unterscheiden:

a) Hochwasserschäden

wie Abschwemmung von Heu, Verschmutzung, Bodenabtrag, Ausfall einer regelmäßigen Düngung, Leberegelseuche.

b) Schäden durch mangelnde Vorflut

wie Versäuerung, Nährstoffmangel, Qualitätsminderung, nicht ausreichende Tragfähigkeit der Böden.

Die Vilstalbewohner fordern nun seit Jahren den Ausbau der Flusses. Als Planungsziel wurden folgende Aufgaben festgelegt:

1. Erhebliche Minderung der Überflutungsschäden
2. Beschaffung von ausreichender Vorflut für die Einzelentwässerung

3. Verbesserung des Bodenwasserhaushalts durch angemessene Entwässerungsmaßnahmen
4. Schutz menschlicher Siedlungen.

Von Anfang an stellten wir uns die Bedingung, daß das Unternehmen volkswirtschaftlich tragbar sein müsse. Die Beachtung der Wirtschaftlichkeit bestimmte die Festlegung des Ausbaugrades. An der Vils haben wir uns für das fünfjährige Hochwasser entschieden. In der Folge war nunmehr zwischen nachstehenden grundsätzlichen Ausbaumethoden zu wählen.

1. Ausschließlicher Ausbau der Gewässer
2. nur Rückhaltemaßnahmen
3. Kombination zwischen Rückhaltemaßnahmen und beschränktem Gewässer-ausbau.

Reine Regulierungen ohne Rückhaltemaßnahmen sind bei der Vils abzulehnen, da der Wegfall großer natürlicher Überschwemmungsräume unvermeidlich eine erhebliche Steigerung der Hochwasserabflüsse zur Folge hätte. Dies würde zu einer unzumutbaren Minderung des Ausbaugrades der bereits bestehenden alten Ausbauten führen oder deren Umbau erzwingen. Die Ausführungen von Rückhaltemaßnahmen allein, ohne jeden Gewässerausbau, mußte ausscheiden, weil die mangelnde Vorflut großer Flächen durch Speicherbauten allein nicht beschafft werden kann. Somit verbleibt als Ausbaumethode nur die Kombination beider Möglichkeiten. Die kritische, vergleichende Betrachtung mehrerer Lösungsmöglichkeiten ergab, daß es zweckmäßig sei, etwa in der Mitte des Niederschlagsgebietes einen Speicher und in den Quellgebieten der Seitenzubringer Rückhaltebecken anzuordnen und die bisher nicht ausgebauten Flußstrecken auf den künftigen fünfjährigen Abfluß auszubauen. Die Planungsergebnisse sind aus dem mitgebrachten Lageplan abzulesen.

Über diese grundlegende Konzeption hinaus erschien es zweckmäßig, noch weitere Leitlinien für die Einzelplanung zu erarbeiten. Empfohlen wird:

1. Der Flußausbau wird dem Flutmuldenausbau in der Regel vorzuziehen sein.
2. Die bestehenden Fluß- und Bachläufe sind weitgehendst zu erhalten.
3. Der gewöhnliche Wasserstand (180 Tage) des Flusses soll in der Regel beibehalten werden.
4. Die Einzelentwässerung ist nicht schematisch, sondern dem Bodenwasserhaushalt entsprechend örtlich zu regeln. Der Bodenkundler, der Pflanzensoziologe, der praktische Landwirt und das Flurbereinigungsamt sind vor Beginn der Einzelplanungen zu hören.
5. Die vorgeschlagenen Ausbauten sind mit den Erfordernissen des Landschaftsschutzes und der Fischerei abzustimmen.

Zum Schluß meiner Ausführungen darf ich Sie noch auf das Modell des Marklkofener Speichers hinweisen. Dieser Speicher ist das Kernstück der Planung und gleichwertig an anderer Stelle nicht ersetzbar. Die vorgeschlagene Aufteilung in vier voneinander zuflutende Speicherzellen soll selbst im Speicherraum noch Grünlandwirtschaft im begrenzten Umfang ermöglichen.

Hydrologischer Längsschnitt

Wahl der Ausbaublüsse
für den Flußabschnitt Visbiburg-Vissholen
Ausbaugrad: HQ 5

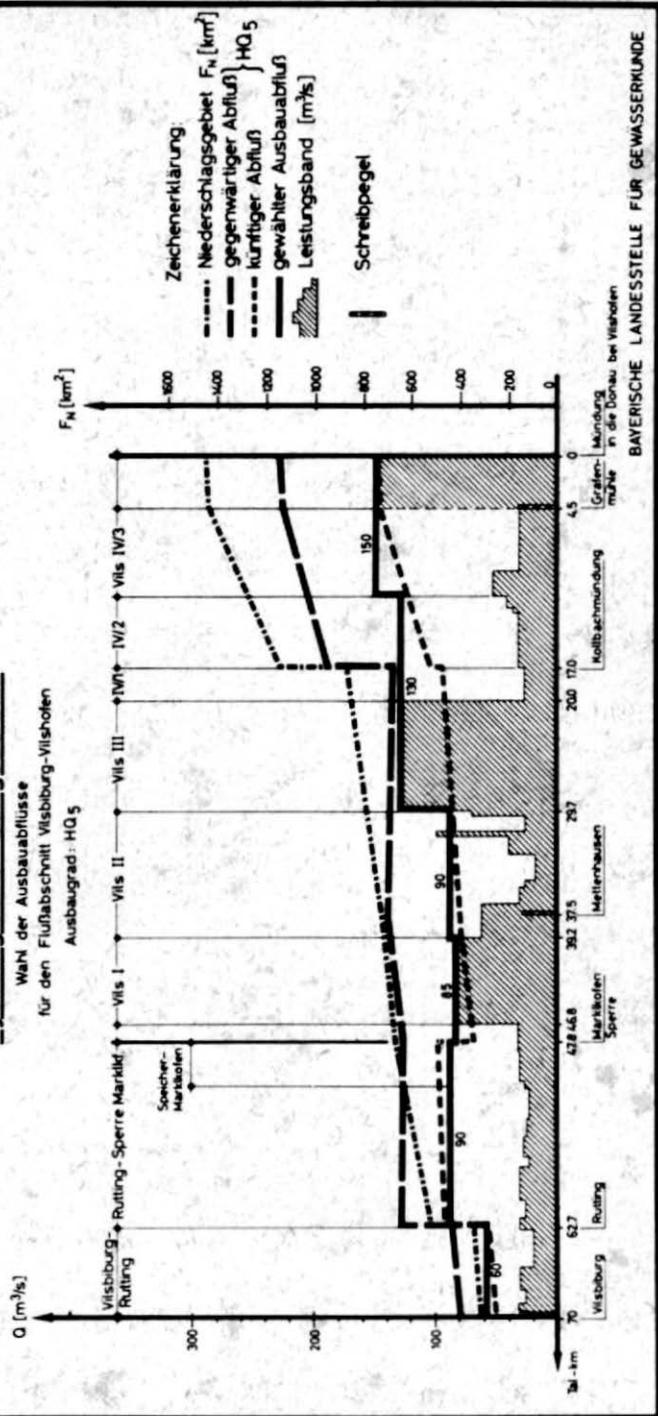


Abb. 1

BAYERISCHE LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERUNDE

PLANUNGSVORSCHLAG

SPEICHER UND RÜCKHALTEBECKEN AN DER VILS GEGENWÄRTIGER UND KÜNFTIGER GEWÄSSERAUSBAU



ZEICHENERKLÄRUNG
NIEDERSCHLAGSGEBIETE DER
RÜCKHALTEBECKEN
GEGENWÄRTIGER FLUSSAUSBAU
KÜNFTIGER FLUSSAUSBAU
NIEDERSCHLAGSGEBIETSGRENZEN
VARIANTE



Abb. 2

HOCHWASSERSPEICHER MARKLKOFEN

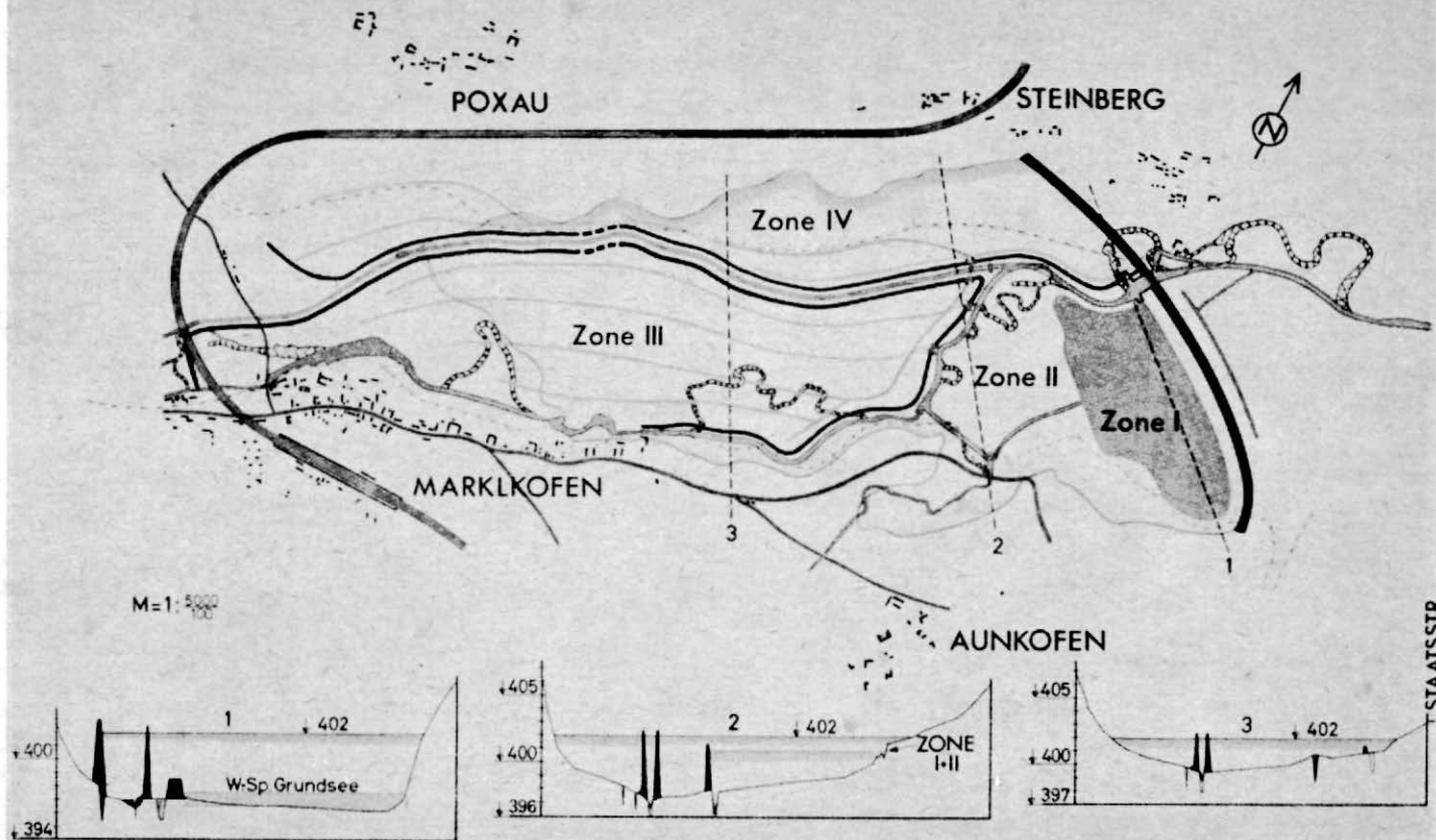


Abb. 3

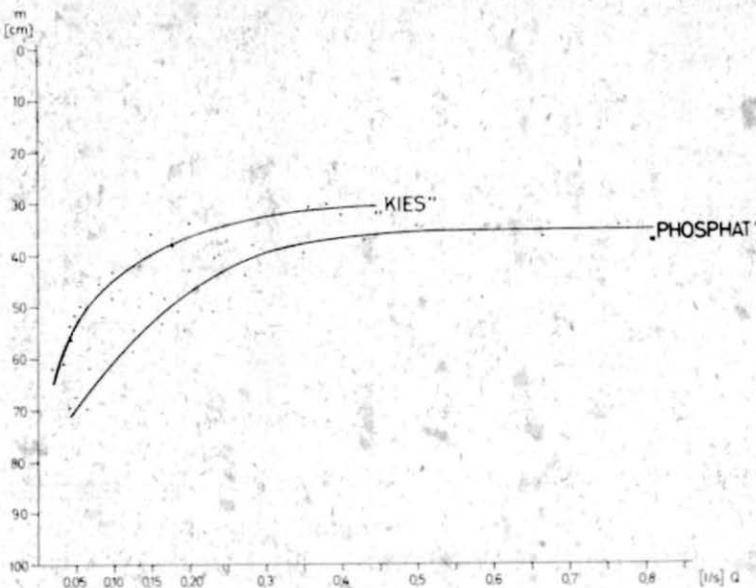


Abb. 7:
Q/m-Diagramm
nach Hooghoudt
Drängraben-
füllung mit
Filterzuschlag

Q/m-Diagramme derselben Fläche für eine Reihe aufeinanderfolgender Jahre geben nach dem Vorbild von HOOGHOUT (8) eine Funktion der Strukturintensität (1). Das entsprechende Diagramm des kommenden Jahres wird uns ein Maß für die Filterstabilität geben, also die Eignung der Filterzuschläge beurteilen.

Jede Dränung ist eine betriebswirtschaftliche Maßnahme, die Techniker für den Landwirt ausführen. Der Eingriff soll — auf hydraulischen Umwegen — den Reinertrag heben; die hohen Kosten rechtfertigen gewiß das Bemühen, nicht nur den betriebswirtschaftlichen Erfolg, sondern wenigstens durch Stichproben auch die hydraulische Wirkung von Dränen zu beobachten. Wenn auch die Lehrmeinung besteht, daß inhomogene, nichtstationäre Grundwasseraufgaben (mit denen wir ja hier zu tun haben) auf quasistationäre, homogene Lösungen zurückgeführt werden können (2), darf das zu keinen falschen Folgerungen für die Praxis führen (Abb. 8).

„Erfolge“ und Kosten der angewandten Techniken müssen uns alle mit ernster Sorge erfüllen. Wir drängen auf Abhilfe! Ein sicherer Weg würde über die Vorbildung der Praktiker durch Fachleute zum Erfolg führen — allerdings für viele zu spät. Wir werben daher um Interesse für den unmittelbaren Blick auf die Flächen. Im zeitigen Frühjahr oder in feuchten Herbstperioden kann man ganz gut sehen, wo der Schuh den Betriebswirt hydraulisch drückt (vgl. die Farbtafeln). Dränen und auch dabei den Boden auf seine Merkmale hin betrachten — das sollte man erst bei trockenem Wetter nach ausreichendem Kartensstudium betreiben.

Will man später die Leistung der Dräne beurteilen, um den Mut zur bodengerechten Dränmethode zu stärken, dann genügt der oberflächliche Blick nicht

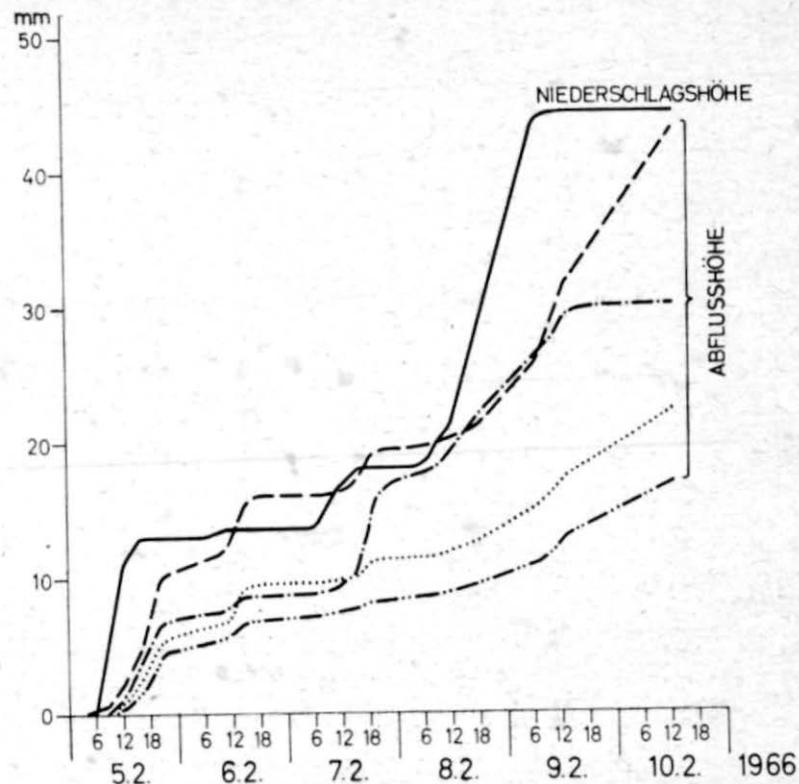
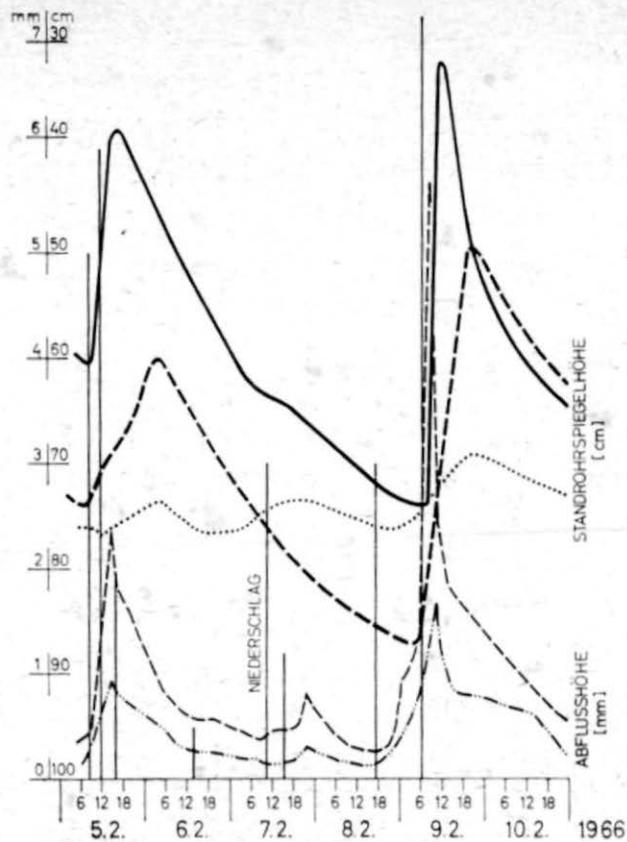


Abb. 6: Dränabfluß und Grundwasserstände in einer Pseudogley-Parabraunerde aus Würmlöß über Rißlöß und Rißmoräne
links: Ganglinien — rechts: Summenlinien

--- Kies

..... Phosphat

Drän überhaupt wirkt, beeinflußt er Form und Lage der so definierten Grundwasseroberfläche, einerlei, ob sie temporär oder permanent (4, 6) auftritt. Eine Aussage über die Dränwirkung ist also dann qualifiziert, wenn sie Grundwasserstände und Schüttung betrachtet. HOOGHOUTD hat bereits vor 30 Jahren eine solche Methode angegeben und ausführlich diskutiert (8).

Der apparative Aufwand für diese Untersuchung ist gering. Die Sauger müssen zugänglich sein, so daß fortlaufend die Leistung jedes einzelnen gemessen werden kann. Eine primitive Wasserwippe mit Zählwerk, für etwa 20,— DM Materialpreis in wenigen Stunden gebaut, erfüllt diesen Zweck. Eichen muß man sie im Feld mit Stoppuhr und Litergefäß bei verschiedenen Schüttungen. Sofern keine Veränderungen am Drän und im Boden stattfinden, muß die Schüttung dem Wasserdruck gehorchen.

Der Wasserspiegel unverrohrter Bohrungen in einigermaßen homogenen, standfesten Lockergesteinen zeigt das Verhalten oberflächennahen Grundwassers. In Böden täuscht eine solche Beobachtung. Kein Versuch leistet bekanntlich mehr, als seine Ausgangshypothesen zulassen. Zum Beispiel führt die unverrohrte Bohrung im geschichteten Profil zu einem hydraulischen Kurzschluß, gibt ihn aber nicht zu erkennen. Wir verwenden daher mit Betonitpulver ($r_t = 0,6 \text{ g/cm}^3$) umschüttete Standrohre, weil sie die Druckverteilung im Profil und damit Inhomogenitäten zeigen. Bei Bedarf läßt sich die Pegelmäßweisung mit Quecksilbermanometern verringern. Man kann auch Tensiometer mit entsprechendem Manometer verwenden (7). Das Ergebnis einer Messung mit 3—5 Standrohren oder Tensiometern (vgl. 15) zeigt Abb. 5. Der Zusammenhang mit der Dränschüttung läßt sich leicht herstellen. Beispielen geben Abb. 6 und 7.

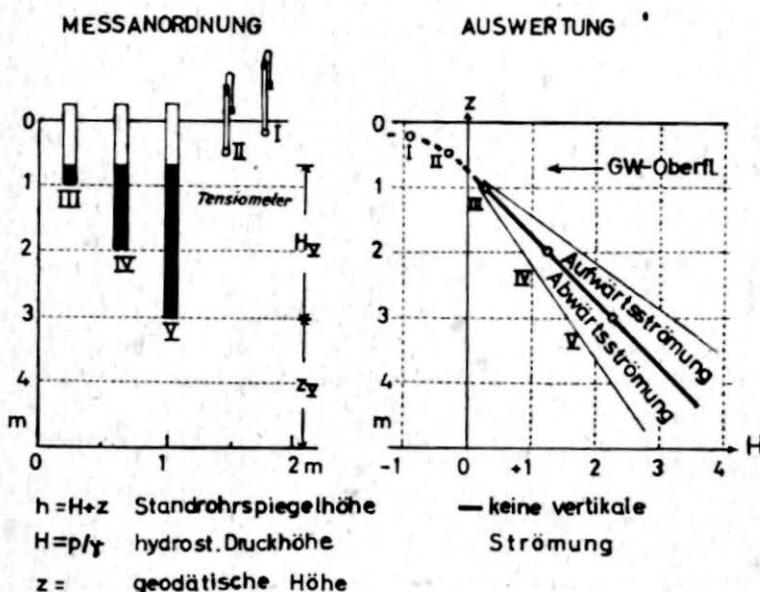


Abb. 5: Standrohrmessung zum Nachweis von Vertikalströmungen und zur Bestimmung der Grundwasseroberfläche in Böden

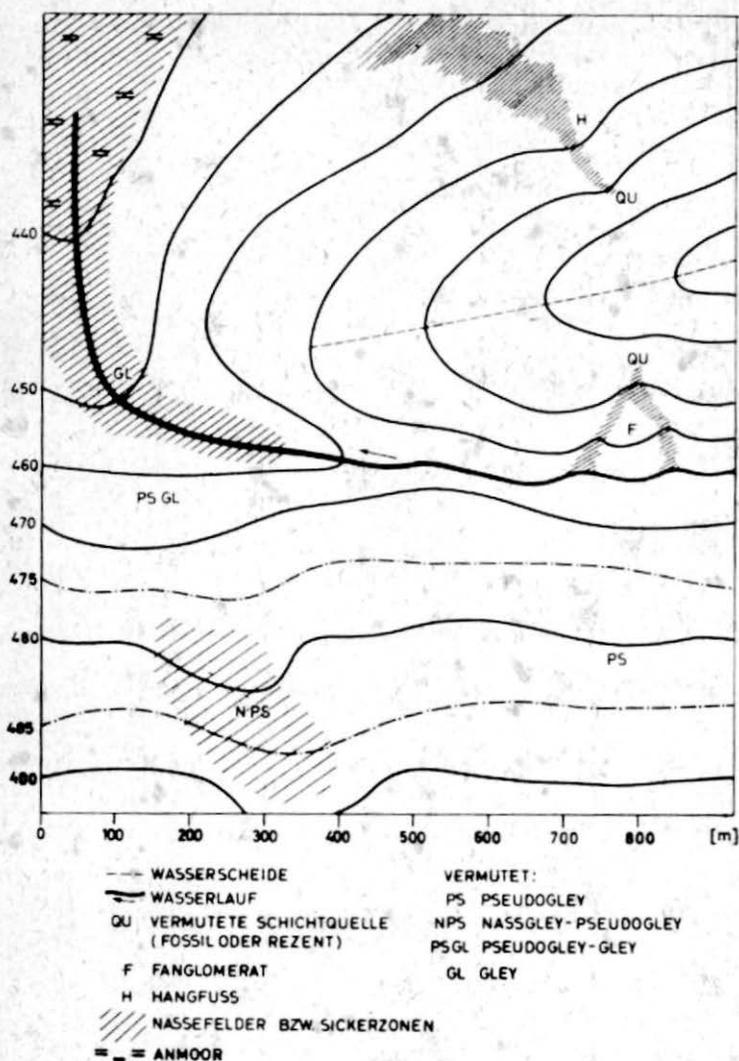


Abb. 4:
Orographische
Analyse schematisch
Kartenblatt
1:5000 NW V 18
nördl. Teil

etwas weiter als die Relief-Darstellung von Herrn Dr. Kopp (10). Die sechs Schnitte sind auf Plexiglas überhöht so gezeichnet, daß bei seitlicher Durchsicht eine räumliche Vorstellung der Schichten und Strömungen entsteht. Im Feld verwenden wir Cellonscheiben in einem leichten Holzrahmen, um dem Praktiker schon während der Aufnahme ein möglichst natürliches „Röntgen“-Bild zeigen zu können. Man erkennt unschwer den starken Einfluß von Relief und Schichtung (vgl. auch Lit. 12!) auf die Böden bzw. auf das Grundwasser.

Kulturtechnisch interessantes Merkmal des Grundwassers ist die zusammenhängende Fläche mit dem hydrostatischen Druck Null (4, Abschn. 5.02). Wenn ein

sen. Der Überschuß folgt dem Feinrelief in die nächste Mulde, die so das 10- bis 100fache der nun nicht mehr gleichmäßig verteilten Niederschlagshöhe „verdauen“ muß. Ein Blick in die Frühjahrslandschaft führt zu dem gleichen Eindruck (vgl. Farbtafeln „Pseudogley“, „Parabraunerde“).

Jede Betrachtung eines Hügellandes führt zu der Einsicht, daß Relief und Schichten die absickernden Niederschläge recht unterschiedlich verteilen.

Wenden wir uns nun der vorgelagerten Ebene zu.

Hier darf man wohl einen Grundwasseranstieg der Überschwemmung eines Tales vergleichen, in dem der Wasserlauf unter dem Stauspiegel verschwindet. Ein Fußgänger sieht allein die eintönige Wasserfläche. Sucht man nach Gegenmaßnahmen, so findet der Vergleich folgendes:

Die geringste Wirkung hat der durchschnittliche Rohrstrang, sofern der gesamte Überschwemmungsraum mit einem Rohrnetz durchzogen wird. Dagegen vorbeugend und damit am stärksten wirkt jede Leitung, die das Fremdwasser bereits vor dem Überschwemmungsraum erfaßt.

Auf einer Höhenflurkarte 1:5000 oder größeren Maßstabes kann die Orographische Analyse den Eindruck der Feldbegehungen leicht kontrollieren. Wie Abb. 4 zeigt, liegen die vernäbten Zonen tatsächlich im Muldenzug, und zwar am hartnäckigsten im Gefällsknick und am Muldenfuß. Hier setzt der anatomisch richtige Eingriff der Kulturtechnik sein „Skalpell“ an. Solange nicht eine Systemdränung die Vernässungsursache verfehlt, natürlich wenig bessert und eine undurchschaubare Fläche hinterläßt, kann der Kulturtechniker die Schichtquelle (vgl. die Farbtafel „Naßgalle“) leicht erkennen.

Der Höhenplan (Abb. 4) und einige Kenntnis des geologischen Aufbaus machen die Zusammenhänge übersichtlich. Die Böden selbst erklären durch ihre Merkmale dem Praktiker während der Bauarbeit, ob er richtig ansetzt. Ganz im Gegensatz zur Justitia, die bekanntlich nur mit verbundenen Augen das Rechte trifft, legt die Kulturtechnik Wert auf das wache Auge gerade der vordersten Praktiker am Drängraben. Schwächster Punkt bleibt dann das „Fassen“ in hinreichender Tiefe, weil Dränrohr und Grabenfüllung sich nicht immer vertragen. Die kritische Zone muß mit einem Stufenfilter (9) ausgerüstet werden.

Karten mit Höhenlinien in Dezimeter-Abständen sind selten. Für ebene Flächen versagt daher das Schnellverfahren. Der Zusammenhang zwischen Feinrelief und typologischen Merkmalen zeigt allerdings eine Besonderheit: Auch in sonst trockenen Jahren prägt die Pflugarbeit dem Profil des „guten Zeichners“ (16) in den nur eine Spanne eingetieften Mulden gelegentlich Nässemerkmale auf (vgl. Farbtafel „A_pG_r-Merkmale“). Auch hier müssen die Ackermulden zeitweilig mehr Wasser schlucken als die übrige Fläche. Es entstehen Feuchtepfannen, in denen Pflug und Schlepper tief einsinken.

Unter ähnlichen Bedingungen fordert die Dränanweisung für die Marsch: „Das Oberflächenwasser ist gehörig abzuleiten“ (3). Ein Grüppel für Tagwasser in der geackerten Parabraunerde würde nun erheblich stören. Was liegt also näher, als den Blick des Kulturaufsehers für diese flachen Mulden zu schulen. Fachgerecht ausgeführte Schlucker können mehr leisten als ein schematisches Dränsystem ohne Rücksicht auf das Feinrelief.

Weil Anschauung die Mutter des Verständnisses ist, haben wir gestern und heute ein hydropedologisches Modell vor den Diskussionsraum gestellt. Es geht

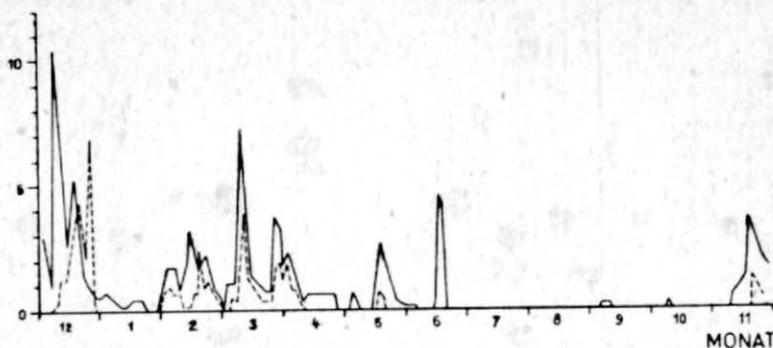


Abb. 2b:
Abflußganglinie
1963

Zusickerung von Oberfläche oder Pflugsohle (6) kein Zweifel mehr besteht. Die Dränanweisung (3) gibt praxisgerechte Hinweise, die indessen aus Mangel an Verständnis und Fachausbildung kaum beachtet werden.

Der Aufwand im speziellen Fall trifft die Beteiligten so schmerzlich wie der geringe Erfolg. Er würde lehrreich, wenn allgemeinere Kenntnisse eine Vorhersage gestatten. Vielleicht führt uns die Fährte des mit dem Niederschlag fallenden „kritischen“ Wassertropfens auf folgendem Wege zum Ziel:

Im Felde beurteilen wir die Infiltrationsrate gerne mit der Tropfpipette (13). Den Vergleichsmaßstab liefern Diagramme eines Regenschreibers. Fragt man nach den Intensitäten, mit denen Regen die Fläche betropft, dann ergibt die Ver-

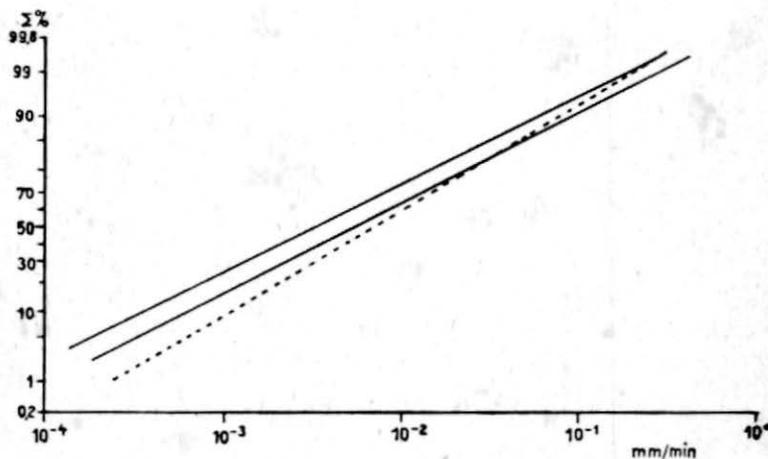
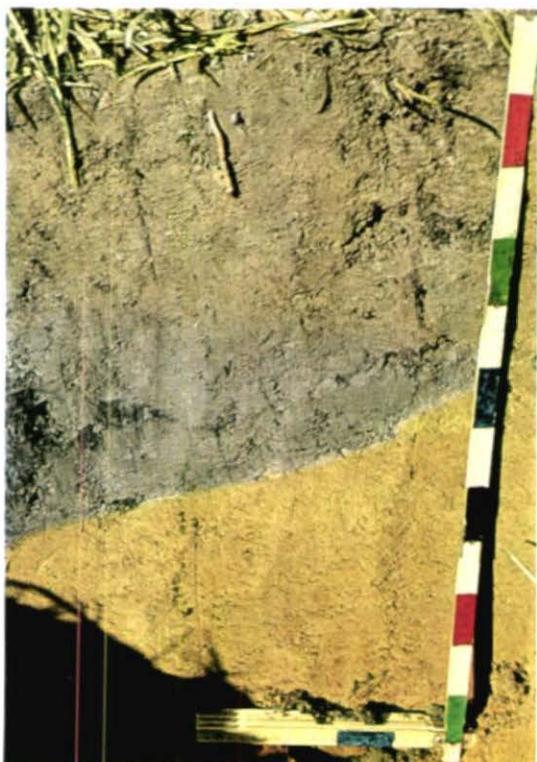


Abb. 3:
Hüllkurven der
Summenhäufig-
keiten mit dem
Ombrographen
gemessener
Intensitäten
(1963 bis 1964;
Sylvenstein,
Nußdorf und
Kollbach)

teilung der Abb. 3, also eine Statistik der Steigungswinkel des Pluvioskripts (drei Regenschreiber am Kollbach und am Sylvenstein 1963 bis 1964), die Antwort.

Nur wenige Böden können gesättigt einen Tropfen von etwa $0,1 \text{ ml/cm}^2 \text{ min}$ „verdauen“ (11). Eine Intensität von mindestens $0,1 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ tritt aber in 10% der Ereignisse ein. Soweit nun diese Wahrscheinlichkeit vom Sättigungsgrad unabhängig bleibt, kann man erwarten, daß auch 10% der auf einen nassen Boden treffenden Niederschläge bereits an der Oberfläche seitlich ausweichen müs-



A_pG_r-Merkmale durch 25 cm tiefe Pflugarbeit in einer nassen Ackermulde



Naßgalle in der Schichtstufenlandschaft



Pseudogley – Parabraunerde im Frühjahr



Parabraunerde – Pseudogley mit Kaskadenvernässung

gen Boden. Relief, Pflanzenbestand und Fahrspuren allerdings waren anderer Meinung. Zwar glaubte der Flächenbesitzer an eine Besserung, doch verriet doppelte, unvermittelt in Wühlrinnen endende Fahrspuren das Mißverhältnis zwischen Tragfähigkeit der Krume und Optimismus des Fahrers.

Derartige Flächen sind jedem Landwirt bekannt. Bekannt sind auch jedem Kulturtechniker die Dränsysteme in solchen Flächen (Abb. 1).

Weniger bekannt sind hydraulisches Profil und Leistung der Dräne, weil ja die anerkannte Lehrmeinung ein zufriedenstellendes Bild gibt. Nur selten stellt sich der Praktiker die Frage, ob denn die Voraussetzungen seiner Theorie im Einzelfalle auch zutreffen.

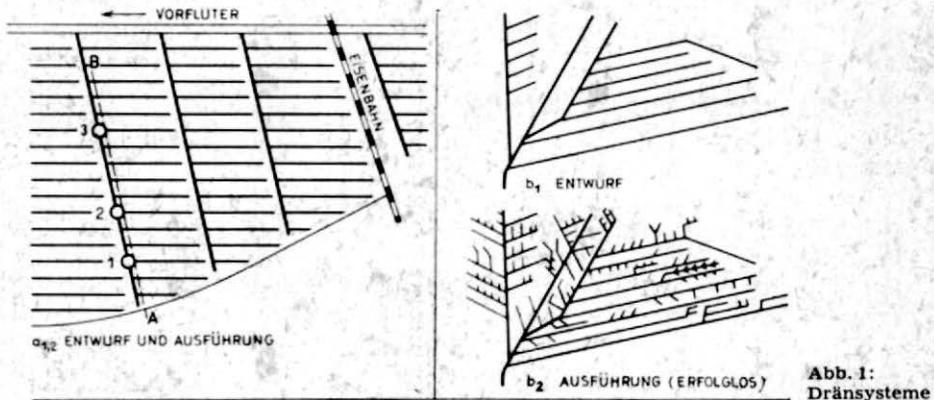


Abb. 1:
Dränsysteme

Wie Abb. 2 zeigt, erklärt der Profilschnitt die unterschiedlichen Ganglinien der Dränschüttung bzw. die Dränwirkung; allerdings könnte der Kulturaufseher spätestens beim Bau des Drängrabens den Sachverhalt erkennen und dem Abschnitt 2,6 der Dränanweisung entsprechend verfahren.

DONAT hat bereits 1958 (5) die Zusammenhänge ausführlich dargelegt. Dieser häufigste Fall sollte der Praxis so geläufig sein, daß sie ihre Maßnahmen entsprechend darauf einrichtet. Außerdem fordern Einfüllmethoden und Filterstoffe hinreichende Aufmerksamkeit, weil seit einem Menschenalter über die kritischen Zonen der Grundwasserströmung am Dränstrang (2) und im Drängrabens bei

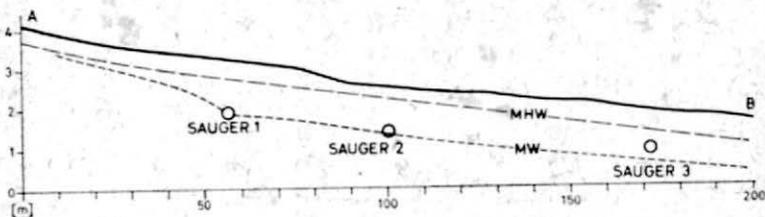


Abb. 2a: Hydraulischer Schnitt von Süden (A) nach Norden (B) durch einen Anmoorgley aus lehmigem Teilsediment über Schmelzwassersedimenten aus Gneiszersatz; Grundwasser kürzlich durch Vorflutverbesserung (etwa 80 m nördlich B) um 3 dm gesenkt

Einige Feldmethoden der Meliorationsberatung

Von Dr. H. Hebestreit, Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde,
München

Neben der Flurbereinigung steigern nasse Jahre den Wunsch der Landwirtschaft nach Dränungen, zumal Schlepper ihren Besitzern die Dränbedürftigkeit der Flächen eindringlich vorführen. Dadurch spüren Praktiker der Kulturtechnik einen periodisch wachsenden Druck auf ihre Baukapazität. Die Jahresberichte der Wasserwirtschaftsverwaltung weisen dementsprechend finanziell Bauvolumina von beachtlicher Höhe auf, an denen die öffentliche Hand sich weitgehend beteiligt.

Solange Zuschüsse fließen, steigt der Aufwand. Praktiker der Kulturtechnik, die sich durchweg mit einiger tiefbautechnischer Vorbildung begnügen müssen, erfahren meistens, daß enge systematische Dränung den Wünschen der Landwirte entspricht — oder jedenfalls bei der üblichen Finanzierung nur wenige Klagen laut werden läßt. Sie entspricht der Theorie des Praktikers.

Sorgen bereiten hohe Baukosten der Dienstaufsicht, wenn sie daneben den Dränerfolg zu Recht skeptisch betrachten muß. Um rationelle Verfahren einzubürgern oder um jedenfalls den Aufwand zu mindern, bedient sie sich der Beratung. Diese soll entweder das Bauvolumen senken oder jedenfalls durch ihr Placet den Aufwand sanktionieren. Außerdem zieht der interessierte Praktiker den Fachmann dann zu Rate, wenn seine Vorbildung für ein Fachgespräch ausreicht. Ähnliches beobachten wir ja ebenfalls in der Landwirtschaft.

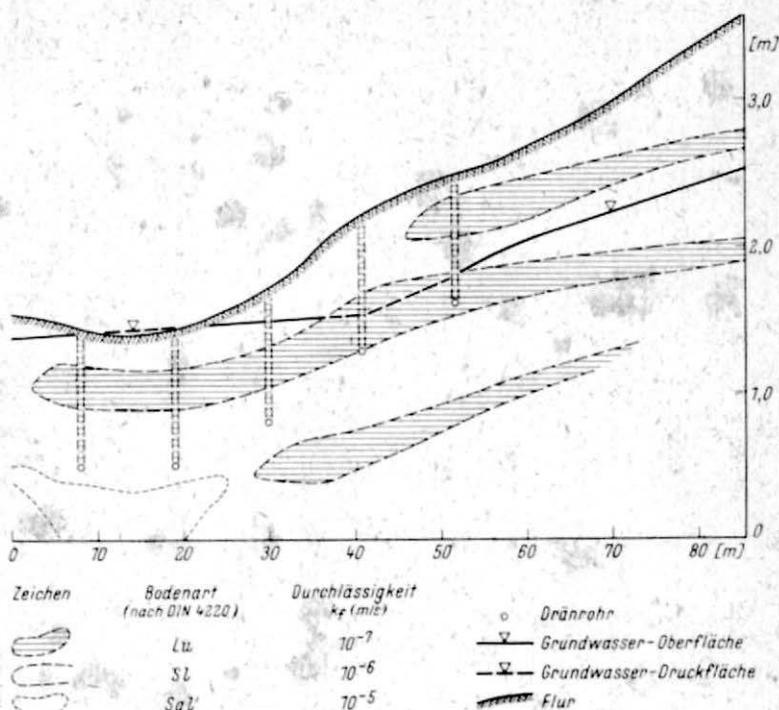
Seinerseits kann der Berater das Objekt — nämlich die Dränfläche — oder auch die mit und auf der Meliorationsfläche wirtschaftenden Praktiker befragen. Der letztgenannte Weg könnte zu unserem Ziel führen, sofern eine Summe subjektiver Urteile eine objektives Bild der Dränwirkung ergäbe. Leider trägt diese Hoffnung. Natürlich gibt ein derartiger Meinungstest psychoanalytisch interessante Ergebnisse; insbesondere läßt sich paranoides Verhalten motivieren. Wenn aber die Dränung ein hydraulischer Eingriff in Böden ist, dann benötigt man auch hydraulische Kenntnisse und Methoden. Wir scheuen uns daher, die absurden Ergebnisse bloßer Meinungsumfrage¹⁾ zur Grundlage kostspieliger Praxis zu machen — nicht nur im Interesse der Flächenbesitzer und Steuerzahler, vor allem auch im Interesse des Ansehens der Kulturtechnik.

VAGELER lehrte: „Einzig zuverlässige Lehrmeisterin ist nur die Natur und ihre Beobachtung und alle Theorie ist letzten Endes — wenn sie richtig ist — nur das in handliche Formen gebrachte Ergebnis beobachtender Praxis“ (14). Wenden wir uns also der Natur zu.

Einige systematische Dränungen zogen vor einiger Zeit die Aufmerksamkeit des vorüberfahrenden Beraters auf sich, weil die technischen Maßnahmen durchgeführt waren, als träfe der hydraulische Eingriff einen hydraulisch gleichförmigen

¹⁾ Oft genug zeigen Kontrollen, daß manipulierte Daten vorliegen.

Abb. 8:
Schnitt durch
eine Dränung
(bei nassem Wet-
ter ohne Rück-
sicht auf die
Vernässungs-
ursache aus-
geführt) rechts
45 57 800 hoch
53 18 510



mehr. Man muß mit einigen Standrohren in die Tiefe dringen und zugleich den Abfluß ins Auge fassen. Das objektive Urteil, besseres Verständnis der Dränmethoden und geringere Kosten belohnen diese bescheidene Mühe.

Literatur

1. Andersson, S.: Markfysikaliska undersökningar i odlad jord VII. Grundförbättring 7 (1954), 125.
2. Dachler, R.: Grundwasserströmung. Wien (1936).
3. DIN 1185: Dränanweisung. 7. Aufl., Berlin (1958).
4. DIN 4049: Gewässerkunde; I. Teil. Berlin (1954).
5. Donat, I.: Fragen der Bodenentwässerung im alpinen Raum. Ö. Wasserwirtschaft 10 (1958), 165.
6. Flodkvist, H.: Kulturtechnische Grundwasserforschungen. Sver. Geol. Unders. Årsbok 25 (1931), No. 4.
7. Hebestreit, H.: Hydropedologische Schnellmethoden. Ber. d. Landesanst. f. Bodennutzungsschutz (1962), 67.
8. Hooghoudt, S. B.: Bijdrage tot de Kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond. No. 4 (1936) u. No. 6 (1937). Versl. Landbouwkundige Onderzoekingen No. 42 u. 43.
9. Kirgis, L.: Tiefbautaschenbuch. 11. Aufl., Stuttgart (1959).
10. Kopp, E.: Topogene Zonen meliorationsbedürftiger Böden in der Eifel.

11. Kuntze, H.: Die Marschen — Schwere Böden in der landwirtschaftlichen Evolution. Hamburg u. Berlin (1958).
12. Schlichting, E., und Blume, H. P.: Bodenkundliches Praktikum, Hamburg u. Berlin (1966).
13. Sekera, F.: Zirkulationsstörungen in der Ackerkrume und ihr Einfluß auf die nutzbare Bodenspeicherung. Z. Pfl. Ern. Düngg. Bodenkunde **84** (1951), 1.
14. Vageler, P.: Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens. Berlin (1932).
15. Vollrath, H.: Das Vegetationsgefüge der Itzaue als Ausdruck hydrologischen und sedimentologischen Geschehens. München (1965).
16. Zakosek, H.: Über die Deutung des Profilgepräges gleyartiger Böden. Diss. Bonn (1952).

XII. Diskussion

Leitung: Prof. Dr. Weber

GÖTTLICH: Im vergangenen Jahr nahm ich mehrere Tage an einer geologischen Exkursion in der Schweiz teil. Da entbrannte förmlich ein Streit über den Begriff Flysch. Es war ein Streit, der weit über das Phonetische oder Mundartliche hinausging. Es handelt sich hier wohl um etwas Prinzipielles; könnten Sie dazu etwas sagen?

SIEGENTHALER: Der Ausdruck Flysch (wir sagen „Fliesch“) kommt aus dem Simmental, ist also ein schweizerischer Ausdruck und wird jetzt weltweit verwendet. Wenn zu uns die deutschen und österreichischen Geologen kommen und sagen „Flüsch“, dann lachen wir auf den Stockzähnen, bis sie es merken und auch Flysch sagen.

JUNG: Sie zeigten uns das schöne Bild mit Fanggräben. Haben Sie schon Vorstellungen darüber, wie weit die Abstände in Abhängigkeit vom Gefälle sein müssen.

SIEGENTHALER: Wir haben einige Versuchsflächen eingerichtet, die haben alle denselben Abstand von 6 m. Wir haben noch keine Vorstellungen zu dieser Frage.

WEBER: Sie messen die Infiltrationsrate und stellen eine Abhängigkeit von der Regenintensität fest. Es müßte aber auch die ursprüngliche Bodenfeuchte vor Beginn der Beregnung einen Einfluß auf die Infiltrationsrate haben.

SIEGENTHALER: Wir möchten bei diesem Versuch verschiedene Bodentypen vergleichen und haben deshalb eine Methode ausgewählt, die unabhängig von der Bodenfeuchte die Resultate und Kennwerte gibt. Das war gerechtfertigt, weil gewisse Bodentypen ständig vernäßt sind.

Wir beregnen und warten den stationären Zustand ab. Ich habe das bei einer Fläche gemacht nach einer Trockenperiode von etwa sieben Tagen. Dann habe ich den stationären Zustand abgewartet, gemessen und dasselbe wiederholt. Es hat keinen Unterschied innerhalb der Meßgenauigkeit gegeben.

SCHWERDTFEGER: Zur Verfüllung der Gräben hat sich ein Gemisch von Styromull und Erde nicht bewährt. In welchem Mengenverhältnis ist das

etwa eingebracht? Können Sie vielleicht auch sagen, warum es sich nicht bewährt hat?

SIEGENTHALER: Wir haben Styromull und Erde im Verhältnis 1:1 versucht zu mischen. Es ist aber nicht gegangen. Es ist ein klebriger, zäher Boden. Da bleiben Erdbrocken und Styromull-Nester nebeneinander, es gibt keine Verbindung. Viehtritt und Regen haben aus der Oberfläche das Styromull verschleppt.

VIDAL: Sie wollen neuerdings Filterplatten einbauen, die vom Dränrohr etwa bis hinauf zur Oberfläche reichen; aus welchem Material bestehen diese Filterplatten?

SIEGENTHALER: Das sind von einer Firma zur Verfügung gestellte Platten aus „Leko“, Material einer Korngröße 1—2 cm Durchmesser, gebunden mit einer Zementmischung, so daß noch ein großer Porenanteil vorhanden ist. Das wirkt wie ein Sieb. Die legen wir dann einfach unten in eine Einkehlung und stellen sie auf die Rohre bis an die Oberfläche.

WEBER: Haben Sie schon einmal Wirtschaftlichkeitsberechnungen angestellt? Was würde eine derartige Dränung kosten? Sie liegt bei Ihnen sehr eng!

Rentiert sich das für Ihre Weiden? Ich könnte mir vorstellen, daß Sie auf 3000 SF/ha kommen.

SIEGENTHALER: Wir haben bis jetzt keine Rentabilitätsberechnung gemacht. Wir haben nur einfach nach einer Möglichkeit gesucht, diese Flächen zu dränen.

KARL: Bei Rentabilitätsberechnungen im Flyschgebiet darf man nicht nur vom Nutzen ausgehen, den die Weidewirtschaft trägt. Die ungünstigen Auswirkungen vernäßer Böden auf die Vorfluter und die dabei auftretenden Kosten in der Wildbachverbauung lassen es durchaus gerechtfertigt erscheinen, in die Entwässerung hochgelegener, teilweise sehr steiler Flächen erhebliche Mittel zu investieren.

Man darf also hier nicht rein von der landwirtschaftlichen bzw. von der forstwirtschaftlichen Rentabilität ausgehen, sondern muß auch die u. U. einzusparenden sehr hohen Kosten in der Wildbachverbauung mit in Rechnung stellen.

WEBER: Aber trotzdem wird es sehr viel kosten, wenn die Flächen groß sind. Daß man selbstverständlich bei der Wildbachverbauung etwas einsparen kann — vielleicht sogar sehr viel einsparen kann —, macht die Sache dann von vorneherein rentabler.

SIEGENTHALER: Wir brauchen nur schmale, flache Gräben. Es besteht die Möglichkeit, auf den Hängen kleine Maschinen einzusetzen, die bei günstigen Verhältnissen relativ schnell arbeiten können. Wenn wir ein leichtes Filtermaterial verwenden, das man billig transportieren kann, dann ist diese Ausführung viel billiger als die bisherige mit verfüllten, bis 1,2 m tiefen Gräben.

WEBER: Haben Sie auch Betrachtungen darüber angestellt, inwieweit die Stärke der Beweidung einen Einfluß auf die Verdichtung und damit auf die Erosion hat?

Das spielt doch gerade bei den Hochgebirgsweiden eine große Rolle. Es wird immer davor gewarnt überzubeweidern. Darauf hat schon Burger hingewiesen!

KARL: Es ist sehr schwer, vergleichbare Flächen zu finden (sowohl von der Geologie, wie von der Neigung, wie von der Exposition her — wie auch von der Art der Beweidung — also von der Dichte des Besatzes, von der Art des Umtriebes bzw. von der Größe der Standweide). Die Grünlandwirtschaft im Gebirge ist nicht vergleichbar mit einer Umtriebsweide im Flachland, wo man nun tatsächlich Berechnungen anstellen kann, wie groß die Druckbelastung pro qm und Weidezeit in etwa sein kann. Das gelingt im Gebirge nur sehr schwierig, und wir haben in dieser Richtung noch keine Untersuchungen angestellt.

WEBER: Man kann in jedem Falle sagen: Vorsicht vor einer Überbeweidung!

KARL: Einen Aufschluß dafür geben ja auch die Sickerversuche, die Burger angestellt hat, die auch wir angestellt haben und die auf eine außerordentliche Dichtlagerung von stark beweideten Böden hinweisen.

SEYBERTH: Wir führen jedes Jahr in Oberbayern und in Schwaben Almbegehungen durch: Gegenwärtig ist die Gefahr größer, daß man die Almen unterbestoßen wird, also die Grünlandnarbe nicht mehr gepflegt wird, als daß die Almen überbestoßen sind. Heute ist die Gefahr viel größer, daß die Almen nunmehr als Skihütten verpachtet werden und keinerlei geordnete Almwirtschaft durchgeführt wird.

SIEGENTHALER: Wie hat sich der Niederschlag im Sommer 1965 auf Intensität und Umfang der Rutschungen ausgewirkt? Wissen Sie, wann im Allgäu die Umwandlung von Wald und Weide bzw. der Kahlschlag des Waldes erfolgte?

KARL: Der niederschlagsreiche Sommer, insbesondere aber das außerordentlich niederschlagsreiche Frühjahr und die hohe Schneelage des Spätwinters brachten eine sehr große Zahl an Rutschungen, insbesondere im Flyschgebiet. Wir hatten im April und Mai beinahe jede Woche irgendwo eine Rutschung.

Da waren Rutschungen in einem Umfang bis zu 15 ha und bis zu 300 000 m³ (in einem Fall in einer halben Stunde!). Es waren also ganz außergewöhnliche Verhältnisse, die in ihrem räumlichen wie auch ihrem zahlenmäßigen Umfang weit über das hinausgingen, was bisher in den letzten Jahrzehnten bekanntgeworden ist.

Die Einführung der Grünlandwirtschaft in großem Umfang ist im Allgäu (wo der Flyschanteil am größten ist) im großen Stil etwa um die Mitte des vorigen Jahrhunderts erfolgt. Die gerodeten Flächen waren zunächst zweifellos sehr gutes Weideland. Heute sind diese Böden großflächig vernäßt, in einem Umfang, daß weite Gebiete heute als Weideland nur sehr beschränkt oder überhaupt nicht mehr nutzbar sind. Sie werden ja sicher bei Ihnen zu Hause ähnliche Erscheinungen kennen, wo durch mächtige Naßhumusaufgaben eine Beweidung nicht mehr oder nur mehr ganz begrenzt möglich ist.

WICHTMANN: Wahrscheinlich ist in jedem Frühjahr der Boden stellenweise so stark vernäßt, daß keine Poren wasserfrei sind. Nun haben Sie besonders starke Rutschungen im Jahre 1965 gehabt. Ist es vielleicht möglich, daß in Quellzonen gelegentlich das Wasser unter Druck aus der Erde herauskommt und den Boden abtreibt.

KARL: Ich möchte an das Diagramm erinnern, das gestern Herr Sankt-johanser gezeigt hat. Die Schuttkörper, die vielfach periplazial und postglazial schon einmal geflossen sind, haben einen hohen Schluffanteil. Schuttkörper dieser Art haben die Eigenschaft, bis zu einem Wassergehalt von etwa 40 Vol.-% stehen-zubleiben. Bei einer ganz geringen weiteren Zugabe (es handelt sich da um Mengen zwischen 2 und 4%) aber schlagartig abzugleiten und in einen Fließzustand zu geraten. Es wird auch gelegentlich daran gedacht, daß es sich in dem einen oder anderen Fall um thixotrope Erscheinungen handeln könnte, aber mir scheint die Erklärung, die sich aus dem hohen Schluffanteil herleitet, die wahrscheinlichere zu sein.

Freilich sind die Schuttkörper im Frühjahr immer bis zu einem gewissen Grad vernäßt. Offensichtlich wird der kritische Punkt nur dann erreicht, wenn besonders viel Wasser in tiefere Bodenschichten eindringen kann. Das war im vorigen Frühjahr hauptsächlich durch den Umstand gegeben, daß der Boden unter dem Schnee nicht gefroren war und das Schneeschmelzwasser langsam in den Boden eindringen konnte. Wir hatten ja im vorigen Frühjahr kaum Schneeschmelze-Hochwasser im Alpenvorland.

SCHWERDTFEGGER: Werden mit dem Generalplan in Bayern auch gleichzeitig wasserwirtschaftliche Rahmenpläne aufgestellt werden?

KÖPF: In § 36 des Wasserhaushaltsgesetzes wird den Ländern die Aufstellung von wasserwirtschaftlichen Rahmenplänen zur Pflicht gemacht. Im Vollzug dieser Rechtsnorm wurde diese Aufgabe in Bayern der Landesstelle für Gewässerkunde übertragen. Der „Sonderplan Abfluß Vils“ ist ein Rahmenplan, der ausschließlich auf die Regelung des Abflusses beschränkt ist. Da er neben allgemeinen Empfehlungen verbindliche Ausbauregelungen enthält, ist es dem Inhalt nach gleichzeitig ein „Generalplan“.

BAUMANN: Können Sie vielleicht noch mal die Zahlen für die Abflüsse geben?

KÖPF: Das Einzugsgebiet der Vils bei Mettenhausen ist 732 km² groß. Die Abflüsse betragen:

MQ	=	5 m ³ /s
HQ ₁	=	72 m ³ /s
HQ ₃	=	140 m ³ /s
HQ ₃₀	=	288 m ³ /s

BAUMANN: Wie wird nun der Abfluß (besonders das fünfjährige Hochwasser von 140 Kubikmetern) durch die vorgesehenen Rückhaltemaßnahmen vermindert?

KÖPF: An der Vils werden im Mittel Minderungen von 1/3 der Scheitelabflüsse erwartet. Im Mittelabschnitt wollen wir auf 90 m³/s ausbauen. In diesem Abschnitt wird der fünfjährige Abfluß von derzeit 140 m³/s um 50 m³/s auf 90 m³/s reduziert.

SCHAFFER: Wie ist z. Z. die landwirtschaftliche Nutzung im Beckenbereich und wie soll später die Bewirtschaftung (Anbauplan) aussehen?

KÖPF: Wir haben an der Vils mineralische Grundwasserböden, darauf Grünland. Nur in den Gebieten, in denen bereits vor Jahren reguliert worden ist, haben vereinzelte Bauern in der Zwischenzeit umgebrochen und einzelne Grünland-

flächen zu Ackerland gemacht. Der Stauraum Marklkofen ist ausschließlich Grünland bis auf die Zone 4, die zuletzt eingestaut werden soll. Wir haben absichtlich diese Zone, weil dort sehr viele Ackerlagen sind, als letzte Zone zum Einstau vorgesehen, d. h. die Zone, in der Ackerlagen sind, wird nur jedes 5. Jahr oder jeden 10. Sommer eingestaut. Die Zoneneinteilung soll Schäden, die durch Überflutungen im Speicherraum entstehen könnten, auf Grünlandzonen beschränken (Zone 1 + 2). Auch in der Zone 4 erwarten wir keinen Zuwachs an Schäden gegenüber dem derzeitigen Zustand.

Als wir dem Arbeitskreis „Vils“ die 4-Zonenlösung boten, wurde die Bereitschaft zur Grundabgabe wesentlich gefördert. Die Zonen 1 + 2 sollen vom Freistaat Bayern angekauft werden. Die Duldung des Speichers auf den Zonen 3 und 4 soll durch Grunddienstbarkeiten gesichert werden. Wir sind überzeugt, daß die Verhältnisse der Zone 3 und 4 zumindest nicht schlechter werden, als sie derzeit sind. Diese Flächen werden jetzt zweimal im Jahr überflutet. Aus den Talprofilen konnten Sie erkennen, daß die Vils links und rechts aufgesattelt ist. Schon bei kleinen Hochwässern werden derzeit 40—60% der Talbreite (Marklkofener Speicher $b = 1000$ m) überflutet.

SCHONNOPP: Haben Sie auch Bauern umsiedeln müssen, um das Land für die Becken freizubekommen, und wie kommen Sie dann mit der Landzuteilung aus?

KÖPF: Meine Herren, der Speicher ist nicht realisierbar, wenn in der Frage der Grundabtretung nicht alle Phantasie aufgeboten wird, die uns zur Verfügung steht. Man muß daran denken, daß es sich um Grünland im Herzen Niederbayerns handelt. Als wir diesen Plan fertigten, haben wir eine Novität erprobt. Den Planfertigern wurde ein Arbeitskreis mit beratender Funktion beigegeben, in dem die Interessenvertreter des ganzen Vilstales vertreten waren. In diesen Sitzungen wurde die Frage der Grundbereitstellung vorrangig besprochen. Das Flurbereinigungsamt und die Siedlungsbehörden müssen helfen. Wichtig ist vor allem der Ankauf von Tauschgrundstücken durch den Freistaat Bayern als Träger der Maßnahme.

KOPP: Gehören die farbigen Luftbilderaufnahmen bereits zur obligatorischen Voruntersuchung dränbedürftiger oder Meliorationsflächen und was kostet das?

HEBESTREIT: Obligatorisch nein! Wenn wir keine Bodenkarte haben und auch sonst Hilfsmittel fehlen, wir ohnehin reisen müssen, um uns einen Eindruck zu verschaffen, so fliegen wir. Es kostet die Flugminute 1,— DM. Für diese Mark können wir verhältnismäßig viel sehen. Das läßt sich auch mit der Kamera speichern. Auch kennen wir Piloten, die schon als Mitarbeiter ihr Auge geschult haben. Man kann auf diese Art tatsächlich Quadratkilometer bearbeiten. Man erkennt gleich, wo Punkte eine genaue Untersuchung fordern bzw. wo das nicht erforderlich ist.

MERBITZ: Sie zeigten, daß einige Stränge recht gut ziehen und andere weniger gut, wir finden so etwas häufig. Mitunter werden sogar Flächen im Laufe der Zeit zwei- und dreimal kreuzweise gedränt, ohne daß Wasser rauskommt. Nun habe ich mich gefragt, ob das bei Ihnen auch der Fall ist.

Ich habe etwa vier Jahre gebraucht, bis ein Höhengebiet mit Pseudogley, Hochmoor und mit verschiedenen Übergängen der Bodentypen vollkommen neu drainiert wurde. Der Staat hat alles bezahlt. Die Bauern gehen zum Händler, wenn eine Maschine nicht funktioniert, und bezahlen sie nicht, oder sie verlangen kostenlose Änderungen, bis die Maschine läuft. Das muß auch für die Drainung gelten.

Ich weiß nicht, ob es in anderen Ländern auch der Fall ist. Es wirkt recht gut, wenn der Bauer sagt, ich bezahle keine Fehler! Ist das bei Ihnen auch möglich?

HEBESTREIT: Über Bezahlungsfragen haben wir uns immer nur am Rande interessiert, weil wir wenig damit zu tun haben. Immerhin, es kann durchaus ein Malheur passieren! Das läßt sich gar nicht ausschließen, denn Irren ist menschlich. Allerdings habe ich noch keine Statistik darüber, wie menschlich Bayern ist.

KAMINSKI: In den Niederelbegebieten haben wir das Gesamtgebiet vorab fotografiert (Luftbild GmbH Hamburg), für einen Preis von 450,— DM/ha entzerrt im Maßstab 1:5000. Wir haben damit Pläne im Maßstab 1:5000, die wir draußen auf der Baustelle benutzen können.

KOPP: Ja, bei den Kulturämtern liegen in der Regel Schwarzweiß-Aufnahmen vor für Flurbereinigungsverfahren, aber Farbaufnahmen scheinen doch ein ganz wesentlicher Fortschritt zu sein.

BAUMANN: Herr Merbitz sagt: die Bauern sollen nicht bezahlen, wenn die Drainung nicht funktioniert. Das geht aber nicht, die Verträge lauten doch entsprechend.

KAMINSKI: Die Entwürfe werden in jedem Fall von den Bauern bezahlt, auch wenn es sich nachher herausstellt, daß aus irgendwelchen Gründen nicht gedränt wird.

MERBITZ: Hochentwickelte Länder gewähren 50% Beihilfen zur Drainung. Der Aufwand für Drainung ist nicht zu vertreten, wenn durch ungenügende Planung Flächen ein zweites und drittes Mal gedränt werden.

BAUMANN: Wen wollen Sie denn haftbar machen für das Nichtfunktionieren einer Drainung? Sie können doch nicht den Unternehmer, der nach einem Plan arbeitet, dafür haftbar machen. Sie können auch nicht den Bauern sagen: „Bezahlt den Unternehmer nicht.“

MERBITZ: Die Dränpläne werden durch Ingenieure erstellt und durch Wasserwirtschaftsämter genehmigt, oder diese erstellen die Pläne selbst. Die Verantwortung für die Drainung tragen die Ämter. Was geschieht, wenn die Drainung versagt? Der Bauer geht zu einem Amt, dort wird er getröstet: Die Drainung wird erst im zweiten oder dritten Jahr wirksam. Das Ergebnis: Die Garantiezeit des Unternehmers läuft ab, der sein Geld bekam und nicht mehr zur Verantwortung gezogen werden kann, und der Bauer sitzt mit versagender Drainung da.

Der Bauer muß auch für versagende Dränungen zahlen, die bei Flurbereinigungsverfahren durchgeführt werden. Ansprüche der Bauern an Flurberei-

gungsbehörden werden nach Abschlußrechnung des Verfahrens abgelehnt. Die Korrektur von Dränfehlern, die später erkennbar sind, muß jedoch ohne Belastung der Bauern erfolgen. Das ist leicht möglich, wenn zu diesem Zweck ausreichende Beträge über die Abschlußrechnung hinaus zurückgestellt werden. Jetzt müssen die Streitigkeiten mit den Ämtern wegen versagender Entwässerung zunehmen, bis die Erfolge größer geworden sind.