

Inhaltsverzeichnis.

- Björlykke, K. O., Ueber frühere und gegenwärtige Bodenuntersuchungen in Norwegen. 113./
- Borghesani, G. A. R., Einige Probleme der forstwirtschaftlichen Bodenkunde. (Kritische Betrachtungen) 225.
- Fischer, Herm., Beziehungen zwischen Wasser und Boden. 517./
- Gully, E., Die „Humussäuren“ im Lichte neuzeitlicher Forschungsergebnisse. 232, 347.
- Hissink, D. I., Ueber die Bedeutung und die Methode der chemischen Bodenanalyse mit starker heißer Salzsäure. 1./
- Lang, R., Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. 312./
- Marquis, C., Vergleichende Untersuchungen über die Methoden der Kohärenzbestimmung mit besonderer Berücksichtigung der Kohärenzverhältnisse der Marschböden. 381./
- Odén, S., Eine neue Methode zur mechanischen Bodenanalyse. 257.
- Protokoll der Tagung der internationalen Kommission für die chemische Bodenanalyse. 25, 127./
- Rohland, P., Die Adsorptionsfähigkeit der Böden. II. 102./
- Sigmond, A. von, Ueber die Charakterisierung des Bodens auf Grund des salzsauren Bodenausuges und des Basenaustauschvermögens. 165./
- Vogel von Falckenstein, K., und G. Frhr. von Romberg, Die Molkenböden des Bram- und Reinhardswaldes im Buntsandsteingebiet der Oberweser. II. 77./
- Mitteilungen und wissenschaftliche Nachrichten 154, 248, 369, 577.
- Referate 53, 157, 249, 375, 579.
-

Namenverzeichnis.

A

Aarnio 95
Ahr 25
Albert 25, 41, 44, 50, 93, 145, 146
Allen 260
André 26, 248
Appelt 371
Arnd 69, 244
Asch, W. u. D. 190, 193
Ashley 111, 112, 369
Atterberg 37, 90, 157, 158, 213, 220,
263, 281, 303, 305, 311, 388, 424, 431,
447, 448, 476

B

Bagger 390
Bahr 253, 349
Bauer, 26, 27
Baumann 136, 141, 144, 235, 252, 348
Beam, W 305
Becker 151
Bemmelen, van 1, 2, 3, 5, 6, 16, 28,
29, 33, 34, 39, 173, 174, 214, 218,
221, 222, 456
Bencke 158
Bersch 163, 244
Berzelius 233, 252
Bieler-Chatelan 227
Biesenberger 26, 27
Birk 71
Bjørlykke 113, 122
Blank 53, 54, 55, 111
Blytt 118
Bogs 93
Bonnier 226, 227
Borghesani 225
Bräuhäuser 82, 86
Bredig 148
Brögger 117

Bühler 229
Busch 152
Buyi 24

C

Carli 255
Christiansen 145
Coffey 169, 174

D

Dahl 117
Densch 241, 244, 347
Döbereiner 232
Dobersen 111
Dobrescu, I. M., 55
Dokutschajew 174
Doeltler 193
Drevermann 248

E

Ebermayer 229
Eggertz 233
Ehrenberg 67, 95, 111, 253, 349, 369,
376, 456, 579
Emmerling 370
Engels 68
Esmark 115
Essendrop 113
Estrup 258

F

Failyer 204
Fallous 168
Fischer, Gustav 364
Fischer, H. 49, 517, 578
Fliche 226
Fraenkel 148
Freundlich, H. 255
Frosterus, B. 5

G

Gans, R. 5, 25, 34, 39, 41, 59, 97, 98,
147, 174, 184, 189, 194, 198, 202, 213,
215, 217, 218, 219, 223, 224
Gedroiz 145
Gisevius 510
Glinka 5, 26, 314
Gologurski 390
Gothan 248
Graham 173
Grandeau 226
Grégoire 25, 40, 41, 145, 147
Grimnäs 117
Grupe 85
Gully 26, 133, 144, 145, 146, 151, 153,
232, 241, 242, 252, 347, 348, 351, 352,
353

H

Haberlandt 389
Hanley 26
Haupt 162
Hazard 389
Helbig 249
Helland 117
Henkel 25
Henry 230
Hermann 238
Hesselink 49
Hilgard 1, 6, 17, 19, 20, 29, 30, 31,
32, 34, 41, 174, 175, 176, 187, 214,
215, 216, 218, 220, 221, 222, 228, 314
Hiltner 25
Hissink, D. I. 1, 6, 25, 27, 28, 29, 30,
31, 32, 40, 41, 50, 151, 184, 214, 216,
217, 218, 221, 304
Hofer, Prof. 521
Höfle 26
Holdecroft 152
Holmboe 118
Hornberger 82, 88
Horvath, B. von 72

I

Jarilow, A. 4, 126
Ibele 26

Jónsson 118
Irgens 115

K

Keilhau 115
Kjerulf 116
Keppeler 581
Knop 147
König 456, 457
Konowalow 32
Kopecky 64, 154
Kraus, Geheimrat 25, 26, 51, 153
Kraus, Assistent 26
Kreyssig 114
Kühne 489
Kyas 26

L

Lang 312, 321
Leeden, von der 457
Leiningen, Graf zu 57, 107, 109, 330,
577
Lembrandt 37
Lemmermann 26, 49, 582
Leopold, Dr. 3, 23
Libschers 44
Loughridge, R. H. 7, 17, 18, 19, 20,
21, 22, 29, 30, 31

M

Mann 331, 583
Maas 557
Malherbe 26
Maercker 394
Marquis 381
Marschall 26, 39
März 26, 27
Mausberg 441, 473, 519
Mayer, Reg.-Direktor 26
Mayr 26
Mellor 152
Merz, A. 332
Meyer, Dr., Oek.-R. 389
Meyer, H. 316
Mitscherlich, 8, 25, 27, 36, 38, 39, 40,
41, 44, 46, 50, 51, 94, 95, 165, 166,

168, 389, 400, 406, 447, 453, 457,
463, 517, 519
Mohr 316
Möller 49
Mulder, G. I. 4, 5, 171, 173, 233
Münst 80, 82
Murgoci 25, 44

N

Niklas 26, 40
Niklewski 26, 39, 41
Nostiz, Frhr. von 159

O

Odén 252, 257, 349
Oryng 164
Owen 30

P

Passarge 332
Pelouze 172
Penk 331
Petermann 40, 187
Pfeiffer 402
Pick 95
Piedzicki, S. von 389, 442, 508
Pietzsch 248
Potonié 316
Protopopescu 26
Puchner 25, 383, 389, 441, 476, 483, 510

R

Rahn 49
Ramann 25, 26, 38, 39, 40, 41, 44, 46,
50, 51, 100, 168, 174, 175, 187, 189,
212, 313, 385, 442, 508
Rau 89
Regelmann 86
Reitmeier 25, 40
Reusch 117
Richthofen 174
Rindell 7, 25, 35, 38, 39, 44, 145, 151,
153
Rodewald 94, 95
Rohland 66, 102, 108, 110, 163, 250,
255, 369, 457, 582

Romberg, Frhr. von 94, 95
Roozeboom, B. 10, 11, 28
Roscoe 11, 28
Rosenow 457
Rother 386
Rubner 555
Russel 174

S

Sabeck 23
Sachs, A. 248
Sachsse 151, 554
Sack 474
Saidel 25, 27, 39, 41, 145, 147
Sapper 316
Sars 116
Sauer 25, 39
Schermbek 389
Schimper 227
Schlösing, fils. 26, 46
Schlösing, père 149
Schmidt 82, 86, 89
Schneider 457
Schreiner 204, 234
Schübler 389
Schucht 26, 89, 94, 386, 391
Schulze, K. 67
Seeger 155
Setch 111
Shields 148
Shorey 234
Sibirzew 174
Siefert 249
Sigmond, A. von 1, 7, 19, 22, 25, 26,
27, 28, 34, 41, 46, 127, 153, 165, 177,
186, 248
Singer 200
Sjollema 457
Sokoloff 152
Sprengel 232, 389, 492
Stache 109
Stangeland 118
Stokes 259
Stoklasa 25, 47, 50
Stremme 25, 95, 152, 326
Stróm 113

Struwe 391
Stutzer 162
Suchtelen, van 49
Süchting 135, 145, 146, 237, 242
Svedberg 258
Sverdrup 114
Szabó 195

T

Tacke 25, 41, 44, 135, 141, 143, 144,
145, 146, 147, 151, 153, 237, 242, 244,
347, 348
Tantzen 410
Thugutt 190
Toivonen 35
Trevor 148
Trnka 155
Tschermak 37
Turman 226

V

Vageler 331
Vendl 170
Vernadsky 189

Vesterberg 1, 6, 7, 25, 29, 31, 34, 37,
146, 151
Völcker 382
Vogel, Dr., I. 156, 375
Vogel von Falckenstein 80, 156

W

Walther 314, 334
Wartha 190
Way 171
Wahnschaffe 94
Weigel, Dr., O. 578
Weigert 26, 27
Weimarns 456
Wielec 353
Wiegner 25, 44, 56, 145, 147, 151, 210
Williams 371
Wohlgemuth 554
Wohltmann 39, 314
Wollny 26

Z

Zsigmondy 90, 94

Sachregister.

A

Aciditätsänderungen 364
Acidität der Böden 134, 144
Aciditätszahlen 354
Aciditätsbestimmungsmethoden 135,
136, 357
Ackererde, Einfluß des Windes bei
deren Bildung 158
Adsorptionsfähigkeit der Böden, II
102, 164, siehe auch pag. 369, 373
Adsorptionsfähigkeit des Torfmooses
582
Aequivalentradius 261, 263, 299
Agrikulturgeologie, norwegische 117

Alkalisilikateinwirkung auf Ton- und
Kaolinsuspensionen 250
Apatit 32
Ascheanalyse von Kiefern 227
Augit 32

B

Basenaustauschvermögen des Bodens
165
Bindigkeit, siehe Kohärenz 382, 383
Biotit 32, 37
Böden, aride und humide 176, 333
Bodenarten der Tropen und ihre
Nutzart 583
Bodenartencharakterisierung 125

Bodenbearbeitung und Arbeitsaufwand 463
— Zugwiderstand beim Pflügen 489
— Zugwiderstandsänderungen durch wechselnde Feuchtigkeit 495
— Zugwiderstandsänderungen durch Kalkkarbonatzusatz 504
— Zugwiderstandsänderungen durch Humuszusatz 508
Bodenbestandteile, Methode der Bestimmung der leicht umzusetzenden 42
Bodenextrakt für chemische Analyse 37
Bodenkarten, norwegische 116, 117
Bodenkartierung und bodenkundlicher Unterricht 57
Bödenklassifikation, nach Glinka 321
Bodenkolloide und ihre Adsorptionsfähigkeit 163
Bodenkolloide, Bestimmung durch Farbstoffabsorption 455
Bodenkörner und Bodenplastizität 157
Bodenkunde, Probleme der forstwirtschaftlichen 225
Bodenlösungen, Reaktion von 147
— Ionengehalt von 149
Bodenprofile, Fruchtbarkeitsverhältnisse in verschiedenen Schichten 159
Bodenstoffe, Bestimmung der leichtlöslichen 41
Bodenuntersuchungen in Norwegen, frühere und gegenwärtige 113
Braunerde 320

C

Calcit 32, 38
Chemische Bodenanalyse 1, 25, 126
Chlorit 32
Chlormagnesiumendlaugen und Ernteerträge 162

D

Doppelsilikate, künstliche Darstellung 172

Dopplerit 359
Dolomit 38

F

Fallkurve von Bodenproben 282

G

Gelberde 320, 328
Gesetz der ausgleichenden Facies 520
Gleyböden 124

H

Humusartige Tropenböden 316
Humussäuren, neuzeitliche Forschungsergebnisse 347
Humussäuren, Gewinnung aus Torf 349

K

Kalifeldspat, Kalilöslichkeit in Salzsäure 35, 37
Kaolin-Adsorptionsfähigkeit 255
Kaolinbestimmung in Bodenarten 151
Kaolinlöslichkeit 152
Klassifikation der Bodenarten 64
Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht 312
Kohärenzbestimmungsmethoden und Kohärenzverhältnisse der Marschböden 381
Kohärenzbestimmung nach Puchner 414
— nach Atterberg 431
Kohärenzwerte für Braunerden 427
Kolloidchemie der Humusstoffe 252, 360
Kolloidtone 111
Körnerverteilung innerhalb künstlicher Schlammprodukte 304
Korund 32

L

Laboratorium für Technische Moorverwertung der Techn. Hochschule Hannover 581
Laterit 314, 320, 328

M

- Magnesit 32
Mangan, quantitative Bestimmung im Boden 72
Marschböden 391, 394
Mechanische Bodenanalyse, neuer Apparat 267
— neue Methode 257
Molkenböden 77, 79, 83
Moor, totes, am Steinhuder Meer 71
Moorbodensprengkultur 163

O

- Oberflächengröße eines Grammes Erdboden 376, 579

P

- Permutit 207
Pflanzenernährung 53
Pflanzenkolloide 237, 361
Pflanzenkultur, Veränderung eines sterilen Sandes durch — 54
Phosphataufschließung 135, 354
Plastizitätsgrenzenbestimmung nach Atterberg 446
Plastizitätszahl 448
Podsolböden 150

R

- Radioaktive Dünger 250
Regenfaktor 326, 334, 336, 345
Rohhumusböden (Podsolböden) 319
Roterde 55, 66, 107, 108, 109, 320, 328, 577

S

- Salzsaurer Bodenanszug 165
Säurebestimmung im Boden 133
Schlämmapparat, neu konstruierter 411
Schlickböden 393
— mechan. Analyse 404

Schwarzerde 319

- Sphagenacidität 143, 241, 351
Sterilisierte Erde 375
Stickstoffdüngungsversuche an Fichten 249
Stickstofffestlegung durch sogenannte Zeolithe 56
Stickstoffumsetzungen, schädliche 69, 518
Stokessche Gleichung 259
Szikboden 178

T

- Teichbodenabsorptionsversuche 526, 550, 553
Teichbödenanalysen 567
Teichboden, Durchlässigkeit 529
— Wasserkapazität 528
— Veränderung 568
Teichdüngungsversuche der K. Bayr. Teichwirtsch. Vers.-Stat. Wielenbach 521
Teichwasseranalyse 530, 557, 559, 576
Teichwasserveränderung 542, 549, 560, 566, 568
Tonerdasilikate 59

U

- Unbenetzbarkeit von Böden 67
Union der internationalen Vereinigungen 127
Untersuchungsergebnisse verschiedener Bodenarten der Rheinpfalz 68

V

- Vegetationsversuch und Bodenanalyse 582

W

- Wasser und Boden 517
Weizenboden 178

Eine neue Methode zur mechanischen Bodenanalyse.

Von Sven Odén, Uppsala.

I.

Einleitung.

Als das Ziel, welches die mechanische Bodenanalyse zu erreichen erstrebt, kann die Charakterisierung der verschiedenen Bodenablagerungen durch die Größe der in denselben enthaltenen Körner angegeben werden. Man hat dies dadurch zu realisieren versucht, daß man eine Probe nach verschiedenen Methoden in gewisse Körnergruppen zerlegt; diese verschiedenen Gruppen werden isoliert und gewogen, und man bekommt durch die Zahlenergebnisse eine gewisse Vorstellung von der Zusammensetzung der Bodenprobe in bezug auf die Größe der Bestandteile. Aus praktischen Gründen ist, wenn man die verschiedenen Gruppen isolieren will, deren Zahl ziemlich begrenzt und somit die Größe der Teilchen in jeder Gruppe innerhalb weiter Grenzen variabel, was natürlich als ein Mangel betrachtet werden muß. Denn je mehr Gruppen wir bei der Zerlegung erhalten, desto genauer können wir eine Bodenablagerung charakterisieren, und es muß als letztes Ziel einer mechanischen Bodenanalyse die Aufstellung einer Verteilungskurve im Sinne Maxwell's angestrebt werden, in der als Abszisse eine Größe, die in einer gewissen mathematischen Beziehung zum Teilchendurchmesser steht, als Ordinate eine Größe, aus der sich das Gewicht oder die Zahl der entsprechenden Teilchen berechnen läßt, abgetragen ist.

Die Aufstellung einer solchen Verteilungskurve ist ja, solange wir die verschiedenen Teilchengrößen isolieren wollen, mit un-

endlich viel Arbeit verknüpft, und ich habe daher den Versuch gemacht, ohne Isolierung der verschiedenen Teilchengruppen Aufschlüsse über die Verteilung der Körner zu erhalten, indem ich eine Eigenschaft studiert habe, die in direkter Beziehung zur Teilchengröße bzw. zur Verteilung der Körner steht. Diese Eigenschaft ist die Sedimentiergeschwindigkeit der Teilchen einer wässrigen Bodenaufschwemmung, durch die zeitliche Gewichtszunahme der auf den Boden fallenden Teilchen gemessen.

Wenn wir die Bodenaufschwemmung gut durchschütteln und im Anfangsmoment die Körner im Flüssigkeitsvolumen als gleichförmig verteilt auffassen, und wenn es uns gelingt, das Gewicht der auf den Boden fallenden Teilchen P als Funktion der Zeit t zu messen, so erhält man eine gewisse Fallkurve, $P(t)$, die von der Teilchengröße und Verteilung abhängig ist und für jede Bodenprobe eine charakteristische Gestalt annimmt. Aus dieser Fallkurve läßt sich auch mathematisch die Verteilungskurve berechnen.

Die wässrigen Aufschwemmungen der Böden können wir zweckmäßig vom kolloidchemischen Standpunkt aus als grob disperse Systeme bezeichnen, und es verdient hier erwähnt zu werden, daß von The Svedberg¹⁾ eine Methode angegeben worden ist, die Häufigkeitsverteilung der Teilchengrößen in dispersen Systemen zu ermitteln, indem man entweder die Verteilung der Fallgeschwindigkeiten oder die Lageänderungen der Teilchen infolge der Brown'schen Bewegung bestimmt.

Zur Bestimmung der Fallgeschwindigkeit wurde von The Svedberg und K. Estrup eine mikroskopische Methode verwendet, und es wurden Häufigkeitskurven einiger dispersen Systeme, wie Milch, Sahne, Gummiguttsuspensionen usw., graphisch konstruiert; soweit mir bekannt, sind das die einzigen derartigen Häufigkeitskurven disperser Systeme, die beschrieben wurden.

Für das Studium der Bodenablagerungen eignet sich diese mikroskopische Methode nicht, weil die Bodenkörner teilweise allzu schnell fallen, und es wurde notwendig, eine spezielle Methodik auszuarbeiten, die eine leichtere und bequemere Handhabung gestattet.

¹⁾ Ueber die Bestimmung der Häufigkeitsverteilung der Teilchengrößen in einem dispersen System. Koll. Zeitschr. 9, 159—261 (1911).

II.

Die Stokes'sche Gleichung.

Betrachten wir zuerst die Sedimentationsgeschwindigkeit eines kugelförmigen Teilchens in irgendeiner Flüssigkeit.

Von G. G. Stokes²⁾ (1845) wurde theoretisch folgende Gleichung aufgestellt:

$$v = \frac{2}{9} gr^2 \frac{\sigma - \sigma_1}{\eta},$$

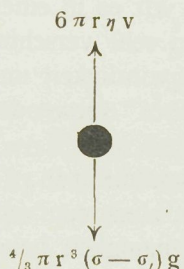
wo v die Geschwindigkeit des Teilchens,
 g die Gravitationskonstante,
 r den Teilchenradius,
 σ das spezifische Gewicht des Teilchens,
 σ_1 das spezifische Gewicht der Flüssigkeit,
 η die innere Reibung der Flüssigkeit

bedeutet.

Hat das Teilchen seine konstante Geschwindigkeit erreicht, so muß die Gravitationskraft gleich dem Reibungswiderstand sein. Die letztere ist nach Stokes gleich $6\pi r \eta v$, somit:

$$6\pi r \eta v = \frac{4}{3} \pi r^3 (\sigma - \sigma_1) g$$

woraus

$$v = \frac{2}{9} gr^2 \frac{(\sigma - \sigma_1)}{\eta}.$$


Wenn wir nun die Geschwindigkeit v in irgendeiner Weise messen können, so läßt sich hieraus der Teilchenradius berechnen.

Diese rein theoretische Gleichung ist unter der Voraussetzung aufgestellt, daß in der allgemeinen Bewegungsgleichung die Glieder höherer Ordnung unberücksichtigt gelassen werden können.³⁾

Die äußeren Bedingungen, die diese Vernachlässigung erlauben, sind:

1. daß die Teilchen (Moleküle) der Flüssigkeit im Vergleich zu den bewegten Teilchen klein sind;

²⁾ Cambr. Phil. Trans. 8, 287 (1845). 9, 8 (1851). Math. and Physical.

³⁾ Vgl. H. Lamb, Lehrbuch der Hydrodynamik (Deutsche Ausgabe, Leipzig und Berlin 1907), S. 682 ff.

2. daß die Flüssigkeit von unendlicher Ausdehnung ist;
3. daß die Teilchen starr und glatt sind;
4. daß keine Gleitung zwischen Teilchen und Flüssigkeit stattfindet;
5. daß die Geschwindigkeit klein ist oder, mit anderen Worten, daß der Teilchenradius nicht allzugroß ist.

Der kritische Radius, oberhalb dessen die Geschwindigkeit größer ist als durch die Formel angegeben wird, liegt nach H. S. Allen⁴⁾ für Quarzkugeln im Wasser bei 0,0085 cm.

Erhält man somit bei der Berechnung des Teilchenradius nach der Stokes'schen Gleichung Werte, die größer als 0,0085 cm sind, so kann man nur mit einiger Sicherheit behaupten, daß der wirkliche Radius nicht größer ist als der berechnete Wert.

Was die übrigen Voraussetzungen für die strenge Gültigkeit der Stokes'schen Gleichung betrifft, so können wir keineswegs behaupten, daß für den Fall einer Menge Bodenteilchen in einer wässrigen Aufschwemmung dieselben erfüllt sind (mit Ausnahme vielleicht des ersten Punktes).

Es ist auch mehrmals von verschiedener Seite darauf hingewiesen worden, daß infolge des Umstandes, daß wir es in einer wässrigen Bodenaufschwemmung mit Teilchen von sehr verschiedener Form zu tun haben, die Sedimentationsgeschwindigkeit unmöglich zur Berechnung der Teilchendimensionen verwendet werden kann.

Es ist dies alles ganz richtig, wenn es sich um die genaue Bestimmung der Dimensionen der Teilchen handelt; aber man vergißt, daß die Anforderungen in bezug auf die Genauigkeit beim Feststellen der Teilchengröße der Bodenbestandteile ganz andere sind, als wenn wir es mit der strengen Gültigkeit der Gleichung physikalisch genommen zu tun haben.

Ein Fehler in der Größenbestimmung von 5—10 % ist, wenn es sich um die Bestimmung der Dimensionen der Bodenkörner handelt, ziemlich belanglos, da z. B. die Teilchengrößen in den

⁴⁾ The Motion of a sphere in a Viscous Fluid. Philos. Magaz. (5) 50. 323—338 (1900). Siehe auch H. D. Arnold: Limitations imposed by slip and Inertia Terms upon Stoke's Law for the Motion of Spheres through Liquids. Philos. Magaz. (6) 22, 755—775 (1911). Ivar Nordlund: Ueber die Gültigkeit des Stokes'schen Gesetzes etc. Arkiv f. Matematik etc. utg. av K. Svenska Vet. Akad. i Stockholm 9, Nr. 13 (1913). C. V. Oseen: Ueber den Gültigkeitsbereich der Stokes'schen Widerstandsformel. Arkiv f. Matematik etc. utg. av K. Svenska Vet. Akad. i Stockholm 9, Nr. 16 (1913).

jetzt gebräuchlichen internationalen Gruppen 1000 % weit von einander abliegen (2 mm bis 0,2 mm, 0,2 mm bis 0,02 mm usw.).⁵⁾

Wenn es sich um Körner von sehr verschiedener Gestalt handelt, ist es übrigens schwer festzustellen, was wir unter Dimensionen derselben verstehen wollen, und es empfiehlt sich, den Begriff des Aequivalentradius des Teilchens einzuführen.⁶⁾ Denken wir uns, daß sich gleichzeitig mit dem betreffenden Teilchen eine Kugel vom selben Material durch die Flüssigkeit bewegt und die Kugel derart beschaffen ist, daß ihre Geschwindigkeit gleich der des Teilchens in der betreffenden Fallage ist, so können wir durch die Angabe des Radius dieser gedachten Kugel eine Vorstellung von der Größe des Teilchens bekommen. Die Relation zwischen den wirklichen Dimensionen des Teilchens und dem Aequivalentradius dürfte nur für den Fall eines Rotationsellipsoids hydrodynamisch abgeleitet sein.⁷⁾ Es ist, wenn die Masse der Kugel und die des Ellipsoids gleich sind, je nachdem die Bewegung parallel der a- oder der b-Achse verläuft:

$$R_a = \frac{a}{b} \left(\frac{a^2}{b^2} - 1 \right) + \left(3 - 2 \frac{a^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{a^2}{b^2} - 1} \ln \left(\frac{a}{b} - \sqrt{\frac{a^2}{b^2} - 1} \right)$$

$$R_b = 2 \frac{a}{b} \left(\frac{a^2}{b^2} - 1 \right) + 2 \left(2 \frac{a^2}{b^2} - 1 \right) \sqrt{\frac{a^2}{b^2} - 1} \ln \left(\frac{a}{b} - \sqrt{\frac{a^2}{b^2} - 1} \right)$$

wo R_a den Aequivalentradius für die Bewegung parallel der a-Achse, R_b für die Bewegung parallel der b-Achse und a und b die Achsen ($a > b$) des Rotationsellipsoids bedeuten.

Wir sehen somit, daß der Aequivalentradius je nach der Fallage verschieden ist, was sich besonders bei scheiben- und stabförmigen Teilchen sehr bemerkbar machen kann.

Man wäre vielleicht aus diesem Grunde geneigt, jede Verwendung von Schlämmanalysen als unzulänglich zu erklären.⁸⁾ Wäre die Bodenprobe so klein, daß sie nur aus wenigen Teilchen bestünde, oder wäre die Fallhöhe sehr klein, so wäre dies auch richtig. Hier aber liegt die Sache anders, denn es handelt sich um

⁵⁾ Intern. Mitt. f. Bodenkunde 4, 1—32 (1914).

⁶⁾ „Teilchen vom gleichen Aequivalentradius“ entsprechen etwa E. Ramann's „Körnern gleichen hydraulischen Wertes“. Vgl. Ramann's Bodenkunde (3. Aufl., Berlin 1911), S. 285.

⁷⁾ Vgl. The Svedberg: Ueber die Gestalt der Moleküle. II. Arkiv f. Kemi etc., utg. av K. Svenska, Vet. Akad. i Stockholm 5, Nr. 11 (1914).

⁸⁾ Vgl. E. A. Mitscherlich: Bodenkunde (2. Aufl., Berlin 1913), S. 49 ff.

eine Summation, welche sich über eine große Menge von Teilchen einer bestimmten Größenordnung erstreckt, und man kann nicht den einzelnen Aequivalentradius bestimmen, sondern muß sich damit begnügen, den mittleren Aequivalentradius einer bestimmten Fraktion zu ermitteln.

Es dürfte die Wahrscheinlichkeit für die eine oder andere Fallage gleich groß sein, und da wir nicht jede einzelne Geschwindigkeit der Teilchen messen, sondern die mittlere Geschwindigkeit, so dürfte der berechnete mittlere Aequivalentradius der mittleren Teilchengröße ziemlich gut entsprechen.

Hierzu kommt, daß bei den kleinen Teilchen die Fallage keineswegs unverändert bleibt, sondern infolge der Molekularstöße befinden sich die Teilchen in einer unregelmäßigen rotatorischen Bewegung, wodurch der Widerstand gegen die Bewegung immerfort wechselt.⁹⁾

Man kann diese rotatorische Bewegung und Drehungen der Teilchen, welche den bald schnelleren, bald langsameren Fall verursachen, ganz gut beim Biotit-Teilchen mikroskopisch beobachten.

Für andere Fälle, wo sich die Gestalt der Teilchen auf den Typus des Rotationsellipsoids nicht zurückführen läßt, bleibt die Relation zwischen Aequivalentradius und den wirklichen Dimensionen einstweilen unbekannt¹⁰⁾, aber durch Angabe des Aequivalentradius eines Teilchens oder des mittleren Aequivalentradius einer annähernd gleichkörnigen Fraktion von Bodenteilchen dürfte eine Größe definiert sein, die wenigstens, was die Größenordnung

⁹⁾ J. Perrin: Le mouvement brownien de rotation. *Compt. rend. de l'Acad. d. Sciences* **149**, 549—551 (1909). — The Svedberg: Neuere Untersuchungen über die Brownsche Bewegung. *Jahrb. d. Rad. u. Elektronik* **10**, 467—515 (1913). — Vgl. auch W. Mecklenburg: Die experimentelle Grundlegung der Atomistik (Jena 1910).

¹⁰⁾ Betreffs der Fallgeschwindigkeit nichtsphärischer Teilchen verweise ich des Näheren auf die folgenden Arbeiten: H. Lamb, *Lehrbuch der Hydrodynamik* (Deutsche Ausgabe, Leipzig und Berlin, 1907), S. 658—692. — J. Boselli, *Résistance au mouvement dans un fluide de petits corps non sphériques*. *Compt. rend. de l'Acad. d. Sciences* **152**, 133—136 (1911). — R. Gans, *Wie fallen Stäbe und Scheiben in einer reibenden Flüssigkeit?* *Münchener Ber.* 1911, S. 191. — K. Przibram, *Ueber die Brown'sche Bewegung nicht kugelförmiger Teilchen*. *Sitzb. d. Kaiserl. Akad. d. Wissenschaften in Wien. Math.-naturw. Klasse*, Bd. **121**, Abt. II a (1912).

betrifft, von den wirklichen Dimensionen der Bodenkörner nicht erheblich abweicht.

Zur Beleuchtung des oben Gesagten und um die Verwendbarkeit der Stokes'schen Gleichung auf die Sedimentation zu demonstrieren, sollen in folgender Tabelle 1 die aus den Fallzeiten berechneten Aequivalentradien und die von A. Atterberg¹¹⁾ mikroskopisch bestimmten Körnergrößen angeführt werden.¹²⁾

Da das spez. Gew. der Feldspate 2,56—2,75, des Quarzes 2,65, der Glimmerarten 2,8—3,2 ist, so wurde als mittleres spez. Gew. der Wert 2,7 benutzt.¹³⁾ Geben wir der Stokes'schen Gleichung die Form:

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot v \cdot \eta}{2 \cdot (\sigma - \sigma_s) \cdot g}}$$

$$= \sqrt{\frac{9 \cdot \eta}{2 \cdot (\sigma - \sigma_s) \cdot g}} \cdot \sqrt{v}$$

$$= K \cdot \sqrt{v}$$

und setzen wir η bei 15° C = 0,0114,

$$(\sigma - \sigma_s) = 2,7 - 1 = 1,7 \text{ und}$$

$$g = 981,$$

so erhält die Konstante den Wert $5,546 \cdot 10^{-3}$ ($\log K = 0,74399 - 3$), und wenn wir v in cm/Sek. ausdrücken, erhalten wir den mittleren Aequivalentradius in cm.

Tabelle 1.

| Absatzzeit für 10 cm Fallhöhe nach Atterberg | Geschwindigkeit in cm/Sek. | Aequivalentradius berechnet nach Stokes | Die abgeschläm- ten Teilchen haben nach Atterberg einen Radius |
|--|-------------------------------|---|---|
| 5 Sek. | 2 | $78 \cdot 10^{-4}$ cm | $< 100 \cdot 10^{-4}$ cm |
| 50 Sek. | 0,2 | $25 \cdot 10^{-4}$ cm | $< 30 \cdot 10^{-4}$ cm |
| 7'30" | $22,2 \cdot 10^{-3}$ | $8,3 \cdot 10^{-4}$ cm | $< 10 \cdot 10^{-4}$ cm |
| 1 Stunde | $27,78 \cdot 10^{-4}$ | $2,9 \cdot 10^{-4}$ cm | $< 3 \cdot 10^{-4}$ cm |
| 8 Stunden | $3,472 \cdot 10^{-4}$ | $10,3 \cdot 10^{-5}$ cm | $< 10 \cdot 10^{-5}$ cm |
| 24 " | $1,157 \cdot 10^{-4}$ | $5,97 \cdot 10^{-5}$ cm | — |
| 100 " | $27,78 \cdot 10^{-6}$ | $2,9 \cdot 10^{-5}$ cm | — |

¹¹⁾ Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralböden Schwedens. Intern. Mitt. f. Bodenkunde 2, 319 (1912).

¹²⁾ Eine ähnliche Berechnung hat A. D. Hall gemacht im Journ. of Chem. soc. Transactions 85, 959 (1904). Vgl. auch E. J. Russel: Soil Conditions and Plant growth (London 1913), S. 152 sowie G. Wiegner in Fühlings landwirtschaftl. Zeitung 62, Heft 1, S. 7 (1913).

¹³⁾ F. Weinschenk: Die gesteinbildenden Mineralien (2. Aufl., Freiburg 1907). Tabellen.

In Anbetracht der Schwierigkeiten bei der experimentellen Bestimmung der Teilchendurchmesser muß die Uebereinstimmung zwischen dem beobachteten und dem nach der Stokes'schen Gleichung berechneten Wert als genügend gut betrachtet werden, und es scheint deshalb ihre Verwendung für die Berechnung des mittleren Aequivalentradius der Bodenfraktionen zulässig zu sein.

In der Konstante ist nur η von der Temperatur stark abhängig, und da sich die innere Reibung von 25° bis 10° , von $895 \cdot 10^{-5}$ bis $1307 \cdot 10^{-5}$, somit um 46 % ändert, so ist es notwendig, bei der Berechnung des Aequivalentradius die Temperatur zu berücksichtigen, weshalb in folgender Tabelle 2 für verschiedene Temperaturen der Wert der Konstante K sowie der bei etwas veränderter Form ($v = Cr^2$) der Gleichung verwendeten C-Konstante berechnet ist.

Tabelle 2.

Abhängigkeit der Konstante K in der Stokes'schen Gleichung von der Temperatur.

| Temperatur in Graden C. | $\eta \cdot 10^5$ | log. K. | K. 10^3 | $C = \frac{1}{K^2}$ | log. C. |
|----------------------------|-------------------|-------------|-----------|---------------------|---------|
| 10 | 1307 | 0,77728 - 3 | 5,988 | 27890 | 4,44544 |
| 11 | 1296*) | 0,77369 - 3 | 5,939 | 28354 | 4,45262 |
| 12 | 1235*) | 0,76131 - 3 | 5,773 | 30007 | 4,47722 |
| 13 | 1202*) | 0,75550 - 3 | 5,695 | 30832 | 4,48900 |
| 14 | 1171*) | 0,74983 - 3 | 5,621 | 31648 | 4,50034 |
| 15 | 1140 | 0,74399 - 3 | 5,546 | 32510 | 4,51202 |
| 16 | 1110 | 0,73821 - 3 | 5,473 | 33387 | 4,52358 |
| 17 | 1082 | 0,73267 - 3 | 5,403 | 34250 | 4,53466 |
| 18 | 1055 | 0,72717 - 3 | 5,335 | 35127 | 4,54564 |
| 19 | 1029 | 0,72176 - 3 | 5,269 | 36015 | 4,55648 |
| 20 | 1004 | 0,71642 - 3 | 5,205 | 36912 | 4,56716 |
| 21 | 980 | 0,71117 - 3 | 5,142 | 37814 | 4,57766 |
| 22 | 957 | 0,70650 - 3 | 5,087 | 38637 | 4,58700 |
| 23 | 936 | 0,70119 - 3 | 5,026 | 39593 | 4,59762 |
| 24 | 915 | 0,69626 - 3 | 4,969 | 40502 | 4,60748 |
| 25 | 895 | 0,69146 - 3 | 4,914 | 41407 | 4,61708 |

Die innere Reibung ist in obiger Tabelle der Zusammenstellung von Kohlrausch¹⁴⁾ entnommen.

*) Durch graphische Interpolation erhalten.

¹⁴⁾ Lehrbuch d. praktischen Physik (10. Aufl., 1905, Leipzig), S. 629.

Unter Voraussetzung der Gültigkeit des Stokes'schen Gesetzes, welches wir jetzt einfach $v = C r^2$ formulieren, lassen sich einige Fallprobleme bedeutend vereinfachen.

Betrachten wir zuerst den Fall, daß eine Bodenaufschwemmung in ein zylindrisches Gefäß gefüllt wird, dessen innere Bodenarea B qcm ist, und nehmen wir an, daß im Anfangsmoment nach beendeter Füllung des Gefäßes die Aufschwemmung völlig gleichförmig sei. Ist nun die Höhe der Flüssigkeit, vom Boden des Zylinders aus gerechnet, h cm und die Gesamtmenge der aufgeschwemmten Substanz, in der Luft gewogen, G Gramm, so beträgt sie, im Wasser gewogen, $(G - \frac{G}{2,7})$ Gramm, wenn wir als mittleres spez. Gewicht der Bodenteilchen 2,7 annehmen. Bezeichnen wir das Gewicht, im Wasser gewogen, mit A , so ist $A = G - \frac{G}{2,7}$.

Der einfachste Fall ist, daß alle Teilchen von gleichem Aequivalentradius sind. Für diesen Fall muß das Gewicht p der auf den Boden fallenden Teilchen eine lineare Funktion der Zeit t und $\frac{dp}{dt}$ eine Konstante sein, welche direkt proportional der totalen Gewichtsmenge der Teilchen A , direkt proportional der Fallgeschwindigkeit v und umgekehrt proportional der Flüssigkeitshöhe h ist.

$$\frac{dp}{dt} = \text{Konst.} \frac{A \cdot v}{h} \text{ und } p = \text{Konst.} \frac{A v}{h} t.$$

Nach einer bestimmten Zeit t_1 haben diejenigen Teilchen, welche sich in der obersten Schicht des Flüssigkeitszylinders befanden, den Boden erreicht, und das Bodengewicht kann nicht mehr zunehmen. Folglich $\frac{dp}{dt} = 0$ für $t \geq t_1$ und dann $p_1 = A$. Aber $h = vt_1$, demzufolge geht $p_1 = \text{Konst.} \frac{Av}{h} t_1$ in $A = \text{Konst.} \frac{Av}{vt_1} t_1$ oder $\text{Konst.} = 1$ über, und die Konstante ist demnach gleich 1.

Die Gleichung lautet also:

$$p = \frac{A v}{h} t$$

oder, wenn wir nach der Stokes'schen Formel $v = C r^2$ setzen,

$$p = C \frac{A r^2}{h} t$$

woraus sich für $t \leq \frac{1}{Cr^2}$ das Bodengewicht p als Funktion von t berechnen läßt, während für $t > \frac{h}{Cr^2}$ $\frac{dp}{dt} = 0$ ist und $p = A$.

Haben wir es nun mit einer Menge verschieden großer Teil-

chen zu tun, so kann dieselbe als in eine große Menge Fraktionen von annähernd gleichen Aequivalentradien zerlegt gedacht werden. Setzt man nun das Gewicht jeder dieser Fraktionen gleich $F_1, F_2, F_3, F_4, \dots, F_n$ an und den entsprechenden Aequivalentradius gleich $r_1, r_2, \dots, r_3, r_n$, so gilt für jede Fraktion:

$$p_n = C \frac{F_n r_n^2}{h} t \text{ für } t \leq \frac{1}{C r_n^2}$$

$$p_n = F_n \text{ für } t > \frac{1}{C r_n^2}$$

$$\text{oder } \frac{dp}{dt} = C \cdot \frac{F_n}{h} r_n^2,$$

und wenn alle Fraktionen summiert werden:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{dp_1}{dt} + \frac{dp_2}{dt} + \frac{dp_3}{dt} + \dots + \frac{dp_n}{dt} + \dots = \sum \frac{dp}{dt}$$

wobei $P_\infty = A = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n + \dots$

Es scheint nun experimentell möglich, P graphisch als Funktion von t zu ermitteln und hieraus nach einer mathematischen Transformation graphisch F als Funktion von r oder mit anderen Worten die jedem r entsprechenden Gewichtsmengen F zu konstruieren.

Ehe ich auf diese mathematische Behandlung ausführlich eingehe, scheint es mir zweckmäßig, erst auf einige Schlüsse aus obiger Gleichung, die einer direkten experimentellen Prüfung zugänglich sind, hinzuweisen und die von mir verwendete Methode zur Bestimmung von P als Funktion von t zu erörtern. Wir sehen, daß, je größer h ist, desto langsamer die auf den Boden fallende Menge der Teilchen wachsen muß. Haben wir z. B. h das eine Mal gleich 10 cm und bei anderen Versuchen gleich $\gamma \cdot 10 \text{ cm}$, so müssen, wenn wir die Zeiten mit demselben Faktor γ multiplizieren, die P -Werte unverändert und die Fallkurve dieselbe bleiben.

Ferner muß, wenn wir alle Teilfraktionen $F_1, F_2, F_3, F_n, \dots$ mit einem konstanten Faktor β multiplizieren, d. h. wenn wir die Gesamtmenge der Teilchen mit β und ebenso die P -Werte mit demselben Faktor β multiplizieren, die Fallkurve unverändert bleiben. Oder, was dasselbe ist, wenn wir die Gesamtmenge $P_\infty = A$ gleich 100 setzen und die P -Werte stets in Prozenten ausdrücken, so muß die Kurve von der absoluten Menge der fallenden Teilchen unabhängig sein.

Voraussetzung ist hier allerdings, daß der Fall der einzelnen Teilchen ohne wesentlichen Einfluß auf die Fallgeschwindigkeit der

anderen ist. Bei allzu großen Konzentrationen kann dies unmöglich realisiert sein, und es bleibt uns übrig zu prüfen, ob die hier gezogenen Schlüsse auch experimentell gültig sind. Wir gehen daher zu der experimentellen Anordnung über.

III.

Der neue Apparat zur mechanischen Bodenanalyse.

Um das Gewicht P der auf den Boden eines Gefäßes fallenden Teilchen einer Suspension in ihrer Abhängigkeit von der Zeit t zu ermitteln, habe ich einen Apparat konstruiert, der nach mehrfachen Verbesserungen ziemlich genaue Messungen erlaubt. Da derselbe jedoch in verschiedener Hinsicht noch verbesserungsfähig ist, und da vor allem eine von subjektiven Versuchsfehlern freie automatische Registrierung der Fallkurve möglich ist, werde ich erst in einer späteren Arbeit die ausführliche Beschreibung des Apparates sowie Handhabung desselben mitteilen und hier nur die Hauptzüge andeuten.

Wenn am Boden eines zylindrischen Gefäßes sich eine dünne kreisrunde Platte von beinahe demselben Radius wie der Boden des Zylinders befindet, so können wir die Menge der auf diese Platte fallenden Teilchen, mit einem Faktor α multipliziert, gleich der Totalmenge der auf den Boden fallenden Teilchen setzen. Der Faktor α ist gleich $\frac{\text{Area des Gefäßbodens}}{\text{Area der Scheibe}} = \frac{B}{100}$, und wenn wir alle Angaben der Teilchenmenge in Prozenten ausdrücken, können wir diesen Faktor α ganz weglassen. Ist nun die Platte ein, höchstens zwei Millimeter oberhalb des Gefäßbodens an dünnen Fäden aufgehängt, so sollte, streng genommen, für den 1–2 mm hohen Zylinderraum unterhalb der Platte eine Korrektur angebracht werden, denn die Teilchen, welche sich in diesem Raum befinden, fallen nicht auf die Platte, sondern auf den Gefäßboden. Da jedoch die Höhe dieses Flüssigkeitszylinders, 1–2 mm, gegenüber der totalen Flüssigkeitshöhe, 100–300 mm, klein ist, so können wir von einer Korrektur absehen und das in Prozenten angegebene Totalgewicht der auf die Platte fallenden Teilchen einfach mit P identifizieren.

Wenn wir ein mittleres spezifisches Gewicht 2,7 angenommen haben, brauchen wir, da alle Gewichtsangaben in Prozente umgerechnet werden (wobei das Gewicht nach völlig beendetem Fall — eventuell nach erfolgter Koagulation — gleich 100. gesetzt ist) uns nicht um das Gewicht der Teilchen oder die Bodenmenge, in der Luft gewogen, zu kümmern.

In Fig. 1 ist die Anordnung schematisch skizziert. Als Platte wurde ein dünnes, stark vergoldetes Kupferblech A von 100 cm² Area benutzt. Dasselbe befindet sich im Fallzylinder L und wurde an dünnen vergoldeten Silberfäden an dem Arm einer empfindlichen Wage aufgehängt. Da es für den regelmäßigen Fall notwendig ist, daß sich die Platte in unverändertem Abstand h (in Fig. 1 versehentlich mit l bezeichnet) von der Oberfläche der Flüssigkeit

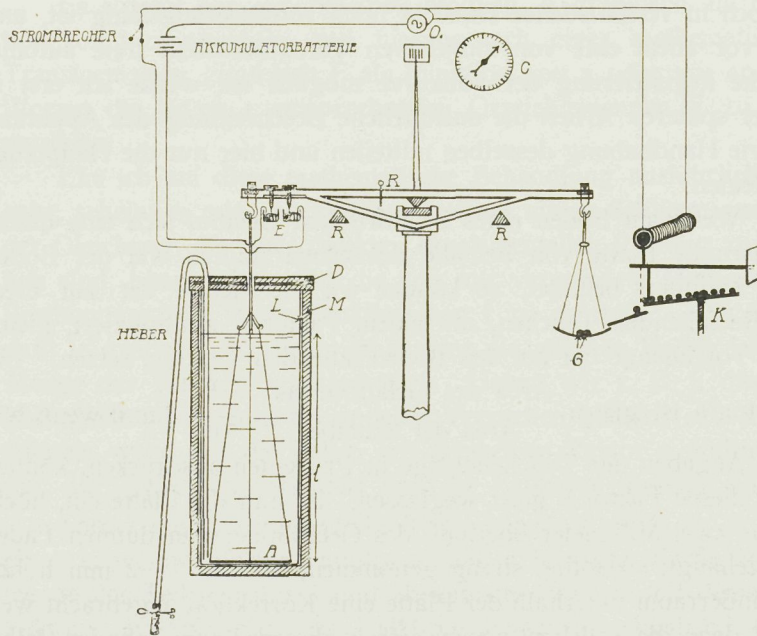


Fig. 1.

befindet und auch Bewegungen der Platte zu lästigen Konvektionsströmungen Anlaß geben können, war es zur Feststellung des Gewichts der (zu verschiedenen Zeiten) auf die Platte fallenden Teilchen erforderlich, ein Kompensationsverfahren zu verwenden, wodurch die Bewegungen der Platte innerhalb der Flüssigkeit

möglichst klein wurden. Diese Einrichtung K ist rechts in der Figur angedeutet.

Wenn die auf die Platte fallenden Teilchen das Gewicht vermehrten und schließlich das zur Kompensation aufgelegte kleine Gewicht G überschritten wurde, so wurde im selben Augenblick, in dem die Platte ihre Nullage verließ und zu sinken begann, ein elektrischer Kontakt E geschlossen, und eine Vorrichtung wurde entweder elektromagnetisch oder mit der Hand ausgelöst, welche das Kompensationsgewicht G wieder vermehrte und die Platte in ihre Nullage zurückbrachte. Durch eine an der Wage angebrachte Arretierung R wurde dafür Sorge getragen, daß eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung (Steigen der Platte) nicht stattfinden konnte. Es wurden nun die Zeiten, in denen eben das Gewicht der auf die Platte niedergefallenen Bodenteilchen gleich dem Kompensationsgewicht war, an einem Chronographen C abgelesen. Beim Schließen des elektrischen Stromes wurde nämlich eine kleine Osramlampe O zum Glühen gebracht, welche daher als Indikator für die Gleichheit des Kompensationsgewichts und des Sedimentgewichts diente.

Durch eine Tara und Verschiebung eines Reiters R wurde jedesmal bei Verwendung verschiedener Fallhöhen h vor Beginn des Versuchs die Wage auf Nullage gebracht. Sodann wurde die Wage samt Platte arretiert, das Wasser entfernt und die Bodenaufschwemmung möglichst schnell hineingegossen, die Wagevorrichtung ausgelöst, gleichzeitig der Chronograph in Gang gebracht und dann die Zeiten und korrespondierenden Kompensationsgewichte notiert.

Um Konvektionsströmungen infolge Temperaturschwankungen möglichst zu vermeiden, wurden sämtliche Versuche in einem „Zimmer für Arbeiten bei konstanter Temperatur“ ausgeführt und die Bodenaufschwemmungen erst auf die Temperatur des Zimmers gebracht. Der Fallzylinder wurde mit einem wärmeisolierenden Mantel M umgeben und ein gut schließender, mit Löchern für den Aufhängefaden versehener Deckel D aufgelegt. Eine Photographie des Apparats gibt Fig. 2 wieder.

Es wurden zuerst einige Versuche ausgeführt, um zu sehen, ob bei verschiedener Höhe der Flüssigkeit die korrigierte Fallkurve erhebliche Abweichungen zeige. Unter korrigierter Fallkurve sind

die auf $h = 10$ cm, $P_{\infty} = 100$ umgerechneten Werte der entsprechenden Kurve zu verstehen.

Die ersten Versuche wurden mit einer aus Eismeerton von Ljusterä, Säter, stammenden Abschlammung, Fraktion A, ausgeführt, worin Teilchen mit größerer Fallgeschwindigkeit als $\frac{1}{6}$ cm/Sek. und kleinerer Geschwindigkeit als $\frac{1}{60}$ cm/Sek. vorher weggeschlämmt waren. Dies war geschehen, um bei diesen orientierenden Versuchen nicht allzu lange Zeit warten zu müssen, bis ein Versuch beendet war.

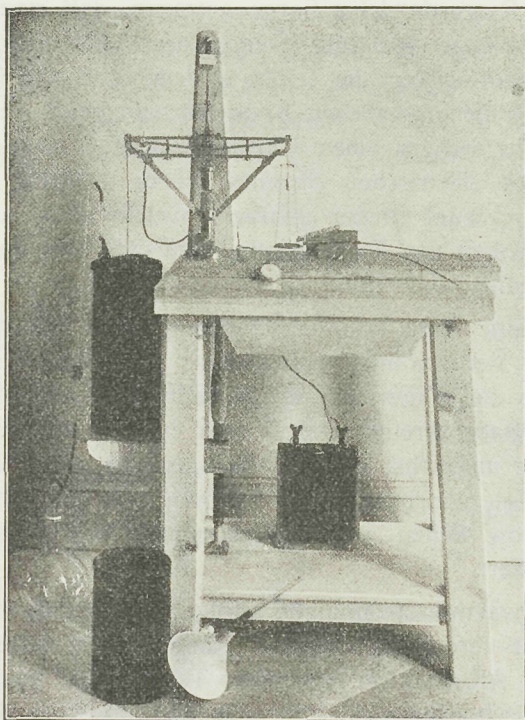


Fig. 2.

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3–6 zusammengestellt. Die Fallhöhe war 30, 20, 15 und 10 cm und der Faktor γ gleich $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ und 1. Um eine Vorstellung von der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Methode zu geben, habe ich in den Tabellen die primären Observationen angegeben.

Tabelle 3.

Eismeerton, Fraktion A.

Temperatur: 13,5° h = 30 cm, P_∞ = 6,53 Gramm.

| Zeitangaben | | | | P. | |
|-------------|----|------------------------------|----|---------------------|---------|
| beobachtet | | auf h = 10 cm umgerechnet | | beobachtet Gramm | Prozent |
| ' | " | ' | " | | |
| 0 | 59 | 0 | 20 | 0,768 | 11,76 |
| 1 | 10 | 0 | 23 | 0,896 | 13,72 |
| 1 | 20 | 0 | 27 | 1,024 | 15,68 |
| 1 | 29 | 0 | 30 | 1,152 | 17,64 |
| 1 | 41 | 0 | 34 | 1,280 | 19,60 |
| 1 | 52 | 0 | 37 | 1,408 | 21,56 |
| 2 | 5 | 0 | 42 | 1,536 | 23,52 |
| 2 | 15 | 0 | 45 | 1,664 | 25,48 |
| 2 | 26 | 0 | 49 | 1,792 | 27,44 |
| 2 | 39 | 0 | 53 | 1,920 | 29,40 |
| 2 | 44 | 0 | 55 | 2,048 | 31,36 |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 2,176 | 33,32 |
| 3 | 14 | 1 | 5 | 2,304 | 35,28 |
| 3 | 26 | 1 | 9 | 2,432 | 37,24 |
| 3 | 37 | 1 | 13 | 2,560 | 39,20 |
| 3 | 49 | 1 | 16 | 2,688 | 41,16 |
| 4 | 2 | 1 | 21 | 2,816 | 43,12 |
| 4 | 15 | 1 | 25 | 2,944 | 45,08 |
| 4 | 29 | 1 | 30 | 3,072 | 47,04 |
| 4 | 41 | 1 | 34 | 3,200 | 49,00 |
| 4 | 55 | 1 | 38 | 3,328 | 50,96 |
| 5 | 11 | 1 | 44 | 3,456 | 52,93 |
| 5 | 25 | 1 | 48 | 3,584 | 54,89 |
| 5 | 40 | 1 | 53 | 3,712 | 56,85 |
| 5 | 56 | 1 | 59 | 3,840 | 58,81 |
| 6 | 15 | 2 | 5 | 3,968 | 60,77 |
| 6 | 31 | 2 | 10 | 4,096 | 62,73 |
| 6 | 47 | 2 | 16 | 4,224 | 64,69 |
| 7 | 8 | 2 | 23 | 4,352 | 66,65 |
| 7 | 27 | 2 | 29 | 4,480 | 68,61 |
| 7 | 47 | 2 | 36 | 4,608 | 70,57 |
| 8 | 9 | 2 | 43 | 4,736 | 72,53 |
| 8 | 32 | 2 | 51 | 4,864 | 74,49 |
| 8 | 55 | 2 | 58 | 4,992 | 76,45 |
| 9 | 30 | 3 | 10 | 5,120 | 78,41 |
| 9 | 51 | 3 | 17 | 5,248 | 80,37 |
| 10 | 32 | 3 | 31 | 5,376 | 82,33 |
| 11 | 9 | 3 | 43 | 5,504 | 84,29 |
| 11 | 46 | 3 | 55 | 5,632 | 86,25 |
| 12 | 34 | 4 | 11 | 5,760 | 88,21 |
| 13 | 29 | 4 | 30 | 5,888 | 90,17 |
| 14 | 35 | 4 | 52 | 6,016 | 92,13 |
| 16 | 4 | 5 | 21 | 6,144 | 94,09 |
| 18 | 14 | 6 | 5 | 6,272 | 96,05 |
| 22 | 4 | 7 | 21 | 6,400 | 98,01 |
| ∞ | — | — | — | 6,53 | 100 |

Tabelle 4.

Eismeerton, Fraktion A.
Temperatur: 12,7° h = 20 cm, $P_{\infty} = 5,87$ Gramm.

| Zeitangaben | | | | P. | |
|-------------|----|------------------------------|----|---------------------|---------|
| beobachtet | | auf h = 10 cm umgerechnet | | beobachtet Gramm | Prozent |
| ' | " | ' | " | | |
| 0 | 22 | 0 | 11 | 0,4356 | 7,42 |
| 0 | 46 | 0 | 23 | 0,8712 | 14,84 |
| 1 | 12 | 0 | 36 | 1,3068 | 22,26 |
| 1 | 39 | 0 | 50 | 1,7424 | 29,68 |
| 2 | 9 | 1 | 5 | 2,1780 | 37,10 |
| 2 | 40 | 1 | 20 | 2,6136 | 44,52 |
| 3 | 16 | 1 | 38 | 3,0492 | 51,95 |
| 3 | 58 | 0 | 59 | 3,4848 | 59,36 |
| 4 | 47 | 2 | 24 | 3,9204 | 66,79 |
| 5 | 53 | 2 | 57 | 4,3560 | 74,21 |
| 6 | 4 | 3 | 2 | 4,4840 | 76,39 |
| 6 | 31 | 3 | 16 | 4,612 | 78,57 |
| 6 | 57 | 3 | 29 | 4,740 | 80,75 |
| 7 | 20 | 3 | 40 | 4,868 | 82,93 |
| 7 | 55 | 3 | 58 | 4,996 | 85,11 |
| 8 | 33 | 4 | 17 | 5,124 | 87,29 |
| 9 | 14 | 4 | 37 | 5,252 | 84,47 |
| 10 | 5 | 5 | 3 | 5,380 | 91,65 |
| 11 | 7 | 5 | 34 | 5,508 | 93,83 |
| 12 | 29 | 6 | 15 | 5,636 | 96,01 |
| 14 | 39 | 7 | 20 | 5,764 | 98,19 |
| ∞ | — | — | — | 5,87 | 100 |

Tabelle 5.

Eismeerton, Fraktion A.
Temperatur: 13,1° h = 15 cm, $P_{\infty} = 5,85$ Gramm.

| Zeitangaben | | | | P. | |
|-------------|----|------------------------------|----|---------------------|---------|
| beobachtet | | auf h = 10 cm umgerechnet | | beobachtet Gramm | Prozent |
| ' | " | ' | " | | |
| 0 | 25 | 0 | 17 | 0,384 | 6,56 |
| 0 | 35 | 0 | 23 | 0,640 | 10,94 |
| 0 | 49 | 0 | 33 | 0,896 | 15,32 |
| 0 | 60 | 0 | 40 | 1,152 | 19,69 |
| 1 | 11 | 0 | 47 | 1,408 | 24,07 |
| 1 | 29 | 0 | 60 | 1,792 | 30,63 |
| 1 | 44 | 1 | 9 | 2,048 | 35,18 |
| 2 | 4 | 1 | 23 | 2,432 | 41,74 |
| 2 | 25 | 1 | 37 | 2,816 | 48,14 |

| Zeitangaben | | | | P. | |
|-------------|----|------------------------------|----|---------------------|---------|
| beobachtet | | auf h = 10 cm umgerechnet | | beobachtet Gramm | Prozent |
| ' | " | ' | " | | |
| 2 | 42 | 1 | 45 | 3,072 | 52,51 |
| 3 | 0 | 2 | 0 | 3,328 | 56,89 |
| 3 | 21 | 2 | 14 | 3,584 | 61,26 |
| 3 | 43 | 2 | 29 | 3,840 | 65,64 |
| 4 | 08 | 2 | 45 | 4,096 | 70,02 |
| 4 | 22 | 2 | 55 | 4,224 | 72,20 |
| 4 | 37 | 3 | 5 | 4,352 | 74,39 |
| 4 | 55 | 3 | 17 | 4,480 | 76,58 |
| 5 | 12 | 3 | 28 | 4,608 | 78,77 |
| 5 | 32 | 3 | 41 | 4,736 | 80,96 |
| 5 | 54 | 3 | 56 | 4,864 | 83,15 |
| 6 | 18 | 4 | 12 | 4,992 | 85,33 |
| 6 | 43 | 4 | 29 | 5,120 | 87,52 |
| 7 | 6 | 4 | 44 | 5,248 | 89,71 |
| 7 | 45 | 5 | 10 | 5,376 | 91,90 |
| 8 | 34 | 5 | 43 | 5,504 | 94,09 |
| 9 | 27 | 6 | 17 | 5,632 | 96,27 |
| 11 | 36 | 7 | 44 | 5,760 | 98,46 |
| ∞ | | | | 5,85 | 100 |

Tabelle 6.

Eismeerton, Fraktion A.

Temperatur: 13,3° h = 10 cm, $P_{\infty} = 6,04$ Gramm.

| Zeitangaben | | P. | |
|-------------|----|---------------------|---------|
| beobachtet | | beobachtet Gramm | Prozent |
| ' | " | | |
| 0 | 17 | 0,44 | 7,28 |
| 0 | 29 | 0,87 | 14,40 |
| 0 | 41 | 1,31 | 21,64 |
| 0 | 49 | 1,74 | 28,85 |
| 1 | 6 | 2,18 | 36,06 |
| 1 | 21 | 2,62 | 43,27 |
| 1 | 37 | 3,06 | 50,48 |
| 1 | 58 | 3,48 | 57,69 |
| 2 | 21 | 3,92 | 64,91 |
| 2 | 47 | 4,356 | 72,12 |
| 3 | 9 | 4,612 | 76,36 |
| 3 | 32 | 4,868 | 80,60 |
| 3 | 43 | 4,996 | 82,71 |
| 4 | 0 | 5,124 | 84,83 |
| 4 | 13 | 5,252 | 86,95 |
| 4 | 32 | 5,380 | 89,07 |
| 4 | 49 | 5,508 | 91,19 |
| 5 | 18 | 5,636 | 93,31 |
| 5 | 40 | 5,764 | 95,43 |
| 6 | 36 | 5,892 | 97,55 |
| 8 | 13 | 6,020 | 99,66 |
| ∞ | — | 6,04 | 100 |

Die Versuche sind in Fig. 3 graphisch wiedergegeben, wobei als Abszisse die Zeit, als Ordinate P abgetragen sind. In Anbetracht der Unmöglichkeit, die Aufschwemmung bei den verschie-

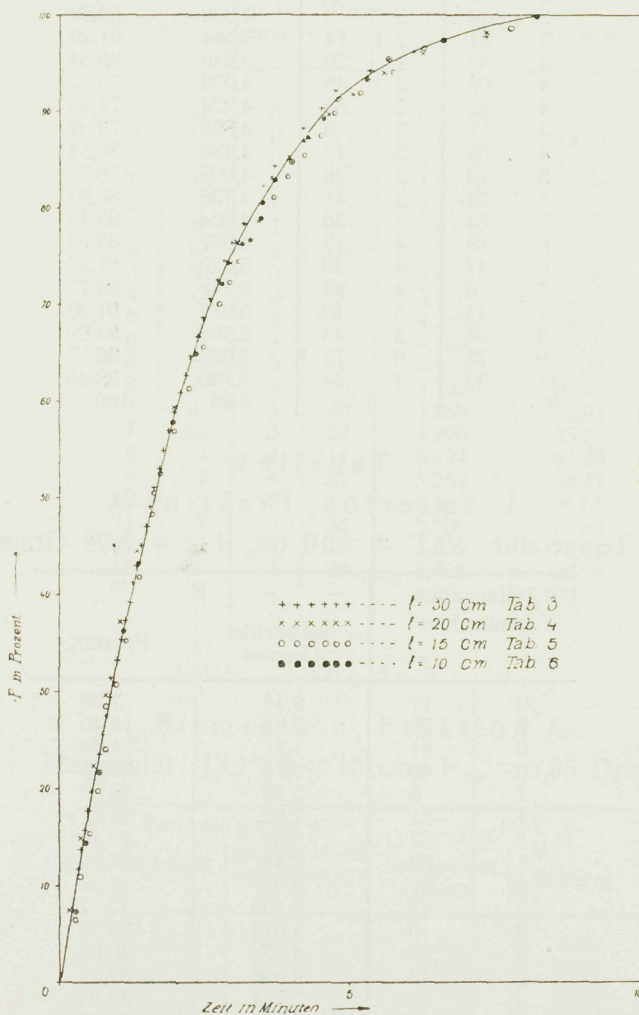


Fig. 3.

denen Versuchen auf die Sekunde gleich schnell in den Fallzylinder hineinzugießen, müssen die Resultate als erstaunlich gut übereinstimmend betrachtet werden.

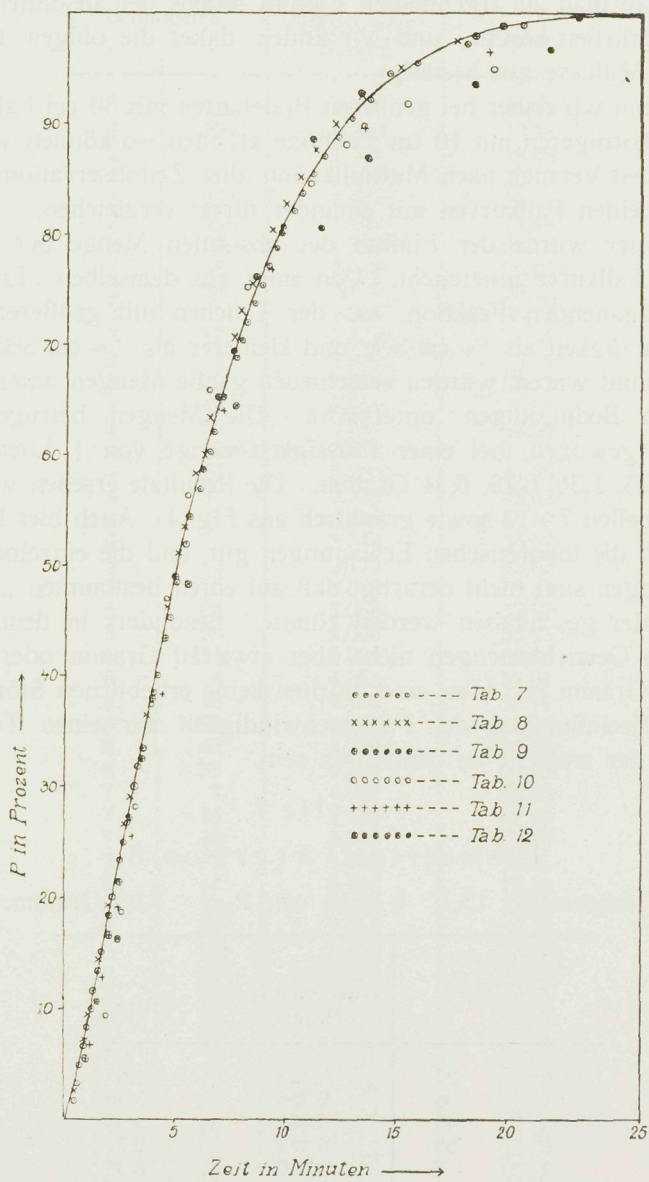


Fig. 4.

Die Abweichungen der verschiedenen Punkte sind nicht derartig, daß man auf irgendeinen Einfluß seitens der absoluten Fallhöhe schließen könnte, und wir finden daher die obigen theoretischen Schlüsse gut bestätigt.

Wenn wir daher bei gröberen Bodenarten mit 30 cm Fallhöhe, bei feinkörnigeren mit 10 cm Fallhöhe arbeiten, so können wir bei dem ersten Versuch nach Multiplikation aller Zeitobservationen mit $\frac{1}{3}$ die beiden Fallkurven mit einander direkt vergleichen.

Ferner wurde der Einfluß der absoluten Menge der Probe auf die Fallkurve untersucht. Von einer aus demselben „Eismeerton“ stammenden Fraktion, aus der Teilchen mit größerer Fallgeschwindigkeit als $\frac{1}{60}$ cm/Sek. und kleinerer als $\frac{1}{180}$ cm/Sek. weggeschlämmt waren, wurden verschieden große Mengen unter sonst gleichen Bedingungen untersucht. Die Mengen betragen, im Wasser gewogen, bei einer Flüssigkeitsmenge von 1 Liter 7,63, 5,25, 2,35, 1,36, 0,78, 0,31 Gramm. Die Resultate ersehen wir aus den Tabellen 7—12 sowie graphisch aus Fig. 4. Auch hier bestätigen sich die theoretischen Erwägungen gut, und die einzelnen Abweichungen sind nicht derartig, daß auf einen bestimmten „Gang“ der Fehler geschlossen werden könnte. Besonders in dem Falle, daß die Gewichtsmengen nicht über etwa 10 Gramm oder unter etwa 1 Gramm pro Liter sind, dürften keine erheblichen Störungen durch Beeinflussung der Fallgeschwindigkeit der einen Teilchen seitens der anderen zu befürchten sein.

Tabelle 7.

Eismeerton. Fraktion B.

Temperatur: 13,7° h = 10 cm, $P_{\infty} = 7,63$ Gramm.

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 0 | 27 | 0,128 | 1,68 |
| 0 | 36 | 0,256 | 3,36 |
| 0 | 46 | 0,384 | 5,03 |
| 0 | 55 | 0,512 | 6,71 |
| 1 | 2 | 0,640 | 8,39 |
| 1 | 14 | 0,768 | 10,06 |
| 1 | 21 | 0,896 | 11,74 |
| 1 | 31 | 1,024 | 13,42 |

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 1 | 42 | 1,152 | 15,10 |
| 1 | 52 | 1,280 | 16,78 |
| 2 | 2 | 1,408 | 18,45 |
| 2 | 10 | 1,536 | 20,13 |
| 2 | 20 | 1,664 | 21,81 |
| 2 | 29 | 1,792 | 23,49 |
| 2 | 39 | 1,920 | 25,16 |
| 2 | 48 | 2,048 | 26,83 |
| 2 | 58 | 2,176 | 28,52 |
| 3 | 9 | 2,304 | 30,20 |
| 3 | 17 | 2,432 | 31,87 |
| 3 | 28 | 2,560 | 33,55 |
| 3 | 38 | 2,688 | 35,23 |
| 3 | 49 | 2,816 | 36,91 |
| 3 | 59 | 2,944 | 38,58 |
| 4 | 10 | 3,072 | 40,26 |
| 4 | 20 | 3,200 | 41,95 |
| 4 | 31 | 3,328 | 43,62 |
| 4 | 42 | 3,456 | 45,30 |
| 4 | 53 | 3,584 | 46,97 |
| 5 | 2 | 3,712 | 48,65 |
| 5 | 15 | 3,840 | 50,33 |
| 5 | 26 | 3,968 | 52,01 |
| 5 | 38 | 4,096 | 53,68 |
| 5 | 51 | 4,224 | 55,36 |
| 6 | 4 | 4,352 | 57,04 |
| 6 | 16 | 4,480 | 58,71 |
| 6 | 28 | 4,608 | 60,39 |
| 6 | 42 | 4,736 | 62,07 |
| 6 | 55 | 4,864 | 63,75 |
| 7 | 7 | 4,992 | 65,42 |
| 7 | 24 | 5,120 | 67,10 |
| 7 | 40 | 5,248 | 68,78 |
| 7 | 57 | 5,375 | 70,46 |
| 8 | 14 | 5,504 | 72,14 |
| 8 | 31 | 5,632 | 73,81 |
| 8 | 49 | 5,760 | 75,49 |
| 9 | 10 | 5,888 | 77,17 |
| 9 | 26 | 6,016 | 78,85 |
| 9 | 46 | 6,144 | 80,52 |
| 10 | 17 | 6,272 | 82,20 |
| 10 | 38 | 6,400 | 83,88 |
| 11 | 5 | 6,528 | 85,55 |
| 11 | 37 | 6,656 | 87,23 |
| 12 | 15 | 6,784 | 88,91 |
| 12 | 51 | 6,912 | 90,59 |
| 13 | 38 | 7,040 | 92,27 |
| 14 | 34 | 7,168 | 93,95 |
| 15 | 48 | 7,296 | 95,62 |
| 18 | 3 | 7,424 | 97,30 |
| 20 | 35 | 7,552 | 98,98 |
| ∞ | — | 7,63 | 100 |

Tabelle 8.

Eismeerton. Fraktion B.

Temperatur: 13,9° h = 10 cm, $P_{\infty} = 5,25$ Gramm.

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 0 | 28 | 0,128 | 2,44 |
| 0 | 41 | 0,256 | 4,88 |
| 0 | 54 | 0,384 | 7,31 |
| 1 | 7 | 0,512 | 9,75 |
| 1 | 23 | 0,640 | 12,19 |
| 1 | 36 | 0,768 | 14,63 |
| 1 | 48 | 0,896 | 17,07 |
| 2 | 1 | 1,024 | 19,51 |
| 2 | 14 | 1,152 | 21,94 |
| 2 | 27 | 1,280 | 24,38 |
| 2 | 42 | 1,408 | 26,82 |
| 2 | 57 | 1,536 | 29,26 |
| 3 | 10 | 1,664 | 31,70 |
| 3 | 26 | 1,792 | 34,13 |
| 3 | 39 | 1,920 | 36,57 |
| 3 | 52 | 2,048 | 39,01 |
| 4 | 5 | 2,176 | 41,45 |
| 4 | 20 | 2,304 | 43,89 |
| 4 | 35 | 2,432 | 46,32 |
| 4 | 53 | 2,560 | 48,76 |
| 5 | 7 | 2,688 | 51,20 |
| 5 | 23 | 2,816 | 53,65 |
| 5 | 40 | 2,944 | 56,08 |
| 5 | 53 | 3,072 | 58,51 |
| 6 | 15 | 3,200 | 60,95 |
| 6 | 31 | 3,328 | 63,39 |
| 6 | 53 | 3,456 | 65,83 |
| 7 | 13 | 3,584 | 68,27 |
| 7 | 36 | 3,712 | 70,70 |
| 7 | 52 | 3,840 | 73,14 |
| 8 | 21 | 3,968 | 75,58 |
| 8 | 49 | 4,096 | 78,02 |
| 9 | 19 | 4,224 | 80,46 |
| 9 | 54 | 4,352 | 82,90 |
| 10 | 30 | 4,480 | 85,34 |
| 11 | 16 | 4,608 | 87,77 |
| 12 | 6 | 4,736 | 90,21 |
| 13 | 17 | 4,864 | 92,65 |
| 15 | 3 | 4,992 | 95,09 |
| 17 | 37 | 5,120 | 97,52 |
| 30 | — | 5,248 | 99,96 |
| ∞ | — | 5,25 | 100 |

Tabelle 9.
Eismeerton. Fraktion B.
Temperatur: $13,6^{\circ}$ h = 10 cm, $P_{\infty} = 2,35$ Gramm.

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 1 | 1 | 0,128 | 5,45 |
| 1 | 32 | 0,256 | 10,70 |
| 2 | 0 | 0,384 | 16,72 |
| 2 | 29 | 0,512 | 21,40 |
| 2 | 58 | 0,640 | 27,23 |
| 3 | 29 | 0,768 | 32,68 |
| 3 | 58 | 0,896 | 38,13 |
| 4 | 29 | 1,024 | 43,58 |
| 5 | 1 | 1,152 | 49,02 |
| 5 | 35 | 1,180 | 54,47 |
| 6 | 12 | 1,408 | 58,84 |
| 6 | 54 | 1,536 | 65,36 |
| 7 | 34 | 1,664 | 69,54 |
| 8 | 34 | 1,792 | 76,26 |
| 9 | 41 | 1,920 | 80,24 |
| 11 | 6 | 2,048 | 87,14 |
| 13 | 14 | 2,176 | 92,60 |
| 18 | 23 | 2,304 | 98,04 |
| 19 | 40 | 2,324 | 98,90 |
| 23 | 4 | 2,344 | 99,75 |
| ∞ | — | 2,35 | 100 |

Tabelle 10.
Eismeerton. Fraktion B.
Temperatur: $13,2^{\circ}$ h = 10 cm, $P_{\infty} = 1,36$ Gramm.

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 1 | 55 | 0,128 | 9,41 |
| 2 | 37 | 0,256 | 18,82 |
| 3 | 15 | 0,384 | 28,23 |
| 3 | 53 | 0,512 | 37,65 |
| 4 | 34 | 0,640 | 47,06 |
| 5 | 25 | 0,768 | 56,47 |
| 6 | 23 | 0,896 | 65,88 |
| 8 | 8 | 1,024 | 75,30 |
| 11 | 0 | 1,152 | 84,71 |
| 12 | 38 | 1,20 | 88,23 |
| 13 | 25 | 1,22 | 89,71 |
| 15 | 24 | 1,25 | 91,90 |
| 19 | 16 | 1,29 | 94,85 |
| 23 | 59 | 1,31 | 96,32 |
| ∞ | — | 1,36 | 100 |

Tabelle 11.

Eismeerton. Fraktion B.

Temperatur: 13,3° h = 10 cm, $P_{\infty} = 0,78$ Gramm.

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 1 | 8 | 0,05 | 6,41 |
| 1 | 44 | 0,10 | 12,82 |
| 2 | 25 | 0,15 | 19,13 |
| 3 | 4 | 0,20 | 25,64 |
| 4 | 24 | 0,30 | 38,46 |
| 7 | 15 | 0,50 | 64,10 |
| 9 | 14 | 0,60 | 76,92 |
| 13 | 26 | 0,70 | 89,75 |
| 19 | 4 | 0,75 | 96,16 |
| 39 | 7 | 0,77 | 98,72 |
| ∞ | — | 0,78 | 100 |

Tabelle 12.

Eismeerton. Fraktion B.

Temperatur: 13,4° h = 10 cm, $P_{\infty} = 0,31$ Gramm.

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 2 | 25 | 0,05 | 16,13 |
| 5 | 33 | 0,15 | 48,39 |
| 7 | 43 | 0,20 | 64,52 |
| 11 | 29 | 0,25 | 80,65 |
| 13 | 36 | 0,27 | 87,10 |
| 18 | 25 | 0,29 | 93,55 |
| 21 | 47 | 0,30 | 96,77 |
| ∞ | — | 0,31 | 100 |

Bei sehr kleinen Bodenproben ist es jedoch fraglich, ob so kleine Mengen überhaupt dieselbe durchschnittliche Zusammensetzung wie eine größere Probe zeigen. Auch werden die Kompensationsvorrichtungen, wenn die niedergefallene Substanzmenge nur einige Zentigramm ausmacht, unempfindlich, und die Beobachtungen werden weniger genau. Dieser Einfluß macht sich schon bei den in der letzten Tabelle 12 wiedergegebenen Versuchen sowie dem entsprechenden Punkte in Fig. 4 bemerkbar. Ich hoffe jedoch, den Apparat in dieser Hinsicht noch verbessern zu können, so daß die Empfindlichkeit der Methode größer wird.

Es darf jedoch nicht verschwiegen werden, daß so gute Uebereinstimmung der verschiedenen Versuchsreihen wie in obigen Tabellen nur unter Einhalten einer konstanten Temperatur während des Versuchs möglich ist. Bei früheren Versuchen, wo ich nicht für gute Wärmeisolation gesorgt hatte, entstanden Konvektionsströmungen, wodurch eine weniger gute Uebereinstimmung erhalten wurde. Das Aufwirbeln der Flüssigkeit beim Eingießen dagegen ist vorteilhaft, da hierdurch eine gute Durchmischung zustande kommt, und diese Bewegungen innerhalb der Flüssigkeit hören sehr bald auf. Man muß auch beim Eingießen der Flüssigkeit möglichst gleichförmig und möglichst schnell arbeiten, damit keine erhebliche Zeit vergeht, ehe die Kompensationsvorrichtung in Funktion treten kann.

Bei stark sandhaltigen Bodenproben fallen die meisten Körner ja während der ersten Sekunden zu Boden, und es empfiehlt sich, nachdem der „Kies“ durch Siebe weggenommen ist, die Feinerde erst bei 30 cm Wasserhöhe und 15 Sek. Absetzzeit in Atterberg's¹⁶⁾ Schlammapparat zu behandeln und den „Sand“ abzutrennen. Jedoch braucht man diesen nicht zu trocknen, sondern sammelt ihn einfach auf ein gehärtetes Filter und legt die ganze Masse, Filter und feuchten Sand, vorsichtig auf die vergoldete Platte des Apparates und stellt das Gewicht im Wasser fest. Man muß natürlich dabei zusehen, daß keine Luftblasen anhaften. Durch Multiplikation mit dem Faktor $\frac{1}{\alpha} = \frac{\text{Area des Zylinderbodens}}{\text{Area der Platte}} = \frac{100}{B}$ erhält man das Gewicht des Sandes, der bei einem Versuch auf die Platte fallen würde, wenn derselbe nicht abgetrennt war.

Also gestaltet sich die Berechnung wie folgt:

| | |
|---------------------------------|---------|
| Sand + Filter im Wasser gewogen | a |
| Filter " " " | b |
| Sand " " " | (a - b) |

Auf die Platte kommt hiervon $\frac{1}{\alpha} (a - b)$.

Diesen Wert, in Prozente umgerechnet, trägt man auf der Y-Achse als Ordinate ab und zieht die Kurve von hier aus. Man

¹⁶⁾ Intern. Mitt. f. Bodenkunde, 2, 319 (1912).

wird hierdurch bei sehr groben Böden genauere Werte erhalten, als wenn die natürliche Bodenprobe direkt in den Apparat gebracht wird, denn dabei schlüpfen größere oder geringere Sandquantitäten unter die Platte und verursachen Störungen. Bei sandfreien Bodenproben fungiert die Vorrichtung ohne Störungen, und auch bei sandhaltigen Proben kann man nach einiger Uebung die Einfüllung so vornehmen, daß der Sand ziemlich gleichförmig auf die Platte niederfällt.

Bei sehr feinkörnigen Bodenablagerungen bleibt ein beträchtlicher Teil des Tons noch nach 24 Stunden schwebend, und wenn man die Messungen nicht über eine längere Zeit ausdehnen will, empfiehlt es sich, die Flüssigkeit oberhalb der Platte nach 24 Stunden abzuhebern und gesondert zu behandeln. Deshalb wurde im Fallzylinder ein Heber derartig fest angebracht, daß allein durch Öffnen eines Quetschklemmers die tonhaltige Flüssigkeit abgehoben werden konnte. Die Öffnung der nach oben gebogenen Heberspitze befand sich in gleicher Höhe mit der Platte, so daß keine gröberen Teilchen mit abgehoben wurden. Es wurde nun behufs Koagulation von einem Elektrolyt die hierzu erforderliche Quantität zugesetzt und dann die Aufschwemmung wieder in den inzwischen gereinigten Apparat gebracht. Es erfolgt nun Koagulation der Tonteilchen, und das Koagulum fällt auf die Platte nieder und wird gewogen. Man addiert nun Sand + Gewicht auf die Platte niedergefallener Teilchen + Gewicht des koagulierten Tons = P_{∞} und rechnet, wie vorher angegeben wurde, alle Werte in Prozente um, wobei $P_{\infty} = 100$ gesetzt wird. Diese P-Werte und die (eventuell auf $h = 10$ korrigierten) Zeitablesungen werden graphisch in einem Koordinatensystem abgetragen, und die dazugehörige Kurve stellt die Fallkurve der Bodenprobe dar.

Als Beispiele seien die Messungsergebnisse dreier Bodenproben mitgeteilt. Die Messungen sind in den Tabellen 13—15 wiedergegeben sowie graphisch in Fig. 5.

Die Fallkurve zeigt eine für jede Bodenablagerung charakteristische Form und dürfte zur Identifizierung und Charakterisierung derselben besonders geeignet sein, da sie uns einen weit intimeren Einblick in die mechanische Zusammensetzung gewährt als die bis-

Tabelle 13.

Boden 117. Kosta.

Temperatur: 12,8° h = 10 cm, P_∞ = 9,92 Gramm.

| Stunden | Zeitangaben | | P. | |
|---------|-------------|----|---------------------|---------|
| | beobachtet | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| | 0 | 26 | 2,00 | 20,16 |
| | 0 | 37 | 2,436 | 24,55 |
| | 0 | 55 | 2,871 | 28,94 |
| | 1 | 16 | 4,307 | 33,33 |
| | 1 | 45 | 3,742 | 37,73 |
| | 2 | 29 | 4,178 | 42,12 |
| | 3 | 26 | 4,614 | 46,51 |
| | 4 | 48 | 5,049 | 50,90 |
| | 5 | 18 | 5,177 | 52,19 |
| | 5 | 50 | 5,305 | 53,48 |
| | 6 | 25 | 5,433 | 54,77 |
| | 7 | 12 | 5,561 | 56,06 |
| | 7 | 52 | 5,689 | 57,35 |
| | 8 | 41 | 5,817 | 58,64 |
| | 9 | 36 | 5,945 | 59,93 |
| | 10 | 36 | 6,073 | 61,22 |
| | 11 | 45 | 6,201 | 62,52 |
| | 13 | 0 | 6,329 | 63,80 |
| | 14 | 25 | 6,457 | 65,09 |
| | 16 | 1 | 6,585 | 66,38 |
| | 17 | 53 | 6,713 | 67,67 |
| | 19 | 53 | 6,841 | 68,96 |
| | 22 | 10 | 6,969 | 70,25 |
| | 24 | 45 | 7,097 | 71,54 |
| | 27 | 50 | 7,225 | 72,83 |
| | 31 | 30 | 7,353 | 74,12 |
| | 35 | 30 | 7,481 | 75,42 |
| | 40 | 25 | 7,609 | 76,71 |
| | 46 | 25 | 7,737 | 78,00 |
| | 53 | 30 | 7,865 | 79,29 |
| 1 | 0 | 10 | 7,993 | 80,58 |
| 1 | 9 | 50 | 8,121 | 81,87 |
| 1 | 21 | 30 | 8,249 | 83,16 |
| 1 | 35 | 20 | 8,377 | 84,45 |
| 1 | 56 | 40 | 8,505 | 85,74 |
| 2 | 20 | 40 | 8,633 | 87,03 |
| 2 | 49 | — | 8,761 | 88,32 |
| 3 | 30 | — | 8,889 | 89,61 |
| 4 | — | — | 9,01 | 90,90 |
| 5 | — | — | 9,11 | 91,84 |
| 6 | — | — | 9,17 | 92,44 |
| 7 | — | — | 9,20 | 92,74 |
| 8 | — | — | 0,22 | 92,94 |
| 8 | — | — | 9,24 | 93,15 |
| 9½ | — | — | 9,62 | 97,00 |
| 23 | — | — | 9,64 | 97,18 |
| 26 | — | — | 9,92 | 100 |
| ∞ | — | — | | |

Tabelle 14.

Boden 107. Sandbäck.

Temperatur: 12,7° h = 20 cm, $P_{\infty} = 9,46$ Gramm.

| Stunden | Zeitangaben | | P. | |
|----------|-------------|----|---------------------|---------|
| | beobachtet | | beobachtet Gramm | Prozent |
| | ' | " | | |
| | — | 10 | 5 | 52,85 |
| | 2 | 12 | 6 | 63,43 |
| | 3 | 16 | 6,128 | 64,78 |
| | 4 | 46 | 6,256 | 66,13 |
| | 6 | 48 | 6,384 | 67,49 |
| | 9 | 30 | 6,512 | 68,64 |
| | 13 | 16 | 6,640 | 70,19 |
| | 17 | 59 | 6,768 | 71,54 |
| | 23 | 35 | 6,896 | 72,90 |
| | 31 | 0 | 7,024 | 74,25 |
| | 41 | 10 | 7,152 | 75,60 |
| | 54 | 35 | 7,28 | 76,96 |
| 1 | — | — | 7,30 | 77,17 |
| 2 | — | — | 7,60 | 80,34 |
| 3 | — | — | 7,76 | 82,03 |
| 4 | — | — | 7,85 | 82,98 |
| 5 | — | — | 7,91 | 83,62 |
| 6 | — | — | 7,97 | 84,25 |
| 7 | — | — | 8,00 | 84,57 |
| 8 | — | — | 8,04 | 84,99 |
| 9 | — | — | 8,07 | 85,31 |
| 27 | — | — | 8,31 | 87,84 |
| 46 | — | — | 8,39 | 88,69 |
| 48 | — | — | 8,40 | 88,80 |
| 51 | — | — | 8,41 | 88,90 |
| ∞ | — | — | 9,46 | 100 |

Tabelle 15.

Schluffboden aus Ultuna.

Temperatur: 13,3° h = 10 cm, $P_{\infty} = 9,50$ Gramm.

| Stunden | Zeitangaben | | P. | |
|---------|-------------|----|---------------------|---------|
| | beobachtet | | beobachtet Gramm | Prozent |
| | ' | " | | |
| | — | — | 3,049 | 32,10 |
| | — | 52 | 3,485 | 36,68 |
| 1 | — | 51 | 3,920 | 41,27 |
| 5 | — | 11 | 4,356 | 45,85 |
| 7 | — | 10 | 4,484 | 47,20 |
| 9 | — | 50 | 4,612 | 48,55 |
| 13 | — | 15 | 4,740 | 49,90 |
| 20 | — | 36 | 4,94 | 52,00 |

| Stunden | Zeitangaben | | P. | |
|---------|-------------|----|---------------------|---------|
| | beobachtet | | beobachtet Gramm | Prozent |
| | 31 | 6 | 5,14 | 54,11 |
| | 43 | 11 | 5,34 | 56,21 |
| | 56 | 21 | 5,54 | 58,32 |
| 1 | 2 | 45 | 5,64 | 59,37 |
| 1 | 11 | — | 5,95 | 62,63 |
| 2 | — | — | 7,02 | 73,90 |
| 3 | — | — | 7,80 | 82,10 |
| 4 | — | — | 8,20 | 86,32 |
| 5 | — | — | 8,52 | 89,69 |
| 6 | — | — | 8,80 | 92,63 |
| 7 | — | — | 9,00 | 94,74 |
| 8 | — | — | 9,10 | 95,79 |
| 9 | — | — | 9,11 | 95,90 |
| 11 | — | — | 9,12 | 96,00 |
| ∞ | — | — | 9,50 | 100 |

her vorhandenen Charakterisierungen durch Schlämmanalyse. Die Methode ist außerdem sehr bequem und erfordert wenig Zeit.

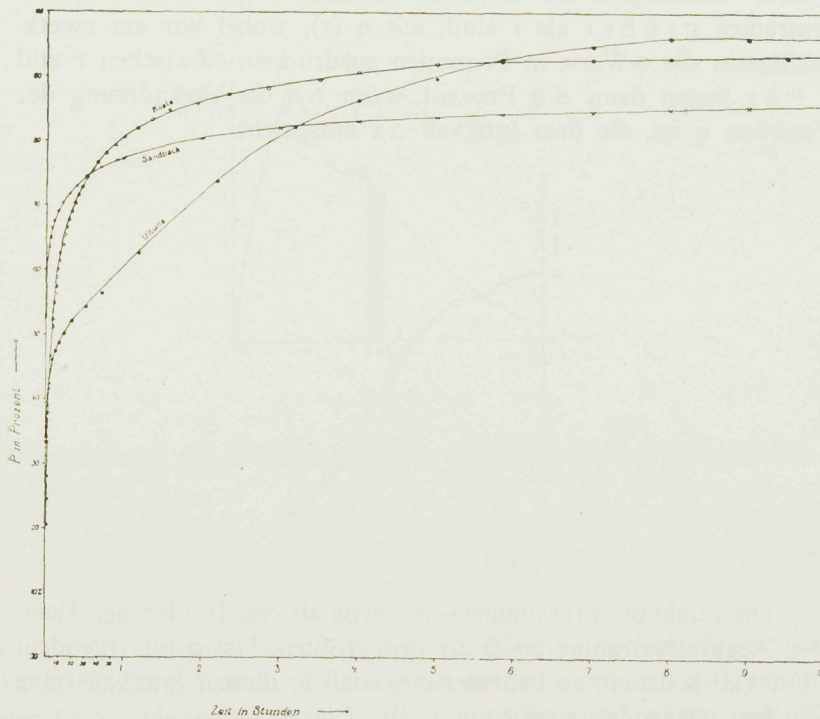


Fig. 5.

Alles zeitraubende Wiederschlämmen und Trocknen der Fraktionen kommt in Wegfall. Außerdem ist die Methode einer mathematischen Analyse zugänglich, worauf jetzt näher eingegangen werden soll.

IV.

Die mathematische Analyse der Fallkurve.

Das in den vorigen Abschnitten beschriebene Verfahren hat uns eine Methode gegeben, um für verschiedene Bodenablagerungen eine charakteristische Kurve, die Fallkurve $P(t)$, zu konstruieren; wir haben auch die Unabhängigkeit dieser Kurve von der Fallhöhe h und der absoluten Menge der aufgeschwemmten Substanzmenge nachgewiesen, vorausgesetzt, daß wir P in Bruchteilen von P_∞ ausdrücken. Hierbei wird P_∞ der Einfachheit halber gleich 100 gesetzt, und wir erhalten daher die P -Werte in Prozenten ausgedrückt.

Wir wollen nun zur genaueren Analyse der Fallkurve übergehen. Bezeichnen wir diejenige Teilchenmenge, deren Aequivalentradien größer als r sind, mit $q(r)$, wobei wir am zweckmäßigsten die q -Werte in Prozenten ausdrücken. Zwischen r und $r + \Delta r$ liegen dann Δq Prozent, wenn Δq die Veränderung der Funktion q ist, die dem Intervall Δr entspricht.



Fig. 6.

Die Funktion $q(r)$ nimmt somit stets ab von 100 für den kleinsten Aequivalentradius bis 0 für den größten. Ist q für irgendein r -Intervall konstant, so bedeutet dies, daß in diesem Intervall keine Teilchen vorhanden sind ($\Delta q = 0$).

Streng genommen ist die q -Funktion keine kontinuierliche Funktion von r , sondern sollte einen treppenartigen Charakter wie rechts in Fig. 6 haben; aber in Wirklichkeit können wir derartig kleine Veränderungen von tausendstel Prozent nicht experimentell verfolgen und betrachten die Funktion als eine kontinuierliche, wobei jede Radiusgröße repräsentiert ist.

Es ist nun zweckmäßig, eine andere Funktion $F(r)$ zu bilden, die uns die mathematische Behandlung erleichtert und die Teilchenmenge als eine Fläche graphisch veranschaulicht.

Machen wir Δr sehr klein, so geht

$$\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta r} \text{ in } -\frac{dq}{dr} \text{ über,}$$

(Das Minuszeichen erhalten wir, weil q mit steigendem r abnimmt.)

Setzen wir nun $-\frac{dq}{dr} = F(r)$, so können wir durch Integration der Funktion $F(r)$ zwischen zwei r -Werten r_1 und r_2 die

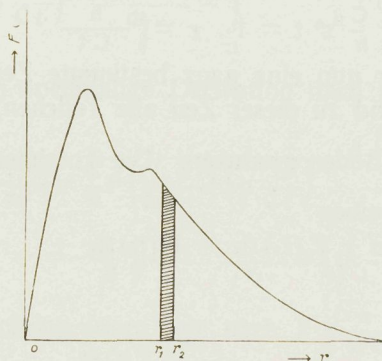


Fig. 7.

Prozentmenge der Teilchen zwischen diesen zwei Äquivalentradien bekommen:

$$q_1 - q_2 = \int_{r_2}^{r_1} \frac{dq}{dr} dr = \int_{r_1}^{r_2} F(r) dr$$

und die schraffierte Fläche in Fig. 7 stellt die Teilchenmenge dar. Diese Funktion $F(r)$ wollen wir als die Verteilungskurve der Bodenablagerung bezeichnen und werden jetzt zeigen, wie es

möglich ist, aus der Fallkurve $P(t)$ diese Verteilungskurve $F(r)$ zu konstruieren.

Betrachten wir ein ganz kleines Intervall in der Umgebung von r , so können wir hier $F(r)$ als konstant annehmen, und $F(r) dr$ bedeutet diejenige Teilchenfraktion, deren Radius zwischen r und $r + dr$ liegt.

Nach einer Zeit t ist von dieser Fraktion $F(r) dr$ eine gewisse Menge, die wir mit $\varphi(r)$ bezeichnen können, auf den Gefäßboden gefallen.

Nach dem Stokes'schen Gesetz gilt dann:

$$\varphi(r) = \frac{C}{h} F(r) dr r^2 t$$

wobei der Wert der Konstante C sich aus der Tabelle 2 ergibt.

Die ganze Menge dieser Fraktion ist niedergefallen, wenn $\varphi(r) = F(r) dr$, also wenn

$$F(r) dr = \frac{C}{h} F(r) dr r^2 t,$$

oder

$$\frac{C}{h} r^2 t = 1 : r = \sqrt{\frac{h}{Ct}} \quad (1.)$$

Fixieren wir nun eine ganz bestimmte Zeit t' . Nach obiger Gleichung (1) sind zu dieser Zeit alle Teilchen, deren Radien $r \geq \sqrt{\frac{h}{Ct'}}$, auf den Boden gesunken. Die Totalmenge dieser Teilchen können wir schreiben:

$F(r_1) dr + F(r_2) dr + F(r_3) dr + \dots + F(r_n) dr$
oder

$$\int_{\sqrt{\frac{h}{Ct'}}}^{\infty} F(r) dr$$

Zu derselben Zeit t' ist von den Teilchen, deren Radien $< \sqrt{\frac{h}{Ct'}}$ sind, welche Teilchen sich noch teilweise in der Aufschwemmung befinden, eine Menge niedergefallen, die gleich

$$\int_0^{\sqrt{\frac{h}{Ct'}}} \varphi(r) dr = \int_0^{\sqrt{\frac{h}{Ct'}}} \frac{CF(r)}{h} r^2 t' dr$$

ist.

Die ganze auf den Boden niedergefallene Menge P läßt sich daher schreiben:

$$P(t) = t' \int_0^{\sqrt{\frac{h}{Ct'}}} \frac{C}{1} F(r) r^2 dr + \int_{\sqrt{\frac{h}{Ct'}}}^{\infty} F(r) dr \quad (2.)$$

wovon der erste Ausdruck die kleinsten, der zweite die größten Teilchen bedeutet. Setzen wir jetzt t statt t', so ist es diese Funktion als Funktion von der Zeit t, die wir durch den Apparat registriert haben. Durch Derivation nach t erhält man:

$$\begin{aligned} \frac{dP(t)}{dt} &= \int_0^{\sqrt{\frac{h}{Ct}}} \frac{C}{t} F(r) r^2 dr + t \frac{C}{h} F\left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right) \cdot \left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right)^2 \cdot \frac{d\left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right)}{dt} - \\ &- F\left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right) \cdot \frac{d\left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right)}{dt} = \int_0^{\sqrt{\frac{h}{Ct}}} \frac{C}{h} F(r) r^2 dr \quad (3.) \end{aligned}$$

Durch eine nochmalige Derivation nach t erhält man:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 P(t)}{dt^2} &= \frac{C}{h} F\left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right) \left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right)^2 \cdot \frac{d\left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right)}{dt} \\ &= -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{h}{C}} \cdot \frac{1}{t^{5/2}} F\left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right) \end{aligned}$$

Diese Gleichung lösen wir nach $F\sqrt{\frac{h}{Ct}}$ und erhalten:

$$F\left(\sqrt{\frac{h}{Ct}}\right) = -2 \sqrt{\frac{C}{h}} \cdot t^{5/2} \frac{d^2 P(t)}{dt^2}, \quad (4.)$$

oder wenn wir die Hilfsquantität ϱ einführen:

$$\left. \begin{aligned} F(\varrho) &= -2 \sqrt{\frac{C}{h}} \cdot t^{5/2} \frac{d^2 P(t)}{dt^2} \\ \varrho &= \sqrt{\frac{h}{Ct}} \end{aligned} \right\} \quad (5.)$$

Wir haben somit hier einen Ausdruck für F(ϱ), oder die Totalmenge von Teilchen mit dem Radius ϱ , wobei F(ϱ) in t und die zweite Ableitung der experimentell bestimmten Kurve P(t) zu

derselben Zeit t ausgedrückt ist. Die fragliche Radiusgröße selbst ist auch durch die Zeit t und Konstanten definiert.

Wir können nun einige Schlüsse aus der Form dieses Gleichungssystems (5) oder der mit demselben identischen Gleichung (4) ziehen. $F(\varrho)$ kann selbstverständlich niemals negative Werte annehmen und muß entweder positiv oder gleich Null sein. Hieraus folgt, daß der Faktor $\frac{d^2 P(t)}{dt^2}$ stets negativ bleibt (oder gleich Null ist), und dies bedeutet ja, daß die Fallkurve $P(t)$ immer nach oben konvex bleibt.

Wenn die Kurve für ein bestimmtes Zeitintervall t_1-t_2 ($t_1 < t_2$) linear verläuft, so ist:

$$\frac{d^2 P(t)}{dt^2} = 0 \text{ für } t_1 < t < t_2 \text{ und folglich:}$$

$$F(\varrho) = 0 \text{ für } t_1 < t < t_2,$$

$$\text{d. h. für } \sqrt{\frac{h}{C t_1}} > \varrho > \sqrt{\frac{h}{C t_2}}.$$

Es bedeutet dies, daß es, wenn für ein gewisses Intervall die Kurve linear ist (A B in Fig. 8), keine Teilchen $[F(\varrho) = 0]$ mit Radien zwischen ϱ_1 und ϱ_2 , wo $\varrho_1 = \sqrt{\frac{h}{C t_1}}$ $\varrho_2 = \sqrt{\frac{h}{C t_2}}$, gibt. Der gerade Teil entspricht dem Fallen von Teilchen, deren Äquivalentradien sich aus der Krümmung am Ende desselben, B, berechnen lassen.

Behandeln wir ferner den Fall, daß die Kurve zwischen zwei annähernd geraden Stücken ein scharfes Knie bildet (bei B, Fig. 8).

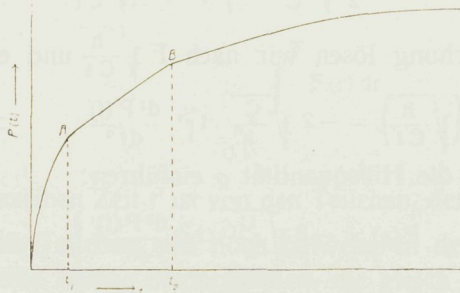


Fig. 8.

Diese starke Krümmung sei in der Umgebung von $t = t_2$. Auf beiden Seiten von t_2 ist $\frac{d^2 P(t)}{dt^2}$ daher klein oder gleich Null, in der

nächsten Nähe dagegen groß. Somit $F(\varrho^2)$ groß für $\varrho^2 = \sqrt{\frac{h}{Ct_2}}$; dagegen klein in der Umgebung. Wir haben also eine große Menge Teilchen vom Radius etwa gleich ϱ^2 , aber sehr wenige Teilchen auf beiden Seiten. Die Verteilungskurve zeigt somit hier ein Maximum.

Es verdient zum Schluß erwähnt zu werden, daß die eingeführte Hilfsquantität ϱ eine ganz spezielle Bedeutung besitzt. Denn aus der Gleichung $\varrho = \sqrt{\frac{h}{Ct}}$ folgt, daß ϱ den Radius derjenigen Teilchen angibt, welche eben im Moment t aus der Aufschwemmung verschwinden und sämtlich den Boden erreicht haben.

Wir können daher sagen, die erste Gleichung in (5) bedeute diejenige Teilchenmenge $F(\varrho)$, welche zur Zeit t aus der Aufschwemmung verschwindet.

* * *

Gehen wir nun auf die rechnerische Behandlung etwas näher ein.

Um $F(\varrho)$ zu bestimmen, müssen wir die Krümmung oder $\frac{d^2 P(t)}{dt^2}$ der Fallkurve kennen. Da es schwer ist, die Krümmung mit einiger Genauigkeit aus der Kurve direkt zu bestimmen, muß man hier den folgenden Weg einschlagen.

Man zeichnet eine Hilfskurve, die $\frac{d P(t)}{dt}$ oder den Winkelkoeffizienten der Tangente der Fallkurve graphisch als Funktion der Zeit darstellt. Dieselbe erhält man folgendermaßen:

Sind P_1 und P_2 die niedergefallenen Mengen, welche den Zeiten t_1 und t_2 entsprechen, so ist, wenn wir das Intervall $\frac{dP(t)}{dt}$ als konstant betrachten, $\frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$ gleich $\frac{dP(t)}{dt}$.

Aus dem Observationsmaterial erhält man so eine diskontinuierliche Kurve, Fig. 9, welche aus horizontalen Stückchen besteht.

Statt dieser diskontinuierlichen Kurve zieht man mit freier Hand eine kontinuierlich gezogene Kurve, welche daher $\frac{d P(t)}{dt}$ als Funktion von der Zeit angibt, und kann hieraus mit ziemlich großer Genauigkeit den Winkelkoeffizienten der Tan-

gente der Hilfskurve graphisch ermitteln, wodurch $F(\varrho)$ sich nach Gleichung (5) berechnen läßt.

In gewissen, aber nicht allen, Fällen ist es aus praktischen Gründen zweckmäßig, beim Aufzeichnen der Hilfskurve eine vari-

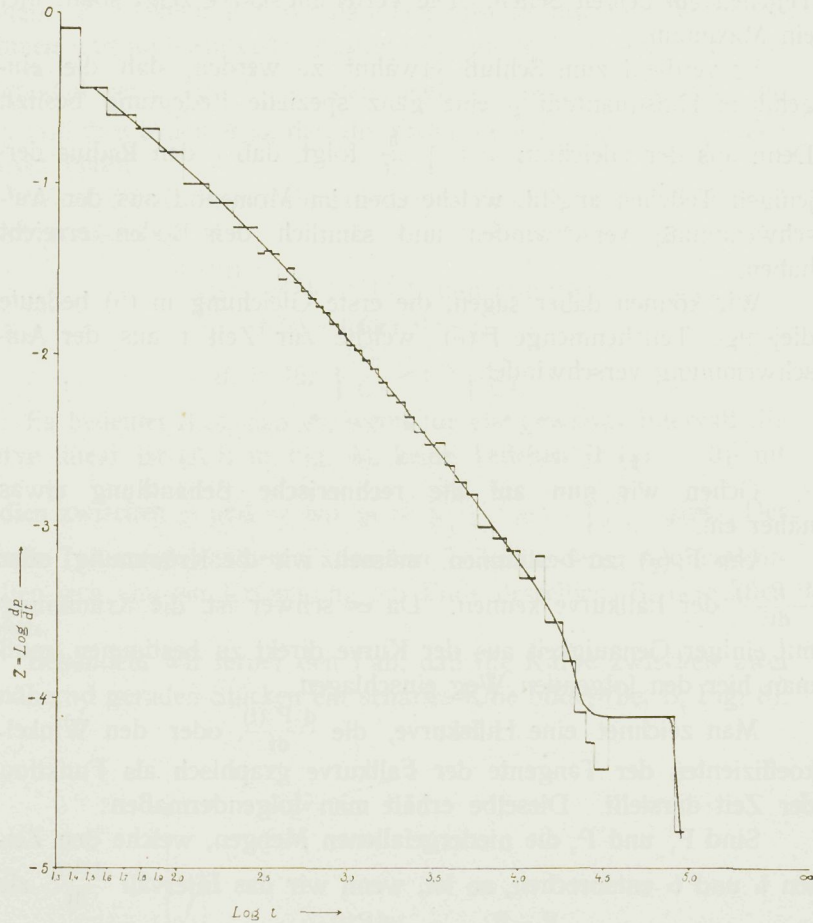


Fig. 9.

able (logarithmische) Skala zu verwenden, um nicht allzu große Figuren zu bekommen, und als Abszisse $x = {}^{10}\text{Log } t = e \ln t \cdot {}^{10}\text{Log } e$, als Ordinate $z = {}^{10}\text{Log } y = {}^{10}\text{Log } \frac{dP(t)}{dt} = e \ln \frac{dP(t)}{dt} \cdot {}^{10}\text{Log } e$ abzutragen. Man hat dann einige einfache Transformationen zu machen:

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dx} &= \frac{\frac{d^2 P(t)}{dt^2}}{\frac{dP(t)}{dt}} \cdot \frac{dt}{dx} \cdot {}^{10}\text{Log } e \\ &= \frac{\frac{d^2 P(t)}{dt^2}}{\frac{dP(t)}{dt}} \cdot t \quad (6); \text{ da } \frac{dt}{dx} = \frac{t}{{}^{10}\text{Log } e} \text{ ist.} \end{aligned}$$

Man kann die Gleichung (5) auch wie folgt schreiben:

$$\begin{aligned} F(\varrho) &= - \frac{2}{\sqrt{\frac{h}{Ct}}} \cdot t^2 \frac{d^2 P(t)}{dt^2} \\ &= - \frac{2t}{\varrho} \cdot \frac{\frac{d^2 P(t)}{dt^2}}{\frac{dP(t)}{dt}} \cdot t \cdot \frac{dP(t)}{dt} \end{aligned}$$

oder nach (6):

$$\begin{aligned} F(\varrho) &= - \frac{2t}{\varrho} \cdot \frac{dz}{dx} \cdot \frac{dP(t)}{dt} \\ F(\varrho) &= - \frac{2t}{\varrho} \cdot y \cdot \frac{dz}{dx} \quad (7.) \end{aligned}$$

Aus der Hilfskurve (x, z) liest man teils $\frac{dz}{dx}$ ab, d. h. den Winkelkoeffizienten der Tangente, teils y, vermittelt der Gleichung $z = \text{Log } y$, und man bestimmt $F(\varrho)$ vermittelt obiger Gleichung (7).

Es muß vielleicht darauf aufmerksam gemacht werden, daß y eine bestimmte Bedeutung hat. Aus $y = \frac{dP(t)}{dt}$ ersieht man, daß $y dt = dP(t)$, d. h. gleich der in der Zeiteinheit ausfallenden Teilchenmenge ist.

Es dürfte in manchen Fällen anschaulicher sein, die Verteilungskurve statt auf die Gewichtsmengen $F(r)$ auf die Teilchenzahl N zu beziehen.

Es gilt für ein kleines Intervall, wo wir r als konstant betrachten:

$$\begin{aligned} F(r) &= N \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \sigma, \\ N &= \frac{F(r)}{\frac{4}{3} \pi r^3 \sigma} \quad (8) \end{aligned}$$

wo σ das spezifische Gewicht der Teilchen ist.

Wir brauchen somit einfach nur die $F(r)$ -Werte durch $\frac{4}{3} \pi r^3 \sigma$ zu dividieren, um die Teilchenzahl N im betreffenden In-

tervall zu erhalten. Die Teilchen sind hierbei als sphärisch gedacht, und selbstverständlich kann die wirkliche Teilchenzahl Abweichungen von der berechneten aufweisen.

Das Berechnungsverfahren ist analog dem bei der Berechnung der Teilchengröße bei kolloiden Lösungen verwendeten. Da es keine anderen Methoden gibt, dürften diese Zahlen wenigstens der Größenordnung nach richtig sein. Die Teilchenzahl N als Funktion von r können wir zweckmäßig als die Häufigkeitsfunktion $N(r)$ bezeichnen, während $F(r)$ die Verteilungsfunktion ist.

Zur Veranschaulichung und zum besseren Verständnis des oben Erläuterten sowie der Berechnungsmethode dient am besten ein Beispiel, und es sind daher in Tabelle 16 die zur Konstruktion der Hilfskurve für die Bestimmung der Verteilungskurve des Bodens 117 Kosta nötigen Daten zusammengestellt.

Es bedeuten hier:

t_n die Zeitablesungen in Sekunden,

$t_n - t_{n-1}$ das Zeitintervall zwischen zwei Zeitablesungen,

P_n das Gewicht in Prozenten der auf die Platte niedergefallenen Teilchen zur Zeit t_n ,

$P_n - P_{n-1}$ die Gewichtsveränderung für das Zeitintervall $t_n - t_{n-1}$ in Prozenten,

$\text{Log} \frac{P_n - P_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$ die Ordinate z in Fig. 9,

$\text{Log} t_n$ die Abszisse x in Fig. 9.

In Tab. 17 sind dann die zur Konstruktion der Verteilungskurve nötigen Daten zusammengestellt.

Die erste Kolumne enthält den in μ gemessenen Radius r_n für den man den Wert der Funktion $F(r)$ bestimmen will. t_n ist die gemäß der Gleichung $r = \sqrt{\frac{h}{C_1}}$ daraus bestimmte Zeit in Sekunden.

$z = \log y$ ist die graphisch aus der Hilfskurve Fig. 9 bestimmte Ordinate, die der Abszisse $x = \log t$ entspricht.

$\frac{dz}{dx}$ ist der ebenfalls graphisch aus Fig. 9 bestimmte Winkelkoeffizient der Tangente für die Abszisse $x = \log t$, und schließlich enthält die fünfte Kolumne den gesuchten Wert von $F(r)$, berechnet gemäß der Gleichung (7).

Um die zwischen zwei Äquivalentradien r_n und r_{n+1} liegende Menge in Prozenten zu berechnen, kann man entweder an

Tabelle 16.

Tabelle zur Konstruktion der Hilfskurve Fig. 9
für Boden 117 K o s t a.

| t_n | $t_n - t_{n-1}$ | $x = \text{Log } t_n$ | P_n | $P_n - P_{n-1}$ | $z = \text{Log } \frac{P_n - P_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$ |
|-------|-----------------|-----------------------|-------|-----------------|---|
| 0 | | | 0 | | |
| 26 | 26 | | 20,16 | 20,16 | 0,889 — 1 |
| 37 | 11 | 1,415 | 24,55 | 4,39 | 0,601 — 1 |
| 55 | 18 | 1,568 | 28,94 | 4,39 | 0,387 — 1 |
| 76 | 21 | 1,740 | 33,33 | 4,39 | 0,320 — 1 |
| 105 | 29 | 1,881 | 37,73 | 4,40 | 0,182 — 1 |
| 149 | 44 | 2,021 | 42,12 | 4,39 | 0,999 — 2 |
| 206 | 57 | 2,173 | 46,51 | 4,39 | 0,887 — 2 |
| 288 | 82 | 2,314 | 50,90 | 4,39 | 0,729 — 2 |
| 318 | 30 | 2,459 | 52,19 | 1,29 | 0,633 — 2 |
| 350 | 34 | 2,502 | 53,48 | 1,29 | 0,605 — 2 |
| 385 | 35 | 2,544 | 54,77 | 1,29 | 0,567 — 2 |
| 432 | 47 | 2,585 | 56,06 | 1,29 | 0,438 — 2 |
| 472 | 40 | 2,635 | 57,35 | 1,29 | 0,509 — 2 |
| 521 | 49 | 2,674 | 58,64 | 1,29 | 0,420 — 2 |
| 576 | 55 | 2,717 | 59,93 | 1,29 | 0,370 — 2 |
| 636 | 60 | 2,760 | 61,22 | 1,29 | 0,332 — 2 |
| 705 | 65 | 2,803 | 62,51 | 1,29 | 0,296 — 2 |
| 780 | 75 | 2,848 | 63,80 | 1,29 | 0,235 — 2 |
| 865 | 85 | 2,892 | 65,09 | 1,29 | 0,181 — 2 |
| 961 | 96 | 2,937 | 66,38 | 1,29 | 0,127 — 2 |
| 1073 | 112 | 2,983 | 67,67 | 1,29 | 0,061 — 2 |
| 1193 | 120 | 3,031 | 68,96 | 1,29 | 0,031 — 2 |
| 1330 | 137 | 3,077 | 70,25 | 1,29 | 0,974 — 3 |

(Fortsetzung von Tabelle 16.)

| t_n | $t_n - t_{n-1}$ | $x = \text{Log } t_n$ | P_n | $P_n - P_{n-1}$ | $z = \text{Log } \frac{P_n - P_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$ |
|-------|-----------------|-----------------------|-------|-----------------|---|
| 1485 | 155 | 3,172 | 71,54 | 1,29 | 0,920 — 3 |
| 1670 | 185 | 3,223 | 72,83 | 1,29 | 0,844 — 3 |
| 1890 | 220 | 3,276 | 74,12 | 1,29 | 0,768 — 3 |
| 2130 | 240 | 3,328 | 75,42 | 1,29 | 0,734 — 3 |
| 2425 | 295 | 3,385 | 76,71 | 1,29 | 0,641 — 3 |
| 2785 | 360 | 3,440 | 78,00 | 1,29 | 0,554 — 3 |
| 3210 | 425 | 3,507 | 79,29 | 1,29 | 0,482 — 3 |
| 3610 | 400 | 3,557 | 80,58 | 1,29 | 0,487 — 3 |
| 4190 | 580 | 3,622 | 81,87 | 1,29 | 0,362 — 3 |
| 4890 | 700 | 3,689 | 83,16 | 1,29 | 0,265 — 3 |
| 5720 | 830 | 3,757 | 84,45 | 1,29 | 0,190 — 3 |
| 7000 | 1280 | 3,845 | 85,74 | 1,29 | 0,004 — 3 |
| 8440 | 1440 | 3,926 | 87,03 | 1,29 | 0,952 — 4 |
| 10140 | 1700 | 4,006 | 88,32 | 1,29 | 0,881 — 4 |
| 12600 | 2460 | 4,100 | 89,61 | 1,29 | 0,720 — 4 |
| 14400 | 2800 | 4,158 | 90,83 | 1,22 | 0,831 — 4 |
| 18000 | 3600 | 4,255 | 91,84 | 1,01 | 0,447 — 4 |
| 21600 | 3600 | 4,334 | 92,44 | 0,60 | 0,223 — 4 |
| 25200 | 3600 | 4,401 | 92,74 | 0,30 | 0,921 — 5 |
| 28800 | 3600 | 4,459 | 92,94 | 0,20 | 0,745 — 5 |
| 34200 | 5400 | 4,534 | 93,15 | 0,21 | 0,590 — 5 |
| 82800 | 48600 | 4,918 | 97,00 | 3,85 | 0,899 — 5 |
| 93600 | 10800 | 4,971 | 97,18 | 0,18 | 0,223 — 5 |

Tabelle 17.

Tabelle zur Berechnung von $F(r)$ und $N(r)$ für Boden 117 K o s t a.

| r_n in μ | t_n in Sekunden | $z = \log y$ | $\frac{dz}{dx}$ | $F(r)$ | $\frac{q(r_{n+1})}{q(r_n)}$ | $q(r_n)$ | $N(r) = \frac{F(r)}{\sqrt[4]{\frac{1}{3}\pi r^3}}$ |
|----------------|-------------------|--------------|-----------------|--------|-----------------------------|----------|--|
| 33 | 30 | 0,610 — 1 | 1,02 | 0,760 | | 9,9 | $1,9 \cdot 10^4$ |
| 25 | 52 | 0,370 — 1 | 0,84 | 0,857 | 6,5 | 16,4 | $4,8 \cdot 10^4$ |
| 20 | 81 | 0,202 — 1 | 0,90 | 0,16 | 5,3 | 21,7 | $1,3 \cdot 10^5$ |
| 17 | 112 | 0,070 — 1 | 0,93 | 1,44 | 3,9 | 25,6 | $2,6 \cdot 10^5$ |
| 15 | 144 | 0,970 — 2 | 0,94 | 1,68 | 3,2 | 28,8 | $4,4 \cdot 10^5$ |
| 13 | 192 | 0,850 — 2 | 1,0 | 2,09 | 3,6 | 32,4 | $8,4 \cdot 10^5$ |
| 10 | 324 | 0,616 — 2 | 1,03 | 2,77 | 7,1 | 39,5 | $2,4 \cdot 10^6$ |
| 8,5 | 448 | 0,469 — 2 | 1,04 | 3,23 | 4,5 | 44,0 | $4,7 \cdot 10^6$ |
| 7,5 | 576 | 0,354 — 2 | 1,06 | 3,67 | 3,5 | 47,5 | $7,7 \cdot 10^6$ |
| 6 | 900 | 0,136 — 2 | 1,15 | 4,72 | 6,2 | 53,7 | $1,9 \cdot 10^7$ |
| 5 | 1296 | 0,956 — 3 | 1,18 | 5,53 | 5,1 | 58,8 | $3,9 \cdot 10^7$ |
| 4 | 2030 | 0,713 — 3 | 1,24 | 6,49 | 6,0 | 64,8 | $9,0 \cdot 10^7$ |
| 3 | 3600 | 0,405 — 3 | 1,3 | 7,93 | 7,1 | 71,9 | $2,6 \cdot 10^8$ |
| 2,5 | 5180 | 0,181 — 3 | 1,44 | 9,04 | 4,3 | 76,2 | $5,1 \cdot 10^8$ |
| 2 | 8100 | 0,922 — 4 | 1,13 | 7,64 | 4,2 | 80,4 | $8,4 \cdot 10^8$ |
| 1,7 | 11200 | 0,756 — 4 | 1,3 | 9,55 | 2,5 | 82,9 | $1,7 \cdot 10^9$ |
| 1,5 | 14400 | 0,589 — 4 | 1,94 | 14,4 | 2,4 | 85,3 | $3,7 \cdot 10^9$ |
| 1,2 | 22500 | 0,051 — 4 | 3,9 | 16,4 | 4,8 | 90,1 | $8,5 \cdot 10^9$ |
| 0 | | | | | 10 | 100,1 | |

der Kurve die entsprechenden Ordinaten ziehen und die Fläche durch Zählen der Quadrate bestimmen. Diese Werte stehen in der sechsten Kolonne der Tabelle.

Schließlich sind die $q(r)$ -Werte sowie die Teilchenzahlen $N(r)$ in den letzten Kolonnen angeführt. Die Zahlen der letzten Kolonne beziehen sich hier auf 1 Gramm Boden und Ausmessung des Teilchenradius in μ .

In der Fig. 10 ist die Kurve VT die Verteilungskurve für den Boden Kosta.¹⁷⁾ Im ganzen haben wir zwischen 1,2 und 33 μ 80,2 Prozent. 9,9 Prozent ist größer als 33 μ und 10 Prozent kleiner als 1,2 μ .

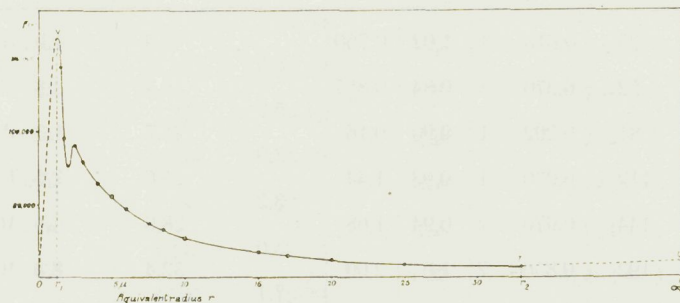


Fig. 10.

Um auch diese Teilchenmengen graphisch darzustellen, sind die zwei gestrichelten Linien TU und OV derart gezogen, daß die Fläche $OV R_1$ gleich 10 Prozent und die Fläche $R_2 T U R_\infty$ gleich 9,9 Prozent ist. Ueber die Verteilung in diesen zwei Gebieten wissen wir nichts, und die Geraden OV und TU dienen nur zur graphischen Veranschaulichung. Nur in dem zwischen R_1 und R_2 liegenden Gebiet kann man zwischen zwei R-Werten die entsprechende Bodenmenge finden; zwischen O und R_1 samt R_2 und R_∞ darf man dagegen keine Interpolationen machen.

Es ist natürlich von größtem Interesse, dieses Gebiet R_1-R_2 möglichst auszudehnen. Durch längere Observationszeit, z. B. 100 Stunden, könnte man bis auf 0,3 μ herunterkommen und durch größere Fallhöhe, h, das Gebiet nach rechts ausdehnen.

Durch Verwendung von zäheren und schwereren Flüssigkeiten ist es auch möglich, über die Verteilung innerhalb des „Sand-“ und „Feinsand“-Gebietes besseren Aufschluß zu erlangen.

¹⁷⁾ Diese graphische Darstellung bedingt notwendigerweise, daß bei feinkörnigen Böden die Kurve sehr steil gegen die Ordinatenachse steigt. Um die Figuren übersichtlicher zu gestalten, wäre vielleicht zweckmäßiger als Ordinate $r F(r)$, als Abszisse $e \ln r$ abzutragen; die von zwei Ordinaten begrenzte Fläche gibt auch in diesem Falle die Bodenmenge in Prozent an.

$$d(e \ln r) \cdot r F(r) = \frac{1}{r} dr r F(r) = F(r) dr.$$

Ich bin mit Versuchen, die Methode in dieser Hinsicht zu vervollkommen, beschäftigt und hoffe, in einer zweiten Mitteilung Näheres hierüber berichten zu können.

In Fig. 11 ist statt der nach Gewichtsmengen konstruierten Verteilungskurve die nach der Teilchenzahl berechnete Häufigkeitskurve desselben Bodens 117 Kosta dargestellt. Um keine allzu unförmliche Figur zu bekommen, sind statt N als Ordinaten $\log N$ abgetragen.

Auf die Möglichkeit, die totale Oberfläche des Bodens zwischen zwei Äquivalentradien zu berechnen, verdient ebenfalls hingewiesen zu werden. Hierbei ergibt sich für den Boden Kosta

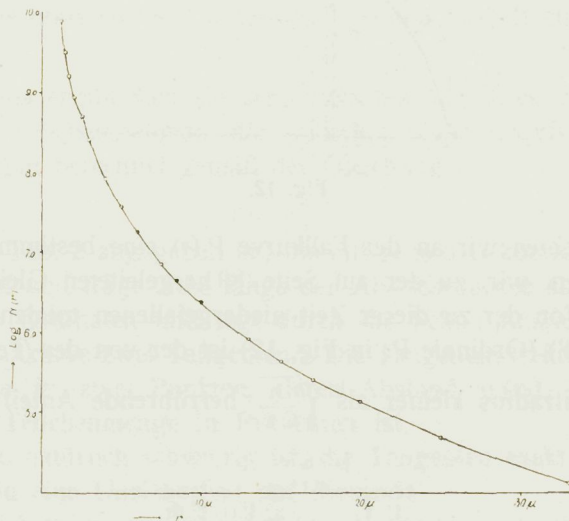


Fig. 11.

für die Prozentmenge zwischen $1,2 \mu$ und 33μ eine Oberfläche von $1,99 \text{ m}^2$. Auf die nähere Behandlungsweise derartiger Berechnungen werde ich im Zusammenhange mit Adsorptionsmessungen zurückkommen.

V.

Einfache graphische Methode zur Bestimmung der Teilchenmenge zwischen zwei Äquivalentradien.

Die oben beschriebene exakte mathematische Berechnung der Verteilungskurve ist ziemlich umständlich, und es erfordert fast

einen ganzen Tag, um aus der Fallkurve die Verteilungskurve oder die Häufigkeitskurve zu berechnen.

Es dürfte in manchen Fällen ausreichend sein, sich mit einer geringeren Genauigkeit zu begnügen, und ich gebe daher im folgenden eine einfache graphische Methode zur Berechnung der zwischen zwei Aequivalentradien befindlichen Teilchenmenge an.

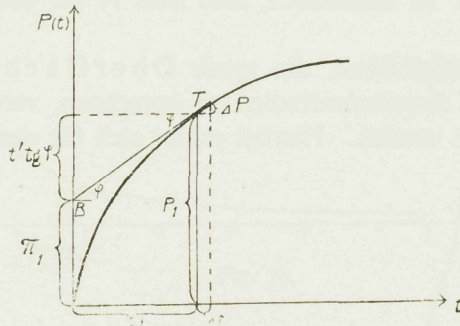


Fig. 12.

Betrachten wir an der Fallkurve $P(t)$ eine bestimmte Zeit t' , und kehren wir zu der auf Seite 289 hergeleiteten Gleichung (2) zurück. Von der zu dieser Zeit niedergefallenen totalen Teilchenmenge $P(t')$ (Ordinate P_1 in Fig. 12) ist der von den Teilchen mit Aequivalentradius kleiner als $\sqrt{\frac{h}{Ct'}}$ herrührende Anteil gleich

$$t' \int_0^{\sqrt{\frac{h}{Ct'}}} \frac{C}{h} F(r) r^2 dr.$$

Legen wir nun durch den Endpunkt der Ordinate t' eine Tangente TB zur Fallkurve, so ist

$$\operatorname{tg} \varphi = \lim \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{dP}{dt} \text{ oder nach (3) } = \int_0^{\sqrt{\frac{h}{Ct'}}} \frac{C}{h} F(r) r^2 dr.$$

Durch Multiplikation mit t' erhalten wir

$$t' \operatorname{tg} \varphi = t' \int_0^{\sqrt{\frac{h}{Ct'}}} \frac{C}{h} F(r) r^2 dr.$$

Es sind somit $t' \operatorname{tg} \varphi$ die im Zeitmoment t' niedergefallenen Teilchen, welche kleiner als $\sqrt{\frac{h}{C t'}}$ sind.

Aus Fig. 12 ist ersichtlich, daß $P_1 - t' \operatorname{tg} \varphi$ gleich π_1 ist; P_1 ist die totale niedergefallene Teilchenmenge, und π_1 ist daher diejenige Teilchenmenge, deren Aequivalentradien größer als $\sqrt{\frac{h}{C t'}}$ sind.

Der Abstand vom Origo bis zum Schnittpunkt der Tangente mit der Ordinatenachse bedeutet also diejenige Teilchenmenge, deren Aequivalentradien größer als $\sqrt{\frac{h}{C t'}}$ sind. Oder wenn wir auf die oben (S. 86) definierte Funktion $q(r)$ Bezug nehmen:

$$\pi_1 = q(r_1).$$

Hieraus ergibt sich ein sehr einfaches Verfahren zur Berechnung der Teilchenmengen, die zwischen zwei Aequivalentradien liegen. Man berechnet gemäß der Gleichung

$$t = \frac{h}{C r^2}$$

(wo C in Tab. 2 angegeben ist) die mit r_1 und r_2 korrespondierenden Zeiten und trägt diese längs der Abszissenachse ab, zieht die gehörigen Ordinaten und legt durch die Schnittpunkte derselben mit der Fallkurve zwei Tangenten. Die Tangenten treffen die Ordinatenachse in zwei Punkten, deren Abstand $q(r_2) - q(r_1)$ die gesuchte Teilchenmenge in Prozenten ist.

Da es natürlich schwierig ist, die Tangenten exakt zu ziehen, liegt hierin eine Unsicherheit der Methode.

Endlich kann man eine dritte Methode verwenden.

Wenn man sich mehr Mühe geben will und die Hilfskurve in der Fig. 9 zeichnet, so kann man $\operatorname{tg} \varphi$ oder $\frac{dP}{dt}$ für die mit r_1 und r_2 korrespondierenden Zeiten t_1 und t_2 aus dieser Kurve bestimmen; man liest die Ordinaten $P(t_1)$ und $P(t_2)$ aus der Fallkurve graphisch ab und erhält nach der Gleichung

$$q(r) = P(t_1) - t_1 \frac{dP}{dt} \quad (9.)$$

die Teilchenmenge, deren Aequivalentradien größer als r_1 sind. Für einen anderen Aequivalentradius r_2 erhält man den Wert von $q(r_2)$, und die Differenz $q(r_2) - q(r_1)$ ist die Teilchenmenge in dem betreffenden Intervall.

In der folgenden Tabelle 18 sind für einige Äquivalentradienintervalle die Körnermengen in Prozenten für den Boden 117 Kosta nach den drei Methoden berechnet.

Fig. 13 stellt die Funktion $q(r)$ graphisch dar; die runden Punkte sind nach Methode I berechnet, die Kreuze nach Methode III.

Tabelle 18.

| Äquivalentradius r_n | Methode I (nach Gleichung 8) | | Methode II graphisch $q(r)$ | Methode III (nach Gleichung 9) | | | $q(r)$ |
|---------------------------|--|--------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------|
| | Zwischen r_n und r_{n+1} liegen in Prozenten | $q(r)$ | | Die r_n entsprechende Zeit t_n | $\frac{dP}{dt}$ aus Kurve 9 ermittelt | P aus der Fallkurve ermittelt | |
| 33 | | 9,9 | 9,5 | 30 | 0,407 | 22,1 | 9,9 |
| | 6,5 | | | | | | |
| 25 | | 16,4 | 16,8 | 52 | 0,234 | 28,4 | 16,8 |
| | 5,3 | | | | | | |
| 20 | | 21,7 | 20,3 | 81 | 0,159 | 34,2 | 21,5 |
| | 3,9 | | | | | | |
| 17 | | 25,6 | 26,1 | 112 | 0,117 | 38,4 | 25,3 |
| | 3,2 | | | | | | |
| 15 | | 28,8 | 28,9 | 144 | 0,0933 | 41,7 | 28,3 |
| | 3,6 | | | | | | |
| 13 | | 32,4 | 32,4 | 192 | 0,0708 | 45,6 | 32,0 |
| | 7,1 | | | | | | |
| 10 | | 39,5 | 39,0 | 324 | 0,0413 | 52,4 | 39,0 |
| | 4,5 | | | | | | |
| 8,5 | | 44,0 | 44,3 | 448 | 0,0294 | 56,7 | 43,5 |
| | 3,5 | | | | | | |
| 7,5 | | 47,5 | 46,9 | 576 | 0,0226 | 59,9 | 46,9 |
| | 6,2 | | | | | | |
| 6 | | 53,7 | 54,7 | 900 | 0,0137 | 65,6 | 53,3 |
| | 5,1 | | | | | | |
| 5 | | 58,8 | 58,5 | 1296 | 0,00904 | 69,9 | 58,2 |
| | 6,0 | | | | | | |
| 4 | | 64,8 | 65,8 | 2030 | 0,00516 | 75,4 | 64,9 |
| | 7,1 | | | | | | |
| 3 | | 71,9 | 71,7 | 3600 | 0,00254 | 80,5 | 71,4 |
| | 4,3 | | | | | | |
| 2,5 | | 76,2 | 75,8 | 5180 | 0,00152 | 83,6 | 76,7 |
| | 4,2 | | | | | | |
| 2 | | 80,4 | 79,7 | 8100 | 0,000836 | 86,7 | 79,9 |
| | 2,5 | | | | | | |
| 1,7 | | 82,9 | | 11200 | 0,000570 | 88,9 | 82,5 |
| | 2,4 | | | | | | |
| 1,5 | | 85,3 | | 14400 | 0,000388 | 90,8 | 85,2 |
| | 4,8 | | | | | | |
| 1,2 | | 90,1 | | 22500 | 0,0001125 | 92,5 | 90,0 |
| | | | | | | | |
| Kolloide Teilchen | | 10,0 | | | | | 10,0 |
| | | 1 0,1 | | | | | 100,0 |

Um aus der Kurve die Teilchenmenge zwischen zwei Äquivalent-
radien zu erhalten, hat man nur die entsprechenden Ordinaten zu
ziehen. Wird die Länge der einen Ordinate von der anderen sub-

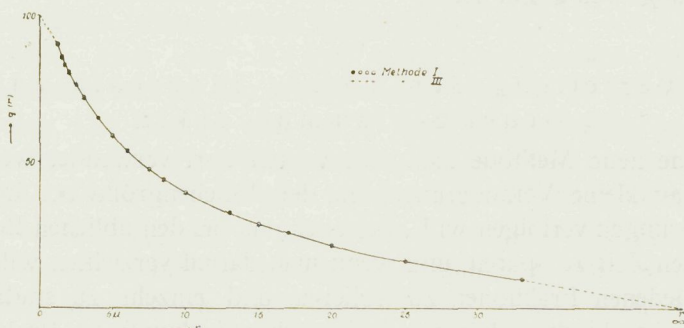


Fig. 13.

trahiert, so gibt die Differenz die gesuchte Teilchenmenge. Im Ge-
gensatz zur Reproduktionsmethode in Fig. 10, wo die prozentische
Menge durch eine Fläche dargestellt wird, ist dieselbe hier durch
eine Länge repräsentiert.

Die Methode I ist als die exakteste Berechnungsmethode zu
betrachten; aber wir sehen, daß die Uebereinstimmung bei den
zwei andern Methoden auch leidlich gut ist.

Es ist von Interesse, diese Zahlen mit den von A. Atterberg
nach der Schlämmanalyse angegebenen zu vergleichen.

| | | | | |
|------------------------------|------------------|---------|------------------------|---------|
| Es ergibt sich aus Methode I | | | Nach Atterberg | |
| | Zwischen | Prozent | Zwischen | Prozent |
| Sand + Feinsand: | $\infty - 10\mu$ | 39,5 | -10μ | 36,9 |
| Schluff: | $10\mu - 2\mu$ | 40,9 | $10\mu - 1\mu$ | 43,6 |
| Ton: | $2\mu - 0$ | 20,7 | $1\mu - 0$ | 18,8 |
| | | | Hygroskopisches Wasser | 0,7 |

Da die Verteilungskurve bei 2μ ein Minimum zeigt, habe ich
die Grenze zwischen Schluff und Ton dort gezogen, während bei
Atterberg die Grenze bei 1μ liegt.

Da die Vorbehandlung von mir nur durch Bearbeitung mit
steifem Pinsel erfolgte, ist es nicht ausgeschlossen, daß bei inten-
siverer Bearbeitung die Tongruppe größer ausfallen würde.¹⁸⁾ Eine

¹⁸⁾ Die Tongruppe wird wohl von Atterberg als Differenz bestimmt,
und es ist nicht ausgeschlossen, daß bei Schlämmanalysen Teilchen der
kleineren Fraktionen noch an den gröberen haften bleiben. Vgl. die Kurven
in Fig. 14.

genaue Uebereinstimmung zweier Methoden der mechanischen Bodenanalyse ist wohl kaum zu erwarten, und wenigstens widersprechen sich die zwei Methoden nicht, auch wenn die Uebereinstimmung wenig gut ist.

VI.

Die Verteilung der Körner innerhalb künstlicher Schlämmprodukte.

Die neue Methode kann mit Vorteil dort verwendet werden, wo man kleine Veränderungen in der Teilchengröße bei Bodenablagerungen verfolgen will, aber auch, um bei den üblichen Bodenanalysen Zeit zu sparen, und wenn man darauf verzichten will, die verschiedenen Fraktionen zu isolieren und einzeln zu studieren. Auf einige hierhergehörige geologisch-bodenkundliche Probleme, die vermitteltst des neuen Apparates dem Studium leicht zugänglich sind, werde ich später eingehen.

Hier mögen nur einige Versuche Erwähnung finden, die behufs Untersuchung, in welchem Grade die nach der üblichen Schlämmanalyse erhaltenen Fraktionen gleichkörnig sind oder nicht, angestellt wurden.

Bei diesem Verfahren werden bekanntlich die wässerigen Aufschwemmungen bis zu einer gewissen Höhe in einen Schlämmszylinder gebracht. Die Körner fallen auf den Boden, und nach einer gewissen Zeit wird die Flüssigkeit mit den kleinen Körnern abgelassen; die auf den Boden gefallenen Körner werden wieder aufgeschwemmt und die gleiche Zeit im Fallzylinder gelassen, die Flüssigkeit abgehebert und so fort.

Durch Verwenden der Absatzzeiten: 15 Sekunden und 30 cm Fallhöhe, 7 Minuten 30 Sekunden und 10 cm Fallhöhe, 8 Stunden und 10 cm Fallhöhe werden nach diesem Verfahren die Gruppen: Sand, Feinsand, Schluff und Ton getrennt.

Da keine Vorschriften betreffs einer Normaltemperatur gemacht sind und notwendigerweise infolge der starken Veränderung der inneren Reibung des Wassers die Resultate im Sommer und Winter, im Norden und in den Aequatorialländern verschieden ausfallen müssen, können die Ergebnisse dieser Methode kaum genau ausfallen.¹⁹⁾ Es dürfte jedenfalls empfehlenswert sein, die Absatz-

¹⁹⁾ Vgl. die ganz verschiedenen Ergebnisse D. J. Hissink's im Mai und im Juni bei denselben Böden und derselben Behandlung. Intern. Mitt. f. Bodenkunde 4, 14—15 (1914).

zeiten wenigstens bei den Schluff- und Tonfraktionen auf eine bestimmte Normaltemperatur zu korrigieren.

Die im folgenden erwähnten Schlämungen wurden bei 13° C ausgeführt. Eine größere Probe Eismeerton von Ljusterå wurde nach der Beam-Atterberg'schen Reibmethode behandelt und bei den Absatzzeiten 2 Minuten, 20 Minuten, 60 Minuten, 120 Minuten und mit 20 cm Flüssigkeitshöhe geschlämmt, wobei die drei Funktionen 2—20, 20—60, 60—12 gesammelt wurden. Die Schlämungen wurden dreimal wiederholt.

Die Fraktionen A, B und C wurden dann in meinem Apparat in bezug auf die Körnerverteilung untersucht. Die Beobachtungsdaten sind in den Tabellen 3 und 7 sowie in nachstehender Tabelle 19 zusammengestellt.

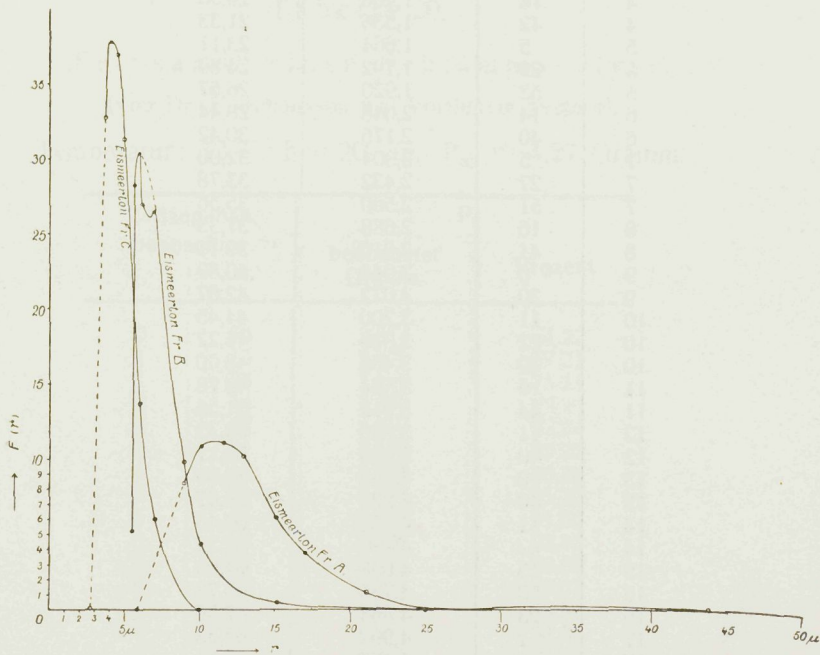


Fig. 14.

Graphisch sind die aus dem Beobachtungsmaterial umgerechneten Verteilungskurven in Fig. 14 wiedergegeben.

Tabelle 19.

Eismeerton, Fraktion C.

Temperatur: 13° h = 10 cm, $P_{\infty} = 7.20$ Gramm.

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 0 | 36 | 0,128 | 1,78 |
| 0 | 57 | 0,256 | 3,56 |
| 1 | 15 | 0,384 | 5,33 |
| 1 | 38 | 0,512 | 7,10 |
| 2 | 1 | 0,640 | 8,89 |
| 2 | 23 | 0,768 | 10,67 |
| 2 | 47 | 0,896 | 12,44 |
| 3 | 10 | 1,024 | 14,22 |
| 3 | 33 | 1,152 | 16,00 |
| 3 | 56 | 1,280 | 17,78 |
| 4 | 18 | 1,408 | 19,56 |
| 4 | 42 | 1,536 | 21,33 |
| 5 | 5 | 1,664 | 23,11 |
| 5 | 29 | 1,792 | 24,89 |
| 5 | 53 | 1,920 | 26,67 |
| 6 | 14 | 2,048 | 28,44 |
| 6 | 40 | 2,176 | 30,22 |
| 7 | 5 | 2,304 | 32,00 |
| 7 | 27 | 2,432 | 33,78 |
| 7 | 51 | 2,560 | 35,56 |
| 8 | 16 | 2,688 | 37,33 |
| 8 | 41 | 2,816 | 39,11 |
| 9 | 6 | 2,944 | 40,89 |
| 9 | 30 | 3,072 | 42,67 |
| 10 | 11 | 3,200 | 44,44 |
| 10 | 22 | 3,328 | 46,22 |
| 10 | 49 | 3,456 | 48,00 |
| 11 | 16 | 3,584 | 49,78 |
| 11 | 44 | 3,712 | 51,56 |
| 12 | 11 | 3,840 | 53,33 |
| 12 | 40 | 3,968 | 55,11 |
| 13 | 10 | 4,096 | 56,89 |
| 13 | 40 | 4,224 | 58,67 |
| 14 | 11 | 4,352 | 60,45 |
| 14 | 42 | 4,480 | 62,22 |
| 15 | 15 | 4,608 | 64,00 |
| 15 | 53 | 4,736 | 65,78 |
| 16 | 23 | 4,864 | 67,56 |
| 17 | 1 | 4,992 | 69,33 |
| 17 | 40 | 5,120 | 71,11 |
| 18 | 20 | 5,248 | 72,89 |
| 19 | 2 | 5,376 | 74,67 |
| 19 | 47 | 5,504 | 76,45 |
| 20 | 33 | 5,632 | 78,22 |
| 21 | 27 | 5,760 | 80,00 |
| 22 | 21 | 5,888 | 81,78 |
| 23 | 21 | 6,016 | 83,56 |

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 24 | 26 | 6,144 | 85,33 |
| 25 | 41 | 6,272 | 87,11 |
| 27 | 1 | 6,400 | 88,89 |
| 28 | 37 | 6,528 | 90,67 |
| 30 | 30 | 6,656 | 92,45 |
| 32 | 44 | 6,784 | 94,22 |
| 35 | 39 | 6,912 | 96,00 |
| 39 | 55 | 7,040 | 97,78 |
| 49 | 1 | 7,168 | 99,56 |
| ∞ | — | 7,20 | 100 |

Tabelle 20.

„Feinsand“ einer Schlämmanalyse

(von Dr. S. Johansson zur Verfügung gestellt).

Temperatur: $13,3^{\circ}$ h = 20 cm, $P_{\infty} = 4,27$ Gramm.

| Zeitangaben beobachtet | | P. | |
|---------------------------|----|---------------------|---------|
| ' | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| 0 | 55 | 2,614 | 61,22 |
| 1 | 15 | 2,870 | 67,21 |
| 1 | 36 | 3,126 | 73,21 |
| 2 | 14 | 3,382 | 79,20 |
| 2 | 42 | 3,510 | 82,20 |
| 3 | 21 | 3,638 | 85,20 |
| 4 | 13 | 3,766 | 88,20 |
| 5 | 32 | 3,894 | 91,20 |
| 5 | 45 | 3,914 | 91,66 |
| 6 | 10 | 3,934 | 92,13 |
| 6 | 30 | 3,954 | 92,60 |
| 6 | 50 | 3,974 | 93,07 |
| 7 | 17 | 3,994 | 93,54 |
| 7 | 46 | 4,014 | 94,01 |
| 8 | 14 | 4,034 | 94,48 |
| 8 | 50 | 4,054 | 94,94 |
| 9 | 27 | 4,074 | 95,41 |
| 10 | 14 | 4,094 | 95,88 |
| 10 | 50 | 4,114 | 96,35 |
| 14 | 25 | 4,154 | 97,28 |
| 16 | 56 | 4,174 | 97,75 |
| 30 | — | 4,220 | 98,83 |
| ∞ | — | 4,270 | 100,00 |

Tabelle 21.
 „Schluff“ einer Schlämmanalyse
 (von Dr. S. Johansson zur Verfügung gestellt).
 Temperatur: 13,4° h = 10 cm, P_∞ = 2,40 Gramm.

| Stunden | Zeitangaben | | P. | |
|---------|-------------|------|---------------------|---------|
| | beobachtet | „ | beobachtet Gramm | Prozent |
| 0 | 2 | 39 | 0,05 | 2,08 |
| | 3 | 27 | 0,10 | 4,17 |
| | 4 | 18 | 0,15 | 6,25 |
| | 5 | 11 | 0,20 | 8,34 |
| | 6 | 4 | 0,25 | 10,42 |
| | 7 | 2 | 0,30 | 12,50 |
| | 8 | 9 | 0,35 | 14,58 |
| | 9 | 0 | 0,40 | 16,66 |
| | 10 | 57 | 0,50 | 20,84 |
| | 12 | 5 | 0,55 | 22,92 |
| | 13 | 20 | 0,60 | 25,00 |
| | 14 | 38 | 0,65 | 27,08 |
| | 16 | 5 | 0,70 | 29,17 |
| | 17 | 40 | 0,75 | 31,26 |
| | 19 | 22 | 0,80 | 33,34 |
| | 21 | 12 | 0,85 | 35,42 |
| | 23 | 11 | 0,90 | 37,50 |
| | 24 | 4 | 0,92 | 38,34 |
| | 24 | 58 | 0,94 | 39,18 |
| | 25 | 52 | 0,96 | 40,00 |
| | 26 | 47 | 0,98 | 40,84 |
| | 27 | 53 | 1,00 | 41,68 |
| | 28 | 45 | 1,02 | 42,52 |
| | 29 | 42 | 1,04 | 43,35 |
| | 30 | 46 | 1,06 | 44,18 |
| | 31 | 50 | 1,08 | 45,00 |
| | 32 | 58 | 1,10 | 45,84 |
| | 34 | 5 | 1,12 | 46,68 |
| | 35 | 18 | 1,14 | 47,52 |
| 36 | 32 | 1,16 | 48,36 | |
| 39 | 15 | 1,20 | 50,00 | |
| 41 | 59 | 1,24 | 51,67 | |
| 43 | 25 | 1,26 | 52,50 | |
| 45 | 2 | 1,28 | 53,33 | |
| 46 | 35 | 1,30 | 54,17 | |
| 49 | 55 | 1,34 | 55,83 | |
| 51 | 45 | 1,36 | 56,68 | |
| 53 | 39 | 1,38 | 57,50 | |
| 55 | 36 | 1,40 | 58,33 | |
| 57 | 35 | 1,42 | 59,17 | |
| 59 | 41 | 1,44 | 60,00 | |
| 1 | 1 | 45 | 1,46 | 60,83 |
| | 3 | 55 | 1,48 | 61,67 |
| | 6 | 8 | 1,50 | 62,50 |
| | 8 | 34 | 1,52 | 63,30 |
| | 11 | 2 | 1,54 | 64,18 |
| | 13 | 46 | 1,56 | 65,00 |

(Fortsetzung von Tabelle 21.)

| Stunden | Zeitangaben | | P. | |
|---------|-------------|----|---------------------|---------|
| | beobachtet | " | beobachtet Gramm | Prozent |
| | 16 | 34 | 1,58 | 65,83 |
| | 19 | 23 | 1,60 | 66,67 |
| | 22 | 10 | 1,62 | 67,50 |
| | 25 | 15 | 1,64 | 68,33 |
| | 31 | 52 | 1,68 | 70,00 |
| | 35 | 23 | 1,70 | 70,83 |
| | 39 | 2 | 1,72 | 71,67 |
| | 47 | 40 | 1,76 | 73,33 |
| 2 | 16 | 37 | 1,88 | 78,33 |
| | 22 | 27 | 1,90 | 79,17 |
| | 28 | 25 | 1,92 | 80,00 |
| | 42 | 36 | 1,96 | 81,67 |
| 3 | 8 | 20 | 2,02 | 84,15 |
| | 28 | 2 | 2,06 | 85,33 |
| | 39 | 10 | 2,08 | 86,67 |
| 4 | 6 | 5 | 2,12 | 88,33 |
| | 36 | 0 | 2,16 | 90,00 |
| 5 | 20 | 57 | 2,20 | 91,67 |
| 6 | 21 | 35 | 2,24 | 93,33 |
| 9 | 20 | 30 | 2,30 | 95,83 |
| 10 | 54 | 0 | 2,32 | 96,67 |
| 13 | 49 | 27 | 2,33 | 97,09 |
| 25 | — | — | 2,37 | 98,75 |
| ∞ | — | — | 2,40 | 100,00 |

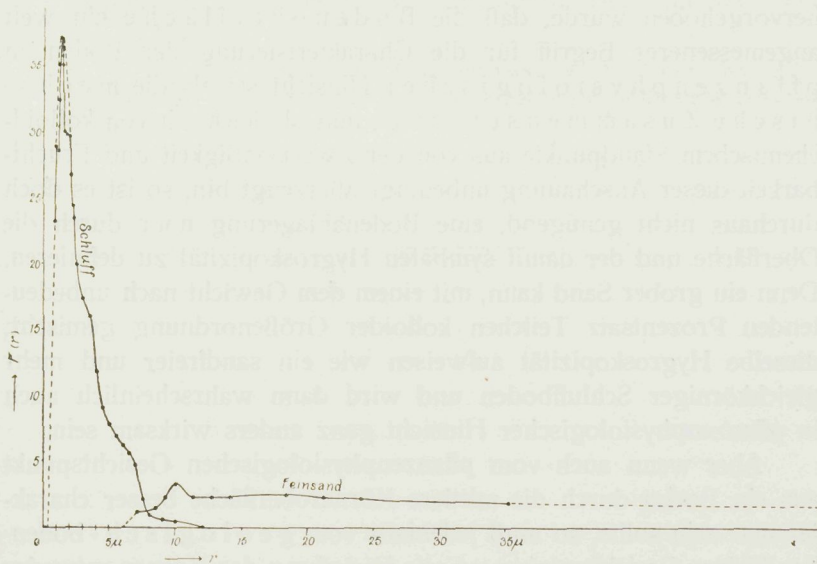


Fig. 15.

Ich habe ferner eine Feinsand- und eine Schlufffraktion, die bei der Analyse von Böden in der Kgl. Schwed. Geologischen Landesanstalt erhalten und mir von Dr. Simon Johansson zur Verfügung gestellt wurden, hinsichtlich ihrer Gleichmäßigkeit untersucht. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 20 und 21 sowie die berechneten Verteilungskurven in Fig. 15 zu finden.

* * *

Die in der vorliegenden Arbeit mitgeteilten Resultate meiner Versuche, experimentell eine genauere und bequemere Methode zur mechanischen Bodenanalyse zu gewinnen, dürfen nur als vorläufige betrachtet werden. Manche Punkte müssen noch genauer studiert und ausgearbeitet, die Apparatur in technischer Hinsicht verbessert, die mathematische Behandlung womöglich durch Aufstellung eines Tabellenwerkes vereinfacht, sowie die Verwendbarkeit anderer Flüssigkeiten von verschiedenem spez. Gew. geprüft und eine größere Zahl Bodenarten untersucht werden.

Ob ich Gelegenheit zu einer Arbeit von diesem Umfange finde, läßt sich zur Zeit nicht sagen. Jedenfalls hege ich die Ueberzeugung, daß der hier angedeutete Weg das Problem einer genaueren mechanischen Bodenanalyse bedeutend vereinfachen könnte. Obschon in letzter Zeit, besonders von E. A. Mitscherlich, hervorgehoben wurde, daß die Bodenoberfläche ein weit angemessenerer Begriff für die Charakterisierung der Böden in pflanzenphysiologischer Hinsicht sei als die mechanische Zusammensetzung, und obgleich ich von kolloidchemischem Standpunkte aus von der Zweckmäßigkeit und Fruchtbarkeit dieser Anschauung unbedingt überzeugt bin, so ist es doch durchaus nicht genügend, eine Bodenablagerung nur durch die Oberfläche und der damit symbaten Hygroskopizität zu definieren. Denn ein grober Sand kann, mit einem dem Gewicht nach unbedeutenden Prozentsatz Teilchen kolloider Größenordnung gemischt, dieselbe Hygroskopizität aufweisen wie ein sandfreier und mehr gleichkörniger Schluffboden und wird dann wahrscheinlich auch in pflanzenphysiologischer Hinsicht ganz anders wirksam sein.

Aber wenn auch vom pflanzenphysiologischen Gesichtspunkt aus ein Boden durch die mittlere Körneroberfläche besser charakterisiert sein sollte, so muß jedenfalls vom geologisch-bodenkundlichen Gesichtspunkte aus die Verteilung der Körner entweder

nach Gewicht oder Zahl als die grundlegende betrachtet werden, weshalb die Rolle der mechanischen Bodenanalyse auf diesem Gebiete wohl noch nicht ausgespielt ist.²⁰⁾

Bei der Ausführung vorliegender Arbeit bin ich von mehreren Seiten unterstützt worden.

Der Direktor des hiesigen Chemischen Instituts, Herr Professor Dr. O. W i d m a n , hat mir in bereitwilligster Weise Mittel des Instituts für den Bau des Apparates zur Verfügung gestellt. Die Herren Professor Dr. A. G. H ö g b o m , Direktor des Geologischen Instituts, Dr. A. A t t e r b e r g , Kalmar, und Dr. S. J o h a n s s o n , Geologische Landesanstalt, Stockholm, haben mir freundlichst Bodenproben zur Verfügung gestellt.

Insbesondere verdanke ich Herrn Prof. Dr. T h e S v e d b e r g bei der Projektierung und Ausführung der Arbeiten in verschiedener Hinsicht wertvolle Ratschläge. Die Herren Privatdozent Dr. N i l s Z e i l o n sowie Lic. phil. L a r s A k s e l s o n und Mag. phil. H i l d i n g F a x é n haben mir die mathematische Behandlung durch wertvolle Vorschläge und Anweisungen erleichtert, und letzterer ist mir auch bei den Rechnungen behilflich gewesen.

Ihnen allen möchte ich für ihre Unterstützung meinen ergebensten Dank aussprechen.

Uppsala, Chemisches Universitätslaboratorium, im März 1915.

²⁰⁾ Vgl. die vorzügliche Zusammenfassung A. A t t e r b e r g s : Die mechanische Bodenanalyse. II. Internationale Agrogeologenkonferenz (Stockholm 1910), S. 5—10.

Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in Klimatischer und geologischer Hinsicht.

Von Richard Lang - Tübingen.

„Das Verhältnis zwischen Niederschlägen und Verdunstung, Temperatur und Einfluß der Vegetation werden die großen Grundlagen der Bodeneinteilung bleiben. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Böden sowie ihre Geologie werden die Unterabteilungen bedingen.“

R a m a n n.

Einleitung.

Es ist eine für den Bodenkundler schon lange feststehende Tatsache, daß die Eigenschaften eines Bodens durch die Beschaffenheit seines Substrats, des Gesteins, mehr oder weniger stark beeinflußt werden. Ein an löslichen mineralischen Nährstoffen reiches Gestein oder ein solches, das wenigstens bei seiner Verwitterung in Wasser lösliche Verwitterungsprodukte liefert, wird in Gebieten, in denen die Befeuchtung die Verdunstung übertrifft, einen für das Gedeihen von Kulturpflanzen geeigneteren, einen „besseren“ Boden ergeben, als ein an löslichen Mineralsalzen von vornherein armes Gestein. Ein grobkörnig-sandiges Gestein wird einen wasserdurchlässigen und daher für andere Pflanzen geeigneten Boden bilden, als ein Ton- oder Mergelgestein mit seinem aus feinsten Teilchen zusammengesetzten Aufbau, aus dem mehr oder weniger das Wasser haltende Böden hervorzugehen pflegen. So spricht man von Kalkböden, von Ton- und Mergel-, von Sandböden usw. und deutet damit schon durch die Bezeichnung den Ursprung dieser Böden von einem Kalkstein, einem Ton- oder Mergelgestein, einem Sandstein usw. an.

Erst in jüngerer Zeit hat es sich in einer mit fortschreitender Erkenntnis immer schärfer hervortretenden Klarheit gezeigt, daß in noch höherem Grade als die Gesteinsunterlage das Klima die

Bodenbildung beeinflußt, daß die Gesteine unter bestimmten klimatischen Bedingungen auch in ganz bestimmter Richtung zur Verwitterung gelangen, so daß als Endresultat derselben für gewisse klimatische Verhältnisse ganz bestimmte Böden sich ergeben. So wurde gezeigt, daß zwischen den Böden arider Gebiete, in denen die Verdunstung die Höhe der Niederschläge übertrifft, und denen humider Gebiete, in welchen die Verdunstung geringer ist als die niedergehenden Regenmengen, ein außerordentlich scharfer Gegensatz besteht, insofern als in den ersteren eine verminderte Abfuhr, ein sich Gleichbleiben oder gar eine Anhäufung, in den letzteren eine allmähliche Wegführung aller löslichen Mineralbestandteile und selbst eine Wegschwemmung unlöslicher, leicht schwebender Teilchen der Böden sich vollzieht. Innerhalb der Böden der humiden Klimate ließ sich eine weitere Gruppierung vornehmen besonders nach der Art und den Mengen des den Böden beigemengten Humus sowie, in den wärmeren Gebieten, nach der Farbe der im Boden enthaltenen Eisenverbindungen und nach der Anwesenheit oder dem Fehlen von Kieselsäure. Es wurde erkannt, daß z. B. in Europa von den Rohhumusböden (Bleicherde-, Podsolböden) eine kontinuierliche Reihe über die Schwarzerden (Tschernosiom), Braunerden, Gelberden zu den Roterden führt und in dem Laterit der Tropen endigt. Und zwar finden wir die Rohhumusböden vorwiegend z. B. in Skandinavien, im nördlichen Rußland und im nördlichen Deutschland, also in Gebieten kühlen Klimas, während die Schwarzerdeböden und weiterhin die Braunerdeböden nach Süden sich anschließen und die hauptsächlichsten Bodentypen Mitteleuropas bilden. Erst in Südfrankreich, in Spanien, Italien usw. finden die Gelberden und Roterden Verbreitung, und zwar erstere in den kühleren und feuchteren, letztere in den trockeneren und wärmeren Lagen. Der Laterit endlich ist auf die Tropen beschränkt. Die eben genannte Reihe von Bodentypen, deren Entwicklung aufs engste mit dem Klima zusammenhängt, möchte ich als klimatische Bodenreihe bezeichnen.

Von klimatischen Bodeneinteilungen ist diejenige von R a m a n n in Deutschland die bekannteste geworden, die mit aller Klarheit und wissenschaftlichen Sorgfalt, insbesondere unter Berücksichtigung gerade der Einwirkung verschiedener Temperaturen in den verschiedenen Klimaten, durchgeführt ist.¹⁾ Nur

¹⁾ R a m a n n, Bodenkunde, III. Aufl., 1911, S. 530—534 und S. 581—601.

die Schwarzerden hat Ramann nicht zwischen die Rohhumus- und Braunerdeböden eingefügt, sondern, offenbar weil sie in Rußland, wo sie am besten studiert sind, Steppenböden bilden und im übrigen ungenügende Angaben in der Literatur vorlagen, als Böden des ariden Klimas angesehen. Deshalb ist auch seine Karte der klimatischen Bodenzonen in Europa in dieser Beziehung unrichtig.²⁾ Eine Systematik der Böden auf Grund der Befeuchtungsverhältnisse derselben hat G l i n k a aufgestellt.³⁾ So gut diese Systematik für die Bildung der Böden speziell in Rußland paßt, so wenig stimmt sie in vielen Fällen auf Böden, die unter anderem Klima und unter anderen Breiten entstanden sind.

Die bisherigen Bodenklassifikationen weisen den Mangel auf, daß die Tropenböden keine genügende Würdigung finden konnten. Wohl ist die Verwitterung in der Wüste, unter aridem Tropenklima, in geologischer Beziehung durch eine Reihe namhafter Forscher und besonders durch W a l t h e r's⁴⁾ Untersuchungen und zusammenfassende Arbeiten, in bodenkundlicher Hinsicht vor allem durch H i l g a r d⁵⁾ dem Verständnis der Allgemeinheit nähergebracht worden. Aber allzu wenig war bisher über die Entstehungsweise der in humiden Gebieten der Tropen, besonders in den tropischen Regenwäldern, gebildeten Böden in die wissenschaftliche Öffentlichkeit gedrungen, und vieles, was z. B. durch das ausgezeichnete Werk W o h l t m a n n's⁶⁾ darüber bekannt geworden war, scheint vergessen worden oder unverstanden geblieben zu sein. So schrieb R a m a n n noch 1911 über die Tropenböden: „Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß sie überhaupt viel mehr gegliedert sind, als jetzt angenommen wird. Die großen Urwälder, dann die tropischen Savannen und Steppen sind nach ihren Bodenarten kaum bekannt; es fehlen auch Angaben über die Böden der sommerdürren Gebiete.“⁷⁾ Im wesentlichen nahm man an, daß in den humiden Gebieten der Tropen allgemein der L a t e r i t herrsche. Ramann nennt ihn „die typische Bodenart der

²⁾ A. a. O. S. 561.

³⁾ In deutscher Sprache ausführlich dargestellt in G l i n k a, Die Typen der Bodenbildung, 1914, S. 33—46.

⁴⁾ W a l t h e r, Das Gesetz der Wüstenbildung, 2. Aufl., 1912.

⁵⁾ H i l g a r d, Soils, 1906.

⁶⁾ W o h l t m a n n, Handbuch der tropischen Agrikultur, Bd. 1, 1892.

⁷⁾ R a m a n n, a. a. O. S. 530.

Tropen“. Diese Auffassung setzt voraus, daß die hohen Temperaturen in den feuchten Tropen alle etwa vorhandenen Humusbestandteile trotz der dort herrschenden Feuchtigkeit in kürzester Zeit zur Zerstörung bringen und daß somit ein humusfreier Boden resultiert, eine Annahme, die heute weit verbreitet ist. Allein Ramann unter den Bodenkundlern dürfte es sein, der Bedenken trug, ganz allgemein den Laterit „als den Boden der tropischen Urwälder, wie sie in Südamerika oder Zentralafrika vorkommen, anzusehen. Diese jedenfalls echte klimatische Bodenprovinzen bildenden Waldungen zeichnen sich durch Vorkommen reichlich kolloide Humusteile enthaltender Gewässer aus.“⁸⁾

Die Auffassung, der Ramann in diesen Worten Raum gibt, konnte ich auf meinen Reisen in Java, Sumatra und Malakka durch eigene Beobachtungen voll bestätigen. Auch die eben genannten Gebiete gehören zu den feuchten Tropen. Nur wenige Teile derselben haben Regenhöhen unter 2000 mm. Weithin aber erstrecken sich Gebiete mit 3000 und mehr mm jährlicher Niederschlagsmengen. An einem Punkte von Java wurden sogar 7100 mm durchschnittliche Feuchtigkeit gemessen. Dabei liegen diese Länder zu beiden Seiten des Aequators und haben im Tiefland Durchschnittstemperaturen von 26—27° C, die zu den höchsten gehören, die auf der Erde bekannt sind. Für diese regenfeuchten Tropengebiete, die sich vom 100. bis 113. Grad östlicher Länge von Greenwich und vom 5. Grad nördlicher bis zum 8. Grad südlicher Breite erstrecken, konnte ich nachweisen, daß den von mir besuchten Gegenden jegliche rezente Lateritbildung fehlt und daß vielmehr in diesen regenfeuchten Tropengebieten ausschließlich Braunerden und Humuserden, ja selbst Rohhumusablagerungen den Untergrund bedecken. Es ist somit dort und jedenfalls noch in viel weiterer Ausdehnung, als von mir nachgewiesen werden konnte, ein gewaltiges tropisches Braunerde- und Humusgebiet auszuschneiden.

Diese Tatsache ist dadurch zu erklären, daß in diesen Gebieten trotz der hohen Temperaturen eine vollständige Verwesung der Humusbestandteile, die dem Boden beim Absterben von Pflanzenteilen zugeführt werden, nicht stattfinden kann, weil hier ganz außerordentlich hohe Regenmengen — meist über

⁸⁾ Ramann, a. a. O. S. 531.

2000 Millimeter im Jahresmittel — den Boden immer von neuem befeuchten. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß auch die Menge der erzeugten Humusbestandteile in diesen feuchten Tropenländern eine ungeheure ist, da durch den reichlichen Regenfall üppigstes Pflanzenwachstum und dem entsprechend eine gewaltige Produktion an pflanzlichen Stoffen herrscht. Und zwar läßt sich aus dem Pflanzenwachstum direkt auf die Größe der Humusproduktion schließen, da — soweit nicht etwa künstlich Pflanzenprodukte dem Boden entzogen werden — dem Pflanzenwachstum genau eine gleich große Produktion an absterbenden Teilen entsprechen muß. Im einzelnen habe ich die Gründe für das Vorkommen von humushaltigen Böden schon an anderer Stelle besprochen.⁹⁾ Dort habe ich auch ausführlich darauf hingewiesen, daß schon mancher vorurteilsfreie Geograph und Geolog in seinen Berichten über Reisen in regenfeuchten Tropengegenden das Auftreten humushaltiger Böden in diesen Gebieten festgestellt hat. So sei hier Hans Meyer¹⁰⁾ genannt, der angab, daß der Laterit auf die unbewaldeten Partien Ostafrikas beschränkt sei. Sapper¹¹⁾ fand bei seinen Reisen in Mittelamerika sowohl als auch auf Neu-Mecklenburg und auf anderen der deutschen Südseeinseln große humushaltige Böden umfassende Komplexe. Potonié¹²⁾ wies in seinen jüngsten Schriften auf ein Sumpfflachmoor in Sumatra als Beispiel für die Möglichkeit der Humusbildung in den Tropen hin. Mohr¹³⁾ nennt von Java humusreiche Böden. Endlich sei auf die schon zitierten Bemerkungen R a m a n n 's über das Vor-

⁹⁾ Lang, Geologisch-mineralogische Beobachtungen in Indien. Nr. 2. Rezente Braunerde- und Humusbildung auf Java und der Malayischen Halbinsel. Zentralbl. f. Min., 1914, S. 513—518 und 545—551. — Rohhumus- und Bleicherdebildung im Schwarzwald und in den Tropen. Jahresh. d. Vereins f. vaterl. Naturkunde in Württemberg, 1915, S. 115—123. — Die klimatischen Bildungsbedingungen des Laterits. „Chemie der Erde“, 1. Bd., 1915, S. 134—154.

¹⁰⁾ Meyer, Ostafrikanische Gletscherfahrten, 1890, S. 286.

¹¹⁾ Sapper, Ueber Gebirgsbau und Boden des nördl. Mittelamerika. Petermanns Mitteilungen. Ergänzungsheft 127, 1899, Seite 94, und Beiträge zur Landeskunde von Neu-Mecklenburg und seinen Nachbarinseln. Mitt. a. d. deutschen Schutzgebieten. Ergänzungsheft Nr. 3, 1910, S. 69.

¹²⁾ Insbesondere Potonié, Die Tropen-Sumpfflachmoor-Natur der Moore des produktiven Carbons. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanstalt, 1909, S. 389—443.

¹³⁾ Mohr, Over den Grond van Java. Batavia, 1912.

kommen von Humusböden in Südamerika und Zentralafrika nochmals verwiesen.

Aus alledem geht hervor, daß es sich bei der Bildung von Braunerden und Humuserden in den Tropen nicht etwa um zufällige oder Ausnahmeerscheinungen handelt, daß sie vielmehr typische Bildungen ganz bestimmter Tropengebiete und zwar der feuchten Zonen derselben sind.

Aus diesem Grunde dürfen sie bei der Aufstellung einer Systematik der Böden nach ihren klimatischen Beziehungen nicht übergangen werden, sie müssen vielmehr in derselben eine Stelle finden. Deshalb muß auch der Satz, daß in den Tropen wegen der dort herrschenden hohen Temperaturen eine Ansammlung von Humus unmöglich sei, gestrichen werden. Vielmehr ergibt sich aus dem Angeführten, daß in letzter Linie nicht die Temperatur, sondern die Feuchtigkeit für die Entwicklung einer Bodenart den Ausschlag gibt.

Die Braunerden und Humuserden der feuchten Tropen weisen in ihren Eigenschaften, soweit ich es selbst beobachten konnte und soweit genaue Angaben von anderer Seite vorliegen, keine wesentlichen Unterschiede gegenüber den Braunerden und Humuserden der gemäßigten Klimate auf. Insbesondere konnte an der Hand chemischer Analysen von einer Reihe von Autoren für Gebiete der regenfeuchten Tropen nachgewiesen werden, daß in ihnen keine lateritische, sondern tonige Verwitterung herrscht, d. h. daß Eisenaluminiumkieselsäurekomplexe in den Böden dieser Länder vorkommen, daß also die Verwitterung dort dieselben Wege einschlägt, die uns von den heimischen Gebieten her schon längst bekannt sind.¹⁴⁾

Es bestehen somit in bodenkundlicher Beziehung zwischen den Gebieten des tropischen Regenwaldes und denen Mitteleuropas keine prinzipiellen Gegensätze. Wegen der Temperaturdifferenzen und der dadurch bedingten Verschiedenheit der Floren und der Intensität des Pflanzenwachstums und des Ausmaßes der Verwitterung sind naturgemäß für gleichartige Böden, die unter verschiedenen Breitengraden entstanden sind, gewisse Unterschiede gegeben;

¹⁴⁾ Zusammenstellung darüber siehe bei Meigen, Laterit, Geol. Rundschau, 1911, S. 197—207.

aber diese sind nur graduell und somit unwesentlich für die Betrachtung der Wesenseigenschaften der Böden selbst.

Diese Beobachtungen und Ueberlegungen lassen uns ein völlig neues Bild der Verteilung der Böden über die Erde gewinnen. Man muß nunmehr annehmen, daß unter bestimmten klimatischen Bedingungen in allen Breiten der Erde, unter kaltem, wie unter gemäßigttem oder heißem Klima, gleichartige Bodentypen sich entwickeln können.

Es ist heute zweifellos, daß es im wesentlichen in bezug auf ihr Zusammenwirken ähnliche klimatische Bedingungen („ähnlich“ bzw. „proportional“ im mathematischen Sinne) sein müssen, welche die obengenannten Bodentypen das eine Mal in den Tropen, das andere Mal unter gemäßigttem oder kaltem Klima entstehen lassen. Es fragt sich nun, welche klimatischen Faktoren in ihrem Zusammenwirken diese Gleichsinnigkeit der Verwitterung und Bodenbildung unter verschiedenen Breiten herbeizuführen vermögen. Denn auf den ersten Blick scheint keinerlei scharfe Gesetzmäßigkeit zu bestehen, da oft verschiedenartige Bodentypen, scheinbar ohne äußeren Wechsel der Verhältnisse, an einander grenzen.

Der Lösung der Frage kommt man erst näher, wenn man die Bodenbildung unter Bedingungen betrachtet, bei denen die in Betracht kommenden Faktoren bis auf einen oder einige wenige konstant sind, und dann beobachtet, in welcher Weise bei Aenderung nur eines oder weniger bodenbildender Faktoren die Bodentypen wechseln.

Als wichtigste Faktoren bei der Bodenbildung betrachte ich: die Temperatur, die Feuchtigkeit und die Menge der in dem Boden vorhandenen oder ihm in jedem Augenblick zuführbaren löslichen Mineralsalze. Diese Mineralstoffe kommen insbesondere bei Böden mit Humusgehalt in Betracht, wie im folgenden gezeigt werden wird. Als weitere den Bodentypus beeinflussende Faktoren sind zu nennen: die örtliche Lage (Exposition), der Wind, die relative Luftfeuchtigkeit bzw. die Verdunstung, die jähr-

liche Verteilung der Niederschläge, die Bewachung.

Es seien nun im folgenden zuerst der Einfluß der hauptsächlich klimatischen Faktoren der Bodenbildung: Temperatur und Feuchtigkeit, anschließend die Einwirkung des Gesteins und diejenige der übrigen bodenbildenden Faktoren besprochen und endlich die Aenderungen angeführt, die bei der Entwicklung der Böden unter besonderen klimatischen Verhältnissen auftreten können.

Entwicklung der Bodentypen.

1. Einfluß der Temperatur.

Nimmt man von den für die Bildung der klimatischen Bodentypen in Betracht kommenden Faktoren alle mit Ausnahme der Temperatur als konstant an, läßt also nur sie allein wechseln, so werden, eine mittlere Feuchtigkeit von bestimmter Größe vorausgesetzt, bei sehr kühlen Durchschnittstemperaturen nur so geringe Mengen von Mineralstoffen in Lösung gehen, daß sie nicht ausreichen, um den auf und in den Böden gebildeten Humus adsorptiv zu sättigen. Es werden daher Rohhumusböden resultieren, wie wir solche aus Nordeuropa kennen.

Unter einem etwas wärmeren Klima wird, unter sonst völlig den vorherigen gleichenden Verhältnissen, ein Punkt erreicht werden, an dem die lösende Wirkung des Wassers in einem Maße zugenommen hat, daß die Mengen der in Lösung gegangenen Mineralstoffe genügen, um den auf dem betreffenden Boden gebildeten Humus adsorptiv zu sättigen, zumal infolge der höheren Temperaturen auch die dem Boden zugeführten Regenmengen rascher verdampfen und deshalb eine bessere Durchlüftung des Bodens stattfindet. Es resultiert dann Schwarzerde.

Nehmen die Temperaturen weiter zu, so wird nicht nur die in dem Boden vorhandene Feuchtigkeit genügende Mineralstoffe zur Verfügung haben, um den Humus der Böden adsorptiv gesättigt zu erhalten, es wird auch die Verwesung des Humus immer rascher sich vollziehen, da die Wirksamkeit der humuszerstörenden Bakterien mit der Temperatur zunimmt, so daß der Boden nicht

mehr vorherrschend schwarze Farbe zeigt, sondern daß die aus anorganischem Material bestehende Bodenkomponente mehr und mehr auch in der Färbung des Bodens hervortritt und ihm eine braune Farbe verleiht. Es bildet sich Braunerde.

Bei weiter zunehmenden Temperaturen wird, unter sonst wie bisher völlig gleichbleibenden Verhältnissen, ein Punkt erreicht werden, an dem aller Humus, der dem Boden einverleibt ist, zerstört wird, so daß dem Boden kein dauernder Humusanteil verbleibt und der anorganische, durch Gesteinsverwitterung entstandene Bodenbestandteil herrschend wird. Es ergibt sich dann ein an Humusbeimengungen armer bis freier Boden: der Gelberdeboden, wie wir ihn in den Mittelmeerländern finden.

Nehmen die Temperaturen noch weiter zu, so daß sie den in Südfrankreich und Nordspanien herrschenden entsprechen, so verändert sich die Farbe des Bodens von Gelb zu Rot. Es entsteht Roterde, ein Boden der Subtropen. Diese Farbänderung hängt offenbar mit einer bei derartigen Temperaturen in humusfreien Böden vorsichgehenden Dehydratisierung zusammen, bei der das Brauneisen in (chemisch undefiniertes, auch als Turjit bezeichnetes) Roteisen übergeht.

In den Tropen endlich, unter noch höheren Wärmegraden, mag unter sonst gleichen Verhältnissen der Laterit sich bilden, bei dessen Entstehung der Kieselsäuregehalt des Bodens völlig ausgelaugt wird, wodurch er sich wesentlich von den Roterden und den übrigen Erden unterscheidet, die sämtlich Kieselsäure enthalten.

Es bilden sich also unter der Voraussetzung, daß allein die Temperaturen steigen, während alle übrigen Bodenbildungsfaktoren gleichbleiben, nacheinander Rohhumusböden, Schwarzerden, Braunerden, Gelberden, Roterden, Laterit.

Der eben skizzierte Gedankengang ist im wesentlichen derjenige, den Ramann (ausgenommen, wie schon erwähnt, in bezug auf die Schwarzerden) in seinem Lehrbuch verfolgt.¹⁵⁾ Tatsächlich haben die Gebiete, für die Ramann diese klimatische Bodenreihe nachweist, nämlich die Gebiete Westeuropas, ziemlich gleichartige Feuchtigkeitsverhältnisse, da in ihnen

¹⁵⁾ Ramann, a. a. O. S. 530—534 und S. 581—601.

im großen ganzen die mittleren jährlichen Niederschläge nicht wesentlich über die Grenzen 400—800 mm hinausgehen. An anderer Stelle habe auch ich diese Auffassung ausführlich behandelt und eingehend begründet.¹⁶⁾

2. Einfluß der Feuchtigkeit.

Dieselbe Reihenfolge von Böden ergibt sich, wenn man die Temperatur und die übrigen Faktoren konstant hält und nur die Feuchtigkeit wechseln läßt. Mindestens für die humushaltigen Böden wird man dann ziemlich entsprechend dem Maß der Feuchtigkeit ein bestimmtes Maß bzw. eine bestimmte Art von Humusbeimengung in den Böden finden. Denn man weiß, daß, je größer die Feuchtigkeit ist, desto langsamer die Zersetzung des Humus erfolgt und umgekehrt. Man wird also erwarten dürfen, daß, unter Voraussetzung einer bestimmten mittleren Temperatur, von sehr feuchtem zu wenig feuchtem Klima nach einander sich entwickeln: Rohhumusböden, Schwarzerden, Braunerden, Gelberden, also genau die oben schon genannte klimatische Bodenreihe. Diese Auffassung vertritt im wesentlichen Glinka in seiner Bodenklassifikation.

Es ergibt sich somit, daß eine Temperatursteigerung in gleicher Weise auf die Bodenentwicklung einwirkt wie eine Feuchtigkeitsabnahme und umgekehrt und daß die Veränderung eines Faktors allein unter sonst gleichbleibenden Bedingungen notwendigerweise einen Wechsel im Bodentypus herbeiführen muß. Auch diese Verhältnisse habe ich schon an anderer Stelle eingehend behandelt.¹⁶⁾

3. Einfluß von Temperatur und Feuchtigkeit unter optimalen Bodenbildungsbedingungen.

a) Allgemeines.

Es ist leicht ersichtlich, daß die genannten klimatischen Einflüsse, die die Veränderung eines Bodentypus herbeiführen, bei sonst gleichbleibenden Bedingungen in ihrer Wirkung aufgehoben werden können, wenn Temperatur und Feuchtigkeit zugleich zunehmen, sich also gleichzeitig im gleichen Sinne verschieben.

¹⁶⁾ Lang, Die klimatischen Bildungsbedingungen usw., a. a. O., S. 134 bis 154. — Ueber die Bildung von Bodentypen. Geol. Rundschau, 1915.

Würde die Temperatur allein zunehmen, so würde ein vorher humushaltiger Boden humusärmer werden. Durch gleichzeitige Zunahme der Feuchtigkeit aber kann die Humuszerstörung in einem Maße gehindert werden, daß die durch die höhere Temperatur an sich beschleunigte Humuszerstörung aufgehoben wird, so daß tatsächlich dem Boden dieselben Humusmengen erhalten bleiben, die er vorher hatte. Man wird somit sagen können, daß, wenn ein Boden von bestimmten Eigenschaften unter niederer Durchschnittstemperatur und niederen jährlichen Regenmengen gebildet wird, dieser selbe Boden bei höheren Jahrestemperaturen existenzfähig bleiben wird, wenn auch der durchschnittliche Regenfall in einem ganz bestimmten Maß zugenommen hat.

Es werden somit Grenzlinien für die einzelnen Bodenarten gezogen werden können, indem für sie unter Annahme bestimmter Temperaturen bestimmte Grenzwerte der Feuchtigkeit nach oben und unten gefunden werden.

Um einen bestimmten Ausdruck für die bei bestimmter Bodenbildung vorhandenen klimatischen Einflüsse zu gewinnen, ist es notwendig, exakte Zahlenwerte an Stelle der bisher meist nur ganz allgemein gehaltenen Angaben: warm, feucht usw. zu setzen. Es sollen hierzu an dieser Stelle die jährlichen Durchschnittsregenmengen einerseits und die jährlichen Temperaturmittel andererseits benutzt werden, die als hauptsächliche, die Bodenbildung beeinflussende Faktoren zusammen ein ziemlich klares Bild vom Klima eines Ortes geben. Wenn diese Zahlen auch den Gang von Temperatur und Feuchtigkeit im Laufe des Jahres nicht erkennen lassen, so geben sie doch in den seltensten Fällen ein nicht ganz einwandfreies Bild von der allgemeinen Richtung, in der sich die Bodenbildung unter diesen Verhältnissen vollzieht. Ueber diese letzteren ausnahmsweisen Fälle soll weiter unten noch nachgetragen werden.

Für die Beurteilung der Frage, in welcher Weise tatsächlich die Bodenbildung in der Natur vorsichgeht, ist es, wie schon oben gesagt wurde, wichtig, abgesehen von Temperatur und Feuchtigkeit für alle Faktoren, die auf die Entwicklungsrichtung der Böden einzuwirken vermögen, konstante Verhältnisse voraussetzen zu können. Um dies zu können, suchte ich jeweils die für einen bestimmten Bodentypus günstigsten („optima-

len“) natürlichen Bildungsverhältnisse zu verwenden, d. h. ich suchte zu ermitteln, unter welchem günstigsten Einfluß der Exposition, der Verdunstung, der Beschaffenheit des darunterliegenden Gesteins, der Durchlässigkeitsverhältnisse, der Mineralstoffzufuhr usw. gerade noch eine Bodenart und noch nicht die nächst minderwertige sich bildet. Höherwertig in diesem Sinne nenne ich z. B. Braunerde gegenüber Schwarzerde, also in der Reihenfolge der klimatischen Bodenreihe, in der unter den Böden des humiden Klimas, die hier bisher allein berücksichtigt wurden, der Laterit den höchstwertigen, der Rohhumus den mindestwertigen Boden darstellt. Entsprechend bezeichne ich als obere Grenze z. B. der Schwarzerden diejenige gegen die Braunerden usw.

b) Klimagrenzen der Bodentypen
unter optimalen Bildungsbedingungen.

Bei der Betrachtung der einzelnen Bodenarten sei ausgegangen von den geringwertigen zu den höherwertigen Böden.

Der unter den relativ ungünstigsten Verhältnissen bei relativ niedersten Temperaturen und relativ höchster Feuchtigkeit sich bildende Boden ist unstreitig der Rohhumus- und Bleicherdeboden, nach einem russischen Ausdruck auch Podsolboden genannt. Andere Böden, die unter noch höherer Feuchtigkeit oder noch niedrigeren Temperaturen sich bilden, sind nicht bekannt. Ueberblickt man die wertvolle, dem Werke Glinka's über die Typen der Bodenbildung beigegebene schematische Bodenkarte Rußlands, so ersieht man, daß der ganze Norden des europäischen wie des asiatischen Rußlands von Rohhumusböden, den waldbedeckten Podsol- und den walddlosen nordischen Tundrenböden, eingenommen wird. Deutlich läßt sich auch erkennen, daß da, wo das Gebirge höher aufsteigt und infolgedessen mindestens die Temperatur sinkt und wahrscheinlich auch die Befeuchtung des Gebietes ansteigt, wie z. B. im südlichen Ural, Podsolboden noch weit zwischen der Schwarzerdezone als schmaler Streifen nach Süden reicht.

Wichtig für unsern Zweck ist die Grenze zwischen Schwarzerde und Rohhumusboden, und zwar ist nach solchen Punkten zu suchen, an denen die Schwarzerde relativ weit nach Norden oder, besser gesagt, in Gebiete mit niedrigen

Durchschnittstemperaturen hinaufreicht, wo unter den klimatisch ungünstigsten, aber unter den bodenkundlich günstigsten Verhältnissen gerade noch der höherwertige Boden sich zu bilden vermag.

Es sei hier die Grenze zwischen Schwarzerde- und Podsolgebiet genannt, die in Rußland, wie aus der Glinka'schen Karte zu entnehmen ist, bei Kasan durchläuft, wo bei 3° C Jahresmittel ca. 400 mm (Hann 3,0° und 392 mm) jährliche Niederschläge fallen.¹⁷⁾ Nach den Uebersichtskarten gehen die Niederschläge bis auf 500 mm hinauf.

Aehnlich zeigt sich z. B. auf der Schwäbischen Alb die Höhengrenze der Schwarzerden gegen Rohhumus. Dort ist bei Schopfloch auf ca. 750 m Meereshöhe bei 6,7° C Durchschnittstemperatur und 1040 mm Regenhöhe ein Hochmoor, das an die Schwarzerde (Rendzina) des dortigen Kalklandes grenzt. Es ist dort also die Grenze zwischen den beiden Bodenarten so ziemlich erreicht.

In den Tropen habe ich, um ein gewaltiges zwischenliegendes Gebiet zu überspringen, Rohhumus unter sonst für die Bildung auch höherwertiger Böden günstigen Verhältnissen nur zweimal mit aller Sicherheit beobachtet. Denn es haben hier alle die zahlreichen Funde von Rohhumusgebieten, Schwarzwässern usw. im Flachland von Sumatra und Malakka auszuschneiden. Diese Rohhumusböden sind auf das Fehlen genügender Mengen von löslichen Mineralstoffen, also auf geologisch ungünstige Voraussetzungen der Bodenbildung in diesen Gebieten zurückzuführen. Ueberall dort im Flachland bilden sich, wenn eine adsorptive Sättigung des Humus durch reichliche Zufuhr gelöster Salze erfolgt, nur Braunerden oder Schwarzerden, aber kein Rohhumus. Nur im Gebirge ließ sich inmitten mineralkräftiger Gesteinsablagerungen an zwei Stellen echter Rohhumus feststellen.¹⁸⁾

Das erste Mal sah ich ihn vorzüglich aufgeschlossen in Sumatra an der kunstvoll durch das Barissangebirge in Benkoe-

¹⁷⁾ Die Temperatur- und Feuchtigkeitszahlen sind speziellen Angaben oder den Kartenwerken von Berghaus und Andrée, oder Hann, Handbuch der Klimatologie, 3. Aufl., 1908—1910, und Hellmann, Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten, 3 Bde., 1906, entnommen.

¹⁸⁾ Lang, Geol.-min. Beob., Nr. 2, a. a. O. S. 518 u. 548, und Rohhumus- und Bleicherdebildung usw., a. a. O. S. 115—123.

len gebauten und von Tjoeroeb nach Moeara Aman und dem berühmten Goldbergwerk Redjang Lebong führenden Straße als eine ca. zwei Meter mächtige, über jungvulkanischem Gestein lagernde Rohhumusbodenschicht. Schon aus dem Umstande, daß sich in geringer Entfernung heute noch tätige Vulkane befinden, die dem Boden durch Aschenauswurf neue Nährstoffe in historischer Zeit zuführen konnten, ergibt sich, daß hier primär kein Mangel an Mineralstoffen vorhanden sein kann. Wohl aber kann er indirekt doch vorhanden sein infolge der gewaltigen Regenmengen, die hier niedergehen und die eine außerordentliche Verdünnung der gelösten Stoffe herbeiführen. Wenn man berücksichtigt, daß in den tiefer am selben Gebirge liegenden Orten Tebingtinggi 3174 mm, Lahat 3454 mm, Benkoelen 3353 mm jährliche Niederschläge gemessen sind, so wird für das genannte ca. 1200 m hoch im Gebirge liegende Rohhumusvorkommen 3500—4000 mm als Niederschlags-höhe nicht zu viel angenommen sein. Der Höhe von 1200 m über dem Meere entspricht dort eine Durchschnittstemperatur von ca. 20° C.

Das zweite von mir beobachtete, relativ günstige Bodenverhältnisse zeigende Rohhumusvorkommen ist auf dem Penandjaan, dem herrlichen Aussichtspunkt bei dem bekannten Vulkan Bromo im Osten von J a v a. Hier fand ich den Rohhumus auf ca. 2700 m Höhe, wo eine Durchschnittstemperatur von ca. 12° C. herrscht und ein Regenfall von ca. 1800 mm beobachtet ist. Daß ein absoluter Mangel an löslichen Mineralstoffen auch in diesem Gebiet nicht vorhanden sein kann, beweist die Nähe des immer wieder erumpierenden und das Land weithin mit Aschenstaub bedeckenden Vulkans Bromo.

Die hier angegebenen, Näherungswerte darstellenden Zahlen ergeben aufs deutlichste, daß mit zunehmender Temperatur die untere Grenze der Schwarzerdebildung bei immer höher werdenden Niederschlagsmengen erreicht ist: bei Kasan mit 3° C Durchschnittstemperatur und nur 400—500 mm Niederschlag, in Württemberg bei ca. 6° C und 1000—1100 mm, in Niederländisch Indien bei ca. 12° C und 1800 mm bzw. bei ca. 20° C und 3500—4000 mm Regenhöhe.

Aus diesen Zahlen läßt sich ohne weiteres errechnen, wieviel Millimeter Regenhöhe im Durchschnitt auf je 1 Grad Temperaturzunahme entfallen. Dies ergibt für Kasan 133—167 mm (der

errechnete Wert ist vermutlich zu niedrig)¹⁹⁾, für Württemberg 167—183 mm, für den Penandjaan 150 mm, für Tjoeroeb 175 bis 200 mm.

In diesen Zahlen ist eine auffällige Konstanz der Werte erkennbar, trotzdem diese sich auf Gegenden, die unter den verschiedensten Breitengraden liegen, beziehen. Ich möchte diese Werte, die aus dem Verhältnis zwischen Feuchtigkeit und Durchschnittstemperatur errechnet sind, **Regenfaktoren** nennen.

Für die Grenze zwischen Rohhumus und Schwarzerde möchte ich den Regenfaktor 160 als der Wirklichkeit nahekommende Größe nennen. Möglicherweise wird er bei weiteren Untersuchungen einen etwas höheren Wert ergeben. Diese Zahl 160 hat demnach die Bedeutung, daß bei ihrem Ueberschreiten in der Natur, also z. B. bei 6° C Jahresmittel und über $160 \times 6 = 960$ mm jährlichen Regenmengen, nur noch Rohhumusablagerungen, und zwar selbst unter den sonst günstigsten Bodenbildungsverhältnissen in den betreffenden Gebieten sich bilden können. Errechnet man somit für ein Gebiet den Regenfaktor, so kann man daraus darauf schließen, welche Bodenart im günstigsten Falle an der betreffenden Stelle noch vorkommt.

Ganz entsprechend läßt sich die Grenze zwischen den Schwarzerden und Braunerden festlegen.

Für Rußland sei die Grenze zwischen beiden Bodengebieten verwendet, die nach Glinka's Karte nördlich Orenburg am Uralfluß durchläuft und dort ziemlich weit nördlich reicht. Für dieses Land ist bei 3,3° C Durchschnittstemperatur eine Regenhöhe von 385 mm (Hann) angegeben. Der Regenfaktor beträgt hier somit etwa 117.

In Württemberg finden wir, z. B. in bodenkundlich günstigen Kalkgebieten, gleichfalls die Grenze zwischen Braunerden und Schwarzerden. Sie dürfte hier bei 800—900 mm Regenhöhe und ca. 8° C Jahrestemperatur liegen, wie dies z. B. in den Gebieten der „Gäue“ beobachtet werden kann.²⁰⁾ Der Regenfaktor ist hier somit 100—112.

¹⁹⁾ Ueber die Genauigkeit des hier errechneten Regenfaktors siehe unten.

²⁰⁾ Siehe hierzu auch die wertvolle Arbeit von *Stremme* über „Die Verbreitung der klimatischen Bodentypen in Deutschland“. *Branca-Zeitschrift*, 1914, S. 53—69.

Für die Tropen möchte ich als Beispiel das mir näher bekannte Gebiet bei Bandoeng und Garoet in Mitteljava anführen.²¹⁾ Besucht man die Vulkane der Umgebung von Garoet, so beobachtet man, daß die an den Bergen sich hinaufziehenden Reisfelder durchweg nur noch aus Schwarzerden bestehen. Da bei Bandoeng die Regenhöhe etwas unter 2000 mm sinkt, bei Garoet aber auf 3000 und mehr mm ansteigt, während die Jahresmittel der Temperatur 23 und 22° C betragen und die Grenze zwischen Braunerden und Schwarzerden etwa zwischen beiden Orten liegt, so stellt demnach auch für die Tropen der Regenfaktor 100 ungefähr die obere Grenze der Schwarzerdebildung dar.

Man kann somit allgemein für die Grenze Schwarzerden-Braunerden den Regenfaktor 100 annehmen. Vielleicht werden spätere Untersuchungen zu einer etwas höheren Zahl führen.

Bevor ich zur Besprechung der Grenze der Braunerden gegen den nächst höherwertigen, unter optimalen Bildungsbedingungen entstandenen Bodentypus übergehe, ist die Frage zu erörtern, welcher Bodentypus bzw. welche Bodentypen an die Braunerden nach oben angrenzen. Für die Gebiete Mitteleuropas ist diese Grenze nach allen über die Gelberden gemachten Angaben eben die Grenze zwischen Braunerden und Gelberden.²²⁾ In den Tropen dagegen habe ich keine Entwicklung von humusfreien gelben Böden beobachten können. An allen Profilen, in denen die Entwicklung der Braunerden nur eine minimale ist, wie in den relativ trockenen, d. h. nur ca. 2000 mm Regenhöhe aufweisenden Gebieten um Palembang auf Sumatra, bei Batavia und Singapore, ließ sich konstatieren, daß ein direkter Uebergang von der Braunerde zum Laterit besteht, ohne daß eine Gelberdezone zwischen beiden Bodenarten eingeschaltet wäre. Daraus möchte ich den Schluß ziehen, daß den humusfreien Gelberdeböden des gemäßigten Klimas der Laterit der Tropen entspricht, d. h. daß mit dem Moment, da ein Boden humusfrei ist, die Entwicklung desselben in der Weise weitergeht, daß das Eisen, mindestens teilweise, dehydratisiert und die Kieselsäure durch hydrolytische Spaltung von Eisen und Aluminium getrennt, gelöst und weggeführt

²¹⁾ Lang, Geol.-min. Beob., Nr. 2, a. a. O. S. 516 f.

wird; mit anderen Worten, daß die lateritische Verwitterung einsetzt. Dementsprechend möchte ich weiter annehmen, daß die ihrer Entstehung und Zusammensetzung nach wenig bekannten Roterden ein Produkt insbesondere der Subtropen darstellen²²⁾ und somit zwischen dem Laterit der Tropen und den Gelberden des gemäßigten Klimas stehen und ein Aequivalent derselben bilden. Es wären daher Laterit, Roterden und Gelberden klimatisch gleichwertige Böden.²³⁾

Als Grenze zwischen Braunerden und Gelberden in Rußland kommt wohl ungefähr diejenige zwischen den „kastanienfarbigen Böden“ und den „braunen Böden mit Bodenkomplexen“ Glinka's in Betracht, da die „Bodenkomplexe“ (Ssolonetz- und Ssolontschakböden) selbst schon zu den ariden Böden gezählt werden müssen, während die „kastanienfarbigen Böden“ eine Art Braun- oder Gelberden darstellen. Sowohl die Durchschnittstemperaturen wie die Regenhöhen sind in diesen Teilen Rußlands sehr niedrig; lange Zeiten von Frost beeinträchtigen, wie noch gezeigt werden wird, die Bodenbildung, so daß auf den für die Gegend von Semipalatinsk aus ca. 2,5° C Durchschnittstemperatur bei ca. 181 mm Regenhöhe (Hann) errechneten Regenfaktor 72 kein besonderer Wert gelegt werden kann.²⁴⁾ Die Temperatur geht dort südwärts rasch auf 5° hinauf. Offenbar hat Glinka die Gelberdeböden für seine Gebiete gar nicht berücksichtigt und deshalb nicht ausgeschieden. Möglicherweise sind sie unter den in Rußland vorhandenen klimatischen Bedingungen auf ein Minimum an Ausdehnung reduziert.

Für Südf r a n k r e i c h haben wir in den Gelberdegebieten 12—14° C Durchschnittstemperatur und 600—750 mm Regenhöhe, was ca. 50—65 als Regenfaktor ergeben würde.

Aehnliche Verhältnisse scheinen nach meinen Beobachtungen z. B. im Kaiserstuhl bei Freiburg im Breisgau und besonders im Eisaktal bei Bozen vorzuliegen, denn diese Böden weisen eigenartig hellgelbe Farbe auf. Tatsächlich sprechen auch die klimatischen Verhältnisse für meine Auffassung.

²²⁾ Ramann, a. a. O. S. 533 und 600 f.

²³⁾ Siehe auch Lang, Ueber die Bildung von Bodentypen. Geol. Rundschau, 1915.

²⁴⁾ Ueber die Genauigkeit des hier errechneten Regenfaktors siehe unten.

So ist die Umgebung des Kaiserstuhls die absolut wärmste Gegend Deutschlands mit 10,4 bzw. 10,3° C Durchschnittstemperatur in Colmar bzw. Freiburg. In Schelingen im Kaiserstuhl wurden in vier Jahren Niederschläge zwischen 577 und 777 mm beobachtet; in Rheinau ist das Jahresmittel 587 mm, in Altbreisach 577 mm. Man darf somit annehmen, daß 600 mm als durchschnittliche Regenhöhe für den Kaiserstuhl in seinen tieferen Teilen angenähert richtig sind. Daraus ergibt sich ein Regenfaktor von wenig unter 60.

Für Bozen-Gries ist als mittlere Regenhöhe 735 mm bei einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 11,7° C verzeichnet. Diese Werte entsprechen einem Regenfaktor von 63.

Entsprechend dem bergigen Gelände in Württemberg wechseln hier die Feuchtigkeitsverhältnisse von Ort zu Ort oft sehr beträchtlich. Bei einer mittleren Temperatur von 9,7° C in den Talgebieten um Stuttgart schwankt die Befeuchtung zwischen 634 mm in Stuttgart, 658 mm in Cannstatt, 540 mm in Wangen, 610 mm in Hohenheim. Setzt man auch nur 600 mm als Durchschnittswert der Regenhöhen für das mittlere Neckartal ein, so ergibt sich die Zahl 62 als Regenfaktor, ein Wert, der auf den sonnigen, rebenbewachsenen Südhängen sicherlich als noch niedriger angenommen werden darf. In der Tat beobachtet man dort vielfach hellgefärbte humusarme Böden, bei denen zweifellos Ansätze zur Gelberdebildung vorliegen. Sie weisen bald fahlgelbe, bald rötliche Farben auf, je nach den Farben des unterlagernden Gesteins, die infolge des Zurücktretens humoser Beimengungen die Färbung der Böden stark beeinflussen.

Ziemlich genau läßt sich die Grenze zwischen Braunerden und Laterit in den Tropen feststellen. Ich konnte zeigen, daß die Braunerdebildung bei 26—27° C Durchschnittstemperatur und ca. 2000 mm Regenhöhe in der Nähe ihrer oberen Grenze angekommen ist. Mancherlei Anzeichen, über die ich an anderer Stelle berichtete²⁵⁾, sprechen dafür, daß die Grenze der Laterit- bzw. Braunerdebildung mit der Grenze des tropischen Regenwaldes und des lichten Monsunwaldes zusammenfällt, welche bei etwa 1800 mm Niederschlag erreicht ist. Der Regenfaktor für diese Grenze liegt

²⁵⁾ Lang, Die klimatischen Bildungsbedingungen usw., a. a. O. S. 146 ff.

somit, nach den oben angegebenen Zahlen zu schließen, bei 64 bis 70.

Es wird somit kein wesentlicher Fehler entstehen, wenn ich allgemein für die Grenze zwischen Braunerden und Gelberden bzw. Roterden bzw. Laterit den Regenfaktor 60 annehme.

Wie oben dargelegt wurde, wird der Gegensatz zwischen Laterit, Roterden und Gelberden nur durch die Höhe der Temperaturen bedingt, die auf diese humusfreien Böden einwirken. Man wird also je nach der geographischen Breite den einen oder andern Boden zu erwarten haben. Die Grenze zwischen den Gelberden und den Roterden liegt, nach dem Auftreten derselben in Südfrankreich, Nordspanien und Italien zu schließen, bei einer durchschnittlichen Temperatur von ca. 13—14° C. Aus Gegenden, welche geringere Temperaturen als Jahresmittel aufweisen, sind sie nicht bekannt geworden.²⁶⁾ Die Grenze zwischen Laterit und Roterden möchte ich ganz ungefähr bei 20° C legen.

Die Grenze der eben besprochenen Böden gegen die Böden des ariden Klimas läßt sich wiederum nicht ohne weiteres ziehen, weil auch sie in bezug auf die sich hier anschließenden Böden nicht näher erforscht ist.

Wie aus der Bodenklassifikation und der Bodenkarte Rußlands von Glinka klar hervorgeht, bilden die an die „kastanienfarbigen Böden“ angrenzenden „braunen Böden mit Bodenkomplexen“ mindestens in ihren „Bodenkomplexen“ aride Böden. Denn in diesen letzteren findet schon eine Anhäufung löslicher Mineralstoffe statt. Zur Betrachtung eignen sich besonders Gegenden mit höheren Durchschnittstemperaturen, in denen — im Gegensatz zu den oben von Semipalatinsk angegebenen Ver-

²⁶⁾ Die von Graf Leiningen (Reiseskizzen aus dem Süden. Naturw. Zeitschr. f. Land- und Forstwirtschaft, 1907, S. 473—491) aus dem Gebiet zwischen Bozen und dem Gardasee beschriebenen Roterden sind jedenfalls keine rezenten Gebilde, da mir aus eigener Anschauung bekannt ist, daß dort höchstens Gelberden auftreten. Es dürfte sich bei den genannten Böden um mehr oder weniger rotgefärbte Gelberden handeln, die ihre Farbe von den dort häufig in verschiedenen Schichten vorkommenden roten Gesteinen erhalten haben, mit denen die Gelberden beim Durchackern vermengt wurden. Es ist jedenfalls dieselbe Erscheinung, die ich oben vom mittleren Neckartal berichtet habe.

hältnissen — eine Differenzierung zwischen Braunerden und Gelberden angenommen werden darf. Die Grenze zwischen den beiden genannten Bodentypen läuft in Südrußland nach Glinka's Bodenkarte nahe bei Zarizyn an der Wolga durch, das ca. 7—8° C Durchschnittstemperatur bei ca. 250 mm Niederschlägen aufweist. Es wäre demnach der Regenfaktor für die Grenze an dieser Stelle ca. 35. Zu ähnlichen Zahlenwerten gelangt man beim Vergleich der Temperaturen und Befeuchtungswerte für die etwa auf dem 50. Breitengrad weiter nach Osten verlaufende Grenze zwischen den „kastanienfarbigen Böden“ und den „braunen Böden mit Bodenkomplexen“.

Es sei hier eingeschaltet, daß Penck²⁷⁾ u. a. durch Vergleich der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung in Mitteleuropa, also auf Grund rein geographischer Erwägungen, zu dem Resultat kommt, daß die Niederschlagshöhe, bei welcher in humiden Gebieten Abflußlosigkeit eintritt, 420—430 mm beträgt. Da diese Werte z. B. an der March und Theiß beobachtet sind, also in Gebieten mit etwas über 10° C Durchschnittstemperatur, so darf man annehmen, daß der Regenfaktor für diese Gegenden ca. 40 beträgt.

Entsprechendes kann für die Grenze der Roterden gegen die anschließenden Böden ariden Klimas nicht mitgeteilt werden.

Erst für den Laterit liegen wieder klarere Verhältnisse vor. Für Deutsch-Ostafrika hat Vageler²⁸⁾ gezeigt, daß an den Laterit die, wenn auch nur wenig, so doch etwas Salze enthaltenden Grauerden als Böden ariden Klimas sich anschließen. Mann²⁹⁾ sagt von den Grauerden, „daß sie einer geringeren Auslaugung ausgesetzt waren und daher noch einen höheren Gehalt an Alkalien, an Nährsalzen aufzuweisen haben, als wir ihn bei den meisten anderen tropischen Böden erwarten können“. Da der Laterit als ein Produkt, dem im Endstadium alle löslichen Mineralstoffe entzogen sind, in humidem Klima entstanden ist, so muß zwischen dem Laterit und den Grauerden die wichtige Grenze zwischen ariden und humiden Gebieten liegen. In Ugogo, dem Arbeits-

²⁷⁾ Penck, Versuch einer Klimaclassification auf physiogeographischer Grundlage. Sitzungsbericht d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1910, I, S. 240 f.

²⁸⁾ Vageler, Die Entstehung des Laterits und der sonstigen tropischen Böden. Mitt. d. deutschen Landwirtschaftsgesellschaft, 1913, S. 387.

²⁹⁾ O. Mann, Die Bodenarten der Tropen und ihr Nutzwert, 1914, S. 25.

gebiet Vagelers, dürften bei ca. 800—1000 m Meereshöhe ca. 22 bis 24° C im Durchschnitt herrschen. Es würde sich daraus ein Regenfaktor von 35—45 ergeben.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt man, wenn man mit Passarge³⁰⁾ als Grenze zwischen Savannen und Halbwüstengebieten in den Tropen 900 mm Regen annimmt.

Speziell für Mittelamerika, wo die Durchschnittstemperaturen 25° C mindestens übersteigen, gibt Merz³¹⁾ auf Grund geographischer Untersuchungen als Grenze zwischen humidem und aridem Gebiet 1100 mm Niederschlagshöhe an. Es ergibt sich daraus ein Regenfaktor < 44.

In dem Steppengebiet von Cambodja in Indochina mit seiner Lateritbedeckung scheinen nach den vorhandenen Angaben bei ca. 25° C Durchschnittstemperatur die Niederschläge bis auf ca. 800—1000 mm zu sinken, was einen Regenfaktor von 32—40 ergeben würde.

Faßt man die Einzelbeobachtungen zusammen, so wird man keinen wesentlichen Fehler machen, wenn man als Regenfaktor für die Grenze zwischen humiden und ariden Gebieten die Zahl 40 annimmt.

Zu den Böden des ariden Klimas, d. h. der Gebiete, in denen die Verdunstung die Befeuchtung übertrifft und deshalb die bei der Verwitterung entstandenen, leicht löslichen Mineralsubstanzen in den Böden mindestens teilweise erhalten oder gar angehäuft werden, gehören alle Salzböden, sowie die Staub- und Sandböden der Wüsten.

Im einzelnen gehören hierher die schon genannten Grauerden im Sinne Vageler's, Glinka's und Mann's, die offenbar relativ geringe Salzmengen enthalten. Sehr hübsch beschreibt Mann³²⁾ den Uebergang von Laterit zu Grauerde während der Zeit der größten Trockenheit, ohne zwar den Ausdruck Grauerde für den in dieser Zeit sich ausbildenden Boden zu nennen. Er sagt

³⁰⁾ Keilhack, Lehrbuch der prakt. Geologie. Abschnitt über geol. Beobachtungen in den Tropen und Subtropen, verfaßt von Passarge, S. 226—149.

³¹⁾ Alfred Merz, Beiträge zur Klimatologie und Hydrographie Mittelamerikas. Mitt. d. Vereins f. Erdkunde zu Leipzig für 1906, zitiert aus Penck a. a. O.

³²⁾ O. Mann, a. a. O. S. 22.

vom Laterit bzw. der Roterde: „Immer aber ist die Farbe eine recht auffällige und lebhaft; nur zur Zeit der größten Dürre, zur Trockenzeit, verblassen auch die so lebhaften Farben der Roterde, und es fügt sich die Farbe des Erdbodens dann dem eintönig grau in grau gemalten Bilde der Steppen etwas besser ein.“

Es ist unwesentlich, ob den Böden des ariden Klimas H u m u s beigemischt ist oder nicht. Humusbeimengungen in Salzböden hängen damit zusammen, daß gewisse Salze die Zerstörung des Humus zu verlangsamen und eventuell zu verhindern vermögen, indem sie die Wirksamkeit der Humusbakterien ungünstig beeinflussen, auf sie giftig wirken und somit den Humus gleichsam konservieren.

Glinka rechnet in seiner Bodenklassifikation seine Ssolonetz- und Ssolontschakböden (strukturförmige bzw. strukturlose Salzböden) zu den „Böden von zeitweise übermäßiger Befeuchtung“. ³³⁾ Wenn auch für die genannten Böden eine zeitweilige übermäßige Befeuchtung stattfinden mag, so überwiegt trotz ihres teilweisen Humusgehalts doch im Endresultat die Verdunstung über die Niederschläge, und es werden diese Böden somit den ariden Böden zugezählt werden müssen. Wäre das Klima humid, würden also die Niederschläge die Verdunstung übertreffen, so müßten die Niederschläge zum Teil in der Form von fließendem Wasser sich sammeln und Abflüsse sich bilden, oder es müßte in geographischen Hohlformen, in Wannengebieten, zur Bildung von allmählich überlaufenden Seen kommen. In diesem Falle müßten aber zusammen mit dem abfließendem Wasser die angeschwemmten Salze weggeführt werden. Es könnte somit unter humidem Klima letzten Endes nur ein an löslichen Mineralsalzen armer Boden übrig bleiben. Die für die salzhaltigen Ssolonetz- und Ssolontschakböden gewählte Bezeichnung „Böden von zeitweise übermäßiger Befeuchtung“ ist somit eine sehr relative.

Daß der Uebergang von humiden zu ariden Bodengebieten oft sehr schroff ist, davon geben die Angaben Glinka's über die „Braunen Böden mit Bodenkomplexen“ ein deutliches Bild. ³⁴⁾ Besonders dort, wo das Gelände von Hügeln und Niederungen durchsetzt ist, können die Gegensätze hart aneinander stoßen. Während in den höheren Lagen das in die tiefer

³³⁾ A. a. O. S. 42.

³⁴⁾ Glinka, a. a. O., z. B. S. 180 und 321—323, Abbildung S. 347.

liegenden Gebiete abfließende Wasser dem Boden noch dauernd lösliche Stoffe entzieht, so daß sich der Boden dort scheinbar unter humiden Bedingungen befindet, wird es in den Wannern zusammenfließen und beim allmählichen Austrocknen alle an und auf den Hügelzügen und Bergen gelösten Mineralsubstanzen wieder ausscheiden, als Zeichen, daß hier aride Bedingungen herrschen.

Die Frage der Einteilung der Böden des ariden Klimas scheint mir — trotz der zahlreichen Einzelarbeiten — nicht genügend geklärt, um an dieser Stelle Verwertung finden zu können. Ich habe deshalb davon abgesehen, diese Böden nach klimatischen Gesichtspunkten zu gliedern, und sie hier nur als eine Bodengruppe behandelt.

Mit abnehmender Feuchtigkeit bleibt in den ariden Gebieten die chemische Verwitterung nicht dieselbe, sondern sie nimmt allmählich ab, da nicht mehr genügende Mengen Wasser zur Verfügung sind, um die chemischen Umsetzungen herbeizuführen, und nur die mechanische Zerstörung der Gesteine nimmt weiter ungestört ihren Fortgang. In der Wüste endlich wird die Befeuchtung durch Regen annähernd gleich Null, und auch diejenige, die durch Tau erfolgt, wird auf ein Minimum reduziert, entsprechend der geringen relativen Luftfeuchtigkeit in diesen Gebieten. Deshalb tritt dort die chemische Verwitterung immer mehr hinter der mechanischen zurück, und es resultieren Staub- und Sandböden, die unverwitterte Mineralien enthalten. Walther³⁵⁾ beschreibt eingehend derartige Gebiete, in denen es lange Zeit hindurch nicht geregnet hat. „Im Herzen der großen Wüsten gehören Regen zu den seltenen Ereignissen. Aber selbst hier regnet es noch gelegentlich, und lange Jahre bleibt ein solches Ereignis den Bewohnern der Wüste in Erinnerung.“

In den Trockengebieten sinkt mit abnehmender Feuchtigkeit entsprechend auch der Regenfaktor und erreicht im idealen Grenzfall die Zahl 0.

Mit dem Erreichen der Zahl 0 als Regenfaktor hört die chemische Verwitterung auf; der Boden unterliegt in chemischer Beziehung gleichsam einer Wärmerstarre, gleichwie die Pflanzen bei starker Trockenheit in den Tropen.

³⁵⁾ Siehe besonders: Walther, Das Gesetz der Wüstenbildung, II. Aufl., S. 15—24.

Ein ganz entsprechendes Versagen der chemischen Verwitterung tritt bei Null Grad Celsius ein, mit dem Moment, da das Wasser zu Eis erstarrt. Es ist der Moment, den wir, um das eben benutzte Bild weiter zu verwenden, als Kältestarre des Bodens bezeichnen können.

Zwischen diesen beiden Grenzen vollzieht sich alle chemische Verwitterung und, da auch das Pflanzenleben zwischen ihnen eingeschlossen ist, alle Bodenbildung.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß es möglich ist, die Böden in klimatischer Beziehung in eine kontinuierliche Reihe zu ordnen zwischen den beiden Extremen Rohhumusböden und Böden des ariden Klimas. Des weiteren ließ sich zeigen, daß, optimale Bodenbildungsverhältnisse vorausgesetzt, die Grenze zwischen zwei in der klimatischen Bodenbildungsreihe aneinandergrenzenden Bodenarten durch eine Zahl, den Regenfaktor, ausgedrückt werden kann, die angibt, welche Regenmenge bei $+1^{\circ}\text{C}$ und welche maximale Regenzunahme bei einer je um 1°C höheren Temperatur gegenüber der vorhergehenden vorhanden sein darf, um bei entsprechender Erhöhung beider Faktoren gerade noch die höherwertige Bodenart zu erzeugen. Nach den im vorstehenden errechneten Zahlenwerten scheint der Regenfaktor für dieselben Bodengrenzen bei niederen und höheren Temperaturen keine wesentlichen Verschiedenheiten aufzuweisen, so daß für denselben jeweils eine für die verschiedenen Temperaturen gleichbleibende Zahl genannt werden kann.

Unter der Voraussetzung optimaler Bodenbildungsverhältnisse habe ich für die Grenze zwischen humidem und aridem Gebiet den Regenfaktor 40 und im einzelnen für die Grenzen

| | | |
|----------------------------|-----------------|-----|
| Rohhumusböden-Schwarzerden | den Regenfaktor | 160 |
| Schwarzerden-Braunerden | „ | 100 |
| Braunerden-Gelberden bzw. | „ | „ |

| | | |
|--|-----|----|
| Roterden bzw. Laterit | „ „ | 60 |
| Gelberden bzw. Roterden bzw. Laterit-Böden ariden Klimas | „ „ | 40 |

als angenäherte Werte errechnet.

Es liegt somit, optimale Bodenbildungsverhältnisse vorausgesetzt, der Bildungsbereich der

| | | |
|--------------------------------------|-----------------------|---------|
| Rohhumusböden | bei Regenfaktoren von | > 160 |
| Schwarzerden | „ „ „ | 160—100 |
| Braunerden | „ „ „ | 100— 60 |
| Gelberden, Roterden und des Laterits | „ „ „ | 60— 40 |
| Böden des ariden Klimas | „ „ „ | < 40 |

Die vorliegenden Verhältnisse lassen sich übersichtlich in einem Diagramm darstellen, das die Werte für die Feuchtigkeit als Abszisse, die Werte für die Temperaturen als Ordinate enthält. Vergleiche hierzu die untenstehende Tabelle.

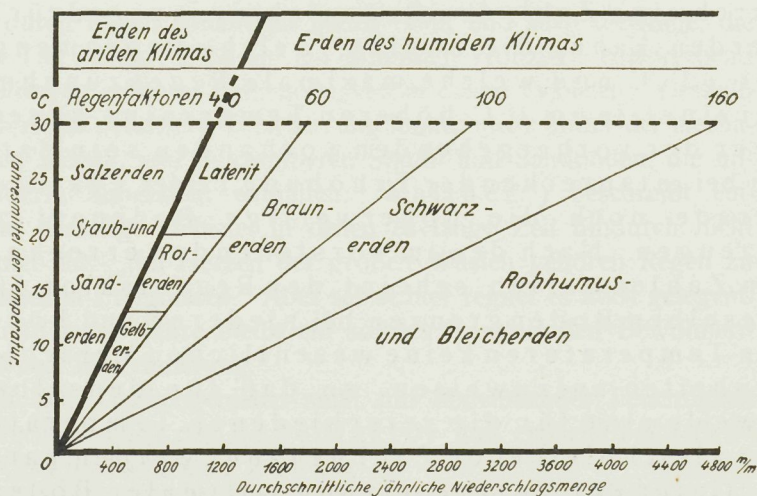


Diagramm der Entwicklung der Böden nach Temperatur und Feuchtigkeit unter Voraussetzung optimaler Bildungsverhältnisse.

Diese Tabelle lehrt, welcher Bodentypus an einem Ort, dessen Durchschnittstemperatur und jährliche Regenhöhe bestimmt ist, im günstigsten Falle, d. h. unter optimalen Bodenbildungsverhält-

nissen, anzutreffen ist. Keineswegs aber zeigt die Tabelle, daß bei bestimmter Temperatur und bestimmter Feuchtigkeit an einem Ort ein bestimmter Boden sich bilden muß.

Tatsächlich beobachtet man ja allenthalben, daß auf geringe Entfernungen, also ohne daß die Temperatur oder die Feuchtigkeit irgendwie erheblich wechselte, die Böden sich verändern, daß z. B. am Hange eines Berges Braunerde sich findet, während im Tale Schwarzerde sich ausbreitet und in einem nicht weit entfernten Sumpfbereich Rohhumus entsteht, dem Schwarzwasser entfließt. So sagt R a m a n n mit Bezug auf die Humusbeimengungen der Böden: „Alle Beobachtungen zeigen, daß die Menge des im Boden vorhandenen Humus von klimatischen und örtlichen Einflüssen (Bodenart, Feuchtigkeit, Temperatur usw.), sowie von der Menge der erzeugten organischen Substanz abhängig ist und verhältnismäßig raschen Veränderungen unterliegt, wenn die örtlichen Verhältnisse sich ändern.“³⁶⁾

Dieser Wechsel der Bodentypen auf geringe Entfernungen ist dadurch verursacht, daß neben der Temperatur und Feuchtigkeit noch andere Faktoren die Ausbildung und Beschaffenheit des Bodens beeinflussen, wie dies schon eingangs erwähnt wurde.

4. Einfluß des Gesteins.

Insbesondere ist — mindestens für die humushaltigen Böden des humiden Klimas gilt dies — die Menge der zur Verfügung stehenden löslichen Mineralstoffe für die endgiltige Ausbildung der Böden von größter Wichtigkeit. Diese Mineralstoffe stammen vor allem aus dem mehr oder weniger zersetzten Gestein; es kommt also für diese Böden ihr anorganisches Substrat bzw. die chemisch-mineralogische Gesteinsbeschaffenheit des Einzugsgebiets der Flüsse und Bäche, die ein Land befeuchten, wesentlich in Betracht. Schon der Sprachgebrauch weist bei uns, wie ich gleichfalls schon erwähnte, auf diese Beziehungen hin, wenn man von Kalkböden, Mergelböden, Tonböden, Arkosesandböden, Quarzsandböden (reinen

³⁶⁾ A. a. O. S. 154.

Sandböden) spricht. Durch die Menge der zur Verfügung stehenden gelösten Salze wird der Humusgehalt und die Beschaffenheit des Humus wesentlich beeinflusst. Für aride Böden ist diese Frage nicht im selben Maße von Wichtigkeit, da im Endresultat der Bestand an löslichen Produkten dem Boden entweder im großen ganzen erhalten oder aber erhöht wird. Auch bei den humusfreien Böden der humiden Zone hat primärer höherer oder geringerer Gehalt des Gesteins, aus dem der Boden hervorgeht, an löslichen Mineralbestandteilen keine besondere Einwirkung auf die Beschaffenheit des Endproduktes, da schließlich im Grenzfall stets die Auswaschung dieser Böden eine vollkommene wird, indem alle löslichen Produkte weggeführt sind. Die einzige Differenz zwischen mineralsalzreicheren und -ärmeren Ausgangsgesteinen wird dann darin bestehen, daß bei letzteren die Auswaschung rascher vollendet und somit der Endzustand eher erreicht ist als bei ersteren.

Bei den humusführenden Böden der humiden Zone dagegen wirkt eine geringere Menge vorhandener Mineralstoffe in der Weise ein, daß der Humus dadurch weniger leicht zerstört und somit tatsächlich relativ angereichert wird, bzw. der „Degradation“ anheimfällt, wie dies die russischen Forscher anschaulich bezeichnen, d. h. daß an Stelle von „neutralem“ adsorptiv ungesättigter Humus entsteht. Denn bei Verminderung gewisser löslicher Salze — insbesondere vom Kalk ist dies bewiesen — nimmt die Wirksamkeit der Bakterien ab, so daß die Humuszerstörung langsamer vor sich geht, mit anderen Worten, daß der Humus relativ angereichert wird. Nimmt die Menge der zugeführten Mineralstoffe weiter ab, während entsprechend — infolge geringerer bakterieller Tätigkeit — der Humusgehalt der Böden immer mehr zunimmt, so wird an einem Punkte der Fall eintreten, daß die adsorptive Sättigung des Humus nicht mehr erreicht wird, so daß Rohhumus sich bildet. Nur unter dieser Voraussetzung läßt sich das z. B. für manche deutsche Gebiete passende, oben gegebene Beispiel erklären, daß Braunerde, Schwarzerde und Rohhumus auf geringe Entfernung nebeneinander auftreten können. Nur so versteht man auch das Vorkommen von Rohhumus in den Tief- bzw. Flachländern von Sumatra und Malakka, das ich jüngst beschrieben habe, obwohl in den letzteren beiden Gebieten die jährlichen Regenmengen bei 26—27° C Durchschnittstemperatur zwischen 2000 und 2500 mm liegen dürften, der errechnete Regenfaktor also unter 100 bleibt,

was sich auch durch die in der Nähe vorkommenden Braunerden dokumentiert.

Ein Minus an Mineralkraft des Bodens wirkt somit für die humushaltigen Böden des humiden Klimas in demselben Sinne, wie wenn der Boden unter höherer Feuchtigkeit oder unter niedrigeren Temperaturen sich befände. Im Gegensatz zu den „hitzigen“ oder „warmen“ Böden, wie der Laie die nährstoffkräftigen Böden bezeichnet, sind diese Böden „kalte“ Böden. Es bildet sich unter diesen Voraussetzungen also ein weniger wertiger Boden; drückt man das Minus von Mineralkraft im Boden, das, wie gesagt, auf den Boden gleichwie eine Erhöhung der Feuchtigkeit oder ein Minus an Temperatur wirkt, in Zahlenwerten, den Regenfaktoren, aus, so zeigt sich, daß geringe Mineralkraft eines Bodens einer Erhöhung des Regenfaktors gleichzustellen ist. Ein wenig mineralkräftiger Boden nähert sich somit den Bodentypen, die sonst bei stärker mineralkräftigem Boden in kühlerem Klima bzw. in feuchterem Gebiet auftreten. Ein Minus an Mineralkraft des Bodens entspricht also einer Erhöhung des Regenfaktors. Während, um ein Beispiel zu nennen, in den eben genannten Gebieten von Sumatra und Malakka der Regenfaktor normalerweise unter 100 bleibt, also ein Braunerdegebiet anzeigt, steigt er unter den an anderer Stelle geschilderten ungünstigen Verhältnissen in bezug auf Versorgung der Böden mit mineralischen gelösten Stoffen und in bezug auf die flache Geländebeschaffenheit auf über 160, weil diese Böden in den Bezirk der Rohhumusböden gehören.

5. Einfluß der übrigen bodenbildenden Faktoren.

Auch alle anderen, die Bodenentwicklung beeinflussenden Faktoren wirken in dem angedeuteten Sinne, wenn diese Faktoren für den Boden keine optimalen, keine günstigsten Verhältnisse liefern.

Entsprechend wirkt ungünstige Exposition, etwa ein Nordhang unter unseren Breiten mit seinem Minus an Temperatur und Besonnung und seiner langsameren Abtrocknung bzw. längeren Dauer der Durchfeuchtung, auf die Bodenbildung ein.

Ein Nordhang ist deshalb gleichbedeutend mit einer Erhöhung des Regenfaktors gegenüber dem für den betreffenden Ort errechneten.

Gebiete mit einer, gegenüber der sonst herrschenden, geringeren Verdunstung sind Ländern mit höheren Regenmengen gleichzustellen, weil die Feuchtigkeit dem Boden länger erhalten bleibt und somit dauernd größere Feuchtigkeitsmengen die Bodenbildung beeinflussen als bei starker Verdunstung. Auch in diesem Falle erhöht sich der Regenfaktor.

Ebenso wirkt flacher Boden, von dem die Feuchtigkeit nur langsam abfließt, in humidem Gebiet feuchtigkeitsvermehrend. Auch hier sind die Bodenbildungsbedingungen gleich einem Gebiete mit reichlicheren Niederschlägen. Auch in diesem Falle ist also der Regenfaktor höher als der für das Gebiet errechnete.

Sehr wichtig ist auch die Bewachung für die Ausbildung des Bodens. Während auf dem freien Feld die Sonnenstrahlen den Boden direkt zu treffen vermögen und bewegte Luft eine rasche Austrocknung herbeiführen kann, wird im geschlossenen Wald die Sonne vom Boden mehr oder weniger zurückgehalten, die Luft bleibt kühler bei Bestrahlung und ist bei Wind weniger bewegt, die Verdunstung daher beträchtlich verlangsamt. Auch vollziehen sich dementsprechend die biologischen Bodenprozesse langsamer, insbesondere diejenigen der Humuszerstörung. Deshalb wird im Wald stets ein gegenüber dem freien Feld minderwertiger Boden sich bilden.

Für andere Faktoren, die noch auf die Bodenbildung einwirken und hier noch nicht genannt sind, kann man genau dasselbe sagen, wie hier schon für die übrigen Faktoren angegeben wurde.

Es läßt sich somit allgemein feststellen: Unter Voraussetzung bestimmter Temperatur und bestimmter Feuchtigkeit wird ein Boden, der unter sonst nicht optimalen Bildungsbedingungen sich befindet, stets minderwertig sein, als der errechnete Regenfaktor anzeigt, d. h. der Boden verhält sich ebenso, wie wenn der Regenfaktor höher wäre.

Erst durch die soeben dargelegte Einschränkung wird der volle Wert der Regenfaktoren für die Grenzen zwischen den einzelnen Boden-

gebieten klar erkennbar. Wohl vermögen bei einem für ein bestimmtes Gebiet errechneten Regenfaktor dort minderwertige Böden sich zu entwickeln, als man nach dem Regenfaktor zu schließen erwarten könnte, im Mindestfalle stets Rohhumus, nie aber können höherwertige Böden entstehen, als durch den Regenfaktor für den betreffenden Ort festgelegt ist. Errechnet man z. B. für einen Ort mit 10° C Durchschnittstemperatur und 760 mm jährlichen Niederschlägen als Regenfaktor die Zahl 76, so zeigt dieser Faktor an, daß an dem betreffenden Ort sich Braunerde zu bilden vermag, wenn die Bodenbildungsverhältnisse optimal sind. Unter ungünstigen Umständen aber wird dort Schwarzerde oder Rohhumus- und Bleicherdeboden entstehen können. Nie aber kann bei der genannten Temperatur und Feuchtigkeit etwa Gelb-erde oder gar ein Salzboden an dem betreffenden Orte sich entwickeln.

Nunmehr erkennt man auch, weshalb die Regenfaktoren für die Grenzen zwischen zwei Bodengebieten gerade unter Voraussetzung optimaler Bodenbildungsverhältnisse errechnet werden mußten, weil eben diese Faktoren die unterste Grenze angeben, an der die Bildung eines höherwertigen gegenüber den minderwertigen Bodentypen unter allen Umständen abschneidet.

6. Einfluß der Verteilung von Temperatur und Feuchtigkeit über das Jahr.

Zum Schlusse sei noch darauf eingegangen, worauf schon oben hingewiesen wurde, daß nicht immer die Jahresmittel der Temperatur und der Feuchtigkeit für die Beurteilung der Frage, welcher Boden unter optimalen Verhältnissen sich an einem Orte bildet, genügen. Dies ist dann der Fall, wenn extreme Witterungsverhältnisse vorliegen, und insbesondere, wenn die Verteilung von Temperatur und Feuchtigkeit über das Jahr eine sehr ungleichmäßige ist. In diesem Falle ergeben sich gewisse Ausnahmen gegenüber dem soeben aufgestellten Satz.

So sei vor allem darauf hingewiesen, daß die Zeiten mit Temperaturen unter 0° C bei der Berechnung der Regenfaktoren auszuschalten sind, soweit diese Temperaturen in einem irgendwie größeren Zeitraum im Jahr auftreten. Es muß dann

die Summe der 0°C überschreitenden Tagestemperaturen durch die Anzahl der diese Temperaturen aufweisenden Tage dividiert werden, damit man eine für bodenkundliche Zwecke brauchbare Durchschnittstemperatur erhält. Und ebenso müssen die in fester Form, als Schnee, niedergegangenen Niederschläge von den jährlichen durchschnittlichen Regenmengen subtrahiert werden (soweit der Schnee nicht nach seinem Auftauen als Wasser längere Zeit das Land noch befeuchtet und dadurch eine Einwirkung auf den Boden ausübt), d. h. es ist die reine Regenmenge zur Ermittlung des Regenfaktors zu benutzen. Denn der Boden ruht während der ganzen Zeit, in der die Temperatur unter Null Grad Celsius sinkt. Sobald das Wasser zu Eis erstarrt, hört jede chemische Einwirkung auf den Boden auf; es bilden sich keine neuen Verwitterungsprodukte, und es erfolgt kein Ab- und Zutransport löslicher Mineralstoffe; aber auch die biologische Tätigkeit des Bodens, die Wirksamkeit der Bakterien und Fadenpilze erreicht so ziemlich den Nullpunkt. Da auch das Pflanzenwachstum völlig stillsteht, so ändert sich auch der Humusgehalt der Böden nicht. Die Zeiten der Winterkälte üben somit auf den Boden keinerlei Wirksamkeit aus; der Boden bleibt sich im gefrorenen Zustande völlig derselbe, etwa fallender Schnee vermag auf ihn selbst nicht einzuwirken. Es ist eine Zeit der Starre für den Boden.

Ist die Feuchtigkeit ungleichmäßig über das Jahr verteilt, dergestalt, daß Regenzeiten mit solchen der Trockenheit wechseln, so wird für die humushaltigen Böden der humiden Zone je nach gewissen Verhältnissen die Bodenbildung eine höherwertige oder minderwertige sein gegenüber dem Resultate, das die Berechnung des Regenfaktors ergibt. Ist die heiße Jahreszeit zugleich eine Periode der Trockenheit, die kühle Jahreszeit dagegen eine solche feuchter Witterung (Winterregen), so wird als Resultat sich ein etwas höherwertiger Boden ergeben, als der errechnete Regenfaktor anzeigt. Denn wenn auch während der kühlen, feuchten Jahreszeit etwas mehr Humus dem Boden erhalten bleiben mag als bei über das ganze Jahr gleichmäßig verteilten Niederschlägen, so wird dieses Plus an Humus durch die Einwirkung der heißen trockenen Jahreszeit mit ihrer stark humuszerstörenden Tendenz zuletzt in ein beträchtliches Minus an Humus verwandelt sein. Umgekehrt wird bei feuchten Sommern (Sommer-

regen) und trockenen Wintern aus entgegengesetzten Gründen ein gegenüber dem errechneten Regenfaktor minderwertiger Boden entstehen, ein humusreicherer bzw. nicht adsorptiv gesättigter Boden sich bilden, als bei gleichmäßiger Verteilung der Niederschläge zu erwarten war. Das Klima des betreffenden Gebiets ist somit tatsächlich humider als der Regenfaktor angibt. Als tatsächlicher, für optimale Bodenbildungsverhältnisse giltiger Regenfaktor ist dem entsprechend bei Sommerregen ein etwas niedrigerer, bei Winterregen ein etwas höherer Wert, als der aus Temperatur- und Feuchtigkeitsmittel berechnete ergibt, einzusetzen.

Es braucht nicht besonders darauf hingewiesen zu werden, daß ein Boden im wesentlichen ein einheitliches Produkt ist, das sich in seinen Eigenschaften im Laufe eines Jahres kaum beträchtlich verändert. Daß ein Boden aber das Resultat unzähliger verschiedener, insbesondere klimatischer, Einwirkungen darstellt, dessen wird man sich kaum bewußt. Er bildet sich als einheitliches Produkt trotz der zumeist bestehenden Gegensätze zwischen heißer und kühler Jahreszeit, zwischen Regen- und Trockenperioden, ja trotz der täglichen und stündlichen Schwankungen von Insolation, Temperatur, Befeuchtung und Austrocknung. Wie wir in dem Begriff Klima die genannten Einzelwerte zu einer Gesamtheit zusammenfassen, wie wir z. B. aus den unzähligen Temperaturen des Jahres einen Durchschnittswert errechnen, so gibt die Natur im Boden ein einem bestimmten Klima unter sonst bestimmten Bodenbildungsverhältnissen entsprechendes einheitliches Durchschnittsprodukt, gleichsam einen Durchschnittswert aus den einzelnen klimatischen und geologischen Komponenten.

Daraus ergibt sich des weiteren, daß auf den Boden nicht jede Nuance der Feuchtigkeits- oder Temperaturänderungen verändernd einwirkt, sondern daß höchstens lang andauernde gleichartige Witterungsverhältnisse, z. B. lang anhaltende Trockenheit in der heißen Jahreszeit, die Beschaffenheit des Bodens allmählich etwas ändert. Nur ganz allmählich hinkt gleichsam der Boden den in Entwicklung begriffenen klimatischen Zuständen nach. Man muß daher dem Boden eine gewisse Trägheit gegenüber Änderungen in seiner Beschaffenheit durch klimatische Einzelwirkungen zuschreiben, einen gewissen Widerstand, seine Eigenschaften zu wechseln.

Damit ist auch eine relative Beständigkeit des Regenfaktors gewährleistet.

Ueber das Maß der Bodenträgheit ist, soweit ich dies verfolgen konnte, nur ganz wenig bekannt. Doch nehmen die Aenderungen der Bodeneigenschaften unter extremen Verhältnissen und besonders in den Fällen, in denen ein Boden nahe der Grenze zu einem andern Boden steht, ein solches Ausmaß an, daß sie immerhin beobachtet werden können.

So habe ich schon vielfach in Württemberg beobachtet, daß im Winter an manchen kleinen Bächen des Albvorlandes Eisen gel aus dem Boden quillt, d. h. daß sie in adsorptiv ungesättigten Humusflächen liegen, während diese Wässer während des Sommers eisenfrei sind und damit anzeigen, daß die Böden in dieser Zeit Rohhumus nicht enthalten. Es ergibt sich daraus mit Notwendigkeit die Annahme eines gewissen Wechsels der Bodenqualitäten in diesen Gebieten zwischen der Sommer- und der Winterzeit.

Ein zweites Beispiel bilden gewisse Laterit führende Gebiete Indiens. Von diesen wird angegeben, daß der rote und weiße Laterit von Brauneisenkrusten oder Bohnerzkörnern durchsetzt sei oder rostgelb gefärbte Bodenlagen enthalte. Ich habe nun a. a. O. nachgewiesen, daß bei der Lateritbildung nur rote und weiße Verwitterungsprodukte entstehen, während die Rostfarben durch Braunerdeverwitterung sich bilden. Aus der Vermischung roter und rostgelber Elemente im selben Verwitterungsprodukt kann man deshalb nur schließen, daß in diesen Gebieten scharf getrennte Regen- und Trockenzeiten herrschen und daß in den letzteren Perioden Laterit sich bildet, während in den Regenzeiten aus dem Laterit Braunerde mit Bohnerz und Rostschlackengebilden sich entwickelt.³⁷⁾

Als ein drittes, aus Afrika bekannt gewordenenes Beispiel sei der oben angeführte Uebergang von Laterit in Grauerde während der Trockenheit erwähnt, den Mann³⁸⁾ so interessant beschreibt.

Für diese Gebiete mit periodisch im Jahre wechselnder Bodenbildung ist man somit gezwungen, auch wechselnde

³⁷⁾ Lang, Geol.-min. Beobachtungen in Indien. 3. Rezente Bohnerz- bildung auf Laterit. Entstehung fossiler Bohnerze, Centrallbl. f. Min. usw., 1914, S. 641—653. — Die klimatischen Bildungsbedingungen usw. a. a. O. S. 151—154.

³⁸⁾ Mann, a. a. O. S. 22.

Regenfaktoren einzusetzen. Sie sind nach den Durchschnittstemperaturen und der Durchschnittsfeuchtigkeit der Trockenzeiten einerseits und nach denen der Regenzeiten andererseits zu berechnen.

Schluß.

Die vorstehende Abhandlung stellt, wie schon ihr Titel besagt, kein in allen Einzelheiten ausgebautes System dar, sondern bildet einen Versuch, einen ersten Anfang, auf zahlenmäßiger Grundlage die klimatischen Typen der Böden und insbesondere ihre Bildungsgrenzen zu charakterisieren.

Für die Bestimmung der Reichweiten und Bildungsgrenzen der Bodentypen erwiesen sich die Regenfaktoren, d. h. die aus den mittleren jährlichen Regenhöhen und den Durchschnittstemperaturen errechneten Quotienten, als sehr wertvoll.

Entsprechend der geringen Anzahl von Daten, die für die Bildungsgrenzen der Bodentypen unter optimalen Bildungsbedingungen angegeben werden konnten, sind die hierfür errechneten Regenfaktoren nicht als endgiltige, sondern als Näherungswerte anzusehen, die sich in der Zukunft noch etwas verschieben mögen.

Insbesondere ist es nicht unwahrscheinlich, daß die in dem Diagramm als gerade Linien eingezeichneten Grenzen zwischen den Bodentypen nach Berechnung zahlreicher Grenzwerte für niederere und höhere Temperaturen und größere und geringere Feuchtigkeit Kurven ergeben werden.

Hauptzweck der Arbeit sollte sein, zu dieser neuen und meines Erachtens gegenüber der bisherigen exakteren Betrachtungsweise der Böden in ihren von klimatischen und nichtkli-

matischen Faktoren bedingten Entstehungsformen anzuregen.

Möge dieser Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht sich für die bodenkundliche Wissenschaft als fruchtbar erweisen.

Ludwigsburg, im April 1915.

Die „Humussäuren“ im Lichte neuzeitlicher Forschungsergebnisse.

Referierende Uebersicht mit einer vorläufigen Mitteilung über eigene neue Untersuchungen von Dr. E. Gully, München.

(Schluß.)

Mit Rücksicht auf die sonstigen Arbeiten müssen es sich Tacke-Densch versagen, nochmals auf eine Polemik Gullys einzugehen, die, wie die letzte, nicht das geringste neue Tatsachenmaterial zur Stütze seiner Anschauungen gebracht haben soll. Ja, wer ergeht sich denn mehr in breitgezogenen Polemiken als Tacke-Densch! Kamen sie nicht bei ihrer ersten Humussäureabhandlung, welche doch zweifellos die Hauptarbeit darstellt, mit knappen 37 Seiten aus, während ihre Entgegnung, die so gut wie kein neues Analysenmaterial brachte, volle 70 Seiten einnimmt. Bei ihrer Stellungnahme wäre es zwecklos, weitere Erörterungen an ihre letzte Veröffentlichung anzuknüpfen. Es wird aber wohl erlaubt sein, einige diesbezügliche Bemerkungen und Richtigstellungen folgen zu lassen.

Nicht richtig ist, daß die Arbeiten von Gully kein neues Tatsachenmaterial für die Nichtexistenz der sogenannten Humussäuren erbracht haben. Ist denn Tacke-Densch die Abhandlung „Humussäureuntersuchungen III“ entgangen? Wurde in dieser nicht einwandfrei genug nachgewiesen, daß sich der „Humussäuregehalt“ der Sphagnen je nach dem Nährstoffgehalt beliebig vermehren läßt? Bewies nicht die darauffolgende Arbeit, daß alle Pflanzenteile mehr oder weniger humussauer sind, daß Sphagnen und Moostorf beim Ausziehen mit Wasser und Alkalien keine nennenswerten Mengen Säuren verloren, das benutzte Versuchsmaterial also weder wasser- noch alkalilösliche Verbindungen mit Säurecharakter enthielt?

Nicht einem Rechenfehler, sondern einem Druckfehler ist es zuzuschreiben, daß die beim Behandeln von Moostorf mit Tricalciumphosphat entstehende freie Phosphorsäure statt um 25 bis 40 um 250 bis 400 % höher als der durchschnittliche nach der Tacke-Süchting'schen Methode gefundene Säurewert angegeben wurde.

Daß bei der Tabelle 9 (Seite 113) ebenfalls ein Druckfehler (83,79 statt 93,79) vorliegt, hätten Tacke-Densch bei einigem guten Willen herausfinden können. Der positive Wert (47 %) bleibt demnach zu Recht bestehen.

Auch die Angaben hinsichtlich der „Aciditätsgröße“ der Sphagnen bzw. des Torfes vor und nach dem Behandeln mit Alkalien bedürfen keiner Berichtigung. Daß Tacke-Densch bei ihren Versuchen zu entgegengesetzten Resultaten kamen, ist gar nicht verwunderlich. Je nach dem Zersetzungszustand der Moorsubstanz, der Menge und Stärke der darauf einwirkenden Lauge müssen sehr wechselnde Mengen organischer Substanzen in Lösung gehen. Fraglos treten gerade aus besser zersetztem Material viele Kolloidkörper in die alkalische Extraktionsflüssigkeit über. Daß hierdurch der „Aciditätsgrad“ des Auslaugungsrückstandes sinken kann, liegt klar auf der Hand. Je nach der Kolloidart und der Kolloidnatur der entfernten Stoffe wird dies nahezu gar nicht oder stark in Erscheinung treten. Eine Verminderung der „Aciditätsgröße“ des mit Laugen ausgezogenen Materials läßt sich in plausibler Weise auf gelöste und fortgeschaffte Kolloidstoffe zurückführen. Daß der „Aciditätsabfall“ durch „Säureverluste“ bedingt sein muß, ist doch eine ebenso willkürliche wie unbewiesene Annahme.

Tacke und seine Mitarbeiter konstatierten im Gegensatz zu Baumann-Gully wiederholt, daß Moostorf aus dem Calciumoxalat Oxalsäure freimacht. Der von ihnen ermittelte Wert an freigewordener Oxalsäure war so geringfügig, daß es sich eigentlich erübrigt, auf diesen Punkt nochmals einzugehen. Indes machte kürzlich der Berichterstatter eine Beobachtung, die mit dieser Sache in Zusammenhang zu sein scheint und verdient, hier angeführt zu werden. Trocknet man ein mit Wasser ausgekochtes Calciumoxalat im Gastrockenschrank bei 100°, so gibt das getrocknete Präparat mit Diphenylamin stets eine sehr starke Reaktion auf Salpetersäure. Selbst nach mehrmaligem Auswaschen des getrockneten Calciumoxalates waren darin noch Spuren Salpetersäure nachweisbar. So nach nimmt feuchtes Calciumoxalat beim Trocknen Salpetersäure auf, und diesem Umstand sind vielleicht die geringen Mengen Oxalsäure zuzuschreiben, welche Tacke und seine Mitarbeiter ermittelten.

Den Auslassungen von Tacke-Densch, daß es jedem Forscher freigestellt sein muß, zu entscheiden, inwieweit er die Untersuchungen anderer zur Nachprüfung heranzuziehen wünscht, kann

Berichterstatter nicht ohne Vorbehalt beipflichten. Selbstverständlich muß jedem Forscher in dieser Hinsicht eine große Bewegungsfreiheit zugestanden werden, und gegebenenfalles kann er sich veranlaßt sehen, neue Wege usw. einzuschlagen. Wenn aber — wie im vorliegenden Falle — der Nachweis zu erbringen war, daß die sogen. Humussäuren des Torfes mit den Kolloidsubstanzen der lebenden Sphagnen identisch sind, so geht es doch wohl nicht an, diese aus dem Bereich der Untersuchungen auszuschließen. Geschieht dies trotzdem, so umgeht man den Kern der Sache und erreicht niemals das gesuchte Ziel.

Die Untersuchungen Sven Odéns¹⁷⁾, P. Ehrenbergs und Bahrs¹⁸⁾ sollen einen weiteren vollgültigen Beweis für die Existenz der Humussäuren sein. Mehr als hundertjährige wissenschaftliche Untersuchungen haben unzweideutig dargetan, daß allen Salzsäure-Fällungsprodukten alkalischer Boden- oder Pflanzenauszüge keine einheitliche Zusammensetzung zukommt. Die so erhaltenen „Humussäuren“ stellen ein buntes Gemisch der verschiedensten Substanzen dar, die sich zum größten Teil erst bei der Alkalibehandlung bilden und niemals die sogen. Humussäuren der Sphagnen bzw. des Moostorfes sein können.

Die genannten Forscher stellten ihre Humussäuren in nachverzeichneter Weise dar. Sven Odén verrührte den natürlichen Torf, welcher aus „vermoderten“¹⁹⁾ Sphagnen bestand, zuerst mit Wasser zu einem dicken Brei und erhitzte ihn bis zum Sieden des Wassers. Er kochte hierauf den Torfbrei $\frac{1}{2}$ Stunde weiter, wobei er das verdampfende Wasser ersetzte. Sodann wurde der warme Brei mit vierfach normaler Ammoniaklösung im Ueberschuß ausgerührt und über Nacht an einem warmen Platze bei etwa 80° stehen gelassen. Durch Zentrifugieren trennt er den unlöslichen Rest von der ammoniakalischen Flüssigkeit, versetzt diese mit Kochsalz bis auf zweifach normale Konzentration, läßt die kolloidalen Substanzen ausflocken und hebt die überstehende Lösung vorsichtig ab. Diese Lösung wird nun auf dem Wasserbade eingeengt, bis sich Kochsalz abzuschcheiden beginnt und die noch heiße Flüssigkeit im Vakuum

¹⁷⁾ Archiv för Kemi, Mineralogie och Geologie, Stockholm, Band 4, Nr. 26, und Bericht der Deutschen Chemischen Gesellschaft, Berlin, 1912, Nr. 4, Seite 651—660.

¹⁸⁾ Journal für Landwirtschaft, Berlin 1913, Seite 427—485.

¹⁹⁾ Es wäre zweckmäßiger, den Ausdruck „vertorft“ zu gebrauchen.

filtriert. Er versetzt das erkaltete Filtrat bis zur deutlich sauren Reaktion mit Salzsäure, läßt einige Stunden stehen und scheidet die schleimige, dunkelschwarze Flüssigkeit, welche die freien Humussäuren nebst harzigen Substanzen enthält, durch Zentrifugieren von der gelben Flüssigkeit ab.

Ehrenberg und Bahr ließen den Torf zunächst mit zwei-prozentiger Salzsäure 24 Stunden stehen, entfernten alsdann nahezu quantitativ die Salzsäure in einer Vorrichtung nach Art der Soxhletapparate. Der mit Salzsäure behandelte und mit Wasser gut ausgewaschene Torf wurde nun mit vierprozentigem Ammoniak überschichtet und zur Lösung der Humussubstanz einige Tage an einem warmen Orte stehen gelassen. Die entstandene braune Flüssigkeit wurde dann abgesaugt und durch Kollodium filtriert. Das Ultrafiltrat wurde hierauf in einem Vakuumkolben bei 55° so lange eingedampft, bis der Ammoniakgeruch der Lösung verschwunden war. Durch Zusatz sehr geringer Mengen Salzsäure bringt er schließlich die Humussäuren zur Ausfällung.

Zur Charakterisierung der erhaltenen freien Humussäuren bzw. humussäuren Salze bedienten sich Sven Odén, Ehrenberg und Bahr physikalisch-chemischer Methoden (Leitfähigkeitsmessungen, Bestimmungen des Dissoziationsdruckes usw.). Auf Grund der Versuchsergebnisse kommen sie zu dem Schluß, daß im Moostorf zweifellos Säuren enthalten sind, daß die sogenannten Humuskolloide zum größten Teil aus einer Substanz bestehen, die sich elektrolytisch wie eine drei- oder vierbasische Säure verhält, die aber keine dementsprechend gebauten Salze zu bilden vermag. Sven Odén hat das Äquivalentgewicht dieser „Humussäuren“ zu annähernd 339 bestimmt; Ehrenbergs und Bahrs beiläufige Messungen ergaben 260—298.

Man ersieht, daß die Humussäuredarstellung beider Autoren kompliziert war. In beiden Fällen wirkten ziemlich konzentrierte Laugen bei erhöhten Temperaturen lange auf die Torfsubstanzen ein. Die Einengung der Humusfiltrate erfolgte teils bei Luftzutritt, teils bei Luftabschluß, stets aber unter Anwendung von Wärme.

Bei Odén fehlen Angaben über den Prozentsatz der „vermoderten“ Sphagnetrockensubstanz an Humussäuren sowie darüber, ob das teilweise von Humussäuren befreite Ausgangsmaterial an seiner „Acidität“ einbüßte. Er gibt jedoch an, daß sich die ammoniaklöslichen Bestandteile des Torfes, praktisch genommen, erst bei

15 bis 20 maliger Behandlung mit der Ammoniaklösung nahezu vollständig entfernen lassen.

Ehrenberg und Bahr fanden den Humusgehalt, d. h. den Gehalt an organischer ammoniaklöslicher Substanz für die Torftrockensubstanz zu rund 10 Prozent. Nach ihren eigenen Angaben liegen bei ihren Präparaten ebensowenig wie bei denen Odéns reine Humussäuren vor, sondern sie nehmen an, daß diese einen beträchtlichen Teil der untersuchten Humussubstanz ausmachen.

Es ist nicht zu bezweifeln, daß die verschiedenen Forscher mit Hilfe sehr empfindlicher physikalisch-chemischer Methoden nachweisen konnten, daß sich in den alkalischen Bodenextrakten saure Substanzen vorfinden. Sie werden es aber wohl dahingestellt sein lassen, ob die nachgewiesenen Verbindungen, welche sie als „Humussäuren“ charakterisieren, tatsächlich als solche in unveränderter Form in der ursprünglichen Torfmasse vorhanden waren bzw. sich nicht erst bei dem langen und durchgreifenden Auslaugungsprozeß ganz oder zum mindesten teilweise gebildet haben. Nirgends wurde von Baumann-Gully ausgesprochen, daß nicht geringe Mengen freier Säuren im Hochmoor vorkommen. Bestritten wurde von ihnen nur, daß die „Acidität“ des Hochmoortorfes von den mit dem Sammelnamen „Humussäuren“ belegten Substanzen ausgehe, daß diese erst bei der Verrottung der Hochmoorpflanzen entstünden bzw. den sogenannten „Humussäuren“ Säurecharakter zukäme. Auf Grund von Leitfähigkeitsmessungen usw. an Substanzen, welche man durch alkalische Bodenauszüge aus dem Moor gewinnt, wird man doch nicht die „künstlichen Humussäuren“ mit den in lebenden Sphagnen sich vorfindenden und in den Torf übergegangenen sogenannten Humussäuren für identisch erklären wollen. Wir haben bereits gehört, daß der „Säuregehalt“ des Versuchsmaterials von Baumann-Gully beim Behandeln mit Alkalien fast keine Einbuße erlitt. Trotzdem darf man versichert sein, daß Odén, Ehrenberg und Bahr auf vorerwähnte Weise auch dem schwach zersetzten Moostorf von Triangel ammoniakalische Humussubstanzen mit saueren Eigenschaften hätten entziehen können. Ja es ist sogar höchst wahrscheinlich, daß sie auch bei dem lebenden Sphagnenmaterial zu „Humussäuren“ gekommen wären, wie wohl solche lebenden Pflanzen fehlen. Befreunden wir uns aber mit dem Gedanken, daß die dargestellten Humussäuren kein Kunstprodukt seien, so wird es doch befremden, zu sehen, daß Ehren-

berg und Bahr nur einen Bruchteil des „Humussäuregehaltes“ erhalten haben, wie er sich für Hochmoore nach verschiedenen Bestimmungsmethoden errechnet. Man dürfte voraussetzen, daß man aus Böden mit gleichem „Humussäuregehalt“ auch ungefähr gleiche Mengen „Humussäuren“ gewinnen kann. Von vornherein ist jedoch der Berichtersteller überzeugt, daß dies nicht der Fall sein wird, daß sich sogar aus einem gut zersetzten Wiesenmoorboden, der keine oder wenig freie Säuren aufweist, mehr ammoniaklösliche Humussubstanzen extrahieren lassen, als aus einem Hochmoorboden mit hohem „Humussäuregehalt“.

Die „künstlichen Humussäuren“ stehen mit den sogenannten „natürlichen Humussäuren“ der Sphagnen bzw. des Moostorfes nur in losem Zusammenhang. Es steht fest, daß sie sich ganz oder teilweise erst bei der Behandlung von Humusstoffen mit Laugen bilden. Nun vermögen die nach Odén, Ehrenberg und Bahr gewonnenen „Säuren“ keinen nennenswerten Einfluß auf den „Aciditätsgrad“ des Hochmoortorfes auszuüben. Die „Acidität“ des Hochmoortorfes führte man aber allgemein auf den Gehalt an „freien Humussäuren“ zurück. Noch heute wird vielfach angenommen, daß diese „Säuren“ erst beim bzw. nach dem Absterben der Pflanzen entstehen. Man hielt die „früheren Humussäuren“ für andere Verbindungen als die „jetzigen“. Man ahnte nicht, daß man es dabei mit ein und derselben Substanz zu tun habe. Vor Baumann-Gully dachte niemand daran, für den „Humussäuregehalt“ des Hochmoores die Kolloidsubstanzen der lebenden Sphagnen verantwortlich zu machen. Von diesem Gesichtspunkte aus können Odén, Ehrenberg und Bahr auch nicht behaupten, Beweise für die Existenz der Humussäuren erbracht zu haben.

Vorstehend wurde eine gedrängte Uebersicht über die wichtigsten neueren Humussäurearbeiten und den derzeitigen Stand der Humussäurefrage gegeben. Zweck und Ergebnis der Baumann-Gully'schen Untersuchungen scheinen vielseits verkannt bzw. unrichtig aufgefaßt worden zu sein. In erster Linie war es ihnen darum zu tun, untrüglich nachzuweisen, daß die „Humussäuren“ des Hochmoores kein Zersetzungsprodukt abgestorbener Pflanzen seien. Ihre zweite Aufgabe bestand darin, herauszufinden, welche Substanzen der lebenden Sphagnen als identisch mit den „Humussäuren“ zu betrachten und ob diese Vegetationsprodukte überhaupt als wahre Säuren aufzufassen seien.

Das erste Resultat der Baumann-Gully'schen Arbeiten ignorieren die Vertreter der alten Humussäuretheorie. Sie suchen nach hypothetischen Substanzen, statt gegebene natürliche Vegetationsprodukte zu untersuchen. Damit halten sie die Nebenfragen für wichtiger als die Hauptfrage. Warum den Streit darüber führen, ob Kolloiderscheinungen rein physikalische oder chemische Prozesse darstellen, bevor nicht die Frage entschieden ist, ob die „Humussäuren“ des Hochmoores als identisch mit den Kolloidsubstanzen der lebenden Sphagnen anzusehen sind oder nicht. Es liegen reichlich Beweise dafür vor, daß die „Acidität“ der Hochmoore nicht von ihrem Gehalt an „Humussäuren“, die sich beim Verrotungsprozeß bilden sollen, ausgeht. Auch bei anderen Torfbildungen und humosen Bodenarten dürfte dies der Fall sein. A. Wieler ²⁰⁾ hat in einer Abhandlung: „Die Acidität der Zellmembranen“ die Meinung geäußert, daß die Pflanzensubstanz, die als Wurzeln, Stoppeln und Gründüngung dem Boden zugeführt wird, gleichfalls sauer reagiert und daß es nur der sonstigen Beschaffenheit des Bodens zu verdanken ist, wenn ihr saurer Charakter verschwindet. Für eine größere Zahl von Pflanzen wies er nach, daß die Absorptionen, welche sie ausüben, auf die Acidität der Zellmembranen zurückzuführen ist. Er vertritt die Anschauung, daß alle Pflanzenteile, soweit sie aus Zellhäuten bestehen, humussauer sind und daß der saure Charakter eine Eigentümlichkeit der Pflanzensubstanz überhaupt sei. Diese Ansichten hatten Baumann-Gully in ihren früheren Arbeiten zum Teil selbst ausgesprochen und hinsichtlich der Verallgemeinerung pflichtete Gully A. Wieler bei.

Die Vertreter der alten Humussäuretheorie können sich mit dieser Auffassung nicht befreunden. Auch hinsichtlich der Eigenschaften und Abstammung der „Humussäuren“ hat man noch vielfach ganz irrige Begriffe. Der Verfasser dieser Abhandlung führte in letzter Zeit über den „Aciditätsgrad“ verschiedener Substanzen Untersuchungen durch, deren Befunde hinsichtlich des Verhaltens und der Abstammung der „Humussäuren“ sowie der „Aciditätsgröße“ von Dopplerit und Buchenblättern interessante Aufschlüsse geben und deswegen verdienen, an dieser Stelle mitgeteilt zu werden.

²⁰⁾ Bericht der Deutschen Botan. Gesellsch., 1912, Bd. 30, S. 394—406

Die Ergebnisse der „Aciditätsbestimmungen“ sind in der Tabelle I niedergelegt. Die chemische Zusammensetzung der in den Untersuchungsbereich einbezogenen Substanzen ist aus der Tabelle II ersichtlich, während die Tabelle III diejenigen Basenmengen angibt, welche beim Behandeln der Substanzen mit $\frac{1}{50}$ bzw. $\frac{1}{100}$ normal Salzsäure abneutralisiert bzw. entfernt und bei neuen „Aciditätsbestimmungen“ wieder aufgenommen werden.

Aciditätszahlen, ermittelt mit Calciumacetat, Tricalciumphosphat und Calciumcarbonat.

Tabelle I.

| Benennung der Untersuchungssubstanz | Acidität vor Entfernung der Basen mit $\frac{1}{50}$ bzw. $\frac{1}{100}$ normal Salzsäure | | Acidität nach Entfernung der Basen mit $\frac{1}{50}$ bzw. $\frac{1}{100}$ normal Salzsäure | | | |
|---|--|--------------------|---|------------------------------------|--------------------|-----------------|
| | Freigewordene Essigsäure, Phosphorsäure, Kohlensäure pro 100 g wasserfreier Substanz — berechnet in mg Wasserstoff | | | | | |
| | $\frac{1}{1}$ normal Calciumacetat | Tricalciumphosphat | Calciumcarbonat | $\frac{1}{1}$ normal Calciumacetat | Tricalciumphosphat | Calciumcarbonat |
| Schilftorf | 113,0 | 70,0 | Mittel 99,3 102,0 zu 96,6 | 119,0 | — | 101,8 |
| Hypnumtorf | 88,0 | 44,7 | Mittel 70,2 69,0 z. 71,3 | 99,4 | — | 94,8 |
| Sphagnumtorf-Bernau | 94,0 | 74,6 | Mittel 88,3 89,0 z. 87,7 | 96,8 | — | 81,3 |
| Kultiviertes ungekalktes Hochmoor | 76,0 | 35,2 | 51,0 | 96,5 | — | 65,6 |
| Kultiviertes gekalktes Hochmoor | | | | | | |
| Kultiv. Boden vom Dachauermoor | | | | | | |
| Isarmoos | 29,0 | 3,8 | 11,0 | 86,3 | — | 58,5 |
| Donaumoos | 9,0 | 1,1 | 0,0 | — | — | — |
| Buchenblätter (am Baum überwintert) | 3,0 | 0,2 | — | — | — | — |
| Luftr. Dopplerit vom Kolbermoor | 15,0 | 1,6 | — | — | — | — |
| | 33,3 | — | — | 64,9 | — | — |
| | 65,6 | — | Spuren | — | — | — |

Zur Orientierung über die Probenahme und zur beiläufigen Charakterisierung des untersuchten Materials sei folgendes hervorgehoben:

Schilf- und Sphagnumtorf sowie die Bodenproben vom ungekalkten und gekalkten Hochmoor entstammen dem mit „Kühwampen“ bezeichneten Abteil des südlichen Chiemseehochmoores. Der Sphagnumtorf wurde bei 90 cm, der Schilftorf bei 60 cm Tiefe

Chemische Zusammensetzung der in Tabelle I zu Vergleichsuntersuchungen herangezogenen Substanzen.

In 100 Trockensubstanz sind enthalten:

| Bezeichnung der Untersuchungssubstanz | Tabelle II. | | | | | | | | | | Bemerkungen | |
|--|---|--|----------------------------|------------------------------|-------|-------|------------------|-------------------|--------------------------------------|---|-------------|---|
| | Verbrennliche Stoffe ohne CO ₂ | Unverbrennliche Stoffe mit CO ₂ | Davon in Salzsäure löslich | Davon in Salzsäure unlöslich | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | Gesamt P ₂ O ₅ | H ₂ O lösliche P ₂ O ₅ | | N |
| Schlufftorf | 98,12 | 1,88 | 1,34 | 0,54 | 0,277 | 0,028 | 0,012 | 0,038 | 0,105 | 0,003 | 2,79 | {Asche enthält keine CO ₂ . |
| Hypnumtorf | 92,55 | 7,45 | 1,83 | 5,62 | 0,472 | 0,053 | 0,040 | 0,049 | 0,049 | 0,001 | 1,05 | {Asche enthält Spuren von CO ₂ . |
| Sphagnumtorf | 99,12 | 0,88 | 0,55 | 0,33 | 0,086 | 0,026 | 0,029 | 0,009 | 0,056 | 0,001 | 0,89 | {Asche enthält keine CO ₂ . |
| kultiviertes ungekalktes Hochmoor } 9 Kulturfahr | 94,37 | 5,63 | 2,10 | 3,53 | 0,655 | 0,053 | 0,046 | 0,068 | 0,178 | 0,027 | 2,00 | {Asche enthält Spuren von CO ₂ . |
| kultiviertes gekalkt. Hochmoor | 91,37 | 8,67 | 6,10 | 2,57 | 2,88 | 0,148 | 0,056 | 0,064 | 0,255 | 0,028 | 2,13 | {Asche viel CO ₂ ; luftr. Boden keine CO ₂ . |
| Dachauermoor | 73,22 | 26,78 | 17,98 | 8,80 | 5,69 | 0,937 | 0,064 | 0,036 | 0,438 | 0,001 | 3,38 | {H ₂ O fr. Boden enth. 1,41% CO ₂ = 2,53% CaCO ₃ . |
| Isarmoos | 62,02 | 37,98 | 32,05 | 5,93 | 16,45 | 0,726 | 0,062 | 0,047 | 0,270 | 0,0009 | 2,67 | {H ₂ O fr. Boden enth. viel CO ₂ (ca. 10%). |
| Donaumoos | 71,51 | 28,49 | 10,49 | 18,00 | 4,56 | 0,609 | 0,065 | 0,048 | 0,309 | 0,0007 | 3,07 | {H ₂ O fr. Boden = 0,488% CO ₂ = 0,122% CaCO ₃ . |
| Buchenblätter | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | {luftr. Dopplerit keine CO ₂ . |
| luftr. Dopplerit | 95,24 | 4,76 | 4,68 | 0,08 | 3,17 | 0,987 | 0,023 | — | 0,031 | — | 0,89 | {luftr. Dopplerit keine CO ₂ . |

7*

Tabelle III.

| Bezeichnung der Untersuchungssubstanz | Von der $\frac{1}{50}$ bzw. $\frac{1}{100}$ n/HCl werden durch die Basen von 100g wasserfr. Substanz eine Säuremenge abneutralisiert, die entspricht — Wasserstoff in mg | | Bei Entfernung der Basen ergibt die erneute Bestimmung eine Vermehrung der Acidität — berechnet pro 100 g wasserfr. Substanz — Wasserstoff in mg | | Von den abneutralisierten und entfernten Basen werden bei erneuten Bestimmungen wieder aufgenommen in % | | | | | | | |
|---|--|---|--|------------------------------|---|-----------------|-------|-------|------|------|------|------|
| | Substanz vor Salzsäurezusatz mit H ₂ O ausgezogen | Substanz ohne vorherigen H ₂ O-Zus. direkt m. Salzsäure ausgezogen | $\frac{1}{1}$ normal Calciumacetat | Calciumcarbonat | $\frac{1}{1}$ normal Calciumacetat | Calciumcarbonat | | | | | | |
| Schilftorf | 11,98 | 10,52 | 6,0 | 2,5 (von der Mittelzahl) | 50,1 | 23,8 | | | | | | |
| Hypnumtorf . . | 16,64 | 15,31 | 11,4 | 24,6 (von der Mittelzahl) | 68,5 | 160,7 | | | | | | |
| Sphagnumtorf . | 6,21 | 5,02 | 2,8 | 7,0 (von der Mittelzahl) | 45,1 | 139,4 | | | | | | |
| kultiviertes ungekalktes Hochmoor . | 22,68 angewendet je 3 g luftr. | 19,30 angewendet je 6 g luftr. | 20,5 | 14,6 | 90,3 | 75,6 | | | | | | |
| kultiviertes gekalkt. Hochmoor . . | | | | | | | 67,89 | 67,31 | 57,3 | 47,5 | 84,4 | 70,6 |
| Kultiv. Boden vom Dachauermoor . | | | | | | | — | — | — | — | — | — |
| Isarmos . | | | | | | | — | — | — | — | — | — |
| Donaumos . | — | — | — | — | — | — | | | | | | |
| Buchenblätter . . (am Baum überwintert) | 35,1 | — | 31,6 | — | 90,0 | — | | | | | | |

genommen. Letztere Torfart findet sich in den unmittelbar am Chiemseeufer gelegenen, mit Wald bestandenen Randpartien des benannten Moores. Sie gehört zweifellos den Wiesenmoortorfen an, enthält relativ viel Stickstoff, aber verhältnismäßig wenig Kalk und Phosphorsäure. Ihr Gehalt an Kali, Natron und Magnesia ist außerordentlich gering. Auch der Sphagnumtorf muß für bayerische Verhältnisse als sehr nährstoffarm bezeichnet werden. Die Mitteilungen der K. B. Moorkulturanstalt²¹⁾ geben die mittlere Zusammensetzung der Oberflächenproben des „Kühwampen“ für die Trockensubstanz an zu 4,21 % Rohasche, 0,151 % P₂O₅, 0,151 % CaO, 0,036 % K₂O und 2,08 % N. Hiernach vermehrt sich durch die Kultur der Gehalt des Moorbodens an unverbrennlichen

²¹⁾ Heft III, Seite 3, 32 u. 33 und 34 u. 35.

Bestandteilen; die Ascheanreicherung tritt aber durchaus nicht in dem Grade ein, wie man für gewöhnlich annimmt. Durch die langjährige Kultur ergibt sich eine beträchtliche Anreicherung des Hochmoorbodens an Kalk. Daneben läuft eine mäßige Phosphorsäureanhäufung einher, während die prozentische Zusammensetzung der Flächen an Kali und Stickstoff nach wie vor der Kultur annähernd dieselbe geblieben ist.

Säureabneutralisation durch die Basen der Untersuchungssubstanz und Wiederaufnahme der entfernten Basen bei erneuten Aciditätsbestimmungen.

Der Hypnumtorf wurde der unweit Bernau gelegenen Siegharteringerfilze in einer Tiefe von 140 cm entnommen. Er ist von großer Reinheit, nur sehr schwach zersetzt, so daß die einzelnen Hypnenpflänzchen leicht mit bloßem Auge zu erkennen sind und enthält wenig Pflanzennährstoffe.

Die von kultivierten Wiesenmoorflächen erholten Bodenproben aus dem Dachauermoos, Isarmoos und Donaumoos sind reich an Phosphorsäure, Kalk, Magnesia und Stickstoff, aber verhältnismäßig arm an Kali und Natron. In den Proben vom Dachauermoos und Donaumoos kommen vereinzelt Kalksteinchen vor, die Isarmoosprobe dagegen enthält viele kleine Schneckenschalen. Diesem Umstand ist der mehr oder weniger große Gehalt des Bodens an Kohlensäure bzw. Carbonaten zuzuschreiben. Eine Analyse der Buchenblätter liegt nicht vor. Das Material wurde Ende März dieses Jahres von auf Moorboden gewachsenen Buchen gesammelt. Es wurden nur Blätter genommen, die am Baume überwintert hatten.

Der vor mehreren Jahren aus der abgetorften Kolbermoorfilze bei Rosenheim gesammelte Dopplerit zeichnet sich durch eine große Armut an Kali und Phosphorsäure aus. Während sein Stickstoffgehalt normal ist, enthält er relativ wenig Kalk und Magnesia.

Um zu beweisen, daß die „Acidität“ der Substanzen eine variable Größe darstellt, wurde sie nach drei verschiedenen Methoden bestimmt. Betreffs der Durchführung, der Vor- und Nachteile der einzelnen Bestimmungsverfahren wird auf die Mitteilungen der K. B. Moorkulturanstalt ²²⁾ und auf das landwirtschaftliche Jahrbuch für Bayern ²³⁾ verwiesen.

²²⁾ Heft IV, Seite 82, und Heft V, Seite 58.

²³⁾ 5. Jahrgang, 1915, Nr. 4, Seite 222 u. 223.

Aus der Tabelle I geht hervor, daß die „Aciditätsgröße“ der Substanzen je nach der angewandten Methode verschieden groß ausfällt. Der höchste „Aciditätswert“ wurde in allen Fällen nach dem Calciumacetatverfahren gefunden, der niedrigste in der Regel nach der Tricalciumphosphatmethode, während die nach der alten Tacke'schen Bestimmungsart — nämlich mittels einer Aufschlammung von Calciumcarbonat — ermittelte „Acidität“ für gewöhnlich die Mittelstellung einnimmt. Die Bezeichnung „Acidität“ einer Substanz stellt einen Sammelbegriff dar. Der gefundene Wert wird nicht allein durch ihren Gehalt an freien Säuren, sondern noch durch andere Faktoren, wie die physikalischen Eigenschaften und die Strukturverhältnisse usw., bedingt. Es braucht sogar in der Untersuchungssubstanz überhaupt keine freie Säure vorhanden zu sein, und trotzdem kann sie einen hohen „Aciditätsgrad“ aufweisen. Bei allen Mooren und wohl auch bei den meisten humosen Bodenarten läßt sich die „Acidität“ ausschließlich oder vorwiegend auf den Gehalt an Kolloiden zurückführen. Dabei wird der „Säuregrad“ weniger durch den absoluten Gehalt der Substanzen an Kolloidkörpern als vielmehr durch die Natur und insbesondere der Struktur der vorhandenen Kolloidstoffe bedingt. Negative Kolloide täuschen Säureerscheinungen insofern vor, als sie den verdünntesten Salzlösungen die Basis entziehen und hierdurch Säure in Freiheit setzen. Somit kommt ihnen ein ausgeprägtes Basenabsorptionsvermögen zu. Die Basenmenge, welche sie absorbieren können, ist abhängig von der Konzentration und dem Dissoziationsgrad der Lösung. Sie entziehen konzentrierten Salzlösungen bedeutend mehr Basis als verdünnten und stark dissoziierten Lösungen wiederum erheblich mehr Basen als schwach dissoziierten. Dabei wirkt die freiwerdende Säure der Absorptionskraft der Kolloide entgegen und ruft einen Stillstand in den Umsetzungen hervor.

Bei den „Aciditätsbestimmungen“ nach Tacke bleibt keine freie Säure zurück, und man könnte versucht sein, anzunehmen, daß sich nach diesem Verfahren die höchsten „Aciditätswerte“ ergeben müßten. Dies trifft nicht zu, weil die Absorptionen in verdünnten, schwach dissoziierten Salzlösungen vor sich gehen. Bekanntlich äußern sich Kolloidwirkungen schnell, und sie kommen auch verhältnismäßig rasch zu einem nahezu vollständigen Abschluß. Bei der Tacke'schen Methode kann dies, der Schwerlöslichkeit des kohlensauren Kalkes wegen, nicht der Fall sein. Schwache Absorp-

tionswirkungen kommen nach diesem Verfahren überhaupt nicht sichtbar zum Ausdruck.

Bei den anderen Methoden zur Ermittlung der „Acidität“ tritt zwar freie Säure auf, aber trotzdem resultieren dabei relativ hohe bzw. die höchsten „Säurewerte“. Dies hat seine Ursache darin, daß in dem einen Falle die freiwerdende Phosphorsäure — soweit sie nicht Verbindungen mit dem Kalkgehalt der Untersuchungssubstanz eingeht — aufschließend auf das Tricalciumphosphat einwirkt, im anderen Falle, daß aus konzentrierteren, weitgehend dissoziierten Lösungen von essigsäuren Salzen von vornherein hohe Absorptionszahlen gefunden werden.

Schon die auffallende Tatsache, daß die eine Aciditätsbestimmungsmethode einen „Säuregehalt“ angibt, die andere aber nicht, beweist, daß in den betreffenden Fällen der saure Charakter der Untersuchungssubstanz nicht von dem Gehalt an freien Säuren hervorgerufen sein kann. Hier können nur Kolloidwirkungen die „Acidität“ des Versuchsmaterials vorgetäuscht haben. Die Gegenwart freier Säuren in den nährstoff- bzw. kalkreichen Wiesenmoorproben ist ausgeschlossen. Dem Kalkgehalt nach kann auch in der Probe vom gekalkten Hochmoor keine „freie Humussäure“ mehr vorhanden sein. Auch bei den Buchenblättern und dem Dopplerit dürfte die „Acidität“ durch Absorptionswirkungen hervorgerufen worden sein. Besonders auffallend hat sich gegenüber verschiedenen Salzlösungen der Dopplerit verhalten. Man hält dieses Mineral für ein Konglomerat von „Humussäuren“. Nun vermögen diese „freien Humussäuren“ innerhalb drei Stunden bloß Spuren Kohlensäure aus der Karbonatlösung abzuspalten. Ja selbst nach achtzehnstündiger Einwirkung findet man erst eine geringfügige Menge Kohlensäure.²⁴⁾ Der Dopplerit zeigt nach der Tacke'schen Methode keine „freien Säuren“ an, nach dem Calciumacetatverfahren hingegen sehr viel. Ohne Zweifel hätte die Verwendung von frischem, wasserhaltigen Material zu anderen „Aciditäten“ geführt, und insbesondere wäre wohl der „Säuregehalt“ des Dopplerits nach der Tacke'schen Methode etwas positiver ausgefallen. Indes lassen die bereits vorliegenden Versuche zur Genüge erkennen, daß die „Acidität“ des Dopplerits nicht von Säuren-, sondern durch Absorptionswirkungen veranlaßt wurde.

²⁴⁾ Die von 100 g wasserfreiem Dopplerit freigemachte CO_2 entspricht 0,016 g H.

Vergleicht man die „Acidität“ der Substanzen vor und nach Entfernung der Basen miteinander, so erhellt ohne weiteres, daß Kolloidwirkungen vorliegen. Aus dem Untersuchungsmaterial waren die absorptiv festgehaltenen Basen leicht mit 1/100 bzw. 1/50 normal Salzsäure zu entfernen. Die losgelöste Basenmenge ergab sich durch Titration der Extraktionsflüssigkeit vor und nach der Basenabneutralisation. Daß bei den Toriproben außer den absorptiven Basen noch anderweitig gebundene in die sehr verdünnte Säurelösung übergangen, ist kaum anzunehmen. Bei den Buchenblättern dürfte dies schon eher der Fall gewesen sein. Wie dem nun sei, es lassen doch die Versuche erkennen, daß durch die Salzsäurebehandlung keine Säuren freigelegt worden sind. Hätte die Säurebehandlung eine Freilegung von Säuren zur Folge gehabt, so hätten sich die „Aciditätszahlen“ der Substanzen nach Entfernung der Basen gegenüber den vor Entfernung der Basen mindestens um den Betrag der abneutralisierten Basen erhöhen müssen. Von den abneutralisierten und entfernten Basen wurden bei erneuten Bestimmungen mittels Calciumacetat aber nur 45,1 bis 90,3 % wieder aufgenommen, was besagt, daß nicht Säure-, sondern Kolloidwirkungen vorliegen.

Die Vermutung A. Wielers, daß alle Pflanzen mehr oder weniger humussauer sind, wird durch die Versuche mit den Buchenblättern bekräftigt. Bedenkt man, daß die Blätter bei der Probenahme noch am Baume hingen, also den Zersetzungsprozessen, wie sie sich im Boden abspielen, nicht unterworfen waren, so muß man ihre „Acidität“ als außergewöhnlich hoch bezeichnen. Entfernt man die Basen aus den Blättern durch Digerieren mit 1/100 normal Salzsäure, so findet man bei den ausgelaugten Buchenblättern sogar eine „Acidität“, die der „Acidität“ lebender Sphagnen nahekommt. Was die sehr verdünnte Salzsäure innerhalb einiger Stunden bewirkt, leisten sicherlich die Witterungseinflüsse und die Zersetzungsprozesse innerhalb Jahrzehnten und Jahrhunderten. Beim Verschwinden der Nährstoffe bzw. der freien oder halb gebundenen Basen aus den Blättern werden dieselben „saurer“. Die „Aciditäts-substanz“ muß sich sonach in den Buchenblättern zum großen Teil in gebundener, d. h. verkappter Form vorfinden. Dies dürfte auch bei den meisten Wiesenmoortorfen sowie vielen anderen Substanzen der Fall sein, wofür die Zahlen der Tabellen 1 und 3 sprechen. Der Gedanke, daß sich die Buchenblätter zum großen Teil aus

freien oder gebundenen „Humussäuren“ aufbauen, wird kaum ernstlich in Erwägung zu ziehen sein, und so bleibt nur übrig, anzunehmen, daß ihr „saurer“ Charakter durch Kolloidsubstanzen bedingt wird. Vielleicht ist es für die Pflanze von Vorteil, in den Blättern möglichst viele Kolloidsubstanzen anzuhäufen. Es sei daran erinnert, daß die Assimilationstätigkeit von den Blattorganen ausgeübt wird, daß die Stoffbildungs- und Umwandlungsprozesse das Vorhandensein einer genügend großen Wasser- und Nährstoffzuleitung voraussetzen. Möglicherweise begünstigen die Kolloidsubstanzen der Blätter diese Prozesse, wofür natürlich noch der direkte Beweis zu erbringen wäre.

Was die „Aciditätsgröße“ der untersuchten Substanzen betrifft, so sei kurz folgendes hervorgehoben. Der Schilftorf zeigt eine außergewöhnlich hohe „Acidität“, wie eine solche meines Wissens überhaupt noch nicht konstatiert wurde. Der abnorm hohe „Säuregehalt“ ist keineswegs auf einen weit vorgeschrittenen Zersetzungsgrad des Schilftorfes zurückzuführen, denn der Schilftorf ist bedeutend schwächer zersetzt als der weniger „saure“ Sphagnumtorf. Auch der Hypnumtorf, in welchem mit bloßem Auge die einzelnen Hypnenpflänzchen leicht zu erkennen sind, weist trotz des geringen Zersetzungsgrades eine hohe „Acidität“ auf. Hieraus geht hervor, daß man aus dem Zersetzungsgrad keinen Schluß auf die „Acidität“ des Torfes ziehen kann, oder in anderen Worten ausgedrückt, der „Säuregehalt“ der Moorsubstanz steht mit dem Verrotfungsprozeß in keinem direkten Zusammenhang.

Die Bildung des Sphagnum- und Hypnumtorfes ist von der des Schilftorfes grundverschieden. Während nämlich bei ersteren die ganzen Pflanzen zur Torfentstehung beitragen, kommen für die Bildung des Schilftorfes und der übrigen Wiesenmoortorfe nur die unterirdischen Pflanzenteile in Betracht. Aus älteren Untersuchungen wissen wir, daß nicht nur die oberen oder unteren Sphagnenteile Säureerscheinungen vortäuschen, sondern daß dies die ganzen Sphagnumpflanzen in annähernd derselben Stärke tun. Dasselbe dürfte hinsichtlich der Hypnumpflanzen und dem daraus entstandenen Torf der Fall sein. Ob und welche „Aciditätsunterschiede“ oberirdische Wiesenmoorpflanzenteile gegenüber unterirdischen (Wurzeln) aufweisen, läßt sich nicht sagen, da diesbezügliche Untersuchungen fehlen. Sobald ich Gelegenheit habe, mir das nötige Material zu verschaffen, werde ich dieser Frage weiter

nachgehen. Meine vorläufigen Beobachtungen tun dar, daß die oberirdischen Teile des Schilfrohrs verhältnismäßig wenig „humussauer“ sind. Da der Schilftorf ebenso „sauer“ wie der Sphagnum- oder Hypnumtorf sein kann, so muß den unterirdischen Pflanzenteilen des Schilfrohrs nach der Basenentfernung eine erheblich größere „Acidität“ zukommen als den oberirdischen. Die Wiesenmoorgewächse haben sehr oft Gelegenheit, in übereichlichem Maße Nährstoffe und speziell Kalk aufzunehmen. Stärkere Absorptionen stellen sich daher bei ihnen und den Wiesenmoortorfen nur ausnahmsweise ein, weil sie die Kolloide für gewöhnlich nur in abgesättigter, also verkappter Form enthalten. Erst wenn ihre Basen auf künstlichem oder natürlichem Wege zum Verschwinden gebracht werden, nehmen sie einen „sauren“ Charakter an, und bei nahezu gänzlichem Verlust der basischen Nährstoffe erscheinen sie ebenso „sauer“ wie der Hochmoortorf. In letzterem Falle erhebt sich auch der Basengehalt der Wiesenmoortorfe entweder gar nicht oder nur unmerklich über den der nährstoffärmsten Sphagnumtorfe. Ein solcher Ausnahmefall liegt nun bei dem untersuchten Schilftorf vor.

Die „Acidität“ der Substanzen steht im umgekehrten Verhältnis zu deren Nährstoffgehalten. Bei Moorproben vermag man auf Grund der kleineren oder größeren „Aciditätszahl“ ohne weiteres zu entscheiden, ob die Probe von einem mehr oder minder nährstoffreichen Wiesen- bzw. Hochmoor stammt.

An Hand der „Aciditätsbestimmungen“ wurde vorstehend dargetan, daß der „saure“ Charakter nicht bei Moorgewächsen allein gefunden wird. Je nach den Vegetations- und Ernährungsverhältnissen erstreckt sich die „Acidität“ über die ganze Pflanze oder bloß über gewisse Teile. Während die „Aciditätssubstanz“ bei wurzellosen Gewächsen (Sphagnum und auch Hypnum) gleichmäßig über alle Vegetationsteile verteilt ist, scheint bei anderen Pflanzen der „Aciditätsstoff“ (Kolloid) in gewissen Organen, wie den Blüten und den Wurzeln, angehäuft zu werden. Schon der Umstand, daß die Substanz, welche „Aciditätserscheinungen“ auslöst, in außerordentlich reichlichen Mengen in den Blattorganen der Bäume zur Ablagerung kommt, läßt vermuten, daß wir es dabei um keine eigentlichen Säuren zu tun haben.

Die angeführten Untersuchungen über die Buchenblätter ergaben deutliche Anhaltspunkte für das Vorkommen und die Ab-

stammung der „Aciditätssubstanzen“. Versuche darüber, ob und inwieweit sich die „Aziditätsstoffe“ mit dem Absterben der Blätter und den nachfolgenden Zersetzungsprozessen vermehren, liegen nicht vor, sollen aber demnächst eingeleitet werden. In dieser Hinsicht sind aber bereits die mit Sphagnumtorf und die mit ungekalktem und gekalktem Hochmoorboden durchgeführten Untersuchungen recht lehrreich. Die gekalkten und ungekalkten Felder standen zur Zeit der Probenahme im neunten Kulturjahr. Die Kalkung des einen Feldes erfolgte Ende des dritten Kulturjahres, und zwar wurde pro ha 6000 kg Ca O in Form von staubfeinem kohlen saurem Kalk verabreicht. Im Boden sind jetzt keine Kalkpartikelchen mehr sichtbar; auch entwickelt der lufttrockene Boden mit Salzsäure keine Kohlensäure. Demgemäß enthält er keinen kohlen sauren Kalk mehr, und die 2,88 % Ca O des wasserfreien Bodens müssen in absorptiv gebundener Form bzw. in Verbindung mit Phosphorsäure, Kieselsäure usw. vorhanden sein.

Beide Felder liegen unmittelbar nebeneinander und entstammen gleich der Sphagnumtorfprobe dem mit „Kühwampen“ bezeichneten Abteil des südlichen Chiemseehochmoores. Vor der Kultur wies dieser Moorteil eine gleichmäßige Vegetation auf und zeigte nur geringfügige Differenzen in der chemischen Zusammensetzung. Die ursprüngliche Flora bestand fast ausschließlich aus Sphagnen. Sonach setzt sich die jetzige Ackerkrume aus den umgehauenen lebenden und abgestorbenen Sphagnumteilen zusammen, wozu nur noch eine dünne Schicht bereits wirklich vertorft gewesener Sphagnen kommt.

Die mit normal Calciumacetatlösung bestimmte „Acidität“ der frischen lebenden Sphagnen kann zu 90, die der abgestorbenen zu rund 93 mg Wasserstoff für 100 g wasserfreie Substanz angenommen werden. Stellen wir diesen Zahlen die nach Entfernung der Basen ermittelten „Aciditäten“ des ziemlich stark zersetzten Sphagnumtorfes und der neunjährigen Kulturfelder gegenüber, so lassen sich dabei nur geringfügige „Aciditätsänderungen“ feststellen. Demnach zeigen lebende und abgestorbene Sphagnen ungefähr denselben „Säuregehalt“ an wie der stärker zersetzte Hochmoortorf. Ferner weisen die neun Jahre in Kultur stehenden gekalkten und nicht gekalkten Hochmoorfelder nach Entfernung der absorbierten oder anderweitig gebundenen Basen ebenfalls den gleichen Gehalt an sogenannten „Humussäuren“ auf wie die Pflanzen, aus denen

ihre Ackerkrume hervorging. Hiernach gehen beim Verrotfungsprozeß weder nennenswerte Mengen Säuren verloren, noch entstehen solche. Auch eine jahrzehntelange Kultur bedingt keine erheblichen „Aciditätsänderungen“. Weder die vieljährigen starken Kalidüngungen vermochten die „Humussäuren“ in lösliche, noch die hochbemessene Kalkung in unlösliche Verbindungen überzuführen.

Die „Aciditätssubstanz“, welche die sauren Eigenschaften der lebenden und abgestorbenen Sphagnen, des Sphagnumtorfes und des kultivierten gekalkten und ungekalkten Hochmoorbodens hervorruft, verhält sich demnach Alkali- bzw. Kalksalzen gegenüber indifferent. Die natürlichen „Humussäuren“ bilden also weder lösliche Alkali-, noch unlösliche Kalksalze. Sie weisen andere Eigenschaften auf, als die in den Lehrbüchern beschriebenen „Humussäuren“ und die chemische Natur der natürlichen „Humussäuren“ muß daher von der der künstlichen total abweichen. Daß die künstlich herstellbaren „Humussäuren“ im Moorboden nicht in derselben Form vorhanden sein können, wurde vielfach nachgewiesen. Aber selbst wenn dies zuträfe, so entfielen auf sie nur ein Bruchteil der „Gesamtacidität“ des Hochmoores. Damit bliebe die Frage nach dem Verbleib des Hauptanteils der „Humussäuren“ unbeantwortet, solange nicht die bereits in den lebenden Sphagnen vorgebildeten „Humussäuren“ als identisch mit den sogenannten „Humussäuren“ angesehen werden. Daß aber dies tatsächlich der Fall ist, haben die Arbeiten von Baumann und Gully dargetan und geht auch wieder überzeugend aus vorliegenden Untersuchungen hervor.

Nach Fertigstellung dieser Abhandlung erschien eine von Gustav Fischer²⁵⁾ verfaßte Arbeit, betitelt: „Die Säuren und Kolloide des Humus“. Hinsichtlich der Einzelheiten der inhaltsreichen Abhandlung muß auf die Originalarbeit verwiesen werden. Aus dem Teil seiner Arbeit, der mit dem Humussäureproblem in unmittelbarem Zusammenhang steht, sei folgendes hervorgehoben. G. Fischer bespricht zuerst die einzelnen Faktoren der Humusbildung, gibt dann die Humusformen und ihren Einfluß auf die Bodenbildung an. Im experimentellen Teil seiner Veröffentlichungen weist er auf die Untersuchungen von Tacke-Süchting, Baumann-Gully, Sven Odén und Ehrenberg-Bahr hin.

²⁵⁾ Kühn-Archiv, Band IV, 1914, Seite 1—136.

Die von Tacke-Süchting aufgestellten Reaktionen zum Beweis für die Säurenatur des Sphagnumtorfes — die Wasserstoffentwicklung aus Eisen und Moostorf sowie die Invertierung der Saccharase durch Moostorf — hält G. Fischer nicht für einwandfrei. Ebenso sei mit Hilfe von Leitfähigkeitsmessungen kein sicheres Urteil darüber zu gewinnen, ob Säuren im Hochmoortorf vorhanden seien oder nicht. Gegen den von Sven Odén und Ehrenberg-Bahr eingeschlagenen indirekten Weg zum Säurenachweis spricht sich G. Fischer gleichfalls aus, weil dabei nicht mit natürlichen Humuskolloiden, sondern mit chemischen Humuspräparaten gearbeitet wurde. Aus den bisherigen Aciditätsbestimmungen zog Fischer die Konsequenz und wandte eine Aciditätsbestimmungsmethode an, bei der kolloidchemische Reaktionen das Versuchsbild unter keinen Umständen zu stören vermögen. Die Verwendung von Konzentrationsketten schien ihm das zuverlässigere Mittel zur Berechnung der H-Ionenkonzentration zu sein, deren elektromotorische Wirksamkeit zur Untersuchung des natürlichen Bodenmaterials noch keine Verwendung gefunden hat. Das Verfahren soll besonders deshalb Beachtung verdienen, weil es nicht nur qualitative, sondern einwandfrei quantitative Bestimmungen mit größter Genauigkeit zuläßt, ohne daß das Prüfungsmaterial bei entsprechender Anordnung chemische oder physikalische Prozesse, wie Kochen, über sich ergehen lassen muß.

Durch die Messung der elektromotorischen Kraft glaubt G. Fischer den tatsächlichen Beweis für die Säurenatur der Hochmoore erbracht zu haben. Er bestimmte den Säuregehalt verschiedener jüngerer und älterer Sphagnumtorfe durch direkte Bestimmung der H-Ionenkonzentration und kam zu den in nachstehender Tabelle verzeichneten Mittelwerten.

G. Fischer fand nach dem von ihm angewandten Säurebestimmungsverfahren für die Sphagnumtorfe einen geringfügigen Säuregehalt, nämlich bloß 0,118 bis 0,996 mg Wasserstoff für 100 g Torftrockensubstanz. Die „Acidität“ des wenig zersetzten Sphagnumtorfes aus Triangel wurde seinerzeit von uns ermittelt nach Tacke zu 89,2 und durch direkte Titration mit einem geringen Alkaliüberschuß sogar zu 109,3 mg Wasserstoff pro 100 g wasserfreiem Sphagnumtorf. Sonach ergibt sich bei Messung der elektromotorischen Kraft für den Sphagnumtorf ein Säurewert, der nur den $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{1000}$ Teil seiner Gesamtacidität ausmacht. Demgemäß

kann auch nicht davon gesprochen werden, daß es mit Hilfe dieser Methode gelungen sei, den tatsächlicher Beweis dafür zu erbringen, daß die „Acidität“ des Hochmoores durch den Gehalt an Säuren bedingt wird. Die Befunde von G. Fischer beweisen vielmehr das

| Bodenart | Beobachtete Volt | Trocken- substanz bei 105° getrocknet % | 1000 g Boden mit angegebener Trocken- substanz ent- halten H -Jonen in Gram- äquivalenten | Säuregehalt pro 100 g Trocken- substanz berechnet in mg Wasser- stoff | Zersetzungsgrad des Bodens |
|-------------------------------------|------------------|---|---|---|----------------------------|
| Jüngeres Sphagnum von Triangel | 0,511 | 11,72 | 0,0 ₃ 947 | 0,809 | mittel- mäßig stark |
| Aelteres Sphagnum von Triangel | 0,558 | 12,23 | 0,0 ₃ 145 | 0,118 | |
| Jüngeres Sphagnum vom Teufels- moor | 0,519 | 12,33 | 0,0 ₃ 692 | 0,561 | gering |
| Aelteres Sphagnum vom Teufels- moor | 0,555 | 9,88 | 0,0 ₃ 163 | 0,165 | mittel- mäßig |
| Jüngeres Sphagnum vom Königs- moor | 0,505 | 12,55 | 0,0 ₂ 125 | 0,996 | gering |
| Aelteres Sphagnum vom Königs- moor | 0,521 | 9,13 | 0,0 ₃ 638 | 0,699 | mittel- mäßig |

Berechnet vom Berichterstatter

Gegenteil, nämlich daß auf die „Acidität“ der Hochmoorsubstanz die darin vorkommenden Säuren nur einen geringen Einfluß haben. Dabei bleibt es fraglich, ob die nachgewiesenen Säuren wirklich, wie G. Fischer annimmt, ausschließlich auf das Konto organischer Säuren zu setzen sind. Das scheint aber nicht der Fall zu sein, denn Fischer konstatierte in allen Proben eine positive Reaktion auf Lackmus, Chlor und zum Teil auch auf Schwefelsäure. Daß keine nachweisbaren Mengen Salpetersäure gefunden wurden, befremdet keineswegs. Dagegen fällt auf, daß nicht größere Spuren Phosphorsäure nachweisbar waren. Es sei auf die Tabelle II dieser Abhandlung verwiesen, aus der hervorgeht, daß selbst die sehr phosphorsäurearmen Hypnum- und Sphagnumtorfe größere Spuren wasserlöslicher Phosphorsäure enthalten, ja sogar für diese nährstoffarmen Torfe mehr wasserlösliche Phosphorsäure gefunden wurde als für die nährstoffreichen Wiesenmoore. Die Filtration der Wasserextrakte nahm Verfasser in gewöhnlicher Weise durch Papierfilter vor, während G. Fischer die Extrakte durch Pergament- schläuche vier Wochen dialysierte. Bei der geringen Acidität,

welche G. Fischer für die Hochmoortorfe fand, ist jedoch die Frage über das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein größerer oder kleinerer Mengen anorganischer Säuren von ganz nebensächlicher Bedeutung. G. Fischer gibt an, daß sich bei Verwendung von Konzentrationsketten der Säuregehalt des Bodens nicht nur qualitativ, sondern auch mit größter Genauigkeit quantitativ bestimmen läßt. Auf Grund dieser Aussage muß man annehmen, daß G. Fischer im Hochmoor entweder nur lösliche Säuren voraussetzt, oder daß er die Anschauung vertritt, für die „Bodenacidität“ seien nur wasserlösliche Säuren in Betracht zu ziehen.

G. Fischer konnte also bloß $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{1000}$ der Gesamtacidität des Sphagnumtorfes auf das Vorkommen von Säuren zurückführen. Damit ist aber durchaus noch nicht nachgewiesen, daß der saure Charakter des Hochmoortorfes auf „freie Humussäuren“, die beim Vertorfungsprozeß entstehen sollen, ausschließlich zurückzuführen ist, wie man bisher allgemein annahm.

Es kommt also bei der Frage nach der „Acidität“ der Hochmoore gar nicht darauf an, ob man im Torf bzw. in daraus hergestellten Kolloidpräparaten ²⁶⁾ geringe Mengen freier Säuren nachweisen kann, sondern der Schwerpunkt liegt darin, ob man Säuren oder Kolloide für die übrigen (99,0 bis 99,9) Prozente der „Gesamtacidität“ des Torfes verantwortlich machen will oder nicht. Es besteht kein Zweifel, daß dem Hochmoor durch fortgesetztes Auswaschen mit Wasser oder Laugen geringe Mengen von Säuren oder Kolloide von säureähnlichem Charakter entzogen werden können. Man beschäftige sich aber endlich einmal mit den nicht extra-

²⁶⁾ Die Drucklegung vorliegender Abhandlung verzögerte sich infolge der Kriegswirren um mehrere Monate. Inzwischen erschien in dem Archiv för kemi, mineralogi och geologi, Bd. 5, Nr. 15, noch eine weitere Arbeit über die Humussäuren, verfaßt von Sven Odén. Sie stellt eine kleine Erweiterung Sven Odéns erster Humussäurearbeit dar. Darin wird bestritten, daß die aus Humus mittels Ammoniak gewonnene Humussäure ein Kunstprodukt sei und behauptet, daß neben Adsorptionen auch Humatbildungen einherlaufen, was besonders bei dem Humus der Fall sei. Da von mir das Vorkommen von Säuren in Sphagnen und Humus nie geleugnet wurde, Sven Odén aber gleich den anderen Forschern nicht zu beweisen vermag, daß sich die Acidität der Sphagnen bzw. des Humus wenigstens der Hauptsache nach auf bei der Vertorfung entstehende „Humussäuren“ zurückführen läßt, so bedürfen meine Ausführungen keiner Berichtigung.

hierbaren „Aciditätssubstanzen“ und spreche sich über deren Eigenschaften bzw. Abstammung aus. Daß bei der Vertorfung keine „Säureanhäufung“ stattfindet und sonach auch keine „Humussäuren“ entstehen, zeigen übrigens auch die Untersuchungen G. Fischers, fand er doch für die jüngeren, schwächer zersetzten Sphagnumtorfe stets eine wesentlich größere Acidität als für die älteren, stärker zersetzten.

Mitteilungen und wissenschaftliche Nachrichten.*)

Erläuterung zu den Ausführungen von Professor Dr. Paul Rohland.

In Heft 2 des fünften Bandes dieser Zeitschrift bringt Paul Rohland auf Seite 102 eine Arbeit („Ueber die Adsorptionsfähigkeit der Böden. II“), in deren Verlauf er sich, wie schon gelegentlich früher, mit einem Aufsatz von mir beschäftigt, um seiner Ansicht nach darin vorhandene Fehler richtigzustellen.

Er sagt auf Seite 111 unten:

„In der „Chemiker-Zeitung“ ist ein Sammelreferat über die Adsorptionsfähigkeit der Böden usw. von P. Ehrenberg erschienen, das eine Richtigstellung notwendig macht. P. Ehrenberg behauptet nämlich, daß ich nach dem Vorgange des Amerikaners H. Ashley eine Bestimmungsmethode der Kolloidstoffe in den Böden angegeben habe, und daß schon früher deutsche und holländische Forscher sich mit dieser Aufgabe beschäftigt haben.

Das ist unrichtig.

Erst auf Grundlage meiner kolloidchemischen Untersuchungen über die Tone¹¹⁾ konnte H. Ashley wie die übrigen eine derartige Methode angeben.

¹¹⁾ Vergl. Zeitschr. für anorganische Chemie, 1902: Ueber die Plastizität der Tone. Ferner: Die Tone, A. Hartleben, Wien 1909.“

Schon früher habe ich an anderem Orte¹⁾ darauf hinweisen können, daß Paul Rohland in der außerordentlich hohen Einschätzung der Bedeutung seiner Aufsätze über die Kolloideigenschaften des Tons, die er selbst stets zeigt, der Wichtigkeit früherer Arbeiten nicht gerecht wird, ja, man darf wohl ohne Uebertreibung sagen, nicht annähernd gerecht wird. Was die Färbung von Böden zu dem Zwecke der Bestimmung der darin enthaltenen Kolloidstoffe anbetrifft, so ist schon 1902 von B. Sjollema eine Veröffentlichung hierüber fertiggestellt worden. Hierauf habe ich bereits im Jahre 1909 Paul Rohland gegenüber hingewiesen²⁾, ja sogar einen kurzen Auszug aus der Veröffentlichung Sjollema's gegeben. Trotzdem bringt Rohland jetzt die oben wiedergegebene Behauptung.

*) Für die in dieser Rubrik veröffentlichten Zuschriften übernehmen wir keinerlei Verantwortung.

¹⁾ Kolloidzeitschrift, damals noch „Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide“, 5, Heft 2, Seite 100, bzw. 101.

²⁾ Ebendort.

Die einzige Erklärung hierfür schien mir zu sein, daß vielleicht B. Sjollema für seine 1902 fertiggestellte Abhandlung die im Jahre 1902, also im gleichen Jahre, erschienenen Ausführungen Rohlands benutzt habe, obwohl dies der Zeit nach nicht gerade sehr wahrscheinlich war, Rohland auch keinen Beweis dafür anführt. Zudem besteht die Abhandlung Rohlands vom Jahre 1902³⁾ aus ganzen zwei Druckseiten, in welchen weder ein einziger eigener Versuch, noch überhaupt auch nur ein Wort von der Wirkung von Farbstoffen auf Tone zu finden ist. Um aber ganz sicher zu gehen, habe ich mich an Herrn Kollegen B. Sjollema in Utrecht mit der Bitte um Auskunft darüber gewandt, ob er die Ausführungen Rohlands in der Zeitschrift für anorganische Chemie 1902 gekannt und benutzt habe, als er seine Abhandlung über die Anwendung von Farbstoffen bei Bodenuntersuchungen schrieb, auf die ich oben Bezug genommen habe.

B. Sjollema antwortet mir darauf wie folgt: „Antwortlich Ihrer w. Zeitschrift vom 11. d. Mts. kann ich Ihnen mitteilen, daß die Veröffentlichung von P. Rohland in der Z. f. anorg. Ch. 1902 niemals von mir benutzt ist. Meine Untersuchungen waren auch schon früher ausgeführt worden. Die Beweise dafür liefern meine offiziellen Jahresberichte der Landwirtschaftlichen Vers.-Station Groningen, welche jährlich im Januar von der Regierung herausgebracht wurden und abgedruckt sind in: Verzameling van Verslagen u. s. w. bezüglich Unterricht, Versuchswesen u. s. w. auf dem Gebiete der Landwirtschaft. . . Im Jahre 1902 habe ich die Arbeit von Rohland noch nicht gekannt; überhaupt hat Herr Rohland niemals auch nur den geringsten Einfluß auf meine Arbeiten ausgeübt.“

Hiernach besteht die zweifellose Tatsache, daß, ehe P. Rohland in der Literatur, die er selbst angibt, auch nur ein Wort über die Wirkung von Farbstoffen auf den Ton mitgeteilt hat, und völlig ohne Kenntnis der Rohlandschen zwei Seiten umfassenden Mitteilung über die kolloiden Eigenschaften des Tons überhaupt, schon ein holländischer Forscher sich mit der Bestimmung der Kolloidstoffe im Boden durch Färbemethoden beschäftigte.

Aber weiter:

Auf der Naturforscherversammlung zu Breslau 1904 teilten A. Emmerling und E. Sieben ein Verfahren mit, das gleichfalls auf Färbung zur Ermittlung kolloider Bodenbestandteile herauskam.⁴⁾ Eine Anfrage, ob diese Forscher etwa Rohlands Mitteilung aus dem Jahre 1902 gekannt und benutzt hätten, — daß dies schon des Inhalts dieser Mitteilung halber sehr unwahrscheinlich gewesen wäre, habe ich bereits erwähnt, — war leider nicht mehr möglich, da Professor Dr. A. Emmerling, der Direktor der agrilkulturchemischen Versuchsstation Kiel, bereits seit Jahren verstorben ist. Seinen damaligen Assistenten jetzt im Kriege aufzufinden, dürfte natürlich kaum möglich sein. Immerhin ist auch hier die Wahrscheinlichkeit eine sehr große, daß Emmerling und Sieben entweder Rohlands Mit-

³⁾ Zeitschrift für anorganische Chemie, **31**, 158 (1902).

⁴⁾ Verhandlungen der Gesellsch. deutscher Naturforscher und Aerzte, 76 (Breslau 1904), Naturw. Abteilg.

teilung nicht gekannt haben, oder aber, wenn sie dieselbe kannten, durch sie in keiner Weise bei der Feststellung ihrer Färbemethode unterstützt worden sind. Ich wiederhole, daß Rohlands Mitteilung aus dem Jahre 1902 auch nicht ein Wort über Färben von Ton oder Erdboden bringt!

In Wirklichkeit hat Rohland nach seiner eigenen Angabe die erste Mitteilung über das Verhalten von schwarzen, hochplastischen Tonen — nicht von Erdboden — gegen Farbstoffe im Jahre 1905 veröffentlicht! Er sagt ⁵⁾ nämlich selbst: „Gelegentlich habe ich die Beobachtung gemacht, daß schwarze, hochplastische Tone ... einfach zusammengesetzte, gefärbte Stoffe ... nicht festhalten, sondern diffundieren lassen. Dagegen werden kompliziert zusammengesetzte Farbstoffe zurückgehalten.“ Hierbei führt er hinter „habe ich die Beobachtung gemacht“ als Anmerkung an: Zeitschrift für Elektrochemie, **11**, 28 (1905). Hätte er früher öffentliche Mitteilungen über diese Frage gemacht, so wäre er gewiß nicht deren ziffermäßige Angabe schuldig geblieben.

Sowohl Sjollemas wie Emmerling und Siebens Mitteilungen liegen zeitlich früher!

Damit glaube ich für den Leser genug Unterlagen, die jederzeit für jeden nachzuprüfen sind, gegeben zu haben, um über den vorliegenden Fall zur Klarheit zu kommen. Welche Angaben der Vorwurf der Unrichtigkeit trifft, dürfte klar auf der Hand liegen. Um aber noch deutlicher zu zeigen, wie irrtümlich Rohlands Ansicht ist, daß die verschiedenen Versuche, durch Färbung von Bodenteilen Aufklärung über die Eigenschaften des Bodens zu gewinnen, auf seine Mitteilungen zurückgehen, teile ich hier mit, daß die wirklich ältesten Versuche, schweren Boden durch Farbstoffe irgendwie näher kennen zu lernen, bereits im Jahre 1895 von W. R. Williams bekannt gegeben worden sind. ⁶⁾ Schließlich hat G. Appelt ⁷⁾ schon im Jahre 1889 darauf hingewiesen, daß der feinverteilte Humus den Tonteilchen farbstoffartig anhaftet.

Wende ich mich nun zu der Frage, ob H. Ashley seine Methode auf der Grundlage der kolloidchemischen Untersuchungen Rohlands über die Tone angegeben hat, so muß ich zunächst feststellen, daß Ashley meines Erachtens nirgends Angaben macht, aus denen eine so maßgebende Bedeutung der Rohlandschen Mitteilungen für ihn zu entnehmen wäre. ⁸⁾ Viel eher

⁵⁾ Zeitschrift für anorganische Chemie, **56**, 46 (1907).

⁶⁾ Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, **18**, 270/71 (1895).

⁷⁾ Pflanze und Boden (Breslau 1889), 63.

⁸⁾ Im Gegenteil, Ashley sagt, a. a. O. 43: „The present writer having the information that colloids absorb dyes, but without any details, also sought to apply this principle to the measurement of plasticity.“ Hier wäre wohl der Ort gewesen, an dem der amerikanische Forscher Rohland genannt hätte, wenn er in dessen Arbeiten die Grundlage seiner Untersuchungen selbst gesehen hätte. Aber weder Rohland noch seine kolloidchemischen Untersuchungen werden erwähnt.

⁹⁾ U. S. Geological Survey, Bull. 388 (1909).

möchte man annehmen, daß der von Ashley in der Einleitung seiner Arbeit ⁹⁾ ausführlich genannte Th. Schloesing auf Ashleys Ansichten von Einfluß gewesen ist. Doch sei dies nun der Fall oder nicht, es ist festzustellen, daß gerade die beiden Arbeiten, die Rohland in seiner hier in Frage stehenden Mitteilung ¹⁰⁾ anführt, nämlich die Zeitschrift für anorganische Chemie, 1902: Ueber die Plastizität der Tone, und zweitens: Die Tone, A. Hartleben, Wien 1909, von H. Ashley überhaupt nicht einmal erwähnt werden, sondern nur zwei Arbeiten Rohlands aus dem „Sprechsaal“ vom Jahre 1906. ¹¹⁾ Das wirkt nicht gerade bestätigend für Rohlands Mitteilung, daß Ashley erst auf der Grundlage von Rohlands kolloidchemischen Untersuchungen über die Tone in der Zeitschrift für anorganische Chemie von 1902 und in dem bei Hartleben in Wien erschienenen Buch über die Tone seine Färbemethode habe angeben können. Ich kann aber die Genauigkeit von Rohlands Angaben auch hier noch deutlicher dartun.

Schon in seiner Mitteilung in den Landwirtschaftlichen Jahrbüchern über eine Bestimmungsmethode der Kolloidstoffe in den Böden ¹²⁾ stellt Rohland die gleiche Behauptung bezüglich Ashleys auf, wie in der hier in Frage stehenden Literaturstelle. Er sagt dort ¹³⁾: „Und in der Tat hat schon ein Amerikaner, H. Ashley, auf Grundlage meiner kolloidchemischen Untersuchungen über die Tone ⁴⁾ den Versuch gemacht, eine Methode zur quantitativen Bestimmung (der Kolloidstoffe) ¹⁴⁾ in den Tönen wenigstens, mit Hilfe des Adsorptionsphänomens zu finden.“

⁴⁾ A. Hartleben, Die Tone. Wien 1909.“

Als Beleg für seine Behauptung führt er indessen hier nur, wie man sieht, sein bei Hartleben in Wien erschienenen Buch über die Tone an. Dies soll wohl demnach Ashley die Rohlandschen kolloidchemischen Untersuchungen über die Tone vermittelt haben. Daß Ashley es allerdings nicht erwähnt, sagte ich bereits. Es kommt aber noch ein Umstand hinzu, der es ganz deutlich macht, daß Ashley dieses Buch überhaupt gar nicht als Grundlage benutzt haben kann, wie Rohland dies annimmt; weil nämlich der Beginn seiner Arbeiten zeitlich erheblich vor Erscheinen desselben gelegen hat. Denn nach den eigenen Angaben von Ashley wurden erste Mitteilungen über seine Färbungsversuche von Tönen schon im Mai 1908 in einer Sitzung der Pittsburger Abteilung der amerikanischen Chemischen Gesellschaft gemacht ¹⁵⁾, die ersten Untersuchungen Ashleys dürften demnach spätestens im Anfang des Jahres 1908 durchgeführt worden sein. Rohlands Buch aber trägt die Jahreszahl 1909.

¹⁰⁾ Vgl. oben, Seite 1.

¹¹⁾ Vgl. Ashley, a. a. O. 60.

¹²⁾ Landwirtschaftliche Jahrbücher, **42**, 329 (1912).

¹³⁾ A. a. O.

¹⁴⁾ Von mir ergänzt.

¹⁵⁾ Vgl. Ashley, a. a. O. 43.

¹⁶⁾ U. S. Department of Agriculture, Bureau of Soils, Bulletin **52**, 33 (1908).

Als letzten Umstand will ich die Tatsache erwähnen, daß die beiden Amerikaner H. E. Patten und W. H. Waggamann in ihrer Literaturzusammenstellung über die „Absorption bei Böden“¹⁶⁾ bei Gelegenheit der Besprechung der „selektiven Absorption von Farbstoffen durch Böden“ wohl auch die hier herangezogene Arbeit von Sjollema anführen und dann Untersuchungen von Cameron und Patten, sowie Cameron und Bell, dagegen des Namens und der Arbeiten von Rohland keine Erwähnung tun. Ja, die ganze Literaturzusammenstellung von Patten und Waggamann enthält den Namen Rohland überhaupt nicht! Da nun Ashley die Arbeiten von Patten gut kennt, führt er doch Cameron und Pattens Untersuchungen über die Aufnahme von Farbstoffen durch Lehmboden¹⁷⁾ usw. an¹⁸⁾, so dürfte es sehr nahe liegen, daß er aus Pattens Veröffentlichungen auf den Gedanken gebracht wurde, Böden bzw. Tone mit Farbstoffen zu behandeln. Dafür, daß Rohlands Mitteilungen hierfür die ihnen von ihrem Autor zugeschriebene Bedeutung besitzen, liegt durchaus keine Wahrscheinlichkeit vor.

Damit sei meine Beweisführung über den hier vorliegenden Fall einer „Unrichtigkeit“ geschlossen. Sie ist nur für den an der Frage interessierten Leser bestimmt, da ich nach dem Verhalten Rohlands bei literarischen Auseinandersetzungen mit einer Reihe von Kollegen, wie auch bereits mit mir, kaum annehmen darf, daß er sich auch durch diese Nachweise überzeugen lassen wird.

Göttingen, Agrikulturchemisches Institut der Universität,

22. Mai 1915.

Prof. Dr. Paul Ehrenberg.

*

Erwiderung auf die Ausführungen von Professor Paul Ehrenberg.

Ich halte zwar *Prioritätsstreitigkeiten* für recht langweilig und energievergeudend, aber ich muß mich dagegen verwahren, daß von manchen Seiten, z. B. auch in einer von Ehrenberg mir kürzlich gesandten Arbeit, meine Untersuchungen über die Tone und tonigen Böden, nicht nur bezüglich ihrer *Adsorptionsfähigkeit* gegen Farbstoffe, absichtlich übergangen werden, während in der genannten Arbeit Autoren, die sich nur vorübergehend mit dieser Materie befaßt haben, ausführlich erwähnt worden sind.

Trotz der langen Ausführungen P. Ehrenbergs bleibt seine Bemerkung im Sammelreferat der „Chemiker-Zeitung“ vollständig unrichtig. Ich habe nicht nach dem Vorgange des Amerikaners H. Ashley eine Bestimmungsmethode der Kolloidstoffe in den Böden angegeben, sondern erst auf Grundlage meiner Untersuchungen konnte dies Ashley tun, wenn er auch mich nicht zitiert hat.

¹⁷⁾ Journ. Phys. Chem., **11**, 581 (1907). Trans. Amer. Electrochem. Society, **10**, 67 (1907).

¹⁸⁾ A. a. O. 34.

Meine Untersuchung in der Zt. für anorganische Chemie¹⁾ über die Plastizität der Tone war die erste, die den Zusammenhang zwischen Plastizität und Kolloidalität der Tone und tonigen Böden aufdeckte, und erst nachher haben sich auf einmal viele Agrikulturchemiker mit diesem Thema beschäftigt. Meine erste Untersuchung über die Adsorptionsfähigkeit der Tone gegenüber kompliziert zusammengesetzten Farbstoffen und kolloidgelösten Stoffen stammt aus dem Jahre 1905.²⁾

Die Arbeiten von Sjollega (1905) und Emmerling und Sieben (1904) sind mir gänzlich unbekannt.

Die Arbeit von Ehrenberg stammt erst aus dem Jahre 1908.

Wohl aber haben mich die Prof. Emmerich und Ramann in München um Zusendung von Sonderabdrücken meiner „hochinteressanten“ Untersuchungen über die Tone und tonigen Böden gleich nach ihrem Erscheinen gebeten.

Wie hoch P. Ehrenberg seine eigenen Arbeiten auf diesem Gebiete einschätzt, ist mir unbekannt; ich schätze sie jedenfalls nicht sehr.

Stuttgart, 19. Juni 1915.

Prof. Dr. Paul Rohland.

¹⁾ 31, 158, 1902.

²⁾ Die Tone als semipermeable Wände. Z. für Electrochemie, 28, 1905.

Referate.

Beitrag durch Erhitzen sterilisierter Erde. Von Dr. Vogel. (Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde. Bd. 40, 2, 1914 p. 280.)

Durch Erhitzen von Erdboden treten mehr oder minder weitgehende Veränderungen der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens auf. Verf. macht in kurzer Mitteilung davon Kenntnis, daß ein erhitzter, natriumnitrathaltiger Boden, der — da durch das Erhitzen die Bakterien abgetötet worden waren — neuerlich mit nitratreduzierenden Bakterien geimpft worden war, bald den Auftritt von Nitrit nachweisen ließ. Begünstigt wurde diese Umwandlung durch Feuchtigkeit. Ein nicht erhitzter nitrathaltiger Boden zeigte diese Reduktion trotz gleicher Impfung nicht. Verf. führte diese Versuche an einem mittelschweren und schweren Versuchsfeldboden, sowie am humosen Sandboden aus. Er erklärt diese Erscheinung damit, daß die nitratreduzierenden Bakterien auf Kosten der durch das Erhitzen aufgeschlossenen und nun aufnehmbar gewordenen organischen Substanz sich vermehrten und hierbei die Reduktion zu Nitrat bewirken. Die durch das Erhitzen assimilierbar gewordenen Nährstoffe hatten jedoch bei der Versuchsanordnung des Autors zu einem restlosen Verbrauch des Natriumnitrats nicht ausgereicht. Ne uß.

*

Geologische Karte von Preußen und den benachbarten Bundesstaaten. Herausgegeben von der Königlich Preußischen Geologischen Landesanstalt, Berlin 1915.

Die Lieferung 175 umfaßt ein an der Elbe bei Wittenberg gelegenes Gebiet, das sich von dem Südabhang des Flämings südwärts bis in die Nähe von Düben an der Mulde erstreckt. Im Südwesten sind noch die zahlreichen Braunkohlengruben von Bitterfeld zur Darstellung gebracht.

Festes Gebirge ist vereinzelt beobachtet worden, teils in Bohrungen (Oberkarbon), teils anstehend (Quarzporphyr des Muldensteins und Orthoklasporphyr bei Burgkemmnitz).

Weit verbreitet im ganzen Gebiet sind Ablagerungen der Tertiärformation. So wurden nachgewiesen: Terrestrisches Eocän, im Südwesten des Gebietes durch Bohrungen erschlossen; weit verbreitet ist überall der mittelligocäne Septarienton, der in größeren Flächen von Süßwasserbildungen des Miocäns überlagert wird.

Das Diluvium ist nördlich der Elbe als Bildung der letzten, südlich der Elbe als solches der letzten und vorletzten Vereisung wiedergegeben. Bemerkenswert ist das Auftreten interglazialer und interstadialer Ablagerungen, nämlich von Torf, Kalkfaulschlamm und von Kiesen, die in dieser Gegend weit verbreitet sind. Eigentümlich sind die Lagerungsverhältnisse gewisser tertiärer und altdiluvialer Komplexe; sie sind durch Eisdruck in zahlreiche Falten gelegt oder einseitig emporgedrückt worden.

Zur Alluvialzeit wurden die großen Stromtäler der alten Ur-Elbe und Ur-Mulde, die bis dahin die Schmelzwässer des Eises abgeführt hatten, vor allem mit Schlick, teilweise auch mit Sand ausgefüllt.

*

Wie groß ist die Oberfläche eines Grammes Erdboden? Von Paul Ehrenberg. (Fühlings Landw. Zeitung, 1914, S. 725. [I. Mitt.])

Verf. stellt sich diese Frage zur Beantwortung, in der Erkenntnis, daß jene nicht etwa bloß ein akademisches Interesse biete, sondern auch praktisch für die Bodenkunde bedeutungsvoll sei, insofern viele chemische und physikalische Eigenschaften eines Bodens von seiner Oberflächengröße abhängig sind.

Wie der Autor einleitend bekanntgibt, beschäftigte diese Frage bereits Whitney (1892), F. Houdaille und F. Semichon (1892), A. Mitscherlich u. a. m. Im Gegensatz zu den Befunden der drei ersten Forscher stehen jene von A. Mitscherlich; diese ergeben für einen ähnlichen (Ton-) Boden, wie ihn Whitney, Houdaille und Semichon untersuchten, einen 500—1000fach höheren Oberflächenwert. Dies rührt daher, daß Mitscherlich sich zur Bestimmung der Oberfläche der Rodewald-Mitscherlichschen Hygroskopizitätsmethode bediente.

Ehrenberg beginnt zunächst deduktiv die geringe Wahrscheinlichkeit der auf Grund der Hygroskopizitätsbestimmung erhaltenen Zahlen nachzuweisen: Vergleicht man — unbeschadet der ja nicht ohne weiteres übertragbaren Verhältnisse — Mitscherlichs Befund für im Mörser gepulverten feinen Quarzsand mit 30 000 qcm mit dem von Langergreen für Tierkohle gefundenen Oberflächenwert von 40 000 qcm, die doch bekanntermaßen alle übrigen Stoffe an Adsorptionskraft übertrifft, so erscheint demgegenüber Mitscherlichs Wert überraschend hoch, während die Werte der obigen übrigen Forscher von 5500—7500 qcm für Tonboden als den Versuchen Langergreens entsprechend anzusehen wären. — Eine weitere Ueberlegung zugunsten der Whitneyschen usw. Befunde ist die folgende: P. Vageler errechnet auf Grund der Mitscherlichschen Zahlen die spezifische Oberfläche (Oberfläche mal Vol.) für Boden bis zu $2,5 \cdot 10^7$. Da jedoch Kolloide eine spez. Oberfläche von $5 \cdot 10^4$ bis $5 \cdot 10^6$ haben, so müßten die von Mitscherlich untersuchten Böden zum Teil ganz aus Kolloiden bestehen, zum Teil wäre ihre Größe noch unterhalb dieser und führte sogar in das Gebiet der Ionen und Elektronen. Vageler errechnet auf Grund dieser Ueberlegung die von Mitscherlich aus der Hygroskopizität bestimmte Oberfläche als etwa 200 mal zu groß. K. Pfeiffer findet für Quarzsand ebenfalls eine Oberfläche von 100—200 qcm, Werte, welche

mit jenen *Whitneys* sowie *Houdailles* und *Semichons* sich vergleichen lassen, während hier *Mitscherlichs* Werte ca. 500 mal zu groß erscheinen.

Wie *Ehrenberg* weiter mitteilt, wurde auch die Benetzungswärme der Bodenarten zur Ermittlung ihrer Oberflächengröße heranzuziehen gesucht und zwar von *G. J. Parks*. Wiewohl *Parks* Werte (der Kieselsäure, Sand oder Glas als Untersuchungsmaterial verwandte) nicht ohne weiteres auf die Böden übertragbar sind, so geben sie doch ein Bild, welcher der beiden Größenordnungen sie zufallen. Unter Einhaltung der *Mitscherlichschen* Bestimmungsmethode zur Benetzungswärme und unter Einsetzung seines eigenen Wertes einer Benetzungswärme von 15 Kal. für das Gramm, sowie unter Einsetzung der von *Parks* gefundenen Größe einer Wärmeentwicklung von 0,00105 Kal. auf den Quadratzentimeter errechnet sich die Oberfläche eines Grammes strengen Tonbodens auf ca. 14 000 qcm, während die Resultate auf Grund der Hygroskopizitätsbestimmung für diesen Boden eine Oberfläche von über $9\frac{1}{2}$ Millionen qcm ergeben würden, also 200 mal größer als die der Tierkohle.

Diese Wahrscheinlichkeitsbefunde auch beweiskräftig zu gestalten, bildet die weitere Aufgabe des Verfassers.

In würdiger, sachlicher und origineller Weise sucht *Ehrenberg* *Mitscherlichs* Befunde zu widerlegen, indem er vorerst auf dessen eigener These aufbaut: „Die Hygroskopizität umhüllt die Oberfläche jedes Moleküls eben mit einer Molekülschicht Wasser“ und dann die Frage aufwirft: Stimmt nun das Gewicht der Molekülschicht Wasser eines Grammes Erdboden bei der von *A. Mitscherlich* angenommenen Oberflächenausdehnung mit der wirklich bei der Ermittlung der Hygroskopizität festgestellten Wasseraufnahme überein?

Unter Verwendung verschiedener Grundlagen berechnet *Ehrenberg* das Gewicht der Molekülschicht Wasser, welche einen Quadratmeter Fläche bedeckt, auf 3,5—4,08 mg, wobei diese Zahlen Grenzwerte vorstellen, die bei engster Lagerung der kugelig gedachten Moleküle zutreffen würden. Zwischen diesem und dem anderen Grenzwert, den man erhält, wenn man sich die Lagerung der Moleküle im flüssigen Wasser unter gewöhnlichen Verhältnissen vorstellt, ist die tatsächliche Lagerung der Moleküle bei der Hygroskopizität anzunehmen. Das Gewicht einer, einen Quadratmeter Fläche bedeckenden Molekülschicht Wasser errechnet Verf. auf Grund von Ueberlegungen, deren Einzelheiten hier zu weit führen würden, auf 0,309 mg. — Nicht ganz einfach ist nun die Frage: Welchem der beiden Grenzwerte nähern sich die Verhältnisse, die uns bei der Hygroskopizität vorliegen? Auf Grund der Angaben einiger Forscher über die Verdichtung adsorbierter Wasserschichten nimmt *Ehrenberg* mit einer, seiner Beweisführung ungünstigen, aber deshalb diese selbst um so sicherer gestaltenden Vorsicht das Gewicht der häufig besprochenen Wasserschicht mit 0,5 mg an. Unter Zugrundelegung dieses Wertes und der Annahme, daß es sich bei der Hygroskopizität nur um eine Wasserschicht von einem Molekül Dichte handle, betrüge die Wasseraufnahme eines Grammes Bodens bei der Hygroskopizität dann nahezu ein halbes Gramm; in Wahrheit fand *Mitscherlich* nur

eine Aufnahme von 0,2 g. Nun ist aber anzunehmen, wie verschiedene Befunde deuten, daß bei der Hygroskopizität nicht eine, sondern etwa 10 Molekülschichten übereinanderliegend anzunehmen sind. Mit diesem Zahlenmaterial errechnet man Zahlenwerte, die den eingangs dieses Referates erwähnten Oberflächenwerten von Whitney usw. nicht unerheblich näher kommen. — Endlich verweist Verf. kurz auch darauf, daß sich so manche Salze die Gelegenheit, Hydratwasser aufzunehmen, bei der Hygroskopizitätsbestimmung nicht entgehen lassen werden.

Mit diesem Hinweis trifft Ehrenberg die Achillesferse der Verwendung der Hygroskopizitätsbestimmung für die Bestimmung der Oberfläche. Analytische Untersuchungen und anschließende Berechnungen, welche Mengen Hydratwasser z. B. ein Tonboden gegenüber dem Hygroskopizitätswasser aufzunehmen vermag, ergäbe sicher einen Teil der Differenz zwischen der Ehrenbergschen Ermittlung und der Mitscherlichschen Größenordnung. Besonders aber das Vorhandensein der Kolloide im Erdboden beeinflusst natürlich diese Bestimmung ganz erheblich. In einer weiteren Mitteilung berichtet Verf. des näheren hierüber. Ueber den II. Teil dieser Arbeit soll an dieser Stelle in nächster Nummer referiert werden.

Neuß.

*

Geologische Karten von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Maßstab 1 : 25 000. Herausgegeben von der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt. Lieferung 178. Berlin 1914.

Die vorliegende Lieferung bringt auf den Blättern Bledau, Cranz (Gradabteilung 18, Nr. 2 und 1), Neukuhren, Rauschen, Groß-Dirschkeim, Palmnicken, Lochstädt (Gradabteilung 17, Nr. 6, 5, 4, 10, 16 und 22) die ganze samländische Küste und auf den Blättern Powunden, Rudau (Gradabteilung 18, Nr. 8 und 7), Pobethen und Germau (Gradabteilung 17, Nr. 12 und 11) den dahinterliegenden Festlandsstrich zur Darstellung. Außerdem enthält sie von der Steilküste zwischen Garbseiden (Westrand des Blattes Cranz) und dem Lochstädter Wäldchen (Südrand des Blattes Lochstädt) auf einer Länge von rund 55 km ein zusammenhängendes Profil im Maßstabe 1 : 5000 der Länge und 1 : 1000 der Höhe.

Unter Samland versteht man bekanntlich die durch ihren Bernstein seit altersher bekannte Landschaft, welche in Gestalt eines ostwestlich gestreckten Rechteckes, im Westen begrenzt von der Ostsee, im Norden von Ostsee und Kurischem Haß, vom übrigen Ostpreußen durch die Deime im Osten, den Pregel und das Frische Haß im Süden abgetrennt wird. Es ist ein fruchtbares, seit vielen Jahrhunderten dicht besiedeltes Gebiet, an dessen landschaftlich z. T. reizvoller Küste heute eine Anzahl weit bekannter Bäder liegt. Geologisch ist es von besonderer Wichtigkeit, weil in seinem nordwestlichen Teile — im Bereich der Blätter Neukuhren, Rauschen, Groß-Dirschkeim, Palmnicken, Germau und Pobethen — die unteroligocänen Bernstein- oder Glaukonitformation mit der Blauen Erde ansteht und an der Steilküste der vier erstgenannten Blätter in z. T. viele Meter mächtigen Aufschlüssen zutage tritt.

Die älteste, durch Tiefbohrungen im ganzen Gebiet lückenlos anstehend nachgewiesene Formation ist das Ober-Senon. Die liegendsten Tertiärschichten sind die ihrer Stellung nach — ob miocän oder unteroligocän — noch unsicheren Grauen Letten; darüber folgt dann das eigentliche Unteroligocän, das z. T. bereits (von der wilden Erde aufwärts) an der Steilküste zutage tritt, aber nicht mehr lückenlos im ganzen Gebiete vorhanden ist (auf größeren Flächen wird die Kreide unmittelbar vom Diluvium überlagert). Noch mehr zerstückelt ist die nächst höhere Abteilung des Tertiärs, die Braunkohlenformation, die gleichfalls in großen Aufschlüssen, z. T. horstartig, längs der Steilküste zutage ansteht. Alles überlagert endlich in stellenweise recht beträchtlicher Mächtigkeit das Diluvium, welches bei Steinitten (Blatt Bledau) eine etwa 4 km lange Scholle Unteroligocän im Geschiebemergel schwimmend enthält.

Von Endmoränen haben sich zwei große Züge mit Zwischenstufen feststellen lassen, deren einer, die sogenannte samländische Hauptendmoräne, aus der Gegend von Palmnicken nach SO. verläuft, während der zweite, nördlichere, die Endmoräne des Nadrauer Berges, mehr ostwestlichen Verlauf besitzt. Auch verschiedene Oszüge sind vorhanden; ihr bedeutendster ist das sogenannte Alkgebirge. Terrassenmarken sind in verschiedener Höhe nachgewiesen. Besonders ausgedehnt und wichtig sind Marken in etwa 15 m Meereshöhe.

Für die Gliederung des Diluviums haben die ausgedehnten und mächtigen Aufschlüsse längs der Steilküste keinen Anhalt ergeben. Wenn auch die Mehrzahl der im Tertiär benachbarten Störungen auf Wirkungen der diluvialen Gletscher zurückzuführen sind, so haben die Aufnahmen doch auch wieder ergeben, daß das Tertiär auch von tektonischen Störungen betroffen ist.

Für den Fachmann dürfte gerade die vorliegende Lieferung besonderes Interesse haben, da sie das östlichste Vorkommen zutage anstehenden vor-diluvialen Gebirges inmitten der weiten Diluvialdecke unseres Vaterlandes behandelt.