

Untersuchungen über Faziesbestimmung von Tonen mittels Sedimentationsanalyse und Farbindikatoren

Von Dr. phil. **Fritz-Erdmann Klingner**, Leoben

Mit einer Tafel, fünf Abbildungen im Text, drei Tabellen

Übersicht: 1. Einleitung. 2. Sedimentationsanalyse. 3. Ursachen verschiedenen Sedimentationsgeschwindigkeit. 4. Der Humusgehalt der Tone und die Bestimmung der Tonreaktion mitt. Farbindikatoren. 5. Einfluß der Huminstoffe auf die Sedimentation der Tone. 6. Die Bestimmung der Tonfazies als Hilfsmittel der Paläogeographie und Paläolimnologie. 7. Kritik der Untersuchungsmethoden. 8. Zusammenfassung. 9. Benutzte Literatur

1. Einleitung

Eine auf Erdöl angesetzte Tiefbohrung im Wiener Becken bei Maria Lanzendorf, südlich von Wien, hatte tertiäre Schichten vom Pliozän bis zur zweiten Meditterranstufe in einer Mächtigkeit von über 1000 m durchsunken. Auf Anregung von Herrn Prof. Dr. W. Petrascheck, dem ich für die Überlassung des Materials meinen verbindlichsten Dank ausspreche,

unternah ich es, die aus dieser Bohrung stammenden Tone der Sedimentationsanalyse zu unterziehen, um nach Möglichkeit etwas über die Sedimentationsbedingungen der Tone zu erfahren. Schwierigkeiten, die sich dabei einstellten, nötigten mich dazu, noch andere Untersuchungsmethoden zu Hilfe zu nehmen.

Die Bohrung von Maria Lanzendorf war für derartige Untersuchungen noch aus dem Grunde hervor-

ragend geeignet, weil im Verhältnis zum heutigen Bohrpunkt die Lage der Küste vom Sarmat bis zum Levantin sich fast gar nicht verändert hat. Durch diese paläogeographisch günstige Lage wird ein wichtiger Faktor, der sonst solche Untersuchungen erheblich beeinträchtigen kann, fast vollkommen ausgeschaltet, nämlich die Abhängigkeit der Sedimentationsbedingungen von der Lage des Festlandes. Lediglich der Wasserspiegel des Pannonischen Sees hat sich in der Wiener Bucht allmählich gesenkt, wie die Strandterrassen beweisen, die den Alpenbruchrand bei Wien begleiten (vgl. Schaffer).

2. Sedimentationsanalyse

Ich möchte, dem Vorgange Schneiderhöhns folgend, die Bezeichnung „Sedimentationsanalyse“ für die Wiegnerische Versuchsanordnung vorziehen und den Ausdruck „Schlammanalyse“ auf die Apparatkonstruktionen beschränkt wissen, die mit einem fließenden und aufsteigenden Wasserstrom arbeiten.

Ich möchte von vornherein auf einen Unterschied in der von mir durchgeführten Sedimentationsanalyse im Gegensatz zu den bei bodenkundlichen Untersuchungen üblichen Methoden hinweisen. In der Bodenkunde kommt es darauf an, die wirklichen Korngrößenverhältnisse eines vorliegenden Bodens zu bestimmen. Nun sind aber Tone für die Sedimentationsanalyse ein sehr tückisches Objekt. Im Laufe der Sedimentation treten Koagulationserscheinungen auf. Dadurch wird natürlich eine wirkliche Korngrößenbestimmung erschwert. Die Tone werden also einer Vorbehandlung unterzogen, die Elektrolyte und Humussubstanzen entfernt. Dagegen benutze ich die Sedimentationsanalyse, um die natürlichen Bedingungen der Tonsedimentation zu untersuchen. Um das zu können, dürfen die Tone nicht irgendwie verändert werden. Kochen, Entfernen von Elektrolyten und ähnliche Vorbehandlungen sind in diesem Falle nicht zulässig. Eine Ausnahme machen einige Versuche, die zu Vergleichszwecken dienen. Natürlich läuft meine Anwendung der Sedimentationsanalyse letzten Endes auch auf eine Korngrößenbestimmung hinaus. Aber hier handelt es sich um scheinbare Korngrößen, die in Koagulationsvorgängen ihren Ursprung haben und darum von verschiedenen Faktoren abhängig sind. Und den Zusammenhang dieser Faktoren mit den scheinbaren Korngrößengruppen zu ermitteln, war das Ziel der vorliegenden Untersuchung. Eine Bestimmung der wahren Korngröße kommt nur dann in Frage, wenn man lediglich meinewegen den Sandgehalt eines Tones bestimmen will, um Anhaltspunkte für die Lage des Sedimentationsraumes zum Festlande zu gewinnen. Dann steht natürlich einer Entfernung störender Elektrolyte u. ä. nichts im Wege.

Für die Sedimentationsanalyse wurden nur bergfeuchte Tone genommen. Diese wurden durch dauerndes Durchkneten in destilliertem Wasser dispergiert. Größere Steinchen, Muschelschalen, Holzsplitter und Wergfasern wurden ausgelesen. Die Tonsuspension wurde nun in das weite Fallrohr des Wiegnerischen Schlammapparates gefüllt. Dieser Schlammapparat nach Wiegner (Abb. 1) besteht im wesent-

lichen aus zwei Glasröhren, dem Fallrohr F und dem Meßrohr M, beide Röhren sind mit einer Millimeterskala versehen. In das Fallrohr wird die Tonsuspension eingefüllt, wobei der Hahn H geschlossen bleiben muß. In das Meßrohr füllt man das Dispersionsmittel, in diesem Falle destilliertes Wasser. Nun wird bei geschlossenem Hahn der ganze Apparat ein paar Mal gekippt, damit die Tonsuspension gehörig durchgemischt wird. Danach wird die Schlämmröhre senkrecht aufgehängt, die Stopfen, mit denen die Röhren verschlossen werden können, entfernt. Öffnet man nun den Hahn H, so werden die beiden Röhren zu kommunizierenden Gefäßen im Sinne der Physik. Das spezifische Gewicht der Tonsuspension im Fallrohr ist größer als das des reinen Wassers im Meßrohr, infolgedessen drückt die Wassersäule im Fallrohr die Wassersäule im Meßrohr hoch. Man hat also in dem Niveauunterschied der beiden Flüssigkeitssäulen einen Anhaltspunkt, wie hoch das spezifische Gewicht der Tonsuspension ist. Verschieden schwere Flüssigkeiten stellen sich in kommunizierenden Röhren so ein, daß sich ihre Höhen umgekehrt verhalten wie ihre spezifischen Gewichte. Im Laufe des Versuches werden aber aus der Tonsuspension einzelne Teilchen der Schwerkraft folgend zu Boden sinken. Sie fallen dann aus dem Bereich des Fallrohres heraus und geraten in den Sedimentationssack S. Entsprechend der Menge der sedimentierten Teilchen verringert sich natürlich das spezifische Gewicht der Tonsuspension. Die Folge ist, daß der Wasserspiegel in dem Meßrohr sinkt. Man kann den Betrag des Absinkens an einer Skala ablesen und aus der Zeit des Absinkens die Sedimentationsgeschwindigkeit und die entsprechenden Korngrößen ermitteln.

Das Ergebnis der Ablesungen am Meßrohr wurde in Tabellen zusammengestellt. Ist die Sedimentation vollständig beendet, so ändert sich der Wasserspiegel nicht mehr. Dieser Nullpunkt zeigt also an, daß das spezifische Gewicht der Flüssigkeit in beiden Röhren gleich ist, also gleich dem des Wassers ist¹⁾.

Die sich zwischen den verschiedenen Wasserspiegelablesungen und dem Nullpunkt ergebenden Differenzen wurden gleichfalls tabellenmäßig zusammengestellt (aus Gründen der Raumersparnis gebe ich die Tabellen, die ja nur vor-

¹⁾ Bei den Sedimentationsversuchen mit Tonen ist es nicht immer möglich, den Endpunkt der Sedimentation abzuwarten, da mehrere Wochen und Monate vergehen können, bis die Sedimentation beendet ist. In diesem Fall muß man notgedrungen den Nullpunkt dadurch ermitteln, daß man durch leichte Druckerhöhung im Meßrohr den Wasserspiegel senkt; es genügt, zu dem Zweck den Gummistöpsel etwas in das Rohr hineinzudrücken. Über die hierin liegende Fehlerquelle komme ich später noch zu sprechen.

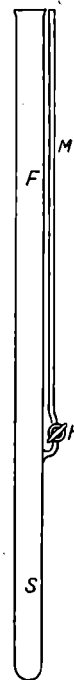


Abb. 1.
Schlammapparat
nach Wiegner

läufigen Wert haben, nicht wieder). Aus diesen Differenzen kann man nun den Prozentanteil der ausgefallenen Tonteilchen ermitteln. Es ist hinreichend genau, wenn man dazu den logarithmischen Rechenschieber als Tabelle benutzt. Die sich aus der ersten Ablesung und dem Nullpunkt ergebende Differenz zeigt an, daß noch nichts sedimentiert ist, daß also noch 100% der Tonteilchen in der Suspension enthalten sind. Man sucht nun die Zahl, die diese Differenz angibt, auf der oberen logarithmischen Zungenteilung des Rechenschiebers und stellt sie unter die „1“ (entsprechend 100%) der entsprechenden Stabteilung. Man hat nun auf dem Rechenschieber eine vollständige Tabelle der Differenzen und der zu ihnen gehörigen Prozentanteile, die etwa so aussieht:

	86	91	95	1 (00)	Stabteilung (Prozent)
usw.	←				
	0.95	1.00	1.05	1.10	Zungenteilung (Differenz).

Man braucht nun nur noch die abgelesenen Prozentwerte von 100 zu subtrahieren, dann erhält man den Prozentanteil der sedimentierten Tonteilchen für die betreffende Zeit, die man in Minuten umrechnet.

Man kann die so erhaltenen Angaben in einer Tabelle zusammenstellen. Übersichtlicher ist es aber, eine Kurve zu zeichnen, die für jede Minute den Anteil der sedimentierten Tonteilchen wiedergibt. Das ist auf der beigegebenen Tafel geschehen. Auf der Ordinate wurden die Prozente aufgetragen, auf der Abszisse die Zeit in Minuten, und zwar in logarithmischem Maßstabe. Bei der langen Dauer der Sedimentation würde man sonst sehr lange Fallkurven erhalten, die auch sehr unübersichtlich sind. Diesem Übelstand hilft der logarithmische Maßstab für die Zeitangaben ab. Das hat auch noch den Vorzug, daß die sehr wichtigen Anfangswerte sozusagen vergrößert wiedergegeben werden; es treten auch Unregelmäßigkeiten in der Sedimentation (z. B. durch Koagulation) in einer kurzen Kurve deutlicher heraus, die andernfalls infolge der langen Abszisse durch Interpolation verdeckt würden.

Es müssen nun die Fallgeschwindigkeiten der als Fraktionsgrenzen beliebig gewählten Korngrößen berechnet werden, um daraus die Fallzeiten zu ermitteln. Stiny gibt auf S. 13 seines Buches eine Tabelle der Korngrößen und der ihnen entsprechenden Fallzeiten, die aber nur für eine Fallhöhe von 10 cm berechnet sind. Die Fallgeschwindigkeiten werden nach der Formel von Stokes berechnet. Ich habe mich bei meiner Untersuchung auf drei Korngrößen (Fraktionen) beschränkt:

Fraktion I: Mehlsand (mu) bis 0,002 cm Durchmesser.

Fraktion II: Schluff (Staub) 0,002 bis 0,0002 cm Durchmesser.

Fraktion III: Kolloidton 0,0002 bis 0,00006 cm Durchmesser.

Die Formel von Stokes (mathematische Ableitung und theoretische Diskussion bei Geßner, 1931) lautet:

$$V = \frac{2}{9} \cdot \frac{(D_1 - D_2) \cdot g}{\eta} \cdot r^2,$$

darin ist V die Fallgeschwindigkeit in cm/sek, r der Teilchenradius in cm, D₁ das spezifische Gewicht der Teilchen, D₂ das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, g die Viskosität der Flüssigkeit, η die Erdbeschleunigung. In unserem Falle vereinfacht sich diese Formel folgendermaßen:

$$V = C \cdot r^2,$$

dabei ist

$$C = \frac{2}{9} \frac{(D_1 - D_2) \cdot g}{\eta}$$

eine Konstante, für die Geßner (1931, Tab. 20) unter Berücksichtigung von Dichte und Viskosität des Wassers bei verschiedenen Temperaturen die entsprechenden Werte zusammengestellt hat. Das spezifische Gewicht der Teilchen wurde mit 2,5 angenommen, entsprechend einem Mittelwert für Ton (Geßner, Tab. 19). Zu ähnlichen Werten ist übrigens auch B. Wilser gekommen, ebenso haben eigene Bestimmungen mit dem Pyknometer dasselbe Ergebnis gehabt. Es ergibt sich somit für die Konstante bei einer Temperatur von +17° C der Wert

$$C = 3.007 \cdot 10^4,$$

also

$$V = r^2 \cdot 3.007 \cdot 10^4.$$

Daraus lassen sich für die drei Korngrößengruppen I, II und III die in Tab. 1, in Spalte C verzeichneten Fallgeschwindigkeiten berechnen. Unter Berücksichtigung einer Fallhöhe des Rohres von 77 cm kann man nun die Fallzeit berechnen nach der Formel

$$t = \frac{h}{V},$$

in der t die Fallzeit in Sekunden, h die Fallhöhe und V die Fallgeschwindigkeit bedeuten. Die so errechneten Fallzeiten stehen in Tab. 1, Spalte D.

Tabelle 1

A.	B.	C.	D.
Korngrößengruppe	Halbmesser der Teilchen	Fallgeschwindigkeit	Fallzeit
I. Mehlsand (mu)	bis 0.001 cm = 10 μ	0.03007 (0.03) cm/sek	42' 46"
II. Schluff (Staub)	bis 0.0001 cm = 1 μ	0.0003007 (0.0003) cm/sek	4267' 45" = 71 St. 7' 45"
III. Kolloidton	bis 0.00003 cm = 0.3 μ (1 μ = $\frac{1}{1000}$ mm)	0.00002706 (0.00003) cm/sek	42777' 47" = 712 St. 57' 47" = = 29 Tage 16 St. 57' 47"

Mit Hilfe der Fallzeiten kann man nun an Hand der Kurven (siehe Tafel) die Prozentanteile der verschiedenen Korngrößen ermitteln. In Tab. 2 habe ich die untersuchten Tone der Bohrung Maria Lanzendorf mit ihren Korngrößenprozenten zusammengestellt. Betrachtet man die Kurven genauer, so bemerkt man, daß vor allem etwa die ersten acht Kurven ziemlich rasch steil ansteigen und die auf der Abszisse in Punkt 4277' errichtete Senkrechte gar nicht oder nur knapp schneiden. Das bedeutet, daß

die Fraktion III, der Kolloidton, bei diesen Tönen nur in sehr geringer Menge vorhanden ist. Da die Versuche infolge der langen Sedimentationsdauer nicht immer bis zum regelrechten Ende durchgeführt werden konnten, ist häufig nicht mit Bestimmtheit festzustellen, ob Kolloidton überhaupt vorhanden ist. In diesem Fall wurde versucht, dessen Anteil am Verlauf der Kurven abzuschätzen, das ist natürlich ein mit vielen Fehlerquellen behaftetes Verfahren. Die so erhaltenen Werte sind in Tab. 2 in () gesetzt.

Tabelle 2

	Teufe in Meter	Fraktion			Bemerkungen
		I	II	III	
		in Prozent			
1.	400 bis 412	12	(68)	(20)	
2.	422.1 bis 422.8	22	(73)	(5)	
3.	439	35	(65)	(—)	
4.	469.4	25	(75)	(—)	Nicht mehr ganz bergfeucht, aber noch knetbar.
5.	486 bis 486.9	42	(48)	(10)	
6.	564 bis 565	28	72	—	Graugrüner Ton, etwas schieferig, mit Eisenhydroxyd-knöllchen.
7.	630	11	(69)	(20)	
8.	673	23	12	65	
9.	675	10	55	35	
10.	713	19	42	39	Etwas schieferig, aber sehr plastisch.
11.	768	8	39	53	
12.	869	20	50	30	Graugrüner Ton.
13.	880	11	28	61	Reingrauer Ton ohne Grün.
14.	897	7	(63)	(30)	
15.	936	7	44	49	Grauer, plastischer, fast gummiartig zäher Ton.
16.	954	6	(49)	(45)	Graulivfarbener, plastischer Ton, außen bräunliche Rinde, Suspension olivbraun.
17.	970	12	51	37	Bräunlichgrauer Ton, viel Glimmer, am dritten Tag steht über der Suspension eine klare, aber tiefbraune Flüssigkeit.
18.	1003	19	34	47	Hochplastischer, grauer Ton, am dritten Tage über der Suspension klare, braune Flüssigkeit.

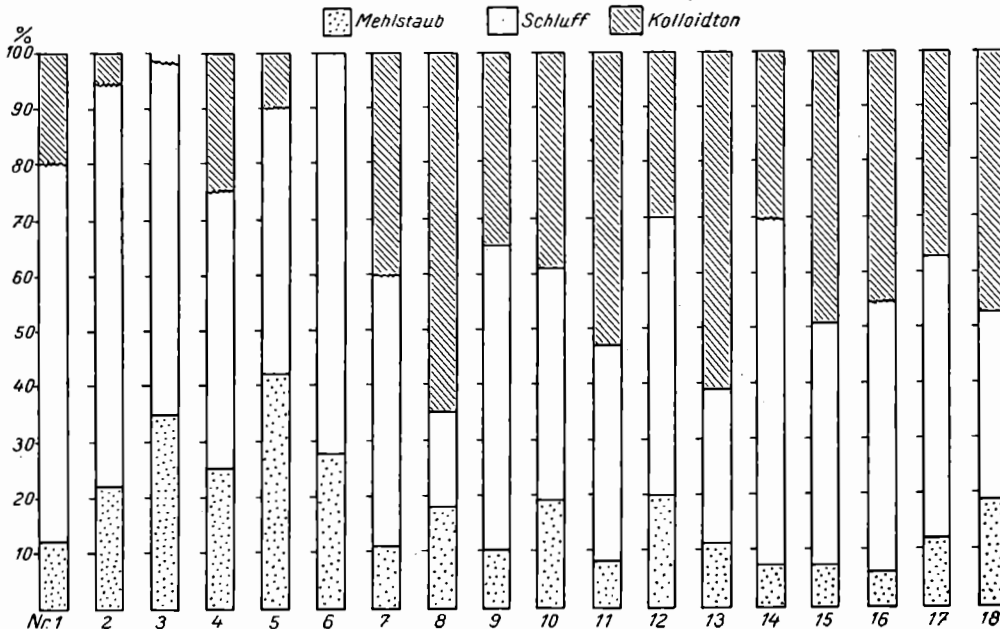


Abb. 2. Säulendiagramm der Korngrößenverhältnisse

In Abb. 2 sind diese Korngrößenverhältnisse nochmals in einem Säulendiagramm übersichtlich zusammengestellt. Nach diesem lassen sich die Tone 1 bis 7 und 8 bis 18 zu je einer Gruppe zusammenfassen, die jede besondere Sedimentationsverhältnisse aufweisen.

3. Ursachen der verschiedenen Sedimentationsgeschwindigkeit

Betrachtet man die auf der Tafel zusammengestellten Kurven, so zeigt fast keine Kurve einen regelmäßigen Ablauf der Sedimentation. Dieser müßte sich in einer ganz allmählich steiler werdenden Kurve andeuten. Fast sämtliche Kurven zeigen eine mehr oder weniger S-förmige Krümmung, die sich auch wiederholen kann. Das deutet auf Koagulation während der Sedimentation hin. Im Sinne von Wiegner würden wir es mit einer orthokinetischen Koagulation in einem polydispersen System zu tun haben (Geßner, 1931). Die Sedimentation der ersten Fraktion, des Mehlstaubes, die innerhalb etwa 24 Minuten (bis Punkt 1,6 = $\log 24$ auf der Abszisse) erfolgt, zeigt, bis auf eine Ausnahme (713 m), keinerlei Unregelmäßigkeiten. Während die zweite Fraktion sedimentiert, wird die Sedimentation auf einmal unregelmäßig. Unter dem Einfluß vielleicht von Elektrolyten ballen sich die kleinen Teilchen zusammen, die Sedimentation erfolgt rascher. Dazwischen liegen dann gelegentlich Zeiten, in denen die Sedimentation langsamer vor sich geht. Das dürfte darin begründet sein, daß mit dem Ausfall eines gewissen Anteiles gröberer Teilchen nun wieder eine Zeitlang die Sedimentation stetig bleibt, bis eine erneute Koagulation den regelmäßigen Verlauf der Sedimentation wiederum stört. Das Ende der Sedimentation dieser zweiten Fraktion ist nicht bei allen Kurven ersichtlich. Diese Fraktion umfaßt Teilchen von der Größenordnung 10μ bis 1μ . Die allerfeinsten Teilchen dieser Fraktion waren also noch nicht sedimentiert, als die Analyse unterbrochen wurde. Man kann dann in den meisten Fällen bei einiger Vorsicht den Prozentsatz dieser Fraktion und damit auch den der letzten, des Kolloidtones, abschätzen, wie schon im vorigen Abschnitt erwähnt wurde. Es fällt vor allem auf, daß bei den Tönen 1 bis 6 (pontisch) schneller sedimentieren als die Tone 7 bis 18 (sarmatisch). In einem Schaubild (Abb. 3) habe ich das Zeit-Sedimentationsverhältnis dieser

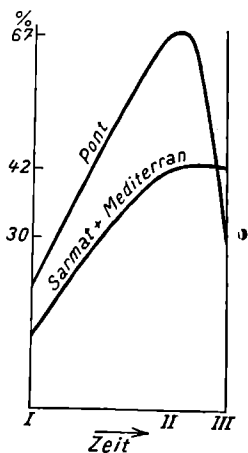


Abb. 3. Zeit-Sedimentationsverhältnis pontischer und sarmatischer Tone

Tone graphisch darzustellen versucht. In derselben Zeit, in der z. B. 67% der pontischen Tone sedimentieren, gelangen von den sarmatischen Tönen nur 42%

zur Sedimentation. Ich komme auf diese Verhältnisse später noch zu sprechen.

Schon zu Anfang wurde bemerkt, daß nur bergfeuchte Tone ohne jede Vorbehandlung zur Untersuchung gelangt sind. Ich möchte nun noch auf einige Versuche eingehen, für die die Tone einer Vorbehandlung unterzogen wurden. Die entsprechenden Diagramme sind in der dritten Reihe der beigegebenen Tafel wiedergegeben. Das erste Kurvenpaar zeigt den Einfluß eines Elektrolytzusatzes. Es wurden der Tonsuspension 7 g Natriumchlorid zugesetzt. Die normale Sedimentationskurve dieses Tones (400 bis 412 m) ist im Diagramm gestrichelt gezeichnet, die ausgezogene Kurve gibt den Sedimentationsverlauf nach Elektrolytzusatz wieder. Es zeigt sich, daß diese Kurve weit regelmäßiger verläuft, die Korngröße von Fraktion II geht nur bis etwa 3μ , der Anteil von Fraktion I ist von 13% auf etwa 30% gestiegen. Diese Erscheinung ist ja durchaus nicht neu (vgl. z. B. Wiegner, 1929). Es wäre nur zu erwägen, ob man nicht durch planmäßige Versuche eine Gesetzmäßigkeit zwischen dem Elektrolytgehalt des Wassers und dem Sedimentationsverlauf der Tone auffinden könnte. Eine solche Gesetzmäßigkeit würde u. U. diagnostischen Wert haben.

Welchen Einfluß das Eintrocknen der Tone auf den Verlauf der Sedimentationsanalyse hat, zeigen die nächsten beiden Kurvenpaare. Einmal wurde ein Ton acht Tage lang an der Luft getrocknet und dann in destilliertem Wasser wieder zerknetet und dispergiert. Die Sedimentationskurve zeigt wiederum ein steileres Ansteigen, also schnellere Sedimentation. Die Korngröße geht bis etwa 1μ . Ein anderer Ton wurde etwa $1\frac{1}{2}$ Stunden lang im Trockenschrank bei 110°C getrocknet und dann im Mörser so fein wie möglich zerrieben. Dieses Tonmehl wurde dann aufgeschlemmt und der Sedimentationsanalyse unterworfen. Die Kurve steigt sehr rasch steil an, die Korngröße ist bis auf 9μ gestiegen, 81% etwa gehören der Fraktion I an, die restlichen 29% der Fraktion II.

Das vierte Kurvenpaar zeigt den Unterschied im Sedimentationsverlauf nach Entfernung der Humussubstanzen. Die Humussubstanzen haben, als Schutzkolloide wirkend, naturgemäß auf den Ablauf der Tonsedimentation großen Einfluß. Nach der bei Geßner (1931) angeführten Methode von Robinson wurde eine noch bergfeuchte Tonprobe aus 1003 m in destilliertem Wasser dispergiert und dann auf dem Wasserbade durch allmähliches Hinzufügen von 8%igem Wasserstoffsperoxyd die Humusstoffe zerstört. Die so vorbereitete Probe wurde nun in den Wiegnerschen Schlämmapparat gebracht. Die Sedimentationskurve weicht erheblich von der des nicht vorbehandelten Tones ab. Die anfängliche Sedimentationsgeschwindigkeit ist etwas größer; nachdem die Korngröße 2μ ausgefallen ist, wird die Sedimentation rascher, die Kurve steigt steil an, die Korngröße $0,6 \mu$ beendet die Sedimentation.

Diese Beispiele zeigen zur Genüge, daß eine irgendwie geartete Vorbehandlung die Tone verändert, die Sedimentationsbedingungen verfälscht. Gallay hat gezeigt, wie verschiedene Vorbehandlungsmethoden gerade die Tone zu verändern vermögen. Besonders

bedenklich scheint mir eine Entfernung der Humussubstanzen zu sein. Abgesehen davon, daß dadurch ein die natürliche Sedimentation mitbestimmender Faktor, eben die Humussubstanzen, entfernt wird, dürfte auch durch das Erwärmen auf dem Wasserbade die Kolloidstruktur der Tone verändert werden.

Wie schon erwähnt, unterscheiden sich die Tone 1 bis 6 weitgehend von den Tönen 8 bis 18. Ton Nr. 7 nimmt eine Mittelstellung ein, ich lasse ihn vorläufig auch außer Betracht. Wie eine später wiederholte Sedimentationsanalyse ergab, ist in Abb. 2 sein Gehalt an Kolloidton zu hoch angegeben. Er nimmt eine Mittelstellung ein, neigt jedoch eher zu der ersten Gruppe hin.

Die Tone 8 bis 18 sind sarmatisch-mediterran. Sie wurden abgelagert in dem großen Sarmatischen Binnenmeer, das sich von Wien bis hinaus über das Schwarze Meer erstreckte. Das Wasser dieses Binnen-

Fauna aus (vgl. Schaffer, 1927) und, wie wir gesehen haben, auch in der Sedimentationsanalyse. In einer Dreiecksprojektion (Abb. 4) habe ich dies noch einmal zusammenfassend darzustellen versucht. Nur eines ist merkwürdig dabei. Die pontischen Tone, die als Brackwasser- bis Süßwasserablagerung anzusehen sind, sedimentieren rascher als die sarmatischen Brack- und Meerwassertone. Man sollte doch gerade umgekehrt annehmen, daß durch den höheren Elektrolytgehalt des Meerwassers die Tone koaguliert würden und infolgedessen rascher sedimentierten, als wenn dieser Elektrolytgehalt geringer wäre oder gar fehlte. Hier liegt ein Widerspruch, den zu klären ich mich bemüht habe. Es scheint hierbei ein Faktor, der bisher bei Sedimentuntersuchungen viel zu wenig gewürdigt wurde, eine ausschlaggebende Rolle zu spielen. Das ist der Gehalt der Tone an Humusstoffen.

4. Der Humusgehalt der Tone und die Bestimmung der Tonreaktion mittels Farbindikatoren

Man darf wohl sagen, daß die Tonsedimente eine Funktion des Wassers darstellen, aus dem sie sedimentiert sind. Höherer Elektrolytgehalt des Wassers bewirkt Koagulation der Tonkolloide, damit gröbere Korngrößen und schnellere Sedimentation und umgekehrt. Aber eine Einschränkung muß gemacht werden: es dürfen keine Schutzkolloide vorhanden sein. Und Humusstoffe sind Schutzkolloide. Ich habe auf verschiedene Weise den Humusgehalt zu ermitteln versucht.

Es ist sicher kein Zufall, daß bei den beiden Tonproben aus 970 und 1003 m Tiefe, also schon aus mediterranen Schichten, nach Beendigung der Sedimentationsanalyse über den sedimentierten Tönen eine klare, braune — in dem einen Fall sogar tiefbraune — Flüssigkeit übrigblieb, deren Farbe der von Hochmoorwässern sehr ähnlich war. Diese Flüssigkeit wurde vorsichtig abgesehen oder abpipettiert. Durch Zusatz von Natriumchlorid wurde die Suspension ausgeflockt. Der tiefbraune Niederschlag wurde abfiltriert, dann im Trockenschrank getrocknet und schließlich das Natriumchlorid mit heißem Wasser wieder ausgewaschen, bis in dem Filtrat keine Chlorreaktion durch Silbernitrat mehr nachzuweisen war. Das Trocknen des Filtrerrückstandes erwies sich als notwendig, weil sonst beim nachherigen Auswaschen mit heißem Wasser der Niederschlag durch das Filter hindurchging. Durch das Trocknen wird eine Kornvergrößerung erreicht. Der nach dem Auswaschen wiederum getrocknete Niederschlag wurde dann gewogen und mitsamt dem aschefreien Filter über der Gebläseflamme bis zur völligen Veraschung verbrannt. Es blieb etwas grauschwarzer Glührückstand übrig, der sich in Salzsäure mit gelber Farbe löste (Ferrichlorid) und bei Zusatz von Rhodankaliumlösung Rotfärbung erzeugte. Der Glührückstand war also Ferrioxyd (Fe_2O_3). Nun war noch eine Gewichts-differenz da, es war ein Glührückstand von 58% (1003 m) und 74% (970 m) nach der Veraschung des Niederschlages festzustellen. Bituminöse Substanzen konnten es nicht sein, die verbrannt waren, sie hätten durch Ausschütteln mit Äther nachgewiesen werden können.

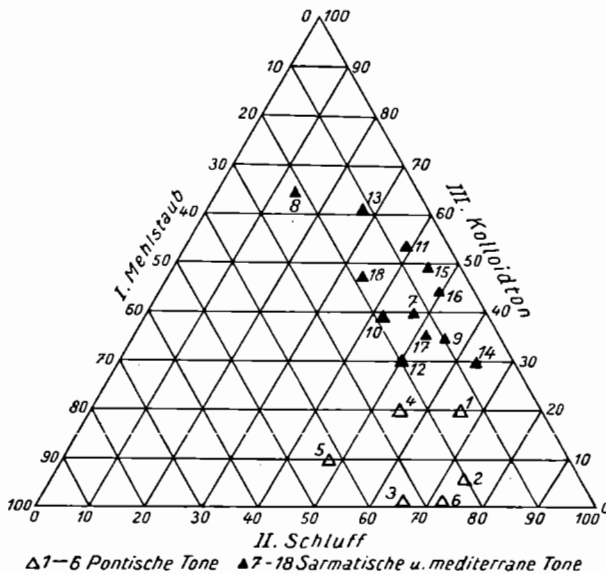


Abb. 4. Dreiecksprojektion der pontischen und sarmatischen Tone

meeres mag zu Anfang dieser Periode dem Salzgehalt nach noch dem normalen Meerwasser entsprechen haben. Nach längerer Dauer der Abschnürung vom Mittelmeer wurde aber das Wasser des Sarmatischen Binnenmeeres durch Zufluß von süßem Wasser immer mehr brackisch. Sicherlich wirkte sich das auf die gegen Salzgehaltsschwankungen sehr empfindliche Fauna rasch aus. Aber so scharf ist die Grenze sicher nicht gewesen, als daß man mit Bestimmtheit angeben könnte, zu welchem Zeitpunkt das Meerwasser zu Brackwasser wurde. Nach Ablagerung der sarmatischen Schichten senkte sich der Wasserspiegel. Im Gebiet der transsylvanischen Alpen entstand ein Gebirge. Das Sarmatische Binnenmeer wurde geschieden in einen Pannonischen See, zu dem im Westen auch das Wiener Becken gehörte, und in einen Pontischen See im Osten. Mit der Zeit wird dem um soviel kleineren Pannonischen See immer mehr Süßwasser zugeführt, das anfangs noch brackische Wasser wird völlig ausgesüßt. Dieser Wandel prägt sich in der

Die verbrannte organische Substanz dürfte zum größten Teil Humussubstanz gewesen sein.

Die Definition der Humus- oder Huminstoffe ist nach Sven Odén (zitiert bei Stadnikoff) folgende: „Huminstoffe stellen amorphe, hell- bis dunkelbraun gefärbte Bildungen mit einer ungeklärten Struktur dar, welche in der Natur bei der Zersetzung des Pflanzenmaterials entstehen, in Benzol unlöslich sind und eine deutlich ausgeprägte Verwandtschaft mit dem Wasser, in welchem sie sich lösen oder mindestens stark aufquellen, zu erkennen geben.“ Nach ihm und Stadnikoff hat man drei Huminsäuren zu unterscheiden:

1. Huminsäure, die Wasserstoffionen abzuspalten vermag und mit starken Basen unter Wasserbildung Salze bildet.

2. Fulvosäure, in Wasser löslich, auf einen Indikator sauer reagierend, gelb bis bräunlich gefärbt; in der Natur in geringen Mengen.

3. Humussäure (Hymatomelansäure), nicht in Wasser löslich, sondern nur dispergierbar; in wässriger Ammoniaklösung, Ätzalkalien und Alkalikarbonaten löslich, in Alkohol teils löslich, teils unlöslich.

Die Humussäure bildet die Hauptmasse der Huminsäuren des Torfes. Brehm (1930) gibt an, daß man in regelrechten Moorwässern p_H -Werte gefunden hat, die kleiner als vier sind. Man glaubte anfangs, daß eine derartig saure Wirkung durch Ferrosalze bedingt sei, ist aber dann doch zu der Überzeugung gekommen, daß die hohe Azidität durchaus auf Humusstoffe zurückgeführt werden kann.

Es liegt natürlich völlig im Bereich der Möglichkeit, daß Huminstoffe, sei es im Wasser gelöst oder nur dispergiert, durch Flüsse auch ins Meer oder in große Binnenseen gelangen. Sie müßten dann freilich mehr oder weniger auch in den Sedimenten nachgewiesen werden können. Ein einfacher Nachweis ist der durch die Wasserstoffionenkonzentration. In den schon erwähnten braunen Flüssigkeiten, die bei den tiefsten Tonproben nach der Sedimentationsanalyse übrig blieben, habe ich für den 970 m-Ton $p_H = 6,2$ und für den 1003 m-Ton $p_H = 5,8$ gefunden²⁾. Die Untersuchungen wurden mit dem Folienkolorimeter (mit Indikatorfolien) nach Wulff angestellt. „Die Indikatorfolie ist eine für wässrige Lösungen diffundierbare Membran, in der sich in adsorbiertem Zustande ein Indikator befindet. Es ist eine besondere Eigenart der Membran, daß der Indikator sehr viel langsamer aus ihr diffundiert als andere Ionen, insbesondere Wasserstoff- und Hydroxylionen, eindringen. Darum ist es möglich, die Kon-

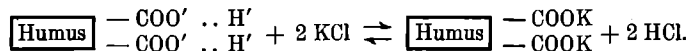
²⁾ p_H ist der Logarithmus (unter Weglassung des Minuszeichens) der Wasserstoffzahl, die die Wasserstoffionenkonzentration in einer Lösung in Grammionen pro Liter Flüssigkeit angibt. $p_H = 7$ ist der Neutralpunkt, $p_H < 7$ zeigt saure Reaktion an, $p_H > 7$ basische Reaktion. Bei kleinen Änderungen des p_H -Wertes ist immer zu bedenken, daß der Wert p_H der Wasserstoffzahl logarithmisch zugeordnet ist, also eine Änderung des p_H -Wertes um ± 1 entspricht dem zehnten Teil oder Zehnfachen der Wasserstoffzahl.

zentration dieser Ionen in Lösungen mittels des Farbumschlages innerhalb der Folie zu bestimmen.“ Ich setzte die Untersuchungen nun in der Weise fort, daß ich die Tone in destilliertem Wasser kurz aufschlammte und dann die p_H -Werte bestimmte. Dabei bewährten sich die oben erwähnten Indikatorfolien vortrefflich, da bei trüben Aufschlämmungen nur echt gelöste und hoch disperse Stoffe in die Folie eindiffundieren. Eine Trübung der Folie durch Schlammteilchen läßt sich durch kurzes Abspülen in destilliertem Wasser beseitigen. Ein Unterschied in den p_H -Werten zwischen bergfeuchten und trockenen Tonen konnte nicht festgestellt werden. Die in Tab. 3 zusammengestellten Werte wurden sämtlich an trockenen Tonen bestimmt. In der Tabelle sind zuerst vom Hangenden zum Liegenden die Tone und Tegel der Maria Lanzendorfer Bohrung aufgeführt; dann folgt vergleichsweise der „blaue Ton“ von St. Petersburg aus dem baltischen Unterkambrium, diagenetisch kaum verändert (noch plastisch), wohl eine küstennahe Ablagerung nach den bei Kunda in ihm erbohrten Kohlenschmützchen zu schließen. Es folgen zum Schluß drei Tone aus kleinen, vermoorten, miozänen Binnenseen; der Ton von St. Kathrein enthält Pflanzenreste, der von Brüx Blattreste, der wegen seiner reichen Flora bekannte „Brandschiefer“ von Leoben enthielt einige Ahornblätter.

Tabelle 3

Tone aus . . m Tiefe oder Fundort	p_H
73 bis 75 (sandig)	6,1
78 bis 79,4	5,6
117 bis 123 (sandig)	5,5
178,5 (etwas sandig)	6,0
206 bis 212 (etwas sandig)	5,8 bis 6
227 bis 234	6,0
295,5 bis 297,5	5,8
297 bis 306	6,2
306 bis 308	6,3
308 bis 320	5,8
400 bis 402	6,0
412 bis 420	5,2 bis 5,4
486,9 bis 488	6,1
491 bis 492	6,1
509 bis 511	6,0
629 bis 630	5,7
634 bis 635	5,6
678	6,4
702 bis 710	5,5
770 bis 771,5 (sehr licht)	6,3
824,3 bis 824,5	6,1
878 bis 879	6,3
927 bis 929	6,4
970	6,0
1003	6,0
1010 bis 1020	6,3
„Blauer Ton“, Baltikum, Unterkambrium	6,0
Schieferton, St. Kathrein a. Hauenstein (Stmk.), a. d. Hang. d. Flözes	3,7
Dunkelgrauer Mergel, Brüx, Juliuschacht	4,3
Schieferton, Moskenberg bei Leoben	4,1

Die Tone von Maria Lanzendorf weisen auch einen gewissen Ammoniakgehalt auf, das Neßler-sche Reagens ergab eine stark orangebraune Färbung³⁾ der wieder geklärten Tonaufschwemmung, so bei Tönen aus 621, 673, 675 und 680 m. Dieses Vorhandensein von Ammoniak ist wohl durch Fäulnis organischer Reste zu erklären, die Stickstoff- und Eiweißsubstanzen tierischer Gewebe und Säfte werden durch eine Reihe von Zwischenstadien in Ammoniak und Stickstoff zerlegt. Durch diese Ammoniakbildung



In diesem Falle würde die freie Salzsäure die Reaktion bewirken. Praktisch käme das so ziemlich auf dasselbe hinaus.

Anhangsweise sei noch kurz der Untersuchungen von E. McKenzie Taylor gedacht, der verschiedene Tongesteine aus dem Dach von Kohlenflözen verschiedensten Alters auf ihre p_{H} -Werte untersuchte und in den meisten Fällen eine stark basische Reaktion fand. Er führt das auf einen Basenaustausch des Tonerde-Kieselsäure-Komplexes zurück und erörtert auch die natürlichen Bedingungen, unter denen dieser Basenaustausch vor sich gehen kann. Im großen und ganzen kommen diese Beobachtungen für die von mir behandelten Fragen nicht in Betracht, sind aber bei weiteren Untersuchungen nicht außer acht zu lassen. Ob während der Sedimentation der Tonteilchen im Meerwasser ein Basenaustausch stattfindet, darüber könnten wohl nur genauere und eingehende Versuche Aufschluß geben.

Worauf im einzelnen die Schwankungen der p_{H} -Werte bei den Maria Lanzendorfer Tönen zurückzuführen sind, kann ich auf Grund meiner bisherigen Untersuchungen nicht sagen. Vielleicht liegen jahreszeitliche Schwankungen vor, daß zu Hochwasserzeiten dem Meerwasser mehr Humusstoffe zugeführt wurden als sonst. In einem verhältnismäßig so flachen Meere, wie es das sarmatische war (Schaffer rechnet mit einer durchschnittlichen Tiefe von 80 bis 100 m), können sich solche Einflüsse sehr stark auswirken. Joh. Walther (1894) erwähnt neben vielen anderen auch einen Fall, wo Reste von Landpflanzen weit ins Meer hinausgetrieben wurden und auf solche Weise in marine Sedimente gelangten: „Auf der Leeseite der Westindischen Inseln ist der Meeresgrund bis in über 2800 m übersät mit großen Massen von Holz, frischen und verwesenden Baumzweigen, Blättern und Früchten in allen Stadien der Zersetzung.“ Eine regelrechte jahreszeitliche Schichtung hat Herm. Schmidt (mündl. Mitt.) in einer pflanzenführenden mergligen Bank in pliozänen Tönen von Willershausen bei Echte (Kr. Northeim) gefunden, wo blattreiche Herbstschichten zwischen Frühjahrsschichten mit reichlich Knospenschuppen liegen. Schließlich dürften auch Dif-

dürfte wohl die saure Humusreaktion teilweise durch Neutralisation unterdrückt werden.

Es mag dahingestellt bleiben, ob nicht die saure Reaktion teilweise auch durch andere Faktoren mitbestimmt wird. Es wäre denkbar, wie Wiegner und Geßner für manche saure Bodenreaktion nachgewiesen haben, daß auch ein Austausch von H-Ionen des Humus gegen Kationen von Neutralsalzen saure Reaktion bewirkt:

fusionen nach erfolgter Sedimentation in dem Ton-schlamm eine gewisse Rolle spielen.

5. Einfluß der Huminstoffe auf die Sedimentation der Tone

In Anwendung auf das Problem der Tonsedimentation glaube ich die Ansicht vertreten zu können, daß die Huminstoffe die Sedimentationsbedingungen der Tone maßgebend beeinflussen. Die Huminstoffe werden von einwertigen Ionen, also Alkalien, nur wenig ausgeflockt, von zweiwertigen, also Fe^{II} und Ca, sehr stark. Der Unterschied zwischen Meerwasser und Süßwasser beruht in ihrem Gehalt an Salzen. Im Meerwasser beträgt der Salzgehalt etwa 3,3 bis 3,7%, davon 30,6% Na und 1,2% Ca. Im Süßwasser (der Hauptmenge der Binnengewässer) ist erst einmal die Gesamtkonzentration viel geringer und dann ist es an NaCl überhaupt arm; höher dagegen ist der Kalkgehalt. Nach Brehm enthalten Seen mit weichem, kalkarmem Wasser nur einige mg CaO im Liter (der kleine Ukleisee bei Plön in Schleswig-Holstein 2,5 mg), Seen mit hartem Wasser erreichen jedoch leicht 100 mg im Liter. Jentzsch (1912) gibt von Wässern der Küstenseen des Rigaer Meerbusens bis 15,4% CaO an, von verschiedenen norddeutschen Binnen-seen 1,5 bis 17,8% CaO.

Wenn nun Huminstoffe und Tonteilchen durch Flüsse oder sonstwie in das offene Meer getragen werden, so werden sie in Suspension bleiben. Die Huminstoffe schützen dabei die Tonteilchen vor etwaiger Elektrolytfällung, solange der Schwellenwert der Fällungsreaktion nicht überschritten wird. Für die oben behandelten Fälle ist noch zu bedenken, daß es sich bei dem Sarmatischen Meer und dem Pannonischen Binnensee wenigstens zu Anfang seines Stadiums um Brackwasser handelt, die Gesamtkonzentration gegenüber dem Meerwasser also eine wesentlich geringere ist. Die Tonteilchen mit den Huminstoffen sinken allmählich zu Boden⁴⁾. Trotz der Diagenese bleiben Ton und Huminstoffe beisammen. Reproduziert man nun diese Tonsedimentation im Wiegner-schen Schlämmlas, so entfalten die Huminstoffe ihre Eigenschaft als Schutzkolloide und die Tone sedimentieren verhältnismäßig langsam. In Süßwasserseen mit

³⁾ In dem Buche von Brehm, Einführung in die Limnologie, ist angegeben, daß sich der durch das Neßler-sche Reagens hervorgerufene Niederschlag bei Zusatz von verdünnter Schwefelsäure nicht auflöst, falls kein Schwefelwasserstoff anwesend ist; es sei hierzu bemerkt, daß sich der Niederschlag in jedem Fall in verdünnter Schwefelsäure löst.

⁴⁾ Dabei ist es gleichgültig, in welcher Weise der Schutz gegen Ausflockung geschieht, ob Teilchen des Schutzkolloides die Tonteilchen in dünnster Schicht umhüllen oder ob eine chemische Vereinigung des Tonkomplexes mit dem Schutzkolloid erfolgt.

ihrem höheren Ca-Gehalt dürften die Tonteilchen mit samt den Huminstoffen schnell ausgeflockt werden, und dieses gröbere Tonsediment fällt auch im Schlammglasversuch wieder schneller aus.

Die von Brinkmann (1929) aufgeworfene Frage, ob man die Mächtigkeit des abgelagerten Sediments (in diesem Fall von Juratonen) als Relativmaß für die verflossene Zeit benutzen kann, läßt sich nicht beantworten, wenn man nicht das Verhältnis der Salzkonzentration im Meerwasser zur Sedimentationsgeschwindigkeit kennt. Darüber sind noch keine Versuche gemacht worden.

6. Die Bestimmung der Tonfazies als Hilfsmittel der Paläogeographie und Paläolimnologie

In dem Profildiagramm (Abb. 5) sind auf der Abszisse die p_H -Werte aufgetragen und auf der Ordinate die Tiefenlage der verschiedenen Tone von Maria Lanzendorf. Es scheint die 6 p_H -Linie eine gewisse Bedeutung zu haben, da für die mediterran-sarmatischen Tone $p_H \geq 6$ ist, für die pliozänen (pontischen) Tone ist, von einigen Ausnahmen abgesehen, $p_H \leq 6$. Rein stratigraphisch beginnt bei 740 m sicheres Sarmat, bei 670 m hört das sichere Pliozän auf. Für die dazwischen liegenden Schichten ist nicht mit Sicherheit zu sagen, wohin sie gehören. Die zwei p_H -Werte, die in diesen Bereich fallen, sagen nichts Besonderes, sie fallen allerdings erheblich aus dem normalen Bereich heraus. Man könnte hier von einer p_H -Diskordanz sprechen. Die Landbarre, die nach dem Sarmat das pontische Becken von dem pannonischen schied, ist ja auch nicht mit einem Male als fertiges Gebilde aus dem Meere emporgestiegen; es ist wohl anzunehmen, daß zuerst in einer Lagunenperiode eine Nehrung entstand, ehe dieses Gebiet ganz landfest wurde. In dieser Lagune blieb der Kampf zwischen Süßwasser und Seewasser lange unentschieden. Die Flüsse sorgten für die Zufuhr von süßem Wasser und gelegentlich wieder drang auch mit einer Flutwelle Meerwasser in die Lagune (vgl. Diener). Daher haben wir in dieser Periode unmittelbare Gegensätze nebeneinander. Als die Lagunenlandschaft dann endlich landfest wurde, wurde das Becken des Pannonischen Sees allmählich ausgesüßt. Es bestand nach Schaffer noch ein Abfluß in das pontische Meeresbecken durch das heutige Eiserne Tor; dadurch wurde eine Anreicherung von Salzen verhindert.

Etwa in der Mitte der pontischen Schichtfolge tritt im Wiener Becken im allgemeinen der sogenannte Zillingsdorfer Lignithorizont auf. Er wurde in der Bohrung von Maria Lanzendorf nicht angetroffen. Dagegen stieß diese Bohrung bei etwa 280 m auf ein zirka 1 m mächtiges Lignitflöz. Es scheint, daß in das pannonische Becken zu den verschiedensten Zeiten größere Mengen von Baumstämmen, Zweigen und Blättern eingeschwemmt wurden (vielleicht zu Hochwasserzeiten). Hier dürfte man vielleicht den Grund für die manchmal auffällig niedrigen p_H -Werte suchen. So wurde bei 412 bis 420 m ein ungewöhnlich niedriger p_H -Wert von 5,2 bis 5,4 gefunden. In dieser Tiefe pflügt im allgemeinen der Zillingsdorfer Lignit-

horizont zu liegen. Es scheint dies eine Zeit besonders starker Einspülung von Pflanzenmassen in das pannonische Becken gewesen zu sein. Bei etwa 200 m findet sich eine typische Süßwasserfauna mit Hydrobia, Planorbis und Helix, auch Charanüßen finden sich. In dieser levantinischen Periode des Pliozän treten sehr niedrige p_H -Werte auf. Man hat in anderen Teilen des Beckens auch Süßwasserkalke und Salzabscheidungen (Schaffer) gefunden. Das sind Zeugen

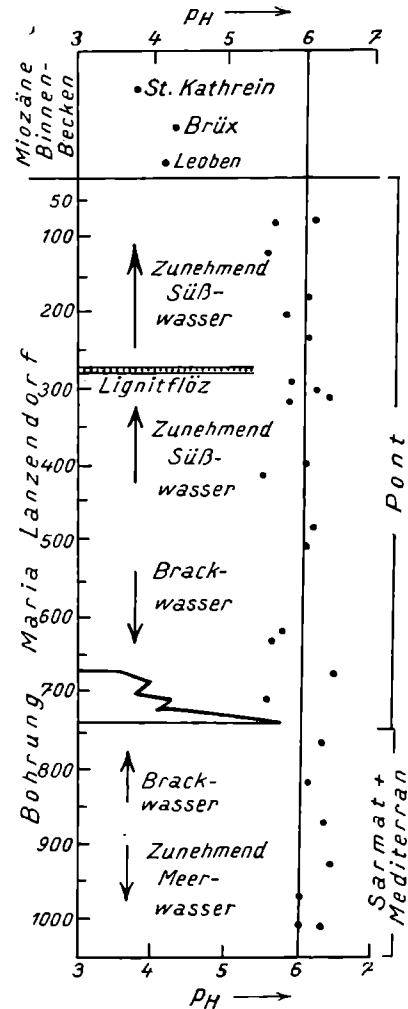


Abb. 5. p_H -Diagramm der Tone von Maria Lanzendorf

einer Trockenperiode, die vielleicht stärkere Humusausscheidungen zur Folge hatte. Nach Naumann begünstigen trockene und warme Sommer die Humusaufflockung ganz besonders.

Die niedrigen p_H -Werte für die miozänen Süßwassertone von Brück, Leoben und St. Kathrein sind wohl auf reichliche Einschwemmung verwesender Pflanzenreste zurückzuführen.

Die beiden so ganz verschiedenen Untersuchungsmethoden, die Sedimentationsanalyse und die p_H -Bestimmung, sind also zu ganz ähnlichen Ergebnissen gekommen. Zur Vervollkommenung des Bildes würde vielleicht noch die Pollenanalyse einen willkommenen Beitrag für die klimatischen Verhältnisse jener Zeit liefern. Der Blütenstaub wird ja durch den

Wind weit über Land und Meer geweht, kann also sehr wohl auch in marine Schichten gelangen. H. L. Heck hat darauf hingewiesen, daß besonders für die stratigraphische Einordnung tertiärer Sedimente die Pollenanalyse wertvolle Anhaltspunkte zu geben vermag. Es dürfte vielleicht eine Schwierigkeit darin bestehen, daß man die Pollen mancher subtropischer Bäume noch nicht kennt. Die Untersuchung der Maria Lanzendorfer Tone auf ihren Pollengehalt hin ist in Angriff genommen.

Inwiefern diese von mir abgeleiteten Sedimentationsbedingungen allgemeine Gültigkeit haben, vor allem auch, wieweit sie praktisch-stratigraphisch anwendbar sind (wenn z. B. Foraminiferen oder sonstige Fossilien fehlen), das müssen weitere Untersuchungen in dieser Richtung ergeben. Die von mir gefundenen Ergebnisse gelten vorläufig nur für den ganz bestimmten Fall der miozänen und pliozänen Tone von Maria Lanzendorf. Die Wechselbeziehungen zwischen dem Chemismus des Wassers und dem Chemismus der Sedimente sind noch nicht aufgeklärt. Dahingehende Untersuchungen vor allem in Binnenseen dürften recht aufschlußreich werden. Lundquist hat diesen Gedanken in die Form gebracht, „daß die Sedimente das sichtbare Endresultat sowohl der Lebenserscheinungen wie auch der dynamischen Verhältnisse der Seen sind“. Welche sonstigen Einflüsse auf die Sedimentation noch einwirken, hat Brinkmann (1925) eindringlich dargelegt.

Die oben wiedergegebene Untersuchung ist nach mancher Richtung hin erst ein tastender Versuch gewesen, dem sich vielerlei Schwierigkeiten entgegengestellt haben. Weitere Untersuchungen müßten vor allem, dem Aktualitätsprinzip getreu, an die Untersuchung rezenter Meeressedimente und vor allen Dingen an die Seenforschung anknüpfen. Kurze Zusammenstellungen der heutigen Methoden der Meeres- und Tiefseeforschung haben Correns und Pratje gegeben. Diese Tiefseeuntersuchungen sind für das Studium fossiler Sedimente äußerst wichtig. Wie auch Andree (1920, S. 102) andeutet, weiß man ja noch wenig Sicheres darüber, wie weit „die letzten und feinsten Reste der Flußtrübe zusammen mit den feinsten Abrasionsprodukten von den Küsten ins Meer gelangen und in welchem Umfange solches Material noch an der Sedimentation in der küsternen Tiefsee teilnimmt“.

Die Seenforschung, wie sie besonders in Schweden (Lundquist, Einar Naumann) ausgebaut ist, dürfte vielleicht von noch größerer Bedeutung für die paläolimnologische Untersuchung tertiärer Binnenmeere und Seen sein, da diese ja noch weit mehr unter dem Einfluß des nahen Festlandes stehen als der offene Ozean mit seinen Tiefseesedimenten. Ich weiß nicht, wieweit man die Terminologie der schwedischen Seenforschung auf schon diagenetisch veränderte Tertiärsedimente anwenden darf. Aber ich möchte doch glauben, daß die Tonsedimente des pannonischen Sees, genau wie ein Teil der heutigen Sedimente der Ostsee, ursprünglich eine Art Gytjtaton⁵⁾ waren; das

Wasser des Sees war klar und seine Ufer wohl mit höherer Vegetation bestanden. Die „Brandschiefer“ von Leoben sind möglicherweise in einem kleinen miozänen Binnenbecken als Dy-Gytjtaton abgelagert und das Wasser dieses kleinen Sees war gelb bis braun gefärbt von Huminstoffen. Man könnte auch zu einer paläolimnologischen Deutung der Seekreide (Teichkreide) kommen, die bisweilen zwischen Braunkohlenflözen gefunden wird. So könnte man mit Hilfe der neuzeitlichen Seenforschung die Paläolimnologie auf eine breitere Basis stellen; bisher beschränkte sich die paläogeographische Rekonstruktion fossiler Seen mehr oder weniger auf die Morphologie und Genese (vgl. Arldt).

Wie bei Untersuchung rezenter Seen zu verfahren ist, hat Jentzsch (1912) in seinem „Entwurf einer Anleitung zur Seen-Untersuchung bei den Kartenaufnahmen der Geologischen Landesanstalt“ zusammengestellt. Auch bei Brehm, Lundquist und Einar Naumann finden sich sehr viel Hinweise dieser Art. Vor allem verdient die chemische Untersuchung sowohl des Wassers als auch der Sedimente größere Beachtung. Über den p_H -Standard der Sedimente sind die Untersuchungen nur sehr spärlich, ebenso über die chemische Zusammensetzung des Wassers. Der Elektrolytgehalt im allgemeinen müßte durch Leitfähigkeitsbestimmungen und der Kolloidnachweis durch das Interferometer erfolgen.

7. Kritik der Untersuchungsmethoden

Für die Sedimentationsanalyse wurde von mir das einfache Wiegnerische Schlammglas benutzt. So große Vorteile dieses hat, so große Nachteile birgt es auch für die Untersuchung von Tonen. Vor allem scheint mir die übliche Länge mit einer Fallhöhe von 60 bis 80 cm zu groß zu sein. Ich glaube, daß eine Fallhöhe von 30 cm für die Untersuchung von Tonen vollauf genügen würde, denn die Fallkurven sind unabhängig von der Fallhöhe. Dadurch könnte auch die Zeitdauer der Versuche erheblich abgekürzt werden. Zweckmäßig wäre es auch, gleichzeitig mit zwei Schlammröhren zu arbeiten, in denen die Tonaufschwemmung in verschiedener Konzentration zur Sedimentation gebracht wird. Den Nachteil, daß man bei langer Versuchsdauer nie genau den Zeitpunkt einer Koagulation bestimmen kann, beseitigt die Konstruktion von Geßner, der an dem Wiegnerischen Schlammapparat eine photographische Registriereinrichtung von fünffacher Vergrößerung angebracht hat, die eine direkte Aufnahme der Fallkurven gestattet (siehe Geßner 1931). Fehler, die durch die nicht sehr genaue Ablesemöglichkeit mit bloßem Auge, vor allem bei kleinen Spiegeländerungen unvermeidlich sind, können dann nicht vorkommen.

Unumgänglich nötig scheint mir auch eine vollständige chemische Analyse der Tone zu sein. Zur Not mag auch ein wässriger Auszug genügen, in dem man die Salze der Alkalien und Erdalkalien nachweist. Der wässrige Auszug eines mediterranen Tones aus 1003 m Tiefe ergab 0,078% Salze, von

⁵⁾ Gytjtaton (spr. Jüttja) sind limnische Sedimente, deren organogene Substanz zum Teil sapropelisiert ist; Dy (spr. Dü)

sind organogene Sedimente aus hauptsächlich ausgeflockten Humuskolloiden.

denen Na und Ca nachgewiesen wurden. Es wäre dann freilich noch das quantitative Verhältnis der Alkalien zu Kalzium zu bestimmen. Auf diesem Wege käme man u. U. auf gewisse Beziehungen zu dem Chemismus des Seewassers. Ebenso muß eine genaue Bestimmung des Glühverlustes erfolgen. Der Glühverlust gibt ja nicht allein die verbrannte organische Substanz an, sondern auch den Gehalt an Wasser (vgl. die Untersuchungen von Petrascheck und Wilser), Kohlensäure, Schwefeldioxyd u. ä. Ich untersuchte Tone aus 295,5 bis 297,5 m und 1003 m Tiefe, die einen Glühverlust von 5,8 bzw. 6,5% ergaben. Mit solchen Werten allein ist aber nicht viel anzufangen.

Eine Bestimmung, die, so einfach sie auch ist, leider immer noch sehr wenig Eingang gefunden hat, das ist die Festlegung des Farbtones mit den Farbnormen von Ostwald (die, wie Pratje angibt, auch während der Atlantikfahrt des „Meteor“ an den Tiefseeproben vorgenommen wurde). Es dürften sich daraus gewisse Beziehungen zwischen Farbton und Chemismus der Tone ergeben.

8. Zusammenfassung

Es wurden tertiäre Tone aus einer Tiefbohrung südlich von Wien untersucht. Die Sedimentationsanalyse und die Bestimmung der Tonreaktion ergaben, daß eine Trennung sarmatischer Tone von pontischen möglich ist. Die Anwendungsmöglichkeit derartiger Untersuchungen für paläogeographische Fragen ist durchaus gegeben, besonders wenn auch die Ergebnisse der modernen Tiefseeforschung und der Seeuntersuchung berücksichtigt werden.

Benutzte Literatur

K. Andree, Geologie des Meeresbodens, II (Bodenbeschaffenheit, nutzbare Mineralien am Meeresboden). Borntraeger, Leipzig 1920. — K. Andree, Das Meer und seine geologische Tätigkeit. In: Salomon, Grundzüge der Geologie. Schweizerbart, Stuttgart 1925. — Th. Arldt, Handbuch der Paläogeographie, II. Borntraeger, Leipzig 1922. — R. Bärtling, Die Seen des Kreises Herzogtum Lauenburg, mit besonderer Berücksichtigung ihrer organogenen Schlammabsätze. Abh. Preuß. Geol. L. A. N. F., 88. Berlin 1922. — F. Behrend und G. Berg, Chemische Geologie. Enke, Stuttgart 1927. — A. Born, Über Druckschieferung im varistischen Gebirgskörper. Fortschr. Geol. u. Pal., VII, 22. Berlin 1929. (S. 419.) — V. Brehm, Einführung in die Limnologie. Biolog. Studienbücher, 10. Springer, Berlin 1930. — R. Brinkmann, Über die sedimentäre Abbildung epirogener Bewegungen sowie über das Schichtungsproblem. Nachr. Ges. Wissensch. Göttingen 1925. — R. Brinkmann, Statistisch-biostratigraphische Untersuchungen an mitteljurassischen Ammoniten über Artbegriff und Stammesentwicklung. Abh. Ges. Wissensch. Göttingen Math. phys. Kl. N. F., 13/3. Weidmannsche Buchh., Berlin 1929. — K. v. Bülow, Allgemeine Moorgeologie. Handbuch der Moorkunde, I. Borntraeger, Berlin 1929. — C. W. Correns, Mineralogisch-geologische Arbeiten der Deutschen Atlantischen Expedition. Z. Ges. f. Erdkunde z. Berlin, Ergänzungsheft 3, 1928. — C. Diener, Grundzüge der Biostratigraphie. Deuticke, Leipzig-Wien 1925. — R. Gallay, Beitrag zur Kenntnis der Tonkoagulation. Kolloidchemische Beihefte 21, 1925. — H. Geßner, Die Schlammanalyse. Kolloidforschung in Einzeldarst., 10. Leipzig 1931. — H. L. Heck, Geologische Untersuchungen vor-

quartärer Formationen mit Hilfe mikrofloristischer Methoden. Sitzungsber. Preuß. Geol. L. A., 4. Berlin 1929. — A. Jentzsch, Beiträge zur Seenkunde, I. Abh. Preuß. Geol. L. A., 48. Berlin 1912. — A. Jentzsch, Beiträge zur Seenkunde, II (Beiträge zur Chemie des Wassers norddeutscher Binnenseen). Abh. Preuß. Geol. L. A. N. F., 51. Berlin 1912. — G. Lundquist, Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen. Binnengewässer, 2. Schweizerbart, Stuttgart 1927. — E. Naumann, Einführung in die Bodenkunde der Seen. Binnengewässer, 9. Schweizerbart, Stuttgart 1930. — W. Petrascheck u. B. Wilser, Über den Wassergehalt und die Verfestigung von Tongesteinen. Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch der Montanistischen Hochschule in Leoben 74, 1926. — O. Pratje, Geologische Tiefseeforschungen auf der Deutschen Atlantischen Expedition. Z. Deutsch. Geol. Ges., 79, 1927. Monatsber. S. 194. — F. Röhrer, Über ein neues, im Buntsandstein erbohrtes Mineralwasser und die Bedeutung solcher Wässer für die Paläogeographie des Buntsandsteins. Badische Geol. Abh. 1/2. Karlsruhe 1929. — W. W. Rubey, Lithologic studies of fine-grained Upper Cretaceous sedimentary rocks of the Black Hills region. U. S. A. Geol. survey, Prof. papers 165 A., 1930. — F. X. Schaffer, Geologische Geschichte und Bau der Umgebung Wiens. Deuticke, Leipzig-Wien 1927. — H. Schneiderhöhn, Bericht über neuere Verfahren zur Messung von Korngrößen. Metall u. Erz, 1929. — G. Stadnikoff, Neuere Torfchemie. Steinkopff, Dresden-Leipzig 1930. — J. Stiny, Technische Gesteinskunde. Springer, Wien 1929. — E. McKenzie Taylor, The conditions and geological evidence of base exchange between the roofs of bituminous coal seams and solutions of sodium chloride. Ztschr. Fuel in science and practice, 7, 1928. — K. Terzaghi, Erdbau-mechanik auf bodenphysikalischer Grundlage. Deuticke, Leipzig-Wien 1925. — J. Walther, Lithogenesis der Gegenwart, III. Fischer, Jena 1894. — G. Wiegner, Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung. Steinkopff, Dresden-Leipzig 1929. — G. Wiegner u. H. Geßner, Die Bedeutung der p_H -Bestimmung in der Bodenkunde. Kolloid-Zeitschrift, 40, 1926. — Berta Wilser, Zur Bestimmung des scheinbaren spezifischen Gewichtes bei Tongesteinen. Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch der Montanistischen Hochschule in Leoben, 74, 1926. — Handbuch der vergleichenden Stratigraphie Deutschlands, Band: Alluvium, Borntraeger, Berlin 1931. Dieser soeben erschienene Band faßt viele neue Ergebnisse der Untersuchung rezenter Sedimente zusammen, die in vorliegender Arbeit leider nicht mehr ausgewertet werden konnten.

Erläuterungen zu den auf der Tafel wiedergegebenen Fallkurven

In den beiden ersten Reihen sind die beiden Fallkurven miozäner und pliozäner Tone von Maria Lanzendorf wiedergegeben; in der dritten Reihe stehen die Fallkurven einiger besonders vorbehandelter Tone. Die Zeit ist auf der Abszisse in logarithmischem Maßstab aufgetragen. Einheit für die Logarithmen ist der Millimetermaßstab. Da die Tafel eine Verkleinerung des Originals ist, ist ja auch der Millimetermaßstab verkleinert. Als Anhaltspunkt für die Verkleinerung sind in der rechten unteren Ecke der Tafel ein (natürlich mitverkleinertes) Zentimetermaßstab sowie der logarithmische und der Zeitmaßstab wiedergegeben, so daß die Zeiteinheiten leicht mit dem Zirkel abgegriffen werden können. Um in den Fallkurven eine bestimmte Korngröße zu ermitteln, ist neben dem Maßstab ein Diagramm wiedergegeben, das die Beziehungen zwischen Zeit und Korngröße auf graphischem Wege zu ermitteln gestattet. Man braucht zu irgend einem Punkt irgend einer der wiedergegebenen Fallkurven nur den dazugehörigen Zeitpunkt auf der Abszisse zu ermitteln, den

man dort im logarithmischen Maßstabe findet. Diesen sucht man auf der Abszisse der eben erwähnten graphischen Darstellung und geht von diesem Punkt senkrecht hoch zu der schwach gekrümmten Kurve, von diesem Schnittpunkt aus findet man dann links auf der Ordinate die Korngröße in Zentimeter Halbmesser, die hier ebenfalls im logarithmischen Maßstab aufgetragen ist.

Beispiel: Gesucht Korngröße nach 160 Minuten. $\log 160 = 2,204$ (es genügt 2,2), man sucht diesen Punkt auf der Abszisse des Diagrammes und geht senkrecht hoch bis zum Schnittpunkt mit der Kurve; von dort geht man waagrecht nach links zur Ordinate, dort findet man den Logarithmus 6,5 (richtiger: 6,5 minus 10), das ist der Logarithmus

von 0,0003, der gesuchten Korngröße in Zentimeter Halbmesser.

Berichtigung: In der Dreiecksprojektion Abb. 4 ist der Ton Nr. 7 irrtümlich unter die sarmatischen Tone geraten (vgl. das im Text Gesagte); er gehört richtiger etwa in die Nähe von Nr. 1 mit der Signatur der pontischen Tone.

Nachtrag während der Korrektur. Grenouillet (Schlammanalytische Versuche an Sedimentgesteinen; Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, 6. Band, Zürich 1926) hat die Schlammanalyse als rein petrographische Untersuchungsmethode angewandt, um tertiäre und diluviale Schichten zu identifizieren und auf kürzere Entfernungen zu verfolgen.

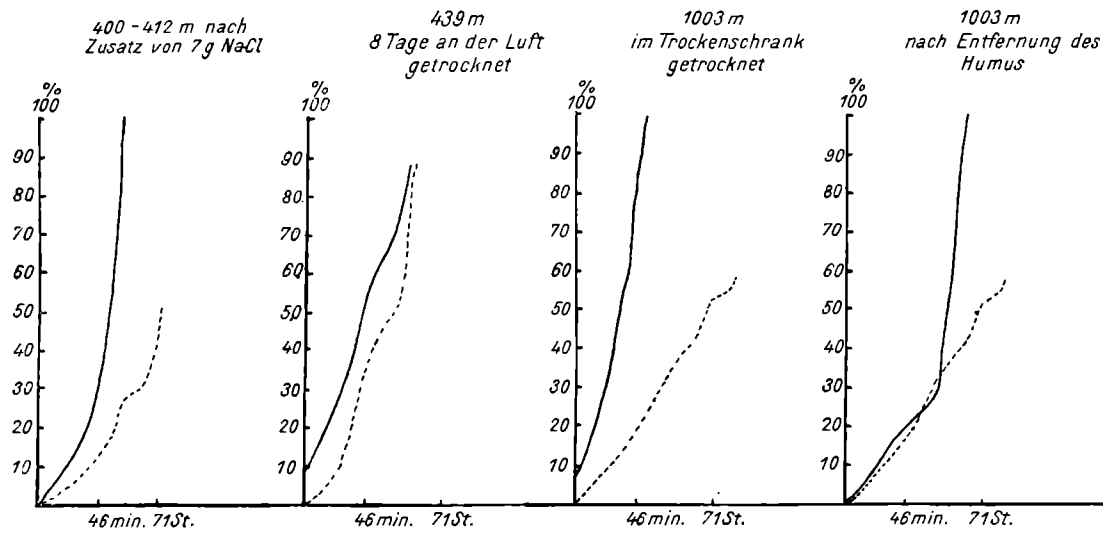
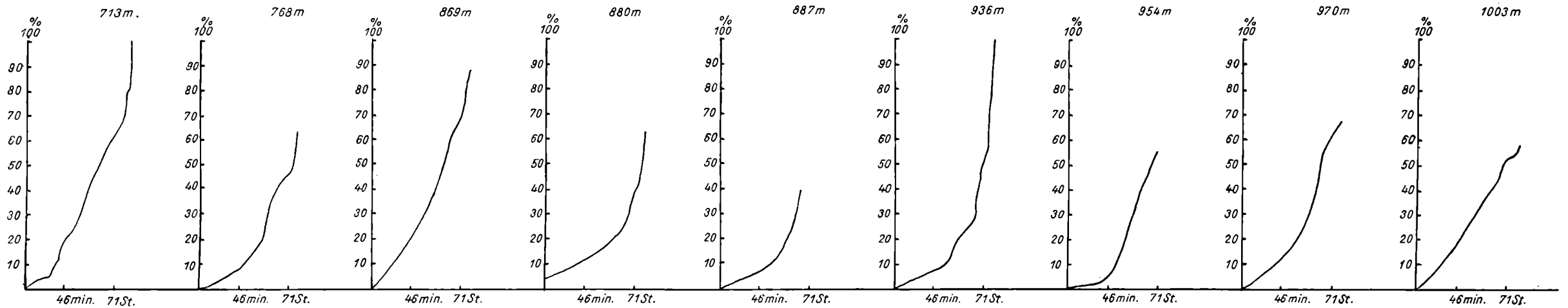
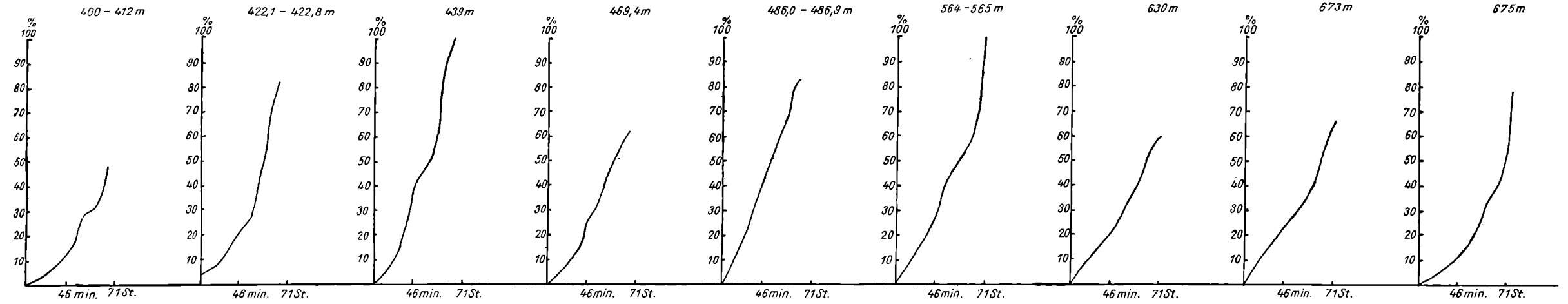
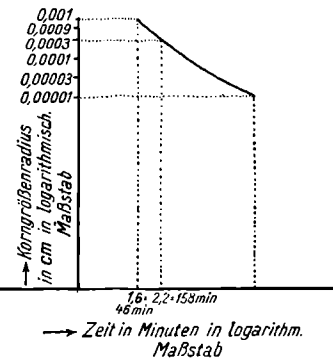


Diagramm zur Feststellung der Korngrößen



Falkurven der Tonsuspensionen

Auf den Ordinaten die Prozente der Korngrößen.
Auf den Abszissen die Fallzeit in Minuten in logarithmischem Maßstabe.

cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
log	0	0,4	1	1,6	3,6						
Zeit in Minuten	1	3	10	46	4277						