

Die Bodenfauna des Vättern, qualitativ und quantitativ untersucht.

Von

Sven Ekman (Jönköping, Schweden).

Mit 6 Figuren im Text und 8 Tafeln.

(Die Tafeln werden mit dem nächsten Heft ausgegeben.)

Einleitung.

Schon ist mehr als ein halbes Jahrhundert verflossen, seitdem Sven Lovén im Vättern zum ersten Male für das nördliche Europa das Vorkommen in Binnenseen einiger marin-glazialen Relikte nachwies und die Bedeutung dieser hochinteressanten Tatsache klar auslegte. Der Vättern ist somit wie wenige andere Seen der ganzen Erde in der Tiergeographie klassischer Boden geworden. Lovén legte nun die genannten Befunde der wissenschaftlichen Welt vor, er ließ durch H. Widegren eine erste Nachforschung der relikten Krustazeen vornehmen, aber eine allgemein-faunistische Untersuchung des Sees wurde bisher nicht ausgeführt. Nur einige Forscher, die mehr gelegentlich bei ihren Nachforschungen über einzelne Tiergruppen auch den Vättern besuchten, haben sporadische Notizen über seine Bodenfauna geliefert. Diese Befunde sollen unten bei den Besprechungen der einzelnen Arten berücksichtigt werden.

Es war somit von einer detaillierteren Untersuchung der Bodenfauna des Sees vieles zu erwarten. Manche ökologischen Aufklärungen betreffs der marinen Relikte waren noch zu erwarten, denn u. a. sind letzere im Vättern in größerer Artenzahl als in den deutschen Reliktenseen vorhanden, wo bisher die genauesten Studien über die Reliktenfauna ausgeführt wurden; außerdem stand mir eine schwache Hoffnung offen, dem See noch unbekannt gebliebene Relikte abzugewinnen. Diese Hoffnung ist indessen nur zum Teil erfüllt worden, indem ich nur ein für den Vättern neues Relikt nachweisen kann, die bisher nur aus dem Madüsee in Norddeutschland bekannte *Pontoporeia weltneri* Ekman. Weiterhin war durch die Untersuchung eines kalten nordeuropäischen Sees wie des Vättern zu erwarten ein genaueres Verständnis der Entstehung, der geographischen Verbreitung

und der Ökologie der europäischen Tiefseefauna, da letztere bisher fast ausschließlich in den mitteleuropäischen Seen studiert wurde. Auch die faunistisch-ökologischen Verhältnisse der bisher nur in den dänischen Seen näher untersuchten Brandungszone versprachen interessante Aufschlüsse, denn der Vättern bietet fast seiner ganzen Uferzone entlang eine Brandungszone dar, die in extremer Ausbildung diejenige der dänischen Seen weit übertrifft. Endlich war es vor allem mein Wunsch, bei der Durchforschung der Bodenfauna neue Methoden anzuwenden und dadurch eine Untersuchungstechnik zu schaffen, die etwas exakter sei, als mir die bisher gebrauchte erschien.

Meine Untersuchungen begannen im Sommer 1910, obwohl nur in bescheidenem Maßstab und vorwiegend um die von mir konstruierten neuen Geräte zu prüfen. Während der Sommer 1911 und 1912 wurde die Hauptmenge der Fänge ausgeführt, außerdem einige während anderer Jahreszeiten derselben Jahre und der Jahre 1913 und 1914.

Das Material enthielt 34 Arten und 7 Varietäten, die für die schwedische Fauna neu waren. Es sind dies die folgenden:

Turb.	<i>Plagiosomum lemani</i> (Forel u. Du Plessis).	Oligoch.	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Clap.
	<i>Castrada lanceola</i> (Braun).		„ <i>helveticus</i> Piguët.
Nemat.	<i>Trilobus gracilis</i> Bast. subsp. <i>robustus</i> Jägersk.		<i>Rhyacodrilus falciformis</i> Bretscher.
	<i>Ironus ignavus</i> Bast. subsp. <i>vergicaudus</i> Jägersk.		„ <i>palustris</i> Ditl.
	„ <i>ignavus</i> var. <i>brevicaudatus</i> Brak.		<i>Rhynchelmis limosella</i> Hoffm.
	<i>Vetteria robusta</i> Jägersk.	Bryozoa	<i>Cristatella mucedo</i> Cuv.
	<i>Dorylaimus carteri</i> Bast. var. <i>spissus</i> Jägersk.	Ostrac.	<i>Leucocythere mirabilis</i> Kaufm.
	„ <i>roboroides</i> Jägersk.	Amphip.	<i>Pontoporeia weltneri</i> Ekm.
	<i>Paramermis falcipenis</i> Jägersk.	Ins.	<i>Tanytarsus bausei</i> Kieffer.
	„ <i>brevipenis</i> Jägersk.	Hydrac.	<i>Lebertia porosa</i> Thor, var. <i>dorsalis</i> Thor.
	„ <i>vergipenis</i> Jägersk.		„ <i>asiatica</i> Thor.
	„ <i>leptipenis</i> Jägersk.		„ <i>gladiator</i> Thor.
	„ <i>clavipenis</i> Jägersk.		<i>Gnaphiscus ekmani</i> Thor.
	<i>Mermis lituipenis</i> Jägersk.		<i>Hygrobates albinus</i> Thor, var. <i>suecica</i> Thor.
	„ <i>longipenis</i> Jägersk.		„ <i>squamifer</i> Thor.
Oligoch.	<i>Macrochaetina intermedia</i> Bretscher.		„ <i>naicus</i> (Johnst.)
	<i>Chaetogaster diaphanus</i> Gruith.		<i>Neumania setosa</i> Thor.
	<i>Tubifex barbatus</i> Grube.		<i>Pionacercus scutatus</i> Thor.
	„ <i>tubifex</i> Müller.		<i>Arrhenurus buccinator</i> (Koch).
	„ <i>hammoniensis</i> Michlson.		<i>Hydrochoreutes acutus</i> Thor.
		Moll.	<i>Pisidium liljeborgi</i> Cless., var. <i>transversalis</i> Cless.

Zu diesem Verzeichnis mag indessen bemerkt werden, daß über die schwedische Nematodenfauna bisher nichts veröffentlicht worden ist.

Unter diesen Tieren war die Gattung *Vetteria* Jägerskiöld nebst folgenden 12 Arten und 4 Varietäten für die Wissenschaft neu:

Nemat. <i>Trilobus gracilis</i> subsp. <i>robustus</i> Jägersk.	Nemat. <i>Paramermis leptipenis</i> Jägersk.
<i>Ironus ignavus</i> subsp. <i>vergicaudus</i> Jägersk.	„ <i>clavipenis</i> Jägersk.
<i>Vetteria robusta</i> Jägersk.	<i>Mermis lituipenis</i> Jägersk.
<i>Dorylaimus carteri</i> , var. <i>spissus</i> Jägersk.	„ <i>longipenis</i> Jägersk.
„ <i>roboroides</i> Jägersk.	Hydrac. <i>Lebertia porosa</i> , var. <i>dorsalis</i> Thor.
<i>Paramermis falcipenis</i> Jägersk.	„ <i>gladiator</i> Thor.
„ <i>brevipenis</i> Jägersk.	<i>Gnaphiscus ekmani</i> Thor.
„ <i>vergipenis</i> Jägersk.	<i>Hygrobates albinus</i> , var. <i>suecica</i> Thor.

Die Artbestimmung einiger Gruppen sind von anderen Zoologen gütigst übernommen worden, wofür ich ihnen hiermit meinen herzlichsten Dank ausspreche. Diese Herren sind: Dr. N. von Hofsten, Uppsala (Turbellarien), Prof. Dr. L. A. Jägerskiöld, Göteborg (Nematoden), Dr. N. Odhner, Stockholm (Mollusken), Dr. E. Piguet, Neuchatel (Oligochäten), Dr. A. Thienemann, Münster i. W. (Insekten) und Dr. S. Thor, Drammen, Norwegen (Hydracarinen). Die systematischen bzw. faunistischen Ergebnisse der diesbezüglichen Untersuchungen sind teilweise schon veröffentlicht worden (Jägerskiöld 1915, Piguet 1913, Thor 1913, Ekman 1914).

Auch bei der Heranschaffung des Materials bin ich von einigen anderen Zoologen unterstützt worden, nämlich von Herrn Dr. O. Nordquist, Stockholm, Herrn Dr. N. Rosén, Luleå und Herrn Dr. G. Swenander, Lund. Sie stellten mir das bei ihren Fischereiuntersuchungen im See eingesammelte Material zur Verfügung, wofür ich ihnen herzlichst danke.

Wegen der bei der Untersuchung angewandten Methodik konnten die Protozoen nicht berücksichtigt werden. Auch die jedenfalls sehr spärlich vorkommenden Rotatorien sollen unten nicht erwähnt werden.

Kap. 1. Notizen über die hydrographischen Verhältnisse und die submerse Vegetation.

Durch die beiden im nördlichen Teil des Sees gelegenen ziemlich großen Inseln Stora Röknen und Lilla Röknen wird der See in zwei sehr ungleich große Abteilungen geteilt: das südliche Hauptbecken und das kleinere nördliche, das ich im Folgenden, weil es in der Provinz Närke gelegen ist, als das Närkebecken bezeichne.

Der See liegt 88,08 m ü. d. M. Nach Halbfaß (1903) beträgt das Areal 189,800 ha und das Wasservolumen etwa 72 cbkm.

Die Tiefe und das Bodenrelief.

Die Tiefenverhältnisse gehen aus der untenstehenden Kartenskizze hervor. Das Närkebecken hat mit seinem in viele See-Engen, Halbinseln und Inseln zerissenen Ufer auch einen stark undulierenden Boden. Seine Maximaltiefe ist 93 m. Im Hauptbecken zieht eine Tiefenrinne von wenigstens 60 m Tiefe vom Norden Ö. von der Mündung der Motalabucht her nach Süden fast bis zum Süden des Sees dem Ostufer entlang. Diese Rinne wird von einer unterseeischen Schwelle beim Norden der Insel Visingsö in zwei Teile geteilt: eine nördliche mit 106 m Maximaltiefe und eine südliche mit 120 m Maximaltiefe. Die Schwelle selbst erhebt sich zu 60—70 m Tiefe unterhalb der Wasseroberfläche. Von der südlichen Abteilung der Tiefenrinne geht ein Arm nach Norden W. vom Südteil der Insel Visingsö. Im nördlichen Teil des Hauptbeckens liegt zwischen Karlsborg und den beiden Rökne-Inseln ebenfalls eine Einsenkung von mehr als 60 m Tiefe (maximale Tiefe 85 m).

Diese Tiefenangaben sind der Seekarte bzw. der Karte des schwedischen Generalstabs entnommen. Nur in ein paar Fällen habe ich sie mit eigenen Lotungen komplettiert.

Die mittlere Tiefe setzt Halbfaß zu 39 m.

Die Wassertemperatur.

Unten sollen, soweit sie mir bekannt sind, alle im Vättern gemachten Temperaturmessungen aufgeführt werden. Solche wurden von mir 1910, 1911 und 1912 angestellt, und es finden sich in der früheren Literatur deren mehrere (Lundberg 1899, Th. Ekman

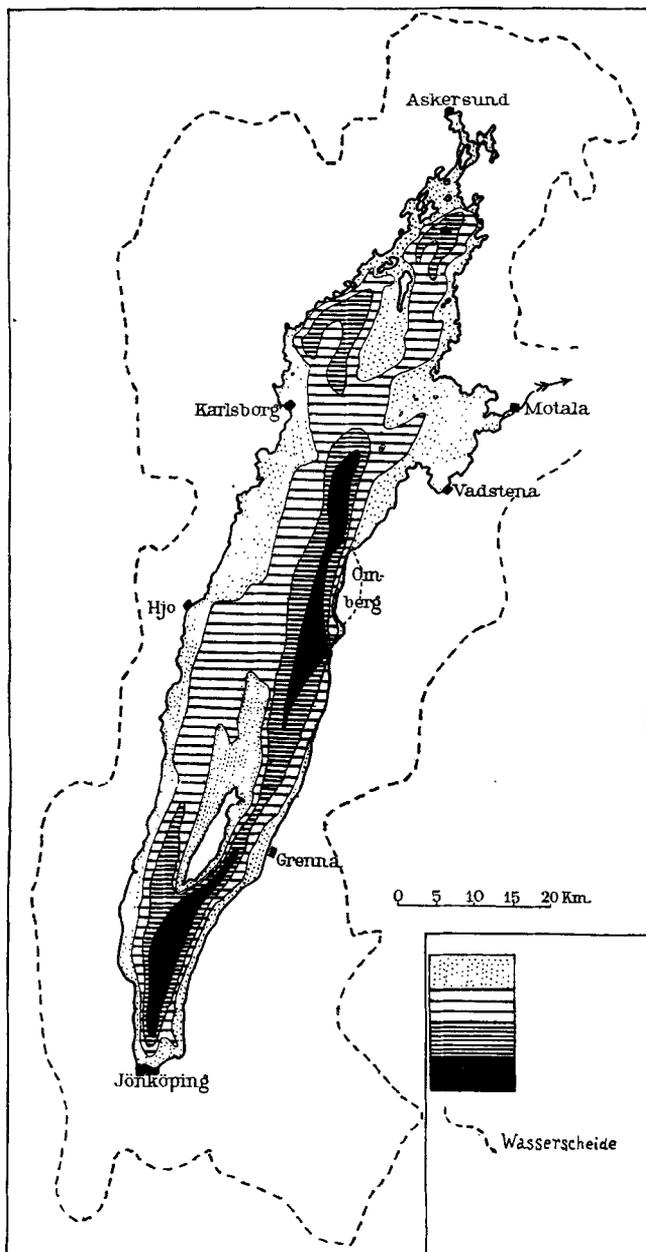


Fig. 1. Der Vättern und sein Einzugsgebiet. ----- = Wasserscheide.

1903, Pettersson 1902, Halbfaß 1913¹⁾). Die Angaben folgen unten nach der Jahreszeit geordnet. In den Tabellen ist B. = Boden.

Tabelle 1. Temperatur am 8. Januar 1907. Örtlichkeit nicht angegeben.
Nach Halbfaß 1913, S. 45.

Tiefe in m. . .	0	5	7	10	15	25	35	50	75	100	B.
Temperat. in °C	3,61	3,58	3,57	3,57	3,55	3,55	3,53	3,57	3,67	3,70	3,75

Tabelle 2. Temperatur am 26. März 1911, vor Jönköping.

Tiefe in m	0,1	2
Temperatur in °C	2	1,75

Tabelle 3. Temperatur am 25. Mai 1906. Örtlichkeit nicht angegeben.
Nach Halbfaß 1913, S. 45.

Tiefe in m	15	35	50	75	110
Temperatur in °C	4,06	3,98	3,95	3,93	3,87

Tabelle 4. Temperatur am 26. Mai 1907. Örtlichkeit nicht angegeben.
Nach Halbfaß 1913, S. 45.

Tiefe in m	50	75	100	B.
Temperatur in °C	4,13	3,87	3,84	3,8

Tabelle 5. Temperatur am 5. Juli 1910. SW. von Gränna.

Tiefe in m	0	19	39	82
Temperatur in °C	11,8	7,4 B.	5,3	5

Tabelle 6. Temperatur am 14. Juli 1910. NÖ. vom Nordende der Insel Visingsö.

Tiefe in m	0	7	17,5	65
Temperatur in °C	16,2	14,5 B.	14,2	7,4

Tabelle 7. Temperatur am 14. Juli 1911, im Närkebecken, vor Rå.

Tiefe in m	0	34
Temperatur in °C	16,1	8 B.

Tabelle 8. Temperatur am 14. Juli 1911, im Närkebecken, vor Rå.

Tiefe in m	0	60
Temperatur in °C	14,5	5,4 B.

¹⁾ In einer anderen Abhandlung (1910) teilt Halbfaß einige Daten über die Mitteltemperatur und den Wärmehaushalt des Sees mit.

Tabelle 9. Temperatur am 18. Juli 1911, im Närkebecken in einer kleinen Bucht (Mellenviken) bei Rå.

Tiefe in m	0	3,5
Temperatur in °C	15,7	14,5 B.

Tabelle 10. Temperatur am 21. Juli 1911, Bucht bei Motala.

Tiefe in m	2	14
Temperatur in °C	16,7 B.	15,3

Tabelle 11. Temperatur am 25.—26. Juli 1888. Reihe von Beobachtungsstationen, von Motala bis W. von der Insel Fjuk geordnet. Nach Lundberg.

Tiefe in m	0	1,5	3	3,5	5	6	7	8,5	10	12,5	14,5	17	20	30	40
Temp.in°C															
Stat. I	14,9	—	14B.												
„ II	15,3	—	13,9	—	13,5	12	8,5	8,5 B.							
„ III	14,6	—	13,8	—	13,2	13	—	8,9	8,1	7,6 B.					
„ IV	15	14,3B.													
„ V	—	—	—	13,3B.											
„ VI	14	—	—	—	—	13,7B									
„ VII	13,8	—	—	—	—	—	—	—	13,6	—	—	13,2			
„ VIII	14	—	—	—	—	—	—	—	—	13,6B.					
„ IX	13,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13,4B.		
„ X	13,4 ¹⁾	—	—	—	—	—	—	—	13,5	—	—	—	13,5	13,1	12,6B.

Tabelle 12. Temperatur am 28. Juli 1888, vor Borghamn. Nach Lundberg.

Tiefe in m . . .	0	10	20	30	40	50	60	80	98
Temperatur in °C	14	12,8	12,6	12,8	11	6,2	6,2	4,8	4,5

Tabelle 13. Temperatur am 31. Juli—1. August 1895. Reihe von Beobachtungsstationen, von Östergötland bei Borghamn bis Västergötland bei Bredvik S. von Karlsborg geordnet. Nach Lundberg.

Tiefe in m . . .	0	5	9	10	15	20	25	30—32	35—36	40	50	60	70	78—80	92
Temperat. in °C															
Station I	13,9	13,8	—	13,6	13,5	8,6	—	9,2 B.							
„ II	13,5	13,3	—	13,2	—	13,2	—	12,3	—	7,7	6,2	5,5	4,9	4,9	4,6 B.
„ III	14,2	—	—	13,6	—	13,1	—	10,3	7,4	5,7	5,5	5,1	4,6	4,6 B.	
„ IV	14,2	—	—	13,5	—	11,5	—	9,8	7,4 B.						
„ V	14,1	—	—	13,6	—	11,5	—	9,8	7,4 B.						
„ VI	14,8	—	—	13,6	13,4	11,4	10,7	8,1 B.							
„ VII	14,1	13,9	10,2 B.												

¹⁾ Regen.

Tabelle 14. Temperatur am 2. August 1888, vor Borghamn. Nach Lundberg.

Tiefe in m	0	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Temp. in °C	12,9 (n.Regen)	13,3	12,2	11,9	7	5	4,9	4,8	4,5	4,5

Tabelle 15. Temperatur am 2. August 1911, vor Hjo.

Tiefe in m	0,2	5	14	23
Temperatur in °C	19,5	17	13,6	10,2

Tabelle 16. Temperatur am 2. August 1895, Bucht bei Vadstena. Nach Lundberg.

Tiefe in m	0	1	2	4	5	10	18
Temperatur in °C	18,2	16,3	15,8	15,6	15,4	14,8	14,2 B.

Tabelle 17. Temperatur am 3. August 1911, Hafen bei Hjo, in 2 m Tiefe (Boden) 19,2 ° C.

Tabelle 18. Temperatur am 4. August 1895. Reihe von Beobachtungsstationen im Närkebecken, von der Insel Stora Röknen bis zu den Inseln Aspholmarna geordnet. Nach Lundberg.

Tiefe in m	0	10	20	24—25	30	35—36	40	50	55	60
Tp. in °C Stat. I	15,2	15,1	14,6	—	10	7,2 B.				
„ II	15,2	15,1	14,5	—	11,3	—	8,2	—	6,5 B.	
„ III	15,3	15,1	14,1	13,8	12,1	8,7 B.				
„ IV	15,3	15,1	—	14,4 B.						
„ V	15,3	15,2	14,7	—	13	—	7,4	7,4	—	6,9 B.

Tabelle 19. Temperatur am 7. August 1888. Reihe von Beobachtungsstationen von Hjo bis Hästholmen geordnet. Nach Lundberg.

Tiefe in m	0	3	5	8	10	15	18,5	20	30	35	37
Temp. in °C Station I	14	13	12,9	12,2 B.							
„ II	13,4	12,6	12,2	—	12	11,6	11,2 B.				
„ III	13,7	12,3	12,1	—	11,2	11	—	11,1	8,4 B.		
„ IV	13,8	12,8	12,4	—	11,8	11	—	10	7,7	6 B.	
„ V	13	12,9	12,9	—	12,8	—	—	10	7,8	—	6 B.

Tabelle 20. Temperatur am 9. August 1911.

In 33 m Tiefe (Boden) 8,5 ° C, vor Jönköping.
 „ 114 „ „ „ 4,6 ° C, S. von Visingsö.

Tabelle 21. Temperatur am 10.—11. August 1888. Reihe von Beobachtungsstationen vor dem Südende des Berges Omberg, vom Ufer aus geordnet.
Nach Lundberg.

Tiefe in m .	0	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	105
Temp. in °C. Station I	13,2	13,1	—	—	13,1 B							
„ II	13,2	13,2	—	13,2	—	13	7,1	6				
„ III	13,3	13,2	—	12,9	—	10,5	7,2	6,3	5,5	5,1 B.		
„ IV	13,2	13	—	12,9	—	10,3	7,2	5,9	5,3	—	4,8	4,5
„ V	14,3	13,1	12,9	10,8	—	7,2	5,9	5,1	4,8	4,8 B.		

Tabelle 22. Temperatur am 12. August 1888. Reihe von Beobachtungsstationen, von Visingsö bis Gränna geordnet. Nach Lundberg.

Tiefe in m .	0	5	8	10	14—15	19—20	30	40	50	60	70	83—84
Temp. in °C Station I	14	12,5	—	11,8	11,2 B.							
„ II	13,5	12,8	—	11,8	—	8,8	6,3	5,8	5,1	5,1	5,1	5,1 B.
„ III	13	12,1	—	11,3	—	8	6	5,1	5,1	5,1	4,5	4,5 B.
„ IV	12,5	12	—	10,4	9	6,8 B.						
„ V	13	12,8	12,5 B.									

Tabelle 23. Temperatur am 16. August 1888, NW. von Gränna. Nach Lundberg.

Tiefe in m	0	5	10	17,5
Temperatur in °C	13,2	11,8	12,5	11 B.

Tabelle 24. Temperatur am 16. August 1888, zwischen Gränna und Håsthölm.
Nach Lundberg.

Tiefe in m	0	5	10	15	20	30	40
Temperatur in °C	14,1	12,8	12,3	12,1	10,6	6,4	5,1 B.

Tabelle 25. Temperatur am 13. September 1912, N. von Jönköping.

Tiefe in m	60	118
Temperatur in °C	8	4,8 B.

Tabelle 26. Temperatur am 26. November 1902, vor Hofvanäs, N. von Omberg.
Nach Th. Ekman.

Tiefe in m . .	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	105
Temp. in °C .	6,2	6,25	6,25	6,25	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1	6,1	5,9 B.

Tabelle 27. Im Jahre 1900. Temperatur in ° C. Nach Pettersson.

Tiefe in m	24. März	3. Juni	1. Juli	12. Aug.	2. Sept.	14. Okt.
0	0,27	3,54	13,85	10,94	13,32	6,28
5	0,32	3,68	13,37	8,51	13,29	6,26
10	0,32	—	10,37	7,91	13,25	—
15	—	3,74	8,39	7,57	9,21	6,20
25	—	3,71	5,18	6 21	6,44	6,20
30	0,34	—	—	—	—	—
35	—	3,87	4,43	5,15	5,71	6,12
40	0,34	—	—	—	—	—
45	—	3,83	4,20	4,92	5,23	5,89
55	—	3,72	4,03	4,70	5,08	5,40
60	0,35	—	—	—	—	—
65	—	3,74	3,98	4,51	5,03	5,20
75	—	3,90	4,00	4,42	4,53	4,96
80	0,57?	—	—	—	—	—
85	—	3,84	4,00	4,11	4,47	4,80
95	0,38	3,82	3,96	4,13	4,42	4,78

Die Oberflächentemperatur steigt dicht am Ufer natürlich zu etwas höheren Graden als im offenen See. Im Badehaus zu Jönköping war während des Sommers 1913 die Temperatur die folgende; Beobachtungen wurden vom 14. Juni an täglich gemacht:

am	9. Juni	8° C
„	14.—30.	„ 11—17° „
„	1.—15. Juli	13—22° „
„	16.—31.	„ 15—22° „
„	1.—15. Aug.	15—18° „
„	16.—31.	„ 15—18° „
„	1.—13. Sept.	14—18° „

Bemerkenswert sind die bisweilen eintretenden heftigen Senkungen der Temperatur. Wenn bei starkem südlichem Wind das Oberflächenwasser des Ufers bei Jönköping herausgetrieben und vom Bodenwasser ersetzt wird, ist in einem Tage ein Sinken der Temperatur von sogar 8° verzeichnet worden.

Folgende Tabelle gibt über die spätsommerlichen Temperaturverhältnisse der sublitoralen und der profunden Zone des Sees einen summarischen Aufschluß:

Tabelle 28. August-Temperaturen.

Tiefe	Zahl der Messungen	Temperatur		
		Maximum	Mittel	Minimum
10 m	29	15,2°	13,0°	7,91°
20 m	22	14,7°	11,6°	6,8°
30 m	22	13,0°	9,4°	6,0°
40 m	12	8,2°	6,6°	5,1°
50 m	10	7,4°	5,8°	5,0°
60 m	9	6,9°	5,4°	4,8°
70 m	7	5,1°	4,8°	4,5°
80 m	3	4,9°	4,7°	4,5°

Bei Berücksichtigung der in Tabelle 27 aufgeführten Werte hätten jedoch die Mittel- und Minimiwerte der Tabelle 28 erniedrigt werden müssen. Eine solche Berücksichtigung konnte nur für die 20 m-Tiefe geschehen. Bei einem Vergleich der Tabellen im ganzen, z. B. der dieselbe Jahreszeit umfassenden Tabellen 21 und 24, ergibt sich, daß die Temperatur von Jahr zu Jahr binnen weiten Grenzen schwankt, was auch Halbfaß zu dem Ausspruch Veranlassung gab (1913): „Gegenüber anderen großen Seen zeichnet sich der Vätternsee durch große Inkonstanz seiner Wärmebilanz in verschiedenen Jahren aus“. Auch in demselben Jahr können zu derselben Zeit in derselben Wassertiefe die Werte erheblich wechseln, wie die Tabellen 21 und 22 belehren (in 30 m Tiefe resp. 13° und 6° usw.).

Wenn wir die Ziffern in Tabelle 28 mit denjenigen des Vierwaldstätter Sees, der betreffs seiner Tiefenfauna am besten untersucht ist und uns deshalb hier am meisten interessiert, vergleichen, ergibt sich, daß der Vättern, trotz der weit nördlicheren Lage, in den mitteltiefen und tieferen Wasserschichten nicht kälter ist. Aus den Zusammenstellungen aus der einschlägigen Literatur, die Zschokke in seiner „Tiefseefauna“ geliefert hat, erhellt, daß die Temperatur der 30 m-Tiefe im Vierwaldstätter See gewöhnlich zu keiner Jahreszeit über 10° C steigt; die Jahresmaxima der genannten Tiefe sind in den verschiedenen Becken dieses Sees bzw. 8°, 9,2°, 9°, 10° und 10,4° C. Das entsprechende Maximum des Vättern ist etwas höher. In den beiden nicht ungewöhnlich kalten Jahren 1889 und 1897 scheint sich die Wassermenge des Vierwaldstätter Sees unter 30 m Tiefe nicht über 6° erwärmt zu haben. Im Vättern hat die Tiefe von 30 m eine sehr wechselnde Temperatur. Sie kann schon Ende Juli 13,1° betragen, kann aber noch Mitte August bei 6° zurückgeblieben sein. In der

60 m-Tiefe schwankten die Jahresmaxima der verschiedenen Becken des Vierwaldstätter Sees zwischen $5,9^{\circ}$ und $6,4^{\circ}$, im Vättern wurde nur eine Messung zu der Zeit, wenn das Wasser am meisten erwärmt worden ist, ausgeführt, die Temperatur war aber da (im September) in der genannten Tiefe 8° . Der betreffende Sommer war aber ungewöhnlich warm gewesen. Schon am 14. Juli wurde in der betreffenden Tiefe einmal $7,4^{\circ}$ gemessen, andererseits noch am 10. bis 11. August einmal nur $4,8^{\circ}$. Die Temperaturverschiedenheiten sind somit im Vättern in einer und derselben Tiefe zu einer und derselben Jahreszeit offenbar groß, sogar größer als die Differenzen zwischen den Jahresmaxima und den Jahresminima der 60 m-Tiefe im Vierwaldstättersee; dieselben betragen nämlich für die verschiedenen Becken folgende Werte: $1,5^{\circ}$, $1,3^{\circ}$, $0,8^{\circ}$, $0,4^{\circ}$ und $1,1^{\circ}$. Diese im Vättern beträchtlichen zeitlichen und örtlichen Temperaturschwankungen dürften wenigstens zum größten Teil in den ausgiebigen Wasserströmungen dieses Sees (vgl. unten) ihren Grund haben.

Ausgedehntere, andauernde Eisbelegung tritt nur selten auf. Seit 1909, als wenigstens der südliche Teil des Sees im März mit dickem Eis bedeckt wurde, sind nur an den Ufern hier und da ziemlich schmale Randsäume von Eis gebildet worden.

Die Durchsichtigkeit des Wassers.

In den Jahren 1910 und 1911 wurde die Durchsichtigkeit des Wassers an einigen wenigen Stellen von mir geprüft; ich verwendete dabei eine weiße Scheibe von 25 cm Durchmesser. Auch Lundberg (1899) teilt ein paar Beobachtungen mit, die er 1888 mit weißer Scheibe ausführte. Die Resultate sind die folgenden:

- 14. Juli 1910 um 2 Uhr nachm., NÖ. von Visingsö, Tiefe 50 m, Sichtbarkeitsgrenze 16,2 m.
- 17. Juli 1911 um 11,45 Uhr vorm., im Närkebecken, Tiefe 40 m, Sichtbarkeitsgrenze 17,65 m.
- 25. Juli 1911 um 4 Uhr nachm., W. von den Inseln Erkerna, Tiefe 30 m, Sichtbarkeitsgrenze 16,6 m.
- 28. Juli 1888 um 7—8 Uhr nachm., vor Borghamn, Sichtbarkeitsgrenze 17 m.
- 7. August 1888 um 12 Uhr mitt., N. von Gränna, Sichtbarkeitsgrenze 14,7 m.

Immer war bei den Beobachtungen der Himmel ganz klar und die Wasseroberfläche glatt.

Leider habe ich im Winter keine Beobachtungen gemacht, es ist aber wahrscheinlich, daß zu dieser Jahreszeit noch höhere Werte hätten notiert werden können.

Die Durchsichtigkeit des Wassers ist somit im Sommer ungewöhnlich groß. Zum Vergleich mögen einige Angaben über andere Seen angeführt werden. Forel (1895, S. 418—423) fand im Genfer See im Juli als Tiefenmaximum der Sichtbarkeitsgrenze 7,2 m, die Zahlen variieren zwischen 5,3 und 7,2. Als Jahresmaximum fand er einmal im Februar 21 m, die gewöhnlichen Jahresmaxima waren aber nur 15,5—17,2 m. Im Vierwaldstätter See (Luzerner Becken) ist nach Arnet (1898) die maximale Tiefe der Sichtbarkeitsgrenze bei bzw. 15,9—16,6 m Tiefe gelegen, die Sommergrenze hält sich dagegen bei niedrigen Zahlen, in 2,75—8,8 m Tiefe. Die übrigen Abteilungen desselben Sees zeigen nicht höhere Werte (Amberg). Im Luganer See befand sich die winterliche Sichtbarkeitsgrenze bei noch geringerer Tiefe als in den beiden soeben genannten Seen (Fehlmann 1912, Steiner 1913), ebenso im Bodensee (Forel 1901).

Amberg fand, daß im Vierwaldstätter See die Grenze, bei welcher die Einwirkung des Lichts auf Chlorsilber aufhört, in den verschiedenen Becken — vom stark getrübbten Alpnacher Becken wird hier abgesehen — bei 95—110 m während des Winters, also bei maximaler Durchsichtigkeit des Wassers, lag. Da die winterliche Sichtbarkeitsgrenze der weißen Scheibe im Vierwaldstätter See höher als die sommerliche Grenze im Vättern liegt, muß angenommen werden, daß das Chlorsilber auch in den größten Tiefen des Vättern (120 m) gefärbt werden sollte. Forel (1895, S. 438) fand bei 15,6 m und 16,5 m Sichtbarkeitsgrenze der weißen Scheibe bzw. 100 m und 110 m Tiefe als Grenze für die Färbbarkeit des Chlorsilbers, was die soeben gemachte Schlußfolgerung für den Vättern als wohlbegründet erscheinen läßt. Das bedeutend lichtempfindlichere Jodbromsilber würde aber in noch größeren Tiefen beeinflußt werden können.

Der Vättern hat somit während des ganzen Jahres wenigstens dieselbe Durchsichtigkeit als die großen Alpenrandseen während ihrer winterlichen maximalen Durchsichtigkeit; vollständig dunkel sind nicht einmal die größten Tiefen. Dies kann natürlich auf die Ökologie der Bodenfauna einen großen Einfluß ausüben; einen wie großen wissen wir aber nicht. Jedenfalls können die optischen Verhältnisse im Vättern den Organismen nicht so schwierige Hindernisse als in den Alpenrandseen gegenüberstellen. In optischer Hinsicht steht der Vättern

dem Torneträsk im nördlichsten Schwedisch-Lappland sehr nahe (vgl. Ekman 1912, S. 5), übertrifft aber auch diesen an Durchsichtigkeit.

Als Ursache der ungewöhnlichen Klarheit des Wassers hat wohl vor allem die fast völlige Abwesenheit größerer Zuflüsse, weiterhin die Abwesenheit von Tonablagerungen im weitaus größten Teile des Einzugsgebietes und endlich die spärliche Entwicklung des Planktons zu gelten.

Der Sauerstoffgehalt.

Leider sind in der Literatur keine Angaben über den Chemismus des Vätternwassers zu finden, obgleich solche natürlich für ein tieferes Verständnis der Ökologie der Bodentiere sehr erwünscht wären. Auch bin ich selbst nicht in der Lage gewesen, Wasserproben in größerem Maßstab zu schöpfen; nur um den Gehalt des Wassers an Sauerstoff zu ermitteln, entnahm ich dem See drei Proben. Dies geschah mittels eines Pettersonschen Wasserschöpfers, der durch gütiges Entgegenkommen der Herren Professor H. Wallengren in Lund und Dr. T. Freidenfelt zu meiner Verfügung gestellt wurde. Der Wasserschöpfer und die dazugehörigen Thermometer waren dieselben, die von Freidenfelt im See Ören benutzt wurden, und auch die erste, im Boot ausgeführte Behandlung des Wassers war dieselbe (Freidenfelt 1912, S. 4). Zwecks der Weiterbehandlung wurden die gefüllten Flaschen sofort geschlossen und der chemischen Anstalt zu Jönköping überliefert.

Die Proben, die am 13. September 1912 in Tiefen von 0,60 m und 118 m (dicht oberhalb des Bodens) nördlich von Jönköping genommen wurden, gaben folgende Resultate. Der Gehalt an O₂, in ccm ausgedrückt, ist natürlich für 0° C und 760 mm Barometerdruck berechnet.

Tabelle 29. Gehalt des Wassers an O₂ am 13. September 1912.

Tiefe in Metern	Temperatur	O ₂ ccm im Liter
0	—	7,74
60	8,0°	8,78
118	4,8°	8,71

Die Wasserströmungen.

Betreffs derselben verweise ich teils auf Kap. 3, wo ihre Umfassung und Bedeutung für den Boden, teils auf Kap. 5, wo ihre Bedeutung für die Fauna erörtert werden soll.

Die submerse Vegetation.

Unterhalb der Brandungszone ist der Boden des Vättern gewöhnlich mit einer submersen Vegetation von Characeen versehen, worin auch andere Pflanzen, Myrophyllum, Potamogeton, Elodea, Isoetes, Moose und möglicherweise auch andere, sehr zerstreut stehen. Die Characeen bilden den quantitativ weitaus wichtigsten Bestandteil dieser Vegetation. Gewöhnlich wachsen auch die Characeen vereinzelt, wenigstens habe ich an keiner Stelle ganz dichte Characeenrasen nachweisen können; die Dredge und die Schleppreue waren nicht besonders oft beim Herausziehen mit submersen Pflanzen besetzt, und mit dem Bodenschöpfer fing ich nur in wenigen Fällen ganze Pflanzen oder Zweige derselben. Ganz anders kann die submerse Vegetation in anderen schwedischen Seen ausgebildet sein. Im Busen Lilla Ullevijärden des Mälaren z. B. kam die Dredge oft mit Characeen ganz gefüllt herauf.

Wie weit nach unten diese submerse Vegetation geht, weiß ich nicht, glaube aber, da das Wasser während des Sommers weit klarer als in den mitteleuropäischen Seen ist, daß sie auch beträchtlich tiefer als in ihnen geht. Die letztgenannten Seen scheinen in dieser Hinsicht nur wenig untersucht zu sein. Nach Forel (1904, S. 152 und 239) gebe ich folgende Zusammenstellung, zu welcher spätere Untersuchungen meines Wissens nichts hinzugefügt haben.

Bodensee: Die Characeen gehen nach Schröter und Kirchner (1896) bis in 30 m Tiefe. Das Wasser ist in diesem See wenig klar, die Sichtbarkeitsgrenze liegt im Sommer (Juni-August) in nur 4,3—4,8 m Tiefe (Forel 1901).

Genfer See: Die Chara-Arten gehen bis 10 m, eine Nitella bis 20—25 m Tiefe. Sichtbarkeitsgrenze im Sommer bei 6,8 m bis 7,4 m Tiefe.

Luganer See: „Grüne litorale Pflanzen“ machen bei 30 m Tiefe halt (Fehlmann, S. 13).

Die Juraseen: Die chlorophyllhaltigen Pflanzen gehen bis 12—13 m Tiefe (Magnin 1893).

Starnberger See: Charazone in 2—7 m, Nitellazone in 7—12 m Tiefe (Brand 1896).

Was ich bei meinen eigenen Untersuchungen habe konstatieren können, ist nicht viel. Die Befunde verteilen sich auf die verschiedenen Pflanzen folgendermaßen:

Characeen fing ich in allen Tiefen, im seichtesten Wasser von 3—9 m Tiefe aber nur in gegen den Wellenschlag geschützten Buchten. Die Brandungszone ist von diesen wie allen anderen Pflanzen ganz freigelassen. Bis in den großen Tiefen von 60—70 m, 87 m und sogar 120 m waren Characeen zu finden, und zwar wenigstens in 60—87 m Tiefe mit grüner Farbe. Die meisten Funde wurden in 20—30 m Tiefe gemacht, auch in 9—20 m ziemlich viele, danach kommen die Tiefen von 30—40 m und 40—50 m mit etwa gleich vielen Funden. Nach den Angaben der Fischer geschieht es oft, daß „Gras“ auf die Netze treibt, ich bin selbst in der Lage gewesen, dasselbe zu untersuchen und fand darunter die Characeen der Menge nach vorherrschend. Gewöhnlich waren die Netze in etwa 50 m Tiefe niedergelassen. Ein solches Treiben geschieht aber nach den bestimmten Angaben der Fischer nur nach andauernden und harten Stürmen, am Süden des Sees nur nach nördlichen Stürmen, und es scheint somit sichergestellt zu sein, daß die Pflanzen von den Wellen losgerissen und dann von den Strömungen weiter transportiert worden sind. Die von mir einmal nach einem nördlichen Sturm bei Jönköping aus einer Netzreihe zusammengebrachten Characeen betrug in hart gepacktem Zustand etwa 30 l, was einen sehr ausgiebigen Transport durch die Strömungen angedeutet. Es liegt daher kein zwingender Grund vor, die in großer Tiefe gefundenen Characeen-exemplare als von dort stammend zu betrachten; wie es sich in dieser Hinsicht mit der Tiefe von 30—50 m verhält, mag zurzeit dahingestellt bleiben; ich halte es nicht für unmöglich, daß Characeen (*Nitella*?) hier wirklich wachsen. Die Tiefenzone von 10—30 m dürfte aber als die Hauptverbreitungszone der Characeen gelten müssen. Exemplare, die nach dem Aufholen mit schlamm- bzw. sandbedeckten Wurzeln versehen und somit offenbar an der Fundstelle gewachsen waren, fand ich nur zweimal, nämlich in 22—24 m und 21—30 m Tiefe.

Myriophyllum und *Potamogeton* habe ich ausschließlich an den Fischnetzen gefunden, und zwar in sehr kleiner Menge.

Elodea canadensis dürfte in den meisten Häfen des Sees gemein sein, fehlt aber in der Brandungszone. Dagegen fand ich sie einmal in 16 m Tiefe, dazu lose aber grüne Blätter in 52—56 m Tiefe. Ob die Art in der letztgenannten Tiefe heimisch ist, ist natürlich zweifelhaft.

Isoetes lacustris ist in den Buchten in geringer Tiefe gemein, außerdem fand ich sie einmal in 9 m Tiefe.

Moose fand ich ziemlich selten in bis 18 m Tiefe, immer in spärlicher Zahl.

Betreffs der nicht submersen Vegetation siehe unten S. 177.

Kap. 2. Methodik.

Wie soeben kürzlich erörtert wurde, war es vom Anfang an eines der Ziele der vorliegenden Untersuchung, durch neue und zuverlässigere Methoden als die bisher gebrauchten, eine sicherere Antwort auf die manchen mit der Tiefseeforschung verknüpften Fragen geben zu können. Es war mir nämlich bei einem Studium der Literatur über die Tiefseefauna ziemlich klar geworden, daß man mit einigen hierher gehörigen Problemen, besonders den ökologischen, nicht viel weiterkommen würde, wenn man nicht die Methodik etwas verbessern könnte, und da die Lösung der tiergeographischen Probleme nicht ohne eine vorhergehende Beantwortung der ökologischen Fragen möglich ist, erschien mir die Verbesserung der Methodik als ein dringendes Bedürfnis. Zum Teil konnte dieselbe schon mit den vorher angewandten Geräten erzielt werden, zum Teil aber erwies sich ein Konstruieren neuer Apparate als notwendig.

Die Veränderungen in der Methodik stehen alle im Zusammenhang mit der Untersuchung über die bathymetrische Verteilung der Arten. Sie lassen sich folgendermaßen rubrizieren:

- A. Genauere Berücksichtigung der sublitoralen Zone;
- B. Quantitative Methoden
 - 1. für quantitative Untersuchungen;
 - 2. für qualitative Untersuchungen;
 - 3. zwecks der Untersuchung der Bodenbeschaffenheit und des Einflusses derselben auf die Bodenfauna;
- C. Genauere Verwertung der mittels der qualitativen oder der quantitativen Apparate gewonnenen Befunde.

A. Genauere Berücksichtigung der sublitoralen Zone.

Wenn es nur darauf ankommt, eine Liste über die profund lebenden Organismen zu geben, somit nur festzustellen, welche Arten in mehr oder weniger zahlreichen Individuen in die profunde Zone hin-

untersteigen, so ist es natürlich hinreichend, diese Zone allein zu untersuchen. Wenn es aber gilt zu bestimmen, ob eine Art im betreffenden Wasserbecken im eigentlichen Sinn profund ist, d. h. ob sie die profunden Verhältnisse vor den litoralen oder sublitoralen bevorzugt, so ist es offenbar vonnöten, festzustellen, in welcher Tiefe sie am zahlreichsten lebt, in welcher Tiefe sie die geeignetsten Existenzbedingungen findet. Dafür ist somit ein Frequenzvergleich zwischen den verschiedenen Tiefen unbedingt notwendig; nur in dieser Weise können wir in die Gelegenheit gesetzt werden, die profunden und die eurybathen (vgl. unten) Arten auseinanderzuhalten.

Eigentümlicherweise ist es indessen oft mit großer Schwierigkeit verbunden, einen Einblick in die bathymetrische Verteilung der profund lebenden Arten der in dieser Hinsicht bisher am besten untersuchten Seen zu tun. Über den Genfer See äußert sich Forel hierüber nur in ziemlich allgemeinen Worten (1904, S. 242), und man findet in seiner großen Arbeit keine Angabe, ob die als profund aufgeführten Arten nur profund leben, oder ob sie auch litoral gefunden wurden, geschweige denn in welcher Zone sie am zahlreichsten leben. Zschokke (1911) versucht im allgemeinen zwischen den eigentlich profunden und den in der Tiefe nur zufälligerweise auftretenden Arten zu unterscheiden, aber da er in dem von ihm selbst untersuchten See, dem Vierwaldstätter See, in Wasser von weniger als 30 m Tiefe nur acht Fänge ausführte, ist ein Vergleich zwischen der Sublitoralzone und der Tiefenzone fast ausgeschlossen. Letzteres gilt auch von Fehlmanns Untersuchungen im Luganer See, denn er machte oberhalb der 30 m-Tiefe nur zwei Fänge, und von den ziemlich wenigen Fängen, die v. Hofsten im Thuner See und im Briener See machte, wurden in jedem See nur je ein einziger einer so geringen Tiefe wie 25 m, je einer der 30 m-Tiefe, die übrigen einer Tiefe von wenigstens 35 Meter entnommen. Wenn eine Tierart in der Tiefenzone gemein gefunden wird, erscheint zwar in manchen Fällen der Schluß als völlig berechtigt, daß sie hier in eigentlichstem Sinne zuhause ist, aber nicht in allen Fällen. Denn ein massenhaftes Auftreten in der litoralen oder sublitoralen Zone bringt es mit, daß die betreffende Art, besonders wenn es sich um eine lebhaft bewegliche oder leicht transportable Art handelt, auch in den tieferen Schichten einigermaßen häufig auftritt, und zwar ohne daß man berechtigt wäre, bestimmt zu behaupten, daß sie sich, ohne Zufluß von Individuen aus der Litoralzone, in der Tiefe hätte auf die

Länge erhalten können. Und umgekehrt kann eine sehr bescheidene Individuenzahl in der Tiefe jedoch eine echt profunde Lebensweise bekundigen, nämlich wenn die Zahl in anderen Zonen noch kleiner ist. Ohne die relative Frequenz zu erforschen, ist es daher in den meisten Fällen nicht möglich, das Tiefenleben einer Art ökologisch zu beurteilen. Es kann nicht zu scharf hervorgehoben werden, daß ein Leben in der Tiefe, sogar eine Fortpflanzung daselbst, an und für sich sehr wenig über die Fähigkeit der betreffenden Art, sich dem Tiefenleben anzupassen, aussagt. Nur wenn der Bestand einer Art, ohne Zufuhr von Individuen aus anderen Zonen, in einer Tiefenzone während vieler Generationen sich erhalten kann, ist die Art hier fest eingebürgert. Wie es sich mit dieser Sache verhält zu erforschen, haben wir meines Wissens kein anderes Mittel, als die Zone des Frequenzmaximums festzustellen.

Daher habe ich versucht, die Fänge möglichst gleichförmig über alle Tiefenzonen des Sees zu verteilen. Ein Übersicht der Verteilung findet sich S. 204.

Die von mir gebrauchten **Geräte** habe ich schon früher in einigen Zeilen erwähnt (Ekman 1911). Es sind dies: die doppelrahmige Netzdredge, die Schlepppreuse und der verschließbare Schlamm schöpfer. Die Netzdredge hat sich natürlich eigentlich als unentbehrlich erwiesen, jedoch finde ich jetzt, daß ich die mit dem doppelten Rahmen verbundenen Vorteile etwas überschätzt habe. Ein ziemlich langer Netzbeutel dürfte dasselbe wie der doppelte Rahmen leisten, nämlich daß die Tiere nicht entfliehen; die siebartige Beschaffenheit des Gazetuches dürfte eine hinreichende Sicherheit dafür bieten, daß der Beutel die Tiere gegen die Mündung pressen könnte. Der doppelte Rahmen bringt sogar eine Gefahr mit: man muß genau darauf achten, daß das Seil hinreichend lang oder das Gewicht vor der Dredge hinreichend schwer ist, sonst kann der Übelstand eintreten, daß nur der hintere Rahmen, nicht aber der vordere, in den Boden hineinschneidet, was das Resultat natürlich sehr beeinträchtigt. Bei künftigen Untersuchungen werde ich daher die Steinmannsche Dredge mit einem langen Beutel, aber ohne Rechenzähne, brauchen. Ich bin nämlich zur Auffassung gekommen, daß die geringe Ausbeute der von mir bei meinen frühesten Untersuchungen gebrauchten Dredge nach dem Typus mit drei weichen Zugleinen eben von diesen weichen Leinen abhängt und nicht vom einfachen Rahmen. Die von Steinmann (1909)

eingeführten starren Zugstäbe sind meiner Meinung nach unbedingt erforderlich. Dagegen halte ich die von ihm empfohlenen eisernen Rechenzähne am Rahmen für nicht erforderlich, auf hartem Boden sogar schädlich, denn sie verhindern dann das Einschneiden in den Boden. Übrigens können die Rechenzähne auch auf losem Boden nicht ihren Zweck, die Herschaffung einer Schlammwolke, in der sich die Dredge bewege, erfüllen, denn die Wolke bleibt offenbar hinter dem Beutel stehen (vgl. Ekman 1911).

Die Schleppreue hat mir sehr gute Dienste geleistet, wenn es galt, die größeren Tiere in größerer Zahl zu erbeuten. Das soeben vom doppelten Rahmen geäußerte hat indessen natürlich auch auf die Schleppreue seine Verwendung, ich halte einen solchen auch bei diesem Gerät nicht mehr für notwendig. Statt der doppelrahmigen Schleppreue möchte ich jetzt eine einfachrahmige, aber mit Mündungskehle¹⁾ versehene große Dredge empfehlen. Der Bequemlichkeit halber könnte man übrigens auch mit einer kleineren Dredge ziemlich gut auskommen, aber dann das lose Gewicht vor der Dredge vergrößern, damit man mit größerer Geschwindigkeit ziehen könne, ohne die Dredge über den Boden zu heben.

Unter den Geräten beansprucht das Hauptinteresse der verschleißbare Bodenschöpfer, zu dem wir jetzt übergehen.

B. Die quantitative Methode.

Der verschleißbare Bodenschöpfer und seine Handhabung.

Den schon früher von mir (1911) beschriebenen, zunächst für die Vättern-Untersuchungen konstruierten verschleißbaren Schlamm-schöpfer, oder, wie ich ihn jetzt lieber benenne, den verschleißbaren Bodenschöpfer — er ist nämlich nicht besonders für den weichen Schlamm, sondern für jede nicht stein- oder geröllreiche Bodenart konstruiert — habe ich in sehr ausgiebigem Maße verwendet. An den früher beschriebenen Typus habe ich die ziemlich unwesentliche Änderung vorgenommen, daß die Deckel des Behälters vor dem Herunterlassen des Bodenschöpfers mittels je einer Kette an dieselben Zapfen aufgehängt werden, welche auch die Ketten der Schaufeln tragen. Weiter sind die Deckel mit je einer Spiralfeder versehen, die sie sofort nach dem Abfallen der Kette, wenn der Apparat auf

¹⁾ Die Mündungskehle muß in den Beutel weiter hineinragen als sie in meiner Fig. 2 von 1911 gezeichnet wurde.

den Boden aufschlägt, an den Behälter herunterpreßt (Fig. 2). Dadurch wird der Verschuß ein geschwinder und nichts kann nach oben entfliehen.

Der Bodenschöpfer darf nicht aus zu schwachem Messingblech hergestellt werden, denn er kann dann leicht Buckel bekommen und so undicht werden. Ich halte eine Dicke von 1,3 mm für erforderlich. Was die Konstruktion im übrigen betrifft, muß ich auf die Beschreibung von 1911 verweisen.

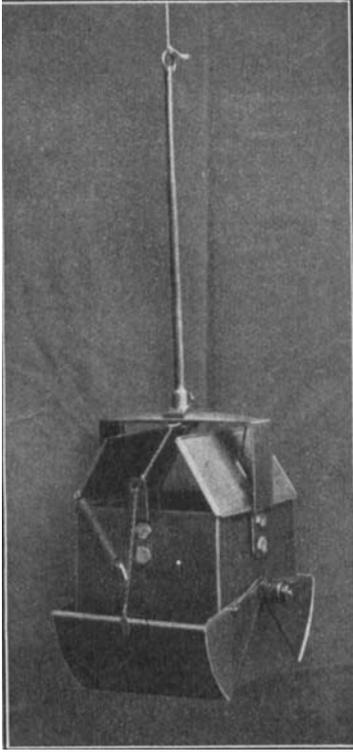


Fig. 2.
Verschiebbarer Bodenschöpfer für
zoologische Zwecke, für die Nieder-
senkung aufgestellt.

Beim Niederlassen des Bodenschöpfers ist viel Sorgfalt darauf zu verwenden, daß das Hinabsenken völlig gleichförmig vor sich geht. Denn der Verschußmechanismus ist sehr empfindlich; wenn ein Ruck geschieht, kann der Apparat verschlossen werden schon bevor er den Boden erreicht hat. Daher darf man niemals den Apparat eilig nach unten lassen, sondern muß immer darauf achten, daß das Seil völlig gespannt ist. Ein Gebrauch auf stark bewegtem See ist somit ausgeschlossen, wenn man nicht einen Fallschirm am unteren Ende des Seils anbringt. Diesenfalls darf das Seil natürlich nicht straff gehalten werden.

Wenn der Apparat nach dem Heraufziehen entleert werden soll, bediene ich mich eines Zinkblechbehälters. Zu dem, was ich früher darüber (1911) geäußert habe, mag hier hinzugefügt³ werden, daß der Boden dieses Behälters eine Einsenkung mit derselben etwa viertelzylinderförmigen Ausgestaltung haben muß, wie die zusammengesetzten Schaufeln des Apparats, denn es liegt daran viel Gewicht, daß das Bodenmaterial in derselben Schichtung studiert werden kann, die es am Seegrund besaß. Nur so kann man eine Auffassung von den verschiedenartigen Bodentypen und ihrem Einfluß auf die Fauna bekommen (vgl. unten).

Wenn die soeben gegebenen Vorsichtsmaßregeln berücksichtigt werden, fungiert der Bodenschöpfer sehr gut, auch in den größten Tiefen (120 m). Ich brauchte ihn niemals vergebens niederzulassen, wenn der Boden überhaupt geeignet, d. h. wenn er nicht geröllartig war, oder wenn nicht kleinere oder größere Steine aus irgend einer Zufälligkeit zwischen den Schaufeln geraten waren. Dies war aber in der oberen 10 m-Schicht der Uferzone der Regel nach der Fall, und deshalb kommt es, daß ich in dieser Tiefe nur zwei Bodenschöpferfänge ausführen konnte.

Eine Fehlerquelle bei der Beurteilung der Bodenschöpferfänge liegt natürlich darin, daß die Schaufeln nicht ganz dicht an den Behälter schließen; es bleibt immer zwischen beiden ein kleines Spältchen, wodurch ein Teil des Inhalts herausspritzen kann. Diesen Übelstand kann man teilweise damit beseitigen, daß man den Schöpfer möglichst eilig über die Wasseroberfläche hebt und ihn in den Entleerungsbehälter einsetzt, wodurch etwa die Hälfte des abfließenden Inhalts in denselben aufgenommen und so in die Schätzung mit einbezogen wird. Den übrigen Teil des Abflusses kann man indessen, wie ich experimentell festgestellt habe, als belanglos bezeichnen. Um die Sache zu untersuchen und die genannte Fehlerquelle zu beseitigen, verschaffte ich mir eine Stange, an deren Ende ich ein großes Planktonnetz von derselben Maschenweite wie das später zu verwendende Sieb (Seidengaze Nr. 6) befestigte. Mit diesem Netz umgab ich den Bodenschöpfer, bevor ich ihn über die Wasseroberfläche heraufholte, und untersuchte nachher den Inhalt des Netzes. Dabei eilte ich nicht, sondern ließ alles, was herausfließen konnte, ins Netz kommen, bekam somit in demselben etwa doppelt so viel als was sonst verloren gegangen wäre. Ich bekam aber entweder keine oder nur sehr wenige Tiere ins Netz, was daraus zu erklären ist, daß der Bodenschlamm selbst die Spalten füllt, wodurch das herabfließende Wasser mehr oder weniger vollständig filtriert wurde. Daher übergab ich bald diese Vorsichtsmaßregel.

Der Behälter des Bodenschöpfers umspannt 5 dm², diese Oberfläche wird somit jedesmal abgefischt. Im losen Schlamm greifen die Schaufeln etwa 6—8 cm tief hinein, in Sandboden natürlich etwas weniger tief, jedoch wenigstens etwa 5 cm.

Die Durchmusterung der Fänge.

Nachdem ich den Fang in den Entleerungsbehälter eingesammelt hatte, begann eine Durchmusterung desselben, der nicht nur ein

Herauslesen der Tiere, sondern auch als sehr wesentliche Hauptsache eine Untersuchung des Bodens, vor allem seine stratigraphischen Verhältnisse, bezweckte. Der erste Schritt bestand daher darin, das Bodenmaterial in der natürlichen Lage zu besehen. Es ist ein sehr großer Vorteil des Bodenschöpfers, daß er das Bodenmaterial ohne Umschütteln vor die Augen des Einsammlers bringt. Immer verzeichnete ich die verschiedenen Bestandteile des Materials, ebenso in welcher gegenseitigen Lage sie auftraten, z. B. ob Sand oder Ton zu oberst lag, ob sie regelmäßig untereinander abwechselten, wo eventuell vorhandene Steine lagen, wieviel Chitinsediment die übrigen Bestandteile bedeckte, in welcher Ausbildung die Gytija in den verschiedenen Tiefenzonen der Schichtung auftrat usw. Die nähere Beschreibung dieser Verhältnisse erfolgt weiter unten.

Erst wenn diese Durchmusterung abgeschlossen war, begann die Aussiebung der Tiere. Diese geschah in der Weise, daß das Material in kleinen Portionen — zu große Portionen erschweren sehr wesentlich das genaue Durchmustern — in ein Sieb hinübergeführt wurde, wo die feinsten Bestandteile des Schlammes hindurchfiltriert wurden. Der Stoff des Siebes bestand aus Seidengaze Nr. 6. Beim Herausspülen aus dem Entleerungsbehälter in das Sieb kamen zuerst die losesten Bestandteile des Bodens und mit diesen natürlich die meisten Tiere. So lange das lose, verhältnismäßig tierreiche Material noch gesiebt wurde, führte ich die ganze im Sieb zurückbleibende Masse in das Glasgefäß über, wo die Probe definitiv aufzubewahren war, und erst wenn ich beim Filtrieren zum kompakteren Teil des Bodenmaterials gekommen war, durchmusterte ich mit der Lupe den sehr dünnen, möglichst gleichmäßig über die Gaze verteilten Rückstand und nahm die eventuell entdeckten Tiere heraus. Zwecks der gleichmäßigen Verteilung des Rückstands im Sieb — eine Hauptbedingung für das genaue Durchmustern — muß die Gaze straff gespannt sein. Bei dieser Untersuchung des auf dem Tuch zurückgebliebenen Rückstands können natürlich einige der kleinsten Tiere der Aufmerksamkeit entgehen, aber der Prozeß wird, wie erwähnt, nur dann vorgenommen, wenn das noch ungesiebte Material sehr arm an Tieren ist; der Nachteil kann daher nur ein sehr kleiner sein. Ein Aufbewahren auch dieses tierarmen Materials in undurchmusterterem Zustand würde die künftige Behandlung sehr verlangsamen, ohne einen entsprechenden Vorteil zu gewähren. Aber in den ziemlich vielen Fällen, wo das ganze Bodenmaterial locker und einiger-

maßen reich belebt war, namentlich wenn es sich um die Chitinyttja mit unterliegender Vollgyttja handelte (vgl. unten), wurde der ganze Rückstand aller Filtrationen für künftige Untersuchung aufbewahrt.

Das so in Glasgefäßen aufbewahrte Material wurde in der gewöhnlichen Weise untersucht. Mit der Lupe durchmusterte ich es in einer flachen Glasschale, die je nach Bedürfnis abwechselnd auf schwarzer und weißer Unterlage gehalten wurde. Von denjenigen Arten, die von mir selbst bestimmt worden sind, wurden dabei alle Individuen gezählt und die Ziffern im Journal aufgeführt; selbstverständlich wurden auch andere Bemerkungen notiert und das Material jeder einzelnen Probe für sich aufs weitere aufbewahrt. Die von mir selbst nicht bestimmten Arten wurden gruppenweise in Glasröhrchen verteilt, um später den Spezialisten überliefert zu werden. Selbst zählte ich indessen die Individuen jeder einzelnen Gruppe und machte, wo es mir wünschenswert erschien, auch andere Aufzeichnungen. Die betreffenden Spezialisten haben sich später der Mühe unterzogen, bei den Artbestimmungen auch die Individuenzahl jeder einzelnen Art zu notieren, einer Arbeit, die mich zur größten Dankbarkeit verpflichtet.

Selbstverständlich sind die mittels dieser Methode gewonnenen Individuenzahlen Minimzahlen. Die Fehlerquellen — bei der Entleerung des Bodenschöpfers, bei der bisweilen vorgenommenen Durchmusterung des auf der Siebgaze liegenden Materials und bei der Durchmusterung des aufbewahrten Materials — können jedoch nicht groß sein; besonders von den größeren Tieren (etwa 3 mm oder mehr) dürfte nur ausnahmsweise ein Exemplar mir entgangen sein. Dasselbe gilt auch von den leicht beobachteten kleineren Tieren, z. B. den Ostracoden. Einige andere Arten aber dürften tatsächlich in beträchtlich größerer Zahl vorhanden gewesen sein als sie in den Journalen aufgeführt wurden. Jedoch möchte ich glauben, daß die Zahl für keine Art mehr als zum doppelten zu erhöhen sei, um den in der Natur vorhandenen Verhältnissen zu entsprechen.

Die Protozoen und die Rotiferen sind in dieser Untersuchung unberücksichtigt geblieben. Eine Untersuchung dieser winzigen Tiere sollte, um quantitativ verwendbare Resultate zu gewähren, mit einer geringeren Bodenoberflächeneinheit als 5 dm² laborieren, denn sonst würde sie allzuviel Zeit und Mühe verschwenden. Auch müßte natürlich dabei das Durchmustern unter dem Mikroskop geschehen.

Die mittels dieser quantitativen Methode erzielten Vorteile sind dreierlei Art:

1. Vorteile in rein quantitativer Hinsicht. Das Ziel, welches mir beim Konstruieren des verschleißbaren Bodenschöpfers vorschwebte, war zunächst, die Quantität der verschiedenen Tierarten bestimmen zu können. Eine solche Bestimmung würde in doppelter Hinsicht von Bedeutung sein können. Erstens würde sie uns einen Schritt näher der Beantwortung der großen Frage über die allgemeine Stoffumsetzung im Süßwasser führen, und zweitens würde sie von großer praktischer Bedeutung sein, da eine genauere Kenntnis der Menge der Fischnahrung natürlich für eine rationelle Fischereiwirtschaft eigentlich unentbehrlich ist. Der sog. Bonitierung der Binnenseen dürfte künftig eine sehr wichtige sowohl wissenschaftliche als praktische Rolle zuteil werden.

Die Zeit, wo die Bonitierungsuntersuchungen im Vättern weiter verwertet werden können, dürfte indessen ziemlich entfernt sein. Für sowohl den rein wissenschaftlichen als den praktischen Zweck wäre es geeigneter gewesen, mit einem kleineren, leichter überblickbaren See anzufangen; betreffs der rein wissenschaftlichen Fragen sind ja übrigens noch manche Untersuchungen über Plankton, Protisten der Bodenfauna, Chemismus des Wassers usw. auszuführen, bevor wir die Hauptprobleme der Frage nach der allgemeinen Stoffumsetzung eigentlich in Angriff nehmen können, und es muß eine noch längere Zeit verfließen, ehe wir sichere Resultate in einer oder der andern Frage erwarten können. Daher erblicke ich selbst in den folgenden quantitativen Auseinandersetzungen nicht zunächst einen Schritt zur Aufklärung der Frage nach der allgemeinen Stoffumsetzung im Vättern, sondern in erster Linie einen Anstoß zur Anwendung quantitativer Methoden und einen Beitrag zur Ausbildung derselben.

2. Größere Genauigkeit bei der qualitativen Beurteilung der Bodenfauna. Aus Gründen, die soeben angeführt wurden, betrachte ich es als sehr wichtig, nicht nur die Tiefe festzustellen, in welcher eine Art leben kann, sondern auch die Tiefenzone des Frequenzmaximums zu bestimmen. Dies kann aber mittels der Dredge nur in sehr ungenauer Schätzung geschehen, denn verschiedene Dredgezüge sind gar nicht immer unter sich vergleichbar, und was noch schlimmer ist, wir können nicht wissen, wann sie vergleichbar sind und wann nicht. Die Gründe hierfür sind die folgenden:

Erstens wissen wir nicht, wie eine große Bodenoberfläche von der Dredge abgefischt worden ist. Auch wenn wir die Strecke bestimmen können, die zwischen dem Ort des Aufschlages der Dredge auf den Boden und dem Ort ihres Aufziehens liegt — und auch dies können wir gar nicht immer —, ist es uns jedoch unmöglich zu wissen, wie ein großer Teil dieser Strecke abgefischt wurde. Wenn die Dredge einige Zentimeter oberhalb der Bodenoberfläche gehoben wird, fängt sie nichts oder fast nichts, wenn sie den Boden bis zu einer geeigneten Tiefe abschäumt, fängt sie möglichst viel, wenn sie sich tief in denselben hineingräbt, kriegt sie wieder nur wenig, denn die meisten Öffnungen des Beutelstoffes werden dann zugestopft und nichts wird durch sie filtriert. Auf diese mit dem Dredgenzug verknüpften Übelstände hat auch Petersen (1913) betreffs der Meeresuntersuchungen hingewiesen. Es kommen aber noch andere hinzu. Wenn das erwähnte zu tiefe Einschneiden der Dredge in den Boden erst am Ende des Dredgenzuges geschieht, wird es fast belanglos, denn die Ausbeute war schon früher eine gute geworden, aber wenn es schon am Anfang des Zuges stattfindet, wird der ganze Zug verfehlt, denn die Beutelöffnungen bleiben natürlich vom Schlamm zugeschlossen, auch wenn die Zugweise in der Fortsetzung eine völlig geeignete ist. Es ist aber ganz unmöglich zu wissen, ob und wann ein solches tiefes Einschneiden geschehen ist. Besonders wenn die Dredge ohne Vorsicht eilig in die Tiefe hingelassen wird, gräbt sie sich sicher sehr oft schon sogleich tief in den Schlamm hinein, und der folgende Fangzug wird mißlingen. Daher empfiehlt es sich, die Dredge nur ziemlich langsam und in hängender Lage herunterzulassen. Aber auch mit aller Vorsicht sind Fehlerschlüsse nicht zu vermeiden. Denn auf hartem Boden, in den der Dredgenrahmen fast nicht einschneidet, werden die Sieblöcher nicht zugestopft, sondern es wird ziemlich viel gefangen, aber man kann nicht wissen, ob ein Fangzug, der mit schlammgefülltem Dredgenbeutel endigt, die ganze Strecke auf weichem Boden oder teilweise auf hartem, teilweise auf weichem Boden ausgeführt worden ist, und ebenso unmöglich ist es zu entscheiden, ob im letztgenannten Fall der weiche Boden zuerst oder zuletzt befahren wurde, was offenbar von Bedeutung ist. Mit der Dredge bekommt man oft den Eindruck, als ob der harte Boden sogar reicher belebt wäre als der schlammige, auch wenn das Entgegengesetzte der Fall ist. Ich machte anfangs diesen Schlußfehler sehr oft, bis mich die Bodenschöpferfänge über das tatsächliche Verhalten belehrten.

Zweitens können wir nicht wissen, wie viele Tiere zwar in den Beutel hineingekommen, aber aus unbekanntem Ursachen entwichen sind, und zwar wissen wir nicht, ob das Entweichen für eine und dieselbe Art unter verschiedenen Umständen denselben Maßstab annimmt.

Drittens bleibt uns die Art und Beschaffenheit des überfahrenen Bodens unbekannt. Zwar können wir dem heraufgehobenen Material ansehen, ob es hart oder schlammig, ob der Schlamm mineralischer, tierischer oder pflanzlicher Herkunft ist usw., aber unser Kenntnis bleibt jedoch in zwei sehr wichtigen Hinsichten gleich Null. Wir wissen nicht, ob die im Material vorhandenen Bodenbestandteile auch im Boden zusammen oder ob sie gesondert für sich lagen, können somit nicht wissen, in welcher Weise sie die zusammen mit ihnen erbeuteten Faunenelemente beeinflussen. Gesetzt, wir haben in einem Fangzug sowohl Sand als einen chitinreichen Schlamm bekommen und dazu zwei Tierarten **A** und **B**. Wir wissen aber natürlich nicht, ob **A** sowohl in Sand als in Chitinschlamm, ob er nur in reinem Sand oder nur in reinem Chitinschlamm oder vielleicht in einem Gemisch von beiden lebte. Auch wissen wir nicht, ob beide Arten dieselben Lebensgewohnheiten hinsichtlich des Bodens haben, oder ob sie vielleicht in dieser Hinsicht konträre Gegner sind. Es folgt aus dem Gesagten, daß ich solchen Angaben, die man in der Literatur sehr oft finden kann, wie z. B. die, daß eine Art in diesem oder jenem Bodentypus gefangen worden ist, sehr wenig Vertrauen geben kann; noch mehr gilt dies, wenn es sich darum handelt, eine ganze Tiergesellschaft in dieser Weise zu charakterisieren.

Auch in einer andern Hinsicht muß die mittels der Dredge gewonnene Kenntnis des Bodens sehr lückenhaft sein, bzw. ganz ausbleiben: über die Stratigraphie des Bodens belehren uns die Dredgenfänge sehr wenig oder gewöhnlich gar nichts. Wir können nicht wissen, ob bei einer Bodenart, welche die Dredge sowohl mit Sand als Ton gefüllt hat, der Sand oder der Ton zu oberst lag, oder ob beide gleichmäßig vermischt waren; wir können somit nicht wissen, mit welchem der beiden Bestandteile die Tiere in nächster Berührung gelebt hatten. Auch gewähren uns die Dredgenfänge kein Urteil darüber, wie groß die Menge des feinsten organischen Detritus war, der den übrigen Bodenbestandteilen aufgelagert war, denn wir wissen nichts bezüglich der Größe des abgefischten Areals. Wir

wissen somit nicht, ob die Tiere in nahrungsarmer oder nahrungsreicher Umgebung lebten.

Wir sind mit diesen Erörterungen zum dritten Kardinalvorteil der quantitativen Methode hinübergekommen.

3. Eine genaue Feststellung der Bodentypen. Sie ist in zwei Hinsichten von Bedeutung.

Erstens ist es sehr wichtig zu wissen, in welcher Weise der Bodentypus die Verteilung der verschiedenen Tierarten beeinflusst. Wenn wir finden, daß eine Tierart in den profunden Abteilungen eines Sees zahlreicher als im Litoral auftritt, oder vielleicht in den erstgenannten vorhanden ist, im letztgenannten aber gänzlich fehlt, so scheint beim ersten Zusehen der Schluß sehr berechtigt zu sein, daß die betreffende Tierart ein wahrer Tiefenbewohner ist, und es sind von den Tiefseeforschern tatsächlich solche Schlüsse sehr oft gemacht, wie schon ein flüchtiger Blick in die einschlägige Literatur belehrt. Aber ein solcher Schluß ist nicht immer berechtigt; im Gegenteil ist er immer verfrüht, wenn er nur aus den genannten Gründen gezogen wird. Denn es ist a priori sehr denkbar und kommt in der Natur tatsächlich oft vor, daß das Tiefenleben einer Tierart in einem See nicht von den Tiefenverhältnissen an sich, sondern von ganz andern Umständen abhängt. Von den mit der Tiefe in erster Linie zusammenhängenden Existenzbedingungen—hoher Wasserdruck, konstant niedrige Temperatur, Ruhe des Wassers, Abwesenheit greller Belichtung—kann die fragliche Art ganz unabhängig sein, und sie bevorzugt vielleicht die Tiefe, nur weil in derselben ein weicherer Bodentypus vorherrscht, der für das Gedeihen der Art von der größten Bedeutung ist. Dieser Bodentypus kann aber anderorts auch in geringer Tiefe vorkommen, und so ist es gänzlich verfehlt, von einer eigentlichen Tiefseeeatur der Art zu reden. Umgekehrt wird es oft eintreffen können, daß eine Art die Tiefe meidet, nur weil der ihr zusagende Bodentypus dort fehlt. Belege für den einen wie den andern Fall werden wir im folgenden mehrmals finden. Über diese Verhältnisse kann nur der Bodenschöpfer Aufschluß geben. Nur die mittels des Bodenschöpfers gewonnenen Befunde können uns einen Einblick in die Abhängigkeit der Bodenfauna von der Bodenbeschaffenheit gestatten; nur so wird uns die Möglichkeit zu einer Analyse der die Zusammensetzung der Tiefseefauna bewirkenden Faktoren gegeben.

Aber auch die Untersuchung der verschiedenen Bodentypen an sich ist von Wichtigkeit. Erstens für rein limnologisch-geologische Zwecke. Ich glaube durch die folgenden Zeilen zeigen zu können, daß in dieser Hinsicht noch manches zu tun ist, und es ist ohne weiteres einleuchtend, daß eine Klarlegung der Bodentypen des Sees in ihrer Zusammensetzung und ihrer Entstehungsweise ohne den Bodenschöpfer unmöglich gewesen wäre. Wie der Bodentypus auf die Fauna, so wirkt aber auch die Fauna auf den Bodentypus ein. Wir werden durch ein genaueres Studium des Bodens eine Einzelheit der Stoffumsetzung des Sees enthüllen, indem wir finden, wie die Überbleibsel der toten Tiere, vor allem die Planktonleiche, zu einem ganz bestimmten Bodentypus angehäuft werden. Ebenso wird uns das Studium anderer Bodentypen zur Schlußfolgerung leiten, daß die Wasserströmungen des Sees auch in sehr bedeutenden Tiefen stellenweise sehr kräftig sind, einer Entdeckung, die wir mit den uns bisher zur Verfügung gestandenen Mitteln nicht hätten machen können. Diese Folgerung gestattet uns ihrerseits ein Verständnis der Wasserumsetzung in den größeren Tiefen, des Sauerstoffzufuhrs und des Abfuhrs von schädlichen Gasen, eine Erkenntnis, die natürlich unsere Auffassung von den äußeren Existenzbedingungen der profunden Tierwelt in hohem Grad beeinflussen muß.

So hat die Bodenschöpfermethode manche Resultate geliefert, die von vornherein nicht zu erwarten waren, und sie hat meine Hoffnungen weit übertroffen. Anfangs war auch ich der Meinung, daß ihre Vorteile hauptsächlich im rein quantitativen Gebiet zu suchen seien. Jetzt finde ich, daß die rein quantitativen Ergebnisse, obwohl in der Zukunft wahrscheinlich besser verwertbar als jetzt, zurzeit bescheidener sind als diejenigen Vorteile, welche darin liegen, daß wir bei einer qualitativen Untersuchung mit größerer Präzision arbeiten können und so die Analyse der ökologisch-tiergeographischen Faktoren schärfer auszuführen imstande sind (vgl. die eigentümliche Aussprache von Fehlmann 1912, S. 49).

Aber — so dürfte vielleicht ein Einwand lauten — ist es auch praktisch lohnend, die Bodenfauna mit einem Apparat nachzuforschen, der nur 5 dm² Bodenoberfläche jedesmal heraufholt, ist nicht die darin erbeutete Individuenzahl gar zu klein, um dem Zeitaufwand und der Mühe zu entsprechen? Die unten folgenden Mitteilungen im Kapitel über die quantitativen Befunde mögen die Frage im einzelnen beantworten. Hier mag nur angeführt werden, daß ich nur einmal

eine mittels des Bodenschöpfers heraufbeförderte Probe ganz leer an Tieren fand, und nur einmal fand ich nur 3 Individuen. In keiner der übrigen fand ich weniger als 11 Individuen und wenigstens 7 Arten. In einer fanden sich 370, in einer andern 340 Individuen, in einer etwa 30 Arten. Von den 96 Proben enthielten 31, somit etwa ein Drittel, mehr als 100 Individuen. Ein Vergleich mit den Fangresultaten der Dredge und der Schleppreue fällt für den Bodenschöpfer gar nicht ungünstig aus. Zwar konnte ich mit den erstgenannten Geräten von *Mysis*, *Pontoporeia* und *Pallasea* ausnahmsweise zusammen mehr als 300 Individuen in einem Fangzug erbeuten, jedoch nur auf hartem Boden. Aber in keinem Zug, weder mit der Dredge noch mit der Schleppreue, erhielt ich mehr als etwa 24 Arten. Wenn man bedenkt, daß die Dredge über eine unvergleichlich größere Bodenoberfläche als die Fangfläche des Bodenschöpfers (5 dm²) hinweggleitet, muß das Resultat des soeben angestellten Vergleichs als ganz überraschend bezeichnet werden; es zeigt, welch ein unvollkommenes Fanggerät die Dredge in der Tat ist. Die Erstaunung über den Tierreichtum des Meeresbodens, die Petersen (1911, 1913) bei der Anwendung seines Bodenschöpfers fühlte, weil die gewöhnlichen Dredgen einen solchen Reichtum nicht hatten ahnen lassen, kann ich in bezug auf die Bodenfauna der Binnenseen (streng genommen nur des Vättern) vollkommen teilen, obwohl die Individuenmenge im Süßwasser, besonders betreffs der größeren Tiere, diejenige des Meeres natürlich bei weitem nicht erreicht.

Wenn man in einem See mehr vorübergehend die Bodenfauna nachforschen will, oder wenn es nur darauf ankommt, eine Artenliste der in dieser oder jener Tiefe lebenden Fauna zu geben, so kann man mit der Dredge gut auskommen, ebenso wenn die Untersuchung hauptsächlich in den geringen Tiefen, wo der Bodenschöpfer wegen der Beschaffenheit des Bodens nicht geeignet ist, ausgeführt werden soll. In solchen Fällen ist die Dredge wegen ihrer größeren Handlichkeit sogar vorzuziehen. Aber wenn es gilt nachzuweisen, wie sich die Bestandteile der Fauna auf verschiedene Tiefenzonen verteilen oder wie sie von den verschiedenen übrigen Existenzbedingungen abhängig sind, dann kommt man ohne die quantitative Methode nicht weit. Es sollte diese somit meiner Ansicht nach in jedem Fall zur Anwendung kommen, wo eine monographische Untersuchung eines Seebeckens vorgenommen werden soll. Natürlich jedoch immer zusammen mit Dredgenfängen, denn von einigen Tieren, namentlich

den größeren oder selteneren, bekommt man mit dem Schlamm-schöpfer zu wenig, besonders für gewisse Untersuchungen, z. B. über die Fortpflanzungsverhältnisse.

* * *

Gleichzeitig und vollkommen unabhängig voneinander haben C. G. Joh. Petersen und ich verschließbare Bodenschöpfer für zoologische Zwecke konstruiert¹⁾; beide machten wir unsre ersten Veröffentlichungen 1911. Die beiden Apparate sind auch von ganz verschiedenen Typen (vgl. Petersen, 1911, S. 47, Pl. 1; 1913, Pl. 1). Da ich den Petersenschen Apparat nicht aus eigener Erfahrung kenne, kann ich mich nicht bestimmt darüber äußern, ob man dem einen oder dem andern der beiden Typen den Vorzug geben soll; jedoch möchte ich glauben, daß jede von ihnen denjenigen Verhältnissen am besten entspricht, für die sie konstruiert wurde. Petersens Bodenschöpfer, der eine Bodenoberfläche von 0,1 m² umspannt, wiegt 40 kg, der meinige, der eine halbsogroße Oberfläche einschließt, wiegt nur 6,3 kg. Da beim erstgenannten Apparat die Zuverlässigkeit des Schließens vom Gewicht sehr abhängig zu sein scheint, dürfte er nicht viel leichter werden können, und er wäre somit in einem Binnensee, wo man die Untersuchungen von einem Ruder- oder Motorboot aus betreiben muß, ganz zu unhandlich. Auf dem Meere aber dürfte er geeigneter als der meinige sein, denn hier liegt wegen der stärkeren Wasserströmungen eben in der Schwere ein Vorteil. Inwieweit mein Typus auch für marine Zwecke sich in geeigneter Weise verändern läßt, möchte ich zurzeit dahingestellt lassen.

Kap. 3. Die Beschaffenheit des Bodens.

Faktoren der Bodengestaltung.

Vier Umstände tragen dazu bei, die Beschaffenheit des Vätternbodens in hohem Grad eigenartig und gegenüber dem Boden kleinerer Seen verschiedenartig zu gestalten: 1. Die erhebliche Größe des Sees; 2. die längs des größten Teils der Uferstrecke völlige Abwesenheit geschützter Buchten und die dadurch bedingte ungebrochene Kraft der Brandungen; 3. die starken Wasser-

¹⁾ Petersen konstruierte seinen ersten Apparat schon 1896; über denselben wurde jedoch vor 1911 nichts veröffentlicht (Petersen 1911, S. 46).

strömungen und 4. der hochgradige Mangel an größeren Zuflüssen.

Die Armut an Buchten geht sofort durch einen Blick auf die Karte hervor. Längs etwa 90 km seiner Länge entbehrt der See an beiden Ufern einer jeden Bucht, die so geschützt wäre, daß in ihr Bestände von Wasserphanerogamen sich entwickeln könnten, höchstens kommen sehr vereinzelt, winzige und lichte Bestände vor. Als Beispiel nehme ich eine mir in allen Einzelheiten diesbezüglich bekannte Strecke, nämlich die nächste Umgebung von Jönköping. Am genannten Ufer, das sich 9,5 km nördlich und 4,5 km östlich dieser Stadt streckt und somit 14 km lang ist, finden sich von Phanerogamen nur zwei dicht aneinander stehende kleine Bestände von *Batrachium peltatum*, die nur von etwa 3 bis 4 m Durchmesser sind und übrigens während stürmischer Sommer die Wasseroberfläche nicht erreichen. Sonst gibt es längs dieser 14 km, wie ich glaube bestimmt behaupten zu können, kein Exemplar einer phanerogamen Wasserpflanze. Ähnlich gestalten sich die Verhältnisse der Regel nach im ganzen südlichen und mittleren Teil des Sees. Die demnach praktisch genommen bezüglich des höheren Pflanzenlebens ununterbrochen sterile Strecke des Ufers beträgt etwa 215 km, wozu noch das 32 km lange Ufer der Insel Visingsö kommt. Nördlich von Karlsborg und Motala werden die Ufer weniger geradlinig und Inseln brechen hie und da die Kraft der Wellen ab, weshalb an vereinzelt Orten größere Bestände von *Phragmites*, *Potamogeton* u. dgl. gedeihen können, aber auch hier sind die weitaus größten Strecken nackt. Erst der allernördlichste Abschnitt des Sees, der sich von Askersund gegen 20 km nach S streckt und stellenweise einen wahren Archipelag von größeren und kleineren Inseln beherbergt, ist in größerer Ausdehnung von üppigeren Phanerogamenbeständen geschmückt.

Diese Nacktheit der Ufer ist natürlich ein Ausdruck der unbeschränkten Herrschaft der Wellen. Dieselbe bewirkt es auch, daß der Boden bis zu einer größeren Tiefe als in andern Seen von leichterem Material freigespült wird. Nur in den geschützten innern Teilen der Buchten oder hinter den Inseln findet man den leichteren Boden von losem Schlamm bedeckt, an den windoffenen Ufern aber hat die Littoralzone in ihrer ganzen vertikalen Ausdehnung festen Boden, der gewöhnlich aus Sand besteht. Überall, wo man die Beschaffenheit des Bodens mit den Augen deutlich verfolgen kann, was bis wenigstens 7 m Tiefe möglich ist, erblickt man die helle Farbe

des Sandes oder grobes Steingeröll. Oberhalb der 15 m-Linie fand ich mit dem Bodenschöpfer niemals einen Boden, dessen Oberfläche nicht hauptsächlich aus Sand bestand. Man kann diese Eigentümlichkeit auch so ausdrücken: Die Uferzone des Vättern ist längs des weitaus größten Teils der Ufer eine ununterbrochene Brandungszone.

Aber auch in weit größeren Tiefen ist die Bodenoberfläche meistens hart. Dies beweist, daß zum Wegspülen des leichten Schlammes auch andere Kräfte als der Wellenschlag wirksam sind, denn die Wellen dürften wohl nicht unterhalb der 15 m-Linie die Bodenbeschaffenheit beeinflussen. Für die großen Schweizer Seen wird die betreffende Grenze in gegen 10 m Tiefe verlegt (vgl. Forel 1901, S. 71). Die Kraft, welche in den tieferen Schichten den Boden umgestaltet, wird von den beträchtlichen Wasserströmungen des Sees geleistet. Sie bewirken, daß man auch in sehr beträchtlichen Tiefen harten Boden findet, und zwar nicht nur vereinzelt oder gar ausnahmsweise, was nichts merkwürdiges wäre, sondern über ausgedehnte Gebiete der Regel nach. Näheres wird hierüber unten erörtert. Zu demselben Resultat wirkt auch die oben genannte dritte hydrographische Eigentümlichkeit des Sees mit, die ausgesprochene Armut an größeren Zuflüssen.

Die Strömungen des Wassers habe ich ihrer Stärke nach nicht messen können, — die rein hydrographischen Fragen mußten natürlich zum größten Teil künftigen Forschungen überlassen werden — aber daß sehr ausgedehnte und starke Strömungen oft vorkommen, muß als eine Tatsache betrachtet werden. Selbst habe ich sie beim Niederlassen der Geräteseiile bemerkt, und das Treiben des Bootes bei völlig ruhigem Wetter zeigte mir sie mehrmals. Alle Fischer des Sees kennen sie. Oft sind ihre Netzreihen beim Aufziehen anderswo gerichtet als sie es beim Niederlassen waren, ohne daß man dafür Stürme verantwortlich machen kann, und Anzeichen dafür, daß die Strömungen des tieferen Wassers in anderer Richtung als diejenigen des Oberflächenwassers ziehen, oder daß sie nur in bestimmten Tiefenschichten herrschen, sind von den Fischern beim Niederlassen und Aufziehen ihrer Netze sehr oft bemerkt worden. Alle Fischer des Sees sind darüber völlig einig, daß die Geschwindigkeit der Strömungen oft sehr beträchtlich sein kann, besonders nach andauernden Stürmen. Über ein verhältnismäßig rasches Treiben einiger in den See geratenen Heumassen berichteten mir zwei Personen, die bei ruhigem Wetter an dem Ufer Zeugen des Triebes

wurden. Am stärksten sollen nach den Aussagen der Fischer die am Ostufer des Sees südlich und südöstlich von der Südspitze der Insel Visingsö und die vor der Gegend um Hjo vorbeiziehenden Strömungen sein.

Wenn ich somit über die Strömungen des Wassers nur wenig aus eigener direkter Erfahrung mitteilen kann, so zeigten mir jedoch die mit dem Schlammshöpfer heraufgeholtten Proben, wie wir unten finden werden, daß gewisse Eigentümlichkeiten der Bodenbeschaffenheit nur unter Annahme sehr starker Wasserströmungen, woran auch die tieferen Wasserschichten teilnehmen, verstanden werden können (vgl. S. 196).

Auch mit Hinsicht auf die Wasserbewegungen ist somit dieser große See eher dem Meere als den kleineren Binnenseen vergleichbar.

Die Ursachen des großen Betrags der Strömungen sind unschwer teils in der Größe des Sees, teils in seiner gestreckten Form und in dem Umstand, daß in dem weitaus größten Teil des Sees keine höheren unterseeischen Schwellen die Seewanne überqueren, zu erblicken. Hierdurch wird es erzielt, daß besonders die starken Winterstürme, die gewöhnlich in der Längsrichtung des Sees hinwegziehen, möglichst günstige Bedingungen finden, um in der entgegengesetzten Richtung gehende Strömungen der unteren Wasserschichten hervorzurufen zu können. Ob auch thermische oder andere Verhältnisse Ursachen der Strömungen sind, dürfte zurzeit nicht zu entscheiden sein. Es mag indessen bemerkt werden, dass auch nach andauernd ruhigem Wetter Strömungen zu beobachten sind.

Der Mangel an größeren Zuflüssen. Der Vättern besitzt ein im Vergleich zur Größe des Sees sehr kleines Sammelgebiet (Fig. 1, S. 150). Dazu kommt, daß die größeren der Zuflüsse, die allerdings nur bei Anwendung eines sehr bescheidenen Maßstabes als groß bezeichnet werden können, wegen der Topographie ihres Laufes nur eine sehr kleine Schlammmenge bis in den Vättern transportieren können.

Eine Durchmusterung der größeren Zuflüsse kann beim ersten Zusehen dies erläutern. Dabei können wir vom nördlichsten Teil des Närkebeckens absehen, denn in den langen Busen desselben wird der von den betreffenden kleinen Flüssen mitgeführte Schlamm sedimentiert, ehe das Wasser ins eigentliche Närkebecken hineingelangt.

Am Westufer des Hauptbeckens ergießt sich in den See — von den kleinen Bächen hier wie unten abgesehen — bei Rödesund un-

weit Karlsborg ein ziemlich umfangreiches Wassersystem, aber unmittelbar vor dem Einfließen in den Vättern durchfließt das Wasser die beiden Seen Viken und Bottensjön. Ersterer ist 27 km, letzterer etwa 9 km lang. Die Sedimentierung ist somit schon vor dem Eintritt des Wassers in den Vättern geschehen, wozu kommt, daß der Bottensjön nur 2 cm höher als der Vättern liegt und somit nur einen sehr leisen Strom in letzteren abliefern. Weiter südwärts an demselben Ufer ergießt sich bei Hjo ein größerer Bach, der aber kaum 5 km von dort den See Mullsjön durchflossen hat. Etwa ähnlich langen Weg hat der Bach bei Håldesholm geflossen, nachdem er den See Alfvasjön verließ. Der etwas größere kleine Fluß Svedån durchfließt in seinem Hauptlauf keinen See, ist aber nur etwa 14 km lang. Dasselbe gilt von dem etwa 17 km langen Fluß Knipån. Südlich davon fließt in Bankeryd der Fluß Dummån in den Vättern ein; er hat ein etwa 90 km² großes Einzugsgebiet, entwässert u. a. das große Moor Dummemosse. Die ein wenig südlicher ausfließende Lillån ist nur als Bach zu betrachten. Bei Jönköping ergießt sich teils der kleine Fluß Dunkehallaån, dessen Einzugsgebiet ein wenig kleiner als dasjenige von Dummån ist, teils der Fluß Tabergsån. Dieser ist der wasserreichste der bisher genannten. Nachdem er aber seinen etwa 23 km langen Lauf beendet hat, fließt er in den See Munksjön ein, der in unmittelbarer Nähe des Vättern liegt und somit den ganzen Schlammabsatz des Flusses empfängt. Die noch wasserreichere Huskvarnaån durchfließt in 12 km Entfernung von ihrer Mündung den 4 km langen See Stensjön. Am Ostufer des Vättern finden wir den vom See Landsjön fließenden großen Bach, dessen Lauf unterhalb dieses Sees aber kaum 1 km lang ist, weiter nördlich den Fluß Röttleån, dessen Lauf zwischen dem großen See Bunn und dem Vättern kaum 11 km lang ist. In die Vadstena-bucht fließt der vom großen See Tåkern herkommende Fluß Mjölnaån ein; sein Lauf unterhalb des Tåkern beträgt 8,5 km.

Damit sind die größten Zuflüsse des Vättern erwähnt. Ihre Größe ist gegenüber derjenigen des Sees weit geringer, als man es erwarten könnte, ihr Schlammabsatz kann somit nur gering sein. Dazu kommt, daß sie der Regel nach durch sandige Gebiete fließen, weshalb sie auch während des Hochwasserstandes im Frühling ungewöhnlich klares Wasser führen. Nur die vom Tåkern kommende Mjölnaån fließt in größerem Umfang durch tonhaltige Gebiete, ihr Wasser ist auch sehr getrübt und infolgedessen in der Vadstena-bucht oft weit hinaus

sichtbar. Endlich dienen die im untersten Laufe der meisten Zuflüsse gelegenen Seen als Reinigungsbassins, wovon das Flußwasser des Sandes und des Schlammes relativ frei in den Vättern hineingeht.

Die Zufuhr von Schlammpartikelchen in die Tiefe hat aber auch eine zweite Quelle außer den Zuflüssen des Sees, nämlich die Stürme. Diese bewirken natürlich eine Erosion des größeren Materials des Brandungsufers. Wie groß die Menge des in dieser Weise gebildeten Staubes ist, weiß ich nicht; finde es aber möglich, daß sie der Schlammmenge der Zuflüsse nicht sehr nachsteht. Jedenfalls ist auch die gesamte Schlammzufuhr der Tiefe als sehr gering zu bezeichnen.

Daß diese zwei letztgenannten Faktoren, die Strömungen und die sehr geringe Schlammzufuhr, die Beschaffenheit des Bodens in hohem Grade beeinflussen, werden wir finden, wenn wir diejenigen Bodentypen untersuchen, welche unterhalb der Brandungszone verteilt sind. Über ihre horizontelle Verteilung gibt die Karte Seite 203, über ihre bathymetrische Verteilung und ihre Beschaffenheit folgende Besprechungen näheren Aufschluß.

Die Bodentypen.

Die in mehr als 10 m Tiefe zu unterscheidenden Bodentypen sind die folgenden. (Die unten fett gedruckten Ziffern beziehen sich auf die mittels des Bodenschöpfers aufgeholtten Proben).

1. *Steine*. Kleinere oder größere Steine, bisweilen grobsteiniges Geröll (in 20 m Tiefe), bildeten, obwohl mit Sand untermischt, den hauptsächlichsten Bestandteil des Bodens in folgenden Tiefen: **13, 13, 15,5, 18, 20, 27** m. Der Abstand vom Ufer war an diesen Orten bzw. 2,7 1,1, 1,6, 1,7, 6,5 und 1 km.

2. *Sand*. Mehr oder weniger reiner Sand mit einer vertikalen Dicke von wenigstens 5 cm (der Grabtiefe des Bodenschöpfers auf hartem Boden) ist bis zu ziemlich großen Tiefen eine sehr gewöhnliche Bodenart, und auch in den größten Tiefen kann man ihn finden. So fand ich westsüdwestlich von der Insel Jungfrun in 90 m Tiefe ziemlich reinen Sandboden, und sogar in 96 m Tiefe holte der Bodenschöpfer südwestlich von Ödeshög Sand herauf. In 18,5—29 m Tiefe fand ich oft im Sande Steine von 2—5 cm Länge. Mit ein wenig Ton vermennt war der Sand in einigen Proben aus den verschiedensten Tiefen (15—96 m), von moderndem, vom Land

hinausgeschwemmtem vegetabilischem Detritus, wie Blättern usw., in drei Proben von 15—34 m Tiefe. Keine von diesen Proben stammt indessen von den den Wasserströmungen am meisten ausgesetzten Teilen des Sees, sondern von Buchten. In einer Probe aus 75 m Tiefe westlich von Röttle fanden sich rötliche Kuchen, die sich bei chemischer Analyse aus mittels Eisenhydrat verkitteten Sandkörnern zusammengesetzt erwiesen.

Die Tiefen der Sandbodenproben waren die folgenden: **13, 13, 13, 15, 18, 18, 18, 18,5, 19,5, 21, 21, 22, 23, 26, 26,5, 27, 29, 33, 34, 40, 40, 42, 50, 65, 65, 75, 83, 90, 96 m.**

Es mag indessen bemerkt werden, daß mehrere von denjenigen Proben, die nicht mittels des Bodenschöpfers aufgeholt wurden, vielleicht nicht eigentliche Sandproben waren, sondern eher „Sand auf Ton“ (siehe unter 4.) vertreten würden. Vor allem dürfte dies von den mittleren und größeren Tiefen gelten.

3. *Sand und Ton vermischt*, in etwa gleich großer Menge. Bisweilen war der sandvermengte Ton in harte Kuchen verwandelt (86 m Tiefe südwestlich von der Insel Stora Röknen, 53 m Tiefe nordöstlich von Hjo), öfter waren kleine, bis wenige Zentimeter große Steine vorhanden (35—46 m Tiefe).

Die betreffenden Tiefen sind: **17, 23, 24, 34, 34, 35, 35, 38, 38,5, 39, 43, 43, 43,5, 46, 47, 52, 53, 56, 58, 67,5, 77, 91, 95, 113 m.**

4. *Sand auf Ton*. Das für diese Bodenart kennzeichnende ist eigentlich nicht immer, daß Sand oberhalb des Tones liegt, sondern daß gröberes Material oberhalb eines feineren liegt, was ja sehr befremdend vorfällt. Mehrmals fand ich reinen Sand oberhalb eines reinen Tons. Aber fast öfter war die oberste Schicht aus sandvermengtem Ton, die unterste aus reinem Ton gebildet, oder ich fand zuoberst Sand, darunter sandvermengten Ton. Bisweilen fand ich alle drei Schichten, zuoberst Sand, darunter sandvermengten Ton, zuunterst reinen Ton. Sehr oft lagen in der obersten Schicht kleine Steine, bis zu 6 cm groß. In einer Probe war das Tonmaterial zu Kuchen zusammengebacken (13,5 m Tiefe nordöstlich von Karlsborg). Natürlich konnte die genannte Schichtung nur mittels des Bodenschöpfers ermittelt werden.

Die betreffenden Tiefen sind: **13,5, 25, 33, 36, 39, 39, 39,5, 40, 41, 41, 42, 53, 73, 78, 78, 78, 81, 82, 86 m.**

Zu den oben gelieferten Angaben über die Tiefe, in welcher diese Bodentypen gefunden wurden, mag auch einiges über die Entfernung des Fundortes vom Ufer gesagt werden. Es wurde schon erwähnt, daß grobsteiniges Geröll den hauptsächlichsten Bestandteil des Bodens in sogar 6,5 km Abstand vom Ufer bilden kann. Der reine Sand in wenigstens 5 cm dicker Schichtung kommt gewöhnlich nicht mehr als etwa 1 km entfernt vom Ufer vor, was daraus zu erklären ist, daß dieser kompakte Sand durch die Wellenschläge vom Ufer oder vom Boden der Litoralzone losgerissen und dann eine kurze Strecke weit nach außen transportiert sein dürfte. Der mit Ton vermischte oder auf Ton gelagerte Sand aber, der auch in anderer Weise seine jetzige Lage bekommen haben kann (vgl. unten), ist von der Nähe des Ufers gänzlich unabhängig, ich habe ihn wiederholt mitten im See, an etwa zehn Orten sogar in 7—10 km Abstand vom Ufer, gefunden. Auch die soeben erwähnten, im Sand liegenden kleineren Steine habe ich in derselben Entfernung vom Ufer gefunden, die betreffenden Bodentypen sind somit gar nicht von der Nähe des Ufers abhängig.

5. *Ton*, mehr oder weniger rein. Von ihm können wir zwei Typen unterscheiden, die ihrer Konsistenz und möglicherweise auch ihrem Ursprung nach einander gegenüberstehen: den harten und den weichen Ton.

Die Physiognomie des harten Tons wechselt binnen ziemlich weiten Grenzen. Bisweilen war er in der ganzen aufgehobenen Dicke (etwa 6—7 cm) einartig, bisweilen war die Oberflächenschicht zu harten Kuchen zusammengebacken, die wegen Eisenverbindungen eine rötliche oder braunschwarze Farbe hatten (28, 39 und 88 m Tiefe), bisweilen endlich wechselten Bänder von dem graugelben, feinen, harten Ton mit einem bis zwei Bändern von Sand ab (27 m Tiefe östlich vom Grunde Norra Tängan, südlich von der Insel Stora Röknen; 9 m Tiefe in der Seeenge nordwestlich von der Insel Lilla Röknen), oder es wechselte graulicher und gelblicher Ton in horizontaler Schichtung (29 m Tiefe in der nordöstlichen Mündung der soeben genannten Seeenge, 76 m Tiefe nordöstlich vom Nordende der Insel Visingsö). Besonders in der letztgenannten Ausbildung dokumentierte sich der Ton als typischer **Glazialton**. Ich nehme an, daß auch der übrige harte Ton ein Glazialton ist, da mir eine andere Deutung wegen der harten Beschaffenheit dieses Tons nicht wahrscheinlich vorfällt. Die Festigkeit dieses Tons war sehr groß; man konnte ihn

sogleich nach dem Heraufholen in vertikale Schnitte zerlegen, ohne daß er zerfließen wollte. Bisweilen lagen auch auf diesem Ton kleine Steine.

Den harten Ton fand ich in folgenden Tiefen: **9, 27, 28, 29, 39, 45, 46, 76, 83, 88 m.**

Der weiche Ton war immer von graugelber Farbe und wurde mit nur einer Ausnahme in 60 m oder tiefer gefunden. Der Fund in seichterem Wasser (etwa 30 m) wurde im Närkebecken vor der Bucht Forssaviken gemacht.

Die betreffenden Tiefen sind: etwa 30, 60, **60**, etwa 80, 88, 92 m. Daß nur eine Bodenschöpferprobe weichen Ton enthielt, zeigt, daß diese Bodenart weit seltener als der harte Ton ist. Der mittels der anderen Geräte aufgeholte Ton ist möglicherweise anfangs hart gewesen, aber während des Aufziehens weich geworden.

6. *Gyttja und ihre Vorstadien.* Mit dem schwedischen Wort *Gyttja*, das in der deutschen Fachliteratur schon früher eingebürgert ist (vgl. z. B. Früh und Schröter 1904, S. 189 ff.), bezeichnet man bekanntlich nach H. v. Post (1862) denjenigen Bodenschlamm der Seen, der wenigstens zum großen Teil dadurch gebildet worden ist, daß tierisches oder pflanzliches Material den Darmkanal der Bodentiere passiert hat; *Gyttja* ist somit, in wenigen Worten ausgedrückt, ein zum großen Teil koprogener, unter Wasser abgesetzter Schlamm. Wesenberg-Lund (1901 S. 136, Summary S. 161) fordert dazu, daß ein beträchtlicher Gehalt an Kalk nachzuweisen sei, was aber meines Erachtens mehr nebensächlicher Natur ist; die unten zu beschreibende *Gyttja* aus dem Vättern entbehrt des Kalkes oder ist wenigstens sehr spärlich mit ihm versehen, muß aber jedoch als typische *Gyttja* bezeichnet werden. Ob die *Gyttja* Kalk besitzt oder nicht, hängt offenbar von der Beschaffenheit des Einzugsgebietes des betreffenden Sees ab: liegt dieser in einem kalkreichen Gebiet und ist er von einer verhältnismäßig reichen Molluskenfauna belebt, dann wird auch die *Gyttja* kalkhaltig, liegt er wie der Vättern hauptsächlich in einem kalkarmen Gebiet, so wird der eventuell vorhandene Kalk bald aufgelöst bzw. verzehrt und nichts oder sehr wenig bleibt übrig.

Es ist der hier gebrauchte Name *Gyttja* vor dem in limnologischen Arbeiten gewöhnlich gebrauchten „Schlamm“ entschieden vorzuziehen. Unter „Schlamm“ wird gewöhnlich alles lose Material des Seebodens verstanden, gleichgültig ob es organischer oder unorganischer Her-

kunft ist, ob er koprogener oder nicht koprogener Natur ist. Es ist sehr zu bedauern, daß die von H. v. Post eingeführte Terminologie, die in Schweden schon während eines halben Jahrhunderts den betreffenden Untersuchungen als Grund gedient hat, nicht mehr allgemein den ausländischen Fachgenossen bekannt geworden ist (die v. Postsche Arbeit wurde allerdings schon 1888 von Ramann dem deutschen Leserkreis vorgestellt). Denn eben durch das scharfe Betonen des verschiedenartigen Ursprungs und nicht nur des Aussehens als Grund der Systematik der Bodenarten brachte v. Post zum erstenmal die Bodenforschung auf eine wirklich wissenschaftliche Basis¹⁾.

Die Gyttja kann, der Zusammensetzung und dem Ursprung nach, ziemlich verschiedenartig sein, weshalb man ihrer mehrere Unterarten unterscheidet, wie Ton-, Detritus-, Plankton-, Cyanophyceen-, Diatomeen- und Chitingyttja, Ufer- und Seegyttja usw.

Die im Vättern vorkommenden verschiedenen Arten der Gyttja stehen alle, wenigstens was den weitaus größten, offenen Teil des Sees betrifft, in deutlichem gegenseitigem Zusammenhang, indem nur eine Art, die unten als vollgebildete Gyttja oder Vollgyttja zu bezeichnende, definitiv fertiggebildet ist, die übrigen aber Anfangs- oder jedenfalls vorübergehende Bildungsstadien derselben sind. Um die Genese zu verstehen, müssen wir auch ein paar Bodenarten gedenken, die nicht als eigentliche Gyttja bezeichnet werden können, sondern das erste Anfangsstadium derselben herstellen. Da die Gyttja des Vättern in einigen Hinsichten, besonders betreffs ihrer Entstehungsgeschichte, eine Sonderstellung gegenüber den bisher bekannten Gyttjarten einnimmt, und da es sich während des Gangs meiner Untersuchungen immer deutlicher zeigte, daß die Gyttja und ihre Vorstadien einen ganz erheblichen Einfluß auf die Zusammensetzung und die Verteilung der Bodenfauna ausüben, werde ich etwas ausführlicher bei den diesbezüglichen Verhältnissen verweilen. Ich werde dabei die Darstellung parallel den Vorgängen der Natur laufen lassen, d. h. mit den frühesten Vorstadien anfangen und mit dem Endstadium endigen.

A. Pflanzendetritus. Vielerorts findet man auf dem sonst harten Boden eine oberflächliche Schicht von verschiedenen modernden

¹⁾ Forel (1892 S. 132—134) äußert sich zwar über den Ursprung des Tiefenschlammes des Bodensees, aber nur betreffs der in demselben gefundenen Mineralpartikelchen.

Pflanzenteilen, wie Blättern, kleinen Zweigen usw. in den verschiedensten Stadien der Verwesung. Am öftesten sind diese Gegenstände nur zum kleinen Teil der Zersetzung unterworfen gewesen, die ganze Masse somit größtenteils nicht koprogener Natur. Typische Detritusgyttja oder Laubgyttja (vgl. L. von Post, 1910, S. 634), welche das Endresultat der Zersetzungen des pflanzlichen Detritus zu werden pflegt, habe ich nirgends gefunden.

Einen Boden der fraglichen Beschaffenheit fand ich mehrmals in seichtem Wasser, solchenfalls aber immer an verhältnismäßig geschützten Orten, z. B. innerhalb der Inseln und in den Busen des Närkebeckens sowie auch an anderen Orten desselben Seeabschnittes, die beim ersten Zusehen eine offene Lage zu haben scheinen. Wegen der viel schärfer undulierenden Topographie des Seebodens kommen aber hier fast in jedem Gebiet geschützte Vertiefungen vor. Auch im inneren Ende der Motalabucht fand ich Pflanzendetritus in geringer Tiefe (16 m). In den mittleren und südlichen Teilen des Sees scheinen die Verhältnisse die Entstehung solcher Ablagerungen nicht zu begünstigen. Vor Jönköping, wo ein in den offenen See weit hinausragender Grund den Wasserströmungen den Zutritt einigermaßen sperrt, fand ich sie mehrmals in etwa 25 m Tiefe, in den völlig offenen See aber nur zweimal und zwar einmal in größerer Tiefe (65 m) vor Jönköping, einmal in nur 23 m Tiefe vor Hjo. Die Tiefen sämtlicher Fundorte sind: 16, 19, 23, 23, 27, 43, 50, 65 m. An manchen anderen Orten fanden sich die Bestandteile des Detritus, aber in nur geringer Anhäufung.

B. Chitinsediment. Jede Bodenart, es sei Sand, Ton oder Gyttja, ist der Regel nach mit einer dünnen Schicht von Chitinschalen abgestorbener Tiere, bezw. mit vereinzelt zerstreuten Schalen versehen. Nur äußerst selten fand ich einen Boden, der dieses Sediments anscheinend völlig frei war, so einmal in 76 m Tiefe nordöstlich vom Nordende der Insel Visingsö (den oben erwähnten Glaziolton). Sehr oft aber war das Chitinsediment sehr spärlich vorhanden, und zwar kann als allgemeine Regel ausgesprochen werden, daß die geringeren Tiefen ärmer, die mäßigen und größeren reicher an dem genannten Sediment sind.

In den verschiedenen Abteilungen und den verschiedenen Tiefen des Sees ist dieses Sediment sehr einartig. Gewöhnlich ist seine Zusammensetzung die folgende:

auch andere Kruster zahlreich vorkommen, wie *Holopedium gibberum*, *Daphnia longispina*, *Cyclops strenuus*, *Diaptomus gracilis* und *Limnocalanus macrurus*. Auch wenn man annimmt, daß während eines Jahres zahlreichere Generationen von *Bosmina* als von den übrigen hervorgebracht werden, so kann nicht einzig hierdurch das große Überwiegen im Bodenschlamm erklärt werden. Meines Erachtens kann man nicht umhin, anzunehmen, daß die Chitinhäute der übrigen Planktonkruster wie auch der Rotiferen aufgelöst werden, schon bevor sie den Boden erreicht hätten oder wenigstens lange bevor die *Bosmina*- und *Chydoriden*häute diesem Schicksal unterliegen. Ich bin zu dieser Annahme durch folgende Überwägungen geleitet. Erstens müßten die Chitinteile der im Plankton sehr zahlreichen Copepoden doch im Schlamm wenigstens eine mäßige Zahlreichheit besitzen, vor allem müßte dies mit den Naupliushäuten der Fall sein, denn diese müssen jährlich in einer Zahl abgeworfen werden, die der Zahl der *Bosminahäute* nur wenig nachkommen dürfte, und dennoch habe ich im Schlamm kein einziges Naupliusüberbleibsel gefunden. Ebenso wenig habe ich die im Plankton zeitweise zahlreichen Rotatorien im Schlamm wiedergefunden. Wesenberg-Lund erwähnt auch (1901, S. 115), daß er beobachtet hat, wie in den wenig tiefen dänischen Seen die Rotatorien schon vor dem Niederfallen auf den Boden teilweise aufgelöst waren, so daß nur einzelne Bruchstücke zurückgeblieben waren. Zweitens zeigen die Überreste von *Bosmina* selbst, daß eine Auflösung sattgefunden haben muß. Denn unter den Tausenden von Epimeren und Kopfschilden, die ich beim Durchmustern der Schlammproben gesehen habe, ist mir niemals auch nur ein einziges Stück der inneren Chitinteile (der Beine, des postabdomens usw.) zum Vorschein gekommen. Das läßt keine andere Deutung zu, als daß diese Teile, wenigstens der größten Hauptmasse nach, aufgelöst worden sind, schon bevor sie den Boden erreicht haben sollten.

Wesenberg-Lunds Ansicht (1912, S. 471): „Zweifellos lagern sich die Chitinreste der Planktonkruster unverletzt auf den Boden ab“, mag für die von ihm untersuchten ziemlich seichten dänischen Seen gelten; in tiefen Seen gestalten sich die Verhältnisse betreffs der zarter gebauten Arten in anderer Weise.

Der Grund dieser großen Widerstandsfähigkeit der *Bosminaschalen* kann kaum nur in ihrer Dicke liegen. Dieselbe scheint, wenn man eine soeben abgestreifte, im freien Wasser erbeutete Haut beobachtet,

zwar etwas größer als die Dicke der übrigen Planktonkrusterschalen, aber die große Mehrzahl der im Schlamm deponierten Bosminaschalen scheint ganz unangegriffen. Eine kleinere Zahl ist an den Rändern beschädigt, die Schalen sind hier ausgezackt, größere oder kleinere Teile der Randpartien sind nicht mehr da, es macht den Eindruck, als ob die Schalen angefressen worden seien. Aber die Dicke des Restteils scheint nicht beeinträchtigt zu sein. Es ist daher am wahrscheinlichsten, daß nicht bloß die Dicke, sondern auch noch unbekannte chemische Eigenschaften die große Widerstandsfähigkeit der Bosminaschalen verursachen.

Außer den soeben besprochenen Entomostraken — Bosmina, Alona und andere Chydoriden nebst den viel selteneren Überresten von Daphnia, Holopedium und Bythotrephes — kommen noch einige andere hinzu. Besonders trifft man ziemlich oft Schalen von Ostracoden, bisweilen, und zwar wenn beide Schalenhälften geschlossen zusammenliegen, mit den inneren Chitinteilen noch beibehalten. Oft war die Kalksubstanz der Schalen noch vorhanden, oft aber den verschiedensten Graden der Auflösung bis zum völligen Verschwinden anheimgefallen. Besonders an den Candonaschalen läßt sich der Gang dieses Prozesses sehr deutlich ablesen: zuerst wird der Kalk des zentralen Schalenteils ausgelöst, dann der Kalk der periferen Teile und zuletzt bleibt nur das vordere und hintere Ende nebst einem sehr schmalen Streifen am ventralen Rande noch verkalkt. Es dürfte dieser Entkalkungsverlauf teils damit zusammenhängen, daß die Randteile der Schalen stärker verkalkt sind als die übrigen (vgl. Fassbinder 1912), teils damit, daß die Innenlamelle der Schalenduplikatur beim Abtrennen der beiden Schalenhälften nach dem Tode des Tieres eben am Rücken losgerissen wird, weshalb somit hier der Zutritt des den Kalk lösenden Wassers am leichtesten geschieht.

Eine besondere Aufmerksamkeit beanspruchen die Gallertkugelchen von *Holopedium gibberum*, die zwar nicht aus Chitin bestehen, aber jedoch mit den übrigen Entomostrakenüberresten hier behandelt werden können. Am 15. September erhielt ich mit der Schleppreuse sowohl aus etwa 50 m wie 120 m Tiefe große Mengen derselben. Aus der erstgenannten Tiefe bekam ich 0,5 Liter solcher Kugeln, aber unter ihnen konnte ich nur drei Tiere finden. Zwar ist es sehr möglich, daß ein beträchtlicher Teil der Kugeln nicht vom Boden, sondern vom freien Wasser her stammt, aber es ist jedoch klar, daß eine großartige Sedimentation von *Holopedium*kugeln stattfindet, besonders im Herbst,

wenn die Jahreskolonie abstirbt. Denn diese Kugeln sinken früher oder später zu Boden, das kann als eine Tatsache angesehen werden. Oft bilden sie einen großen Teil des Chitinsediments. Fast in jeder Probe desselben konnte ich sie nachweisen, freilich abgeplattet und mit allerlei Fremdkörperchen besetzt, aber jedoch sicher erkennbar. Auch im Juli fand ich bisweilen ebenso große Mengen wie in den soeben genannten Proben vom September, woraus hervorgeht, daß die Kugeln wenigstens etwa $\frac{3}{4}$ Jahre in ziemlich unverändertem Zustand überdauern können. Mittels des Bodenschöpfers konnte ich nachweisen, daß sie bisweilen in mehr als 100 Exemplaren pro 5 dm^2 vorkommen, sie machten in solchen Fällen einen sehr beträchtlichen Teil des Chitinsediments aus.

Was die übrigen Krustaceen betrifft, finden sich die losgemachten Hautsegmente der Amphipoden, besonders von *Pontoporeia affinis*, oft in ziemlich großer Zahl; in denjenigen Proben, wo diese Tiere gemein waren, suchte ich niemals vergebens nach ihren toten Schalen. Auch von *Chiridothea entomon* fanden sich nicht selten lose Schalenstücke.

Teile von Insekten findet man im Schlamm ziemlich oft, obgleich nie in großer Zahl, was zum Teil darin seinen Grund haben muß, daß die Mückenpuppen bei ihrer letzten Häutung zur Oberfläche emporsteigen, wo man ihre leeren Häute im Hochsommer in unglaublicher Menge sieht. Ziemlich zahlreich findet man oft die leeren Schlammröhren von Mückenlarven. Die Oligochäten sind durch oft zahlreiche leere Eikokons vertreten, die Bryozoen durch gewöhnlich vereinzelt vorkommende Statoblasten von *Cristatella*. Von den Schneckenarten des Sees findet man in den kleineren Tiefen ziemlich häufig Cuticulateile, aber nur vereinzelt. Ein Fund von einer Cuticula der litoralen Art *Planorbis contortus* in 120 m Tiefe zeigt, daß auch so große Teile sehr weit transportiert werden können. Die Möglichkeit eines Transportes des lebenden Tieres ist hierbei indessen nicht ausgeschlossen (vgl. unten).

Von Pflanzenresten beherbergt das Chitinsediment oft dieselben Gegenstände wie der pflanzliche Detritus, obgleich immer in kleiner Menge und gewöhnlich in feinerer Zerteilung. Zu den gröberen Bestandteilen, wie Gefäßbündelteilen, verwesenden Bruchstücken von Phanerogamenblättern, Moosen und Flechten, Zweigen von Characeen usw., gesellen sich auch feinere Bestandteile, wie die „Früchte“ der Characeen, Fruchthärchen von Phanerogamen (besonders *Compo-*

siten) und Pollenkörner von Nadelhölzern und anderen Pflanzen. Die Pollenkörner fand ich nur spärlich vorhanden, niemals in so großer Menge worin sie bisweilen im Bodenschlamm anderer Seen vorkommen scheinen.

Endlich sind auch Diatomeen in den meisten Proben in sehr großer Zahl vorhanden.

Das Chitinsediment geht ohne scharfe Grenze in die sogleich zu besprechende Chitingyttja über. Daß die Grenze nicht scharf zu ziehen ist, hängt vor allem davon ab, daß das Charakteristikum der Gyttja, die Exkrementballen, oft im Chitinsediment vorkommen. Es gibt aber auch mehrerorts ein solches, das fast gänzlich ohne Exkrementballen ist. Je mächtiger das Chitinsediment ausgebildet ist, um so zahlreicher sind aber die Exkrementballen. Wenn sie mehr als etwa die halbe Masse des Schlammes ausmachen, bezeichne ich den letzteren als Gyttja.

C. Chitingyttja. Aus den tieferen Einsenkungen des Seebodens hob der Bodenschöpfer oft eine schwarzbräunliche Gyttja herauf, die sich bei mikroskopischer Untersuchung aus folgenden Bestandteilen zusammengesetzt erwies.

a) Exkrementballen verschiedener Tiere (die größeren Gegenstände in Textfig. 3). Sie kommen in verschiedener Größe vor, z. B. $0,6 \times 1$ mm, $0,6 \times 0,6$ mm, $0,4 \times 0,5$ mm, $0,2 \times 0,4$ mm, $0,25 \times 0,25$ mm. Übergänge zwischen diesen Kategorien gibt es auch. Wo die Gyttja der unten zu besprechenden Vollgyttja aufgelagert ist, kommen immer alle Kategorien vor, namentlich sind die großen und mittelgroßen Ballen zahlreich vorhanden und bilden quantitativ den Hauptbestandteil der Gyttja. In denselben Proben sind nun Oligochäten ungemein häufig und unter ihnen kommen hier nur die größten Arten vor: *Tubifex barbatus*, *T. tubifex*, *T. ferox* und *Stylodrilus heringianus*. Diese vier Arten bilden den unvergleichlich größten Prozentsatz der Fauna der tiefen Gyttja, wie es die folgenden Erörterungen dartun sollen, sie kommen im Quadratmeter gewöhnlich zu Tausenden vor. Ich muß daher die Behauptung als berechtigt betrachten, daß die genannten Exkrementballen von den größeren Oligochäten herkommen. Es sind somit diese, die vor allen anderen Tieren die Tiefengyttja des Sees bereiten. Die Dicke der Exkrementballen stimmt auch mit der Weite des Enddarms der Oligochäten sehr gut überein. Zwar war letztere bei meinen in Formol konservierten Tieren in leerem

Zustände etwas kleiner als die Dicke der Ballen, aber teils war das Darmlumen wegen der Einwirkung des Formols sicher verengt worden, teils scheint es mir sehr wahrscheinlich, daß die Ballen nach der Ablage aufquellen. Neben den größeren Oligochäten könnte man auch an Pontoporeia denken. Ich nehme auch an, daß dieses Tier an der Bildung der Tiefengyttja einen gewissen Anteil nimmt. Pontoporeia kann jedoch in dieser Hinsicht den Oligochäten bei weitem nicht gleich kommen, erstens weil sie am Gyttjaboden in kleinerer Zahl lebt, zweitens weil sie wegen ihrer Diätverhältnisse nicht so große Exkrementmengen abgibt wie die Oligochäten, welche Schlammfresser sind und daher besonders große Quantitäten Material durch den Darmkanal passieren lassen müssen, um ein hinreichendes Nahrungsquantum zu bekommen.

Wenn man einen der genannten Kotballen zerquetscht, bemerkt man leicht, daß er aus zweierlei Bestandteilen zusammengesetzt ist. Gewöhnlich sind sehr kleine, stark lichtbrechende Körnchen in größter Zahl vorhanden. Ein unter starker Vergrößerung vorgenommener Vergleich zwischen ihnen und den kleinen Körnchen des feinsten Tons zeigt unschwer, daß es sich um identische Gegenstände handelt. Die kleinen Tonkörnchen liegen in einer Bindesubstanz eingebettet, dem zweiten Bestandteil des Ballens, der offenbar von unverdauten organischen Partikelchen nebst dem Darmdrüsensekret des Wurms gebildet wird. In dem quantitativen Verhältnis zwischen diesen beiden Bestandteilen können Verschiedenheiten herrschen: bald überwiegt der eine, bald der andere. Immer sind indessen die Tonpartikelchen in beträchtlicher Zahl vorhanden, bisweilen bilden sie den weitaus größten Teil; dies scheint namentlich dann der Fall zu sein, wenn die Gyttja nur einige wenige Zentimeter mächtig ist und einem mehr oder weniger reinen Ton übergelagert ist.

b) Verkittete Tonpartikelchen (die kleineren Gegenstände in Textfig. 3). Neben den eigentlichen Exkrementballen findet man überall in der Gyttja immer in großer Zahl kleine Anhäufungen von Tonpartikelchen, die von einem Bindemittel zusammengeklebt sind. Ihre Größe schwankt, obgleich nicht sehr, immer ist sie beträchtlich kleiner als die Größe der Exkrementballen, im Mittel haben sie einen Querdurchmesser von etwa 0,05 mm. Durch ihre völlig unregelmäßige Form, worin keine Ähnlichkeit mit der immer walzigen oder mehr oder weniger kugelförmigen Form der Exkrementballen zu sehen ist,

zeigen sie deutlich, daß sie nicht in ihrem jetzigen Zustande den Enddarm irgendeines Tieres verlassen haben. Ihre Entstehungsweise ist mir noch unklar. Möglicherweise sind sie nur Bruchstücke zerfallener Exkrementballen; im Aussehen der Tonpartikelchen und der Bindesubstanz herrscht völlige Übereinstimmung. Oder sie sind gänz-

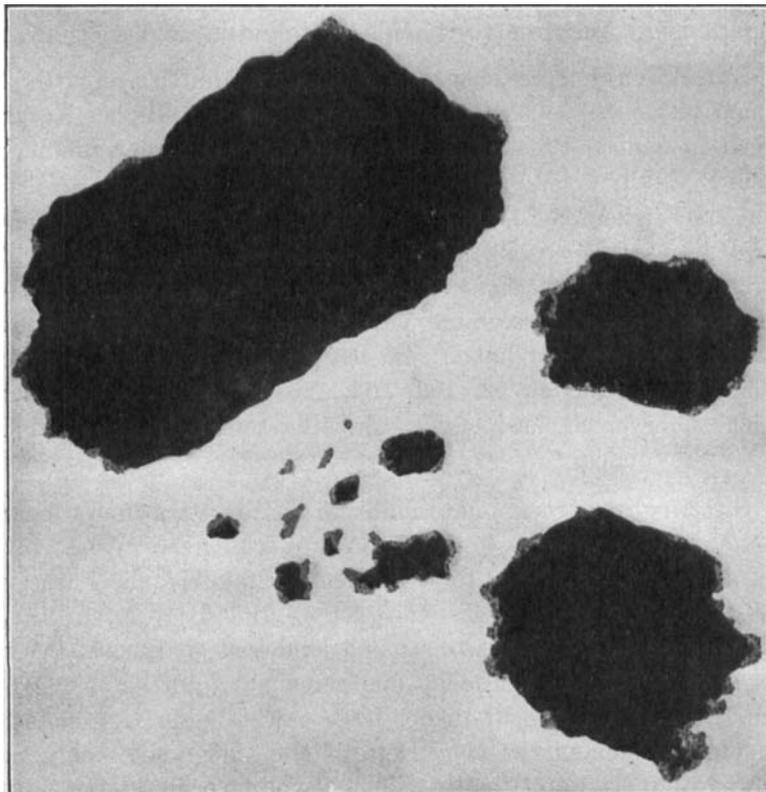


Fig. 3. Einige Bestandteile der Chitingyttja. Die größten Gegenstände sind Exkrementballen, wahrscheinlich von Oligochäten, die mittelgroßen möglicherweise Bruchstücke von Exkrementballen, die kleinsten verkittete Tonpartikelchen, 60×1 .

lich unabhängig von den Tierdärmen entstanden, möglicherweise infolge chemischer Niederschläge, welche die Tonkörnchen zusammengebunden haben. Für diese Erklärung spricht anscheinend der Umstand, daß die fraglichen Gebilde auch dort in großer Zahl zu finden sind, wo keine Exkrementballen liegen, die ihnen als Ursprung dienen könnten.

c) Die Bestandteile des Chitinsediments. Sie kommen in derselben prozentischen Verteilung wie im Chitinsediment vor. Eben dadurch zeigt sich die Chitingyttja zum größten Teil als eine Weiterentwicklung des Chitinsediments, was auch dadurch sehr deutlich wird, daß erstere immer vom letztgenannten bedeckt wird. Eben wegen der reichen Beimischung der Chitinteile (Bosminaschalen) des Chitinsediments ist diese Gyttja als Chitingyttja zu bezeichnen.

d) Sandkörnchen. Neben den soeben erwähnten Tonpartikelchen kommen bisweilen auch andere Bestandteile mineralischer Natur vor, nämlich in einigen Proben kleinste Quarts(Sand-)körner, immer aber in kleiner Zahl.

Die Mächtigkeit der Chitingyttja ist nicht groß, ich habe eine größere als etwa 4—5 cm nicht sicher konstatieren können. In ihrem Auftreten macht sich einige Verschiedenheit bemerkbar. Entweder liegt sie auf Bodenarten (Sand oder Ton), welche eine ganz andere Herkunft als sie selbst haben; die betreffenden Fundtiefen sind: **39, 43, 65, 66, 68, 80, 83, 92, 102, 103, 120** m. Oder sie bedeckt die sogleich zu besprechende Vollgyttja, wurde somit an denselben Orten wie diese gefunden.

D. Chitinvollgyttja. Unterhalb der Chitingyttja findet man sehr oft eine sehr feinkörnige Gyttja von grauschwarzer Farbe, oft mit einem Stich ins bläuliche. In trockenem Zustand ist die Farbe weißgrau. Außerdem weicht sie von der Chitingyttja durch ihre Zusammensetzung ab. Die Chitinschalen sind viel spärlicher; in einiger Tiefe, von der Bodenoberfläche aus gerechnet, dürften sie gänzlich fehlen, was ich aber nicht in der Lage gewesen bin zu konstatieren. Auch die größeren pflanzlichen Detritusteile sind nicht mehr erkennbar, und die Exkrementballen sind gewöhnlich in kleinere Stücke zerteilt. Da die Chitinschalen eine hellbraune Farbe besitzen, kann der Farbenunterschied gegenüber der Chitingyttja zum Teil von diesem Unterschied in der Zusammensetzung herrühren. Aber wahrscheinlich nur zum Teil. Ich vermute, daß die Farbe der Vollgyttja auch eine Folge der zersetzenden Tätigkeit von Bakterien ist, durch welche auch die Exkrementballen verändert worden sind.

Offenbar ist nur diese grauschwarze, feinkörnige Gyttja ganz fertig gebildet, in dem Sinn, daß nur sie das Endstadium der Zersetzungen erreicht hat, weshalb ich sie als Vollgyttja bezeichnet habe. Es gibt natürlich vollgebildete Gyttja verschiedener Herkunft, daher die aus-

fürlichere Benennung Chitinvollgyttja. Es liegt nämlich auf der Hand, daß diese Gyttja zunächst aus der überliegenden Chitingyttja durch weitere Zersetzung hervorgegangen ist. Daß letzterer aber auch aus fernliegendem Chitinsediment und aus dem Pflanzendetritus Material in zweiter Hand zugeflossen ist, werden wir sogleich unten finden. Indessen dürfte die Bezeichnung „Chitin“-vollgyttja nur hinsichtlich der Herkunft, nicht aber hinsichtlich der Zusammensetzung adäquat sein. Denn aus der Farbenänderung vom bräunlichen zum schwärzlichen erschließe ich, daß die Vollgyttja nicht mehr hauptsächlich aus Chitin, sondern aus Zersetzungsprodukten desselben zusammengesetzt ist.

Die Vollgyttja des Vättern scheint niemals den widrigen Geruch von Schwefelwasserstoff abzugeben, den man namentlich von der Cyanophyceengyttja anderer Seen oft wahrnimmt. Dies hängt wohl sicher von der lebhafteren Wasserumsetzung in der Tiefe des Vättern ab.

Über die Mächtigkeit der Vollgyttja kann ich nichts angeben, denn überall, wo ich sie fand, war sie zu unterst im Bodenschöpfer gelagert. Ich vermute aber, daß die Mächtigkeit wenigstens bisweilen groß ist.

Die Chitinvollgyttja tritt nur an den gegen Strömungen geschützteren Stellen des Bodens auf. Der am wenigsten tiefgelegene Fundort liegt vor Jönköping (31 m), in einer Gegend, wo ein weit vom Ufer hervorragender Grund Schutz liefert. Eine etwas tiefer gelegene, aber noch seichte Fundstelle in 45 m Tiefe lag im südlichsten Teil des Närkebeckens östlich von der Insel Stora Röknen am Boden einer Rinne, somit ebenfalls in geschützter Lage. Die Tiefen sämtlicher Fundorte sind die folgenden: **31, 45, 61, 61, 62, 67, 73, 74, 75, 93, 101, 106, 106, 110, 112 m.**

Neben den jetzt behandelten Bodenarten enthält der Boden des Vättern auch einige Bestandteile, die nur vereinzelt auftreten. Solche sind Kalkstücke unbekannter Herkunft, die ich nur an ein paar Stellen in sehr kleiner Zahl fand, Schlacken aus Dampfschiffen, die ebenso spärlich vorkommen, und Zeitungspapier, die ich einmal fand. Außerdem kommt ein natürliches Bodenprodukt bisweilen in größerer Menge vor, nämlich:

7. *Seerz*. Gewöhnlich wurde das Seerz nur in kleiner Menge gefunden, in ein paar Proben bildete es aber die Hauptmasse des

aufgeholtens Bodens. Die Erzkörner sind überall im Vättern ungewöhnlich klein, höchstens etwa 3 mm, gewöhnlich aber nur 0,5—1 mm im Durchmesser, obwohl diese kleinsten Kugeln oft zu größeren Ansammlungen sehr lose zusammengehalten sind. Seerzkugeln fand ich in allen Abteilungen des Sees und zwar in folgenden Tiefen: **19, 23** (reichlich), **24, 25, 26, 26, 34, 38, 43** (reichlich), **45, 56, 58, 77, 83, 91** (ziemlich reichlich), **91, 93, 102, 120** (reichlich).

Eisenverbindungen besitzt der Seeboden aber nicht nur in der Gestalt des Seerzes. Eine chemische Analyse ergab als Resultat, daß die Chitingyttja beträchtliche Mengen von Eisen enthält. Das ist vermutlich die Ursache dazu, daß auch unterhalb derselben von Eisenverbindungen zusammengebackte Kuchen auftreten können. Zwischen der Chitingyttja, bzw. dem Chitinsediment und dem unterliegenden Sand oder Ton kommen solche öfter vor, so in **28, 46, 53, 75, 93, 96** m Tiefe. Die Kuchen waren bisweilen einfarbig rötlich oder schwärzlich, bisweilen an der Oberseite schwärzlich, übrigens rötlich.

Die Verteilung der verschiedenen Bodenarten geht auch aus der Kartenskizze S. 203 hervor.

Die Abhängigkeit der Bodentypen von den Wasserströmungen.

Wir haben jetzt gefunden, daß die schwereren Bestandteile des Bodens, die Sandkörner, ja sogar die kleinen Steine, nicht nur in der Nähe des Ufers, sondern auch mitten im See, in 10 km Entfernung vom nächsten Ufer gelegen sein können. Sie können in solchen Fällen natürlich nicht von den Zuflüssen des Sees dahingeschwemmt worden sein. Andererseits fanden wir, daß die leichtesten Bestandteile, die verschiedenen Stoffe der Gyttja, nur in den mitteltiefen und tiefen Abteilungen des Seebodens zu haben sind. In dieser Hinsicht besteht eine erhebliche Verschiedenheit zwischen dem Vättern und den kleineren Seen, und zwar muß man hierbei zu den letztgenannten auch die Alpenrandseen der Schweiz rechnen, welche jedoch im Vergleich mit den meisten Seen eher als groß zu bezeichnen sind. In ihnen ist der Sand nur in der Nähe des Ufers zu finden, und der lose Schlamm, der wenigstens teilweise mit der Gyttja des Vättern homolog ist, bedeckt verhältnismäßig viel größere Flächen des Bodens. Ich kann diesbezüglich Forel (1876, S. 116) wörtlich zitieren: „A un kilomètre du rivage ou ne trouve plus de pierres. Jamais ma drague ne m'a rapporté un gravier ou un grain de sable.“

Er nimmt als sicher an, daß die Sandkörner nur aus den Zuflüssen des Sees herkommen können. Ein jeder, der sich mit Dredgezügen oder dergl. Untersuchungen in nicht allzu großen Seen beschäftigt hat, kann seiner soeben zitierten Meinung gewiß beistimmen.

Dies beweist aber, daß im Vättern, und zwar zum Teil infolge seiner beträchtlichen Größe, ein besonderer bodenumgestaltender Faktor hinzukommt, der in kleineren Seen nicht in voller Stärke vorhanden ist. Die oben besprochenen Bodentypen sind in ihrer Ausbildung und in ihrer Verbreitung zum großen Teil Wirkungen von starken Wasserströmungen.

Zunächst mag zwecks der leichteren Übersicht eine Zusammenfassung der in den verschiedenen Tiefen gemachten Befunde über die Bodenbeschaffenheit folgen. Dabei wird einstweilig das Närkebecken und die Motalabucht außer acht gelassen und nur die übrigen, völlig offen gelegenen Teile berücksichtigt. Auch werden nur die mittels des Bodenschöpfers erbeuteten Proben Erwähnung finden, denn nur diese gestatten eine ganz sichere Beurteilung der Sedimentierung.

Tabelle 31. Die Verteilung einiger Bodentypen. Die Ziffern geben die Zahl der betr. Proben an.

Tiefe in m	Sand, bzw. grobes Geröll	Sand und Ton	Sand auf Ton	Ton	Gyttja
11— 20	10	—	1	—	—
21— 30	7	—	1	2	—
31— 40	2	6	6	1	1
41— 50	—	4	4	2	1
51— 60	—	4	1	1	—
61— 70	—	1	—	—	6
71— 80	—	1	4	1	4
81— 90	—	—	3	2	—
91—100	1	1	—	—	2
101—110	—	—	—	—	6
111—120	—	1	—	—	2

Der aus dieser Tabelle hervorgehende Satz, daß die aus verhältnismäßig groben Bestandteilen zusammengesetzten Bodenarten, vor allem der Sand, bis in den größten Tiefen zu finden ist, und daß die leichte Gyttja fast nur auf die tieferen Abteilungen des Sees beschränkt ist, läßt keine andere Deutung zu, als daß die Wasserströmungen auch in den mitteltiefen und sogar in den tieferen Schichten sehr kräftig

sind. Denn Sandpartikelchen können nicht mit den schwachen Zuflüssen des Sees in die größeren Tiefen transportiert sein, geschweige denn Steine von 5—6 cm Größe. Freilich auch nicht von den Wasserströmungen; diese bewirken das Resultat in ganz anderer Weise, wie aus folgenden Auseinandersetzungen hervorgehen soll.

Als ich zum ersten Mal darüber ins klare kam, daß der Sand oberhalb des Tons liegen konnte, und daß Steine der soeben genannten Größe stellenweise auf dem Boden zerstreut lagen, glaubte ich die Sache so erklären zu müssen, daß der Sand und die Steine von Schiffen aus in den See gelangt waren. So befremdend fiel mir diese Stratigraphie auf. Aber als ich dieselben Verhältnisse nicht als Ausnahme, sondern betreffs ausgedehnter Bodengebiete als Regel konstatieren konnte, mußte ich einen anderen Erklärungsgrund auffinden. Die Lage der gröberen und schwereren Bestandteile oberhalb der feineren und leichteren muß so erklärt werden, daß die gröberen Teile ursprünglich mit den leichteren vermischt lagen, letztere aber von den Wasserströmungen weggespült worden sind. Wenn somit Sand auf Ton liegt, ist dies ein sekundärer Zustand. Primär dürfte an der betreffenden Stelle der Boden von Ton mit eingesprengten Sandkörnern oder von Ton mit horizontalen Rändern von Sand bestanden haben, was bekanntlich z. B. in dem Glazialton oft zu beobachten ist. Wenn Steine auf Ton liegen, lagen sie primär sehr zerstreut im Ton eingebettet usw. Durch Strömungen sind dann allmählich die leichten Tonstoffe hinweggespült worden und nur Sand bzw. Steine zurückgeblieben, womit die Bodenoberfläche ihre jetzige Zusammensetzung bekam. An solchen Orten sind somit die Bestandteile des Bodens sehr lange, wohl seit der spätglazialer Zeit da gewesen. Das Wegführen der kleinsten Partikelchen dürfte dadurch sehr erleichtert worden sein, daß die Bodentiere bei ihrem Wühlen im Boden die Tonstoffe voneinander losgerissen und aufgewirbelt und somit den Strömungen zugänglich gemacht haben. Dieses Hinwegtransportieren des Tonstoffes dürfte seit geraumer Zeit abgeschlossen sein, denn es leuchtet ein, daß die Sanddecke, wenn sie eine gewisse, ziemlich bescheidene Dicke erreicht hat, ein fortgesetztes Wegführen verhindern muß.

Nur in dieser Weise kann man eine befriedigende Erklärung der Bodenverhältnisse erhalten. Die Strömungen sind, dank direkter Beobachtungen, eine Tatsache. Ihre Stärke sowie auch ihre bathymetrische Verteilung, worüber direkte Beobachtungen nicht vorliegen,

kann durch ihre Wirkung auf die Bodenbestandteile indirekt abgelesen werden.

Überraschend ist die große Tiefe, in welcher die Strömungen stellenweise den Boden umgestalten können. Der Fund von Steinboden in 25 m Tiefe kann nur so gedeutet werden, daß alles leichtere Material von dort losgerissen worden ist, der aus fast reinem Sand bestehende Boden in sogar 65—96 m Tiefe, sowie der auf den Ton gelagerte Sand in mehreren Proben von 73—86 m Tiefe weist ebenfalls auf eine erhebliche Kraft sehr tiefgehender Strömungen hin. In diesem Zusammenhang verdient auch der Umstand Berücksichtigung, daß man bisher in keinem anderen See Glazialton als oberflächliche Bodenschicht gefunden hat. An den betreffenden Orten muß alles seit der spätglazialen Zeit sedimentierte Material wieder dahingeschwemmt worden sein. Von der Ostsee aber hat Munthe (1894, S. 24) ähnliches berichtet.

Auch die Bildungsgeschichte der verschiedenen Arten der Gyttja wird nur unter Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse verständlicher. Warum wächst das Chitinsediment an so vielen Orten nicht zur Chitingyttja heran, die doch ein Weiterstadium des erstgenannten ist? Warum wird an manchen Orten aus der Chitingyttja nicht Chitinvollgyttja gebildet, die ihr Endprodukt darstellt, und warum wird im offenen Vättern eine typische Detritusgyttja kaum gebildet?

Meiner Meinung nach ist die Genese der verschiedenen Gyttjarten im Vättern die folgende. Der pflanzliche Detritus, dessen Bestandteile, obgleich oft in geringer Menge, man mancherorts in den Bodenproben bekommt, wird durch die Tätigkeit der Bodenorganismen bald in kleine und kleinste Stücke zerteilt. Je kleiner indessen die Teile werden, um so leichter können sie von den Wasserströmungen mitgerissen werden, und so kommt es, daß man an vielen Orten nur die gröberen Detritusteile findet und daß die Masse zu keiner beträchtlichen Dicke heranwachsen kann. Die Zerteilungsprodukte werden an den geschützteren Vertiefungen des Bodens abgesetzt, werden aber hier mit so mancherlei anderen Kleinteilen zusammengemischt, daß eine eigentliche feine Detritusgyttja nicht entstehen kann.

In derselben Weise ist auch die Geschichte des Chitinsediments zu verstehen. Während des Sommers, wenn das Wetter verhältnismäßig ruhig und die Strömungen daher schwach sind, werden die Planktonleichen sedimentiert. Daß das Chitinsediment an verschiedenen Örtlichkeiten so verschieden reich entwickelt ist, hängt teils

davon ab, daß natürlich auch im Sommer Strömungen hin und her ziehen, teils und vor allem davon, daß im Winter, dank der damals sehr kräftigen Strömungen, das Material sehr ungleichmäßig über den Boden verteilt wird. Nur an gewissen Orten kann eine vollständige Sedimentierung geschehen, nur hier entwickelt sich das Weiterstadium des Chitinsediments, die Chitingyttja. Aber auch nicht hier wächst diese überall zur Vollgyttja heran. Denn je mehr die Exkrementballen durch die zersetzende Tätigkeit der Bodenorganismen (vor allem der Bakterien?) zerkleinert wird, um so leichter werden auch schwache Strömungen sie wegreißen können. Die großen und mittelgroßen Exkrementballen sind ziemlich schwer. Die Chitinschalen der Planktonkruster (*Bosmina* u. a.) sind zwar an und für sich leicht und wären wohl leicht zu transportieren, aber sie sind gewöhnlich mit Kot gefüllt oder bisweilen mit einer Kruste (von Eisenverbindungen?) versehen, was sie schwerer macht. Die kleinen zusammengekitteten Tonstoffe aber sind bedeutend leichter, davon kann man sich überzeugen, wenn man beiderlei Gebilde zusammen in einem Gefäß unter Wasser sich absetzen läßt. Die verkitteten Tonstoffe sinken bedeutend langsamer zum Boden.

In den am meisten geschützten Vertiefungen gesellen sich zur Chitingyttja und zur Chitinvollgyttja einige Kleinteile, die eigentlich nicht dahin gehören, nämlich die Zersetzungsprodukte der Detritusgyttja. Sie scheinen aber gegenüber den primären Bestandteilen der erstgenannten Gyttjaarten an Masse stark zurückzutreten. Ihr Dasein erschließe ich nur theoretisch, da ich keine Gegenstände habe nachweisen können, die unzweifelhaft ihrem Aussehen nach der Detritusgyttja zuzuteilen wären. Endlich werden auch die mit den kleinen Zuflüssen in den See hineingeschwemmten Tonpartikelchen mit in die Gyttja eingebettet, sowie auch die von den älteren Tonablagerungen eventuell losgerissenen Stoffe.

Es geht aus den obigen Auseinandersetzungen hervor, daß die rezenten Ablagerungen in den Tiefen des Vättern fast ausschließlich zur Gyttja werden. Daß reiner Ton im Vättern in der Jetztzeit gebildet wird, fällt mir nicht wahrscheinlich auf, Wesenberg-Lund (1901, S. 90—91) hat meiner Ansicht nach das richtige getroffen, wenn er die Ablagerung des reinen Tons im allgemeinen als einer geschwundenen Zeit angehörig betrachtet. Der Ton dürfte nur in der spätglazialen Zeit entstanden sein, als die biogenen Ablagerungen im Vergleich mit denjenigen der Gletscherflüsse des Landeises eine

verschwindende Rolle spielten. Diesem Ausspruch möchte ich jedoch die Reservation beifügen, daß er nur von der Neubildung des Tons gilt. Eine Umsedimentierung desselben kann wohl sicher noch jetzt Schichten von ziemlich reinem Ton herbeiführen, wenn ein Fluß ein sehr tonhaltiges Gebiet durchfließt und seinen Schlamm in einen nicht allzu großen See absetzt. In diesem Fall ist aber der Ton schon zuvor gebildet worden; er wird nur in eine neue Gegend sedimentiert.

Wie der weiche Ton des Vättern in dieser Hinsicht zu deuten ist, darüber bin ich noch nicht ins klare gekommen. Ob er rezenten Ursprungs ist oder ob er einen mehr oder weniger umgebildeten Glazialton darstellt, müssen künftige Untersuchungen entscheiden. Daß er eine rezente Bildung sei, scheint mir aber deshalb sehr unwahrscheinlich, weil es bei einer solchen Annahme unverständlich vorfällt, warum auch nicht die Chitingyttja an denselben Orten gebildet ist. Denn das Vorstadium derselben, das Chitinsediment, ist vorhanden; nur durch Wegtransportieren mittels der Wasserströmungen kann die Entstehung einer Chitingyttja verhindert worden sein. Aber wenn die Chitinteile hinweggespült worden sind, wie können die viel leichteren Tonstoffe sedimentiert worden sein? Ob, wie Wesenberg-Lund (1901, S. 96) annimmt, die Gyttja durch andauernde Wirkung der zersetzenden Kräfte ihrer organogenen Bestandteilen beraubt werden kann, wodurch endlich nur die unorganischen zurückbleiben und somit ein Ton gebildet würde, darum kann ich auf Grund der im Vättern ausgeführten Untersuchungen keine eigene Ansicht haben.

Die Hebung des Bodens durch die Ablagerung der Gyttja geht im Vättern sehr langsam. Im Vergleich mit den großen subalpinen Seen der Schweiz ist daher dem Vättern eine sehr lange Zukunft zugesichert.

Um noch einmal die Strömungsverhältnisse im See ins Auge zu fassen, können wir, die Frage in kurzen Punkten zusammenfassend, folgendes feststellen:

1. Die Strömungen des Vättern sind sehr kräftig.
2. Sie wirken bis in die 'größten Tiefen auf die Bodensedimente umgestaltend. Diesen beiden Sätzen können wir noch einen hinzufügen:
3. Der See verdankt seine kräftigen Strömungen in erster Linie nicht, wie es bei den meisten anderen Binnenseen der Fall sein soll,

„der Zahl, Größe und dem Gefälle der Zu- und Abflüsse“ (vgl. Steuer, 1910), sondern anderen Verhältnissen, vor allem wohl sicherlich der Größe und der gerade gestreckten Form des Seebeckens sowie auch der Abwesenheit unterseeischer Querswellen, wodurch sowohl die Stürme als die Temperaturunterschiede der verschiedenen Seeabschnitte größere Wirkungen leisten können.

In diesem Zusammenhang kann ich nicht umhin, die Aufmerksamkeit der Hydrographen darauf zu lenken, wie wichtig und anscheinend sehr lohnend eine eingehende Untersuchung der hydrographischen Verhältnisse eben des Vättern wäre. Entgegen dem Verhalten im Meere gibt es ja im Vättern keine Differenzen im Salzgehalte des Wassers, welche die Strömungen beeinflussen könnten, und im Vergleich mit anderen Binnenseen fällt es leicht, die übrigens äußerst geringfügigen Einflüsse der Zu- und Abflußverhältnisse zu eliminieren. Infolge der so entstandenen Vereinfachung der Fragestellung wäre dem Vättern vielleicht manches die jetzt so eifrig diskutierte Frage nach den Ursachen der ozeanischen Strömungen beförderndes Resultat abzugewinnen.

Die Bodentypen in ihrer Beziehung zur Bodenfauna.

Nicht jede der genannten Bodenarten übt auf die Uppigkeit und die Zusammensetzung der Fauna einen entscheidenden Einfluß. Ob der Boden aus Sand oder Ton oder tonbemengtem Sand besteht, das scheint den Tieren ziemlich gleichgültig zu sein, wenigstens habe ich keine sichere Anzeichen für ein entgegengesetztes Verhalten gefunden (vgl. Kap. 6). Noch weniger kann es natürlich etwas bedeuten, ob unterhalb der oberflächlichen Sandschicht eine Tonschicht liegt. Dagegen sind andere Verhältnisse von Bedeutung. Bei einer Durchmusterung der Proben findet man bald, daß es die verschiedenen Arten der Gytjtja und ihrer Vorstadien sind, welche die Bodenfauna in erster Linie beeinflussen. Dies ist auch leicht begreiflich. Denn es sind ja die Stoffe organischen Ursprungs, welche die Nahrung der Tiere ausmachen. Die unverzehrten Nahrungsstoffe werden vom Chitinsediment ausgemacht, es ist daher dieses, das vor allem berücksichtigt werden muß. Außerdem sind gewisse Oligochätenarten von der Vollgyttja deutlich abhängig. Ich unterscheide somit für den Mineralboden drei Ausbildungsstufen des Chitinsediments: spärlich, mäßig und reichlich abgesetzt; dem Mineralboden stelle ich die Chitingyttja und die Chitinvollgyttja

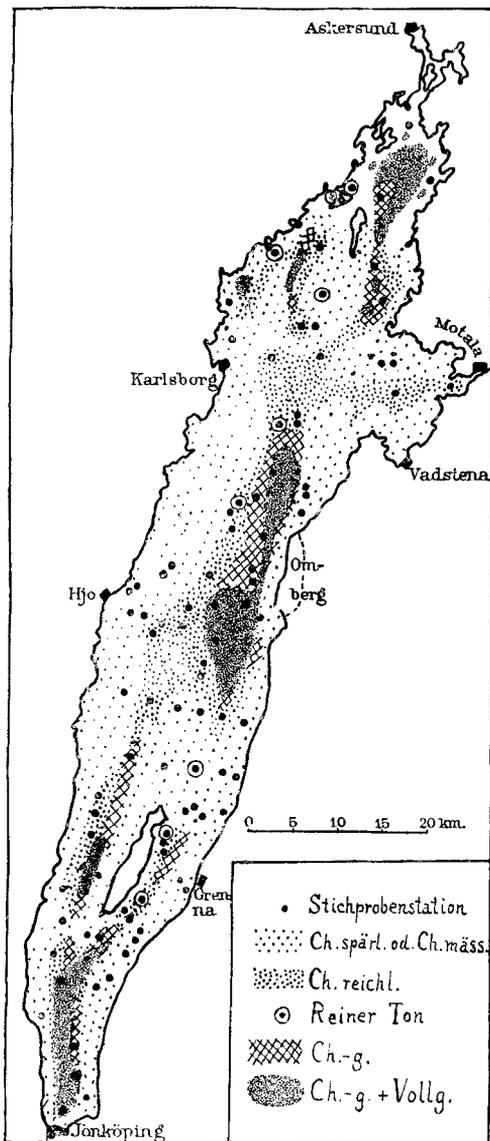


Fig. 4. Die Verteilung der verschiedenen Bodenarten. Über die Verkürzungen (Ch. spär. usw.) siehe Kap. 4.

gegenüber. Wo diese auftreten, ist natürlich das Chitinsediment reichlich vorhanden.

Die Verteilung dieser Bodenarten auf die verschiedenen Tiefen geht aus folgender Tabelle hervor, welche die Zahl der untersuchten Proben der betreffenden Bodenart in den verschiedenen Tiefenschichten angibt. Es ist dabei ausschließlich auf die Bodenschöpferfänge Rücksicht genommen. Es erhellt aus der Tabelle u. a. sofort, daß das Chitinsediment in den tieferen Schichten im allgemeinen reichlicher ausgebildet als in den seichteren ist, was nach den oben gemachten Besprechungen leicht verständlich ist. Dasselbe belehrt die Karte Fig. 4 im Vergleich mit der Karte S. 150.

Tabelle 32. Die Verteilung der ökologisch wichtigsten Bodentypen.

Tiefe in m	1. Mineralboden			2. Chitinyttja auf Mineralboden	3. Chitinyttja auf Vollgyttja
	spärlich	Chitinsediment mäßig	reichlich		
11—20	4	2	1	—	—
21—30	9	2	1	—	—
31—40	5	1	9	1	1
41—50	4	2	7	1	1
51—60	—	1	5	—	—
61—70	1	—	1	2	4
71—80	4	—	2	—	3
81—90	—	3	2	2	—
91—100	—	—	3	1	1
101—110	—	—	—	2	4
111—120	—	1	—	1	1
	27	12	31	10	15

Diese kurzen Erörterungen über die Beziehungen zwischen Bodenart und Bodenfauna mögen hier einleitungsweise genügen; unten sollen diesbezügliche Fragen teils bei der Besprechung der einzelnen Tierarten, teils in einer allgemeinen Zusammenstellung näher ins Auge gefaßt werden.

(Fortsetzung folgt.)