

EESTI VABARIIGI TARTU ÜLIKOOLI
TOIMETUSED

ACTA ET COMMENTATIONES
UNIVERSITATIS TARTUENSIS
(DORPATENSIS)

A

MATHEMATICA, PHYSICA, MEDICA

XIII

TARTU 1928

EESTI VABARIIGI TARTU ÜLIKOOLI
TOIMETUSED

ACTA ET COMMENTATIONES
UNIVERSITATIS TARTUENSIS
(DORPATENSIS)

A

MATHEMATICA, PHYSICA, MEDICA

XIII

TARTU 1928

Sisukord. — Contenta.

1. **J. Sarw.** Zum Beweis des Vierfarbensatzes.
 2. **H. Scupin.** Die stratigraphische Stellung der Devonschichten im Südosten Estlands.
 3. **Harald Perlitz.** On the parallelism between the rate of change in electric resistance at fusion and the degree of closeness of packing of metallic atoms in crystals.
 4. **Karl Frisch.** Zur Frage der Luftdruckperioden.
 5. **Jaan Port.** Untersuchungen über die Plasmakoagulation von *Paramaecium caudatum*.
 6. **J. Sarw.** Direkte Herleitung der Lichtgeschwindigkeitsformeln.
 7. **Karl Frisch.** Zur Frage des Temperaturanstiegens im Winter.
 8. **Edm. Spohr.** Über die Verbreitung einiger bemerkenswerter und schutzbedürftiger Pflanzen im Ostbaltischen Gebiet.
 9. **Natalie Rågo.** Beiträge zur Kenntnis des estländischen Dictyonemaschiefers.
 10. **C. Schlossmann.** Études sur le rôle de la barrière hémato-encéphalique dans la genèse et le traitement des maladies infectieuses.
 11. **A. Öpik.** Beiträge zur Kenntnis der Kukruse- (C_2 - C_3 -) Stufe in Eesti. III.
-

C. Mattiesen, Tartu (Dorpat).

1. Einleitung.

Es handelt sich um folgendes: Auf einer Kugelfläche sind Gebiete in endlicher Anzahl vorhanden. Man färbt jedes Gebiet mit einer einzelnen Farbe. Das Färben soll nur dazu dienen, dass man jedes einzelne Gebiet in seiner ganzen Ausdehnung leicht übersehen kann. Um das zu erreichen, muss man jedes andere Gebiet, das mit einem schon gefärbten Gebiet gemeinsame Grenzstücke hat, mit einer anderen Farbe färben. Man braucht nicht für jedes neue Gebiet eine neue Farbe zu nehmen. Im Gegenteil, aus ökonomischen Gründen und wegen besserer Unterscheidbarkeit ist man bestrebt, möglichst wenige neue Farben zu gebrauchen. Das Minimum oder die untere Grenze für die Anzahl der unbedingt nötigen Farben für wirklich in der Mehrzahl vorhandene Gebiete ist zwei. Zum Beispiel kann man alle in gerader Anzahl vorhandenen sphärischen Zweiecke mit zwei Farben färben. Es ist schon im vergangenen Jahrhundert folgendes Problem entstanden: man hat das Maximum oder die obere Grenze zu bestimmen für die Anzahl der unbedingt nötigen Farben bei jeder endlichen Anzahl der Gebiete und bei jeder Form des Gebietssystems.

Nach R. Baltzer¹⁾ ist Möbius (dank seinem Freunde Weiske) schon um das Jahr 1840 im Besitz des Satzes gewesen, dass es unmöglich ist die Kugelfläche oder ein Stück davon in fünf Teile zu teilen, von denen jeder mit jedem anderen ein Grenzstück (nicht bloss einen Punkt) gemein hat. Cayley²⁾ sagt (1878): The theorem, that four colours are sufficient for any map, is mentioned somewhere by late Professor De Morgan I have failed to obtain a proof. Dieser De Morgansche Satz, dass

vier Farben genügen, um alle Gebiete einer Kugelfläche und somit jeder Landkarte so zu färben, dass überall zwei

1) R. Baltzer, Leipziger Berichte 1885, p. 1.

2) Cayley, Proceedings of the Royal Geogr. Soc. 1 (1879), p. 259.

längs Linien aneinander grenzende Gebiete verschiedene Farben erhalten, heisst heutzutage gewöhnlich der Vierfarbensatz.

Federic Guthrie¹⁾ erklärte (1880), sein Bruder Francis Guthrie habe schon um 1850 für diesen Satz einen Beweis gefunden und seinem Professor De Morgan mitgeteilt. Der erste Beweisversuch in der Literatur gehört Kempe (1879)²⁾. Er beweist, dass auf der Kugelfläche jeder Gebietskomplex ein Gebiet enthält, das mit weniger als sechs anderen Gebieten in Berührung steht, d. h. Grenzstücke gemein hat. Er versuchte auch zu beweisen, dass man alle anderen Gebiete immer so färben kann, dass höchstens 5 ein und dasselbe Gebiet berührende Gebiete höchstens drei Farben erhalten. Dieser Versuch ist aber misslungen, wie Heawood³⁾ zeigte (1890). Tait⁴⁾ gab einen Beweis für den Satz (1880), aber er gebrauchte dazu einen unbewiesenen, jetzt nach ihm benannten, Satz.

Heawood⁵⁾ beschäftigte sich mit der Frage, wie gross die der Zahl 4 auf der Kugelfläche analoge chromatische Zahl für Flächen höheren Geschlechts ist. Er fand, dass die leicht zu findenden Schranken für die chromatische Zahl eben nur für die Kugelfläche (und alle anderen Flächen vom Geschlecht 0) die chromatische Zahl unbestimmt lassen. Er setzte aber dabei voraus, dass auf jeder Fläche die Nachbargebiete, d. h. diejenigen Gebiete, von denen jedes mit jedem anderen ein Grenzstück gemein hat, in der aus der Eulerschen Formel folgenden Anzahl wirklich möglich sind. Heffter⁶⁾ stellte (1891) wirklich die Nachbargebiete für Flächen vom Geschlecht 1, 2, 3, . . . , 6 her. Spätere Arbeiten⁷⁾ haben weder den Vierfarbensatz zu beweisen, noch das Problem der Nachbargebiete zu lösen vermocht.

Im folgenden wird der Versuch gemacht, den Beweis des Vierfarbensatzes, von ganz allgemeinen Voraussetzungen aus-

1) F. Guthrie, Proc. Edinb. 10 (1880), p. 727.

2) A. B. Kempe, Am. Journ. of Math. 2 (1879), p. 193.

3) P. J. Heawood, Quart. Journ. 24 (1890), p. 332.

4) Tait, Proc. Edinb. 10 (1880), p. 501.

5) L. c.

6) L. Heffter, Math. Ann. 38 (1891), p. 486.

7) A. Errera, Periodico di Matematiche VII (IV), p. 20 (1927).

gehend, rein geometrisch anzubahnen. Das Haupthilfsmittel besteht im Reduzieren durch Ringe von Gebieten, d. h. mittels Gebietsreihen, wo jedes folgende Gebiet mit dem vorhergehenden wie auch das letzte Gebiet mit dem ersten wenigstens einen Punkt gemein hat, den man nach Heawood¹⁾ in ein Grenzstück verwandeln kann.

2. Die Eulersche Polyederformel.

Man denke sich auf der Kugelfläche eine Kreislinie und auf dieser Kreislinie einen Punkt. Die Kreislinie zerlegt die Kugelfläche in zwei Elementarflächenstücke (die im Sinne der Topologie einer Kreisfläche oder Dreiecksfläche äquivalent sind). Der Punkt auf der Kreislinie zerlegt diese in ein Elementarlinienstück (das im Sinne der Topologie einer Strecke äquivalent ist). Man nehme die Anzahl der Elementarflächenstücke negativ (-2). Man addiere dazu die Anzahl der für diese Flächenstücke nötigen Elementarlinienstücke positiv ($-2+1$) und die Anzahl der für diese Linienstücke nötigen Punkte negativ ($-2+1-1$). Die so erhaltene Zahl

$$K = -2,$$

die Charakteristik der Kugelfläche, hängt nicht davon ab, wie man die Kugelfläche in Elementarflächenstücke und die Begrenzungen dieser Flächenstücke in Elementarlinienstücke zerlegt hat. Denn es sei die Anzahl der Elementarflächenstücke a_2 , die der Linienstücke a_1 und die der Punkte a_0 , und somit

$$K = -a_2 + a_1 - a_0.$$

Dann kann man annehmen, dass jedes gemeinsame Grenzstück zweier Flächenstücke aus einem einzigen Linienstück besteht. Bestände nämlich ein Grenzstück aus l Linienstücken mit $l-1$ inneren Eckpunkten, so könnte man die $l-1$ Eckpunkte fortlassen und so die l Linienstücke in ein einziges verwandeln, ohne die Charakteristik $-a_2 + a_1 - a_0$ zu verändern, da ja a_0 und a_1 dabei gleichzeitig um $l-1$ kleiner werden. Lässt man nun das gemeinsame Grenzstück zweier Flächenstücke fort, so verwandelt man diese zwei Flächenstücke in ein einziges, ohne die Charakteristik zu verändern, da ja a_2 und a_1 dabei gleichzeitig um eins kleiner werden. So fortfahrend, wird man auf

1) S. unten 3.

der Kugelfläche endlich zu zweien Flächenstücken gelangen mit einer einzigen gemeinsamen Grenzlinie, die nur eines einzigen Punkts bedarf, um ein Elementarlinienstück darzustellen. Also ist die Charakteristik für die Kugelfläche und für jede der Kugelfläche topologisch äquivalente Polyederfläche wirklich invariant und zwar

$$-a_2 + a_1 - a_0 = -2.$$

Diese Formel nennt man die Eulersche Polyederformel.

3. Heawood's mittlere Anzahl der angrenzenden Gebiete.

Heawood bemerkte, dass man, ohne die obere Grenze der nötigen Farben zu erniedrigen, annehmen kann, dass in keinem Punkt mehr als drei Gebiete zusammenstossen. Denn beim Zusammenstoss mehrerer Gebiete kann man sich eins von diesen in alle anderen ein wenig erweitert denken. Dann wird auch jedes Paar von Gebieten, das einen Punkt gemein hat, ein ganzes Grenzstück gemein haben.

Dies vorausgesetzt, bezeichne man mit Heawood die mittlere Anzahl der verschiedenen (mit verschiedenen anderen Gebieten gemeinsamen) Grenzstücke eines jeden Gebiets mit A_n , wo n die Anzahl aller Gebiete bedeutet. Dann hat man nach der Eulerschen Formel

$$-\frac{nA_n}{3} + \frac{nA_n}{2} - n = -2,$$

woraus folgt

$$A_n = 6 \left(1 - \frac{2}{n} \right).$$

Hieraus ist ersichtlich, dass es auf der Kugelfläche in jedem System von in endlicher Anzahl vorhandenen und die ganze Kugelfläche bedeckenden Gebieten solche gibt, die mit weniger als sechs anderen gemeinsame Grenzstücke haben. (Nur in einem unendlichen Parkett mit sechseckigen Tafeln wäre das nicht der Fall.) Dasselbe gilt auch von jedem endlichen Gebietssystem, das nur ein elementares Stück der Kugelfläche (oder der Ebene) bedeckt. Denn das übriggebliebene Stück kann man ja auch als ein (beiseitegelassenes) Gebiet ansehen, und ist die Anzahl der (an dieses Gebiet grenzenden) Grenzgebiete m , so ergibt die Eulersche Formel

$$-\frac{n A_n}{3} - \frac{2m}{3} + \frac{n A_n}{2} + m - n - 1 = -2,$$

woraus folgt

$$A_n = 6 \left(1 - \frac{m+3}{3n} \right).$$

4. Die vier ersten Hilfssätze.

Der Beweis des Vierfarbensatzes stützt sich auf die folgenden Hilfssätze, die die Reduktionsmöglichkeit der Anzahl der zu behandelnden Gebiete verbürgen.

Hilfssatz 1. *Die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben wird nicht erniedrigt, wenn man annimmt, dass kein Gebiet andere Gebiete in seinem Inneren enthält.*

Beweis. Enthält ein Gebiet G auf der Kugelfläche andere Gebiete in seinem Inneren, so teilt es die Kugelfläche in mehrere Bereiche $B_1, B_2, \dots, B_n$, die keine gemeinsamen Grenzstücke haben können, so dass man in jedem von ihnen unbeschränkt dieselben Farben gebrauchen kann. Sei B_k derjenige von diesen Bereichen, wo die Anzahl der nötigen Farben nicht kleiner ist als in jedem anderen. Dann kann man, ohne die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben zu erniedrigen, alle anderen Bereiche ganz ausser Betracht lassen oder als keine eigene Farbe brauchende Teile des Gebietes G mit der Farbe dieses Gebietes gefärbt denken. Das Gebiet G zusammen mit diesen Bereichen enthält schon kein anderes Gebiet in seinem Inneren, weil es von der ganzen Kugelfläche nur einen einzigen Bereich B_k frei lässt. Damit ist der erste Hilfssatz bewiesen.

Hilfssatz 2. *Die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben wird nicht erniedrigt, wenn man annimmt, dass keine zwei Gebiete, die einen einzelnen Punkt oder ein Grenzstück gemein haben, irgendwelche weitere Punkte gemein haben.*

Beweis. Haben auf der Kugelfläche zwei Gebiete G_1 und G_2 ausser einem einzelnen Punkt oder ausser einem Grenzstück noch wenigstens einen Punkt gemein, so teilen diese zwei Gebiete zusammen die Kugelfläche in mehrere Bereiche $B_1, B_2, \dots, B_n$, die keine gemeinsamen Grenzstücke haben können, so dass man in jedem von ihnen unbeschränkt dieselben Farben gebrauchen kann. Sei B_k derjenige von diesen Bereichen, der zusammen mit den Gebieten G_1 und G_2 nicht

minder Farben braucht als irgendeines von den anderen zusammen mit G_1 und G_2 . So kann man, ohne die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben zu erniedrigen, alle anderen Bereiche ganz ausser Betracht lassen oder als keine eigene Farbe brauchende Teile des Gebietes G_1 ansehen und mit der Farbe dieses Gebiets gefärbt denken. Das Gebiet G_1 zusammen mit diesen Bereichen hat mit dem Gebiete G_2 ein einziges Grenzstück gemein, weil diese zwei Gebiete zusammen von der ganzen Kugelfläche nur einen einzigen Bereich B_k frei lassen. Somit ist der zweite Hilfssatz bewiesen.

Hilfssatz 3. *Die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben wird nicht erniedrigt, wenn man annimmt, dass keine drei Gebiete einen Ring bilden, der die Kugelfläche in zwei Bereiche teilen würde, die keine oder höchstens einzelne Punkte gemein hätten.*

Beweis. Man nehme an, es gebe auf der Kugelfläche drei Gebiete G_1 , G_2 und G_3 , die einen Ring bilden, der die Kugelfläche in zwei Bereiche B_1 und B_2 teilt, die höchstens einzelne Punkte gemein haben. Dann nehme man an, dass die Gebiete G_1 , G_2 und G_3 drei Farben erhalten haben, wodurch die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben gewiss nicht erniedrigt wird. Sei B_k derjenige von den durch den Ring $G_1 G_2 G_3$ getrennten Bereichen, der zusammen mit dem Ring nicht minder Farben braucht als der andere zusammen mit dem Ring. Dann kann man in diesem anderen Bereich unbeschränkt dieselben Farben gebrauchen, wie im Bereich B_k , und darum, ohne die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben zu erniedrigen, alle Gebiete des anderen Bereiches ganz ausser Betracht lassen oder als keine eigene Farbe brauchenden Teile des Gebietes G_1 ansehen und mit der Farbe dieses Gebietes gefärbt denken. Somit ist der Ring beseitigt und der dritte Hilfssatz bewiesen.

Hilfssatz 4. *Ohne die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben zu erniedrigen, kann man annehmen, dass kein Gebiet der Kugelfläche mit vier und nur mit vier anderen gemeinsame Grenzstücke hat.*

Beweis. Hat ein Gebiet G mit vier und nur mit vier anderen Gebieten G_1 , G_2 , G_3 und G_4 in dieser Reihenfolge gemeinsame Grenzstücke, so denke man sich die Gebiete G_1 , G und G_3 in ein einziges Gebiet vereinigt. Das ist möglich, da

nach dem Hilfssatz 3 die identisch gefärbt gedachten Gebiete G_1 und G_3 nicht zusammenstossen können. Wird nun das so reduziert gedachte Gebietssystem wenigstens vier Farben brauchen, so braucht das ursprüngliche System deren gewiss nicht mehr. Also kann man sich wirklich jedes Gebiet beseitigt denken, das mit vier und nur mit vier anderen gemeinsame Grenzstücke hat.

Anmerkung. Vier Farben wird man schon dann brauchen, wenn man auf der Kugelfläche nur vier Gebiete hat, die, den Tetraederflächen ähnlich, alle aneinander grenzen, also Nachbargebiete sind.

5. Der fünfte Hilfssatz.

Hilfssatz 5. *Ohne die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben zu erniedrigen, kann man annehmen, dass kein Gebiet der Kugelfläche mit mehr als vier anderen gemeinsame Grenzstücke hat.*

Beweis. Laut den Hilfssätzen 1—4 kann man das Gebietssystem so reduzieren, dass von den noch vorhandenen Gebieten, falls es deren mehr als elf gibt, ein jedes mit mehr als vier anderen gemeinsame Grenzstücke haben muss. Nach der Heawoodschen mittleren Anzahl muss es unter diesen Gebieten auch solche geben, die mit genau fünf anderen gemeinsame Grenzstücke haben. Also hat man nur zu beweisen, dass man, ohne die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben zu erniedrigen, jedes Gebiet beseitigen kann, das mit genau fünf anderen gemeinsame Grenzstücke hat.

Hat ein Gebiet G mit genau fünf anderen Gebieten $G_1, G_2, \dots, G_5$ in dieser Reihenfolge gemeinsame Grenzstücke, so denke man sich die Gebiete G_1, G und G_3 in ein einziges Gebiet vereinigt. Das ist möglich, da nach dem Hilfssatz 3 die identisch gefärbt gedachten Gebiete G_1 und G_3 nicht zusammenstossen können. Weiter trage man Sorge dafür, dass das Gebiet G_2 mit dem Gebiet G_4 oder G_5 endgültig identisch gefärbt werden kann. Das heisst, beim weiteren Reduzieren nach den Sätzen 4 und 5 nehme man für ein neues G_1 vorzugsweise ein früheres G_2 , wenn dabei das neue G_3 mit dem bezüglichen früheren G_4 oder G_5 identisch wird, aber nimmer, wenn das neue G_3 mit dem bezüglichen früheren G_4 und G_5 nur gemeinsame Grenzstücke hätte. Das ist möglich, da es ja von dem Reduzierer abhängt, welches von den vier oder fünf Gebieten mit G_1 bezeichnet wird. Falls nun das so redu-

ziert gedachte Gebietssystem wenigstens vier Farben braucht, so braucht das ursprüngliche System deren gewiss nicht mehr. Also kann man sich wirklich jedes Gebiet beseitigt denken, das mit fünf oder mehr anderen gemeinsame Grenzstücke hat.

Anmerkung. Die hier gesperrt gedruckten Worte machen den Beweis unstreng. Ohne die Freiheit des Reduzierens zu Hilfe zu nehmen, hätte man streng nur sagen können, dass das ursprüngliche System nicht über fünf Farben braucht, wenn das reduzierte System nicht über fünf braucht.

6. Der Vierfarbensatz.

Aus den Hilfssätzen 1—5 folgt

Der Vierfarbensatz: *Vier Farben genügen, um die in endlicher Anzahl vorhandenen Gebiete einer Kugelfläche oder einer Landkarte so zu färben, dass überall zwei längs Linien aneinander grenzende Gebiete verschiedene Farben erhalten.*

Beweis. Auf Grund der Hilfssätze 1—5 erniedrige man die Anzahl der vorhandenen Gebiete so weit wie möglich, ohne die obere Grenze für die Anzahl der nötigen Farben zu erniedrigen. Dann betrachte man irgendein übriggebliebenes Gebiet G . Nach den Hilfssätzen 4 und 5 kann dieses Gebiet mit nicht mehr als drei anderen gemeinsame Grenzstücke haben. Nach den Hilfssätzen 1—3 kann es keine weiteren Gebiete geben. Also gibt es ausser dem Gebiete G nicht über drei weitere Gebiete, die mit G zusammen die grösste Anzahl der für die Färbung aller Gebiete der Kugelfläche nötigen Farben brauchen. So genügen wirklich vier Farben, um die in endlicher Anzahl vorhandenen Gebiete einer Kugelfläche oder einer Landkarte so zu färben, dass überall zwei längs Linien aneinander grenzende Gebiete verschiedene Farben haben.

DIE STRATIGRAPHISCHE STELLUNG DER DEVONSCHICHTEN IM SÜDOSTEN ESTLANDS

VON

H. SCUPIN

DORPAT 1927

C. Grewingk¹⁾ unterschied im baltischen kalkig-dolomitischen Devon über dem Altrotsandstein drei geographische Fazies, die Welikaja-Fazies im Osten, westlich die Dünafazies und die kurische Fazies. Die Welikaja-Fazies reicht mit ihrem nördlichen Teil auch in den estländischen Staat im Süden des Pleskauer Sees hinein. H. Bekker²⁾ hat dieses Gebiet einer eingehenden Bearbeitung und Kartierung unterzogen. Er unterschied eine grosse Zahl von Schichten, die er wieder in sechs Zonen gruppierte: Gorodischtsche-Schichten, Untere Spirifer- und Pugnax-Zone, Stromatopora-Zone, Meyendorffi-Zone, Obere Spirifer- und Pugnax-Zone, Dubniki-Schichten.

Die Bezeichnung Pugnax-Zone geht dabei auf das häufige Auftreten von *Rhynchonella livonica* zurück, die Bekker zur Untergattung bzw. Gattung *Pugnax* stellte, worin ich ihm nicht folgen kann. Die Untergattung *Pugnax* hat ihren Typus in der Form *Rhynchonella pugnus*. Ein Vergleich dieser Art mit *Rhynchonella livonica* zeigt ein durchaus verschiedenes Profil. *Rh. pugnus* hat mehr vierseitigen Seitenquerschnitt entsprechend dem einer geballten Faust, während *Rh. livonica* mehr dreiseitiges Profil besitzt; sie ist unterhalb des Wirbels der Armklappe viel flacher als *Rh. pugnus*. Da gerade bei Rhynchonellen, aber auch anderen Brachiopoden wie z. B. *Spirifer*, dieser Seitenquerschnitt besonders bedeutsam ist, wie ich früher bei Untersuchung umfangreichen Brachiopodenmaterials feststellen konnte, so darf m. E. *Rh. livonica* nicht zu *Pugnax* gestellt werden. Die Tatsache, dass *Rh. livonica* zu den dicken, kräftig gerippten Formen gehört, was sie mit *Rh. pugnus* gemein hat, genügt nicht. *Rh. livonica* gehört vielmehr nach ihrer ganzen Form in eine Gruppe mit der unterdevonischen rheinischen Art *Rh. da-*

1) C. Grewingk, Geologie von Liv- und Kurland. Arch. f. Naturk. Liv-, Est- u. Kurlands. Dorpat. Ser. 1, Bd. 2. 1861. S. 479.

2) H. Bekker, The devonian rocks of the Irboska district (S. E. Estonia). Arch. f. Naturk. Estlands. Ser. 1, Bd. 10. 1924.

leidensis und vor allem *Rhynchonella nympha* aus dem kalkigen Unterdevon Böhmens und der karnischen Alpen. Diese Formen dürften wohl am besten bei der Untergattung *Camarotoechia* Hall et Clarke untergebracht werden, der dann auch *Rh. livonica* einzuordnen wäre. Die Bezeichnung Pugnax-Zone ist daher in *Rhynchonella*-Zone umzuwandeln.

Fasst man die zahlreichen Einzelschichten Bekkers (*a—x*) sinngemäss zusammen, so ergibt sich von oben nach unten folgendes vereinfachte Profil (Mächtigkeitsangaben auf halbe Dezimeter abgerundet).

<i>v—x</i>	Dubniki-Schichten.	
	Grauer Dolomit und blauer Ton mit Gips- einlagerungen	5,30 m
<i>o—t</i>	Obere Spirifer- und Rhynchonella-Zone.	
	Graue und grünlichgraue Kalke und Mergel mit Brachiopoden und Zweischalern, mit <i>Rhynchonella livonica</i> , <i>Dactylocrinus</i> , <i>Atrypa</i> <i>reticularis</i> , mit <i>Isborskites</i> -Konglomerat .	5,85—6,30 „
<i>m—n</i>	Meyendorffi-Zone.	
	Graubrauner Kalk und kristalliner Kalk, mit <i>Rhynchonella (Pugnoides) Meyendorffi</i> , <i>Orthis</i> <i>striatula</i>	4,95 „
<i>l</i>	Stromatopora-Zone.	
	Grauweisser Kalk mit Anhäufungen von <i>Stromatopora concentrica</i>	1,95 „
<i>g—k</i>	Untere Spirifer- und Rhynchonella-Zone.	
	Grauer, unten graublauer Kalk, oben mit <i>Stromatopora concentrica</i> , unten Anhäufungen von <i>Rhynchonella livonica</i> , <i>Spirifer subcuspi-</i> <i>datus</i>	5,25 „
<i>a—f</i>	Gorodischtsche-Schichten.	
	Graublaue Tone und grauweisser Dolomit	13,60 „
	Liegendes: Altrotsandstein.	

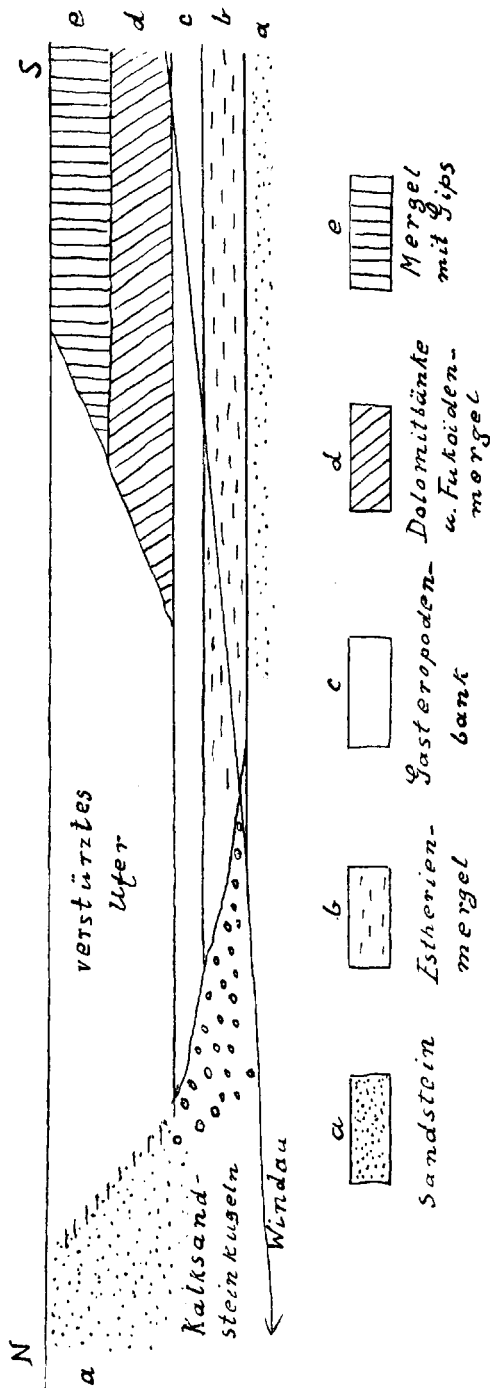
Die Schichtenfolge Untere bis Obere Spirifer-Rhynchonella-Zone hat Bekker wieder als Isborsk-Stufe zusammengefasst und sämtliche Schichten dem Mitteldevon zugewiesen.

Man kann nun H. Bekker durchaus beipflichten, wenn er die untersten Schichten *a—f* noch dem Unteren Mitteldevon zu-

rechnet im Gegensatz zu der bisher mehr schematischen Auffassung, in diese Abteilung nur den Altrotsandstein zu stellen, und die auflagernde sog. „Dolomitstufe“ mit dem Oberen Mitteldevon beginnen zu lassen. Es ist nicht angängig, den untersten Teil der Dolomitstufe des baltischen Devons durchweg als jünger anzusehen, als die höheren Teile des Altrotsandsteins, sondern man wird gelegentlich fazielle Vertretung annehmen müssen, eine Auffassung, die auch in der älteren Literatur bisweilen erörtert, schliesslich aber aufgegeben wurde.

Diese Annahme wird jedoch bewiesen durch ein von C. Grewingk¹⁾ aus dem Kurischen Gebiet gegebenes Profil (vergl. Textfigur), aus dem Grewingk allerdings selbst keine Folgerungen zog. Hier

1) a. a. O. Taf. C, unten.



Profil an der Windau vom Goldinger Wasserfall einige hundert Schritt abwärts. Nach Grewingk. Massstab. Länge etwa 1:600. Höhe etwa 1:300.

treten bei Goldingen an der Windau unterhalb des Wasserfalls verschiedene Zonen der Dolomitstufe über Altrotsandstein auf, der etwas weiter unterhalb bis zur Höhe der Dolomitschichten entwickelt ist. Da an Verwerfungen in diesem Gebiet nicht gedacht werden kann, so bleibt nur die Möglichkeit gegenseitiger fazieller Vertretung. Man befindet sich dort an der Küste des mitteldevonischen Meeres, an das sich im Norden die Altrotsandsteinwüste anschloss.

Insofern ist auch hier aus rein allgemein geologischen Gründen die Auffassung Bekkers, für die sonst keine Gründe beigebracht sind, möglich. Man könnte sogar geneigt sein, noch darüber hinauszugehen und aus stratigraphisch-paläontologischen Gründen auch die nächste Zone noch zum Unteren Mitteldevon zu rechnen, da der von hier angeführte *Spirifer subcuspidatus* anderweitig nicht über das Untermitteldevon hinausgeht und im Obermitteldevon in Westeuropa von dem nah verwandten *Spirifer mediotextus*, in Osteuropa von dem noch schwerer unterscheidbaren *Sp. muralis* Vern. abgelöst wird. Die Nachuntersuchung hat aber ergeben, dass es sich gar nicht um *Spirifer subcuspidatus*, sondern in der Tat um *Sp. muralis* handelt, der von ersterem durch die schwächer entwickelten Zahnstützen der Stielklappe sowie die etwas breiteren Zwischenräume der Rippen abweicht, wie gelegentlich früher gezeigt werden konnte¹⁾.

Dementsprechend erklärt sich auch das von Bekker aus der Oberen Spirifer-Rhynchonella-Zone angegebene Zusammenkommen des *Sp. subcuspidatus* mit *Spirifer Verneuili* (*disjunctus* Sow. bei Bekker), das ausserordentlich befremdend wäre, durch die unrichtige Bestimmung. Sämtliche Formen gehören m. E. zu *Sp. muralis*, den Bekker ausserdem nennt. Bekker hat in der Versteinerungstabelle diese höhergelegene Form auch als *Sp. subcuspidatus* var. bezeichnet, also die Abweichung bereits selbst empfunden.

Durch das Vorkommen des *Spirifer Verneuili* — und zwar ist es die bekannte, in Osteuropa herrschende var. *Archiaci* — wird die Obere Spirifer-Rhynchonella-Zone, mit der von Bekker auch die auflagernden Dubniki-Schichten, die hangendsten Schichten des Isborsker Devons, noch

1) H. Scupin, Die Spiriferen Deutschlands. Palaeont. Abh. v. Dames u. Koken. Neue Folge, Bd. IV, Heft 3. 1899. S. 128.

ins Mitteldevon gestellt worden waren, unbedingt als wenigstens in ihrem höheren Teile oberdevonisch gekennzeichnet. *Spirifer Verneuili* ist bekanntlich eine weltweit verbreitete Form und erscheint nirgends früher. Deshalb ist auch die Zusammenfassung der Schichtenfolge Untere bis Obere Spirifer-Rhynchonella-Zone als Isborsk-Stufe bedenklich, da die Mittel-Oberdevongrenze durch sie hindurchgeht. Sie liegt vermutlich innerhalb der Oberen Spirifer-Rhynchonella-Zone, vielleicht auch unmittelbar über der Meyendorffi-Zone. Aufgabe späterer Untersuchungen wird es sein, die Lage dieser wichtigen Grenze genau festzustellen.

Wenn Bekker das gesamte Devon der Gegend von Isborsk irrtümlich noch zum Mitteldevon stellte, so bauten sich seine Schlussfolgerungen auf der unrichtigen Gliederung von P. Wenjukoff¹⁾ auf. Er stellte seine *Sp. Verneuili* führende Obere Spirifer- und Rhynchonella-Zone den von diesem ausgeschiedenen Schichten mit *Sp. disjunctus* (*Sp. Verneuili*) gleich, die nach Wenjukoff an der Lowat von Schichten mit *Sp. Anossofi* überlagert werden sollen, einem in ganz Russland (Zentralrussland, Petschoraland und Ural) auf das Obere Mitteldevon beschränkten Leitfossil, übersah aber, dass Tschernyschew bereits gegen diese Angabe Stellung genommen hatte.

Nach Tschernyschew²⁾ fehlen für die Angabe Wenjukoffs alle Daten. Im Gegenteil stimmt nach ihm die Fauna dieses Kalkes an der Lowat sehr stark mit Wenjukoffs 1. und 2. Horizont im Nordwesten Russlands überein, der unter, nicht über den Schichten mit *Spirifer Verneuili* (3. Horizont) liegt. Auch im kurischen Gebiet ist *Spirifer Verneuili* var. *Archiaci* über den Schichten mit *Sp. Anossofi* gefunden worden, wie E. v. Toll³⁾ gezeigt hat.

Demgemäss kann also auch nicht, wie Bekker will, in den gipsführenden Dubnikischichten das zeitliche Aequivalent der Anossofistufe gesucht werden, die dann in der Tat in diesem Falle obermitteldevonisch sein müssten, sondern die Anossofi-

1) P. Wenjukoff, Die Fauna des devonischen Systems in Zentral- und Nordwestrussland. Petersburg 1886.

2) Th. Tschernyschew, Die Fauna des Mittleren und Oberen Devons am Westabhange des Ural. Mém. com. géol. St.-Pétersbourg. III. 1887. S. 203.

3) E. v. Toll, Geologische Forschungen im Gebiete der Kurländischen Aa. Sitzungsber. der Naturf.-Gesellsch. Dorpat. XII. 1898. S. 1.

Zone wäre an der Basis der Oberen Spirifer- und Rhynchonella-Zone oder in der Meyendorffi-Zone zu erwarten, und es wäre demgemäss hier nach diesem leicht kenntlichen Leitfossil zu suchen. Die Gipslager von Isborsk sind vielmehr oberdevonisch, im Gegensatz zu den Gipslagern in Kurland, die B. Doss auch für oberdevonisch hielt, die ich aber aus Gründen, deren Darlegung zu weit führen würde, noch an die obere Grenze des Mitteldevons stellen möchte¹⁾. Die Gipslager von Isborsk sind die letzten eingedampften Rückstände des sich nach Osten zurückziehenden Meeres, während im Westen, dem Gebiet der Kurländischen Aa, bereits am Ende des Mitteldevons ein Rückzug erfolgte, dessen in Gipslagern zum Ausdruck kommende Spuren allerdings wieder durch Ablagerungen eines neuen Vorstosses (marine Schichten mit *Spirifer Verneuili* var. *Archiaci*) verdeckt wurden.

An dieser Feststellung ändert auch die Tatsache nichts, dass neuerdings Obrutschew wieder für die Richtigkeit des Wenjukoffschen Profils in Mittellussland eingetreten ist, wobei von den vorhandenen sechs Horizonten die drei unteren, Semiluk, Woronesch, Ewlanow, dem Mitteldevon, die drei oberen, Elezk, Lebedjansk, Malewka-Murajewna, dem Oberdevon zugeteilt worden sind, eine Annahme, die sich durch das Vorkommen des oberdevonischen *Spirifer Verneuili* in der Semiluk-Stufe und von *Manticoceras intumescens* in der Ewlanow-Stufe erledigte. Muss also die ganze Schichtenreihe zum Oberdevon gerechnet werden, so blieb doch die Schwierigkeit des Vorkommens von *Spirifer Anossofi* in der zweiten, der Woronesch-Stufe über *Spirifer Verneuili*, die sich nach Naliwkin²⁾ durch falsche Bestimmung dieses angeblichen *Sp. Anossofi* erklärt. Das berührt aber in keiner Weise das Ostbaltikum. Denn der echte *Sp. Anossofi*, der, wie gesagt, auch in Kurland unter *Sp. Verneuili* gefunden ist, gehört nach wie vor ins Obere Mitteldevon, wie *Sp. Verneuili* leitend für Unteres Oberdevon bleibt.

Auch H. v. Winkler hatte bereits in Südosten Estlands Oberdevon ausscheiden zu können geglaubt, indem er den oberen

1) Näheres darüber in meinem demnächst erscheinenden Buche: Geologie des Ostbaltikums. Gebr. Bornträger, Berlin.

2) Vergl. die Darstellung der mittellussischen Verhältnisse bei S. v. Bubnoff, Geologie von Europa I (Osteuropa). Berlin 1926. S. 147.

Teil des von Fr. v. Rosen¹⁾ veröffentlichten, später von Grewingk (a. a. O.) wiedergegebenen Profils von der Welikaja zu diesem rechnet²⁾. In diesem Profil gehört aber mindestens der allergrösste Teil der als oberdevonisch betrachteten Schichten noch zum Mitteldevon, wie die Fossilien (angeblich sogar *Spirifer speciosus*) zeigen, so dass Anhaltspunkte für Oberdevon in diesem Profil jedenfalls nicht gegeben sind.

1) Fr. Baron Rosen, Die chemisch geognostischen Verhältnisse der devonischen Formation des Dünatales in Liv- und Kurland und des Welikajatales bei Pleskau. Arch. für Naturk. Liv-, Est- und Kurlands. Dorpat. Ser. 1, Bd. 3. 1864. S. 105.

2) H. v. Winkler, Eestimaa geoloogia. Reval 1922. S. 147.

**ON THE PARALLELISM BETWEEN THE RATE OF
CHANGE IN ELECTRIC RESISTANCE AT FUSION
AND THE DEGREE OF CLOSENESS OF PACKING
OF METALLIC ATOMS IN CRYSTALS**

BY

HARALD PERLITZ

ASSISTENT PROFESSOR OF THEORETICAL PHYSICS,
UNIVERSITY OF TARTU, ESTONIA

TARTU (DORPAT) 1927

C. Mattiesen, Tartu (Dorpat).

Abstract: On examining the data for the rate of change of electric resistance at fusion it is found that this rate increases as the atoms in crystals are packed more closely (1—9); a restriction implied by this relation on 3 previously given rules on this subject is stated (10); according to the rates of change of resistance lattices are suggested for Ga, Rb, Cs, Te- β , Tl- β , Sn- γ and Hg (11—20). Conclusion (21).

1. It was shown in a previous paper¹⁾ that as a rule:—
- “[1] Metallic elements, the resistances of which at fusion change in the proportion of 1:2, have rhombohedral hexagonal lattices of the antimony type.
 - [2] Metallic elements, the resistances of which at fusion change in the proportion of 3:2, have cubic body-centred lattices.
 - [3] Metallic elements, the resistances of which at fusion change in the proportion of 2:1, have lattices of the close-packed type.”

2. Then the crystal was conceived, from a purely geometrical point of view, as an assemblage of mathematical points arranged in a regular lattice. Now we shall think of it “as an assemblage of spheres packed tightly together, the centres of the spheres coinciding with those of the atoms²⁾”. On inspecting the lattices referred to in the three rules, we observe that they differ in regard to the closeness of the packing of the atoms. In regard to this point they may be divided into 3 groups:—

- [1] The rhombohedral hexagonal lattice of the antimony type with the loosest packing of atoms;
- [2] The cubic body-centred lattice with a closer packing of atoms;
- [3] The close-packed type, both the cubic and hexagonal one, with a still closer packing of atoms;

and this leads us to relate the rate of change of electric resistance at fusion to the closeness of the packing of the atoms, because on comparing the respective statements in paragraphs

1) Harald Perlitz, *Phil. Mag.* vii. p. 1148 (1926).

2) W. Lawrence Bragg, *Phil. Mag.* xl. p. 170 (1921).

1 and 2, we find that the rate of change of electric resistance at fusion increases with the closeness of packing.

3. To bring out this parallelism the following table was compiled:—

TABLE 1.

Element	Rate in change of resistance at fusion	Mean rate	Degree of closeness of packing
Bismuth . .	·466 ¹ ; ·465 ² ; ·45 ³ ; ·466 ⁴ ; ·478 ⁵ ; ·451 ⁶ ; ·457 ⁷ ; ·43 ⁸	·458	·616
Antimony . .	·703 ¹ ; ·754 ⁹ ; ·729 ⁶ ; ·67 ⁸	·714	·646
Sodium . .	1·35 ¹⁰ ; 1·34 ¹¹ ; 1·45 ¹² ; 1·6 ¹³ ; 1·45 ¹⁴ ; 1·53 ¹⁵ . . .	1·54	·680
Potassium . .	1·39 ¹⁶ ; 1·39 ¹⁷ ; 1·52 ¹³ ; 1·5 ¹² ; 1·53 ¹⁸ ; 1·60 ¹⁹ . . .		
Lithium . .	2·51 ²⁰ ; 1·68 ²¹ ; 1·27 ²²		
Aluminium	1·64 ⁸		
Silver . . .	1·987; 1·74 ⁸	1·99	·740
Cadmium . .	1·79 ¹ ; 1·96 ³ ; 1·98 ²³ ; 1·97 ²⁴		
Lead . . .	1·90 ¹ ; 1·95 ³ ; 1·92 ²⁴ ; 2·07 ⁸		
Copper . . .	2·09 ²⁵ ; 2·04 ⁸ ;		
Zinc . . .	2·00 ¹ ; 2·17 ²⁶ ; 2·19 ²⁷ ; 2·09 ⁸		
Gold . . .	2·28 ²⁸		

¹) Computed from L. de La Rive, *Compt. Rend.* lvii. p. 702 (1863).

²) Computed from C. L. Weber, *Wied. Ann.* xxxiv. p. 580 (1888).

³) G. Vicentini & D. Omodei, *Atti R. Acad. Torino*, xxv. p. 35 (1889) 90 *Nuovo Cim.* xxvii. p. 209 (1890).

⁴) Giuseppe Vassura, *Nuovo Cim.* xxxi. p. 46 (1892).

⁵) Edwin F. Northrup & V. A. Suydam, *Journ. Franklin Inst.* clxxv. p. 160 (1913).

⁶) Deduced from E. F. Northrup & R. G. Sherwood, *Journ. Franklin Inst.* clxxx. p. 502 (1916).

⁷) P. W. Bridgman. Quoted from Landolt-Börnstein, *Phys.-chem. Tabellen*, p. 1052 (1923).

⁸) Hidéo Tsutsumi, *Sc. Rep. Tôhoku Univ.* vii. p. 101 (1918).

⁹) Deduced from E. F. Northrup & R. G. Sherwood, *Journ. Franklin Inst.* clxxv. fig. facing p. 158 (1913).

¹⁰) Deduced from Matthiesen, *Pogg. Ann.* c. p. 190 (1857).

¹¹) Arciero Bernini, *Nuovo Cim.* vi. p. 30 (1903); *Phys. ZS.* v. p. 245 (1904). — In N. C. the rate is stated as 1·342, in agreement with the values for the relative resistances in the molten and solid state as quoted in table IX (l. c. p. 29); whilst in P. Z. the rate is stated as 1·337 again in agreement with the values for the relative resistances in the molten and solid state as quoted in "Tabelle IX" (l. c. p. 244).

¹²) Edwin F. Northrup, *Trans. Amer. Electrochem. Soc.* xx. p. 201 (1911).

¹³) L. Hackspill, *Thèse*, p. 80 (Paris, 1912).

¹⁴) P. W. Bridgman, *Proc. Amer. Acad.* lvi. p. 82 (1921).

Continued at the bottom of the next page.

4. In the 1st column of the table are listed all those metals with known rates of change of resistance at fusion, the structures of which seem to be well established from X-ray diffraction data³⁾: in all 12 metals out of 19. Their order of arrangement is determined by the averages (not listed) from the respective individual values stated in the 2nd column.

5. The 2nd column displays the rate of change of the electric resistance at fusion, *i. e.* the ratio of the resistance of the molten metal to the solid one, both taken at the temperature of fusion. These are arranged in the horizontal lines in chronological order and have been taken, computed or deduced from the literature on the subject. The term "deduced" here means that they have been determined by the author of this paper from curves, in which resistances were plotted against temperatures. This course was used in cases, where the resistances at fusion are given in the form of curves only, and in the case of Matthiesen⁴⁾, where these curves were plotted in accordance with his tabulated values. In all these cases due allowance was made for the rounding of the curves at the point of fusion. "Computed" means that the values cited have been obtained by simple division of the figures for the resistance in the liquid state by those for the resistance in the solid state. This method was used in cases where lack

3) International Critical Tables, i. pp. 340—341 (1926).

4) Footnotes 10 & 16 to Table 1.

Continued from the bottom of the preceding page.

¹⁵⁾ Deduced from Charles C. Bidwell, Phys. Rev. xxiii. p. 368 (1924).

¹⁶⁾ Deduced from Matthiesen, Pogg. Ann. c. p. 189 (1857).

¹⁷⁾ Arciero Bernini, Nuovo Cim. vi. p. 297 (1903); Phys. ZS. v. p. 410 (1904).

¹⁸⁾ P. W. Bridgman, Proc. Amer. Acad. lvi. p. 87 (1921).

¹⁹⁾ Deduced from Charles C. Bidwell, Phys. Rev. xxiii. p. 367 (1924).

²⁰⁾ Arciero Bernini, Nuovo Cim. viii. p. 272 (1904); Phys. ZS. vi. p. 78 (1905).

²¹⁾ P. W. Bridgman, Proc. Amer. Acad. lvi. p. 75 (1921).

²²⁾ Deduced from Charles C. Bidwell, Phys. Rev. xxiii. p. 370 (1924).

²³⁾ Giuseppe Vassura, Nuovo Cim. xxxi. p. 49 (1892).

²⁴⁾ Edwin F. Northrup & V. A. Suydam, Journ. Franklin Inst. clxxv. p. 158 (1913).

²⁵⁾ Edwin F. Northrup, Journ. Franklin Inst. clxxvii. p. 21 (1914).

²⁶⁾ Deduced from A. A. Sommersville, Phys. Rev. xxxiii. p. 79 (1911).

²⁷⁾ Edwin F. Northrup & V. A. Suydam, Journ. Franklin Inst. clxxv. p. 159 (1913).

²⁸⁾ Edwin F. Northrup, Journ. Franklin Inst. clxxvii. p. 291 (1914).

or scarcity of data prevented the construction of reliable curves, but where data for the resistances just before and after fusion were available. Computation and deduction were resorted to only in cases, in which the authors themselves did not state rates of change of resistance at fusion; where they did so, their own rates have been listed. In none of the three cases, however, have more than three figures been retained.

6. The 3rd column contains the arithmetical means computed from the preceding one. In computing them, bismuth and antimony were treated separately, whilst sodium, potassium and lithium were united into one group, that of the face-centred cubic type, and the rest of the elements were grouped together into that of the close-packed cubic and hexagonal type. The reason for proceeding thus lies in the fact that the unit cells of individual elements of the face-centred group, as well as those of the close-packed groups, differ only in size, so that by a mere change of the scale all cells of the same group can be made to coincide, whereas a reduction of this kind does not transform the unit cell of bismuth into that of antimony. Specially mentioned should be the distinction of the rates of change of resistance of aluminium and gold from the rates of other metals belonging to the close-packed group.

7. The last column gives the degree of closeness of packing, as defined by the relation

degree of closeness of packing

$$= \frac{\text{volume of atoms contained in the unit cell}}{\text{volume of the unit cell}},$$

the atoms being treated as spheres, in contact with one another.

8. For bismuth the closeness of packing was computed from the data given by O. Hassel and H. Mark⁵⁾ and for antimony from those given by R. W. James and Norman Tunstall⁶⁾. In both cases the spherical atoms were supposed to have radii equal to the greater of the radii of combinations and the atoms consequently treated as partly intersecting spheres⁷⁾. The corresponding coefficients for the face-centred and the close-packed

5) ZS. f. Physik, xxiii. p. 269 (1924).

6) Phil. Mag. 1. p. 233 (1927).

7) Sir W. H. Bragg and W. L. Bragg, X Rays and Crystal Structure, 4-th edition, plate viii, facing p. 172.

lattices were not computed from the data for the individual metals, but were arrived at by purely geometrical considerations.

9. A comparison of the data in the two last columns shows the dependence of the rate of change of resistance at fusion on the closeness of packing of supposedly spherical atoms. The main feature of this relation is *the increase of the rate of change of resistance with increasing closeness of packing*, but the available data are not yet sufficient to warrant a deduction of a quantitative relation. This relation, however, is easily interpreted by the "gap" theory of electrical resistance⁸). On melting metals undergo a "polymorphic" transition which transforms all of them into the same "modification": the liquid state, characterized by a proper mean degree of closeness of packing. This signifies that the closely packed structures are loosened, their gaps accordingly widened, their resistance increased; in the contrary case the packing of loosely packed structures is tightened, their gaps narrowed and their resistance decreased.

10. Let us review from this point of view the previously given rules (*cf.* paragraph 1). According to them a definite crystal lattice corresponds to a given rate of change of electric resistance at fusion. We now conclude that this may be so, but need not necessarily always be so. Our reason is that according to the assumed relation between the closeness of packing and the rate of change of resistance, metallic elements with definite lattices should change their resistance at fusion in definite proportions, according to their relative closeness of packing. But the reverse need not to be always true, for more than one lattice may correspond to a given degree of closeness, and they should all exhibit the same rate of change of resistance at fusion. Therefore the previous rules cannot be maintained unconditionally, and due regard has to be paid to the ambiguity involved in deriving a crystal lattice from the degree of closeness of packing.

11. We shall now turn to the remaining 6 metallic elements for which data are available for the rate of change of resistance at fusion, but no data or no definitely established data for their structures, and let us see what hints can be obtained regarding

8) P. W. Bridgman, Phys. Rev. ix. p. 269 (1917) & xvii. p. 161 (1921).

their structures. For this purpose the following table was compiled in analogy to Table 1:—

TABLE 2.

Element	Rate of change in resistance at fusion	Mean rate
Gallium .	·455 ¹ ; ·577 ²	·516
Rubidium (1·81 ³); 1·58 ⁴ ; 1·5 ⁵ ; 1·61 ⁶		1·56 ²⁹
Caesium .	1·77 ⁷ ; 1·7 ⁵ ; 1·79 ⁸ ; 1·66 ⁹	1·71
Thallium	2·0 ¹⁰	2·0
Tellurium	2·1 ¹¹	2·1
Tin . . .	2·07 ¹² ; 2·0 ¹³ ; 1·92 ¹⁴ ; 2·21 ¹⁰ ; 2·13 ¹⁵ ; 2·21 ⁶ ; 2·15 ¹⁷ ; 1·92 ¹⁸ ; 2·03 ¹⁹	2·07
Mercury .	4·06 ²⁰ ; 4·09 ²¹ ; 1·5 ²² ; 4·11 ²³ ; 2·5 ²⁴ ; 3·92 ²⁵ ; 4·90 ²⁶ ; 5 ²⁷ ; 3·22 ¹⁹ ; 3·8 ²⁸	3·71 ³⁰

¹) Deduced from A. Guntz & W. Broniewski, J. d. Chém. phys. vii. p. 478 (1907). — A. G. & W. B. state the rate to be $\frac{1}{2}$ (l. c. 481).

²) P. W. Bridgman, Proc. Amer. Acad. lvi. p. 111 (1921).

³) Deduced from Louis Hackspill, Thèse, p. 51 (Paris, 1907). — This figure has not been used in computing the average, because L. Hackspill himself states in his later investigation — Thèse, p. 71 (Paris, 1912) — that the rubidium in this case was contaminated by dissolved oxydes. In the table this figure is retained only as an illustrative example of discrepancies that might occur in the rate of change in resistance at fusion, even if deduced from manipulations of the same investigator.

⁴) A. Guntz & W. Broniewski, J. d. Chém. phys. vii. p. 476 (1907).

⁵) L. Hackspill, Thèse, p. 80 (Paris 1912).

⁶) P. W. Bridgman, Proc. Amer. Acad. lx. p. 474 (1907).

⁷) A. Guntz & W. Broniewski, J. d. Chém. phys. vii. p. 474 (1907).

⁸) Deduced from Charles G. Bidwell, Phys. Rev. xxi. p. 363 (1924).

⁹) P. W. Bridgman, Proc. Amer. Acad. lx. p. 407 (1925).

¹⁰) G. Vicentini & D. Omodei, Atti Acad. di Torino, xxv. p. 35 (1889/91); Nuovo Cim. xxvii. p. 209 (1890).

¹¹) Deduced from A. Guntz & W. Broniewski, J. d. Chém. phys. vii. p. 485 (1907).

¹²) Deduced from Werner Siemens, Pogg. Ann. xxiii. p. 99 (1861). — W. S. states the rate to be *ca.* $2\frac{1}{2}$ (l. c. p. 100).

¹³) Computed from L. de La Rive, Compt. Rend. lvii. p. 702 (1863).

¹⁴) Deduced from C. L. Weber, Wied. Ann. xxxiv. plate IV, fig. 9 (1888).

¹⁵) Giuseppe Vassura, Nuovo Cim. xxxi. p. 45 (1892).

¹⁶) Deduced from A. A. Sommerville, Phys. Rev. xxxiii. p. 77 (1911).

¹⁷) Edwin F. Northrup & V. A. Suydam, Journ. Franklin Inst. clxxv. p. 159 (1913).

¹⁸) Deduced from E. F. Northrup & R. G. Sherwood, Journ. Franklin Inst. clxxii. p. 503 (1916).

¹⁹) Hidéo Tsutsumi, Sc. Rep. Tôhoku Univ. vii. p. 101 (1918).

Continued at the bottom of the next page.

12. The data of this table should be commented upon in the same way as those of Table 1 (*cf.* paragraphs 5 and 7). Then we may conclude that gallium has a very loosely packed lattice; that the packing of rubidium is as close as that of the body-centred cubic lattices; that the packing of caesium is very near to the packing of body-centred cubic lattices; that the lattices of thallium, tellurium and tin are as closely packed as the close-packed cubic and hexagonal lattices; and that mercury seems to have an exceedingly close-packed structure.

13. The case of mercury needs special comment on account of the great differences in the data for its rate of change of resistance at fusion. These discrepancies have been explained in two ways: A. Baltruszaitis⁹⁾, and H. Kamerlingh Onnes and G. Holst¹⁰⁾ accept only the highest figures as guaranteeing an absence of pores in the conducting filament in its solid state, whilst P. W. Bridgman attributes the discrepancies to differences in "the position in which the crystals tend to separate out", produced by "the particular form of vessel in which the mercury is frozen", the crystals having different resistances in different directions¹¹⁾. Therefore in the case of mercury averaging seems to be out of question, and the degree of closeness to be ascribed to mercury depends on the explanation that is accepted.

9) Bul. Acad. Sc. Cracovie, p. 893 (1912, A).

10) Comm. Phys. Lab. Leiden № 142-a, p. 5 (1914).

11) Proc. Amer. Acad. xlvii. p. 397 (1911).

Continued from the bottom of the preceding page.

²⁰⁾ Deduced from C. L. Weber, Wied. Ann. xxv. pp. 248 & 250 (1885). —

C. L. W. states the rate to be *ca.* 4 (l. c. p. 251).

²¹⁾ Cailletet & Bouty, Compt. Rend. c. p. 1189 (1885).

²²⁾ L. Grunmach, Ann. der Phys. & Chem. xxxv. p. 772 (1888).

²³⁾ Carl Ludwig Weber, Wied. Ann. xxxvi. p. 589 (1889).

²⁴⁾ L. Grunmach, Ann. der Phys. & Chem. xxxvii. p. 514 (1889).

²⁵⁾ Deduced from James Dewar & J. A. Fleming, Proc. Roy. Soc. lx. pp. 78 & 79 (1896). — According to J. D. & J. F. it would be about 4 (l. c. 79).

²⁶⁾ A. Baltruszaitis, Bul. Acad. Sc. Cracovie, p. 898 (1912, A).

²⁷⁾ H. Kamerlingh Onnes & G. Holst, Comm. Phys. Lab. Leiden № 142-a, p. 5 (1914).

²⁸⁾ Georg Gehlhoff & Friedrich Neumeier, Verh. d. Deut. Phys. Ges. xxi. p. 210 (1919).

²⁹⁾ The bracketed figure has not been used in computing the average — *cp.* the remark to footnote 3.

³⁰⁾ *cp.* paragraph 13.

14. Assuming, for the sake of computation, for *gallium* a rhombohedral hexagonal lattice of the antimony type, as density at room temperature 5.91^{12}), and as the rate of change of resistance at fusion the mean value from Table 2, we obtain by graphical interpolation from the degrees of closeness of packing and from the radii of closest approaches of bismuth and antimony $1.43 \text{ \AA}$ and $1.24 \text{ \AA}$ for the radii of combinations of gallium. The last figure differs only little from $1.26 \text{ \AA}$, which is the interpolated atomic radius of gallium according to Maurice L. Huggins¹³) — Therefore a lattice of the looseness of the antimony type seems not to be at variance with the behaviour of gallium.

15. For *rubidium* the mean rate of change of resistance at fusion is almost the same as that in Table 1 obtained from data for the three body-centred elements: sodium, potassium and lithium. Therefore, and also because of the general similarity of the alkali elements, let us ascribe to rubidium a body-centred lattice. On this assumption and taking for the density of rubidium at room temperature 1.53^{14}), we obtain $2.47 \text{ \AA}$ for the radius of combination, which is greater than 2.25 , W. Lawrence Bragg's figure derived from X-ray data for crystal structures of compounds¹⁵).

16. In the case of *caesium* the mean rate of change of resistance is 1.73 , and therefore caesium should be given a structure with the corresponding closeness of packing. But instead of doing so we shall allow ourselves to be guided by the great similarity of all alkali elements, and ascribe to it also the cubic body-centred lattice, and accordingly compute its radius of combination. Taking 1.90 as the density at room temperature¹⁶), we obtain $2.92 \text{ \AA}$ for the radius of combination. This figure again exceeds Maurice L. Huggins's values, which range from $2.59 \text{ \AA}$ to $2.78 \text{ \AA}$ ¹⁷). But if we accept for rubidium the cubic body-centred lattice, we have to account for the difference in the rate of change of resistance between the mean rates established for the cubic body-centred lattice and that of caesium. If this difference were

12) International Critical Tables, i. p. 104 (1926).

13) Maurice L. Huggins, Phys. Rev. xxviii. p. 1094 (1926).

14) International Critical Tables, i. p. 104 (1926).

15) W. Lawrence Bragg, Phil Mag. xl. p. 180 (1920).

16) International Critical Tables, i. p. 104 (1926).

17) Maurice L. Huggins, Phys. Rev. xxviii. pp. 1094 & 1103 (1926).

calculated for rubidium from the corresponding values listed in Tables 1 and 2, we should certainly get an exaggerated value for it, as 1.54, the figure listed in Table 1 for the rate of change of resistance for the body-centred lattice, is rather low. This is indicated by the systematic increase of the individual rates of change of resistance of both potassium and sodium in recent observations, and observations of later origin certainly require more attention than earlier ones. Furthermore, of all the alkalis caesium is most liable to contamination, and not too much stress should be laid on the rates of change of resistance listed in Table 2.

17. According to the rate of change of resistance, the close packed structure should be ascribed to *tellurium*, and probably the hexagonal one, as hexagonal prisms are an observed form¹⁸). The recorded structure, which "is a threefold spiral, composed of three interpenetrating simple triangular lattices"¹⁹), belongs to the rhombohedral modification. But as there are two modifications of tellurium and as the point of transition lies between room temperature and the temperature of fusion, the assumption of an close packed lattice, derived from the rate in change of resistance, may be regarded as a possible one.

18. *Thallium*, according to the rate of change in resistance at fusion, should have a close packed lattice in the modification preceding fusion, and probably the hexagonal one, because thallium shows the hexagonal form in this modification²⁰). No determinations of this lattice have yet been made, although the transition has been verified by X-ray analysis²¹).

19. According to its rate of change of resistance, a close-packed structure should be ascribed to *tin*. Its crystal form in the modification preceding fusion, according to Trechmann and v. Foullon, is generally assumed to be rhombic²²). As it is impossible by a rhombic stowage to attain a closeness of packing high enough to correspond to the rate of change of resistance, the case of tin would be an evidence against the supposed parallelism, if the assumption of the rhombic form for the third modi-

18) P. Groth, Chem. Kristallographie, i. p. 35 (1906).

19) A. J. Bradley, Phil. Mag. xlviii. p. 196 (1924).

20) W. Guertler, ZS. f. Elektrochem. xviii. p. 612 (1912).

21) Genshichi Asahara, Scient. Pap. Inst. Phys. & Chem. Res., Tokyo, ii. p. 125 (1924).

22) Max Werner, ZS. anorg. Chem. lxxxiii. p. 292 (1913).

fication of tin were a unanimous one. But as that is not the case, and even the hexagonal form is regarded by at least two investigators as a possible resp. a proved one²³), judgment ought to be suspended until further and conclusive evidence on the third modification of tin is available.

20. As was pointed out in paragraph 13, there are two alternatives in the case of *mercury*. If we accept the first explanation, the rate of change of resistance at fusion would be given by the highest figure *i. e.* 5, indicating an exceedingly close packing. But the degree of closeness of packing would still remain undetermined, as mercury has no counterpart in Table 1 in regard to the high value of its rate of change, and an extrapolation would be merely guesswork in the present case. If we accept the second explanation, we cannot calculate the rate of change of resistance that would correspond to a haphazard orientation of crystals, without making further assumptions. But we may assert that the packing in this case would be looser, and the coefficient of packing consequently less, but still above 2. Therefore in this case also a definitive value for the degree of closeness can not be obtained. On the other hand, none of the two different structures which have been derived for mercury from X-ray analysis²⁴) has a coefficient of packing approaching to that of the close-packed lattices. The case of mercury, therefore, is the most doubtful one.

21. In conclusion, we may state:—

That all the 12 metals, for which data for the rate of change of resistance at fusion and the closeness of packing in crystals are available, show a parallelism between these data;

That the 7 doubtful metals, with may be the exception of mercury, do not provide cases of contradiction;

That therefore a parallelism certainly exists between the rate of change of electric resistance at fusion and the degree of closeness of packing of metallic atoms in crystals, to the effect that the closer the packing, the greater is the rate of change.

23) Н. Пушкинъ, Журн. Русск. Физ.-Хим. О-ва xxxiv. стр. 896—897 (1902); ZS. anorg. Chem. xxxvi. pp. 245—246 (1903).

24) Ch. Mauguin, La structure des cristaux, pp. 221—222 (Paris, 1924).

22. *Supplementary note* to paragraph 14 (added on May 30th, 1927). Since the above was sent for insertion in the *Acta et Commentationes*, I received, through the courtesy of Dr. P. Terpstra, a paper on the crystal structure of gallium (F. M. Jaeger, P. Terpstra and H. G. Westenbrink, Proc. Acad. Amsterdam, xxix. pp. 1193—1217). There the crystal lattice of gallium is shown to be a simple tetragonal one with 8 atoms to the unit cell, and the closeness of packing may be deduced from the dimensions of the unit cell and the radii of combinations (the smallest radius of combination is found to be equal to 1.28 Å). But an alternative way of computing the closeness of packing is suggested by the perfect agreement between the actually observed specific weight of liquid gallium and the specific weight deduced for liquid gallium from that of the solid metal as is done in the paper quoted above. Namely, not to assign to the spherical atoms of gallium radii equal to the greatest of the radii of combinations and to treat the atoms as partly intersecting spheres, as was done in the case of bismuth and antimony (*cf.* paragraph 8), but to attribute to them radii equal to the smallest radius of combination, and consequently treat the atoms as spheres which do not intersect. On this assumption we find .466 for the closeness of packing of gallium, and recalculating the closenesses of packing of bismuth and antimony on the same assumptions, we obtain .438 and .419 respectively. As these three figures are close enough to one other, and are far enough from .680 and .740 (*cf.* paragraph 3, Table 1), the case of gallium contributes an additional evidence in favour of the view upheld in the present paper.

(Read at a meeting of the Scientists' Society at Tartu, March 17, 1927. Communicated by the author.)

Erratum.

P. 12 §20 line 13 for 2 read 7

ZUR FRAGE DER LUFTDRUCKPERIODEN

VON

KARL FRISCH

DORPAT 1927

Die Witterungsperioden sind in den letzten Jahrzehnten häufig Gegenstand meteorologischer Untersuchungen gewesen. Ungeachtet der Schwierigkeit des Problems haben die auf diesem Gebiet ausgeführten Forschungen manche erfreuliche Erklärung für die in dem Wetter herrschende Regellosigkeit gegeben.

In den folgenden Ausführungen werden wir uns nur mit den kürzeren, sich etwa auf 60—70 Tage erstreckenden Perioden befassen, und die mehrjährigen Perioden, wie die 11-jährige Sonnenfleckperiode, die von F. Baur¹⁾ gefundenen Perioden u. s. w. ganz ausser Acht lassen.

Zuerst seien in historischer Reihenfolge die von H. Clayton²⁾ entdeckten Perioden kurz erwähnt, die der Ausgangspunkt für die auf diesem Gebiete folgenden Untersuchungen gewesen sind. Nach Clayton haben wir es beim Wetter mit einer ähnlichen Erscheinung zu tun, wie bei den Schallwellen der Luft, wo ausser dem Grundton zugleich auch harmonische Obertöne auftreten, deren Wellenlängen das Zwei-, Drei-, Vier- oder Mehrfache des Grundtons sind. Da Clayton aus den meteorologischen Beobachtungen eine wirkliche Periodizität der Witterung von $5\frac{1}{2}$ und $7\frac{1}{4}$ Tagen gefunden hat, so müssten ausser diesen Perioden noch mehrfache Wellen von

$5\frac{1}{2}$, 11, 22, 44 u. s. w. und

$7\frac{1}{4}$, $14\frac{1}{2}$, 29, 58 Tagen

vorkommen.

Es ist selbstverständlich, dass bei einer so grossen Anzahl von Witterungswellen infolge ihres Zusammenwirkens eine strenge Gesetzmässigkeit des Wetters sich nur in einzelnen günstigen Fällen feststellen lässt, während gewöhnlich infolge der Interferenz der Wellen das Vorhandensein der einzelnen Witterungsperioden nur andeutungsweise zutage tritt. Trotzdem hat schon Clayton

1) F. Baur, Mehrjährige periodische Schwankungen des Niederschlags und des Luftdruckes im rechtsrheinischen Bayern. Deutsches Met. Jahrbuch 1922, Bayern, S. D 1.

2) Meteorol. Zeitschr. 1895 S. 22.

mit gutem Erfolge die von ihm gefundenen Witterungswellen für die praktische Prognose auf mehrere Tage voraus, sowohl für Regen als auch für Temperaturänderungen, angewandt. Schon der hohe Treffprozent der ersten Versuche (im Mittel etwa 70%) zeigt, dass die Anwendung der Periodizität für die Prognose, insbesondere für eine mehrtägige Vorhersagung, gute Resultate ergeben würde.

Weiter hat Defant¹⁾ in einer eingehenden Untersuchung auf Grund der täglichen Niederschlagsbeobachtungen auf das Vorhandensein einer Reihe kurzperiodiger Schwankungen hingewiesen, die sowohl auf der Süd- als auch auf der Nordhemisphäre vorkommen.

In den gemässigten Breiten der Südhemisphäre (Argentinien und Australien) wird die Erde von vier Wellen in West-Ostrichtung umkreist, deren Perioden im Mittel

7, 12, 16 und 21 Tage sind.

Was die Wellenlängen anbelangt, so sind sie nahezu gleich einem aliquoten Teil des Erdumfanges, nämlich die Welle mit der 21-tägigen Periode hat die Länge des ganzen Erdumfanges, diejenige mit der 16-tägigen Periode die Hälfte des Erdumfanges, diejenige mit der 12-tägigen Periode den dritten, und die kürzeste 7-tägige Welle den vierten Teil des Erdumfanges.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen ist beinahe gleich gross und beträgt im Mittel zwölf Längengrade pro Tag, oder 45,6 km pro Stunde; dabei ist sie im Winter etwas grösser, im Sommer dagegen etwas kleiner.

Die Amplituden dieser Wellen sind für die einzelnen Wellen verschieden und zwar bedeutend grösser für die kürzeste, sieben-tägige Welle. Die Amplituden der anderen Wellen sind im Verhältnis zu dieser viel kleiner, jedoch so gross, dass sie aus den Niederschlagsbeobachtungen sich erkennen lassen.

In gleicher Weise haben die Niederschlagsbeobachtungen von Nordamerika, Europa und Japan auch auf der nördlichen Halbkugel das Auftreten ähnlicher, von Westen nach Osten wandernder Schwankungen gezeigt, deren mittlere Periodenlängen 5,7, 8,7, 12,7 und 24—25 Tage sind.

Auch hier ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für alle Wellen gleich und beträgt im Jahresmittel 14,5° pro Tag oder

1) Sitzber. der Wiener Akad. 121 (März 1912), S. 379.

47.5 km pro Stunde, mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer. Die Wellenlängen entsprechen im Mittel wieder aliquoten Teilen des Erdumfanges, und zwar die der längsten Welle — dem ganzen Erdumfang, die anderen — der Hälfte, einem Drittel und einem Viertel desselben.

Was die Amplituden der Wellen anbetrifft, so hat die kürzeste, sechstägige Welle die grösste Amplitude, ihr folgen die 24-tägige und die 13-tägige Welle, während die neuntägige die kleinste Amplitude besitzt.

Eine theoretische Erklärung für die Existenz der genannten Wellen hat Exner¹⁾ gegeben.

Von der Hauptgleichung der Thermodynamik und den Bewegungsgleichungen für die rotierende Erde ausgehend, hat er bewiesen, dass die Kontinente eine Reihe von Westen nach Osten laufender Luftdruckwellen erzeugen, deren Wellenlängen aliquote Teile des Erdumfanges in den einzelnen Breiten sind.

In ähnlicher Weise muss nach der Theorie auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für alle Wellen gleich gross sein, was ebenso den wirklich vorhandenen, von Defant aus den Beobachtungen abgeleiteten Wellen entspricht.

Für die Amplituden der einzelnen Wellen ergibt sich aus der Theorie, dass dieselben für diejenigen Wellen besonders gross sein müssen, deren halbe Wellenlänge der Breite eines Kontinents oder eines Ozeans am nächsten kommt.

Auch diese Annahme scheint mit der Beobachtung übereinzustimmen. So besitzt in der Südhemisphäre die 30°-Welle die grösste Amplitude, weil einerseits der südliche Teil des Atlantischen Ozeans und anderseits Südamerika und Australien einer mittleren Breite von rund 45 Längegraden nahe kommen.

Zusammenfassend ergibt sich, dass die aus den Beobachtungen festgestellten Wellen sich durch die Theorie erklären lassen und wir infolgedessen mit grosser Wahrscheinlichkeit sagen können, dass das Auftreten der erwähnten Luftdruckwellen hauptsächlich von der Land- und Meerverteilung und den dadurch bedingten Temperaturdifferenzen hervorgerufen wird.

Weitere Fortschritte hat die praktische Anwendung der Luftdruckperioden auf die Wettervorhersagung dank den Arbeiten

1) Meteor. Zeitschr. 1908 S. 57.

von Weickmann¹⁾ gemacht. Ausgehend von der Tatsache, dass bei der Superposition der einzelnen Sinuskurven von verschiedenem Phasenwinkel und Amplitude wieder eine Kurve mit Perioden und mit sogenannten Spiegelungspunkten entsteht, von denen aus die Kurve einen symmetrischen Verlauf nimmt, hat Weickmann aus den Luftdruckkurven von Stationen mittlerer Breiten in Europa, Asien und Nordamerika eine Wiederholung des Luftdruckganges im Spiegelbilde nachgewiesen. Es hat sich gezeigt, dass die Symmetrie im Sommer und Winter öfter auftritt, obwohl sie auch im Frühling und Herbst nicht fehlt.

In einzelnen Fällen liess sich eine weit bis über ein halbes Jahr andauernde Ähnlichkeit des Luftdruckes nachweisen, wobei der berechnete Korrelationsfaktor etwa 12 mal seinen wahrscheinlichen Fehler überstieg, so dass eine zufällige Übereinstimmung gänzlich ausgeschlossen sein dürfte. Da aber die Geschwindigkeit der Luftdruckwellen im ganzen im Winter grösser ist als im Sommer, ergibt sich bei Reduktion der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten auf die gleiche Grösse eine noch weit grössere Ähnlichkeit der Luftdruckkurven.

In Anbetracht der Tatsache, dass die an einem Orte vorkommenden Luftdruckveränderungen nicht lokale Erscheinungen sind, sondern in der Umgebung auf Hunderte, ja Tausende von Kilometern sich erkennen lassen, müssen auch die an einem Ort auftretenden Symmetriepunkte in weiterer Umgebung sich wahrnehmen lassen. Es lässt sich daher voraussetzen, dass wir ausser den Symmetriepunkten an einem Orte auch zwischen Wetterkarten eine Symmetrie erwarten können.

Weickmann hat in der oben erwähnten Arbeit vielfach nachgewiesen, dass sowohl über Europa als auch über Nordamerika der Luftdruck sich in solcher Weise korrespondierend verteilt.

Zur Schätzung der Symmetrie zwischen den einzelnen Wetterkarten ist die Korrelationsmethode angewandt worden. Es wurde dazu eine Reihe von Stationen gewählt und nach ihren Luftdruckwerten für die entsprechenden Tage die Korrelation bestimmt. In einzelnen Fällen hat die Korrelation einen beträchtlichen Wert, so zum Beispiel für den 18. August 1923 und für den 20. Januar 1924 0.7, was trotz der verschiedenen Jahreszeit wohl auf die Verwandtschaft der Wetterkarten hindeuten dürfte.

1) L. Weickmann, Wellen im Luftmeer, Leipzig 1924.

Aus dem Obigen folgt, dass durch die erwähnten Untersuchungen über die Luftdruckperioden eine neue Gesetzmässigkeit des Wetters gefunden worden ist, die für die praktischen Zwecke der Wettervorhersagung gute Dienste leisten könnte.

Hervorgehoben werden muss, dass bei der Untersuchung der Perioden und Symmetrien des Luftdruckganges besondere Vorsicht geübt werden muss, da die Luftdruckabweichungen sich bekannterweise ähnlich wie die zufälligen Beobachtungsfehler verhalten.

Es sei hier kurz ein Versuch beschrieben, der mit Würfeln vorgenommen wurde. Es wurden dazu 14 sechsflächige Würfel

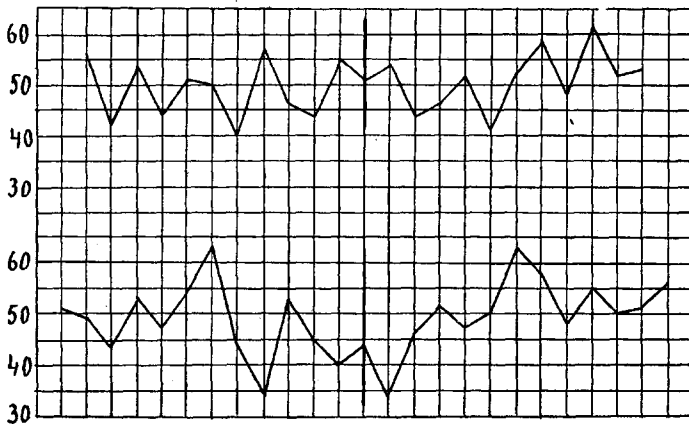


Fig. 1.

benutzt, jeder mit der Augenzahl von 1—6, so dass die kleinste mögliche Summe bei einem Wurf 14 betrug (alle 1), die grösste mögliche aber 14 mal sechs, also 84.

Mit den erwähnten Würfeln wurden unter genauer Kontrolle nacheinander 360 Würfe ausgeführt und jedesmal die Augenzahl notiert. Als minimale Grösse wurde 32 erhalten, als maximale aber 66. Da die Extreme unter den später für die harmonische Analyse benutzten Luftdruckwerten für Dorpat von 360 Pentaden 774 mm und 734 mm betrugen, so liegt die durch die Würfe, abgesehen von den Hunderten, entstandene Zahlenreihe ungefähr in denselben Grenzen wie die der Luftdruckpentaden.

Bei der graphischen Darstellung der nacheinander gewürfelten Summen auf Millimeterpapier ergibt sich merkwürdigerweise eine grosse Anzahl von Symmetriepunkten verschiedener Art, von denen

Tabelle 1.

	75 Tage	66,6 Tage	60 Tage	54,5 Tage	50 Tage	46,2 Tage	43 Tage	40 Tage
7 IX 1888—30 IV 1890 Amplitude . . .	0.824	3.057	4.896	0.845	1.899	0.107	2.101	2.294
Phase	332° 29'	167° 10'	125° 38'	7° 12'	328° 7'	216° 51'	24° 56'	46° 46'
7 IX 1888—13 VIII 1893 Amplitude . . .	0.364	0.999	1.111	0.963	0.732	0.379	0.398	0.718
Phase	51° 12'	113° 41'	118° 9'	12° 35'	285° 24'	355° 2'	29° 1'	35° 56'

aus die Kurve eine grosse Gesetzmässigkeit und einen langdauernden ähnlichen Verlauf zeigt.

In der Figur 1 sind zwei solche Symmetrien graphisch dargestellt, in welchen die gleichnamige Zu- oder Abnahme sich 11 bzw. 12 mal wiederholt. Es ist als selbstverständlich vorauszusetzen, dass bei einer grösseren Anzahl von Versuchen die Symmetrien viel länger andauern würden.

In den folgenden Auseinandersetzungen habe ich mich bemüht, mein Hauptaugenmerk auf die längeren, etwa 2 Monate andauernden Wetterperioden zu richten, die neben den kürzeren Perioden besonders oft aufzutreten pflegen.

Als Ausgangspunkt dienten die Luftdruckbeobachtungen von Dorpat, in denen ausser den täglichen Werten noch die Pentadenwerte aufgeführt sind. Besonders letztere dürften für die Feststellung der längeren Perioden gut anwendbar sein, da die Benutzung der täglichen Werte die Berechnung bedeutend komplizieren würde.

Meine erste Aufgabe war, durch die harmonische Analyse die einzelnen Luftdruckwellen kennen zu lernen, zu welchem Zweck auf Grund der Pentadenmittel des Luftdruckes in Dorpat zwei Analysen ausgeführt wurden. Die erste Analyse bezieht sich auf den Zeitraum von 360 Tagen vom 7. Sept. 1888 bis zum 30. Apr. 1890, die zweite auf 1800 Tage vom 7. Sept. 1888 bis zum 13. Aug. 1893. Die zweimalige Analyse ist vorgenommen worden, um sich zu überzeugen, welche Unterschiede in den Amplituden sowie in den Phasenwinkeln der einzelnen Perioden bei verschiedener Länge der Beobachtungsreihen entstehen können. Die Amplituden wie auch die Phasenwinkel sind in der nebenstehenden Tabelle aufgeführt.

Die zwischen den beiden Analysen bestehenden Unterschiede zeigen, dass die Länge des benutzten Zeitraumes auf die Grösse der einzelnen Glieder der Periode einen bedeutenden Einfluss hat. Durch die grösste Amplitude zeichnet sich in den beiden Analysen die Periode von 60 Tagen aus, wobei auch die Phasenwinkel annähernd gleich gross sind. Die Betrachtung der Kurve des Luftdruckganges, die durch Auftragen der Pentadenwerte von 1866 bis 1915 auf Millimeterpapier erhalten wurde, zeigt, dass besonders die langen Wellen von etwa 50—60—70 Tagen nicht regelmässig über den ganzen Zeitraum verteilt sind, sondern unregelmässig mit kürzeren oder längeren Zwischenräumen.

Durch besonders grosse Amplituden sind die Perioden in der kalten Hälfte des Jahres gekennzeichnet, während in den Sommermonaten solche Amplituden entweder ganz fehlen, oder nur in einzelnen Sommern schwach erkennbar sind. Hieraus ist leicht zu ersehen, weshalb in der ersten Analyse die Amplitude der 60-tägigen Periode bedeutend grösser ist als in der zweiten Analyse: umfasst doch die letztere ausser den Wintern noch 5 Sommer, die erstere dagegen nur einen Sommer. Das unregelmässige Auftreten der erwähnten Wellen erweckt den Eindruck, dass sie an sich nicht kontinuierlich sind, sondern nur dann und wann von unbekannten Faktoren hervorgerufen werden.

Um die Luftschwankungen von längerer Dauer, nämlich von etwa 50—70 Tagen, näher kennen zu lernen, sind die von der Deutschen Seewarte und dem Dänischen Meteorologischen Institut herausgegebenen täglichen synoptischen Wetterkarten benutzt worden, die ausser dem Norden des Atlantischen Ozeans auch ganz Europa und einen grossen Teil von Nordamerika umfassen. Diese Publikation enthält ausserdem noch für jeden Monat eine Karte mit Isobaren für die mittlere Luftdruckverteilung.

Die ausgeführte harmonische Analyse zeigt das Vorherrschen einer beinahe zweimonatlichen Luftdruckschwankung, wonach wir das Hervortreten der erwähnten Erscheinung auch auf den Monatsisobarenkarten erwarten können, besonders weil die betreffenden Schwankungen in der Luftdruckkurve nur in einzelnen Jahreszeiten stark ausgeprägt vorkommen. Um die Benutzung der monatlichen Isobarenkarten für die Analyse der längeren Luftdruckschwankungen zu erleichtern, sind die Luftdruckdifferenzkarten von Monat zu Monat nach der von Bjerknes aufgestellten graphischen Methode gezeichnet. Die auf solche

Weise erhaltenen Isallobarenkarten von Monat zu Monat zeigen, dass in der Verteilung des Luftdruckes oft eine wellenartige Veränderung zutage tritt, wobei an den Stellen, wo auf der vorhergehenden Karte eine Luftdruckzunahme herrschte, auf der folgenden Karte eine Luftdruckabnahme sich zeigt, und umgekehrt.

Nach der erwähnten graphischen Methode wurden die Monatsluftdruckkarten untersucht und dabei diejenigen Karten einer näheren Analyse unterzogen, auf welchen an Stelle eines Luftdruckzunahmegebietes im folgenden Monat eine Luftdruckabnahme sich zeigte oder umgekehrt, während die Karten, auf denen entweder grosse Verschiebungen der betreffenden Gebiete erkennbar waren, oder eine solche Erscheinung überhaupt nicht zum Vorschein kam, unberücksichtigt blieben. Eine solche Auswahl wurde vorgenommen, um aus dem umfangreichen Beobachtungsmaterial nur diejenigen Fälle zu verwerten, die sich einigermaßen einem Wellenbilde näherten, und sich infolgedessen besser zur Beurteilung der Natur solcher langperiodiger Luftdruckschwankungen eigneten.

Es sei hier gleich bemerkt, dass man es in keinem einzigen Fall mit einer regelmässigen Wellenerscheinung zu tun hat, sondern eher mit einer Art von Pulsation, die sich höchstens 3—5 Monate erkennen lässt, um dann wieder zu verschwinden. Als eine solche Pulsation werden wir in den folgenden Ausführungen nur die Fälle ansehen, in denen ein Wechsel von Steiggebieten und Fallgebieten wenigstens drei Monate nacheinander zutage trat, das heisst, wenn einer Luftdruckzunahme im ersten Monat eine solche im dritten Monat entsprach, während im dazwischenliegenden Monat eine Luftdruckabnahme stattfand, oder umgekehrt.

Auf diese Weise wurden in den Jahrgängen 1885 bis 1900 etwa 30 Fälle gefunden, die den angestellten Bedingungen entsprachen und daher näher analysiert wurden. Bevor wir zur Betrachtung der einzelnen Fälle schreiten, möchte ich einige Worte über die weitere Bearbeitungsmethode vorausschicken.

Die erste Frage, welche bei dieser wellenartigen Pulsation zu lösen ist, ist die, ob wir es hier mit stehenden oder fortschreitenden Wellengattungen zu tun haben.

Nehmen wir an, dass in Fig. 2 die ausgezogene Kurve aa den mittleren Luftdruck eines Monats in einem Durchschnitt, der den erwähnten Luftdruckkarten des Atlantischen Ozeans entnommen

ist, darstellt. Ebenso stellen die ausgezogenen Kurven bb und cc den mittleren Luftdruck der darauffolgenden Monate dar.

Bei einer solchen Luftdruckschwankung haben wir es mit einer wellenartigen Erscheinung zu tun, wobei die Punkte A und B die Wellenberge bzw. Wellentäler markieren, der dazwischen liegende Punkt C dagegen den Knotenpunkt. Zur Beurteilung der Frage über die Natur der Fortpflanzung der Welle wäre es nötig, die Veränderung des Luftdruckes von Tag zu Tag zu berücksichtigen. Da aber die täglichen Luftdruckwerte infolge der fortwährenden Verschiebung der Zyklone stets grosse Veränderungen von Tag zu Tag aufweisen und deshalb kein deutliches Bild von langperiodigen Luftdruckschwankungen liefern können, habe ich dazu Mittelwerte vom 15. bis zum 15. jedes Monats gebildet und diese Mittelwerte untereinander verglichen.

Wenn an Stelle des Knotenpunktes sich ein Wellenberg oder Wellental gebildet hat und an Stelle von A und B sich gleicher-

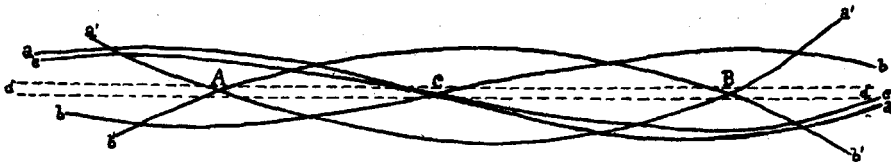


Fig. 2.

weise ein Knotenpunkt erkennen lässt, so haben wir eine sich fortbewegende Welle vor uns, während im Fall, wo sich die Luftdruckkurven vom 15. bis zum 15. in allen Punkten einander nähern, die Welle als eine stehende zu betrachten ist (dd).

In dieser Weise wurden auf Grund der Karten des mittleren Monatsluftdruckes diejenigen Fälle untersucht, in denen von Monat zu Monat die Luftdruckzunahmegebiete mit Luftdruckabnahmegebieten abwechseln. Im weiteren werden wir einige solche Fälle, wo die beschriebene Erscheinung mit dem schematischen Bilde übereinstimmt, näher betrachten.

Die Luftdruckschwankung im Nov. und Dez. 1897 und Jan. 1898.

Die mittlere Verteilung des Luftdruckes der betreffenden Monate zeigt im November zwei Tiefdruckgebiete, von denen eins sich im nördlichen Teil des Atlantischen Ozeans befindet, mit einem

Zentrum von 750 mm zwischen Süd-Grönland und Island, das andere dagegen in Nordosteuropa mit einem Zentrum von 746 mm zwischen der Halbinsel Kola und Nowaja-Semlja. Südlich von den Tiefdruckgebieten lagerten zwei Hochdruckgebiete, wobei das westliche Maximum von 766 mm sich westlich von den Azoren befand, das Zentrum des östlichen Hochdruckgebietes (772 mm) dagegen auf der Balkanhalbinsel. Beide Hochdruckgebiete waren getrennt durch eine von Island bis Afrika sich hinziehende Tiefdruckrinne, wobei zwischen den beiden Tiefdruckgebieten über der Nordsee und Süd-Skandinavien ein Hochdruckkeil sich ausgebildet hatte.

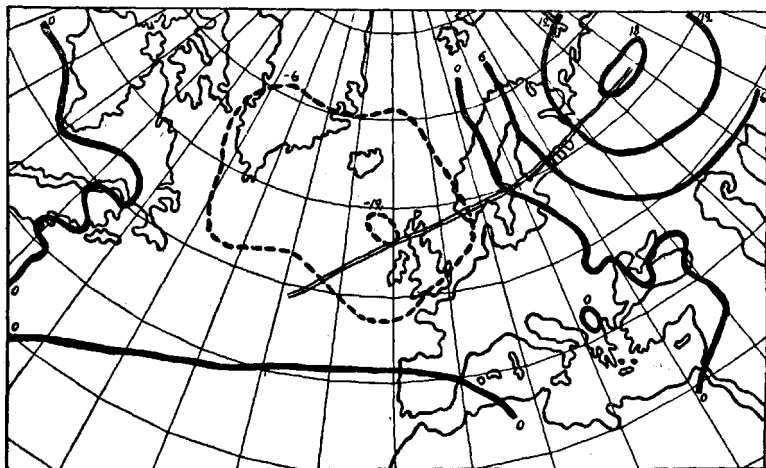


Fig. 3.

Im folgenden Monat, Dezember, hat die Lage sich insofern verändert, als das Islandminimum sich bis zu 742 mm vertieft hat, während in Nordosteuropa eine starke Luftdruckzunahme stattgefunden hat, so dass an Stelle eines Tiefdruckgebietes im Eismeer nur eine kleine Ausbuchtung der 760 mm - Isobare sich erkennen lässt. Das Azorenmaximum hat sich südostwärts der afrikanischen Küste genähert.

Im Januar 1878 hat sich das Islandtief weiter bis 738 mm vertieft, während zwischen Nowaja-Semlja und Kola wieder ein Minimum von 740 mm erschienen ist. Das Azorenmaximum hat sich ostwärts verschoben, so dass sein Zentrum von 772 mm sich in Südeuropa befindet.

Im Zusammenhang mit der Veränderung des Luftdruckes von Monat zu Monat zeigen die Luftdruckdifferenzkarten einerseits zwischen Dezember und November und andererseits zwischen Januar und Dezember ein wellenartiges Bild der Luftdruckverschiebung. Auf der ersten Karte (Fig. 3) sehen wir ein Luftdruckabnahmegebiet von 10 mm zwischen Irland und Island, während ein starkes Luftdruckzunahmegebiet von 18 mm sich in Nordosteuropa befindet.

Auf den folgenden Luftdruckdifferenzkarten (Fig. 4) zwischen Januar und Dezember ist die Lage vollständig verändert. An

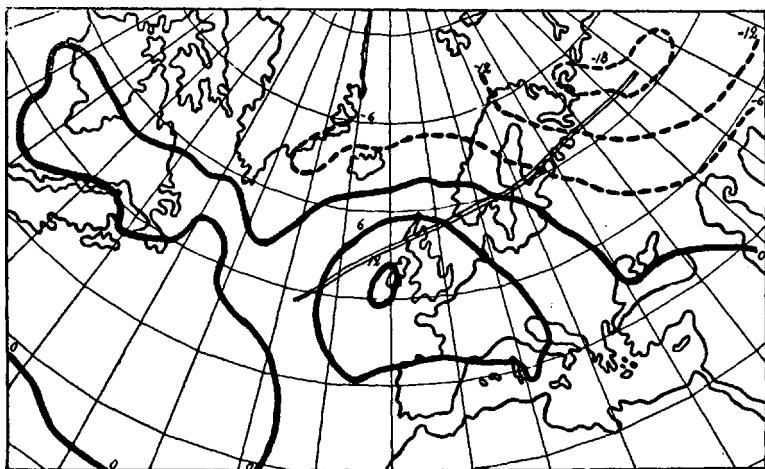


Fig. 4.

Stelle des Luftdruckabnahmegebietes auf dem Atlantischen Ozean ist ein Luftdruckzunahmegebiet erschienen, während in Osteuropa ebenso das Luftdruckabnahmegebiet dem Luftdruckzunahmegebiet Platz gemacht hat. Um über diese Erscheinung eine bessere Übersicht zu gewinnen, ist auf Fig. 5 unten der mittlere Monatsluftdruck für Nov., Dez. und Jan. für eine Strecke von England bis Nordosteuropa durch die Kurven XI, XII, I dargestellt. Die Lage dieser Strecke ist auf den Isallobarenkarten (Fig 3, 4) durch eine Doppellinie bezeichnet.

Gleicherweise stellen die oberen Linien den mittleren Luftdruck vom 15. Nov. bis zum 15. Dez. bzw. vom 15. Dez. bis zum 15. Jan. für dieselbe Strecke dar.

Der Verlauf der erwähnten Kurven zeigt, dass die in diesen Monaten stattgefundenen Luftdruckschwankungen eine nach Nord-

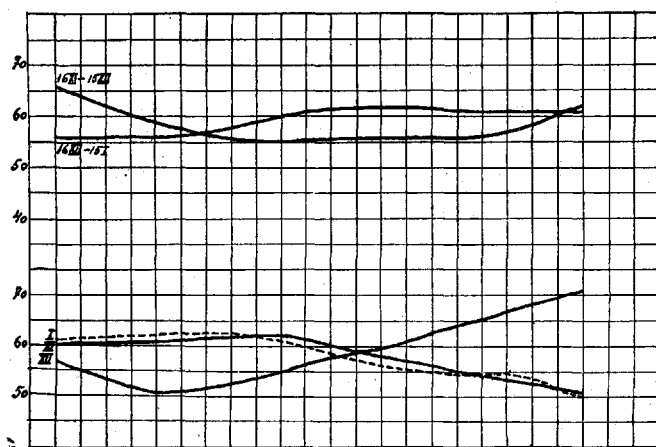


Fig. 5.

osten fortschreitende Luftdruckwelle darstellen, mit einer Periode von etwa 60 Tagen, was mit dem Verlauf der Monatsisobaren übereinstimmt.

Es sei hierzu bemerkt, dass ähnliche Luftdruckverteilungen in der kälteren Hälfte des Jahres oft vorkommen, was mit einer 60-tägigen Pulsation in Zusammenhang steht. Gewöhnlich lassen sich die beschriebenen Luftdruckschwankungen 3—4 Monate lang erkennen, um später wieder zu verschwinden.

Was die Periodenlänge anbetrifft, so ist sie keinesfalls streng konstant 60 Tage, sondern schwankt, sich verkürzend oder verlängernd, zwischen 45 und etwa 75 Tagen.

Luftdruckschwankung im März—Juli 1891.

Ausser den beschriebenen vorwärtsschreitenden 60-tägigen Luftdruckschwankungen macht sich auf den Monatskarten des mittleren Luftdrucks noch eine andere Art von Luftdruckpulsationen bemerkbar, die ungefähr dieselben Periodenlängen haben, jedoch zu den stehenden Wellen gehören. Die Anzahl der letzteren ist im Vergleich zu den ersteren bedeutend kleiner, da unter den erwähnten 30 Fällen nur 4 Fälle auf die stehenden Wellen kommen.

Als ein typisches Beispiel dafür möchte ich den mittleren Luftdruck der Monate März bis Juli 1891 vorführen. In dem genannten

Zeitraum fand eine periodische Luftdruckschwankung statt, wobei als Stellen der Hoch- und Tiefdruckgebiete abwechselnd einerseits die Westküste Skandinaviens und andererseits der Norden des Atlantischen Ozeans von etwa 45° bis 50° Breite und von 35° bis 40° Länge westlich von Greenwich sich zeigte.

So sehen wir auf der Karte des mittleren Luftdrucks für den Monat März ein Luftdruckmaximum von 766 mm westlich von Irland, wogegen sich zwischen Island und Norwegen ein breites Tiefdruckgebiet von 748 mm ausgebildet hat. In dem folgenden Monat, April, herrschte umgekehrt über dem Norden des Atlantischen Ozeans an Stelle des Luftdruckmaximums ein Luftdruckminimum von 754 mm, während über Skandinavien der mittlere Luftdruck auf 765 mm angestiegen war.

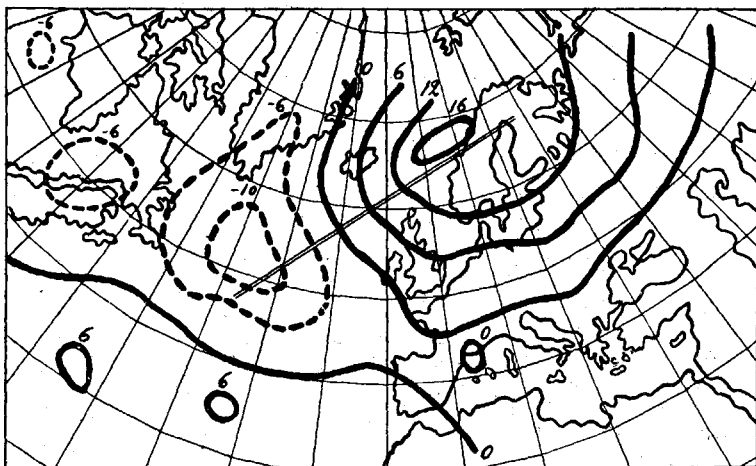


Fig. 6.

Die Luftdruckverteilung vom Mai zeigt über Skandinavien und England wieder ein flaches Tief von 756 mm. Ein zweites Tief von 758 mm ist zwischen Grönland und der Küste von Kanada erschienen, und infolgedessen hat sich an Stelle des Tiefdruckgebietes des vorigen Monats südlich von Island ein Luftdrucksattel von 762 mm gebildet.

Auch in den folgenden Monaten Juni und Juli dauert die beschriebene Pendelung des Luftdruckes in den betreffenden Gebieten fort. So haben wir im Juni über dem Norden des Atlantischen Ozeans ein Luftdruckminimum von 756 mm, im folgenden Monat dagegen ein breites Hochdruckgebiet, während über Skan-

dinavien das Hochdruckgebiet des Juni im folgenden Monat Juli durch ein Luftdrucktief von 758 mm ersetzt ist.

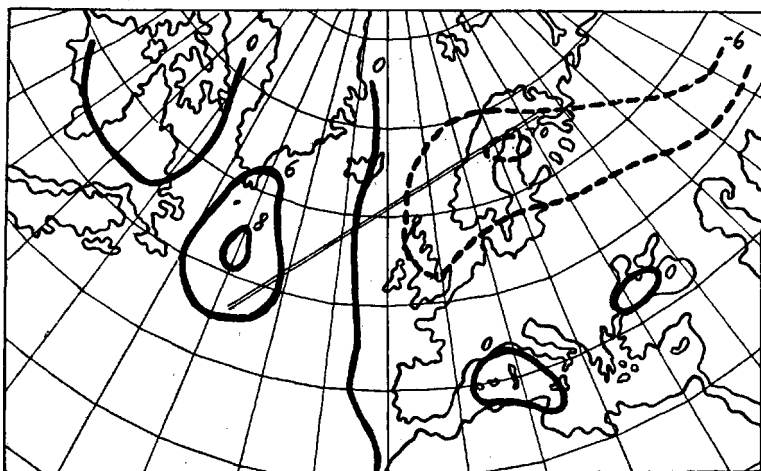


Fig. 7.

Zusammenfassend können wir sagen, dass die betreffenden Monate hindurch eine deutlich erkennbare Pendelung der Luftmassen über dem Norden des Atlantischen Ozeans und Skandinavien

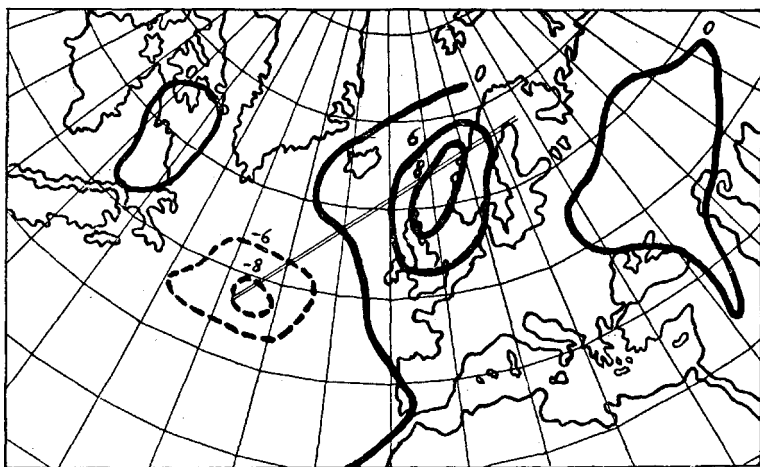


Fig. 8.

stattgefunden hat mit einer Periode von etwa 60 Tagen. Die beschriebene Erscheinung tritt besonders klar hervor auf den Luftdruckdifferenzkarten, auf denen wir an den genannten Orten regelmässig abwechselnd Luftdruckzunahme- und -abnahmegebiete finden.

Verhältnismässig grosse Unterschiede im Monatsmittel des Luftdruckganges zeigen März—April (Fig. 6), wo die betreffenden Werte bis zu 16 mm ansteigen, während es sich in den folgenden Monaten um 6—8 mm handelt (Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9). Es sei an dieser Stelle hervorgehoben, dass im allgemeinen ähnliche Luftdruckpulsationen in den Wintermonaten durch viel grössere Amplituden charakterisiert werden als im Sommer, so dass sie in dieser Beziehung mit den gewöhnlichen Zyklonen übereinstimmen.

Zur Beantwortung der Frage über die Natur der Wellen sind, wie im ersten Beispiel, die Luftdruckmittelwerte vom 15. bis zum

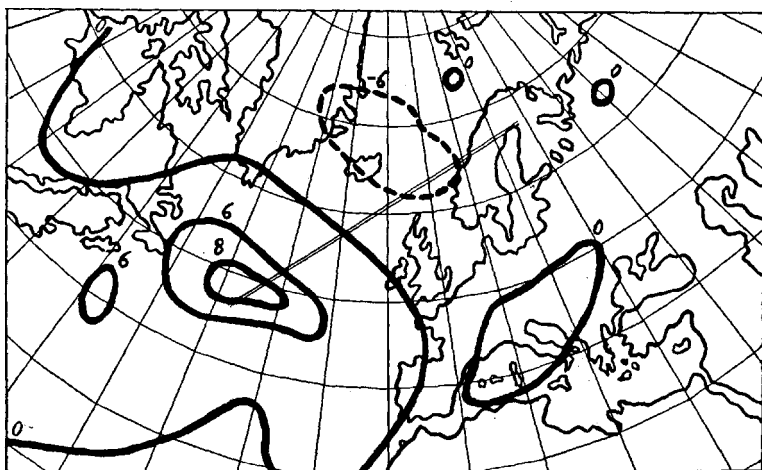


Fig. 9.

nächsten 15. berechnet und graphisch neben den gewöhnlichen Monatsmittelwerten für eine und dieselbe Strecke dargestellt worden (Fig. 10).

Die ersten drei Kurven, numeriert mit III, IV und V, stellen die Monatsmittelwerte für eine gerade Strecke dar, deren Lage auf den Luftdruckdifferenzkarten durch eine Doppellinie bezeichnet ist. Die nächstfolgenden Kurven, bezeichnet durch 16. III—15. IV und 16. IV—15. V, geben die Luftdruckwerte vom 16. März bis zum 15. April bzw. vom 16. April bis zum 15. Mai für dieselbe Strecke.

An dem Verlauf der ersten drei Kurven können wir deutlich eine wellenartige Pulsation des Luftdruckganges erkennen mit zwei Wellenbergen und einem Knotenpunkt dazwischen. Ein

bis auf 2—3 mm vermindert hat. Theoretisch müsste bei einer reinen, regelmässigen, stehenden Welle die erwähnte Differenz Null sein, was beim Luftdruck infolge der kontinuierlichen Zyklonenwanderung nicht zu erwarten ist.

Die folgenden Kurven der Fig. 10 zeigen gruppenweise den mittleren Luftdruck für die Monate April, Mai, Juni und unten für Mai, Juni, Juli, während die paarweisen Kurven den mittleren Luftdruck vom 16. V—15. VI bzw. vom 16. VI—15. VII darstellen. Auch diese Kurven bestätigen unsere Annahme über die stehende Welle, da auch hier die Luftdruckkurven vom 16. bis zum 15. keinen Wellenberg an Stelle des Knotenpunktes zeigen und ausserdem keine bedeutenden Luftdruckunterschiede vorkommen.

Was die Ursache der Bildung der beschriebenen stehenden Luftdruckwellen betrifft, so dürften hier als Hauptfaktor die entgegengesetzten Luftströmungen erwähnt werden, da die Windregistrierungen an der europäischen Küste oft wochenlang andauernde Ostwinde zeigen (besonders in den Wintermonaten), die zusammen mit der Westströmung auf dem Atlantischen Ozean einen Anstoss zur Bildung der stehenden Wellen geben können.

An der Hand dieser Beispiele möchte ich zum Schluss die Hauptergebnisse der Arbeit zusammenfassend darstellen.

Die harmonische Analyse des Luftdruckganges in Dorpat zeigt eine Reihe verschiedener Luftdruckperioden, unter denen diejenige von 60 Tagen sich durch ihre verhältnismässig grosse Amplitude hervorhebt.

Die aus den Pentadenwerten erhaltene Luftdruckkurve von Dorpat zeigt eine grosse Anzahl von 45—75 Tage andauernden Luftdruckschwankungen, deren unregelmässige Verteilung jedoch eine Anhäufung in den Wintermonaten erkennen lässt.

Die Differenzkarten der mittleren Luftdruckverteilung von Monat zu Monat lassen in gleicher Weise über dem Norden des Atlantischen Ozeans und den anliegenden Kontinenten das Auftreten einer wellenartigen Luftdruckpulsation erkennen, deren Amplitude ihre grössten Werte in den Wintermonaten erreicht.

Die Dauer dieser Luftdruckpulsation erstreckt sich höchstens auf 3—5 Monate, wobei die Periodenlänge im Mittel etwa 2 Monate beträgt, in einzelnen Fällen aber zwischen 45 und 75 Tagen schwankt.

Grösstenteils tragen die vorkommenden Luftdruckpulsationen die Merkmale vorwärtsschreitender Wellen, obwohl in einzelnen Fällen sich auch stehende Wellen erkennen lassen. Es ist anzunehmen, dass in Wirklichkeit die Zahl der stehenden Wellen viel grösser ist, da von den letzteren diejenigen Wellen auf den Luftdruckdifferenzkarten sich nur schwach erkennen lassen, deren Wellenberge oder -täler auf den Schluss resp. den Anfang der Monate fallen.

AUS DEM PFLANZENPHYSIOLOGISCHEN LABORATORIUM
DER UNIVERSITÄT TARTU

**UNTERSUCHUNGEN
ÜBER DIE PLASMAKOAGULATION VON
*PARAMAECIUM CAUDATUM***

VON

JAAN PORT

DORPAT 1928

Im Protoplasma, welches als ein System von kolloiden Phasen angesehen wird, kann man unter gewissen Bedingungen einige Zustandsänderungen, wie Verdichtung (Erstarrung, Koagulation) oder Verflüssigung, wahrnehmen.

Die Verdichtung des Plasmas kann man durch verschiedene mechanische Eingriffe, durch Hitze oder durch die Wirkung von Salzen, Säuren und Basen, ebenso durch verschiedene Anelektrolyte hervorrufen. Kommt sie in bestimmten Teilen des Plasmas in der Zelle vorübergehend zustande und verschwindet sie wieder nach dem Wegfall der erwähnten Agentien, dann bleibt das Plasma am Leben, und man spricht in diesem Falle von einer reversiblen Plasmakoagulation. Ist die Koagulation des Plasmas aber so weit vorgeschritten, dass das Koagulum nicht mehr verflüssigt werden kann, dann kommt die Erholung des Plasmas nicht mehr zustande, und das Plasma stirbt ab. In diesem Falle ist die Plasmakoagulation irreversibel.

Diese Koagulationserscheinungen sind, was das Pflanzenplasma anbetrifft, schon lange bekannt und mehrfach untersucht worden. Es soll hier nur auf die eingehenden Untersuchungen mehrerer Forscher hingewiesen werden. So hat Lepeschkin (1910, 1911, 1912, 1923) die Plasmakoagulationserscheinungen infolge mechanischer Eingriffe, die Hitze-koagulation bei konstant gehaltenen Temperaturen und die Wirkung der H^+ - und OH^- -Ionen auf die Koagulation bei verschiedenen Pflanzenzellen, insbesondere bei *Spirogyra*, untersucht.

Heilbronn (1914) hat die Viskosität des Plasmas in der Wurzelspitze von *Vicia faba* und die Wirkung der Temperatur auf die Viskosität festgestellt; Cholodny (1918) — die reversible und irreversible Koagulation, die durch Neutralsalze in den Wurzelhaaren von *Trianea bogotensis* hervorgerufen werden, beobachtet. Von Kaho (1921, 1924, 1926) ist die Hitze-koagulation und die Wirkung der Neutralsalze und Säuren auf diese Erscheinung wiederholt an *Tradescantia zebrina*, *Rhoea discolor* und Rotkohl untersucht worden.

Untersuchungen über die Plasmakoagulation der tierischen Zellen sind in viel geringerem Umfange durchgeführt worden. Es seien hier erwähnt die Hitzekoagulationsbestimmungen bei konst. Temperaturen an Blutserum und Froschmuskeln von Buglia (1909), diejenigen an Cumingia-Eiern von Heilbrunn (1924) und die Untersuchungen von Spek (1921) über die Plasmaverdichtungen, die durch die Wirkung der verschiedenen Neutralsalze in den Zellen von Actinosphaerium Eichhorni hervorgerufen werden.

Welche Rolle die Neutralsalze, Säuren und Basen bei der Hitzekoagulation des tierischen Plasmas spielen, sowie auf welche Weise die Koagulation des Tierplasmas bei verschiedenen physikalischen und chemischen Agentien im Detail verläuft, habe ich aus den Literaturangaben nicht ersehen können. Darum habe ich im Februar 1926, dem Rate des Herrn Professor Dr. Kaho folgend, meine Untersuchungen über die Plasmakoagulation bei *Paramaecium caudatum* begonnen, um einiges zu der tierischen Plasmaforschung beizutragen und, wenn möglich, einige Parallelen zwischen den Koagulationerscheinungen bei Pflanzen- und Tierplasma zu ziehen.

Es sei mir gestattet, dem Direktor des Pflanzenphysiol. Instituts Herrn Professor Dr. H. Kaho, der viel Interesse für meine Untersuchungen gezeigt hat und mir allseitig entgegengekommen ist, an dieser Stelle meinen besten Dank auszusprechen.

Die Methode¹⁾.

Die Untersuchungen wurden an einer reinen Rasse von *Paramaecium caudatum* Ehrbg., die aus einem einzelnen Tier gezüchtet wurde, durchgeführt. Da die Bemühungen verschiedener Fachmänner (Küster, Tsujitani, Ogata etc.) sie auf elektiven Substraten zu züchten bisher misslungen sind, habe ich bei meinen Untersuchungen die Paramaecien in verschiedenen Bakterienkulturen nach verschiedenen Methoden gezüchtet. Am besten gelangen die Kohlrübenkulturen (nach der Methode J. Spek). Die Kohlrübenstückchen (*Brassica napus esculenta* D. C.) wurden ca 24 Stunden lang in Leitungswasser bei 18–20°C liegen gelassen und die so gewonnene Kohlehydratlösung

1) Siehe meine vorläufigen Mitteilungen in „Protoplasma“ Bd. I, S. 565 und Bd. II, S. 401. 1927.

in reine Glasgefässe hineinfiltrierte (die Wassertiefe betrug in den Gefässen ca 2 cm). Die Gefässe blieben 24 Stunden lang offen, wobei die Bakterien aus der Luft sich dahin einsetzen konnten; dann wurden sie mit Glasscheiben bedeckt. Nach 2--3 Tagen, nachdem die Bakterien sich stark vermehrt hatten, wurden die Bakterienkulturen mit der *Paramaecium caudatum*-Reinkultur infiziert. Und nach 3--5 Tagen konnte man in diesen Kulturen eine sehr grosse Menge von *P. caud.* finden (in jedem Tröpfchen ca 20--40 Individuen).

Zweitens benutzte ich verwesende Fischeierkulturen (Eiweisskulturen). Es wurden aus dem Fischzuchtshause in Verwesung begriffene Fischeier geholt und einige Tage in Leitungswasser aufbewahrt. Auch in dieser Eiweisslösung entwickelten sich beträchtliche Mengen von Bakterien, wobei die *Paramaecien* sich nach der Einführung verhältnismässig gut vermehrten.

Drittens wurden gemischte Kulturen aus Kohlrübenwasser + Fischeierwasser (Kohlenhydrat + Eiweiss) angewandt. Diese Kulturen erhielten sich sogar mehrere Wochen lang sehr gut.

Viertens wurden Kulturlösungen aus Pepton, Glukose und anorganischen Salzen in destilliertem Wasser verwendet. In diesen Lösungen entwickelten sich die Bakterien gut, die *Paramaecien* aber sehr schwach.

Die Versuche wurden hauptsächlich nur mit 1 (Kohlrübenwasserkulturen) und 3 (Mischkultur aus Kohlehydr. + Eiweiss) durchgeführt. Um die individuellen Besonderheiten der Tiere möglichst auszugleichen, wurden sie unter gleichen Bedingungen gezüchtet und in jeder Serie gleich alte Kulturen verwendet; ebenso wurde dafür gesorgt, dass die Versuchstiere gut ernährt und kräftig waren. Endlich wurde niemals mit einzelnen Tieren gerechnet, sondern die Mittelwerte aus den Versuchsserien berechnet und nur aus diesen Mittelwerten die Schlussfolgerungen gezogen.

Die Hitzekoagulationsbestimmungen sind folgendermassen durchgeführt worden: aus den verschiedenen vorbereiteten *Paramaecienkulturen* wurde eine konstante Menge — 95 mm³ — in ein feines Glasrohr (Durchm. 3 mm) aufgenommen und dieses von unten mit einem Gummipfröpfchen verschlossen. Jede Versuchprobe enthielt 20--40 *Paramaecien*. Dieses Experimentierrohr habe ich jedesmal in ein grösseres (1,5 Liter) parallelwandiges Glasgefäss,

in dem die Temperatur mittels eines Thermoregulators auf dem Mikrobrenner konstant gehalten wurde (Temperaturschwankungen bis $0,1^{\circ}\text{C}$), hineingestellt und die Koagulationszeiten des Paramaecienplasmas bei verschiedenen Temperaturen mittels eines Horizontalmikroskops bestimmt. Das Wasser im Gefäße wurde mittels eines durch einen Elektromotor in Bewegung gesetzten Rührwerkes stetig durchgemischt. Die Berechnung der mittleren Koagulationszeiten wurde folgendermassen ausgeführt: man bestimmte die Zeiten, in denen die ersten (A) und die letzten (B) Paramaecien in dem Experimentierrohr unbeweglich (Ende der zweiten Koagulationsstufe: siehe weiter!) auf den Boden fielen; dann wurde aus diesen Daten der Mittelwert $\frac{A+B}{2}$ berechnet. Die

Versuche wurden bei jeder Temperatur mindestens dreimal wiederholt und aus den jedesmaligen Mittelwerten (M) diejenigen für jede andere Temperatur gewonnen (MM). So z. B. die Plasmakoagulationsversuche mit Paramaecien in normaler Kulturlösung bei 40°C :

A	B	(M)
210"	264"	237"
220"	255"	237,5"
190"	235"	212,5"
MM 229.0"		

Weiter ist experimentell festgestellt worden, dass das Erwärmen der Kulturlösungen im Experimentierrohr von $18-20^{\circ}\text{C}$ auf $38-44^{\circ}\text{C}$ ca 5 Sek. erfordert. Diese Zahl wurde dann von MM abgezogen und die so erhaltenen Daten in die Tabelle eingetragen. Im erwähnten Falle erhält man $\text{MM } 229'' - 5'' = 224''$.

Die Plasmakoagulationsbestimmungen bei konst. Temperaturen führte ich hauptsächlich nur zwischen $38-44^{\circ}\text{C}$ aus. Bei Temperaturen niedriger als 38°C erfolgt die Koagulation sehr langsam (so bei 36°C in ca 60—70 Min.), und man kann bei dreimaliger Wiederholung eines jeden Versuches mit einer Versuchsserie kaum in einem Tage fertig werden. Bei Temperaturen über 44°C aber verläuft die Plasmakoagulation zu schnell, und man kann sie nicht mehr genau verfolgen.

Die verschiedenen Beobachtungen über die Plasmakoagulation bei höheren Temperaturen, ebenso über die Pulsationsveränderungen der Vakuolen, stellte ich unter dem Mikroskope auf

einem von der Firma C. Reichert gelieferten Wärmetische an. Die Angaben des Wärmetischthermometers wurden, wenn sie mit der Zimmertemperatur nicht übereinstimmten, folgendermassen korrigiert: bei 15—25° C — ohne Korrektur, bei 25—35° C — um 0,5°, bei 35—40 — um 0,5—1°, bei 40—45° — um 1—1,5° erniedrigt. Diese Korrektur macht freilich auf absolute Genauigkeit keinen Anspruch, nähert jedoch die beobachteten Zeiten den wirklichen an. Die Beobachtungen bei niedrigeren Temperaturen wurden in verschiedenen Räumen ausgeführt, wo die Temperaturen mit den Wärmetischangaben übereinstimmten.

Die Hitzekoagulationsveränderungen des Plasmas habe ich ultramikroskopisch unter einem anderen, mit Leitzschem Spiegelkondensor versehenen Mikroskope bei Vergrösserungen bis Zeiss K. 20×58 kontrolliert.

Die Versuche.

Als ich mich mit den verschiedenen Züchtungsmethoden der Paramaecien beschäftigte, bemerkte ich, dass die am Anfang neutralen Kulturlösungen nach einigen Tagen alkalische Reaktion zeigten. Die Reaktionsveränderung der Kulturlösungen muss man der Tätigkeit der Bakterien zuschreiben. In meinen Paramaecienkulturen betrug die H-Ionenkonzentration nach 3—4 Tagen fast immer pH 7.7 und blieb dann mehrere Tage unverändert. Nur in alten Kulturlösungen konnte ich manchmal eine Verminderung der pH-Werte feststellen; niemals aber stiegen die pH-Werte über 7.7. Durch Hinzufügen von Säuren und Basen bewirkte ich eine Veränderung der H-Ionenkonzentration. Dabei zeigte es sich, dass die von mir gezüchtete Paramaeciumrasse nur bei pH 8.4—6.8 leben kann, am besten aber bei pH 7.7 (optimum). Mit Hilfe des Zentrifugierens und wiederholten Waschens der Paramaecienkulturen konnte ich die Paramaecien in reines (destilliertes) Wasser überführen (pH 7.2—7.1). Nach einigen Tagen zeigte aber auch da die H-Ionenkonz. pH 7.3—7.5 (mittels Zentrifugierens kann man die Paramaecienkulturen von den Bakterien nicht befreien!). Ebenso konnte ich immer nach der Erniedrigung der OH-Ionenkonz. in Kulturlösung unter pH 7.7 durch Hinzufügen von Säuren schon nach einigen Stunden wieder eine neue Steigerung der pH-Werte bewirken. Es erhob sich nun die Frage, wie das Paramaecienplasma bei den verschiedenen pH-Werten bei höheren Temperaturen zu koagulieren anfängt,

und ob die OH' - u. H -Ionenkonzentration der Umgebung (des Mediums) auf die Ionisation und auf die Koagulation des Paramaecienplasmas eine Wirkung hat.

Die Resultate der Untersuchungen, die ich in dieser Richtung durchgeführt habe, sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1.
Die Hitzekoagulationszeiten in Sekunden.

T° C	Reines Wasser pH 7.2	Kultur- lösung pH 7.7	Neutral. mit HCl			Neutr. mit H_2SO_4		Neutr. mit Zitronensäure			+ KOH		+ NH_4OH
			pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
			7.4	7.0	6.8	7.4	7.0	7.4	7.0	6.8	8.0	8.4	8.0
44°	9	8.5	8.8	9	9.3	10	11.5	11	12	10	8	7.5	9
42°	50	33	105	120	126	40	53	58	62	38	26	22	37
40°	200	253	330	310	220	200	192	168	140	137	165	143	185
38°	660	1240	1050	920	900	428	380	625	325	280	900	880	910

Die in der Tabelle aufgeführten Zahlen repräsentieren die Mittelwerte in Sekunden, die aus den 3—5 maligen Bestimmungen berechnet sind. Vor den Versuchen haben die Paramaecien 5—7 Stunden in den betreffenden Lösungen bei den angegebenen pH-Werten gelebt. Vor dem Beginn der Versuche sind die pH-Werte aber nochmals auf die angegebenen Zahlen reguliert worden. Die pH-Bestimmungen wurden nach der Sörensen'schen Indikatorenmethode mittels des von E. Leitz konstruierten Komparators durchgeführt.

Aus der Tabelle 1 können wir ersehen, a) dass die Koagulationszeiten des Paramaecienplasmas von der OH' - u. H -Ionenkonzentration der Umgebung abhängen, d. h. dass sie sich mit der Veränderung der pH-Werte der Lösung auch verändern, und b) dass diese Zeiten nicht nur von der OH' - und H -Ionenkonzentration, sondern auch von den zur Veränderung der pH verwendeten Säuren und Basen abhängig sind.

Was die Bedeutung der OH' -Ionenkonzentration der Umgebung für die Hitzekoagulation des Plasmas anbetrifft, so sehen wir aus den Angaben der Tabelle 1, dass bei den Temperaturen 38 u. 40° C die Koagulationszeiten mit der Verminderung der pH-Werte von 7.7 bis auf 6.8 — kürzer werden, dagegen bei 42 u. 44° sich verlängern (eine Abweichung findet nur statt bei

pH 6.8 — Neutralisation mit Zitronensäure). Daraus kann man schliessen, dass das Paramaecienplasma mit dem Sinken der OH' -Ionenkonzentration der Umgebung bei höheren Temperaturen (44 u. 42° C) resistenter, bei niederen Temperaturen (unterhalb 40—38°) aber empfindlicher gegen die Hitze wird, als das Plasma der in normaler Kulturlösung bei pH 7.7 sich befindenden Tiere.

Diese Verhältnisse kommen noch deutlicher zum Ausdruck, wenn wir die Angaben der Tabelle in Kurvenform wiedergeben.

Aus Fig. 1 ersehen wir, wie bei der Neutralisation der Kulturlösung mit HCl die Hitzeresistenz des Paramaecienplasmas mit dem Sinken der OH' -Ionenkonzentration bei Temperaturen

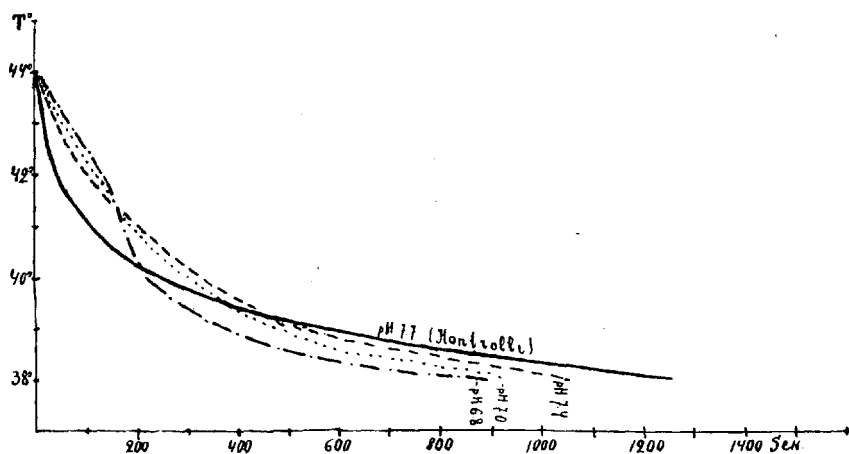


Fig. 1. Neutralisation der Kulturlösung mit HCl.

von 39 u. 40° C bis 44° steigt, bei Temperaturen von unter 40 u. 39° aber fällt. Interessant ist es hier, dass die pH 6.8-Kurve an beiden Seiten von der Kontrollkurve am meisten abweicht.

Die Kurven der Fig. 2 zeigen uns, wie die Koagulation des Plasmas bei der Neutralisation und Versäuerung der Lösung mit Zitronensäure zustande kommt: bei Temperaturen von unter 41° wird die Geschwindigkeit der Hitzekoagulation hier mit dem Sinken der pH — ähnlich wie bei der Neutralisation mit HCl — beschleunigt, bei solchen über 41° aber — viel weniger als bei HCl — verlangsamt.

Aus Fig. 3 ist zu ersehen, wie das Paramaecienplasma in der mit verschiedenen Säuren neutralisierten Lösung bei pH 7.0 erstarrt. Hier ist zu bemerken, dass das Kreuzen der Kontrollkurve an verschiedenen Punkten geschieht (HCl — bei ca 39°,

H_2SO_4 u. Zitronensäure — bei ca 41°) und dass bei pH 7.0 die Hitze-koagulation am langsamsten in der mit HCl und am schnellsten in der mit Zitronensäure neutralisierten Lösung zustande kommt.

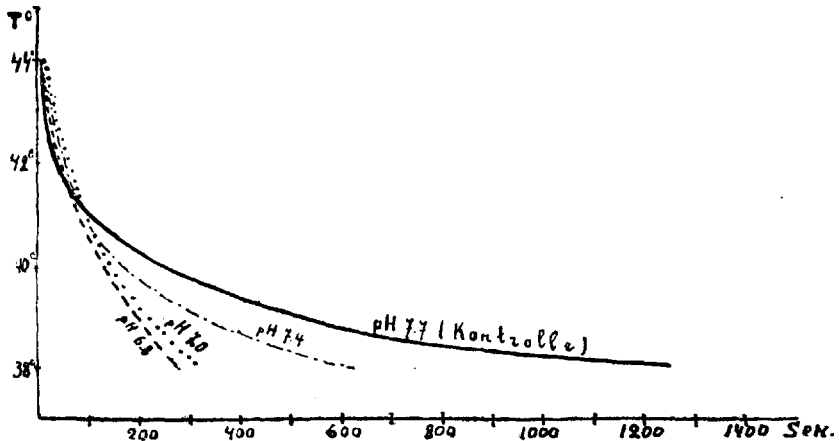


Fig. 2. Neutralisation der Kulturlösung mit Zitronensäure.

Wir ersehen also aus den Fig. 1, 2 u. 3, dass die Kurven, die die Plasmakoagulation bei pH 6.8, 7.0 u. 7.4 repräsentieren, der

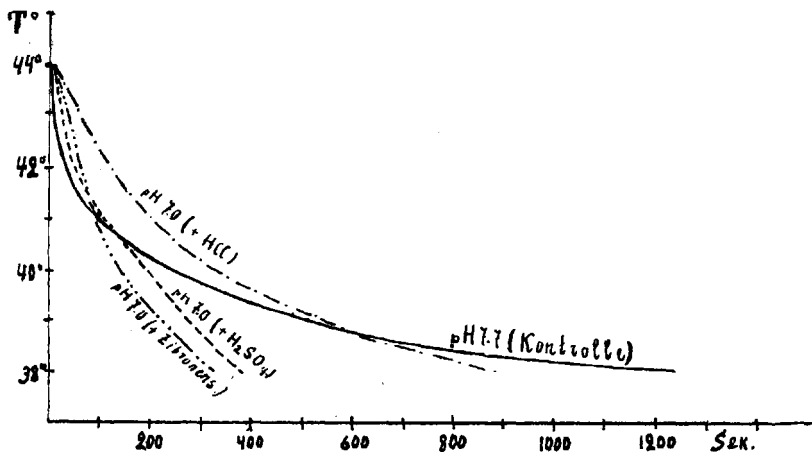


Fig. 3. Koagulation des Paramaecienplasmas bei pH 7.0.

Kontrollkurve (pH 7.7) nicht parallel laufen, sondern sie kreuzen, und ausserdem noch in verschiedener Entfernung von ihr verlaufen. Die Kurven überschreiten (kreuzen) die Kontrollkurve nicht an einem Punkte (= bei einer bestimmten Tem-

peratur); letztere hängt ab von der OH' -Ionenkonzentration und von den Säureanionen, resp. von der Säure, mit der die Neutralisation der Lösung vorgenommen wird (Fig. 3). In welcher Entfernung von der Kontrollkurve die anderen Kurven verlaufen, hängt hauptsächlich von der pH der Lösung (Fig. 1 u. 2), aber auch von den Säureanionen ab.

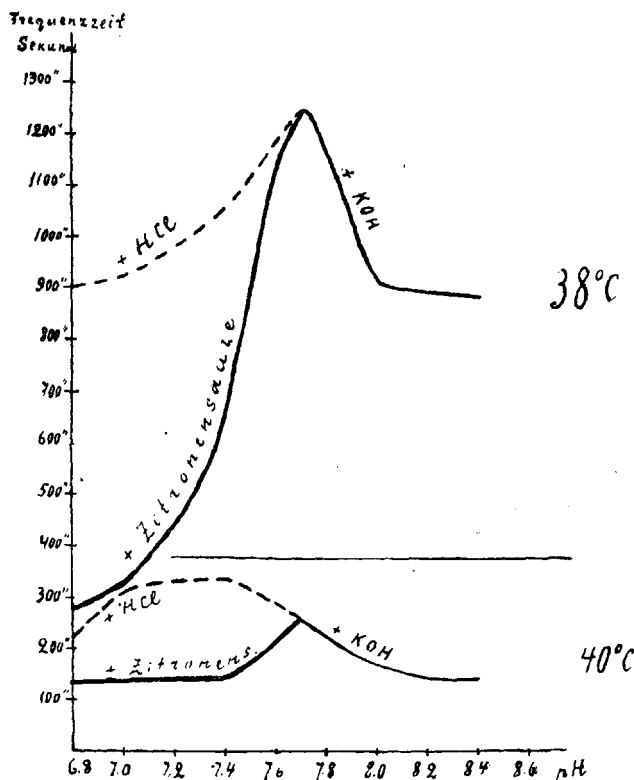


Fig. 4. Die Hitzekoagulation des Paramaecienplasmas bei den verschiedenen pH-Werten.

So haben wir gefunden, dass die Hitzekoagulation des Plasmas von der OH' -Ionenkonzentration und von den bei der Neutralisation der Lösung verwendeten Säuren stark beeinflusst wird.

Aus der zweiten Hälfte der Tabelle 1 können wir ersehen, wie die Koagulation des Paramaecienplasmas bei den höheren pH-Werten 8.0 u. 8.4 zustande kommt, d. h. wie das Steigen der OH' -Ionenkonzentration der Kulturlösung auf die Plasmakoagulation wirkt: a) bei der Steigerung der OH' -Ionenkonzentration

tration der Lösung durch Hinzufügung von KOH werden die Koagulationszeiten des Plasmas bei allen Temperaturen kürzer, als diejenigen in der Kulturlösung bei pH 7.7; b) diese Geschwindigkeit wächst mit dem Steigen der OH'-Ionenkonzentration der Lösung und ist bei $\text{pH } 7.7 < 8.0 < 8.4$; c) mit NH_4OH , welches bekanntlich — besonders bei höheren Temperaturen — sehr flüchtig ist, wurde nur eine Reihe von Versuchen bei pH 8.0 durchgeführt. (Die höheren Konzentrationen sind noch weniger beständig!) Die Koagulationszeiten des Plasmas in NH_4OH -Lösung sind denjenigen der KOH-L. bei pH 8.0 sehr nahe, unterscheiden sich aber von letzteren besonders bei 42° und 44° dadurch, dass in der NH_4OH -Lösung das Plasma etwas langsamer erstarrt als in der KOH- und der Kulturlösung.

Wie das Paramaecienplasma bei den Temperaturen 38° und 40° in Lösungen mit verschiedenen pH-Werten koaguliert, zeigt uns Fig. 4. Aus ihr ersehen wir, dass das Paramaecienplasma bei 38° C in der Lösung mit pH 7.7 am resistentersten gegen die Hitze ist. Mit der Erhöhung und Verminderung der OH'-Ionenkonzentration von diesem Punkte aus wird die Koagulation des Plasmas beschleunigt. Bei der Neutralisation mit HCl ist diese Beschleunigung der Koagulation bei 38° viel geringer als bei der Neutralisation mit Zitronensäure. (Die H_2SO_4 -Neutralisation nimmt eine mittlere Stellung ein!). Daraus können wir schliessen, dass die Hitzeresistenz des Paramaecienplasmas bei 38° bei der Neutralisation mit verschiedenen Säuren nach der Valenz des Säureanions ($\text{Cl}' < \text{SO}_4'' < \text{Zitronens.}'''$) herabgesetzt wird.

Bei 40° ist der Gang der Koagulation etwas anders. In mit Zitronensäure neutralisierter Lösung ebenso wie in mit KOH (NH_4OH) alkalisch gemachter Lösung erstarrt das Plasma etwas geschwinder als bei pH 7.7 in der Kulturlösung. In der mit HCl neutralisierten Lösung bei pH 7.4 u. 7.0 ist das Plasma dagegen resistenter gegen die Hitze als in der Kulturlösung.

Bei noch höheren Temperaturen ist, wie man aus der Tabelle 1 ersehen kann, die Hitzeresistenz des Plasmas nicht mehr bei pH 7.7, sondern bei niedrigeren pH-Werten am grössten.

Da das Paramaecienplasma bei 40°, 38° und wohl auch bei niedrigeren Temperaturen bei pH 7.7 seine maximale Resistenz gegen die Hitze erhält und damit die pH 7.7 der Umgebung (besonders bei niedrigeren Temperaturen) eine grosse Bedeutung für das

Leben der Tierzellen hat, so muss man diese Erscheinung vom Gesichtspunkte der Plasmakolloide zu erklären versuchen. Wenn die Ionisation der Plasmakolloide von der H⁺- u. OH⁻-Ionenkonzentration des Aussenmediums (= Kulturlösung) abhängig ist, dann muss mehr ionisiertes Plasma resistenter gegen die Hitze sein, schwerer erstarren als das wenig ionisierte (vgl. Eiweissionisation — Pauli) und am leichtesten in dem isoelektrischen Punkte zur Koagulation gebracht werden können. Wo der isoelektrische Punkt des Parmaecienplasmas steht, ist leider nicht bekannt (vermutlich zwischen pH 5—6?). Somit muss die Hitze-resistenz des Parmaecienplasmas mit dem Steigen der pH-Werte über den isoelektrischen Punkt bis zu einer bestimmten Grenze ebenfalls wachsen. Die Steigerung der verschiedenen kolloidchemischen Eigenschaften, wie Viskosität, Quellung, osm. Druck etc., geschieht, wie J. Loe b (1919—1921) an verschiedenen organischen Kolloidlösungen gezeigt hat, vom isoelektrischen Punkte an mit der Veränderung der pH-Werte nach den eingipfeligen Kurven. Die obenerwähnten kolloiden Eigenschaften der organischen Lösungen haben an beiden Seiten des isoelektrischen Punktes ihre Maxima, von welchen an sie mit dem Steigen der OH⁻- oder H⁺-Ionenkonzentration wieder zu fallen beginnen. Dass das Plasma der verschiedenen Organismen den bestimmten H⁺- oder OH⁻-Ionenkonzentrationen angepasst ist, haben verschiedene Autoren in letzter Zeit gezeigt. Und da die Parmaecienrasse in meinen Kulturen nur zwischen pH 6.8—8.5 leben konnte und das physiologische Optimum für sie bei pH 7.7 lag, so muss dieses Optimum mit den kolloidchemischen Eigenschaften des Plasmas in Zusammenhang stehen. — Wir haben ja nur gezeigt, dass das Parmaecienplasma bei pH 7.7 gegen die Hitze am resistantesten ist. Auf die Frage, ob es bei dieser OH⁻-Ionenkonzentration auch gegen die anderen chemischen und physikalischen Agentien ebenso widerstandsfähig ist, und ob bei dieser Ionisationstufe die physiologischen Prozesse im Plasma am zweckmässigsten verlaufen, kann man nur auf Grund spezieller Untersuchungen eine Antwort geben. — Ausserdem ist hier noch die Frage zu beantworten, warum die physiologischen Optima bei den verschiedenen Organismen so verschiedenen pH-Werten angepasst sind.

Wenn man zur alkalischen Kulturlösung (pH 7.7) zur Neutralisation etwas Säure hinzufügt, dann wird dadurch nicht nur die OH⁻-Ionenkonzentration der Lösung herabgesetzt, sondern es

entstehen dabei noch Salze, deren Ionen ihrerseits auf das Plasma wirken. Und man muss immer beachten, dass bei der Neutralisation mit verschiedenen Säuren die Säureanionen häufig eine bedeutende Wirkung auf das Plasma ausüben, andererseits aber bei Anwesenheit von OH' - oder H' -Ionen die Wirkung der Salzionen sehr verschieden sein kann, was gewöhnlich nur mit den Worten „giftig“ und „ungiftig“ ausgedrückt wird; ausserdem muss man noch ins Auge fassen, dass diese Wirkung der verschiedenen Ionen auch von der Natur der Organismen und Zellen (= vom Abbau des Plasmas) abhängt. Auch können die physikalischen Bedingungen, wie Temperatur, Licht etc., dabei einen grossen Einfluss haben und die Sache noch mehr komplizieren. Alles das berücksichtigend, ist es sehr schwer zu erklären, warum das Paramaecienplasma in den mit verschiedenen Säuren neutralisierten Lösungen (pH 7.4, 7.0 u. 6.8) bei Temperaturen über $39-41^{\circ}$ langsamer erstarrt, als in der Kulturlösung bei pH 7.7, während bei niedrigeren Temperaturen im Gegenteil die Koagulation durch Herabsetzung der OH' -Ionenkonzentration gefördert wird.

Aus Tabelle 1 kann man noch ersehen, dass das Paramaecienplasma auch in reinem Wasser (pH 7.2) im Vergleich mit demjenigen in Kulturlösung bei pH 7.7 bei Temperaturen unter 40°C schneller koaguliert, bei solchen über 40° aber resistenter gegen die Hitze ist. Wir dürfen wohl annehmen, dass das Zentrifugieren auf die Paramaecienzellen eine mechanische Wirkung ausgeübt haben könnte, weshalb das Plasma auch schneller koagulieren kann (mechanische + Hitzekoagulation!), ähnlich wie bei denjenigen Beobachtungen, welche von Lepeschkin (1923) an Spirogyra-Fäden gemacht wurden, wo das Plasma der mehrmals gebogenen Spirogyra-Zellen bei höheren Temperaturen auch viel schneller zur Koagulation gebracht wurde, als das der ungebogenen Zellen. Aus diesem Grunde müsste die Hitzekoagulation des Plasmas der zentrifugierten Paramaecienzellen, abgesehen von der Ionisation, auch über 40°C schneller zustande kommen, als die der unzentrifugierten, was in der Tat aber nicht der Fall ist. Für die letzterwähnte Erscheinung ist es ebenfalls schwer eine befriedigende Erklärung zu finden.

Die Wirkung der Neutralsalze auf die Hitze-koagulation.

Bei der Koagulation hydrophiler wie hydrophober kolloider Lösungen spielen die Elektrolyte eine sehr grosse Rolle. Es ist gezeigt worden, dass z. B. wenn man die Albumine (Lepeschkin) nach langdauernder Dialyse von den Elektrolyten befreit hat, auch beim Kochen der kolloiden Lösungen keine Koagulation stattfindet. Andererseits kann man aber verschiedene organische Kolloidlösungen mit Hilfe von Neutralsalzen leicht zur Koagulation bringen (Porges — Neubauer, Pauli — Handowsky etc.).

Wenn man die Wirkung der Neutralsalze auf die Hitze-koagulation des Paramaecienplasmas untersuchen will, dann muss man die Salze nur in hypotonischen Konzentrationen verwenden, denn in hypertonischen und sogar in isotonischen (bei Par. caud. 0,075—0,08 n.) Salzlösungen gehen die Paramaecien sehr bald zugrunde. Aus den Nachprüfungen ergab sich, dass die P. mehrere Tage, in manchen Fällen sogar einige Wochen lang, in 0,05 n. Neutralsalzlösungen leben konnten. Darum führte ich die folgenden Versuche mit solchen 0,05 norm. Salzlösungen aus.

Um die Salzwirkung auf die Koagulation des Paramaecienplasmas festzustellen, war es nötig, die in Leitungswasser gezüchteten Paramaecien in destilliertes Wasser überzuführen und sie dann mit den betreffenden reinen Salzlösungen in bestimmten Konzentrationen zu mischen. Wie die Koagulationszeiten des Paramaecienplasmas davon abhängen, ob es sich um Kulturlösung bei pH 7.7 oder dreimal wiederholt mit destilliertem Wasser zentrifugierte und gewaschene reine Salzlösung bei pH 7.2 handelt, wurde schon früher bei der Analyse der Tabelle 1 auseinandergesetzt.

In Tabelle 2 sind einige Beispiele angeführt, wie die

Tabelle 2.

Die Salze		pH	44° C	42°	40°	38°
KCl	a) Kulturfl. + Salz	<7.7	9.9"	51"	267"	955"
	b) reines Wasser + Salz	<7.2	12.6"	82"	271"	980"
NaNO ₃	a) K-fl. + S.	7.7	13.7"	48"	202"	895"
	b) r. W. + S.	7.2	14.0"	88"	267"	1035"
Ca(NO ₃) ₂	a) K-fl. + S.	7.6	13.5"	55"	247"	1082"
	b) r. W. + S.	7.1	13.8"	61"	209"	876"

Plasmakoagulation bei 0,05 n. Salzkonzentration a) in den Kulturlösungen bei $\text{pH} < 7.7$ und b) in den reinen Salzlösungen (nach dreimaligem Zentrifugieren und Waschen) bei $\text{pH } 7.2-7.1$ zustande kommt.

Die Angaben der Tabelle 2 zeigen uns, dass die Koagulationszeiten des Plasmas bei 0,05 n. Salzkonzentration in der Kulturflüssigkeit und in reinem Wasser verschieden sind. Inwiefern hier aber die Unterschiede von den verschiedenen pH-Werten abhängen und wieviel der Nebenwirkung von Seiten der in der Kulturlösung vorhandenen Verunreinigungen der verschiedenen organischen Verbindungen, den Ca-Salzen des Leitungswassers etc. zuzuschreiben ist, habe ich nicht näher untersucht. Jedenfalls kann man durch das Zentrifugieren und Waschen die Paramaecien nicht ganz von den Beimischungen der Kulturflüssigkeit und den Bakterien befreien; ebenso bleiben in der Nährvakuolenflüssigkeit die aus der Kulturlösung aufgenommenen Salze zurück, deren Wirkung auf die Permeabilität des Plasmas für die in äusserer Lösung sich befindenden Salze unmöglich zu beseitigen ist. Alles das berücksichtigend, und ausserdem noch im Auge behaltend, dass das Paramaecienplasma beim Zentrifugieren mechanisch beschädigt werden kann und dass die Paramaecien in reinem Wasser ebenso wie in reinen Salzlösungen bei $\text{pH } 7.1-7.2$ nicht als ganz normal anzusehen sind, beschloss ich meine Untersuchungen in Kulturlösungen, zu denen die betreffenden Salzmenngen hinzugefügt wurden, durchzuführen.

Welche Wirkung die Neutralsalze in 0,05 norm. Konzentration in Kulturlösung auf die Hitze-koagulation des Paramaecienplasmas ausüben, das kann man auf der Tabelle 3 verfolgen. Es sei nur bemerkt, dass auf dieser Tabelle die Zahlen, die die Koagulations-

Tabelle 3.

T°	Norm. Kulturlf.	Aqua destill.	NH_4CNS	NH_4NO_3	NH_4Cl	$\text{NH}_4\text{-Ac.}$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	KCNS	KNO_3	KBr	KCl	K_2SO_4	NaNO_3	NaCl	Na-Acet.
44°C	8.7"	9.4"	8.5"	8.1"	8.2"	8.3"	8.2"	8.5"	10"	8.9"	9.9"	11.3"	13"	9.7"	13.9"
42°	29.2"	55"	18"	17"	21"	22	19	28	46	38	51	63	48	32	60
40°	264"	202"	33"	53"	56"	75	64	105	194	238	267	282	203	262	278
38°	1365"	342"	58"	93"	159"	169	126	425	945	982	995	1045	895	1218	1230

T°	LiNO ₃	LiBr	LiCl	Li ₂ SO ₄	Li-Ac.	RbCl	MgCl ₂	MgSO ₄	Sr(NO ₃) ₂	SrCl ₂	Ca(CNS) ₂	Ca(NO ₃) ₂	CaBr ₂	CaCl ₂
44° C	10.6"	12.5"	9.9"	10.4"	10.8"	13.5"	14.2"	11.7"	15.2"	14.2"	8.2"	13.5"	15.6"	12.6"
42°	71	46	52	41	85	53	33	42	57	56	24	55	42	44
40°	301	271	98	126	273	256	145	194	236	180	68	248	223	207
38°	1250	928	425	676	983	993	632	1185	951	1015	142	1082	1017	1020

zeiten in der Kulturlösung zeigen (Kontrolle!), die Mittelwerte aus allen den Kontrollversuchen, die bei jeder Versuchsserie angestellt wurden, darstellen, und dass die Tiere vor den Versuchen 30 Min. in den betreffenden Salzlösungen gelegen haben.

Man ersieht aus Tabelle 3, dass bei den Temperaturen 44° u. 42° C alle NH₄-Salze und Rhodanide die Koagulation des Plasmas fördern, alle anderen Salze sie aber hemmen.

Bei 40° C tritt aber eine merkliche Änderung in der Wirkung der Salze auf die Hitze-koagulation zutage, indem nur einige Salze — wie K₂SO₄, Na-Acet. u. LiNO₃ — die Koagulation des Plasmas hemmen, alle anderen aber auf sie fördernd wirken.

Bei 38° C beschleunigen schon alle angewandten Neutralsalze die Hitze-koagulation des Paramaecienplasmas, und zwar am meisten die NH₄-Salze und Rhodanide, am mindesten — NaCl, Na-Acet., LiNO₃ und einige Sr- u. Ca-Salze.

Im ganzen kann man die angewandten Neutralsalze nach ihrer Wirkung auf die Hitze-koagulation des Paramaecienplasmas in zwei Gruppen teilen: die Salze der ersten Gruppe (siehe Fig. 5) (NH₄-Salze u. Rhodanide) fördern die Hitze-koagulation bei allen Temperaturen, die Salze der zweiten Gruppe (siehe Fig. 6), zu denen alle anderen von mir angewandten Neutralsalze (Nitrate, Chloride und Sulfate) gehören, fördern die Hitze-koagulation nur bei Temperaturen unter 40° C, darüber aber üben sie eine hemmende Wirkung auf die Geschwindigkeit der Hitze-koagulation des Paramaecienplasmas aus.

Zur Ergänzung der Tabelle 3 sei noch hinzugefügt, dass die Paramaecien in den 0,05 norm. Ba(CNS)₂- u. BaCl₂-Lösungen bei Zimmertemperatur schon nach 30—60 Minuten absterben, weshalb auf länger dauernde Versuche mit diesen Salzen verzichtet werden musste, ebenso wie mit Mg(NO₃)₂, in welcher Lösung

die Paramaecien bei 0,05 norm. Konzentration nach 40—90 Minuten zugrunde gehen. In NH_4CNS -, NH_4NO_3 - u. NH_4Cl -Lösungen lebten die Paramaecien bei Zimmertemperatur (19—20° C) — 3—5 Stunden, in NH_4 -Acet.-, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -, $\text{Ca}(\text{CNS})_2$ - und MgCl_2 -Lösungen — 12—15 Stunden, in LiCl -, Li_2SO_4 -, Li -Acet.- u. KCNS -Lösungen — bis 24 Stunden, in den anderen von mir angewandten Neutralsalzlösungen aber 3—6 Tage, in einzelnen Fällen noch länger.

Wenn wir jetzt nach den Ursachen dieser Erscheinungen bei der Wirkung der Neutralsalze auf die Hitzeoagulation des Paramaecienplasmas fragen, dann müssen wir die obenerwähnten zwei Gruppen von Neutralsalzen getrennt voneinander betrachten. Zu der ersten Gruppe gehören die schnell ins Plasma eindringenden und daher giftig wirkenden, zu der zweiten — die langsamer durch das Plasma permeierenden und infolgedessen nicht giftigen Salze (vgl. Kaho), und wenn wir annehmen, dass das Plasma ein System von hydrophilen Kolloiden darstellt, in dem die Eiweissstoffe und Lipide in Verbindung miteinander oder getrennt vorkommen, so dürfen wir auch hier bis zu einem gewissen Grade dieselben Gesetzmässigkeiten, die bei den organischen Kolloiden (Albuminen, Globulinen, Casein, Edestin, Gelatin, Lecithin, Cholesterin, Agar-Agar etc.) gefunden worden sind, auf die Plasmakolloide ausdehnen. Da die Versuche bei pH 7.7 durchgeführt wurden, müssen wir annehmen, dass wir es im Paramaecienplasma mit negativen Kolloiden zu tun haben. Wie aber von Pauli und Handowsky gezeigt worden ist, wird mit dem Steigen der Ionisation, resp. mit der Erhöhung der OH' -Ionenkonzentration in der Lösung bis zu einer bestimmten Grenze, — die Hitzeoagulation der Kolloide gehemmt. Setzt man aber zu den alkalischen Kolloiden Neutralsalze hinzu, oder steigert man die OH' -Ionenkonzentration, so wird die Ionisation und Hydratation der Kolloidlösungen herabgesetzt; und in dem Masse, wie diese Herabsetzung geschieht, wird die Hitzeoagulation der Kolloide gefördert. Bei den Plasmakolloiden kann diese Wirkung der Salze nur nach dem Eindringen der Salze ins Plasma zur Geltung kommen. Bekanntlich ist aber die Durchdringungsgeschwindigkeit der Neutralsalze sehr verschieden, wie es von verschiedenen Autoren (Tröndle, Kaho, Ruhland etc.) bei den Pflanzenzellen gezeigt worden ist. So hat besonders Kaho nachgewiesen, dass die Permeationsgeschwindigkeit der Neutralsalze durch das Pflanzenplasma nach der Hofmeisterschen oder lyotropen

Reihe der Anionen $\text{CNS} > \text{I} > \text{Br} > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{Acet.} > \text{SO}_4 > \text{Citr.}$ beschleunigt und von den Kationen nach der Reihe $\text{K} < \text{Na} < \text{Li} < \text{Mg} < \text{Ba} < \text{Ca}$ gehemmt wird, so dass die Alkali-Rhodanide, Iodide und Bromide besonders schnell in das Plasma eindringen können, am langsamsten aber die Alkali-Sulfate und die Erdalkalisalze (abgesehen von den Rhodaniden!)¹⁾. Weiter ist gezeigt worden, dass die dehydrierende oder koagulierende Wirkung bei allen Neutralsalzen nicht gleich gross ist und dass die verschiedenen Kolloidlösungen von Alkalisalzen in geringerem Masse gefällt werden als von Erdalkalisalzen (Borges-Neubauer, Pauli-Handowsky, M. Fischer). Ebenso haben Hannsteen-Cranner und Kaho gezeigt, dass die Erdalkalisalze auf die Plasmaoberschicht fällend (dehydrierend) wirken, und deshalb selber sehr langsam durch das Plasma permeieren können, während die Rhodanide, Iodide und Bromide, die auf die Oberschicht des Plasmas aufquellend wirken, schnell ins Plasma einzudringen vermögen.

Von der Permeationsgeschwindigkeit der Neutralsalze hängt andererseits aber auch ihre Giftwirkung auf das Plasma ab. So hat Kaho gezeigt, dass die Rhodanide, Iodide und Bromide für das Pflanzenplasma viel giftiger sind, als die Chloride, Acetate und Sulfate. Ebenso konnte ich²⁾ nachweisen, dass die NH_4 -Salze in alkalischen und sauren Lösungen die Permeationsfähigkeit der OH' - und H -Ionen sehr stark fördern und besonders in sauren Lösungen auf das Pflanzenplasma auch sehr giftig wirken, und dass $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ umgekehrt nur in alkalischer Lösung für das Plasma giftig ist, so dass die Reaktion der Lösungen bei der Giftwirkung der Salze eine grosse Rolle spielt. Weiter ist die Giftwirkung der Neutralsalze, ebenso wie ihre Permeationsgeschwindigkeit, auch von der Konzentration der Salze und der Temperatur abhängig.

Alle die oben erwähnten Tatsachen im Auge behaltend, können wir die Wirkung der Neutralsalze der ersten Gruppe auf die Hitzekoagulation des Paramaecienplasmas folgendermassen erklären: diese Salze permeieren durch das Plasma sehr schnell und reagieren mit den Plasmakolloiden, indem weniger dissoziierte Salzverbindungen gebildet werden; dabei wird aber das Plasma selbst

1) Fast dieselbe Reihenfolge ist neuerdings auch von Gellhorn bei dem Eindringen der Neutralsalze in tierische Eier und Spermatozoidzellen festgestellt worden.

2) Bioch. Zeitsch. **166**, 105, 1925 u. **170**, 377, 1926.

zu stark verändert, vergiftet, so dass es abstirbt und koaguliert. Dass dabei die Koagulationsgeschwindigkeit von der Salzmenge, resp. von der Permeationsgeschwindigkeit abhängt, kann man daraus ersehen, dass bei NH_4 -Salzen die Hitze-koagulation nach der lyotropen Reihe der Anionen gefördert wird, wie dies aus Fig. 5 zu ersehen ist.

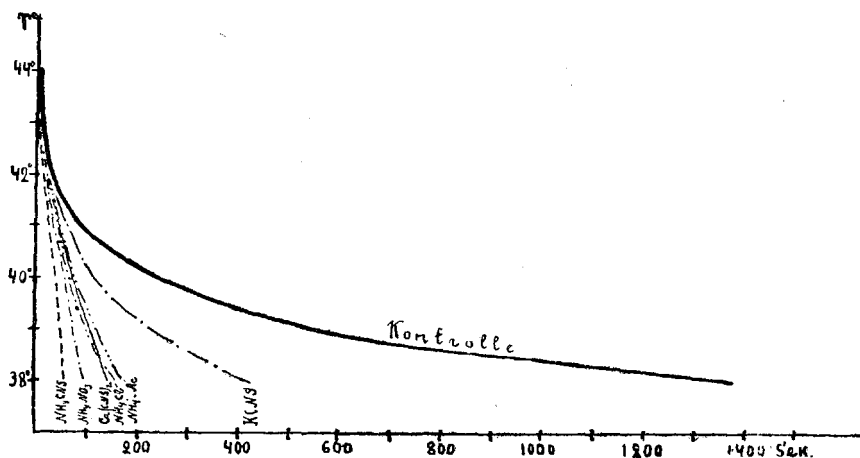


Fig. 5. Die Wirkung der Salze der ersten Gruppe auf die Hitze-koagulation des Paramacienplasmas.

Ausser den NH_4 -Salzen und Rhodaniden gehören zu der ersten Gruppe noch BaCl_2 und $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, die, wie erwähnt, viel giftiger auf das Paramacienplasma wirken als die anderen in der Tabelle aufgeführten Salze. Bei diesen Salzen muss man eine spezifische Giftwirkung auf das Plasma annehmen. Die dehydrierende Wirkung des BaCl_2 auf das Alkalieiwiss (nach Pauli-Handowsky), ebenso wie auf Lecithin und Cholesterin (nach Porges-Neubauer), ist nicht geringer als die der anderen Erdalkalisalze; demzufolge könnte BaCl_2 auch nicht schneller durch das Plasma permeieren als die anderen Erdalkalisalze, und darum kann man seine Giftwirkung wahrscheinlich nicht durch das schnelle Eindringen ins Plasma erklären. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ übt, wie es von Brenner und von mir (1926) gefunden worden ist, eine giftige Wirkung auf das Pflanzenplasma nur in neutralen und alkalischen Lösungen aus, nicht aber in saurer Lösung. Ebenso verschwindet die Giftigkeit dieses Salzes $[\text{Mg}(\text{NO}_3)_2]$ bei Anwesenheit des K-Ions in alkalischer Lösung (bei *Viola*-Zellen).

Wenn wir uns jetzt der zweiten Gruppe der Neutralsalze zuwenden und ihre Wirkung auf die Hitzekoagulation des Paramaecienplasmas verfolgen, so können wir bemerken, dass bei Temperaturen unter 40° C auch hier bei einzelnen Kationen (K, Mg, Sr, Ca) die Hitzekoagulation von Nitraten und Chloriden mehr gefördert wird als von Sulfaten, so dass die Wirkung dieser Salze auf die Koagulation von der Permeationsgeschwindigkeit des Salzes nach der lyotropen Reihe abhängig ist, und dass die Hitzekoagulation von den Alkalisalzen mehr als von den Erdalkalisalzen gefördert wird. Es besteht also hier — bei Tierzellen — dieselbe Abhängigkeit zwischen der Hitzekoagulationsförderung und der Permeationsgeschwindigkeit der Salze, welche von Kaho (1921, 1924) bei Pflanzenplasma festgestellt worden ist. Nur die Li-Salze nehmen eine besondere Stellung ein, da bei ihnen die Wirkung auf die Hitzekoagulation des Paramaecienplasmas nicht nach der lyotropen Reihe, sondern nach folgender Anionenreihe stattfindet: $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{Br} > \text{NO}_3$. Diese Abweichung kann wahrscheinlich durch die Wirkung der Temperatur auf die Eindringungsgeschwindigkeit dieser Salze erklärt werden. Sehr wenig wird die Hitzekoagulation von NaCl beeinflusst. Dass NaCl im Vergleich mit den anderen Neutralsalzen auf das Tierplasma sehr wenig wirkt, hat auch M. Fischer erwähnt.

Im ganzen bemerken wir, dass die Salze der zweiten Gruppe, da sie langsamer ins Plasma einzudringen vermögen, bei Temperaturen unter 40° die Hitzekoagulation des Paramaecienplasmas weniger fördern können als die Salze der ersten Gruppe, und dass die Beeinflussung der Hitzekoagulation von der Eindringungsgeschwindigkeit dieser Salze abhängt (Fig. 6).

Schwerer ist es aber zu erklären, warum die Salze der zweiten Gruppe bei Temperaturen über 40° C die Hitzekoagulation des Paramaecienplasmas hemmen. Wie gesagt, hatten die Paramaecien vor den Versuchen mindestens 30 Minuten in den Salzlösungen gelegen, so dass die Salze eine gewisse Zeit hatten das Plasma zu durchdringen. Ausserdem muss man berücksichtigen, dass die Salze nicht nur durch die äussere Zellwand (Pellicula) in die Zelle hineinzudringen vermögen, sondern dass sie auch durch die Cytopharynx unmittelbar in die Nährvakuolen gelangen, wodurch die Wirkungsfläche der Salze auf das Plasma bedeutend vergrössert wird. Wie die Beschaffenheit der Zellwand der Vakuolen bei den Paramaecien auch sein mag, immerhin muss man

annehmen, dass die Salze aus den Nährvakuolen nur nach den Permeabilitätsgesetzen ins Plasma gelangen.

Nun haben aber Engelman und insbesondere Nierenstein gezeigt, dass die Flüssigkeit der Nährvakuolen bei Paramecien in ihrer ersten Verdauungsperiode eine saure Reaktion hat; es muss also die alkalische Reaktion der aufgenommenen Flüssigkeit in den Nährvakuolen neutralisiert und dann versauert werden. Im Zusammenhang mit dieser Erscheinung müssen die Permeabilitätsverhältnisse der Nährvakuolen von denjenigen des alkalischen Aussenmediums etwas abweichen, und überhaupt muss die Wirkung der Neutralsalze auf das Plasma in alkalischer Lösung sich bedeutend verwickeln. Wie diese

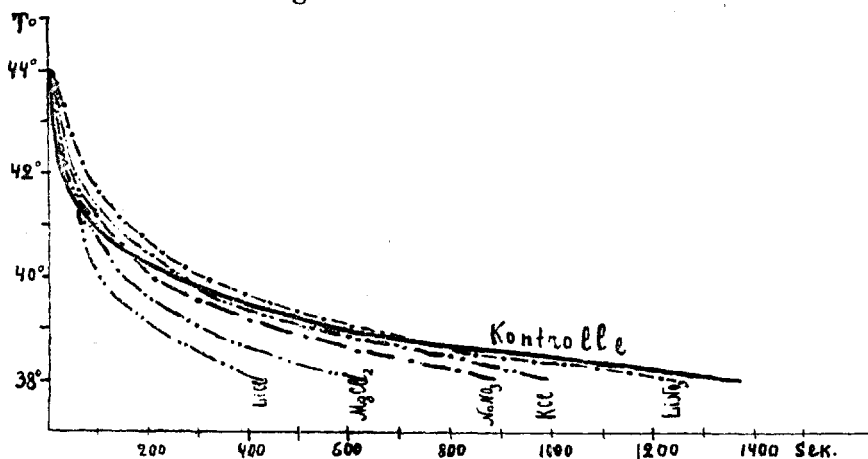


Fig. 6. Die Wirkung der Salze der zweiten Gruppe auf die Hitze-koagulation des Paramecienplasmas.

Permeabilitätsverhältnisse von aussen und innen sich mit dem Steigen der Temperatur verändern, ob sie immer im Gleichgewicht bleiben und inwieweit die Hitze-koagulationserscheinungen des Plasmas von diesen Besonderheiten beeinflusst werden, darüber haben wir gar keine Daten. Jedenfalls muss man einstweilen annehmen, dass bei Temperaturen über 40° C in den erwähnten Salzlösungen irgendwelche Veränderungen im Plasma zustande kommen, wodurch das Plasma resistenter gegen die Hitze wird, als in gewöhnlicher Kulturlösung.

Aus diesen Darlegungen kann man schliessen, dass das Paramecienplasma in bezug auf die Permeabilität und auf die Wirkung der Neutralsalze auf die Hitze-koagulation sich dem Pflanzen-

plasma sehr ähnlich verhält. Und wenn wir die beschleunigende Wirkung der Neutralsalze auf die Hitze-koagulation des Paramaecienplasmas durch ihre Durchdringungsgeschwindigkeit dem Plasma gegenüber erklärt haben, so können wir anderseits nach den Hitze-koagulationszeiten bei konst. Temperaturen unter 40° C die Permeationsgeschwindigkeit der Neutralsalze durch das Paramaecienplasma bestimmen.

Wollen wir die Hitzeresistenz des Paramaecienplasmas mit derjenigen anderer tierischer und pflanzlicher Zellen vergleichen, so finden wir einige Angaben über die Koagulationszeiten bei konstanten Temperaturen in der Tabelle 4.

Tabelle 4.

Paramaecium caudatum (Port)	Frosch-Gastrocnem. (Buglia)	Spirogyra (Lepeschkin)	Beta vulgaris (Lepeschkin)
44° C — 8.7"	48° C — 15"	50° C — 73"	85° C — 6"
42° " — 29"	45° " — 30"	47° " — 225"	70° " — 42"
40° " — 264"	43,2° " — 480"	44° " — 600"	64° " — 96"
38° " — 1365"	42,2° " — 900"	41° " — 2240"	60° " — 138"
36° " — 2820"	41,2° " — 4380"	38° " — 5533"	55° " — 282"
	39,5° " — 4920"		50° " — 558"
			45° " — 1800"

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass das Paramaecienplasma viel empfindlicher gegen die Hitze ist, als das Plasma der Froschmuskeln und Pflanzenzellen. So koaguliert bei 45° C das Plasma von *Paramaecium* in 3—5 Sek., von *Frosch-Gastrocnemius* in 30 Sek., von *Spirogyra* in ca 400 Sek. und von *Beta vulgaris* in 1800 Sekunden. Diese Verschiedenheiten in der Hitze-koagulationsgeschwindigkeit könnten wohl darauf hinweisen, wie verschieden das Plasma der verschiedenen Organismen gebaut ist.

Weiter verfolgte ich den Gang der Hitze-koagulation unter dem Mikroskope auf dem Wärmetische. Da bei gewöhnlicher Beleuchtung die Einzelheiten der Koagulation im Plasma nicht genügend deutlich zu unterscheiden sind, so kontrollierte ich im Detail den Gang der Koagulation stets unter einem anderen Mikroskope, indem ich die Paramaecien-Präparate vom

Wärmetische möglichst schnell auf ein anderes mit Leitzschem Spiegelkondensor versehenes Mikroskop¹⁾ übertrug und sie dann auf dunklem Felde bei verschiedenen Vergrößerungen bis Zeiss K 20×58 untersuchte. Bei diesen Beobachtungen konnte ich vier Stufen der Hitzekoagulation des Paramaecienplasmas unterscheiden¹⁾.

1. Auf der ersten Stufe wird die Permeabilität des Plasmas merklich gesteigert, so dass das Wasser aus der Umgebung in die Zelle eindringt und die Paramaecien infolgedessen anschwellen. Parallel mit dieser Formveränderung der Zelle gehen die zu dieser Zeit sehr unruhig gewordenen Bewegungen der Tiere in spiralförmige Bahnen auf einer Kegelfläche über. Die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen ist sehr lebhaft. Im Plasma kann man aber ultramikroskopisch keine Verdichtung wahrnehmen.

2. Zweite Stufe. Das Plasma fängt an der Zelloberfläche zu koagulieren an (ultramikroskopisch — eine Aufhellung!); der Makronukleus der Zelle ist aber noch ganz normal. Die Bewegungen der Tiere gehen in eine Rotation um die Längsachse über; zuletzt hören sie aber ganz auf, und die Tiere fallen gewöhnlich auf den Boden. Die Pulsation der Vakuolen hört am Ende dieser Stufe auf. Die Zilienschläge sind aber noch ganz normal.

3. Dritte Stufe. Das Plasma fängt von den beiden Polen aus an zu koagulieren, so dass man im ganzen Plasma an den Zellpolen ultramikroskopisch die Körnchen (Verdichtung!) deutlich wahrnehmen kann. Der Makronukleus ist noch ganz normal. Die Pulsationstätigkeit der pulsierenden Vakuolen hat aufgehört. Die Zilien schlagen etwas langsamer als vorher.

4. Vierte Stufe. Die Koagulation hat sich schon über das ganze Plasma verbreitet. Auch der Makronukleus fängt an zu erstarren, und das Tier stirbt ab. Die Zilien schlagen nach dem Tode des Tierkörpers noch eine Zeitlang weiter. Später zerfällt das Koagulum des Plasmas in kolloide Phasen, die man mikrochemisch untersuchen kann. Manchmal ist es zu beobachten, wie aus dem erstarrten Koagulum ganz klare flüssige Phasen tropfenweise ausscheiden. In diesen Tropfen kann man nach kurzer Zeit die Entstehung kolloider Teilchen, welche

1) Siehe „Protoplasma“ Bd. I, S. 576.

lebhaft Brownische Bewegungen zeigen, wahrnehmen. Wenn jedoch die Erstarrung des Plasmas bei 45—48° C zu rasch erfolgt, so bleibt das Plasma auch nach dem Tode der Zellen eine kurze Zeit hell und durchsichtig.

Die Aufeinanderfolge dieser vier Phasen kann man bei jeder Temperatur von 35—36° C an, wo das Plasma zu koagulieren anfängt, beobachten. Bei niederen Temperaturen dauern diese Phasen viel länger und man kann hier die Übergänge besser verfolgen, als bei höheren Temperaturen.

Die Hitzeagulation des Paramaecienplasmas geschieht in gewöhnlicher Kulturlösung sehr gleichmässig und ohne irgendwelche plötzliche lokale Schrumpfung, wie man sie bei der Koagulation des Plasmas in Salzlösungen fast immer bemerken kann.

Weiter konnte ich wiederholt feststellen, dass die Koagulation des Paramaecienplasmas auf der ersten und zweiten Stufe reversibel ist und dass die Tierchen, die schon auf den Boden gefallen und unbeweglich waren und in deren Plasma die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen aufgehört hatte, beim Übertragen ins Leitungswasser mit Temperaturen unter 32° C wieder erwachten. Zum Beispiel: Paramaecien, die 16 Minuten lang bei konst. T° 38° C gelebt hatten, wonach fast alle Tierchen unbeweglich auf den Boden gesunken waren, wurden aus dem Experimentierrohr in reines Wasser von 20° C umgegossen. Nach einigen Stunden konnte man schon viele von ihnen in Bewegung sehen; nach 17 Stunden aber waren sie fast alle wieder erwacht. Ein anderes Beispiel: Paramaecien, die 2,5—3 Min. einer Temperatur von 40° C ausgesetzt gewesen waren und unbeweglich auf dem Boden lagen, erwachten nach 6—10 Stunden wieder bei 18° C in Leitungswasser.

Die Wirkung der Temperatur auf die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen.

Besonders auffallend sind bei der Koagulation des Paramaecienplasmas die Veränderungen in der Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen und die Abkürzung ihrer Frequenzzeit bei Temperaturerhöhung, welche Erscheinungen schon von Degen (1905), Zülzer (1907) und Kanitz (1907) beschrieben worden sind. Auch gibt Burian (1924) einen zusammenfassenden Überblick über die Behandlung dieser Frage, woraus ersichtlich ist, dass die Temperaturerhöhung auf die Tätigkeit der pulsierenden Vaku-

olen beschleunigend wirkt, das Steigen der Salzkonzentration in den Kulturlösungen dagegen eine Hemmung in der Tätigkeit und eine Verlängerung der Frequenzzeit hervorruft. Die erwähnten Autoren haben die Frage über die Wirkung der Temperatur auf die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen nur zum Teil geklärt, indem sie ihre Untersuchungen mit verschiedenen Ciliaten nur bis 30—35° C fortgesetzt haben. Wie aber die Pulsation der Vakuolen bei Temperaturen über 35° C vor sich geht, bei denen das Plasma schon zu koagulieren anfängt, darüber konnte ich in der Literatur keine Angaben finden. Es ist ja bekanntlich sehr schwer, bei höheren Temperaturen, schon bei 34—35° C, wo die Tiere äusserst unruhig werden, die Pulsation der Vakuolen zu unterscheiden: um so schwerer ist die Bestimmung der Frequenzzeit bei noch höheren Temperaturen. Da ich über die Plasmakoagulation der Paramaecien bei 35—45° C eingehende Untersuchungen ausführte, konnte ich auch die Bearbeitung dieser Frage bei den erwähnten Temperaturen in Angriff nehmen und sie zum Teil in bezug auf *Paramaecium caudatum* lösen. Später setzte ich meine Untersuchungen in dieser Richtung auch bei niederen Temperaturen bis zu 5° fort.

Um die Bewegungen der Paramaecien aufzuhalten, sind von früheren Autoren verschiedene Mittel angewandt worden: so von Jensen eine verhältnismässig viskose 1—3% Gelatinelösung, von Nierenstein — Filtrierpapierstückchen und Fasern, Baumwollfasern usw., die in den Untersuchungsflüssigkeitstropfen unter dem Deckglase gebracht wurden und an denen die Paramaecien sich tigmotaktisch festhielten. Pütter weist alle diese Hemmungsmittel zurück und empfiehlt die Betrachtung der Tiere in einem freien Flüssigkeitstropfen.

Als ich die obenerwähnten Hemmungsmittel nachprüfte, konnte ich bestätigen, wie es schon Pütter (1900) und Pro-wazek (1901) betont haben, dass diese Mittel einen bedeutenden Einfluss auf die Bewegungen und auch auf das Wohlbefinden der Tiere ausüben. So ist die 1—3% Gelatinelösung unter 15° C schon eine recht viskose Masse, wo die Paramaecien sich sehr unwohl und unruhig fühlen, so dass man die Kontraktion der Vakuolen recht schwer verfolgen kann. Bei diesem unruhigen Umherirren sind die physiologischen Prozesse der Zelle, wie Stoff- und Energiewechsel, bedeutend intensiver, demzufolge ist auch die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen lebhafter. Ebenso

unwohl befinden sich die Tiere an den Fasern oder in den Faserbündeln. Auch hier ist beim Durchdringen zwischen den Fasern die Pulsation der Vakuolen lebhafter und die Frequenzzeiten kürzer als bei den sich frei bewegenden oder sich ruhig verhaltenden Tieren. Darum führte ich meine Untersuchungen, dem Rate Pütters folgend, an den Tropfen der Kulturflüssigkeit ohne Zusatz irgendwelcher Aufhaltungsmittel unter dem Deckglase aus, indem ich die sich frei bewegenden Tiere beobachtete, bis sie sich zufällig an einigen Bakterienhaufen still verhielten, um Nahrung aufzunehmen.

Jensen (1891), Pütter (1911) u. a. haben gezeigt, dass die Pulsationsgeschwindigkeit bei den Paramaecien und den anderen Ciliaten in weiten Grenzen schwanken kann. Um nicht in Irrtum zu verfallen, muss man möglichst viele Einzelbeobachtungen machen und aus diesen die Mittelwerte berechnen; und nur nach den Mittelwerten kann man zu brauchbaren Schlussfolgerungen kommen. Bei meinen Untersuchungen habe ich die Mittelwerte der Frequenzzeiten folgendermassen berechnet. Da die präorale Vakuole bei *Par. caud.* gewöhnlich schneller pulsiert als die kaudale, so bemühte ich mich die Pulsationsgeschwindigkeit der beiden Vakuolen bei jedem Tiere, wo es möglich war, zu bestimmen und aus diesen die Mittelwerte für das Tier zu berechnen. Es ist aber — besonders bei höheren Temperaturen — sehr schwer die Frequenzzeiten der beiden Vakuolen bei jedem Tier zu bestimmen, und so wurden auch die einzelnen Frequenzzeiten der präoralen oder kaudalen Vakuolen der verschiedenen Tiere getrennt verzeichnet. Aus den einzelnen Beobachtungsdaten könnten ja auch die Mittelwerte der Frequenzzeiten bei bestimmten Temperaturen für die präoralen und kaudalen Vakuolen berechnet werden usw.

In den Tabellen 5 und 6 sind zu allen Temperaturangaben vier Reihen von Daten gegeben: unter a) und b) sind die Frequenzzeiten ein und desselben Tieres verzeichnet, und zwar so, dass die untereinander stehenden Zahlen unter a) und b) von ein und demselben Tiere stammen: die erste Zahl in der Reihe a) und die erste Zahl in der Reihe b) von einem Tier, die zweite Zahl in der Reihe a) und die zweite Zahl in der Reihe b) von einem zweiten Tier usw. In den Reihen c) und d) sind diejenigen Frequenzzeiten der präoralen und kaudalen Vakuolen verzeichnet, die von verschiedenen Tieren stammen. In der vierten Spalte stehen die Mittelwerte, die aus den Reihen a),

b), c), und d) berechnet sind, während in der fünften und sechsten Spalte die aus den Angaben der vierten Spalte berechneten Mittelwerte der präoralen und kaudalen Vakuolen sich befinden. Die siebente Spalte enthält die mittleren Frequenzzeiten für ein ideales Tier, die aus den mittleren Frequenzzeiten der präoralen und kaudalen Vakuolen (fünfte und sechste Spalte) berechnet sind. Nach den Angaben der siebenten Spalte sind die Kurven in Fig. 8 gezeichnet worden. In der letzten Spalte stehen die aus der siebenten Spalte berechneten Pulszahlen in einer Minute, nach welchen die Kurven in Fig. 9 ausgeführt sind.

Bei Temperaturen über 40°C war es unmöglich, bei einem Tiere die Pulsation der beiden Vakuolen zu verfolgen, da hier die Tiere sehr unruhig sind. Hier sind die Frequenzzeiten nur betreffs zufällig beobachteter Tiere angegeben. Und da das Paramaecienplasma bei Temperaturen über 40° sehr bald zu koagulieren beginnt, und im Zusammenhang mit dieser Erscheinung auch die Pulsationsgeschwindigkeit sich ändert, die Pulsation langsamer wird und zuletzt zum Stillstand kommt, so sehen wir in den letzten Reihen ganz verschiedene Zahlen, wobei das Ausbleiben der Vakuolentätigkeit durch ∞ angedeutet ist. Die Berechnung der Mittelwerte aus diesen Angaben hat keinen Sinn mehr.

Es muss noch bemerkt werden, dass man bei Temperaturen über $35\text{--}37^{\circ}\text{C}$ die Paramaecienpräparate nur eine sehr kurze Zeit beobachten kann und die neuen Beobachtungen immer mit frischen Präparaten beginnen muss, wo die Paramaecien noch unbeschädigt sind.

Aus den Angaben der Tabelle 5 können wir folgendes ersehen:

1) Im allgemeinen ist bei allen Temperaturen die Pulsation der präoralen Vakuolen schneller als die der kaudalen. Aber man kann in der Tabelle auch Fälle finden, wo die beiden Vakuolen mit gleicher Geschwindigkeit pulsieren oder sogar umgekehrt — die kaudalen schneller als die präoralen. Solche Fälle konnte ich besonders bei Temperaturen von $39\text{--}40^{\circ}$ beobachten, wenn die Oberschicht des Plasmas an dem einen Pol der Zelle früher zu erstarren begonnen hatte, als an dem anderen Pol. Manchmal kommen aber auch Paramaecien vor, die mehr als zwei (am häufigsten drei!) pulsierende Vakuolen besitzen. In diesen Fällen pulsieren die zwei an dem einen Pol der Zelle sich befindenden Vakuolen langsamer als die eine am anderen Pol.

Tabelle 5.
Paramaecium caudatum in der Kulturflüssigkeit.

Temperatur C		Frequenzzeiten in Sekunden	Mittelwerte	Mittelwerte d. präor. Vakuole	Mittelwerte d. kaud. Vakuole	Mittelwerte für das Tier	Pulszahl in einer Minute
50	a) präor. } b) kaud. }	127 ; 165.6; 160 ; 165 ; 163.2; 157 ; 168.2; 160 ; 170.4; 169 ;	156.16 164.3	151	161.8	156.4	0.38
	c) präor. d) kaud.	131 ; 125.5; 138 ; 155 ; 180 ; 135 ; 129 ; 172.5; 178 ; 182 ;	145.9 159.3				
100	a) präor. } b) kaud. }	42.6; 43.1; 44 ; 43.2; 38.6; 45.2; 44.3; 46.6; 42.9; 35.4;	42.3 42.9	44.4	48.1	46.25	1.3
	c) präor. d) kaud.	35.6; 37.4; 48 ; 53.5; 57.6; 43.5; 49.3; 56.5; 58.4; 59 ;	46.4 53.3				
150	a) präor. } b) kaud. }	23.4; 24.6; 26.4; 27 ; 28.2; 28.6; 26.8; 29 ; 29.6; 32 ;	25.9 28.6	26.4	28	27.2	2.2
	c) präor. d) kaud.	26.7; 21.6; 25.8; 29.4; 31 ; 22.6; 24.3; 27.9; 28.2; 34.2;	26.9 27.5				
200	a) präor. } b) kaud. }	13.5; 13.6; 12.5; 10 ; 10.2; 13.5; 13.8; 14 ; 12 ; 12.4;	11.9 13.1	11.9	13.25	12.6	4.75
	c) präor. d) kaud.	10 ; 10.4; 13.6; 12 ; 14.1; 12 ; 12.6; 13 ; 14.6; 15 ;	12 13.4				
250	a) präor. } b) kaud. }	7.6; 8 ; 8.2; 8.4; 9 ; 8.5; 9 ; 9.2; 9.6; 10.2;	8.3 9.3	8.2	9.4	8.8	6.8
	c) präor. d) kaud.	7 ; 8.2; 7.6; 8 ; 9.5; 8 ; 9.4; 9.5; 10.2; 11 ;	8.1 9.6				
300	a) präor. } b) kaud. }	6 ; 6.5; 6.8; 8 ; 6 ; 7.5; 6.5; 7.6; 8.6; 7 ;	6.6 7.4	6.2	7.3	6.7	8.8
	c) präor. d) kaud.	5 ; 5.4; 5.5; 5.8; 7.8; 6 ; 6.5; 7.5; 8 ; 8.6;	5.9 7.3				
350	a) präor. } b) kaud. }	5.1; 5.2; 5.2; 5.8; 6.2; 6.2; 6.4; 6 ; 6.9; 7.2;	5.5 6.5	5.8	6.5	6.1	9.8
	c) präor. d) kaud.	5 ; 5.6; 6 ; 6.5; 7.2; 5.9; 6.0; 6.5; 7 ; 7.2;	6.1 6.5				
380	a) präor. } b) kaud. }	5.2; 5.5; 5.8; 6 ; 6 ; 5.4; 5.5; 6.0; 6.5; 7.5;	5.7 6.2	5.7	6.1	5.9	10.1
	c) präor. d) kaud.	5 ; 5.6; 5.8; 6.0; 6.2; 5 ; 5.2; 5.7; 6.0; 8.0;	5.6 6.0				
400	a) präor. } b) kaud. }	5 ; 5 ; 5.2; 5.8; 4.5; 5.3; 5.5; 5.5; 6.5; 6.0;	5.1 5.7	5.1	5.7	5.4	11.0
	c) präor. d) kaud.	4.6; 5 ; 5.2; 5.5; 5.8; 4.5; 5.6; 6.0; 6.0; 7.0;	5.2 5.8				
40-430	c) präor. d) kaud.	4; 8.5; 9; 17; 13.6; 27.8 ∞ 6.2; 9.8; 19; 23; ∞ ∞ ∞					

Wenn wir aber die individuellen Schwankungen bei der Pulsation der Vakuolen berücksichtigen, so können wir fast bei allen Temperaturen einige Fälle beobachten, wo die präorale Vakuole bei einem Tiere langsamer pulsiert, als die kaudale bei einem anderen Tiere. Gewöhnlich ist die Pulsationstätigkeit in kleineren Paramaecien lebhafter als in grösseren.

2) Die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen wird durch das Steigen der Temperatur beschleunigt.

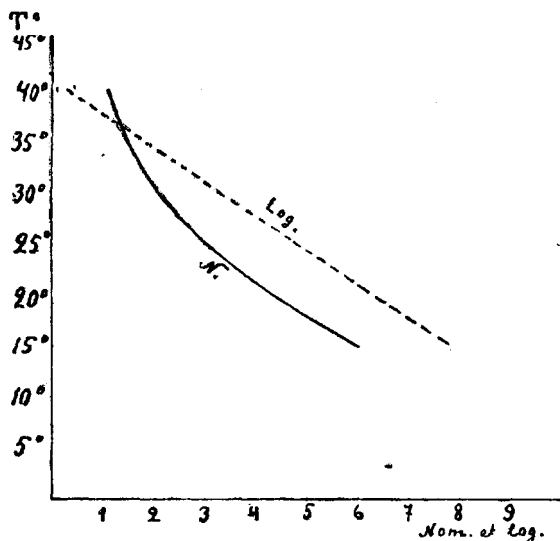


Fig. 7.

nigt. Diese Beschleunigung ist aber nicht proportional der Temperaturerhöhung und steigt nicht gleichmässig bei allen Temperaturen. Auch folgt sie nicht der Vant' Hoff'schen RGT-Regel, wie dies schon von Kanitz (1907) nachgewiesen worden ist. Und wenn wir aus den Angaben der Tabelle 5 die Werte Q_{10}^0 berechnen, dann sehen wir, dass letztere bei niederen Temperaturen viel grösser sind als bei höheren:

Q_{10}^0 bei	5°—15° C	— 5,78 (6)
" "	15°—25° "	— 3,08 (3)
" "	25°—35° "	— 1,44 (1,5)
" "	30°—40° "	— 1,14 (1—1,2)

Diese Zahlen zeigen uns, dass die Pulsationstätigkeit bei niederen Temperaturen viel schneller steigt als bei höheren Temperaturen (Fig. 7). Wenn wir statt der Bruchzahlen ihre ab-

gerundeten ganzen Werte nehmen (die in Klammern gegebenen Zahlen!) und wenn wir nach den Logarithmen der letzteren eine Kurve zeichnen, dann erhalten wir eine gerade Linie (Fig. 7).

Mit dem Steigen der Temperatur werden auch die Kontraktionszeiten der pulsierenden Vakuolen kürzer. Bei 5° — 15° geschieht die Kontraktion in $4''$ — $3''$, bei 20° — 30° — in $3''$ — $2''$, bei 30° — 35° — in $2''$ — $1,5''$, über 35° — noch schneller.

3) Vor dem Tode der Paramaecien werden die Frequenzzeiten der Pulsation wieder langsamer und nach einigen immer langsamer werdenden Schlägen hört sie ganz auf.

Wenn wir jetzt nach den Ursachen der Frequenzzeitsveränderung fragen, dann können wir in der Literatur die von Kautz (1907) geäußerte Meinung finden, nach welcher die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen von den im Plasma sich abspielenden chemischen Stoffwechselprozessen abhängig ist. Mit dem Steigen der Temperatur werden die Stoffwechselprozesse lebhafter, und demgemäss werden mehr osmotisch wirksame Abbauprodukte gebildet, welche mehr Wasser in die pulsierenden Vakuolen ziehen. Dieser Erwägung gemäss muss die Pulsationsgeschwindigkeit der Vakuolen regelmässig parallel mit dem Steigen der Temperatur bis zum Tode der Tiere wachsen, was in der Tat aber nicht der Fall ist.

Aus den Untersuchungen von Heilbrunn (1914) ist bekannt, dass die Viskosität des Pflanzenplasmas bei Temperaturen über 35° C rasch steigt. Eine ähnliche Viskositätssteigerung hat Heilbrunn (1923) bei Temperaturen über 30° C bei Cumingia-Eiern festgestellt. Und wenn wir die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen ultramikroskopisch verfolgen, dann können wir direkt beobachten, wie die Pulsation der Vakuolen mit dem Beginn der Koagulation des Plasmas und gerade in der Zeit, wo die Plasmaober-schicht sich verdichtet (ultramikroskopisch sichtbar!) und ihre Viskosität auch merklich gestiegen sein muss, — langsamer wird und parallel mit dem Fortschreiten der Plasmaerstarrung schliesslich aufhört (das Ende der zweiten Koagulationsstufe!). So muss mit dem Steigen der Temperatur und mit dem Wachsen der Viskosität des Plasmas das Auspressen des Wassers aus den pulsierenden Vakuolen, resp. das Platzen des Plasmas erschwert und die Pulsationstätigkeit der Vakuolen gehemmt werden. Endlich, wenn die Viskosität des Plasmas dem osmotischen Druck

in den pulsierenden Vakuolen standhält, bleibt das Platzen des Plasmas und die Pulsation der Vakuolen aus. Durch die Viskositätsveränderung in den Plasmaoberschichten kann ebenso erklärt werden, weshalb die Pulsation der Vakuolen in Tanninlösung sehr verlangsamt und die Volumina der Vakuolen vergrößert werden.

Die zweite Frage ist: woher stammt das Wasser, das sich in den pulsierenden Vakuolen ansammelt?

Es ist von manchen Forschern (Lepeschkin, Kaho) gezeigt worden, dass mit dem Steigen der Temperatur die Permeabilität des Plasmas in bezug auf Wasser und Salze gesteigert wird. So kann man annehmen, dass mit dem Steigen der Temperatur das Wasser aus der Umgebung in grösseren Mengen durch das Plasma eindringt und sich auch in den pulsierenden Vakuolen ansammelt; infolgedessen muss aber auch die Pulsationstätigkeit der pulsierenden Vakuolen steigen. Und schon Zülzer (1907) hat bewiesen, dass das Wasser osmotisch durch das Plasma aus der Umgebung in die Vakuolen eindringt. Er hat nämlich gezeigt, dass man die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen bei verschiedenen Ciliaten durch Steigerung der Salzkonzentration in der Umgebung verlangsamen oder sogar zum Stillstand bringen kann.

Dass das Wasser nicht nur bei der Oxydation der in den Nährvakuolen sich befindenden Kohlehydrate entsteht, konnte ich noch folgendermassen zeigen: als ich die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen bei gut ernährten Paramaecien und bei solchen, die 36—40 Stunden in reinem Wasser gehungert hatten, so dass ihre Nährvakuolen fast leer waren, bei 20°, 36° und 38° C verfolgte, konnte ich keinen merklichen und die gewöhnlichen Pulsationsschwankungen übersteigenden Unterschied feststellen.

Die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen bei *Paramaecium caudatum* wird aber ausser der Temperatur noch von manchen anderen Faktoren, so z. B. von der Zusammensetzung des Mediums, beeinflusst.

Wie schon erwähnt, hängt die Pulsationsgeschwindigkeit der Vakuolen von der Salzkonzentration der Flüssigkeit, in der die Paramaecien sich befinden, ab. Dass aber nicht nur die Elektrolyte, sondern auch die Anelektrolyte dabei von Bedeutung sind, kann man aus der Tabelle 6 ersehen, wo Angaben über die Pulsationstätigkeit der Paramaecienvakuolen in 1—1,5 % Gelatinelösung bei verschiedenen Temperaturen aufgeführt sind. Die Tabelle 6 ist analog der Tabelle 5 zusammengestellt, und

Tabelle 6.
P. caud. in 1—1,5% Gelatinelösung.

Temperatur C	Die Frequenzzeiten in Sekunden	Mittelwerte	Mittelwerte d. präor. Vakuole	Mittelwerte d. kaud. Vakuole	Mittelwerte f. das Tier	Pulszahl in 1 Minute
70	a } b }	40,0; 41,3; 42,0; 45 ; 47 ; 43,5; 45,0; 43,3; 50 ; 58 ;	43	43,4	45,8	1,3
	c d	40,0; 41,2; 42,5; 44,7; 50 ; 42,6; 43 ; 46,5; 49 ; 63,7;	43,8 48,9			
100	a } b }	18,0; 18,6; 21,0; 24,1; 26,3; 25,0; 26,5; 27,0; 28,0; 29,2;	21,6 27,1	21,3	26,6	2,5
	c d	19,5; 19,6; 20,0; 20,8; 25,6; 19,8; 21,3; 28,0; 30,0; 31,6;	21,1 26,1			
150	a } b }	13,4; 14,0; 16,0; 18,0; 20,2; 16,0; 16,8; 18,3; 19,0; 23,0;	16,3 18,6	16,6	18,3	3,4
	c d	15,0; 15,5; 17,0; 18,2; 19,5; 16,5; 17,3; 17,9; 21,0; 24,0;	17,0 19,1		17,4	
200	a } b }	12,0; 12,5; 14,0; 14,2; 15,0; 13,0; 13,8; 14,0; 16,0; 17,8;	13,5 14,9	13,3	15,0	4,2
	c d	12,0; 12,4; 13,0; 14,1; 14,6; 13,6; 15,0; 15,2; 14,0; 18,0;	13,2 15,2			
250	a } b }	9,1; 9,8; 10,3; 11,5; 12,0; 11,6; 12,0; 13,0; 12,2; 13,0;	10,5 12,5	10,6	12,4	5,3
	c d	9,2; 10,8; 11,5; 12,0; 10,0; 10,0; 12,4; 13,0; 12,8; 13,3;	10,7 12,3		11,5	
300	a } b }	7,0; 7,2; 8,0; 9,2; 10,0; 8,0; 8,5; 9,0; 9,0; 10,5;	8,2 9,0	8,1	8,9	7,0
	c d	7,0; 7,9; 8,1; 8,2; 9,0; 8,1; 8,3; 8,6; 9,0; 10,0;	8,0 8,8		8,5	
350	a } b }	5,1; 5,2; 5,5; 6,0; 6,5; 5,8; 6,0; 5,5; 6,8; 8,2;	5,6 6,4	5,7	6,7	9,6
	c d	5,0; 5,6; 5,8; 6,0; 7,0; 5,6; 6,1; 6,6; 8,2; 8,5;	5,9 7,0		6,2	
370	a } b }	5,0; 5,0; 5,2; 5,8; 6,5; 5,0; 5,2; 5,0; 5,5; 7,0;	5,5 5,5	5,6	5,8	10,3
	c d	4,5; 5,0; 5,6; 6,0; 6,2; 5,3; 6,0; 6,2; 6,5; 6,6;	5,8 6,1		5,7	
400	a } b }	4,6; 4,9; 5,0; 5,5; 5,5; 4,9; 5,0; 5,2; 5,6; 5,8;	5,1 5,5	5,2	5,6	11,1
	c d	4,8; 5,2; 5,3; 5,5; 5,5; 5,0; 5,6; 5,7; 5,9; 6,3;	5,3 5,7		5,4	
40-42	c d	4,2; 5,0; 8,6; 11; 17; 26; 30; 4,5; 4,8; 6 ; 9; 18; 30; 30				

in den Hauptzügen kann man hier dieselben Erscheinungen, die bei der Analyse der Tabelle 5 in 3 Punkten formuliert wurden, finden, nämlich dass die Pulsationstätigkeit der Vakuolen mit dem Steigen der Temperatur wächst, kurz vor dem Tode der Tiere schwächer wird und zuletzt ganz aufhört. Im einzelnen kommen aber merkbliche Unterschiede vor; besonders charakteristisch ist es, dass die Pulsation der Vakuolen in 1—1,5% Gelatinelösung bei Temperaturen unter 20° viel lebhafter ist, als in der Kulturlösung, bei solchen über 20° dagegen etwas langsamer.

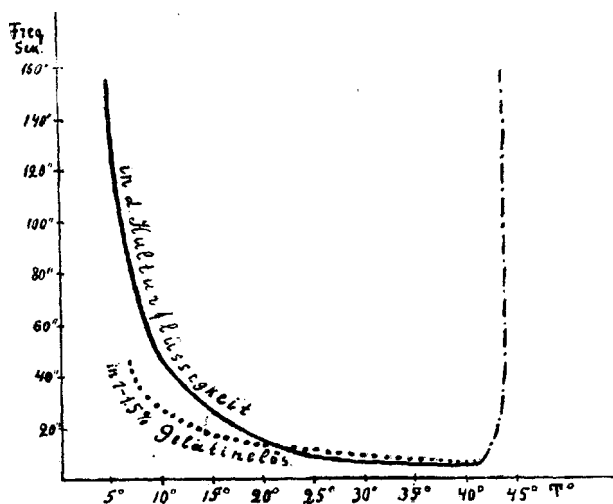


Fig. 8. Die Pulsationsgeschwindigkeit der Vakuolen bei verschiedenen Temperaturen in der Kulturlösung und in Gelatinelösung.

Diese Unterschiede kommen noch besser zum Ausdruck in den Kurven der Fig. 8, die nach den Angaben der siebenten Spalten, aber auch in den Kurven der Fig. 9, die nach den Angaben der letzten Spalten der Tabellen 5 und 6 gezeichnet sind. Dass bei Temperaturen unter 20° die Pulsationstätigkeit der Vakuolen bei den Paramaecien in der Gelatinelösung lebhafter ist als in der Kulturlösung, hängt davon ab, dass die Paramaecien in der Gelatinelösung, die schon bei 20—15° erstarrt, sehr unruhig sind und mit aller ihrer Kraft sich in der erstarrenden Gelatinelösung vorwärts zu bewegen bemühen. Natürlich ist dabei auch ihr Stoff- und Energiewechsel lebhafter. Daher muss hier die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen mit dem Stoff- und Energiewechsel in

Zusammenhang gestellt werden, und die von Kanitz und Burian ausgesprochene Meinung hier eine Bestätigung finden. Warum aber in der Gelatinelösung bei Temperaturen über 20° die Pulsation der Vakuolen langsamer verläuft als in der Kulturlösung, ist schwerer zu erklären.

Die Kurven der Fig. 9 sind typische eingipflige biologische Kurven, wo das Steigen und das Sinken von zwei verschiedenen Faktoren oder Faktorengruppen abhängt. Das Steigen der Kurven

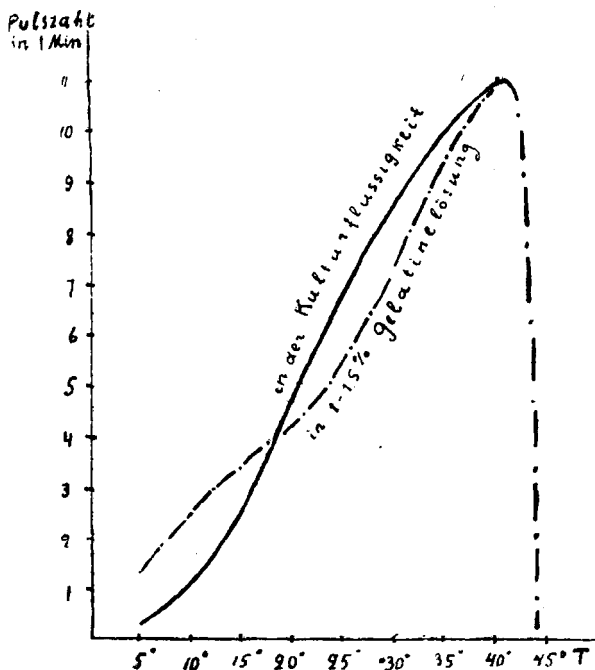


Fig. 9. Die Pulsationsgeschwindigkeit der Vakuolen bei verschiedenen Temperaturen in der Kulturlösung und in Gelatinelösung.

ist hier durch die Temperaturerhöhung und die von der Temperatur abhängigen und sich im Plasma abspielenden Prozesse, wie Stoff- und Energiewechsel, Permeabilität und Viskosität des Plasmas, aber wahrscheinlich auch durch manche andere Faktoren verursacht. Ebenso muss das rasche Sinken der Kurven auch von biologischen Faktoren abhängen. Früher wurde behauptet, dass die Viskosität des Plasmas, die mit dem Steigen der Temperatur bei 40° rasch wächst, als ein zu dieser Gruppe gehöriger Faktor angesehen werden kann. Mit dem Aufhören der Pulsation sam-

meln sich die Abbauprodukte des Plasmas in der Zelle und bringen, durch die Wirkung der Temperatur unterstützt, das Plasma zur Deformation und Koagulation, resp. zum Tode.

Wie gesagt, bleibt die Pulsation der Vakuolen auf der zweiten Koagulationsstufe aus. Es gelang mir wiederholt, die eingestellte Pulsation der Vakuolen durch Erniedrigung der Temperatur des Wärmetisches wieder hervorzurufen und damit den besten Beweis für die Reversibilität der Plasmakoagulation in den ersten zwei Phasen zu liefern. Einige Beispiele können diese Erscheinung illustrieren:

1) Nach ca 10 Min., während die Paramaecien unter dem Mikroskope bei 39° betrachtet wurden, waren sie angeschwollen und unbeweglich; nachdem die Pulsation der Vakuolen aufgehört hatte, wurde die Temperatur des Wärmetisches auf 33—32° C erniedrigt. Nach einigen Minuten fingen die Vakuolen wieder an zu pulsieren. Die notierten Frequenzzeiten der präoralen Vakuole von einem Tiere waren:

34" → 33" → 27" → 21" → 13.4" → 10".

2) Nach dem Aufhören der Pulsation wurde die Temperatur von 39,2° auf 34° erniedrigt. Die Frequenzzeiten der von neuem zur Pulsation gekommenen kaudalen Vakuole waren: 39" → 33" → 25" → 11". Jetzt wurde die Temperatur des Wärmetisches wieder bis auf 39° erhöht und das letzte Tier unter dem Mikroskope betrachtet, bis die Pulsation der Vakuolen wieder aufhörte, und dann zum zweitenmal die Temperatur auf 33—32° erniedrigt. Nach einigen Minuten kamen die pulsierenden Vakuolen auch hier wieder in Tätigkeit; die Frequenzzeiten der kaudalen Vakuolen waren: I Freq. 75", III — 65", V — 150", bei VI blieb die Pulsation aus und die Zelle platzte.

Daher muss man die durch Temperatur hervorgerufenen Pulsationsveränderungen bei den Paramaecien als eine sehr wichtige Erscheinung bei der Plasmakoagulation ansehen.

Ultramikroskopische Untersuchungen der Plasmakoagulation.

Weiter verfolgte ich ultramikroskopisch den Verlauf der Koagulation des Paramaecienplasmas in verschiedenen Alkalien und Säuren, in Alkohol und Tanninlösungen und zuletzt in

hypertonischen Neutralsalzlösungen. Dabei konnte ich feststellen, dass die Koagulation in diesen verschiedenen Lösungen in gar mancher Hinsicht sich von der Hitzekoagulation in der Kulturlösung unterscheidet.

Die Plasmakoagulation in alkalischen Lösungen.

In den Hauptzügen ist der Verlauf der Koagulation des Paramaecienplasmas in der Kulturlösung, zu der so viel Alkalie hinzugefügt wurde, bis die OH' -Ionenkonzentration auf pH 8.6—9.0 stieg, folgender, wobei die Koagulationsgeschwindigkeit mit der Erhöhung der OH' -Ionenkonzentration in der Lösung steigt.

In NH_4OH -Lösung sind die Paramaecien bis zum Anfang der Koagulation ihres Plasmas nicht besonders unruhig. Nach sehr kurzer Zeit (je nach der Konzentration der Lösung) fängt der Zellkörper an zu schwellen. Dabei wachsen auch die Volumina der pulsierenden Vakuolen und ihre Tätigkeit wird allmählich langsamer. Dann fängt das Plasma von der Zelloberfläche (unter der Pellicula) an zu koagulieren; dabei werden die Paramaecien sehr unruhig und ihre Bewegungen unregelmässig. Zu dieser Zeit ist die Koagulation des Plasmas schon so weit vorgeschritten, dass der Makronukleus kaum zu sehen ist. Letzterer ist dabei blasser geworden, und man kann ihn leicht vom Plasma unterscheiden; stets ist in diesem Moment in ihm die Brownsche Bewegung zu bemerken. In vielen Fällen stehen die Paramaecien erst jetzt still, indem das Plasma platzt. Nach dem Erstarren des Plasmas werden auf der Zelloberfläche tropfenförmige flüssige Phasen, in denen man die Brownsche Bewegung der Kolloidteilchen gut wahrnehmen kann, aus dem Koagulum ausgeschieden; auch löst sich dabei koaguliertes Plasma von der klaren und ungeronnenen Pellicula ab. Die Tätigkeit der Zilien — besonders beim Cytostom — setzt sich noch dann fort, wenn das erstarrte Plasma schon zu zerfließen beginnt. Auf dem Wärmetische bei höheren Temperaturen verläuft die Koagulation in NH_4OH -Lösung viel schneller und unterscheidet sich vom oben beschriebenen Verlauf noch dadurch, dass der Makronukleus hier verhältnismässig früher erstarrt.

In KOH -Lösung verläuft die Koagulation des Paramaecienplasmas bei Zimmertemperatur fast ganz analog derjenigen in NH_4OH -Lösung. Nur in einigen Details ist sie etwas verschiedenen. So z. B. ist das Anschwellen und die Dilatation der pulsie-

renden Vakuolen hier bedeutend grösser als in NH_4OH -Lösung. Manchmal kann man in KOH -Lösung — ähnlich wie bei der Koagulation in hypertonen Salzlösungen — einige krampfartige „Zuckungen“ oder Einsturzbildungen wahrnehmen. Bemerkenswert ist, dass die pulsierenden Vakuolen hier sehr lange Zeit, manchmal bis zum Platzen der Zelle, tätig sind, obgleich die Pulsation sehr langsam vor sich geht. Bei höheren Temperaturen geht die Koagulation viel schneller vor sich, und man kann hier fast alle Einzelheiten — ebenso wie bei Zimmertemperatur — feststellen.

In NH_2CH_3 -Lösung unterscheidet sich die Koagulation von derjenigen in den oben erwähnten Basen nur dadurch, dass das Plasma und der Makronukleus fast gleichzeitig erstarren. Ähnlich wie in KOH -Lösung, kann man auch hier bei der Koagulation im Plasma Einsturzbildungen wahrnehmen.

Zusammenfassend können wir sagen, dass die Plasmakoagulation in den oben erwähnten Alkalilösungen von der Zelloberfläche anfängt und zentripetal weiterschreitet. Die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen dauert fast bis zum Tode und bis zum Platzen des Plasmas fort. Die Zilien schlagen eine verhältnismässig lange Zeit postmortal autonom weiter.

Was die Koagulationsstufen anbetrifft, so ist es hier unmöglich, analog der Hitze-koagulation, vier Stufen zu unterscheiden, weil viele Merkmale, wie z. B. die charakteristischen Bewegungen der Tiere (und auch die Pulsationstätigkeit der Vakuolen), hier ganz anders sind, als bei der Hitze-koagulation in der Kulturlösung.

Die Plasmakoagulation in Säurelösungen.

In Salz-, Schwefel-, Wein- und Zitronensäurelösungen ist der Verlauf der Koagulation demjenigen bei Zimmertemperatur in den Hauptzügen sehr analog, unterscheidet sich aber bedeutend von der Hitze-koagulation in Kulturlösungen und von der Koagulation in Laugen.

Zunächst kann man beobachten, dass nicht nur die Geschwindigkeit der Koagulation, sondern auch manche andere Koagulationserscheinungen von der Säurekonzentration abhängig sind. So z. B. bleibt das Plasma in höheren Säurekonzentrationen auch dann noch ungeronnen und ganz durchsichtig, wenn der Makronukleus schon erstarrt und die Tierzelle abgestorben ist. Auch platzen die Tierzellen in höheren Säurekonzentrationen verhält-

nismässig sehr früh, manchmal schon bevor die pulsierenden Vakuolen ihre Tätigkeit eingestellt haben.

Ein typischer Verlauf der Koagulation des Paramaecienplasmas in Säurelösungen (1 Vol. Kulturlösung + 1 Vol. 0,005 n. HCl) ist etwa folgender: Die Tiere sind anfangs unruhig, dann aber werden ihre Bewegungen immer langsamer, bis sie ganz zum Stillstand kommen. Ihre Körper schwellen an (in organischen Säuren weniger als in anorganischen). Die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen wird immer langsamer, bis sie beim Erstarren des Makronukleus ganz aufhört. Es wurden folgende Frequenzzeiten notiert: 20" → 25" → 31" → 40" → 62" → ∞.

Der Makronukleus fängt gewöhnlich früher an zu erstarren als das Plasma. Man kann im einzelnen gut beobachten, wie die bläuliche flüssige Konsistenz des Makronukleus allmählich blasser wird, wie ihre Grenzen sich immer deutlicher von dem klaren Plasma abheben und wie dann die Kolloidteilchen und Granulas in ihm eine lebhaft Brownsche Bewegung zeigen. Wenn diese Bewegung aufhört, ist der Makronukleus schon ganz erstarrt. Der Mikronukleus ist aber dabei noch durchsichtig und normal. In jener Zeit, wo die Brownsche Bewegung im Makronukleus noch zu sehen ist, beginnt auch das Cytoplasma von der Oberfläche — unter der Pellicula — an zu koagulieren. Das Koagulum der äussersten Schichten ist sehr feinkörnig und nur ultramikroskopisch bei K 20×58 zu sehen, die Kolloidteilchen liegen sehr dicht nebeneinander; im inneren Teile bleibt das Plasma aber flüssig und durchsichtig. Nur in anorganischen Säurelösungen konnte ich manchmal auch im Plasma bei der Koagulation einzelne Einsturzbildungen wahrnehmen. Die Pellicula ist zur Zeit der Koagulation des Cytoplasmas noch durchsichtig und ungeronnen. Später kommen in der Pellicula radiale Striche zum Vorschein, und dann geht sie in feinkörniges Koagulum über. Nach der Koagulation der Pellicula platzen die Paramaecienzellen. Dabei scheiden sich aus dem Koagulum flüssige Phasen tropfenweise aus. Manchmal löst sich das koagulierte Plasma von der Pellicula ab. Solange die Pellicula noch ungeronnen ist, schlagen die Zilien regelmässig und kräftig; nach dem Erstarren der Pellicula werden aber ihre Schläge immer schwächer, eine kurze Zeit sind bei ihnen noch schwache wellenartige Bewegungen bemerkbar, dann aber werden die Zilien still und fallen leicht von der koagulierten Pellicula ab.

Auf dem Wärmetische — bei höheren Temperaturen — geht die Plasmakoagulation in den Einzelheiten analog der obenbeschriebenen vor sich, verläuft aber viel schneller.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Koagulation des Paramaecienplasmas in Säurelösungen zentrifugal verläuft: zuerst beginnt der Makronukleus zu koagulieren, dann erstarrt das Cytoplasma, weiter die Pellicula und zuletzt das Zilienplasma.

Die Koagulation in $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.

In 10% Alkohol koaguliert das Plasma der Paramaecienzellen bei Zimmertemperatur fast momentan. Dabei löst sich das koagulierte Plasma von der Pellicula ab und zieht sich stark zusammen. In 5% Alkohol verläuft die Koagulation langsamer, und man kann hier die Einzelheiten dieses Prozesses näher verfolgen.

I. Die Bewegungen der Paramaecien sind anfangs sehr lebhaft, werden dann aber nach kurzer Zeit langsamer und gehen in Rotation um die Längsachse über. Der Tierkörper schwillt bedeutend an. Das Plasma und der Makronukleus sind durchsichtig und normal, man kann aber im Plasma sehr lebhaft Strömungen wahrnehmen.

II. Eine sehr dünne obere Schicht des Plasmas unter der Pellicula nimmt eine feingranulöse Struktur an. Die Pulsation der Vakuolen wird dabei immer langsamer, während die Volumina der Vakuolen grösser werden. Das innere Plasma ebenso wie der Makronukleus sind von normalem Aussehen.

III. Der Makronukleus wird granulös, und man kann ihn deutlich vom Cytoplasma unterscheiden. Das Cytoplasma fängt von den Polen an zu koagulieren. Die Pulsation der Vakuolen hat aufgehört.

IV. Der Makronukleus ist erstarrt. Auch das Plasma ist kaum noch durchsichtig, denn es geht jetzt sehr rasch in Erstarrung über. Die Zilien schlagen noch eine kurze Zeit weiter, bis die Zelle platzt.

Aus dieser Beschreibung kann man schliessen, dass die Koagulation des Paramaecienplasmas in alkoholischer Lösung sehr ähnlich der Hitzekoagulation in der Kulturlösung verläuft.

Die Koagulation in Tanninlösung.

Eigenartig verläuft die Koagulation des Paramaecienplasmas in eiweissfällender Tanninlösung.

In 0,05 % Tanninlösung werden die Paramaecien fast momentan bewegungslos; ihre Körper schwellen sehr bedeutend an, die Pulsation der Vakuolen hört auf, die pulsierenden Vakuolen selber nehmen eine abnorme Grösse an (siehe Fig. 10). Von den Zilien schlagen nur diejenigen, die sich in der Umgebung der Cytopharinx befinden, noch eine kurze Zeit weiter. Da die Oberschicht des Plasmas sehr dicht und undurchsichtig geworden ist, so ist man nicht imstande das Innere der Zelle zu sehen.

Aus dem erstarrten Plasma scheidet sich eine flüssige Phase

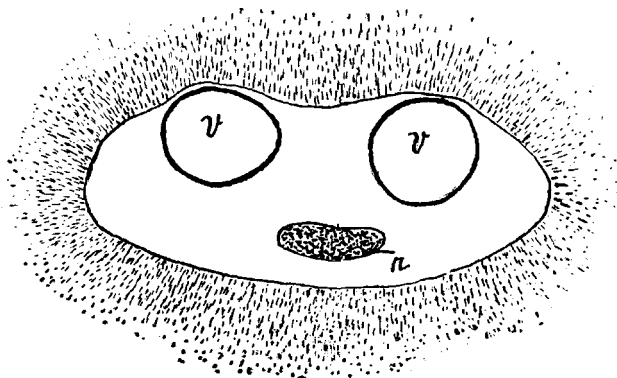


Fig. 10.

aus, welche vom Tannin in sehr feinen Nadeln, die nur ultramikroskopisch sichtbar sind, ausgefällt wird. Von diesen feinen nadelförmigen Gebilden, auf denen man noch kleine Körnchen wahrnehmen kann, werden die Tierzellen wolkenartig umhüllt. Nach einer halben Stunde sammelt sich an der Oberfläche der Flüssigkeit (= Paramaecienkultur + Tannin) eine dünne elastische Schicht, während die Lösung selbst eine gelbliche und opaleszierende Farbe annimmt.

In 0,005 % Tanninlösung geht die Plasmakoagulation viel langsamer vor sich, und hier kann man auch die Einzelheiten der Koagulation besser verfolgen.

I. Die Bewegungen der Paramaecien verlangsamen sich, während die Tierzellen schwach anschwellen. Die Frequenzzeiten

der pulsierenden Vakuolen werden immer länger. Die Zilienschläge sind noch verhältnismässig kräftig.

II. Die Paramaecien sind schon unbeweglich, die Zilienschläge aber noch ziemlich lebhaft, die Zellen bedeutend angeschwollen. Die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen ist viel schwächer geworden. So wurde bei 20° C eine Frequenzzeit der kaudalen Vakuole von 139 Sekunden notiert (die norm. Pulsationsfrequenz ist 12"—13"!), während die präorale Vakuole ihre Pulsation schon eingestellt hatte. Man kann hier direkt beobachten, wie das Plasma an seiner Oberfläche immer zäher wird, so dass das Platzen über den pulsierenden Vakuolen allmählich immer schwerer vor sich geht. In den Ampullen aber sammelt sich die Flüssigkeit, die mit grosser Schwierigkeit in die Vakuole eingepresst wird. Dabei geschieht die Kontraktion der einzelnen Ampullen nicht mehr regelmässig und gleichzeitig. Die pulsierenden Vakuolen haben sich deutlich vergrössert. Der Makronukleus ist kaum noch durch das dichte Plasma zu sehen; doch konnte man manchmal wahrnehmen, dass er + granulös geworden war und dass die Körnchen eine Brownsche Bewegung zeigten.

III. Die Tiere sind unbeweglich, die Zilien schlagen sehr schwach, die Pulsation der Vakuolen hat aufgehört, die pulsierenden Vakuolen selber sind stark angeschwollen. Um die Cytopharynx schlagen die Zilien noch manchmal verhältnismässig kräftig, aber die Bildung der Nährvakuole findet nicht mehr statt. Rings um die Tierzellen hat sich aus feinsten Nadeln ein Niederschlagswölkchen gebildet.

IV. Das Plasma sowie der Makronukleus sind erstarrt. Die Paramaecienzellen sind tot.

Wenn man dagegen die Paramaecienpraeparate in 0,005 % Tanninlösung auf einen Wärmetisch von 46—47° C legt, dann koagulieren der Makro- und Mikronukleus der Zelle sehr rasch, das Plasma aber bleibt durchsichtig und nur eine sehr dünne Oberschicht des Plasmas zeigt ultramikroskopisch ein sehr feinkörniges Koagulum. Erst später wird das ganze Plasma trübe und koaguliert zuletzt. In 0,0005 % Tanninlösung bleiben die Paramaecien 12 und mehr Stunden am Leben. Wie die 0,0005 % Tanninlösung die Hitze-koagulation des Plasmas beeinflusst, kann man aus Tabelle 7 ersehen.

Aus der Tabelle 7 und der Fig. 11 können wir ersehen, dass das Paramaecienplasma in 0,0005 % Tanninlösung viel langsamer erstarrt als in der Kulturlösung. Die Hemmung der Hitze-

Tabelle 7.

	44° C	42°	40°	38°
In 0,0005 % Tanninlösung	9"	66"	428"	2445"
In der Kulturlösung	8,8"	32"	275"	1250"

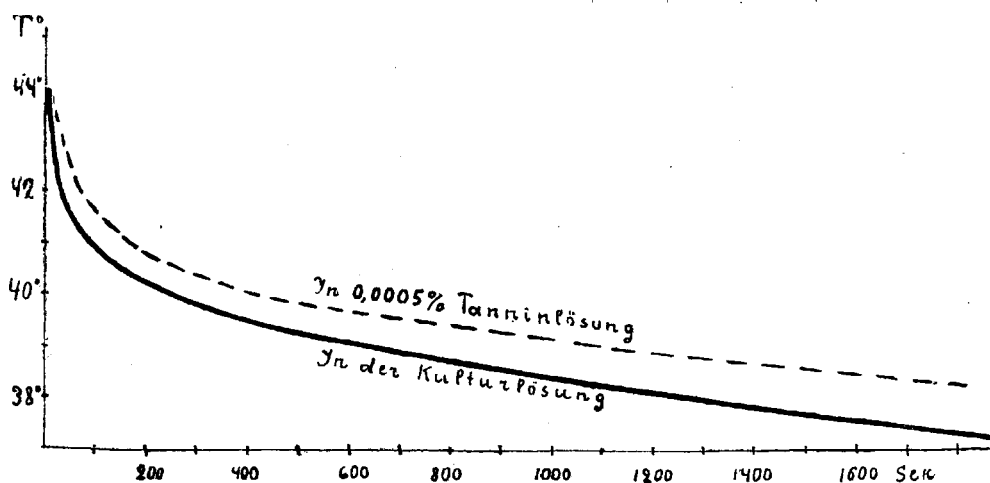


Fig. 11. Die Plasmakoagulation in der Kulturflüssigkeit und in 0,0005 % Tanninlösung.

koagulation des Plasmas kann vielleicht dadurch erklärt werden, dass die Plasmaober-schicht, wie die ultramikroskopischen Untersuchungen uns gezeigt haben, vom Tannin verdichtet und das Eindringen des Wassers und der Salze in das Plasma dadurch zurückgehalten wird. Im Zusammenhang mit dieser Erscheinung muss die hydrolytische Spaltung der Plasmakomponenten — resp. die Zersetzung und die Koagulation des Plasmas — ebenfalls herabgesetzt werden. Der Tod der Zellen wird erst später dadurch verursacht, dass die giftigen Abbauprodukte nach dem Aufhören der Pulsation der Vakuolen nicht mehr aus dem Plasma entfernt werden können.

Die Plasmakoagulation in hypertonen Neutralsalzlösungen.

Schon in den isotonischen 0,075—0,08 n. Neutralsalzlösungen sterben die Paramaecien bei Zimmertemperatur ab. In hypertonen Salzlösungen verläuft die Koagulation aber viel schneller,

sindem mit dem Steigen der Salzkonzentration auch die Geschwindigkeit der Plasmakoagulation wächst. So erfolgt z. B. die Koagulation des Paramaecienplasmas bei Zimmertemperatur:

In 0,075 norm. Li NO₃-Lösung (isot. Konz.) in 75—90 Minuten.

" 0,1	"	"	" 18—21	"
" 0,1	mol.	"	" 6—7	"
" 0,1	norm. Na ₂ SO ₄ -	"	" 25—30	"
" 0,1	mol.	"	" 4—5	"

In 0,1 norm. Salzlösungen waren die Koagulationszeiten des Paramaecienplasmas bei 19° C in Minuten:

NH ₄ CNS — 3—5	SrCl ₂ — 15—17
KCNS — 3—5	LiCl — 20—25
NaBr — 3—4	NaCl — 22—25
BaCl ₂ — 5—7	Na ₂ SO ₄ — 25—30
NH ₄ NO ₃ — 7—10	MgSO ₄ — 25—30
RbCl — 10—12	KCl — 28—32
(NH ₄) ₂ SO ₄ — 12—25	LiNO ₃ — 29—35
Mg(NO ₃) ₂ — 15—17	CaCl ₂ — 30—40.

Daraus ersieht man, dass die Koagulation am schnellsten in NH₄CNS, KCNS, NaBr und BaCl₂, am langsamsten aber in LiNO₃ und CaCl₂ zustande kommt. So kann man auch hier sehen, dass ebenso, wie bei der Wirkung der Neutralsalze auf die Hitze-koagulation, die Koagulationsgeschwindigkeit des Plasmas im allgemeinen nach der lyotropen Reihe der Anionen (bei NH₄-, Na-, K-, Mg-Salzen) beeinflusst wird. Doch kommen bei einigen Salzen bedeutende Verschiedenheiten in der Geschwindigkeit der Hitze-koagulation bei Zimmer- und erhöhter Temperatur vor, je nachdem wir es mit hypotonischen oder hypertonen Flüssigkeiten zu tun haben. So z. B. kommt die Hitze-koagulation des Plasmas bei 38° in 0,05 n. Lösungen von NH₄CNS in 57,5 Sek. und in solchen von KCNS — in 425 Sek. zustande, in 0,1 norm. Lösungen der beiden Salze bei 19° aber in 3—5 Minuten. Dagegen geschieht die Koagulation in 0,05 n. SrCl₂ und CaCl₂-Lösungen bei 38° fast gleich schnell (in 1015 und 1020 Sek.), bei 19° aber in ganz verschiedenen Zeiten (15—17 M. und 30—40 M.!).

Aus diesen Abweichungen kann man vielleicht schliessen, dass die erwähnten Salze bei verschiedenen Temperaturen verschieden auf das Paramaecienplasma wirken und deshalb auch

selber mit ungleichmässiger Geschwindigkeit in das Plasma einzudringen vermögen.

Durch das Licht wird die Wirkung der Neutralsalze auf die Plasmakoagulation stark beschleunigt. Man kann direkt unter dem Mikroskope beobachten, wie die Tiere, die bei ultramikroskopischen Betrachtungen auf dunklem Felde in der hellen Mitte des Gesichtsfeldes gehalten werden, sehr unruhig werden und bedeutend schneller absterben als die anderen, die sich weit von dem hellen Mittelpunkt befinden. So z. B. koaguliert das Plasma in 0,1 norm. $MgSO_4$ -Lösung auf dunklem Felde binnen 25—30 Min.; wird das Tier aber 3 Min. lang im Mittelpunkt des Gesichtsfeldes gehalten und dann weiter auf dunklem Felde betrachtet, so koaguliert das Plasma schon nach 15—18 Minuten.

In hypertonischen Salzlösungen bleibt das Anschwellen der Paramaecienzellen aus, da in diesen Salzkonzentrationen eine „Plasmolyse“ zustande kommt. Die Plasmolyse in Paramaecienzellen ist aber nicht ähnlich derjenigen, welche man gewöhnlich in Pflanzenzellen beobachtet, wo das Plasma sich von der Zellwand ablöst. Hier, bei den Paramaecienzellen, schrumpft der Tierkörper ein und nimmt die Form einer Schraube an.

Das Plasma der konjugierenden und in Teilung begriffenen Paramaecien ist gegen die Salzwirkung viel resistenter, als dasjenige der gewöhnlichen Paramaecien. So koagulierte das Plasma in 0,1 n. $RbCl$ -Lösung bei 19,5° nach 10—12 Min., das der in Teilung begriffenen Tiere aber erst nach 23 Min. Die konjugierenden Paramaecien blieben in 0,1 norm. $CaCl_2$ -Lösung bis 60 Min. am Leben, während die normalen Tiere schon nach 30—40 Min. abstarben.

Die Bewegungen der Paramaecien in 0,1 n. Salzlösungen sind ebenfalls verschieden. In Rhodaniden, KCl und $RbCl$ waren die Tiere sehr unruhig und bewegten sich meistens rückwärts; in anderen Salzlösungen wurden sie unruhig nur kurz vor dem Beginn der Koagulation. Nur in Sulfaten bewegten sich die Tiere auch dann noch eine Zeitlang langsam fort, wenn das Plasma schon merklich erstarrt war.

Der Verlauf der Koagulation in 0,1 n. Salzlösungen bei 19—20° C.

In allen Neutralsalzlösungen fängt das Paramaecienplasma von der Zelloberfläche an zu koagulieren. Die Koagulation

schreitet zentripetal fort. Das Erstarren des Plasmas geht vor sich am schnellsten in Rhodaniden, am langsamsten — in Sulfaten. In einigen Fällen konnte ich parallel mit der Oberflächen-erstarrung eine verhältnismässig schwächere Trübung im Inneren des Plasmas an den Grenzen der Nährvakuolen wahrnehmen (MgSO_4 und $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). Der Makronukleus ist beim Erstarren der Oberschichten des Plasmas ganz normal, er beginnt erst später zu koagulieren. In NH_4NO_3 -, MgSO_4 -, RbCl - und CaCl_2 -Lösungen verändert sich anfangs nur der Farbton des Makronukleus; er wird nämlich etwas blasser, dann wird das Karyoplasma granulös und erstarrt zuletzt.

Sehr eigenartig sind bei der Koagulation des Paramaecienplasmas in 0,1 n. Salzlösungen die „Zuckungen“ oder besser Einsturzbildungen. Man sieht im Plasma, das schon trübe ist, plötzliche Einsenkungen, Einfälle oder Zusammenziehungen. Das Plasma zuckt! Sind diese Erscheinungen kräftig genug, dann beginnt das Plasma zu zittern. Die Einsenkungen im Plasma folgen sehr schnell aufeinander, und man kann nicht ganz genau wahrnehmen, ob ihnen auch Aufblasungen vorangehen. Bei sehr kräftigen Plasmaeinstürzen knickt die Zelle und biegt sich nach der Seite hin, auf welche die Einsturzbildungen übergegangen waren. Die an einer Stelle aufgetauchten Einsenkungen schreiten manchmal von diesem Punkte (z. B. von einem Pol) allmählich weiter. Wo sie schon vor sich gegangen sind, hat sich ein körniges Koagulum gebildet; dabei hat der Tierkörper sich zusammengezogen. Sind die Einstürze des Plasmas kräftig, dann wird das Koagulum grobkörnig (in Rhodaniden und $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ -L.) bei schwachen Einsturzbildungen aber wird es feinkörnig. Nur in Li-Salzlösungen (LiNO_3 und LiCl) konnte ich die obenerwähnten Erscheinungen nicht wahrnehmen. Vielleicht sind sie hier zu schwach, weshalb man sie schwer bemerken kann. Jedenfalls ist das Koagulum bei diesen Salzen sehr feinkörnig.

Die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen wird in hypertonischen Salzlösungen allmählich langsamer; sie hört aber nicht mit dem Anfang der Koagulation der Plasmaoberschichten auf, wie bei der Hitzekoagulation, sondern schreitet eine Weile fort. So wurden z. B. folgende Frequenzzeiten in 0,1 n. Salzlösungen bei 19° C ermittelt: $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ — 25" → 35" → 65" || (Anfang der Plasmakoagulation) → 85" → 120" → ∞; CaCl_2 — 23" → 45" → 74" → 95" || → 135" → 177" ∞.

In manchen Fällen wird die Pulsation der Vakuolen kurz vor der Plasmakoagulation, wenn die Tiere unruhig werden, schneller, so z. B. in 0,1 n. Na_2SO_4 -Lösung: 26" $\rightarrow$ 7,5", 8" || $\rightarrow$ 25" $\rightarrow$ 63" $\rightarrow$ 83" $\rightarrow$ ∞.

In einigen Salzlösungen (KCl , NaCl , LiNO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, BaCl_2) konnte man beobachten, dass nach dem Aufhören der Pulsation der Vakuolen noch eine Menge Flüssigkeit sich in den Vakuolen sammelt, so dass das Plasma über ihnen emporgehoben wird. Manchmal bilden sich neben den stehengebliebenen Vakuolen noch neue Vakuolen.

Nach dem Erstarren des Plasmas und nach dem Tode der Paramaecien schlagen die Zilien noch eine kurze Zeit (5"—10") autonom fort. Diese Zeit ist aber viel kürzer als bei der Hitze-koagulation in gewöhnlicher Kulturflüssigkeit.

Daraus kann man schliessen, dass die Salze nicht nur auf das Körperplasma, sondern auch auf das Zilienplasma wirken und es schneller zur Koagulation bringen.

Was die Stufen der Koagulation anbetrifft, so ist es schwer, die ersten zwei Stufen — analog denjenigen bei der Hitze-koagulation — voneinander zu trennen, weil das Anschwellen der Zellen ebenso wie die Eigentümlichkeiten der Bewegungen der Tiere in den hypertonischen Neutralsalzlösungen bei Zimmertemperatur ausbleiben. Auch setzt sich die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen hier noch eine gewisse Zeit nach dem Anfang des Erstarrens der Plasmaoberschicht fort. Und da weiter das Koagulum des Plasmas meistens sehr grobkörnig ausfällt, ist es kaum möglich die Einzelheiten bei der Koagulation des Makronukleus zu verfolgen.

Im ganzen lassen sich bei der Koagulation des Paramaecienplasmas in hypertonischen Neutralsalzlösungen nur folgende drei Stufen unterscheiden: a) Erste Stufe: die Tierzellen sind plasmolysiert, eingeschrumpft, die Bewegungen unruhig; die Pulsation der Vakuolen wird langsamer; das Plasma ist normal, durchsichtig; die Zilien schlagen kräftig. b) Zweite Stufe: das Plasma fängt von der Oberfläche an zu koagulieren; die Pulsation der Vakuolen ist sehr verlangsamt und hört zuletzt ganz auf; der Makronukleus ist normal. c) Dritte Stufe: das Plasma erstarrt unter lokalen Einsturzbildungen; der Makronukleus ist kaum zu sehen — er ist ebenfalls erstarrt. Das Tier ist tot. Die Zilien schlagen nur eine sehr kurze Zeit autonom weiter.

So haben die ultramikroskopischen Untersuchungen uns gezeigt, dass die Koagulation des Paramaecienplasmas in verschiedenen Lösungen morphologisch sehr verschieden verläuft und sich von der Hitze-koagulation bedeutend unterscheidet. Nur in 5 % Alkohol ist die Plasmakoagulation der Hitze-koagulation verhältnismässig ähnlich. In Säure- und Alkalilösungen verläuft die Koagulation in entgegengesetzten Richtungen: in ersteren — zentrifugal, in letzteren — zentripetal. Die Koagulation des Plasmas in Tanninlösung wird besonders charakterisiert durch das sehr frühzeitige Aufhören der Pulsation der Vakuolen und durch die bedeutende Verdichtung der Plasmaober-schicht, diejenige in hypertonischen Neutralsalzlösungen aber durch die Verlangsamung der Pulsation und durch die Erstarrung des Plasmas unter eigenartigen Einsturzerscheinungen.

Diese Untersuchungen, bei denen man den Gang der Koagulation direkt verfolgen kann, haben uns manche Dienste geleistet und sind eine wertvolle Stütze bei der Erklärung der Wirkung der verschiedenen chemischen Agentien auf die Plasmakoagulation.

Kurze Zusammenfassung.

Es hat sich gezeigt, dass in den Bakterienkulturlösungen eine reine Rasse von *Paramaecium caudatum* zwischen pH 6,8—8,4, am besten aber bei pH 7,7 leben kann. Das Paramaecienplasma ist dabei am resistantesten gegen die Hitze bei pH 7,7. Durch Hinzufügung von Alkalien, resp. durch Erhöhung der OH⁻-Ionenkonzentration über pH 7,7, wird die Geschwindigkeit der Hitze-koagulation des Plasmas gefördert; durch Neutralisation der Kulturlösung mit verschiedenen Säuren, resp. durch Verminderung der OH⁻-Ionenkonzentration, wird die Plasmakoagulation bei Temperaturen unter 40° C beschleunigt, bei höheren aber herabgesetzt. Das Plasma zentrifugierter und mit destilliertem Wasser ausgewaschener Paramaecien ist bei Temperaturen unter 40° bedeutend weniger resistent gegen die Hitze, als dasjenige der normalen Tiere.

Neutralsalze, die schnell ins Plasma eindringen können (NH₄-Salze, Rhodanide, BaCl₂ und Mg(NO₃)₂), erhöhen die Geschwindigkeit der Hitze-koagulation des Paramaecienplasmas bei konstanten Temperaturen. Die anderen Neutralsalze, die verhältnismässig langsam durch das Plasma permeieren, hemmen bei Temperaturen über 40° C die Hitze-koagulationsgeschwindigkeit des Plasmas, bei niedrigeren

aber wirken sie auf die Plasmakoagulation beschleunigend. Die Geschwindigkeit der Hitzekoagulation wird durch die Neutralsalze nach der lyotropen Reihe der Anionen: $\text{CNS} > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ gefördert (eine Ausnahme bilden die Li-Salze), so dass hier eine Analogie in der Wirkung der Neutralsalze auf die Hitzekoagulation des tierischen und pflanzlichen Plasmas zu konstatieren ist.

Bei der Hitzekoagulation des Paramaecienplasmas kann man vier Stufen unterscheiden. Diese Stufen folgen bei höheren Temperaturen schneller aufeinander als bei niederen. Auf den zwei ersten Stufen ist die Koagulation des Plasmas reversibel. Das Plasma der konjugierenden und der in Teilung begriffenen Tiere ist viel resistenter gegen die Hitze, als dasjenige der normalen Tiere.

Mit dem Steigen der Temperatur wird die Tätigkeit der pulsierenden Vakuolen beschleunigt; diese Beschleunigung steigt aber nicht gleichmässig, sondern wird bei höheren Temperaturen kleiner. Vor der Koagulation des Plasmas, resp. mit dem Steigen der Viskosität der Plasmaoberschicht, wird die Pulsation der Vakuolen langsamer und hört endlich auf. In 1—1,5 % Gelatinelösung ist die Pulsationstätigkeit der Vakuolen bei Temperaturen unter 20° lebhafter, bei solchen über 20° aber langsamer als in der Kulturlösung. Bei höheren Temperaturen (über 35°), wo die Permeabilität des Plasmas steigt, dringt das Wasser aus der Umgebung in grösseren Mengen in die Paramaecienzellen ein, so dass sie anschwellen und eine Spindelform annehmen. Bei den konjugierenden Paramaecien pulsieren die präoralen Vakuolen langsamer, als die kaudalen (bei den normalen Tieren ist das umgekehrt!). Das Paramaecienplasma ist viel weniger resistent gegen die Hitze, als das Plasma der anderen Wassertiere (Froschmuskeln) oder Wasserpflanzen (*Spirogyra*).

Die ultramikroskopischen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Koagulation des Paramaecienplasmas, die durch die verschiedenen chemischen Agentien bei Zimmertemperatur hervorgerufen wird, sich bedeutend von der Hitzekoagulation unterscheidet. So verläuft die Koagulation in Alkali- und Säurelösungen in entgegengesetzter Richtung: in ersteren — zentripetal, in letzteren — zentrifugal, wobei man nicht mehr vier Koagulationsstufen — analog der Hitzekoagulation — unterscheiden kann. In hypertonischen Neutralsalzlösungen wächst die Koagulationsgeschwindigkeit des Paramaecienplasmas

mit dem Steigen der Salzkonzentration; ebenso wird sie durch das Licht beschleunigt. Die Plasmakoagulation fängt hier von der Zelloberfläche an und schreitet zentripetal fort; dabei entstehen im Plasma lokale Einsturzbildungen, von welchen die Körnchengrösse des Koagulums abhängt. Die Pulsation der Vakuolen wird immer langsamer und kommt nur kurz vor dem Zelltode zum Stillstand. Bei der Koagulation des Plasmas kann man hier nur drei Stufen unterscheiden.

In 5% Alkohol ist der Gang der Koagulation in den Hauptzügen demjenigen der Hitzekoagulation sehr ähnlich.

Eigenartig verläuft die Koagulation des Paramaecienplasmas in Tanninlösung. Da hier die Oberschicht des Plasmas durch das Tannin verdichtet wird, hört die Pulsation der Vakuolen sehr früh auf, während die pulsierenden Vakuolen sich ausserordentlich vergrössern. Auch sinkt die Hitzekoagulationsgeschwindigkeit des Plasmas in 0,0005% Tanninlösung sehr stark.

Literatur.

- Addoms, R. M. Americ. Journ. of Botany **14**, 147, 1927.
- Baglioni, S. Wintersteins Handb. d. vergl. Phys. **4**. 1913.
- Barrat, J. O. Pflüg. Arch. **5**, 10, 1905. Zeitschr. f. allg. Phys. **4**, 438, 1904;
5, 10, 1905.
- Biedermann, W. Wintersteins Handbuch etc. **2**. I. H. Infusoria 319—333.
1911.
- Bois-Reymond, R. du. Winterst. Handb. **3**. T. I. 1914.
- Buglia, G. Zeitschr. f. Chem. u. Ind. d. Koll. **5**, 291, 1909.
- Burian, R. Winterst. Handb. **2**. II. H. 262. 1924.
- Cholodnyj, N. Beih. z. Bot. Zentr. **39**, 1923. Über den Einfluss der Metallionen etc. (russisch). 1918.
- Danilewsky. Arch. f. Anat. u. Phys. 1906, 413.
- Degen. Bot. Ztg. **63**, 163, 1905.
- Doflein, F. Lehrbuch der Protozoenkunde. 1909.
- Eisenberg, E. Arch. de biol. **35**, 1926.
- Fischer, M. H. „Ödem“ (russisch). 1913. Seifen u. Eiweissstoffe. Dresden. 1922.
- Fitting, H. Jahrb. f. wiss. Bot. **54**, 1, 1915.
- Gellhorn, E. Protoplasma **1**, 589, 1927.
- Hansteen-Cranner. Jahrb. f. wiss. Bot. **53**, 536, 1913.
- Heilbronn, A. Jahrb. f. wiss. Bot. **54**, 357, 1914.
- Heilbrunn, L. W. The heat coagulation of protoplasm. 1924. The colloid chemistry of protopl. III and IV. 1924. The use of temper. coeff. in the interpret. of biol. proc. 1925.
- Jennings, N. S. Zool. Anz. **27**, 1904. Verhalten der niederen Organismen. Leipz. 1910.
- Jensen, P. Pfl. Arch. **62**, 172, 1895; **87**, 361, 1901.
- Kaho, H. Bioch. Zeitschr. **117**, 87, 1921; **120**, 125, 1921; **123**, 284, 1921;
144, 104, 1924; **151**, 140, 1924; **167**, 182, 1926. Acta et Comm. Univ. Dorp. A II 4, 1921 (estnisch); A V 4, 1924.
- Kanitz, A. Biol. Centralbl. **27**, 1907.
- Kestner und Plaut. Winterst. Handbuch etc. **2**. II. H. 1924.
- Korentschawsky, W. Arch. f. exp. Path. u. Pharm. **49**, 1904.
- Küster, E. Anleitung zur Kultur der Mikroorganismen. Leipzig. 1921.
- Lang, A. Lehrbuch der Anatomie der wirbellosen Tiere. 2. Aufl. 1901.
- Lepeschkin, W. W. Berichte d. Deutsch. Bot. Ges. **28**, 1910; **29**, 1911;
30, 528, 1912. The constancy of the living substance. Prague. 1923.
Kolloidchemie des Protoplasmas. Berlin. 1924.
- Loeb, J. Pfl. Arch. **73**, 422, 1898. Die Eiweisskörper. Berlin. 1924.

- Mas'sart, J. Arch. de Biol. **2**, 515, 1889.
Maupas. Arch. zool. expér. **1**, 1883; **2**, 1884.
Nierenstein, E. Zeitschr. f. allg. Physiol. **5**, 1905.
Ogata, E. Centralbl. f. Bakt. **36**. Referate.
Osterhout, W. J. W. Bot. Gaz. **42**, 127, 1906; **44**, 259, 1907.
Pauli, W. Beitr. z. chem. Phys. u. Path. **3**, 225, 1902; **5**, 27, 1903; **7**, 531, 1905. Pfl. Arch. **136**, 483, 1910. Kolloidchemie der Eiweisskörper. Dresden. 1920.
Pauli u. Handowsky. Bioch. Zeitschr. **18**, 340, 1909; **24**, 239, 1910.
Pfeifer, U. Protoplasma **1**, 434, 1926.
Porges A. u. Neubauer, E. Bioch. Zeitschr. **7**, 153, 1907.
Porodko. Berichte d. Deutsch. Bot. Ges. **44**, 1926.
Port, J. Bioch. Zeitschr. **166**, 105, 1925; **170**, 377, 1926. Protoplasma **1**, 566, 1927. **2**, 401, 1927.
Pütter, A. Ergebn. der Phys. **2**, 243, 1903. Zeitschr. f. allg. Phys. **5**, 1905; **7**, 1907. Abhandl. d. k. Ges. d. Wiss. zu Gött., math.-phys. Kl. N. F. **6**, 1, 1908. Tigerstedt, Handb. der phys. Meth. 1911.
Ruhland, W. Arch. f. wiss. Bot. **1**, 1, 1925.
Ruhland u. Hoffmann. Ber. d. Sächs. Akad. etc. **76**, 47, 1924.
Seifritz, W. Ann. of Botany **37**, 1923.
Smits, D. De Wiss. Travaux bot. néerl. **23**, 1926.
Spek, J. Experimentelle Beitr. zur Kolloidch. der Zellit. Dresden. 1920. Acta Zool. 1921.
Stankewitsch, P. Zeitschr. f. allg. Phys. **5**, 1905.
Stempel, W. Arch. f. Protistenkunde **48**, 1924.
Stiles, W. Permeability. 1924.
Tröndle, A. Arch. des sciences phys. et nat. **45**, 38; **167**, 1918. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. **47**, 1919. Beih. z. Bot. Z. 1921.
Tsujitani. Centralbl. f. Bakt. **36**. Referate.
Walter, H. Jahrb. f. wiss. Bot. **62**, 145, 1923. Protopl.- und Membranquellung bei Plasmol. Leipzig. 1923.
Weber, Fr. Planta. Arch. f. wiss. Bot. **1**, 4, 553.
Zülzer, M. Sitz. d. Ges. d. Naturfreunde. 1907. S. 90.
-

DIREKTE HERLEITUNG DER LICHTGESCHWINDIGKEITSFORMELN

VON

J. SARW

DORPAT 1927

1. Einleitung.

Die übliche Herleitung der Lichtgeschwindigkeitsformeln, die für die bewegten Körper zum erstenmal von H. A. Lorentz¹⁾ durchgeführt wurde, muss wohl als indirekt bezeichnet werden. Denn direkt beobachtet man Beziehungen zwischen den endlichen Werten der elektromagnetischen Grössen, aus diesen Beobachtungen leitet man die Maxwellschen Differentialgleichungen her, und erst die Integration dieses Systems partieller Differentialgleichungen liefert den Ausdruck für die Lichtgeschwindigkeit in ruhenden Körpern, woraus dann endlich der Ausdruck für diejenige in bewegten Körpern folgt. Im folgenden werden die bezüglichen Beobachtungsergebnisse der Elektrodynamik in zwei Sätzen ausgedrückt und aus diesen Sätzen die Lichtgeschwindigkeitsformel für ruhende Körper hergeleitet. Für die Herleitung der Formeln der Lichtgeschwindigkeit in bewegten Körpern braucht man den Wert der Ableitung der Dielektrizitätskonstante nach der Schwingungsperiode. Diesen Wert erhält man aus direkten Messungen des Brechungsindex.

2. Die beiden Hauptsätze.

Werden die gewöhnlichen Begriffe der Kraftlinien, der Maxwellschen Spannungen, der Dielektrizitätskonstante und der magnetischen Permeabilität vorausgesetzt und nennt man zur Vereinfachung des Ausdruckes die Beträge der elektrischen Verschiebung D und der magnetischen Induktion B Dichten der bezüglichen Kraftlinien, so kann man alle bisherigen Beobachtungsergebnisse über das wechselseitige Verhalten der elektrischen und magnetischen Kraftlinien in folgenden Sätzen²⁾

1) H. A. Lorentz, Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern, 1895, p. 101.

2) J. Sarw, Elekter (Tartu, 1911), p. 45.

zusammenfassen (deren qualitativer Inhalt bereits im Jahre 1831 Faraday³⁾ eigen gewesen ist).

I. *Wo magnetische Kraftlinien senkrecht zu ihrer Richtung sich fortbewegen, da werden elektrische Kraftlinien induziert, und zwar so, dass 1) ihre Richtung zu der der magnetischen Kraftlinien wie auch zur Richtung ihrer Fortbewegung senkrecht ist und dann vertikal nach oben weist, wenn nordwärts gerichtete magnetische Kraftlinien sich westwärts fortbewegen,*

und dass 2) ihre Dichte der Geschwindigkeit der induzierenden magnetischen Kraftlinien proportional und im leeren Raum bei der Geschwindigkeit von

$$c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

der Dichte dieser induzierenden Kraftlinien genau gleich ist.

II. *Wo elektrische Kraftlinien senkrecht zu ihrer Richtung sich fortbewegen, da werden magnetische Kraftlinien induziert, und zwar so,*

dass 1) ihre Richtung zu der der elektrischen Kraftlinien wie auch zur Richtung ihrer Fortbewegung senkrecht ist und dann nordwärts weist, wenn vertikal nach oben gerichtete elektrische Kraftlinien sich westwärts fortbewegen,

und dass 2) ihre Dichte der Geschwindigkeit der induzierenden elektrischen Kraftlinien proportional und im leeren Raum bei der Geschwindigkeit von

$$c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

der Dichte dieser induzierenden Kraftlinien genau gleich ist.

Diese Hauptsätze der Elektrodynamik bedürfen einiger Bemerkungen, von denen wir hier nur die folgende anzuführen brauchen.

Bemerkung. Die Dichte der in einem Körper induzierten Kraftlinien ist der relativen Geschwindigkeit der induzierenden Kraftlinien proportional.

3. Die Lichtgeschwindigkeit in ruhenden Körpern.

Die Gesamtheit der elektrischen und der magnetischen Kraftlinien — das elektromagnetische Feld — wird in einem Körper unverändert bleiben, solange die Maxwell'schen

3) M. Faraday, Experimentaluntersuchungen über Elektrizität 256—264 (Ostwald's Klassiker Nr. 81).

Spannungen im Gleichgewicht stehen. Wird dieses Gleichgewicht gestört, so werden die Kraftlinien infolge der Spannungen in Bewegung gesetzt. Eins der einfachsten Beispiele einer solchen Störung hätte man vor sich, wenn aus einer kreisförmigen Parzelle der ungeladenen Erdoberfläche plötzlich eine gewisse Quantität negativer Elektrizität herausschiessen würde. Dann hätte man im Augenblick des Herausschiessens in der Luft über der Erdoberfläche eine vertikale zylindrische Säule von elektrischen Kraftlinien. Im Inneren einer solchen Säule herrschen Maxwell'sche Spannungen, während von aussen kein Druck auf die Seitenfläche der Säule stattfindet. Darum würden von dem Augenblick des hypothetischen Entstehens einer solchen Säule an, ihre äusseren Teile sich nach allen horizontalen Richtungen in Bewegung setzen. Diese Bewegung würde anfangs beschleunigt sein, aber endlich gleichförmig werden. Das folgt aus den beiden Hauptsätzen der Elektrodynamik folgendermassen.

Es sei die Dichte der westwärts forteilenden elektrischen Kraftlinien D , ihre Geschwindigkeit v , die magnetische Permeabilität der Luft μ , die Dielektrizitätskonstante ϵ und die in den Hauptsätzen angeführte Konstante c . Dann werden laut dem ersten Hauptsatze nordwärts gerichtete magnetische Kraftlinien induziert mit der Dichte

$$B = \mu \frac{Dv}{c}.$$

Denkt man sich einen Beobachter, der die forteilenden elektrischen Kraftlinien mit derselben westwärts gerichteten Geschwindigkeit v begleitet und seine eigene Bewegung nicht bemerkt, so bewegen sich für ihn die induzierten magnetischen Kraftlinien ostwärts mit der Geschwindigkeit v , und laut dem zweiten Hauptsatze hat er induzierte, vertikal nach unten gerichtete elektrische Kraftlinien mit der Dichte

$$D_1 = \frac{\epsilon Bv}{c} = \frac{\epsilon \mu Dv^2}{c^2}$$

vor sich.

Wird die infolge der Maxwell'schen Spannungen wachsende Geschwindigkeit endlich so gross, dass die Dichte der neuen elektrischen Kraftlinien der Dichte der ursprünglichen D gleich wird, so wird

$$D_1 = \epsilon \mu D \cdot \frac{v^2}{c^2} = D,$$

woraus folgt

$$\varepsilon\mu v^2 = c^2,$$

d. h.

$$(1) \quad v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$$

Dann wird auch die Beschleunigung der ursprünglichen Kraftlinien ein Ende finden. Denn die einander entgegengerichteten und mit gleicher Dichte an derselben Stelle auftretenden Kraftlinien werden zusammen keine Maxwellschen Spannungen und überhaupt kein Zeichen von ihrer Existenz mehr geben.

Diese Geschwindigkeit (1) ist die konstante Geschwindigkeit, womit sich die Störung des elektromagnetischen Feldes in einem ruhenden Körper mit der Dielektrizitätskonstante ε und mit der magnetischen Permeabilität μ fortpflanzt. In einem anderen Körper werden in dieser Formel nur die Werte der Dielektrizitätskonstante ε und der magnetischen Permeabilität μ andere sein.

Wenn eine Reihe solcher Störungen des elektromagnetischen Feldes einander folgen, so spricht man von elektromagnetischen Wellen. Bei regelmässigen Wellen hat man eine bestimmte Wellenlänge λ — die Entfernung zwischen zwei einander folgenden Störungen. Besteht das einfarbige Licht aus regelmässigen elektromagnetischen Wellen, so ist die Formel (1) eben die gesuchte Formel für die Lichtgeschwindigkeit in ruhenden Körpern. Nun haben bekanntlich in einem und demselben Körper verschiedenfarbige Lichtgattungen auch verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten. Daraus schliesst man, dass ein und derselbe Körper für verschiedene Wellenlängen verschiedene Werte von ε und μ hat.

Das Verhältnis $\frac{c}{v}$ heisst *Brechungsindex* und wird häufig mit n bezeichnet, so dass man nach (1) hat

$$(2) \quad n = \sqrt{\varepsilon\mu}.$$

Die Dichte der elektrischen Kraftlinien besteht bekanntlich aus zwei Teilen: aus der elektrischen Kraft

$$(3) \quad E = \frac{D}{\varepsilon},$$

die man in den Körper hineinbringen muss, um dort die Dichte

D zu erhalten, und aus dem übrigen Teil — der dielektrischen Polarisation

$$(4) \quad P = D - \frac{D}{\epsilon} = (\epsilon - 1)E,$$

die von dem Körper selbst her stammt, also

$$(5) \quad D = E + P.$$

Ebenso besteht die Dichte der magnetischen Kraftlinien aus zwei Teilen: aus der magnetischen Kraft

$$H = \frac{B}{\mu},$$

und aus der Magnetisierung

$$M = B - \frac{B}{\mu} = (\mu - 1)H,$$

die von dem Körper selbst her stammt, also

$$B = H + M.$$

Es liegt nun der Gedanke nahe, dass bei anderen Wellen, wo die veränderliche elektrische oder magnetische Kraft in der einzelnen Welle eine andere Zeit auf einen Körperpunkt wirkt, die Polarisation oder die Magnetisierung an jenem Punkte auch vielleicht in einem anderen Masse stattfindet. Darum ist es natürlich anzunehmen, dass ϵ , μ und somit n eben von der Schwingungsperiode $T = \frac{\lambda}{v}$ abhängen.

4. Die Formel von Fresnel.

Möge der Körper, in den die elektromagnetischen Wellen von der Länge λ aus dem leeren Raum hineintreten und in dem sie sich mit der Geschwindigkeit v fortpflanzen, selbst in derselben Richtung eine Geschwindigkeit u besitzen. Dann werden laut dem ersten Hauptsatze von den mit der Dichte D fortschreitenden elektrischen Kraftlinien magnetische Kraftlinien induziert, die für einen die elektrischen Kraftlinien mit derselben Geschwindigkeit begleitenden Beobachter neue, den ursprünglichen entgegengerichtete elektrische Kraftlinien induzieren. Hier hat man aber die Dichte D nach (5) in ihre Bestandteile (3) und (4) zu zerlegen. Denn der zweite Teil (4)

$$P = (\epsilon - 1)E = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} D,$$

der von dem mit der Geschwindigkeit u in derselben Richtung fortbewegten Körper selbst her stammt, wird ja nur die Geschwindigkeit $v-u$ haben, und die von diesem Teil induzierten magnetischen Kraftlinien werden natürlich von dem Körper mit der Geschwindigkeit u mitgeführt. Also wird hier der begleitende Beobachter neue, den ursprünglichen entgegengerichtete elektrische Kraftlinien vor sich haben mit der Dichte

$$D_1 = D \cdot \frac{v^2}{c^2} + (\varepsilon - 1) D \frac{(v-u)^2}{c^2}$$

(wenn man, wie üblich, nur solche Körper betrachtet, wo man

$$\mu = 1$$

annehmen darf).

Die Fortpflanzung der elektromagnetischen Störungen wird nur dann ihre Beschleunigung einbüßen müssen, wenn diese Dichte D_1 derjenigen der ursprünglichen Linien D gleich geworden ist:

$$D_1 = \frac{Dv^2}{c^2} + \frac{(\varepsilon - 1) D (v-u)^2}{c^2} = D,$$

woraus folgt

$$v^2 + (\varepsilon - 1)(v-u)^2 = c^2,$$

so dass

$$(6) \quad v = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} u + \sqrt{\left[\left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}\right)^2 - \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}\right] u^2 + \frac{c^2}{\varepsilon}} = \\ = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} u + \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}} \left(1 - \frac{\varepsilon - 1}{2\varepsilon} \frac{u^2}{c^2} + \dots\right),$$

wo alle weiteren Glieder höhere Potenzen von $\frac{u}{c}$ enthalten. Ist die Geschwindigkeit des Körpers u klein genug im Vergleich zu

$$c = 3 \cdot 10^{10},$$

so kann man in (6) auch das letzte hingeschriebene Glied vernachlässigen. Dann hat man

$$(7) \quad \boxed{v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}} + \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} u = \frac{c}{n} + \frac{n^2 - 1}{n^2} u}$$

Dies wäre die Formel von Fresnel⁴⁾, wenn

$$\varepsilon = n^2$$

hier im bewegten Körper denselben Wert hätte, wie im ruhenden Körper. Denn dann wäre ja das erste Glied hier nach (1) die Geschwindigkeit im ruhenden Körper und das zweite Glied der aus der Bewegung des Körpers herstammende Zuwachs der Wellengeschwindigkeit mit dem Fresnelschen Fortführungskoeffizienten

$$(8) \quad \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = \frac{n^2 - 1}{n^2}.$$

Nun hat aber Lorentz⁵⁾ schon längst gezeigt, dass im bewegten Körper die Schwingungsperiode und infolgedessen der Brechungsindex sich um soviel verändern, dass die sich daraus ergebende Veränderung des ersten Gliedes der rechten Seite von (7) im Vergleich mit dem zweiten Gliede bemerkbar wird. Also ist (7) nicht identisch mit derjenigen Formel von Fresnel, die durch die Versuche von Michelson und Morley⁶⁾ bestätigt sein soll, Zeeman's⁷⁾ Ergebnisse aber nicht befriedigt.

5. Die Lichtgeschwindigkeit in bewegten Körpern.

Wie oben (Seite 7) durch Sperrdruck hervorgehoben wurde, ist es natürlich anzunehmen, dass der Brechungsindex eben von der Schwingungsperiode

$$(9) \quad T = \frac{\lambda}{v}$$

abhängt. Beim Eintritt eines Wellensystems in einen ruhenden Körper bleibt die Periode unverändert. Denn am Orte des Eintritts aus dem leeren Raum in den Körper hat ja die Periode für den Körper denselben Wert wie für den leeren Raum.

In einem mit der Geschwindigkeit u in der Wellenrichtung fortbewegten Körper wird das aus dem leeren Raum mit der Periode T eintretende Wellensystem eine neue Periode

4) Ann. de chim. et de phys. (2) 9 p. 57 (1818).

5) L. c. (s. oben, Fussn. 1).

6) Amer. J. of Sc. 31 p. 377 (1896).

7) Arch. Néerl. (III A), X p. 132 (1927).

$$(10) \quad T_1 = T \cdot \frac{c}{c-u} = T \left(1 + \frac{u}{c} + \frac{u^2}{c^2} + \dots \right)$$

haben. Denn die durch einen bestimmten Ort in einer Sekunde hindurchziehenden Wellen hätten im leeren Raum eine Strecke von der Länge c eingenommen. Ein an diesem Orte ruhender Körper hätte in einer Sekunde alle diese Wellen empfangen. Aber der in der Wellenfortschrittsrichtung mit der Geschwindigkeit u fortbewegte Körper wird von diesen Wellen diejenigen, welche sich auf der von ihm zurückgelegten Strecke von der Länge u befinden, nicht empfangen.

Also hat sich im bewegten Körper die Periode um den Betrag

$$(11) \quad \Delta T = T_1 - T = T \left(\frac{u}{c} + \frac{u^2}{c^2} + \dots \right)$$

verändert. Hat man aus diesbezüglichen Messungen den Brechungsindex als Funktion der Schwingungsperiode ermittelt, so wird man in der Formel von Fresnel statt n einzusetzen haben

$$n_1 = n + \Delta n = n + \frac{dn}{dT} \Delta T.$$

Gewöhnlich wird der Brechungsindex als Funktion der Wellenlänge im leeren Raum behandelt. Nach (9) hat man in diesem Falle ($v = c$)

$$dT = \frac{d\lambda}{c},$$

folglich ist

$$\frac{dn}{dT} = c \frac{dn}{d\lambda},$$

und somit nach (9) und (11)

$$n_1 = n + \lambda \frac{dn}{d\lambda} \left(\frac{u}{c} + \frac{u^2}{c^2} + \dots \right),$$

d. h.

$$(12) \quad \Delta n = n_1 - n = \frac{\lambda u}{c} \cdot \frac{dn}{d\lambda} + \frac{\lambda u^2}{c^2} \cdot \frac{dn}{d\lambda} + \dots$$

Die Veränderung des ersten Gliedes der rechten Seite in (7) nach n ist

$$(13) \quad \Delta\left(\frac{c}{n}\right) = \frac{d}{dn} \frac{c}{n} \Delta n = -\frac{c\lambda}{n^2} \cdot \frac{dn}{d\lambda} \left(\frac{u}{c} + \frac{u^2}{c^2} + \dots\right),$$

und die Veränderung des zweiten

$$\Delta\left(\frac{n^2-1}{n^2} u\right) = \frac{2u}{n^3} \Delta n = \frac{2u\lambda}{n^3} \cdot \frac{dn}{d\lambda} \left(\frac{u}{c} + \frac{u^2}{c^2} + \dots\right).$$

Hieraus sieht man, dass in der ganzen Veränderung nur das erste Glied der rechten Seite (13) von der Ordnung der Körpergeschwindigkeit u ist und darum alle anderen Glieder fortgelassen werden dürfen.

Also erhält man für die Lichtgeschwindigkeit v in einem Körper mit dem Brechungsindex n und mit der eigenen Geschwindigkeit von derselben Richtung u aus (7) und (13) den Ausdruck

$$(14) \quad \boxed{v = \frac{c}{n} + \frac{n^2-1}{n^2} u - \frac{\lambda u}{n^2} \frac{dn}{d\lambda}}$$

6. Die Formel von Lorentz.

Die Formel (14) gilt nur für formfeste Körper. Für eine in Röhren fließende Flüssigkeit wie im Versuche von Fizeau⁸⁾ bedarf sie einer Änderung. Die Veränderung der Schwingungsperiode wird hier nämlich anders stattfinden als dort. Hier treten die Wellen in die in den Enden der Röhren ruhende Flüssigkeit, erhalten dort ohne Periodenveränderung die Geschwindigkeit

$$v_0 = \frac{c}{n}$$

und erleiden eine Periodenveränderung erst bei der Zunahme der Geschwindigkeit von v_0 bis zur endgültigen Geschwindigkeit v_1 . Für den Verlauf dieser Periodenveränderung erhält man wie (10):

$$v dT = T du.$$

Während der Zunahme der Geschwindigkeit der Flüssigkeit von 0 bis u wächst hier die Lichtgeschwindigkeit v von v_0 bis zur endgültigen Geschwindigkeit

$$v_1 = v + \Delta v$$

8) Ann. de chim. et de phys. (3) 57 p. 385 (1859).

und die Schwingungsperiode T vom Anfangswerte T_0 bis zum endgültigen Werte

$$T_1 = T_0 + \Delta T.$$

Es ist also hier

$$\frac{T_0}{v_0 + \Delta v} du \leq dT \leq \frac{T_0 + \Delta T}{v_0} du$$

und darum

$$\frac{T_0}{v_0} u - \frac{T_0 \Delta v}{v_0^2} u + \dots \leq \Delta T \leq \frac{T_0}{v_0} u + \frac{\Delta T}{v_0} u \leq \frac{T_0}{v_0} u + \frac{T_0}{v_0^2} u^2 + \dots,$$

d. h. (wenn man die Glieder höherer Ordnung in $\frac{u}{v_0}$ fortlässt) anstatt (11)

$$\Delta T = \frac{T_0}{v_0} u = \frac{n T_0}{c} u.$$

Hier hat man gegen (11) den Zusatzfaktor n und darum statt (12)

$$\Delta n = \frac{n \lambda u}{c} \frac{dn}{d\lambda},$$

und endlich statt (14) die Formel von Lorentz⁹⁾

$$v = \frac{c}{n} + \frac{n^2 - 1}{n^2} u - \frac{\lambda u}{n} \frac{dn}{d\lambda}$$

Diese Formel hat Zeeman¹⁰⁾ für das Wasser experimentell geprüft und bestätigt.

7. Die Versuche von Zeeman über die Lichtgeschwindigkeit im bewegten Quarz und Flintglas.

Von P. Zeeman zusammen mit Frl. A. Snethlage¹¹⁾ wurde die Lichtgeschwindigkeit im bewegten Quarz und von P. Zeeman zusammen mit W. de Groot, Frl. A. Snethlage und G. C. Dibbetz¹²⁾ im bewegten Flintglas gemessen.

9) L. c. (s. oben, Fussn. 1).

10) Arch. Néerl. (III A), X p. 132.

11) L. c. p. 180.

12) L. c. p. 193.

Ein Bündel monochromatischer Strahlen wurde in üblicher Weise ¹³⁾ in zwei gespalten, und nachdem diese zwei Strahlenbündel einen und denselben Weg (wie bei Fizeau zwei parallelliegende Röhren) in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen hatten, wurden sie wieder vereinigt und die entstehenden Interferenzstreifen photographiert. An Stelle der einen in einer Röhre befindlichen bewegten Wassersäule des Fizeauschen Versuches hatte man eine Quarz-, beziehungsweise Flintglassäule, die in ihrer Längsrichtung mit einer Geschwindigkeit bis $\frac{994}{s}$ cm hin und her bewegt wurde. An Stelle der anderen Wassersäule hatte man ruhende Luft. Die Interferenzstreifen wurden während der maximalen Geschwindigkeit einmal in einer und das zweitemal in entgegengesetzter Richtung photographiert und die Lagendifferenz gemessen.

Es sei l die Länge der bewegten Säule, u ihre maximale Geschwindigkeit und v , c , n , λ wie oben. Beim Ruhen der Säule werden natürlich Interferenzstreifen vorhanden sein. Bei der Bewegung der Säule werden diese Streifen dann eine andere Lage einnehmen, wenn die Bewegung die Durchlaufszeit der beiden Bündel verschieden verändert.

Das durch die hinbewegte Säule hingehende Bündel wird durch die Bewegung eine Zeitveränderung erleiden erstens, weil bei der Bewegung der Säule die Lichtgeschwindigkeit in der Säule nach (14)

$$v_1 = \frac{c}{n} + \frac{n^2 - 1}{n^2} u - \frac{\lambda u}{n^2} \frac{dn}{d\lambda}$$

die Ruhengeschwindigkeit

$$v_0 = \frac{c}{n}$$

um

$$v_1 - v_0 = \frac{u}{n^2} \left(n^2 - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right)$$

übertrifft, und zweitens, weil bei der Bewegung der Lichtweg in der Säule um

$$\frac{lv_1}{v_1 - u} - l = l \left(\frac{u}{v_1} + \frac{u^2}{v_1^2} + \dots \right) = \frac{lu}{v_1} + \frac{lu^2}{v_1^2} + \dots = \frac{lu n}{c} + \dots$$

13) L. c. p. 136.

länger wird. Der Zuwachs der Geschwindigkeit vermindert die Durchlaufszeit um

$$\frac{ln}{c} - \frac{l}{v_1} = l \left(\frac{n}{c} - \frac{1}{\frac{c}{n} + \frac{u}{n^2} \left(n^2 - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right)} \right) = \frac{ln}{c} \left[\frac{u}{nc} \left(n^2 - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) + \dots \right].$$

Die Verlängerung des Lichtweges in der Säule verlängert die Durchlaufszeit um

$$\begin{aligned} \left(\frac{ln}{c} + \dots \right) \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{c} \right) &= \left(\frac{ln}{c} + \dots \right) \frac{n}{c} \left[1 - \frac{1}{n} - \frac{u}{nc} \left(n^2 - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) + \dots \right] = \\ &= \frac{ln(n-1)}{c^2} + \dots \end{aligned}$$

Also erhält die Durchlaufszeit des hingehenden Strahlenbüschels den Zuwachs

$$(15) \quad \left[\frac{ln(n-1)}{c^2} - \frac{lu}{c^2} \left(n^2 - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) \right] + \dots = \frac{lu}{c^2} \left(1 - n + \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) + \dots$$

Das herkommende Büschel hat in der Säule eine Lichtgeschwindigkeit

$$v_2 = \frac{c}{n} - \frac{n^2 - 1}{n^2} u + \frac{\lambda u}{n^2} \frac{dn}{d\lambda}$$

und erhält daraus einen Zeitzuwachs

$$\frac{l}{v_2} - \frac{ln}{c} = \frac{lu}{c^2} \left(n^2 - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) + \dots$$

Der Weg dieses Büschels wird kürzer um

$$l - \frac{lv_2}{v_2 + u} = \frac{lu}{v_2} + \dots = \frac{ln}{c} + \dots$$

und darum die Durchlaufszeit kürzer um

$$\left(\frac{ln}{c} + \dots \right) \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{c} \right) = \frac{ln(n-1)}{c^2} + \dots$$

Also erhält die Durchlaufzeit des herkommenden Strahlenbündchels im ganzen den Zuwachs

$$(16) \quad \left[\frac{lu}{c^2} \left(n^2 - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) - \frac{lu n (n-1)}{c^2} \right] + \dots = \frac{lu}{c^2} \left(n - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) + \dots$$

Dieser Zeitzuwachs ist nach dem allein in Betracht zu ziehenden Gliede absolut gleich dem (15), aber mit entgegengesetztem Zeichen. Die Differenz zwischen (16) und (15) ist also zweimal so gross wie (16) allein. Infolge dieser Differenz werden die Interferenzstreifen verschoben, und zwar um soviel Streifenbreiten, wieviel Perioden

$$T = \frac{\lambda}{c}$$

diese Zeitdifferenz ausmacht, d. h.

$$\left[\frac{2lu}{c^2} \left(n - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) + \dots \right] : \frac{\lambda}{c} = \frac{2lu}{c\lambda} \left(n - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) + \dots$$

Wenn man die Interferenzstreifen wie üblich photographiert, einmal während der Hinbewegung der Säule und das zweitemal während ihrer Rückbewegung, so wird man eine zweimal so grosse Verschiebung vor sich haben. Es sei diese Verschiebung, in Streifenbreiten ausgedrückt, Δ . Dann hat man die Formel

$$\Delta = \frac{4lu}{c\lambda} \left(n - 1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right)$$

wonach P. Zeeman und seine Mitarbeiter¹⁴⁾ die Formel (14) für Quarz und Flintglas experimentell geprüft und bestätigt haben.

8. Die Ergebnisse

der vorliegenden Arbeit sind die folgenden.

1. Man kann die beiden Hauptsätze der Elektrodynamik sehr elementar formulieren.

14) L. c. pp. 183, 184, 186, 199, 200.

2. Man kann die Geschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen ohne Bezugnahme auf die Schwingungsgleichung herleiten.

3. Man hat den Brechungsindex als eben von der Schwingungsperiode abhängig anzunehmen.

4. Man kann sodann die Formeln von Fresnel, Lorentz und Zeeman auf rein klassischem Boden ableiten.

**ZUR FRAGE
DES TEMPERATURANSTEIGENS
IM WINTER**

VON

KARL FRISCH

DORPAT 1928

In den Wintermonaten dürften in Nordosteuropa die Hauptursache des Temperaturanstiegens die von dem Atlantischen Ozean kommenden warmen Westwinde sein, durch die grosse Mengen warmer Luft vom Ozean auf den Kontinent transportiert werden.

Die direkte Erwärmung durch die Sonne wie auch die diffuse Himmelsstrahlung sind im Vergleich zum ersterwähnten Faktor bedeutend geringer einzuschätzen.

Jedoch beobachten wir im Winterhalbjahr oft, trotz des vom kalten Osteuropa wehenden Windes, starke Erwärmungen, wo die Lufttemperatur bis zu 10° und darüber steigt.

Die Aufgabe der folgenden Arbeit ist einen solchen Fall näher zu analysieren, wo wir es am 14. Januar 1927 in Estland mit einer plötzlichen starken Temperaturzunahme zu tun hatten.

Bevor wir die erwähnte Wetterlage näher betrachten, möchte ich einige theoretische Bemerkungen vorausschicken.

Die aus der höheren Analyse bekannte Formel von Gauss lautet:

$$\iiint \operatorname{div} F d\tau = \iint F_n d\sigma \quad (1)$$

wo das linke Integral sich auf ein bestimmtes Volumen bezieht, das rechtsstehende aber auf die vom Volumen begrenzte Oberfläche.

Die Formel lässt sich ohne Schwierigkeit auch auf von der Luft eingenommene Volumina anwenden, unter der Annahme, dass der Vektor die Windgeschwindigkeit in m pro sec darstellt.

Das rechtsstehende Integral gibt dann die Differenz zwischen dem durch die geschlossene Fläche einströmenden und ausströmenden Luftvolumen in der Zeiteinheit wieder.

Unter der Voraussetzung, dass das Einströmen dem Ausströmen gleich ist, was wir für Luftschichten ohne einen grösseren Fehler annehmen können¹⁾, ist unser rechtsstehendes Integral gleich 0, weshalb andererseits das linksstehende Integral

1) V. Bjerknes, Dynamische Meteorologie und Hydrographie II S. 29.

auch gleich 0 ist. Unter der weiteren Annahme, dass die Windgeschwindigkeit einen solenoidaren Vektor darstellt, haben wir:

$$\operatorname{div} F = 0$$

oder

$$\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

In der Formel (2) bedeuten bekannterweise F_x , F_y , F_z die drei rechtwinkligen Komponenten des Vektors F , in unserem Falle — die der Windgeschwindigkeit.

Nach dieser Formel können wir durch Integration die vertikale Komponente der Windgeschwindigkeit in einer Schicht bestimmen, wenn die beiden horizontalen Komponenten F_x und F_y bekannt sind:

$$dF_z = - \left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} \right) dz$$

$$F_z = - \int_{z_0}^z \left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} \right) dz$$

Unter der Annahme, dass die horizontalen Geschwindigkeitskomponenten in der betrachteten Schicht in Bezug auf z konstant sind, erhalten wir

$$F_z = - \left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} \right) (z - z_0)$$

oder

$$F_z = - \operatorname{div}_2 F (z - z_0) \quad (3)$$

Zur Berechnung der Vertikalkomponente der Windgeschwindigkeit ist es nötig, in Formel (3) für die zweidimensionale Divergenz einen bequemen Ausdruck zu finden, der sich aus den gewöhnlichen Windbeobachtungen leicht bestimmen lässt.

Für die zweidimensionale Divergenz lautet die Formel von Gauss:

$$\iint \left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} \right) d\sigma = \int F_n dS$$

oder für die Flächeneinheit:

$$\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} = \int F_n dS$$

Nun benutzen wir den von V. Bjerknes¹⁾ eingeschlagenen Weg, auf dem $\text{div}_2 F$ sich in folgender Weise darstellen lässt.

Bezeichnen wir die Normalkomponente unseres Vektors längs der Kurve durch F_n , so lässt sich der Transport (T) durch die Kurve durch folgendes Integral ausdrücken:

$$T = \int F_n dS \quad (4)$$

wobei das Integral längs der Kurve S zu nehmen ist.

In unserer Formel (4) wird nichts geändert, wenn wir uns die von der Kurve begrenzte Fläche in eine beliebig grosse Zahl kleinerer Flächenstücke eingeteilt vorstellen, den Transport durch jedes einzelne kleine Flächenstück berechnen und den Gesamttransport (T) als Summe der Transporte durch jede Teilfläche betrachten:

$$\begin{aligned} T &= \int F_n dS \\ &= \sum \int F_n dS \end{aligned} \quad (5)$$

wobei die letzten Integrale in Formel (5) über die Randlinien aller Teilflächen zu nehmen sind.

Da die Gestalt der einzelnen Teilflächen beliebig sein kann, nehmen wir an, dass sie von zwei Vektorlinien und zwei Normalen zu den Vektorlinien begrenzt sind.

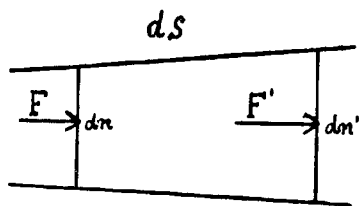


Fig. 1

Bezeichnen wir die Elemente der ein solches Flächenstück begrenzenden Vektorlinien durch dS und dS' , und die betreffenden Elemente der Normalen durch dn und dn' (s. Fig. 2), so können wir die Differenz (D) zwischen dem Einströmen und

1) V. Bjerknes, Dynamische Meteorologie und Hydrographie II S. 107.

Ausströmen durch unser Flächenelement folgendermassen darstellen:

$$D = F' dn' - F dn \quad (6)$$

Die in der Formel (6) vorkommenden Grössen F' und dn' können wir als Funktionen von S betrachten und ihre Abhängigkeit von S so ausdrücken:

$$\left. \begin{aligned} F' &= F + \frac{\partial F}{\partial S} dS \\ dn' &= dn + \frac{\partial dn}{\partial S} dS \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Nach der Substitution der Ausdrücke für F' und dn' in die Formel (6) und unter Ausserachtlassen der Grössen zweiter Ordnung erhalten wir statt Formel (6):

$$D = \frac{\partial F}{\partial S} \cdot dS dn + F \cdot \frac{\partial dn}{\partial S} dS$$

Da das Produkt $dS dn$ den Flächeninhalt darstellt, den wir durch $d\sigma$ bezeichnen, so erhalten wir für die Differenz zwischen dem Einströmen und Ausströmen durch unsere Teilfläche folgenden Ausdruck:

$$D = \left(\frac{\partial F}{\partial S} + F \cdot \frac{1}{dn} \cdot \frac{\partial dn}{\partial S} \right) d\sigma \quad (8)$$

Für die Flächeneinheit ist daher die betreffende Grösse:

$$D_1 = \frac{\partial F}{\partial S} + F \cdot \frac{1}{dn} \cdot \frac{\partial dn}{\partial S} \quad (9)$$

Nach seiner Bedeutung ergibt aber der letztere Ausdruck die gesuchte Divergenz des zweidimensionalen Vektors F :

$$\begin{aligned} \operatorname{div}_2 F &= \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} \\ &= \frac{\partial F}{\partial S} + F \cdot \frac{1}{dn} \cdot \frac{\partial dn}{\partial S} \end{aligned} \quad (10)$$

Substituieren wir in Formel (3) für $\operatorname{div}_2 F$ ihre Grösse nach Formel (10), so erhalten wir für die vertikale Komponente der Windgeschwindigkeit folgenden Ausdruck:

$$F_z = - \left(\frac{\partial F}{\partial S} + F \cdot \frac{1}{dn} \cdot \frac{\partial dn}{\partial S} \right) (z - z_0) \quad (11)$$

der sich leicht aus der Stromlinienkarte berechnen lässt.

Auf unsere Wetterkarte vom 14. Januar zurückkommend, möchte ich eine kurze Übersicht über die Verteilung der meteorologischen Elemente an jenem Morgen geben (s. Fig. 2). Ein breites Tiefdruckgebiet von 735 mm im Zentrum lag über der Nordsee, von wo eine Tiefdruckrinne längs der norwegischen Küste bis zum Eismeer sich vorgeschoben hatte. Ein zweites Tief von 750 mm befand sich in Italien. Was die Hochdruckgebiete anbelangt, so hatte sich! das sibirische Maximum von 790 mm über Nordosteuropa ausgebreitet, während das Azorenhoch sich bis zur Pyrenäischen Halbinsel ausgedehnt hatte, von wo ein Hochdruckkeil bis Island reichte.

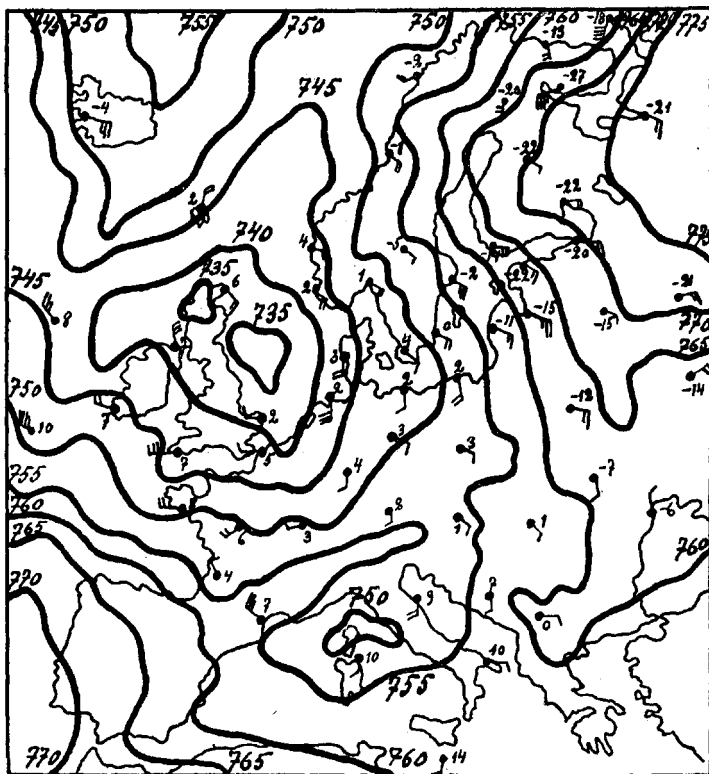


Fig. 2.

Im Zusammenhang mit der Luftdruckverteilung herrschte in Nordosteuropa eine strenge Kälte, die dank den östlichen Winden bis zur Ostseeküste vorgedrungen war. Eine gute Begrenzung des Kältegebietes würde die -10° -Isotherme geben, die vom Asowschen Meere in nordwestlicher Richtung bis Libau verlief, und von dort über die Ostsee und Nordskandinavien bis zum Eismeer. Die niedrigsten Temperaturen waren in Ust-Zylma (-32°) und Nishnij-Nowgorod (-29°). Auch in Estland finden wir verhältnismässig niedrige Temperaturen, zum Beispiel in Reval -22° , Ollustfer -24.5° u. s. w.

Trotz der östlichen Winde haben wir am 14. Januar in Estland bis zum Mittag eine starke Temperaturzunahme, die besonders im Küstengebiet in Pernau, Reval und Hapsal ausgeprägt ist.

In folgender Tabelle sind die Temperaturen der estnischen meteorologischen Stationen von 21^h 13 I, 7^h und 13^h 14 I aufgeführt.

Tabelle.

	φ	λ	21 ^h 13 I	7 ^h 14 I	13 ^h 14 I
Dorpat	58° 23'	26° 43'	—23.5	—17.1	—16.2
Fickel	58° 48'	24° 20'	—18.0	—22.5	—14.5
Filsand	58° 23'	21° 50'	— 6.9	— 7.9	— 8.0
Hapsal	58° 57'	23° 34'	—17.2	—22.4	— 9.0
Hungerburg . .	59° 28'	28° 04'	—27.0	—21.5	—16.5
Jendel	59° 15'	25° 43'	—22.6	—21.8	—16.5
Laisholm . . .	58° 46'	26° 24'	—24.8	—17.2	—16.7
Ollustfer . . .	58° 33'	25° 35'	—21.5	—24.5	—15.7
Packerort . . .	59° 24'	24° 04'	—17.6	—23.2	—14.2
Pernau	58° 23'	24° 30'	—15.5	—21.0	—12.2
Pollenhof . . .	58° 08'	25° 33'	—20.5	—18.5	—15.0
Reval	59° 26'	24° 48'	—19.4	—22.0	—14.2
Stenskär . . .	59° 49'	22° 20'	—19.0	—16.2	—13.8
Thoma	58° 52'	26° 17'	—23.3	—18.2	—17.3
Tschorna . . .	58° 51'	26° 58'	—22.7	—17.5	—15.0
Werro	57° 51'	27° 01'	—25.2	—15.6	—15.3

Aus der Tabelle ersehen wir, dass auf den Stationen in Ostestland in der Nacht eine starke Temperaturzunahme stattfand (in Werro 9.6°), während in Westestland die Temperatur in der Nacht noch sank und erst am Tage zunahm.

Zur Erklärung jener Temperaturzunahme möchte ich folgenden Gedankengang vorschlagen.

Es ist längst bekannt, dass die im Winter an der Erdoberfläche befindliche kalte Luftschicht öfters nur eine geringe Höhe hat und schon etwa in 400—700 m Höhe durch eine starke Inversionsschicht begrenzt ist, wo der Temperatursprung oft 5° — 10° beträgt. Unter der Annahme der Existenz einer solchen Inversionsschicht in unserem Falle brauchen wir zur Erklärung der beschriebenen Temperaturanstiege nur noch anzunehmen, dass durch die Vertikalströme die höher schwebenden Warmluftmassen adiabatisch mit der Erdoberfläche in Berührung gekommen sind. Leider haben an diesem Tage keine Meteorographen-Aufstiege von den nächsten aerologischen Stationen Helsingfors und Pawlowsk stattgefunden, weshalb eine direkte Nachweisung der Inversionsschicht unmöglich ist; wohl aber können wir aus der Stromlinienkarte an den erwähnten drei Beobachtungsterminen Gebiete mit absteigendem Luftstrom nachweisen. Zur Zeichnung der Karte der Vertikalkomponente der Geschwindigkeit ist es nötig, mit Hilfe der Formel (11) für jeden Punkt auf der Stromlinienkarte die nötigen Differential- und Integral-Operationen durchzuführen. Zu diesem Zweck wurden nach der von Bjerknes vorgeschlagenen Methode die nötigen Hilfskarten gezeichnet, zuerst die Karte der Ableitung $\frac{\partial F}{\partial S}$, dann die Karte

$\frac{1}{dn} \cdot \frac{\partial dn}{\partial S}$, welche nach der graphischen Multiplikation mit F zur ersten Karte $\frac{\partial F}{\partial S}$ graphisch hinzuaddiert wurde.

Die auf diese Weise erhaltenen Karten (Fig. 3) stellen bei

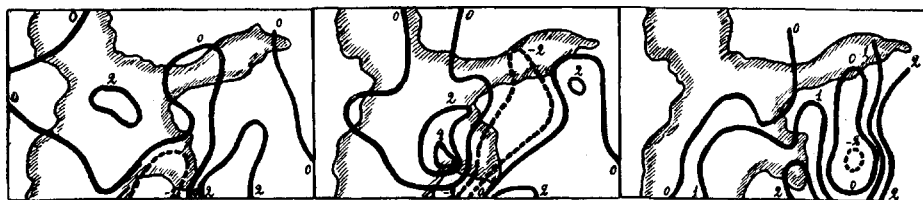


Fig. 3.

einer Luftschicht von 1000 m Dicke die Vertikalkomponente der Geschwindigkeit in cm pro sec dar für den 13 I 21^h, 14 I 7^h und 14 I 13^h.

Auf den Karten geben die ausgezogenen Linien den absteigenden Strom in cm pro sec, die punktierten Linien den aufsteigenden Strom.

Da wir für die horizontalen Windkomponenten in der betrachteten Schicht die an der Erdoberfläche beobachtete Windstärke angenommen haben, ist es selbstverständlich, dass die für die Vertikalkomponenten berechneten Werte keine absoluten sind, sondern nur relativ die Stellen mit stärkerem bzw. schwächerem Vertikalstrom andeuten.

Bei der Zeichnung der erwähnten Karten sind die Höhenunterschiede in der Aufstellung der Windfahne, wie auch die vorkommenden Bodenerhebungen nicht in Betracht gezogen. Da in Estland keine nennenswerten Bodenerhebungen vorhanden sind, dürfte der letztere Faktor nur eine geringfügige Rolle spielen.

Auf der Abend- und Morgenkarte sehen wir Gebiete mit absteigendem Luftstrom über dem östlichen Teil Estlands und auf der Ostsee, während über Westestland sich ein Gebiet mit absteigendem Luftstrom ausgebildet hat.

Auf der Nachmittagskarte finden wir dagegen das Gebiet mit herabsteigenden Luftmassen über dem Küstengebiet, wo von 7^h bis 13^h eine starke Temperaturzunahme stattgefunden hat, während wir in Ostestland schon ein Gebiet mit aufsteigendem Luftstrom vor uns haben.

Der besseren Übersicht wegen sind in der folgenden Fig. 4

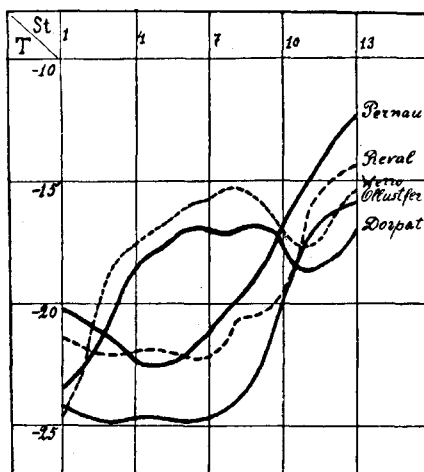


Fig. 4.

die Temperaturregistrierungen von Dorpat, Werro einerseits und Pernau, Reval und Ollustfer andererseits graphisch wiedergegeben.

Ihre Vergleichung lässt uns vermuten, dass die Erwärmung durch das Herabsinken der höher liegenden warmen Luftmassen zuerst in Ostestland begann und von da sich durch Herabsinken neuer Luftmassen westwärts verschob.

Leider können wir den Vertikalstrom in dem Erwärmungsgebiet nicht kontinuierlich verfolgen, da auf den Stationen die Windbeobachtungen grösstenteils nur an 3 Tageterminen angestellt werden.

Was die Erwärmung von 7^h—13^h im Gebiete Pernau-Reval-Ollustfer anbelangt, so ist ein Teil davon den östlichen Winden zuzuschreiben, wodurch eine Temperaturerhöhung um höchstens 8°—9° hervorgerufen wurde, während durch das adiabatische Herabsinken eine weitere Erwärmung um etwa 5°—6° sich erklären lässt.

Zum Schluss möchte ich noch bemerken, dass in den Wintermonaten oft ähnliche Fälle einer plötzlichen Temperaturzunahme vorkommen, die nach unserer Ansicht durch adiabatisches Herabsinken der über der Inversionsschicht schwebenden warmen Luftmassen erklärt werden kann, — worauf übrigens bereits O. Johanson hingewiesen hat¹⁾.

Zusammenfassung.

Der betrachtete Fall erweckt den Eindruck, dass wir als Hauptursache beim beschriebenen Temperaturanstiegen das Niedersinken der höheren warmen Luftmassen ansehen können, was besonders dadurch seine Bestätigung findet, dass das Erwärmungsgebiet mit dem Gebiete der absteigenden Luftmassen zusammenfällt.

1) O. Johanson, Über Entstehung und Wirkungen absteigender Luftströme. Acta Societatis Scientiarum Fennicae. Tom. XLIV, No. 1.

**ÜBER DIE VERBREITUNG EINIGER BEMERKENSWERTER UND SCHUTZBEDÜRFTIGER PFLANZEN
IM OSTBALTISCHEN GEBIET**

VON

EDM. SPOHR

DORPAT 1928

Nächst der Eibe (*Taxus baccata*), deren Nordostgrenze bekanntlich im Ostbaltischen Gebiet¹⁾ verläuft und zu deren Erhaltung und Pflege hier mancherorts entsprechende Massnahmen getroffen worden sind, kämen von weiteren zu schützenden Naturdenkmälern der Pflanzenwelt in erster Linie *Cerastium alpinum*, *Hedera helix*, *Eryngium maritimum* und *Pinguicula alpina* in Betracht. Diesen pflanzengeographisch bemerkenswerteren Pflanzen droht eine Gefährdung insofern, als sie selten vorkommen, mehr oder weniger auffällig sind und schliesslich zum Teil an Standorten gedeihen, die durch etwaige kulturelle Eingriffe verändert oder vernichtet werden könnten.

Im nachstehenden soll eine Übersicht über die Verbreitung der erwähnten Pflanzen im Ostbaltischen Gebiet gegeben werden. Als Unterlage diente dabei eine kritisch behandelte Zusammenstellung aller Fundorte, die dem Verfasser sowohl aus eigener Anschauung als auch auf Grund der Durchmusterung von Schrifttum, Pflanzensammlungen²⁾ und durch briefliche sowie mündliche Mitteilungen³⁾ bekannt geworden sind.

Solch eine Übersicht dürfte nicht nur als Beitrag für die Naturschutzfrage zweckdienlich sein, sondern sie ist auch für pflanzengeographische Studien von Wert, da es sich bei den meisten der genannten Arten um Erweiterung und Berichtigung der bisherigen Kenntnisse über ihre Verbreitung im Ostbaltischen Gebiet handelt.

1) Über die Ausdehnung und Begrenzung des „Ostbaltischen Gebiets“ vergl. Kupffer 1925 S. 3.

2) Benutzt worden sind die Herbarien des Botanischen Instituts der Universität Tartu (Dorpat) und der Naturforscher-Gesellschaft an derselben Universität, die im folgenden als HBI bzw. HNG angeführt werden. Eigene Beobachtungen werden in üblicher Weise mit !, gesehene Belegstücke mit ! gekennzeichnet.

3) Insbesondere wertvolle, eingehende briefliche Mitteilungen stellte dem Verfasser Herr Prof. Dr. K. R. Kupffer zur Verfügung, und die Entdeckung eines sehr beachtenswerten neuen Efeu-Fundorts teilte Herr Abteilungsleiter B. Tiismann mit. Beiden Herren sei auch an dieser Stelle für ihr freundliches Entgegenkommen bestens gedankt.

1. *Cerastium alpinum*.

Das in den mitteleuropäischen Gebirgen (stellenweise auch „bis in die Moore der Bayrischen Hochebene“ herabsteigend, Ascherson und Graebner S. 614) und im arktisch-zirkumpolaren Gebiet verbreitete Alpen-Hornkraut (*Cerastium alpinum*) gedeiht nach den bisherigen Beobachtungen im Ostbaltischen Gebiet nur an einem einzigen Ort, und zwar am Glint bei Reval [Tallinna]⁴⁾ auf dem sogen. Laksberge [Lasnamägi] (vergl. die Karte auf S. 19). Die nächstgelegenen Fundorte befinden sich im südöstlichen Finnland (Ruprecht S. 171, Mela-Cajander S. 251). Bei Reval gedeiht *Cerastium alpinum* vorzüglich in kleinen mehr oder weniger lockerrasigen Gruppen in den Spalten und Klüften am oberen Rande des steilabfallenden silurischen Kalkfelsens und in einem alten Steinbruch. Diese Pflänzchen gehören, abgesehen von ihrer durch Alter und Standortsverhältnisse bedingten veränderlichen Behaarung und Grösse, im allgemeinen zur Form *lanatum* (Lam.) Hegetschw. (Schinz und Keller S. 105), bzw. zu *Cerastium lanatum* Lam. I *villosum* Baumg. (Ascherson und Graebner S. 617—618).

Die ersten sicheren Angaben über das Vorkommen von *Cerastium alpinum* im Ostbaltischen Gebiet am erwähnten Ort gehen auf das Jahr 1849 zurück (Seidlitz S. 127, unter *Cerastium lanatum* Lam., vergl. auch Heugel S. 137).

2. *Hedera helix*.

Im allgemeinen eine ähnliche Gesamtverbreitung (vergl. Holmboe S. 63 und Troll S. 315) wie die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) aufweisend, gehört der Efeu (*Hedera helix*) zu der engeren Gruppe der Rotbuchen-Begleitpflanzen (Winkler und Höck in Troll S. 316) und dringt nordwärts bis zum 60° 25' n. Br. in Norwegen vor (Holmboe S. 11 und Karte). Das Vorkommen des Efeus im Ostbaltischen Gebiet beansprucht insofern besondere Beachtung, als hier die Nordostgrenze dieses mitteleuropäischen Wurzelkletterers verläuft, also in einem Gebiet,

4) Hier wie im folgenden sind den deutschen, für Estland in Frage kommenden Ortsbezeichnungen auch die entsprechenden estnischen Namen in eckigen Klammern hinzugefügt, insbesondere, soweit die Ortsnamen zum erstenmal angeführt werden.

wo bekanntlich die Rotbuche, dieser Charakterbaum Westeuropas, wild nicht mehr gedeiht⁵⁾.

Auf Grund des weiterhin gegebenen Fundortsverzeichnisses gestaltet sich die allgemeine Verbreitung des Efeus im Ostbaltischen Gebiet wie folgt:

In Estland kommt der Efeu [estnisch: „luuderohi“ und „eefeu“]⁶⁾ auf der Insel Ösel [Saaremaa] vornehmlich in ihrem westlichen Teil, und auch, wie erst jüngst bekannt geworden, an der Westspitze der Insel Dagö [Hiiumaa] vor. Letztgenannter Fundort ist mit 58° 53' n. Br. und 22° 14' ö. L. nunmehr der nördlichste ostbaltische und nordöstlichste europäische. Die bisherigen Verbreitungsangaben und Karten (wie die von Köppen, Sivers 1903, Kupffer 1904, 1911, 1912, 1925, Tobler, Troll, Holmboe u. a.) wären dementsprechend zu ergänzen. In Lettland beschränkt sich die Verbreitung des Efeus, soweit man nur die glaubwürdigen und mit Sicherheit bekannt gewordenen Fundorte berücksichtigt, auf die „westliche Unterabteilung“ der „Kurischen Strandniederung, *Curonia litoralis*“ (vergl. Kupffer 1925 S. 139 und Karte).

In der Regel gedeiht der Efeu im Ostbaltischen Gebiet in Kiefernbeständen, Mengwäldern, seltener auf Gehölzwiesen, meistens am Boden kriechend, mancherorts jedoch an Baumstämmen 4–10 m emporkletternd.

Blühhfähiger wildwachsender Efeu⁷⁾ ist nur einmal, und

5) Die in den Schriften verschiedenerseits erwähnten und behandelten prächtigen 200–300-jährigen fruchttragenden Rotbuchen im Preeden-Wald bei Kalleten (Kalethen) in Südkurland sind wohl nicht als urwüchsig (Willkomm 1875 S. 373), sondern als angepflanzt (Bode S. 30 bei Köppen S. 148) und „im Zustand des Verwilderns befindlich“ (Kupffer 1899. S. 126) anzusehn.

6) Luce (1823 S. 71) führt für den Efeu folgende estnische Bezeichnungen an: „ragga mailase rohhi“ und „lude rohhi“ und macht über die Anwendung dieser Pflanze als Heilmittel bei der Öselschen Landbevölkerung nachstehende Mitteilungen: „Unsere Ehsten reiben krätzigte Flechten mit dem Kraute, brauchen es auch wohl innerlich, mit Bier gekocht, gegen Gliederschmerzen“. An einer anderen Stelle (1829 S. 19) schreibt er: *Hedera helix* „gebraucht der Ehste bei Flechten, innerlich bei Gliederschmerzen als Decoct. Mit welchem Erfolge, ist unbekannt“.

7) Die Blühbarkeit des Efeus beginnt in Mitteleuropa durchschnittlich zwischen dem 8. u. 10. Lebensjahr (Hegi S. 921, Tobler S. 26–27), und damit im Zusammenhang findet, wie bekannt, auch die Entwicklung der in

zwar auf der Halbinsel Sworbe [Sörve] beobachtet worden (Fundort № 17). Die Sworbe zeichnet sich durch verhältnismässig hohe Herbst- und Wintertemperaturen aus (Sept. 12,9°; Okt. 8,8°; Nov. 3,5°; Dez. 0,2°; Jan. — 2,2°; Febr. — 3,2°, nach Kurrik S. 480) und stellt somit das wärmste Gebiet Estlands dar.

Über das Blühen von angepflanztem Efeu unter freiem Himmel innerhalb der natürlichen Verbreitungsgrenzen im Ostbaltischen Gebiet liegen Angaben sowohl aus Estland von der Sworbe (vergl. Fundort № 17) als auch aus Lettland (s. weiter S. 13) vor. Im letztgenannten Fall ist auch Fruchtreife beobachtet worden.

In strengeren Wintern leidet der Efeu im Ostbaltikum unter dem Frost, indem er entweder bis zur Schneedecke abfriert (Kupffer 1899 S. 127), teilweise oder gänzlich ausfriert (Willkomm 1872 S. 111, Lehmann 1895 S. 379, Kupffer a. a. O.)⁸⁾.

Zur Beleuchtung des Vorkommens von *Hedera helix* im Ostbaltischen Gebiet inbezug auf geobotanische und klimatische Verhältnisse sei darauf hingewiesen, dass das Verbreitungsgebiet unterhalb der höchsten marinen Transgressionsgrenze (vergl. die Karte bei Kupffer 1925) liegt und dass die gegenwärtig mit Sicherheit bekannt gewordenen östlichsten Fundorte sich im allgemeinen an den

ihrer Form von den gelappten Jugendblättern abweichenden ganzrandigen länglich-rautenförmigen Folge- oder Altersblätter statt. Der Efeu ist ein „Herbstblüher“ und seine Früchte reifen im nächsten Frühjahr (Hegi S. 916, 921).

8) Über das Gedeihen des angepflanzten Efeus im Ostbaltikum im Freien, ausserhalb seines natürlichen Verbreitungsgebiets, liegen nur wenige Beobachtungen vor. Nach Klinge (1883 S. 144) wird er bei Reval und Riga angepflanzt, muss aber nach F. Wagners Angaben bei Kusnezow im Winter gedeckt werden. Sivers (1900 S. 184) führt in seiner Aufzählung von winterharten Gehölzen, die in der pflanzengeographischen Anlage bei Römershof an der Düna ohne Schutzmassregeln gedeihen, auch *Hedera helix* an. Auf dem lutherischen Kirchhof in Pernau hat der Efeu als Grabhügelschmuck nur bei entsprechender Schutzdecke den Winter überdauert (1908—1910!!). Im Botan. Garten der hiesigen Universität sind wiederholt ausgepflanzte (1920—1923!!), ungeschützte Stecklinge verschiedener Herkunft (auch von Ösel) und Topfexemplare, wenn auch nicht immer nach dem ersten Winter, so doch nach dem zweiten ohne Ausnahme zugrunde gegangen. Gegenwärtig werden hier weitere Anpflanzungsversuche mit erforderlichem Winterschutz fortgesetzt (vergl. auch Kusnezow).

Verlauf der Januarisotherme von $-2,5^{\circ}$ (Meyer und Bauman S. 171) mehr oder weniger anlehnen, mit Ausnahme zweier Fundorte (№ 2 und 3) auf Ösel, die sich weiter ostwärts befinden. Berücksichtigt man dagegen den kältesten Monat im Ostbaltischen Gebiet, den Februar, so ergibt es sich, dass das gesamte Verbreitungsgebiet westlich von der Februarisotherme -4° gelegen ist (vergl. die Karte auf S. 12).

Ein näheres Eingehen auf den Gesamtverlauf der Nordostgrenze des Efeus in Europa im Zusammenhang mit den Januarisothermen von 0° und -1° an der West- und Südküste Norwegens, von -3° im südöstlichen Norwegen und in Schweden und schliesslich von -4° in Russland, sowie weitere Erörterungen über das Efeu-Areal und die sogen. „Ozeanität“, erübrigen sich durch schon vorliegende diesbezügliche Studien und Darlegungen (Köppen S. 445—447, Holmboe S. 67—68 und Troll).

Fundortsverzeichnis für *Hedera helix*.

Estland.

Dagö [Hiiumaa].

Ksp.⁹⁾ Roicks [Röigi]:

1. Etwa 1,5 km östlich vom Gute Köppo [Kõpu], nach brieflichen (1926—1928) und mündlichen (1927) Mitteilungen von Herrn B. Tiismann, laut denen der Efeu hier zuerst von Herrn Lehrer T. Alkok entdeckt worden ist. Auf Veranlassung des ersteren besichtigte Herr Oberförster Laius den Standort am 18. IV 28 und fand unter anderem hier eine Fläche von etwa 10 m^2 mit Efeu bedeckt, wobei ein Spross an einer Schwarzerle etwa 2,5 m hoch emporgeklettert war. Den Baumbestand, der eine Dichte von 0,7 aufwies, bildeten 30—40-jährige Schwarzerlen, 60—100-jährige Fichten und 50-jährige Kiefern.

Ösel [Saaremaa].

Ksp. Karris [Karja]:

2. Bei Karris mehrfach, aber leider immer ohne nähere Fundortsbezeichnung:

9) Ksp. = Kirchspiel.

- a) Luce 1823 S. 71;
 - b) Ledebour II S. 376 nach brieflicher Mitteilung von Löwis;
 - c) Sass bei Schmidt 1855 S. 70.
3. Karjalasma, Kupffer 1904 S. 77.
Ksp. Mustel [Mustjala]:
4. Etwa 0,75 km nordwestlich von Mustel, auf dem Heuschlage des Dorfes Wanakubja [Vanakubja], zerstreut und gesellig am Boden kriechend auf einer Fläche von etwa 180×1000 m, VIII 1925; diese Mitteilung verdankt der Verfasser Frau stud. bot. E. Piipenberg. Die Angabe bei Vilberg 1923 S. 59: Mapere-[Maapere-] Strand, in der Nähe der Kirche Mustel, ist nicht eindeutig und konnte daher keine Berücksichtigung finden.
Ksp. Kielkond [Kihelkonna]:
5. Oiametz [Ojaments] bei Taggamois [Tagamöisa] mehrfach:
- a) Conwentz S. 87, am Boden hinkriechend¹⁰⁾;
 - b) „bewaldeter Abhang an der O-Küste der Halbinsel, am Boden, 18. VIII 1902“, Kupffer brieflich;
 - c) an 2 Kiefernstämmen 5—5,5 m hoch emporklimmend und am Boden kriechend, 20. VII 1925!!
6. Zwischen Piddul [Pidula] und Kielkond, Sass bei Schmidt 1855 S. 70, ohne nähere Ortsbezeichnung.
7. Kadfel [Loona] „nahe der W-Küste, am Fusse einer Eiche kletternd, 16. VIII 1902“, Kupffer brieflich.
8. Am Widoberge [Viidumägi] mehrfach:
- a) „am Fusse des Widoberges im Gebüsch“, Skottsberg und Vestergren S. 31;
 - b) „Wald am Fusse des Wido-Abhanges bei Mäpä“ [Mäepää] „28. VI 1900, 21. VI 1907, 24. VII 1902“, „dieses letzte Exemplar etwa 4 m hoch in eine gegen 10 m hohe dicht verzweigte Fichte emporgeklettert“, Kupffer brieflich;
 - c) „Widoberg am Fusse des Mäpä“, 19. VII 1900, Klinge HBI!, vergl. auch Tobler S. 18.

10) Bei Conwentz S. 87 findet sich für den in Frage kommenden Standort folgende Vegetationsschilderung: „Die Pflanzendecke besteht aus: *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis idaea*, *Anemone nemorosa*, *Hepatica triloba*, *Majanthemum bifolium*, *Oxalis acetocella*, *Trientalis europaea*, *Sanicula europaea*, *Paris*

d) im Gebüsch bei Mäpä, 12 VII 1925!!¹¹⁾

Ksp. Kergel [Kärla]:

9. Tawi- [Taavi-] Krug, Kierulff bei Schmidt 1855 S. 70.
10. Hirmust [Hirmuste] „Westabhang der grossen Moräne am Ostrande“, Schmidt bei Lehmann 1896 S. 103.
11. „Wald bei Aidanöm [Aidanömmen] südlich von Hirmust, 18. VIII 1907“, Kupffer brieflich.

Ksp. Anseküll [Anseküla]¹²⁾:

12. Leo [Löu], Schmidt bei Lehmann 1896 S. 103.

Ksp. Jamma [Jāmaja]:

13. Bei Wintri [Vintri], im Gebüsch am Boden, 3. VII 1924, E. Lepik HBI!
14. Bei Waldesheim [estnisch?], Bruttan bei Bunge Flora exsiccata № 341! und Werner¹³⁾ und Bruttan bei Schmidt 1855 S. 70.

quadrifolius, *Pirola uniflora*, *P. media*, *Lactuca muralis*, *Potentilla tormentilla*, *Daphne mezereum*, *Hedera helix*, *Linnaea borealis*, *Phegopteris dryopteris*, *Pteris aquilina* etc. Den Hauptbestand bilden verschiedenalterige Fichten, wovon einige Exemplare über dem Erdboden 2 m Stammumfang erreichen. Dazu kommen Kiefer, Espe, Stieleiche, Eberesche, Hasel, Eibe, Wacholder, Alpen-Johannisbeere (*Ribes alpinum*), und sodann einige bis 10 m hohe Exemplare von *Pirus succica*.

11) Die von Lehmann 1896 S. 103 angeführte Angabe nach Schmidt für Mäpä ist hier nicht berücksichtigt worden, da es nicht mit Sicherheit zu entscheiden ist, ob es sich hier um Mäpä am Widoberge oder um Mäpä auf der Halbinsel Sworbe handelt.

12) Im HBI befinden sich 3 Herbarblätter mit vegetativen und blütentragenden Sprossen, die der Etikettierung gemäss von H. Hiir 1901 und VI 1902 auf der Halbinsel „Sworbe, im Walde bei der Forstei“ gesammelt worden sind. Doch entsprechen die wohlentwickelten Blüten nicht der vermerkten Sammelzeit: VI, da ja der Efeu bekanntlich im Herbst, also frühestens im Aug. blüht. Auf einem 4. Herbarblatt hat Hiir „1901 In Wäldern Livland“ angegeben und später hinzugefügt „auf Ösel Sworbe“.

Diese Unstimmigkeiten bestätigen nur wieder die schon verschiedenerseits (Puring S. 263, Kupffer 1925 S. 69) erwähnte Unzuverlässigkeit der Hiirschen Angaben, die daher hier wie auch im weiteren nicht verwandt worden sind:

13) Der nach Werner bei Wiedemann und Weber S. 143 angeführte Ortsname „Kolze“ dürfte wohl der Bezeichnung „Kolz“ oder „Koltz“ entsprechen, es lässt sich aber, da nähere Fundortsbeschreibungen fehlen, nicht entscheiden, inwieweit hier die allgemein gehaltenen Angaben für Waldesheim und Kolz — zwei dicht beieinander gelegene ehemalige Vorwerke — zu trennen oder zusammenzuziehen wären.

15. „Bewaldete ehemalige Meeresuferböschung bei Kolz [estnisch?] am Boden, 30. V 1901“, Kupffer brieflich.
16. „Mengwald „Pallometz“ [Palumets] nordwestlich von Kolz, teils am Boden kriechend, teils bis ein paar Meter hoch an Baumstämmen emporklimmend, 7. VIII 1907“, Kupffer brieflich.
17. Im Walde des Gutes Karky [Karki], H. v. Buxhoeveden in einem am 11. Nov. 1914 Prof. Dr. K. R. Kupffer gesandten Schreiben zusammen mit blühenden Efeuzweigen aus dem Garten des genannten Gutes.

Nach der von Herrn Prof. Dr. K. R. Kupffer mir freundlichst zur Verfügung gestellten Abschrift dieser in bezug auf die Beobachtung über die Blütenbildung sehr wertvollen brieflichen Mitteilung stammte der im Garten zu Karky blühende, damals etwa 15 Jahre alte Efeuableger von einem Wildling aus dem Gutswalde, wo er „bis zu einer Höhe von etwa 4—5 Faden an einer alten Kiefer emporwuchs“. Dieses bemerkenswerte, in seiner Entwicklung von v. Buxhoeveden im Laufe von ungefähr 25 Jahren verfolgte Exemplar fiel einige Jahre vor 1914 sinnloser Vernichtung zum Opfer und „zwar gerade, als es bereits an zwei Stellen Blütendolden zu bilden begann“.

Im Anschluss an diese Mitteilung möge erwähnt sein, dass auch im Oktober 1927 dem Verfasser frische blühende Efeuzweige, sowie reife Walnüsse (*Juglans regia*) aus dem Gutsgarten von Karky von Herrn von Buxhoeveden liebenswürdigst zugestellt worden sind.

18. Beim Dorfe Kawi [Kavi], im Walde an der Ufer-Böschung über 5 m hoch an einer Fichte emporkletternd und auch am Boden kriechend, 25. VI 1924, Vilberg 1924 S. 589.¹⁴⁾

Lettland.

1. In den Dondangenschen Forsten am Abhange der „Blauen Berge“ mehrfach:
 - a) Dondangen, Ledebour II S. 376 nach briefl. Mitt.

14) Die Angaben Chrebtovs S. 8 über das Vorkommen des Efeus u. a. auch beim sogen. „Krater“ in Sall [Kaali], in den Pastoraten Anseküll und Karmel [Kaarma], sowie beim Gute Ficht [Tiinuse] beziehen sich wohl vermutlich auf angepflanzte Exemplare.

von Löwis¹⁵⁾; obwohl nähere Ortsbezeichnungen fehlen, dürfte doch vorliegende Angabe aller Wahrscheinlichkeit nach sich auf das obengenannte Gebiet beziehen;

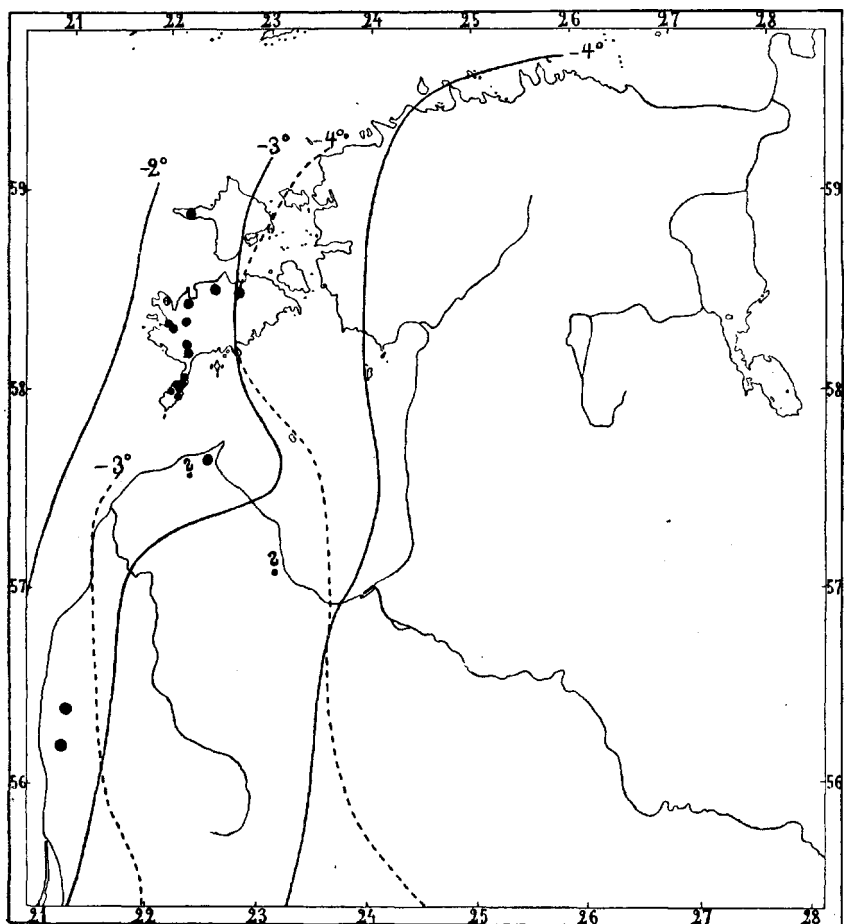
- b) „Schlieterberg“, Lehnert in Wiedemann und Weber S. 143, entspricht wohl den „Blauen Bergen“ bei Schlieterhof, siehe weiter c) und d);
 - c) Niederungswald am Fusse der „Blauen Berge“ bei Schlieterhof „teils auf dem Boden hinkriechend, teils die Stämme umrankend“, Willkomm 1872 S. 110—111 und derselbe 1875 S. 379, vergl. auch Berg nach Klinge in Lehmann 1895 S. 379;
 - d) „Mengwälder am Abhang und vor dem Fusse der sogen. „Blauen Berge“ im Revier Schlieterhof und im Belauf der Buschwächtereien Langemann 29. VII 1898“, Kupffer brieflich und derselbe 1899 S. 127.
- 2. Angern, Ledebour II S. 376 nach brieflicher Mitteilung von Löwis¹⁵⁾; da diese ungenaue Angabe nicht zuverlässig belegt ist und die in Frage kommende Gegend bedeutend östlicher als die sicher bekannten Fundorte liegt, hat sie bei Kupffer (1911, Karte „Vegetations-Skizze des Ostbaltischen Gebiets“) keine Berücksichtigung gefunden, derselbe brieflich.
 - 3. Ansen, Lieb bei Grindel S. 345, dürfte sich wohl auf „Anzen“ beziehen; obwohl diese Angabe sehr allgemein gehalten ist, so ist doch ein Vorkommen des Efeus in dieser Gegend immerhin denkbar, bedarf aber noch einer Bestätigung.
 - 4. „Im Nieder-Bartauschen Forst. Wald am Wege nach Ober-Bartau, Herb. Dr. med. P. Lackschewitz № 6673“, Kupffer brieflich, vergl. auch A. Grosse bei Kupffer 1907 S. 201.
 - 5. Im Rutzauschen Forst mehrfach:
 - a) Rutzau-Forstei, Lehmann S. 379;
 - b) „Im Mengwalde zwischen den Buschwächtereien Dishzel-Pesse, Eser-Pesse und Kalnischki nordwestlich von der Forstei Rutzau, 25. VIII 1898 Kupffer und

15) Ledebour II S. 376 führt für Kurland 3 Quellen an, von denen jedoch bei Ferber und Fischer S. 155, sowie bei Fleischer und Lindemann S. 94 keine näheren Fundortsbezeichnungen gegeben sind, und somit dürfte von den bei Ledebour genannten Gewährsmännern Löwis als einziger für Dondangen und Angern in Frage kommen.

Herb. Dr. med. P. Lackschewitz №.№ 248, 9575, „Kupffer brieflich; vergl. auch Kupffer 1899 S. 127: „an geschütztem Ort ein Exemplar, welches über mannshoch an einem Stamm emporgeklommen war“.

Die noch für Lettland in Frage kommende Angabe: „Am Paddernschen Bach nördlich von Goldingen“ bei Kupffer 1904 S. 77 beruht auf einer von E. Meissel gemachten (1900) und mündlich mitgeteilten Beobachtung, die aber später (1908) nicht bestätigt werden konnte, Kupffer brieflich.

Ferner verdient erwähnt zu werden, dass auf dem Gute



Fundortskarte von *Hedera helix* im Ostbaltischen Gebiet.

| = Januarisothermen, | = Februarisothermen (nach Meyer und Bauman).

Gross-Lahnen, zwischen Durben und Hasenpot, im südwestlichen Kurland, ein als Steckling aus Sachsen eingeführter Efeu an der Nordseite des Herrenhauses ohne besonderen Schutz gegen die Winterkälte etwa 6 m hoch emporgeklettert war und alljährlich geblüht und reife Früchte entwickelt hatte, Kupffer 1907 S. 201.

Auf der vorstehenden Karte sind in Estland alle Fundorte mit Ausnahme von № 6 und in Lettland №№ 1, 4, 5 vermerkt worden, für die unsicheren lettländischen №№ 2 und 3 stehn entsprechende Fragezeichen.

3. *Eryngium maritimum*.

Die Stranndistel (*Eryngium maritimum*), diese eigenartige atlantisch-mediterrane Charakterpflanze des Sandstrandes und der Dünen, erreicht die Nordgrenze ihrer Verbreitung in Südnorwegen (59°26' n. Br., Hegi S. 980) und in Südschweden (Friesendahl S. 123—124, Lindman S. 425). Daran anschliessend erstreckt sich die Nordostgrenze im Ostbaltischen Gebiet gegenwärtig über die Inseln Dagö, Ösel, Kühnö [Kihnu] und verläuft südwärts über die westliche Kurische Strandniederung. Somit liegt zurzeit der nordöstlichste europäische Fundort mit 58°54' n. Br. und 22°7' ö. L. auf Dagö und der östlichste ostbaltische auf Kühnö.

Die ersten sicheren Nachrichten über das Vorkommen der Stranndistel im Ostbaltischen Gebiet und zwar bei Polangen stammen aus dem Jahr 1881. Nachher ist sie zu verschiedenen Zeiten verschiedenerorts entdeckt worden, doch konnte sie an den meisten Fundorten bei wiederholter Beobachtung nicht mehr gesichtet werden. Nur nördlich von Seemuppen ist die Stranndistel nach etwa 30 Jahren und auf der Insel Kühnö nach 3 Jahren wieder gefunden worden (vergl. die entsprechenden Fundorte im nachstehenden Verzeichnis).

Die Unbeständigkeit dieser Strandpflanze dürfte wohl in der Unruhe und Veränderlichkeit des Standortes seine Erklärung finden; ist doch der Sandstrand durch Wellengang bei Hochwasser und durch Eisschürfungen einer steten Wandlung unterworfen.

Sandverschüttungen verträgt die Stranndistel, indem sie durch den Sand hindurchwächst, gut.

Die vegetative Vermehrung geht ausgiebig durch die Bildung von Wurzelschösslingen vorstatten (Fundort № 5!!), vergl. auch Frisendahl S. 138—140). Über Fruchtbildung, -reife und -keimung der Stranddistel im Ostbaltischen Gebiet liegen keine Beobachtungen vor; doch dürfte ihre Verbreitung wohl vor allem durch losgelöste Wurzelteile vor sich gehen, die unter Umständen durch Wasser¹⁶⁾ und Eisschollen weit verschleppt werden können.

Fundortsverzeichnis für *Eryngium maritimum*.

Estland.

Dagö [Hiiumaa].

Ksp. Roicks [Rõigi]:

1. Halbinsel Dagerort [Kõpu], „am Ufer südlich von Kallaste [Kallaste]. Auf der Deflationsfläche ein einziges kräftiges Individuum“, 9. VII 1926, O. Eklund, HBI!, vergl. auch Eklund S. 35.

Ösel [Saaremaa].

Ksp. Kielkond [Kihelkonna]:

2. „In einer kleinen Bucht zwischen dem Surriko- [Suuriku-] und Lee-Pank [Lee-pank], 6 Werst nördlich von dem Gute Taggamois“ [Tagamõisa], 19. VIII 1890, Fr. Schmidt, Blüten, HNG! Die Pflanzen bedeckten „in grosser Menge eine ziemliche Strecke“. „Eine junge Bäuerin, über das Auftreten derselben befragt, erinnerte sich, dieses Gewächs schon in ihrer Jugend gesehen zu haben; lokal heisst die Pflanze dort sea-ohakad“, Klinge 1892 S. 438. Nachher ist an diesem Ort die Stranddistel „trotz eifrigsten Suchens“, insbesondere im Jahr 1902, nicht gefunden worden, Leibert S. 133.
3. Halbinsel Harrilaid [Harilaid], am Weststrande 20. VIII 1922, M. Härms, Blüten HBI!, vergl. auch Härms 1925 S. 6 und 1926/27 S. 161, 661.

Ksp. Keinis [Keina]:

¹⁶⁾ *Eryngium maritimum*-Samen können ohne Einbusse ihrer Keimfähigkeit 36 Tage im Salzwasser liegen (Preuss in Hegi S. 981).

4. Bei Kibbasaar [Kübarsaar] Schmidt bei Lehmann 1896 S. 103. Im Juni 1925 ist die Stranddistel auf der Halbinsel Kibbasaar nicht gesehen worden, Härms S. 661.¹⁷⁾

Kühn ö [Kihnu].

5. Am Strande etwa 1 km nordwärts vom Leuchtturm, zerstreut auf einer Sandflur-Fläche von etwa 10×30 m, Blüten in Knospen, 6. VII 1921!!

Auch 1924 ist die Stranddistel hier ziemlich reichlich vorhanden gewesen, 13. VII E. Saarson HBI!, vergl. auch Saarson S. 593.

Lettland.

1. 5 km nördlich von Seemuppen „bei dem Laika-Gesinde auf einer Stranddünenfläche S von der Mündung eines Baches“ „in etwa 24 Exemplaren“ Juli 1925, Zā m e l s S. 68.

Dieser Fundort ist schon vor etwa 30 Jahren von P. Lackschewitz entdeckt worden (Kupffer 1899 S. 128, Zā m e l s a. a. O.), und die Stranddistel scheint somit hier längere Zeit standgehalten zu haben.

2. Bei Seemuppen, etwa 30 km nördlich von Libau, P. Lackschewitz vor etwa 30 Jahren, doch liess sich 1899 und 1925 die Stranddistel hier nicht wiederfinden, Kupffer a. a. O. und Zā m e l s a. a. O.
3. „Etwa 1 km nördlich von der Papenseeschen Backe“, 1899, Kupffer a. a. O.; 1923 nicht wiedergefunden, Zā m e l s a. a. O.
4. „Am Strande beim Fischerdorfe Reinkus nördlich von Budendickshof“ v. Stempel; 1899 „verschwunden“, Kupffer a. a. O.

Litauen.

1. „Auf den Dünen von Polangen“ 1881 und früher, reichlich, später verschwunden W. Grüning bei Klinge 1892 S. 438.

4. *Pinguicula alpina*.

Die allgemeine Verbreitung des Alpen-Fettkrauts (*Pinguicula alpina*) erstreckt sich auf folgende Gebiete: Island,

17) Die Angabe von H. Hiir im HBI: „Am Strande bei Arensburg VII 1902“ ist hier aus den auf S. 9 erwähnten Gründen nicht näher berücksichtigt worden.

Schottland, Fennoskandinavien, Ostbaltisches Gebiet, Oberdeutsche Hochebene, Karpathen, Alpen, Jura, Pyrenäen und Sibirien (Hermann S. 429, Hegi VI 1, S. 159).

Die nächsten dem Ostbaltischen Gebiet benachbarten Fundorte liegen auf Gotland (Lindman S. 499) und in Mittel-Finnland (Mela-Cajander S. 525). Im Ostbaltischen Gebiet selbst ist *Pinguicula alpina* mit Sicherheit an 4 Fundorten in 3 verschiedenen „floristischen Landschaften“ — Ösel, Dorpat und Ober-Kurland (Kupffer 1925) — beobachtet worden, und zwar in mehr oder weniger stark kalkhaltigen Quellsümpfen. Am ältesten bekannt gewordenen Fundort bei Dorpat (1806) ist das Alpenfettkraut seit 36 Jahren durch Umgestaltung des Standortes verschwunden.

Eine umfassende Formengliederung von *Pinguicula alpina* liegt nicht vor, und das Bestehn etwaiger Unterschiede zwischen den nordischen, mitteleuropäischen und sibirischen Pflanzen ist noch nicht geklärt worden. Daher lässt sich auch die nähere systematische Stellung der ostbaltischen Pflanzen in bezug auf ihre Zugehörigkeit zu etwaigen geographisch verschiedenen Sippen vorläufig nicht bestimmen.¹⁸⁾

Was die entwicklungsgeschichtliche Deutung der im nord-europäischen Verbreitungsgebiet am südlichsten gelegenen Fund-

18) Reichenbach (S. 67—68 Taf. LXXXI) unterscheidet je nach der relativen Grösse und Gestaltung der 3 Oberlippenzähne des Kelches 3 geographisch verschiedene Arten: *Pinguicula alpina* L. in Lappland, *P. brachyloba* Ledeb. bei Dorpat und *P. flavescens* Flörke in den Alpen. Kupffer (1903 S. 256—257) hält nach Durchmusterung baltischer und alpiner Pflanzen diese Trennung nicht für gerechtfertigt. Ebenso wie Kupffer an seinen baltischen Exemplaren sowie bei einer Anzahl von Pflanzen alpiner Herkunft in der Regel gleich lange obere Kelchzähne beobachtet hat, von denen aber nicht selten der mittlere Zahn kürzer oder länger als die seitlichen war, fand auch der Verfasser an 22 Herbarpflanzen vom Fundorte bei Dorpat und 5 von Ösel, abgesehen von einigen Unregelmässigkeiten, die Kelchoberlippe mehr oder weniger gleichförmig stumpfer oder spitzer dreizählig; fernerhin besaßen die Pflanzen aus Estland meistens 2—3, seltener 4—5 oder 6 Stengel, wobei deren Länge zwischen 8—13 cm schwankte.

Über eine neue Gliederung der alpinen Formen vergl. Schinz und Keller (S. 317), von denen hier nur die Unterart *Gavei* Beauverd mit amethystfarbiger oder lila Krone erwähnt sein möge, als Gegenstück zu der weissblütigen Form von *P. vulgaris*, die auch im Ostbaltischen Gebiet beobachtet worden ist (Kupffer 1904 S. 64). Diese Formen mit vertauschten Blütenfarben könnten gelegentlich Anlass zu etwaiger Verwechslung geben.

orte anbelangt, so bietet das Vorkommen von *Pinguicula alpina* auf Gotland und Ösel, auf Inseln, die bekanntlich erst lange nach dem „arktischen Zeitabschnitt“ aus dem Meere aufgetaucht sind, ein warnendes und belehrendes Beispiel, wie bedacht und mit welcher Vorsicht die Reliktfrage zu behandeln ist (vergl. auch Kupffer 1925 S. 167—168).

Fundortsverzeichnis für *Pinguicula alpina*.

Estland.

Ösel [Saaremaa].¹⁹⁾

Ksp. Mustel [Mustjala]:

1. „An dem nördlichen quellenreichen Abhänge der Anhöhe“ „Libanon“ Müller S. 23; nach der gegebenen Schilderung handelt es sich hier wohl um die etwa 1,5 km westlich vom Dorfe Wöchma [Vöhmaa] gelegenen Erhebungen, die im Kodaramägi [Kodaramägi] gipfeln. Diese sonst glaubwürdige Angabe ist gleich den anderen nicht immer zutreffenden Mitteilungen Müllers von Schmidt (1854 S. 22 und 1855 S. 8 und 9) prinzipiell unberücksichtigt geblieben. 1901 ist *Pinguicula alpina* am bezeichneten Ort vergeblich gesucht worden (Kupffer 1903 S. 256). Jedenfalls verdient die obige Angabe Müllers Beachtung.

Ksp. Kielkond [Kihelkonna]:

2. Am Fusse des Widoberges [Viidumägi] bei Käsel [Kääsla] mehrfach:

a) 1900 Klinge, später

b) Lackschewitz S. 229 und

c) Kupffer 1904 S. 64.

3. Kalkhaltiger Quellsumpf am Waldrande etwa 1,25 km nord-östlich vom Gute Kusnõm [Kuusnõmme] 17. VII 1925, zum grössten Teil abgeblüht und fruchtend!!

Kr.²⁰⁾ Harrien [Harjuma].

4. Ksp. Kegel [Keila]: Bei Fall [Joa], Regel S. 51: „nach mündlichen Mitteilungen Dietrichs“, ist bis hierzu nicht geprüft worden und daher unsicher.

19) Von Luce S. 6 wird *Pinguicula alpina* für Ösel ohne nähere Fundortsbezeichnung, aber mit der nicht zutreffenden Bemerkung „In maritimis siccis“ angeführt.

20) Kr. = Kreis.

Kr. Fellin [Viljandimaa].

5. Ksp. Pillistfer [Pilistvere]: Bei Pillistfer, Kupffer 1904 S. 64: „Pastor Mickwitz nach mündlicher Mitteilung von Klinge“; bedarf ebenso wie 4. einer Nachprüfung, „ob es sich nicht um *P. alpina* L. f. *albida* Behm handelt“, Kupffer a. a. O.

Kr. und Ksp. Dorpat [Tartumaa, Tartu].

6. Bei Dorpat mehrfach:

- a) „Wächst nahe bey unserer Stadt, gesellschaftlich mit *Pinguicula vulgaris* auf sumpfigen Wiesen in der Nähe des Flusses, auch in sumpfigen schattigen Hainen“ Germann S. 104.²¹⁾
- b) Ohne nähere Fundortsbezeichnung: Fleischer und Lindemann S. 15, Ledebour III S. 4, Wiedemann und Weber S. 13, Fleischer und Bunge S. 12.
- c) Moor- oder Sumpfwiese am Embach [Emajõgi] bei Techelfer [Tähtvere]: Glehn S. 67 und Flora Dorpat. exsic. im HNG!, Regel S. 51, Klinge 1882 S. 344, Kupffer 1904 S. 64: „ist nach 1892!! durch Melioration eingegangen“; ausserdem sind Belegstücke vorhanden im HNG aus den Jahren 1837 (Sammler?) und 1873 von C. Winkler und im Besitz des Verf. aus den Jahren 1840 und 1850, letztere, soweit es sich nach der Handschrift feststellen lässt, wohl von G. C. Girsensohn gesammelt.

Lettland.

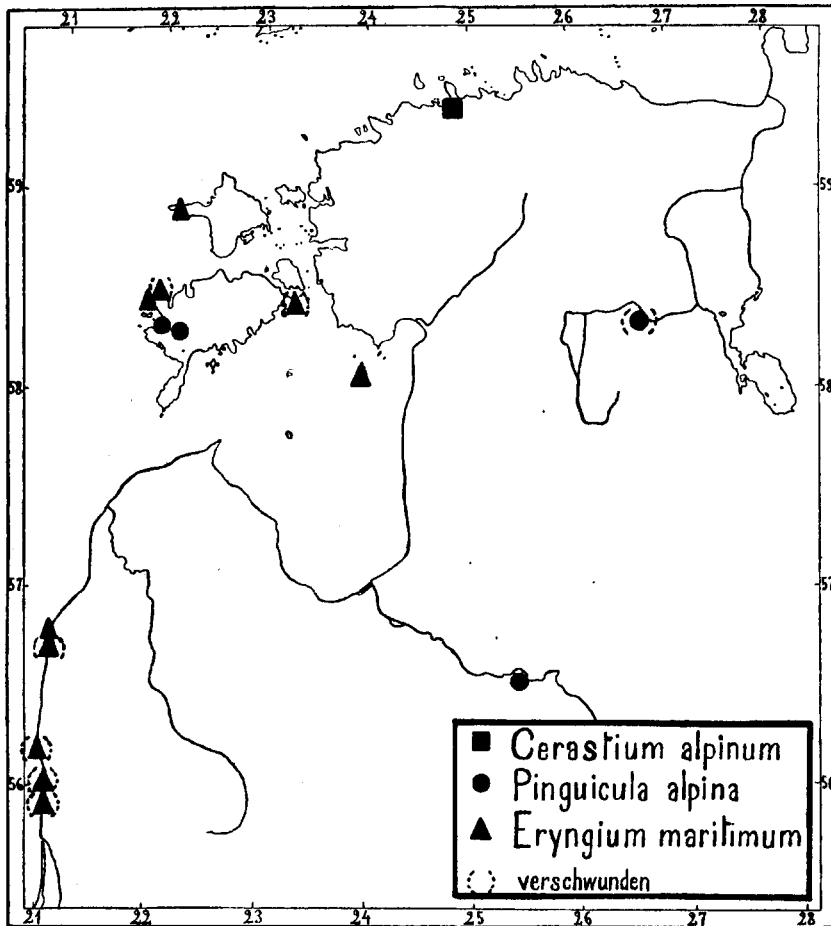
1. Am Tränenfelsen („Stabburags“) bei Stabben am linken Dünaufer mehrfach:

a) Fleischer und Lindemann S. 15;

b) 18. VII 1893, 6. V 1894, 20. VI 1901, 22. V 1907, Kupffer brieflich, vergl. auch denselben 1904 S. 64.

Dieser beschränkte Standort, an dem *Pinguicula alpina* noch gegenwärtig gedeihen soll, ist „durch Abbau des den

21) Zufolge dieser Schilderung Germanns, eines bekanntlich zuverlässigen Gewährsmanns, scheint *Pinguicula alpina* bei Dorpat weiter verbreitet gewesen zu sein, was aber aus den Angaben der späteren Beobachter nicht zu ersehen ist.



Fundortskarte von *Cerastium alpinum*, *Eryngium maritimum* und *Pinguicula alpina* im Ostbaltischen Gebiet.

Tränenfelsen bildenden Sintersteins gefährdet“, Kupffer brieflich.

Die Angabe für das rechte Dünaufser bei Stockmannshof nach Grube bei Kupffer 1904 S. 64 hat keine Bestätigung gefunden, Kupffer brieflich.

Auf der nachstehenden Karte sind nur die mit Sicherheit bekannt gewordenen Fundorte vermerkt worden, und zwar in Estland №№ 2, 3, 6 und in Lettland № 1.

Was nun die Gefährdung der oben erörterten Pflanzen im Ostbaltischen Gebiet anbetrifft, so bedürfen eines besonderen Schutzes in erster Linie die beiden arktisch-alpinen Pflanzen *Cerastium alpinum* und *Pinguicula alpina*. Erstere wird an ihrem einzigen Standorte, am Glint bei Reval, hauptsächlich durch die Anlage von Steinschleufen und durch Sammler bedroht; letztere, die ihren seit altersher bekannten klassischen Standort bei Dorpat durch Melioration schon eingebüsst, ist mit Sicherheit nur noch an 3 Fundorten beobachtet worden und läuft Gefahr durch Standortsveränderungen (wie in Lettland) sowie durch unbedachten Sammeleifer ausgerottet zu werden.

Weniger gefährdet ist *Hedera helix*, doch leidet diese eigenartige mitteleuropäische Liane vornehmlich durch sinnloses Abreißen und Ausraufen. Besondere Beachtung und Pflege verdient der Fundort auf Dagö, ist er doch gegenwärtig der am weitesten nordostwärts vorgeschobene.

Am günstigsten gestalten sich die Verhältnisse für *Eryngium maritimum*, da diese mediterran-atlantische Strandpflanze besonders in Estland in schwach bewohnten und selten aufgesuchten Gebieten gedeiht, wenn schon auch diesem raren und reizvollen Florenkinde von Sammlern Gefahr droht, zumal wenn es vereinzelt auftritt.

Sachkundige Überwachung und Schutz der bekannt gewordenen Fundorte und Siedelungen der oben erörterten bemerkenswerten Pflanzen liegen nicht nur im Interesse der Pflege heimatlicher Natur, sondern sind vor allem Hauptbedingungen für eine weitere Erforschung dieser Florenelemente.

Botanischer Garten der Univ.

Tartu (Dorpat), April 1928.

Schrifttum.

- Ascherson, P. u. Graebner, P. Synopsis d. Mitteleuropäischen Flora. **5**, 1. Leipzig 1919.
- Chrebtov, A. A. Pamjatniki prirody na ostrovach Ezelë, Abro i Runo. Fellin 1916.
- Conwentz, H. Beobachtungen über seltene Waldbäume in Westpreussen. Abhandl. zur Landeskunde d. Prov. Westpreussen. **9**. Danzig 1895.
- Eklund, O. Wichtigere Pflanzenfunde aus Estland im Sommer 1926. Memoranda Soc. pro Fauna et Flora fennica. **3**. 1926—1927. Helsingfors 1927. S. 32—37.
- Ferber, J. J. Anmerkungen zur physischen Erdbeschreibung von Kurland nebst J. B. Fischers Zusätzen zu seinem Versuch einer Naturgeschichte von Liefland. Riga 1874.
- Fleischer, J. G. u. Lindemann, E. Flora d. deutschen Ostseeprovinzen Est-, Liv- u. Kurland. Mitau 1839.
- u. Bunge, A. Flora d. deutschen Ostseeprovinzen Est-, Liv- u. Kurland. Mitau 1853.
- Frisendahl, A. Biologiska och morfologiska iakttagelser över *Eryngium maritimum* L. Acta Horti Gothoburgensis. **2**. Göteborg 1926. S. 123—142.
- Germann, G. A. Verzeichnis d. Pflanzen d. botan. Gartens d. Kaiserl. Univ. zu Dorpat. Dorpat 1807.
- Glehn, P. v. Flora d. Umgebung Dorpats. Archiv für d. Naturk. Liv-, Est- u. Kurlands. II Ser. **2**. Dorpat 1860. S. 489—574.
- Grindel, D. H. Botanisches Taschenbuch für Liv-, Kur- u. Estland. Riga 1803.
- Härms, M. Efforts de la sauvegarde des oiseaux dans la République de l'Esthonie. Compte-rendu du Congrès Internat. pour l'étude et la protection des oiseaux. Luxembourg 1925.
- Vogelschutzbestrebungen. Der Naturforscher. 1926/27. H. 3. Berlin-Lichterfelde. S. 160—161.
- Bemerkung zum Artikel des Konservators F. E. Stoll „Die Waikariffe, ein Vogelreservat in Estland“. Ebenda H. 12. S. 661.
- Hegi, G. Illustrierte Flora von Mittel-Europa. München. **5**, 2.
- Hermann, F. Flora von Deutschland und Fennoskandinavien, sowie von Island und Spitzbergen. Leipzig 1912.
- Heugel, C. A. Bemerkungen und Beiträge zur Flora d. Ostsee-Provinzen. Korr.-Bl. d. Naturf.-Ver. zu Riga. **5**. 1852. S. 113—152.
- Holmboe, J. Bergfletten i Norge. Bergens Museums Aarbok. 1918—19. Naturvidenskabelig række N^o 1.
- Klinge, J. Flora von Est-, Liv- u. Kurland. Reval 1882.
- Die Holzgewächse von Est-, Liv- und Kurland. Dorpat 1883.
- Bericht über im Jahre 1890 für das Ostbaltikum neu gesichtete Pflanzenarten. Sitzungsber. d. Naturf.-Ges. bei d. Univ. Dorpat. **9**, 3. Dorpat 1892. S. 420—440.

- Köppen, Fr. Th. Geographische Verbreitung d. Holzgewächse d. Europäischen Russlands u. d. Kaukasus. St. Petersburg. 1. Teil. 1888. S. 444—448.
- Kupffer, K. R. Beitrag zur Kenntnis d. Gefäßpflanzenflora Kurlands. Korr.-Bl. d. Naturf.-Ver. zu Riga. 42. 1899. S. 100—140.
- *Pinguicula brachyloba* Ledeb. Acta Horti Bot. Univ. Jurjevensis. 3. Dorpat 1903. S. 256—257.
- Bemerkenswerte Vegetationsgrenzen im Ost-Baltikum. Abh. d. Bot. Ver. d. Prov. Brandenburg. 47. Berlin 1904. S. 61—91.
- Kleine Notizen in Beitr. zur Kenntnis d. ostbalt. Flora. Korr.-Bl. d. Naturf.-Ver. zu Riga. 50. 1907. S. 180—210.
- Baltische Landeskunde. Riga 1911.
- Kurze Vegetationsskizze d. ostbaltischen Gebietes. Korr.-Bl. d. Naturf.-Ver. zu Riga. 55. 1912. S. 107—125.
- Grundzüge d. Pflanzengeographie d. Ostbaltischen Gebietes. Riga 1925.
- Kurrik, V. Eesti kliima valdkonnad. Loodus. Tartus 1924. S. 472—485.
- Kusnezow, N. J. Der Botanische Garten d. Kais. Universität zu Jurjew (Dorpat). VI. Botan. Centralbl. 1898. № 12.
- Lackschewitz, P. *Pinguicula alpina* L. Acta Horti Bot. Univ. Jurjevensis. 2. Dorpat 1902. S. 229.
- Ledebour, C. F. Flora rossica. 2, 3. Stuttgart 1844—1846, 1846—1851.
- Lehbert, R. Die Stranddistel auf Ösel. Der Naturforscher. 1927/28. H. 3. Berlin-Lichterfelde. S. 132—133.
- Lehmann, E. Flora von Polnisch-Livland u. Nachtrag. Archiv für d. Naturk. Liv-, Est- u. Kurlands. II Ser. 11, 1, 2. Dorpat 1895, 1896.
- Lindman, C. A. M. Svensk Fanerogamflora. Stockholm. 2. Aufl. 1926.
- Luce, J. W. L. v. Prodrum Florae Osiliensis. Riga 1823.
- Heilmittel d. Esten auf d. Insel Ösel. Pernau 1829.
- Mela, A. J. — Cajander, A. K. Suomen kasvio. Helsingfors 1906.
- Meyer, R. u. Bauman, G. Beiträge zur Klimakunde des Ostbaltischen Gebietes. Korr.-Bl. d. Naturf.-Ver. zu Riga. 59. 1927. S. 165—180.
- Müller, Versuch eines Vegetationsgemäldes v. Ösel. Korr.-Bl. d. Naturf.-Ver. zu Riga. 6. 1853. S. 1—26.
- Puring, N. Izslėdovanije flory Pskovskoj gub. za 1899 i 1900 g. Trudy S.-Peterburgskago Ob-va Jestestvoispytat. 30, 3. 1900. S. 261—291.
- Regel, A. Mitteilungen über neue Fundorte u. interessante Arten u. Varietäten d. Dorpater Flora. Sitzungsber. d. Dorpater Naturf.-Ges. 4, 1. 1876. S. 51—59.
- Reichenbach, H. G. L. Iconographia botanica seu plantae criticae. Cent. I. Leipzig 1823.
- Ruprecht, F. J. Flora ingraca. Petropoli 1860.
- Saaronson, E. Andmed mõnede taimede leiukohtadest Pärnumaal. Loodus. Tartus 1924. S. 592—593.
- Schinz, H. u. Keller, R. Flora der Schweiz. II T.: Kritische Flora. 3. Aufl. Zürich 1914.
- Schmidt, Fr. Flora d. Insel Moon. Archiv für d. Naturk. Liv-, Est- u. Kurlands. II Ser. 1. Dorpat 1854. S. 1—62.
- Flora des silurischen Bodens von Estland, Nord-Livland u. Ösel. Archiv f. d. Naturk. Liv-, Est- u. Kurlands. II Ser. 1. Dorpat 1855. S. 149—260.

- Seidlitz, N. v. Verzeichnis neuer Pflanzen in Estland. Korr.-Bl. d. Naturf.-Ver. zu Riga. 3. 1849. S. 127—128.
- Sivers, M. v. Die pflanzengeographische Anlage in Roemershof. Acta Horti Bot. Univ. Jurjevensis. 1. 1900. S. 176—190.
- Die forstlichen Verhältnisse d. Baltischen Provinzen. Riga 1903.
- Skottsberg, C. u. Vestergrén, T. Zur Kenntnis d. Vegetation d. Insel Ösel. Bihang till K. Svenska Vet.-Akad. Handlingar. 27, 3. № 7. Stockholm 1901.
- Tobler, F. Die Gattung *Hedera*. Jena 1912.
- Troll, K. Ozeanische Züge im Pflanzenkleid Mitteleuropas. Freie Wege verglich. Erdkunde. München 1925. S. 307—335.
- Vilberg, G. Botanilised märkused. Loodus. Tartus. 1923 S. 58—59, 1924 S. 589—590.
- Wiedemann, F. J. u. Weber, E. Beschreibung d. phanerogamischen Gewächse Est-, Liv- u. Kurlands. Reval 1852.
- Willkomm, M. Streifzüge durch d. Baltischen Provinzen. Dorpat 1872.
- Forstliche Flora v. Deutschland u. Österreich. Leipzig 1875.
- Zāmeļs, A. Über die Fundorte von *Eryngium maritimum*, *Limnanthemum nymphaeoides* und *Erica tetralix* bei Ziemeupe (Seemuppen) in Lettland. Acta Horti Bot. Univ. Latviensis. 1. Riga. S. 68—69.
-

AUS DEM TECHNOLOGISCHEN LABORATORIUM DER UNIVERSITÄT TARTU
LEITER: PROFESSOR M. WITTLICH

**BEITRÄGE
ZUR KENNTNIS DES ESTLÄNDISCHEN
DICTYONEMASCHIEFERS**

VON

NATALIE RÄGO

TARTU (DORPAT) 1928

C. Mattiesen, Dorpat.

Einführung.

Der untersuchte Dictyonemaschiefer ist ein bitumentragender Tonschiefer. Er tritt hierzulande im nordestländischen Glint auf, der sich in westöstlicher Richtung von Paldiski (Baltischport) nach Narva erstreckt, dann über Jamburg weiter nach Russland und längs dem Ladoga-See weiter ostwärts bis an den Onega-See.

Nach den neuesten Angaben ^{1)*)} gehört der Dictyonemaschiefer zu den Übergangsschichten zwischen dem Kambrium und Ordoviciun. Der Dictyonemaschiefer ist eine Flachwasserablagerung und sein Bitumen — das Produkt der Zersetzung der reichen Fauna des stagnierenden Wassers, bestehend aus Dictyonemaflabelliformen und Algen. Das Ablagerungsmaterial haben einige orthoklasreiche Gesteine geliefert. Die Mächtigkeit der Dictyonemaschicht in Estland schwankt zwischen 3 und 6 m.

Die ersten Literaturangaben über den Dictyonemaschiefer gehören in die vierziger Jahre des vorigen Jahrhunderts. Am meisten Förderung hat die Dictyonemaschieferforschung wohl von den Geologen erhalten; dem Chemiker bietet von den älteren Arbeiten am meisten Interesse die 1870 erschienene Arbeit von A. Kupffer ²⁾, von den neueren — die Arbeiten von H. v. Winkler ^{5) 6)}.

In den letzten Jahren hat die geologisch-geographische Erforschung dieser Schicht erhebliche Fortschritte gemacht ^{3) 4) 5) 6) 7)}.

Beschreibung der untersuchten Probe des Dictyonemaschiefers und des Ganges der Untersuchung.

1. Die untersuchte Probe des Gesteins stammte aus Mäeküla, einem Dorfe in der Nähe des Harku-Sees, 9 km west-

*) Diese Hinweise beziehen sich auf das am Ende der Arbeit abgedruckte Literaturverzeichnis.

wärts von Tallinna (Reval). Die Mächtigkeit der Dictyonemaschicht erreicht an diesem Orte rund 5 m.

Die Probe bestand aus flachen Stücken verschiedener Grösse. An der Oberfläche waren die Stücke graubräunlich, im Bruch von dunkelbrauner Farbe. An der Oberfläche einiger Stücke fanden sich zahlreiche Anhäufungen von Verwitterungsprodukten, ausserdem ab und zu gut ausgebildete Gipskriställchen. Die qualitative Prüfung der Verwitterungsprodukte zeigte, dass sie aus einem Gemisch von Eisenoxydhydrat, freiem Schwefel und Gips bestehen. An einigen Stücken des Schiefers fanden sich hübsche haselnussgrosse Gruppen von gelben glänzenden Pyritkriställchen. Auch im Bruch liessen sich schon mit blossem Auge recht regelmässig verteilte feine glänzende Schwefelkieskriställchen erkennen. Mit dem Zündholz lässt sich die Entzündung des Schiefers nicht hervorrufen; auf der Bunsenflamme aber, in einem Tiegel bis zur Entzündung erhitzt, brennt er von selbst weiter.

2. Eine Mittelprobe des Schiefers wurde zuerst nach den üblichen Methoden der Prüfung fester Brennstoffe untersucht, indem der Wassergehalt, das spez. Gewicht, die spez. Wärme, Koks und Asche bestimmt, die Elementaranalyse, inbegriffen Stickstoff und Schwefelbestimmungen, ausgeführt und der Heizwert des Schiefers ermittelt wurde. Weiter wurden Versuche gemacht das vorhandene Bitumen mit Benzol, Xylol und Aceton zu extrahieren, sowie das Bitumen vom Träger auf mechanischem Wege zu trennen. Auch über das radioaktive Verhalten des Dictyonemaschiefers wurden orientierende Versuche angestellt. Weiter wurde die Analyse des anorganischen Teiles gemacht und der wahre Gehalt an organischer Substanz berechnet. Schliesslich folgte die Destillation in der Fischer'schen Aluminiumretorte, die Untersuchung des erhaltenen Rohteers und des Schwelwassers nebst der fraktionierten Destillation des ersteren und die Bestimmung der wichtigsten Konstanten der Destillate.

Resultate der Untersuchungen.

In nachfolgender Tabelle I sind die wichtigsten Charakteristiken des Dictyonemaschiefers zusammengestellt.

Tabelle I.

Die wichtigsten Charakteristiken des Dictyonemaschiefers.

Bestimmung	I	II	III	Mittel	IV
1. Wassergehalt d. lufttrockenen Schiefers in %	2,01	2,10	2,07	2,06	2,00
2. Spez. Gewicht	2,18	2,20		2,19	
3. Spez. Wärme in $\frac{\text{cal}}{\text{gr}}$	0,231	0,230	0,230	0,230	0,228
4. Koks in %	87,12	87,03	87,12	87,09	
5. Asche in %	83,50	83,60	83,48	83,55	
6. Elementaranalyse des organischen Teiles in %	C ... 9,44 H ... 1,28	C ... 9,40 H ... 1,22		C ... 9,42 H ... 1,25	C ... 9,39 H ... 1,27
7. Stickstoffgehalt in %	0,65	0,65		0,65	
8. Schwefelgehalt in %	gesamt 2,80 anorgan. 2,46	2,81 2,38		2,80 2,42	
9. Heizwert in cal	oberer 1265 unterer	1256		1260 1110	1053
10. Benzol extrahiert in %	d. Schief. 0,26 d. Bitum. 1,69				
11. Xylol extrahiert in %	d. Schiefers 0,39 d. Bitumens 2,02				
12. Aceton extrahiert in %	d. Schief. 0,41 d. Bitum. 2,66				

Zu diesen Daten wäre folgendes zu bemerken.

Zu 1. Die Bestimmungen I, II und III des Wassergehaltes wurden durch Trocknen bei 110°, die Bestimmung IV durch Destillation mit Xylol ausgeführt.

Zu 2. Das spez. Gewicht wurde im Pyknometer für feste Körper ermittelt.

Zu 3. Unter I, II und III stehen die Resultate der Bestimmungen der spez. Wärme im Calorimeter, unter IV steht das Ergebnis der Bestimmung derselben Grösse im Dewar-Gefäss.

Zu 4. Die Verkokung wurde im Platintiegel nach der Methode von Muck ausgeführt.

Zu 5. Die Aschenbestimmung konnte entsprechend der Zusammensetzung des Schiefers durch blosses Veraschen im Platintiegel ausgeführt werden; die obere Temperaturschranke lag bei dunkler Rotglut; geglüht wurde bis zur Gewichtskonstanz. Die Veraschung dauerte ungefähr eine Stunde. Die Asche des Dictyonemaschiefers ist ein rosagelb gefärbtes Pulver.

Zu 6. Infolge der Anwesenheit von Stickstoff und Schwefel wurde die Verbrennung im Luft- und Sauerstoffstrom, nach den von L. Gattermann⁸⁾ für diesen Fall angegebenen Vorschriften ausgeführt.

Zu 7. Die Bestimmung des Stickstoffes wurde nach der Methode von Dumas ausgeführt.

Zu 8. Die Bestimmung des Gesamtschwefels des Dictyonemaschiefers geschah nach der Methode von Eschka, verbessert von Fresenius⁹⁾. Zur Bestimmung des anorganischen Schwefels wurde die Methode von Wibaut¹⁰⁾ angewandt. Diese Methode kann nicht zu den genauen Verfahren gezählt werden; aus diesem Grunde wurde nach der Ausführung der quantitativen Analyse des anorganischen Teiles der Gehalt an organisch-gebundenem Schwefel nochmals rechnerisch ermittelt, wie bei der Analyse (s. u.) näher ausgeführt wird.

Zu 9. Die Resultate I, II und III der Tabelle wurden durch Verbrennung des lufttrockenen Schiefers in der calorimetrischen Bombe erhalten. Bei der ersten Bestimmung wurde ohne besondere Kunstgriffe anzuwenden vollständige Verbrennung erzielt. Beim Wiederholen des Versuches stellten sich Schwierigkeiten ein; es gelang nicht eine Methode ausfindig zu machen, durch die eine vollständige Verbrennung gesichert würde. Auch die von W. Steuer¹¹⁾ für bituminöse Schiefer empfohlene Methode erwies sich beim Dictyonemaschiefer als ungeeignet. Nach der Verbrennung des Schiefers in der Bombe wurden die gebildete Kohlensäure und das Wasser bestimmt; die Resultate sind in der Tabelle I, Reihe 6, Kolumne IV angegeben.

Die Korrektur zur Erhaltung des unteren Heizwertes wurde wie folgt ausgeführt:

Korrektur für die Kondensations-	
wärme des Wassers	0,1343 · 600 cal = 80,58 cal
Korrektur für die Bildungswärme	
der Salpetersäure	0,292 · 22,7 cal = 6,64 cal
Korrektur für die Bildungswärme	
der Schwefelsäure	2,80 · 22,5 cal = 63,00 cal
Die Gesamtkorrektur beträgt somit: 150,2 cal.	

Der unter IV angegebene Heizwert ist durch Berechnung nach der Formel von Dulong ermittelt. Der Unterschied zwischen

dem bei den Verbrennungen erhaltenen Mittel und dem unter IV angegebenen Werte beträgt 57 cal, oder ungefähr 50%.

Zu 10, 11, 12. Die Extraktionen wurden in einem Soxhlet-apparat in üblicher Weise ausgeführt.

13. Die Versuche das Bitumen von dem Träger durch Zentrifugieren in Chlorcalciumlösung oder in einem Gemisch von Benzol und Tetrachlorkohlenstoff zu trennen führten zu keinen befriedigenden Resultaten.

14. Um eine Vorstellung über die radioaktiven Eigenschaften des Dictyonemaschiefers zu erhalten, wurde die Wirkung gleicher Mengen Kukersits, Dictyonemaschiefers, gewöhnlichen Sandes und sehr kleiner Mengen Urannitrats auf die Entladung des Elektrometers von Schmidt¹²⁾ beobachtet; die erhaltenen Resultate wurden graphisch dargestellt. Dabei stellte sich heraus, dass die Radioaktivität des Dictyonemaschiefers sehr unbedeutend ist und somit kein Grund zur näheren Untersuchung derselben vorliegt.

Resultate der Analyse des Dictyonemaschiefers.

1. Die quantitative Analyse der Schieferasche ergab folgende Werte:

Tabelle II.

Prozentuale Zusammensetzung der Asche des Dictyonemaschiefers.

Kieselsäure (SiO_2)	65,00%
Tonerde (Al_2O_3)	15,43
Eisenoxyd (Fe_2O_3)	5,98
Kalk (CaO)	0,73
Magnesia (MgO)	1,29
Kali (K_2O)	9,16
Phosphorsäure (P_2O_5)	0,11
Schwefelsäure (SO_3)	1,61
Summa	99,31 %
Fehlbetrag	0,69 %

2. Die quantitative Analyse des Schiefers ergab folgende Werte:

Tabelle III.

Prozentuale Zusammensetzung des Dictyonemaschiefers.

Kieselsäure (SiO_2)	54,32 %
Tonerde (Al_2O_3)	12,91
Eisenoxyd (Fe_2O_3)	0,22
Eisenoxydul (FeO)	1,61
Schwefelkies (FeS_2)	4,49
Kalk (CaO)	0,61
Magnesia (MgO)	1,08
Kali (K_2O)	7,66
Phosphorsäure (P_2O_5)	0,14
Schwefelsäure (SO_3)	0,15
Schwefel, org. gebund. (S)	0,34
Konstitut. Wasser (H_2O)	1,36
Kohlenstoff (C)	9,41
Wasserstoff (H)	1,10
Stickstoff (N)	0,65
Sauerstoff (O)	3,82
Summa	99,87 %
Fehlbetrag	0,13 %

3. Die Verteilung des Schwefels im Dictyonemaschiefer liess sich zum Teil aus unmittelbaren Bestimmungen, zum Teil aus der Verteilung des Eisens im Schiefer rechnerisch ermitteln.

Tabelle IV.

Verteilung des Eisens im Dictyonemaschiefer in %.

Ferroeisen in Oxyden	1,25 %
Ferrieisen in Oxyden	0,15
Eisen in Oxyden	1,40
Eisen im Schwefelkies	2,09
Gesamteisen	3,49 %

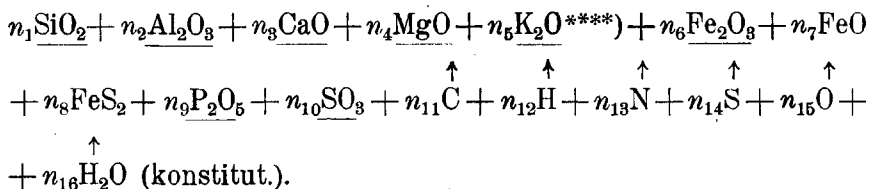
Tabelle V.

Verteilung des Schwefels im Dictyonemaschiefer in %.

Schwefelkiesschwefel.	2,40% *)	} **)
Sulfatschwefel	0,06	
Schwefel organisch gebunden	0,34	
Gesamtschwefel	2,80 % ***)	

4. Berechnung des Gehaltes des Dictyonemaschiefers an organischer Substanz.

Als Grundlage der folgenden Erwägungen dient die Annahme, dass Silikate und Sulfate bei 750° C nicht übersteigender Temperatur unverändert bleiben, dass die Sulfide der Erdalkalien zu Sulfaten, Eisenoxydul zu Eisenoxyd oxydiert, das Schwefeleisen zu Eisenoxyd und Schwefeldioxyd verbrannt und das Hydratwasser aus den Silikaten ausgetrieben wird. Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass bei 110° getrockneter Dictyonemaschiefer aus folgenden Bestandteilen zusammengesetzt ist:



Bei der Veraschung bleiben die unterstrichenen Bestandteile unverändert; die mit $\times$ bezeichneten Glieder entweichen in Form von gasförmigen Oxyden. Von dem Gesamtschwefel verbleibt in der Asche nur ein Teil als 1,61 % SO_3 ; der Sauerstoff dieses Teiles stammt aus der Luft. Da die Asche kein Ferroeisen enthält, so muss für Pyriteisen und Eisenoxydul der Sauerstoff aus der Luft genommen werden. Auf Grund dieser Erwägungen können wir den wahren Gehalt des Dictyonemaschiefers an organischer Substanz mit Hilfe folgender Gegenüberstellung errechnen:

83,55 Asche = 100 Dict.-Schiefer — 9,41 C — 1,10 H — $x\text{O}_2$ —
 — 1,36 H_2O — 0,65 N — 2,80 S + 1,61 SO_3 + 0,90 O_2 auf Pyrit + 0,18 O_2
 auf Eisenoxydul.

*) Berechnet aus Schwefelkieseisen.

**) Als anorganischer Schwefel nach W i b a u t bestimmt.

***) Nach E s c h k a bestimmt.

****) In Silikaten.

Daraus berechnet sich der Sauerstoffgehalt x der organischen Substanz des Schiefers zu 3,82 % O. Damit erhalten wir den Prozentgehalt des Schiefers an organischer Substanz, wie folgt:

Kohlenstoff (C)	9,41 %
Wasserstoff (H)	1,10
Stickstoff (N)	0,65
Schwefel (S)	0,34
Sauerstoff (O)	3,82
Summa	15,32 %

Über die Zusammensetzung des organischen Teiles des Schiefers unterrichtet die

Tabelle VI.

Prozentuale Zusammensetzung des organischen Teiles des Dictyonemaschiefers.

Kohlenstoff (C)	61,43 %
Wasserstoff (H)	7,18
Stickstoff (N)	4,24
Schwefel (S)	2,22
Sauerstoff (O)	24,93
Summa	100,00 %

5. Trennung der löslichen und unlöslichen Kieselsäure. Diese Trennung geschah nach der Methode von Lunge-Millberg¹³⁾, angepasst an die Zusammensetzung des Dictyonemaschiefers.

Gehalt des Schiefers an unlöslicher Kieselsäure 42,98 %.

Tonerde (Al_2O_3) im Dictyonemaschiefer	12,91 %
Tonerde (Al_2O_3) in unlöslichen Silikaten	4,99
Tonerde (Al_2O_3) in löslichen Silikaten	7,92 %

Bei der Annahme, dass die Tonerde der löslichen Silikate der Tonsubstanz angehört, berechnet sich das konstitutionelle Wasser der Tonsubstanz zu 1,36 % H_2O , somit weiter:

Wasserstoff (H) als Resultat der Elementaranalyse	1,25 %
Wasserstoff (H) aus 1,36 % des Konstitutionswassers	0,15 %
Wasserstoff (H) aus der organischen Substanz des Schiefers	1,10 %

Schwelung des Dictyonemaschiefers und Untersuchung der Schwelprodukte.

1. Schwelung in der Fischer'schen Retorte.

Die Schwelung des Dictyonemaschiefers fand unter folgenden Bedingungen statt: Schwelapparat — Aluminiumschwelapparat nach Fischer; Atmosphärendruck; Temperatur — bis 575°C, gemessen mit Platiniridium-Thermoelement und entsprechend geeichtem Voltmeter; die Vorlage wurde mit Schnee- oder Eiswasser gekühlt; die Retorte mit einem Teclubrenner geheizt; um eine bessere Ausbeute zu erzielen, wurde die Temperatur möglichst rasch erhöht. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle VII.

Versuch	Höchste Temperatur	Dauer der Destillation	Koksausbeute in %	Destillat (Teer + Wasser) in %	Entweichende Gase in %
1.	575° C	40 Min.	89,50	7,76	2,74
2.	575° C	35 „	89,44	7,78	2,78
3.	575° C	30 „	89,40	7,68	2,92
Mittel			89,45	7,74	2,81

Es sei hier bemerkt, dass der Koks des Dictyonemaschiefers ein schwarzes nicht gesintertes Pulver darstellt; der Teer ist von dunkelbrauner Farbe, dünnflüssig und von sehr unangenehmem Geruch, der an Merkaptane erinnert.

2. Die Resultate der Untersuchung des Rohteers sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle VIII.

Die wichtigsten Konstanten des Rohteers.

Wassergehalt 56,2%

Für den wasserfreien Teer

wurde gefunden:

Spez. Gewicht bei 20,5° C . . . 0,9867

Schwefelgehalt 4,01%

Basengehalt 1,87%

Säuregehalt 1,52%

Phenolgehalt 3,95%

}

*)

*) Isoliert und gewogen nach Holde.

Die Destillation des Teers in einer tubulierten Glasretorte ergab folgende Resultate:

Rohöl . . .	86,20%
Rückstand . .	12,30
Verluste . .	1,50
Summa	100,00%

3. Für das Schwelwasser ergab sich:

Spez. Gewicht bei 20,5° C . .	1,0085
Schwefelgehalt in % . . .	0,43
Gesamtammoniakgehalt in % .	0,68

Der Koks enthielt 0,77% S.

4. Die Verteilung des Schwefels in den Schwelprodukten.

Aus dem Schwefelgehalt des Teeres, des Kokes und des Schwelwassers und von deren Ausbeuten ergibt sich für den Schwefel folgende Verteilung:

Es bleiben im Koks	0,69%
Gehen in d. Schwelwasser über	0,02
Gehen in d. Teer über . . .	0,14
Entweichen mit d. Schwelgas	1,95
Gesamtschwefel im Schiefer	2,80%.

5. Die Untersuchung des Rohöls ergab folgende Werte:

Das spez. Gewicht bei 20,5° C	0,9484	
Viskosität bei 16,0° C {	spez.	6,89
	absol.	0,0689
	in Englergraden	1,99
Saure Bestandteile { in % *)	Phenole	3,21
	Karbonsäuren	2,82
	insgesamt	6,03 **)

Verlust bei d. Reinigung mit konz. H_2SO_4 in %: 52,7.

6. Fraktionierte Destillation und Untersuchung der Fraktionen.

*) Isoliert und gewogen nach Holde.

**) Die Differenzenmethode von Lazar ergab 6,60%.

Die fraktionierte Destillation wurde nach den üblichen Vorschriften in der Standardapparatur von Engler-Ubbelohde durchgeführt. Die Resultate stehen in der

Tabelle IX.

Temperatur	Erhaltene Fraktionen in %	Spez. Gew. bei 21° C	Brechungs-exponent bei 21° C	Verlust bei Behandlung mit Natronlauge in %	Verlust bei Behandlung mit konz. Schwefelsäure in %
bis 150°	6,9	0,7981	1,4516	5,1	31,4
150°—200°	15,4	0,8616	1,4777	6,2	57,1
200°—250°	10,8	0,9128	1,5028	9,2	43,2
250°—300°	16,2	0,9504	1,5272	11,4	60,0
300°—350°	31,4	0,9968	—	—	—
Rückstand	19,2	—	—	—	—
	99,9 %				

Siedebeginn 82° C.

Unmittelbar nach der Destillation war die 1-te Fraktion fast farblos und klar; die 2-te — schwach gelb, etwas trübe; die 3-te — bräunlich (hell), stärker trübe; die 4-te — bräunlich, noch stärker trübe; die 5-te — rötlichbraun, aber klarer als die vorige.

Die Fraktionen wurden in Flaschen mit eingeschliffenen Glasstöpseln im Dunkeln aufbewahrt. Trotzdem änderten sie mit der Zeit ihre Farbe. Die anfangs farblose 1-te Fraktion war nach 48 Stunden bereits tief gelb und die übrigen waren rotbraun, dabei die 4-te und die 5-te ganz dunkel. Die mit konz. Schwefelsäure und Natronlauge gereinigten Fraktionen waren farblos und durchsichtig und erhielten sich so im Laufe von 2 Wochen.

Die Untersuchungsergebnisse lassen zurzeit eine technologische Ausbeutung des Dictyonemaschiefers als ein ziemlich aussichtsloses Beginnen erscheinen.

Es ist mir ein Bedürfnis, Herrn Professor M. Wittlich herzlich zu danken für die Anregung zu dieser Arbeit und das Interesse an ihrem Werden.

Literaturverzeichnis.

1. Bekker, H., Ülevaade Eesti ordoviitsiumi ja siluuri kohta käivatest uurimistest. „Loodus“ 1922, nr. 3—4. Tartu.

2. Kupffer, A., Ueber die chemische Constitution der baltisch-silurischen Schichten. Archiv f. Naturk. Liv-, Est- u. Kurlands, 1. Serie, Bd. V, S. 69—194. 1870.

3. Siehe 1.

4. Tammekann, A., Eesti diktüoneema-kihi uurimine. Tartu. 1924.

5. v. Winkler, H., Eestimaa geoloogia. Tallinn. 1922.

6. v. Winkler, H., Ueber Umfang und Abbauwürdigkeit estländischer Bodenschätze. Mitteil. Geol. Inst. Greifswald III. 1921.

7. Bekker, H., The Kukers Stage of the Ordovician Rocks of NE Estonia. Acta et Comment. Univ. Dorpat. A II 1. 1921.

8. Gattermann, L., Die Praxis des organischen Chemikers, S. 104.

9. Holliger, M., Ztschr. f. angew. Chemie, Bd. 22, S. 436. 1909.
Eschka, Ztschr. f. anal. Chemie, Jg. 13, S. 344. 1874.

Fresenius, Ztschr. f. anal. Chemie, Jg. 17, S. 497. 1878.

10. Wibaut, J., Brennstoffchemie, Bd. 3, S. 273. 1922.

11. Steuer, W., Brennstoffchemie, Bd. 7, S. 375. 1926.

12. Stähler, Handbuch d. Arbeitsmethoden i. d. anorg. Chemie, Bd. 3 (1914), S. 1094.

13. Lunge-Millberg, Ztschr. f. angew. Chemie, Jg. 10, S. 393 u. 425. 1897.

**ÉTUDES SUR LE RÔLE DE LA BARRIÈRE
HÉMATO-ENCÉPHALIQUE DANS LA GENÈSE ET
LE TRAITEMENT DES MALADIES INFECTIEUSES**

PAR

LE PROFESSEUR C. SCHLOSSMANN

TARTU (ESTONIE) 1928

Nous savons actuellement que, dans les conditions normales, le liquide céphalo-rachidien présente une composition moyenne sensiblement différente de la composition du plasma sanguin. Un certain nombre de substances circulant dans le sang n'apparaissent jamais dans le liquide céphalo-rachidien. Il est évident qu'une adaptation doit servir à garder la constance du liquide céphalo-rachidien et l'on parle d'une barrière hémato-encéphalique (Sicard et Stern) constituée entre le sang et le milieu ambiant du cerveau. On sait aussi que certaines substances toxiques circulant dans le sang s'arrêtent devant cette barrière défensive tandis que d'autres pénètrent dans le cerveau en causant des manifestations de symptômes nerveux. Dans les méningites bactériennes, par exemple, on suppose une augmentation de la perméabilité méningée et on voit augmenter assez sensiblement la quantité totale d'albumine et d'autres substances plasmatiques qui ne pénètrent pas dans le liquide céphalo-rachidien dans des conditions normales.

Or, la barrière hémato-encéphalique est considérée comme une des particularités physiologiques du système nerveux central, qui sert à garder le système nerveux contre les substances nuisibles qui circulent dans le sang. D'autre part, cette adaptation remarquable peut devenir nuisible. Ainsi, nous savons que dans certaines maladies infectieuses les virus et les toxines bactériennes dépassent la barrière lésée et se fixent sur la substance cérébrale. Dans ces conditions-là les propriétés spécifiques des sérums antitoxiques et des substances chimiothérapiques se manifestent lorsque ces substances pénètrent jusqu'au sein du système nerveux central. La cause principale de l'échec de séro- et de chimiothérapie provient de ce que le passage des substances spécifiques à travers la barrière défensive est insuffisant ou impossible. Il faut, selon Speransky (Ann. Inst. Pasteur 1927, N° 10), détruire, pour un certain temps, la barrière par de moyens convenables, en favorisant ainsi la rencontre de substances spécifiques avec les toxines (virus).

L'existence d'une barrière hémato-encéphalique paraît incontestable, mais nous ne savons pas actuellement en quoi consiste cette barrière ni où elle est située. L'origine sécrétoire du liquide céphalo-rachidien au niveau des plexus choroïdes, selon Stern, Gautier et Monakow, est contestée par de nombreux physiologistes. Une simple filtration, une ultrafiltration ou une dialyse sélective ne pourraient pas expliquer l'imperméabilité des méninges aux protéines, aux anticorps et à un grand nombre d'autres substances. Selon Spatz, le filtre est constitué par les capillaires du cerveau et de la pie-mère. Spatz a constaté aussi que certaines conditions pathologiques des plexus choroïdes et de la pie-mère favorisent le passage de la barrière hémato-encéphalique. Zylberlast-Zand a constaté la présence de nombreux histocytes autour des capillaires de la pie-mère, de la dure-mère et dans les plexus choroïdes. D'après lui, les histocytes appartiennent au système réticulo-endothélial et constituent la partie appréciable de la barrière défensive. Speransky (Ann. Instit. Pasteur. 1928, t. XLH) suppose qu'il existe une „barrière périphérique“, dans la région des terminaisons nerveuses, qu'il faut distinguer de la „barrière centrale“ se trouvant dans la région du cerveau.

Nous possédons de nombreux travaux sur la question de la perméabilité des méninges. On sait, par exemple, que les virus neurotropes doivent infecter directement les cellules nerveuses sensibles pour assurer la transmission de la maladie. D'autre part, on a constaté qu'une irritation méningée obtenue par un agent chimique ou physique est capable de déterminer un traumatisme suffisant pour ouvrir le passage dans l'encéphale du virus neurotrope. Flexner et Amoss (Journ. of experim. Med. 1917, t. XXV) ont obtenu chez les animaux le passage du virus de la poliomyélite, Hayden et Silberstein (Zeitschr. f. d. ges. exp. Med. 1925, t. XLIV) d'un virus encéphalitogène après l'injection dans le canal céphalo-rachidien d'une albumine étrangère (sérum de cheval). Calmette et Guérin, Camus, Levaditi et Nicolau (Ann. Inst. Past. 1923, t. XXXVII) ont obtenu les mêmes résultats avec le virus vaccinal. Verrati et Sala (Boll. d. Soc. med. chir. di Pavia 1923, t. XXXVI) réalisent des essais semblables sur un lapin, en lui lésant le cerveau par l'inoculation du bacille tuberculeux bovin. Les lapins préparés de cette manière contractent la maladie à la suite

de l'inoculation endoveineuse du virus herpétique, contrairement aux animaux témoins.

Le Fèvre de Arric et Millet (C. R. 1925, t. XCIII) ont pu constater qu'un choc sur la tête, d'une intensité qui peut se voir réalisée aisément au cours de la vie, est capable de modifier les conditions de résistance du sujet, et que celui-ci peut devenir réceptif pour un virus circulant dans le sang. Les auteurs cités ont montré que les lapins traumatisés contractent la maladie à la suite de l'inoculation endoveineuse de virus herpétique. Le liquide, obtenu par la ponction suboccipitale, contenait chaque fois du sang. Un traumatisme, quoique léger, est donc capable de déterminer des ruptures vasculaires au niveau des méninges. La barrière hémato-encéphalique rompue permet au virus présent dans le sang de se répandre dans le liquide encéphalo-rachidien et d'atteindre les cellules sensibles. Un mécanisme plus délicat tel qu'une seule ponction rachidienne, pratiquée avant l'inoculation intraveineuse de virus, est déjà suffisant à cet égard pour modifier la perméabilité méningée. De même, les injections d'eau distillée (1 c. c.) et de solution salée hypertonique (1 c. c.) par voie rachidienne favorisent le passage du virus du sang vers les centres nerveux.

Les mêmes auteurs ont expérimenté en injectant, soit dans la veine, soit sous la peau du lapin, des doses convenables d'une solution d'agents chimiques. Après un temps qui a varié de quelques minutes à 2 heures, on a injecté dans la veine 1 c. c. d'une émulsion à 1 p. 100 de cerveau virulent (virus herpétique). Les résultats obtenus permettent de séparer en deux groupes les produits étudiés. Ceux du premier groupe (urotropine, acides et sels biliaires, urée, salicylate de soude, bromure de potassium) ont agi de telle manière que, toujours, l'encéphalite herpétique s'est développée. Ceux du 2^e groupe (iodure de potassium, chlorhydrate de quinine, néosalvarsan) n'ont jamais favorisé l'éclosion de la maladie. Il s'ensuit que les substances qui sont capables de diffuser du sang dans le liquide céphalo-rachidien, sont aussi celles qui favorisent le transport du virus du sang dans l'encéphale. Il paraît vraisemblable que ces substances actives traumatisent les plexus choroïdes ou les méninges en augmentant la perméabilité de ceux-ci au virus.

Speransky, Ponomarev et Tchechkov ont été conduits au cours de leurs études sur le mécanisme des proces-

sus toxiques du cerveau à aborder la question de la barrière hémato-encéphalique dans des recherches sur la rage des chiens.

La thérapeutique anti-infectieuse et antitoxique réclame cependant des méthodes qui peuvent rendre perméables les méninges aux anticorps de la circulation générale, et aux remèdes chimiothérapiques.

Les expériences montrent que les anticorps des sérums spécifiques injectés dans la veine ne pénètrent pas dans le cerveau. La pénétration des anticorps est entravée par la barrière défensive. Ciuca, Balteanu, Ballif et Daniélopou ont démontré l'absence d'alexine et d'anticorps (agglutinines, lysines, précipitines) dans le liquide céphalo-rachidien chez les hommes qui présentent ces éléments à un taux élevé dans le sang. D'autre part, ils ont contrôlé la perméabilité des méninges à l'antitoxine diphtérique chez les malades nerveux atteints ou non d'inflammation chronique des méninges. Dans ce but les malades recevaient sous la peau 40.000 à 59.000 unités antitoxiques, et l'on cherchait la présence de l'antitoxine dans le sang et dans le liquide céphalo-rachidien prélevé de 7 à 48 heures après l'injection. On ne trouvait pas trace d'antitoxine dans le liquide céphalo-rachidien, tandis que le sang était riche en antitoxine. La barrière n'était pas ouverte aux anticorps ni chez les malades porteurs d'inflammation chronique des méninges, ni chez les personnes dont les méninges avaient subi une forte irritation par l'injection de 2 c. c. d'eau physiologique dans le canal rachidien.

Weil et Kafka ont constaté la présence d'hémolysines dans le liquide céphalo-rachidien des hommes atteints de la paralysie générale progressive et immunisés par l'injection d'hématies de mouton. Ces auteurs envisagent l'augmentation de la perméabilité méningée comme résultat de la lésion syphilitique des capillaires. Plaut (Wien. klin. Woch. 1927, N° 52) suppose que dans ces conditions-là les anticorps peuvent être élaborés par la substance nerveuse. On constate un fait semblable chez les malades atteints de lésions syphilitiques des méninges et du cerveau, où le liquide céphalo-rachidien est riche en anticorps syphilitiques. Ransom nous a montré que les anticorps sont indifférents vis-à-vis du cerveau; s'il arrive qu'ils y apparaissent, ils en sont assez vite éliminés.

Plusieurs auteurs ont étudié, sur les animaux, la diffusibilité de produits chimiques par la barrière hémato-encéphalique (Stern,

Gautier, Cestan, Laborde et Riser etc.), tandis qu'il nous manque actuellement de méthodes exactes et convenables pour contrôler le même procès chez les hommes.

Walter (Zeitschr. f. d. ges. Psych. u. Neur. 1925, t. XCV) a montré qu'en donnant à un sujet du bromure de sodium par la bouche (l'optimum 6 cgr. par kgr. de poids pendant 5 jours) on trouve dans le sérum sanguin une concentration beaucoup plus forte de brome que dans le liquide céphalo-rachidien. Chez les sujets normaux le quotient serait 3, entre les deux concentrations. Dans la méningite, l'urémie, la paralysie générale, et dans certaines psychoses symptomatiques, on note une augmentation de la perméabilité méningée au bromure, et une diminution de celle-ci dans la schizophrénie. Dans des cas de la méningite syphilitique et de la paralysie générale progressive la perméabilité méningée augmente après le paludisme thérapeutique.

Hauptmann (Zeitschr. f. d. ges. Psych. u. Neur. 1926, t. C) a constaté l'augmentation de la perméabilité dans l'intoxication alcoolique aiguë et dans l'épilepsie.

Les recherches de Kolle-Jakob, de Ban-Prussak et de Dalma ont confirmé les constatations de Walter; les autres auteurs, par contre, contestent la justesse de ce procédé.

Garofeanu (C. R. 1927, t. XCVII) a recherché les variations de la perméabilité méningée, selon la méthode de Walter, sur un grand nombre de malades atteints de différentes maladies du système nerveux (alcoolisme chronique, paralysie pseudo-bulbaire, tumeurs cérébrales, paralysie générale progressive, tabès, maladie de Little, neurasthénie, syndrome parkinsonien etc.). Il a toujours trouvé une perméabilité méningée augmentée, même dans des maladies comme l'hystérie, la neurasthénie, où une telle augmentation est inexplicable. Le coefficient de perméabilité a varié dans des limites entre 1 et 1,95, et ce n'est que dans deux cas qu'il a atteint 2,41 et 2,76. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Stern et par Gautier sur des lapins.

Heilig, Hoff et Benda ont constaté l'augmentation de la perméabilité méningée pendant la menstruation. Benda (Münch. med. Woch. 1925, N° 40) a constaté l'augmentation de la perméabilité méningée pendant la deuxième moitié de la grossesse.

Garofeanu, Plaut et Ferwell supposent que la

méthode de Walter ne peut pas être employée pour diagnostiquer exactement une perméabilité augmentée ou diminuée dans les diverses affections nerveuses ou psychiques. Elle ne montre aucune différence appréciable entre la perméabilité normale et pathologique. La pénétration de brome dans le liquide céphalo-rachidien dépendrait plutôt, selon Garofeanu, de la richesse plus ou moins grande en lipoïdes cérébraux que d'une altération de la barrière méningée.

Comme nous avons déjà remarqué, on cherche à créer dans le but thérapeutique des conditions qui favoriseraient la perméabilité méningée. Ce problème, loin d'être résolu, présente un grand intérêt. Les données cliniques et expérimentales portent à admettre que dans certaines maladies infectieuses les toxines pénétrant au sein du système nerveux central, déterminent l'apparition des symptômes nerveux. La fixation des toxines par la substance cérébrale dépend de la nature des toxines et du caractère individuel de chaque cas. C'est aussi pourquoi le traitement par des sérums spécifiques nous donne des résultats très variés. Par exemple, le traitement par l'injection endoveineuse d'antitoxines spécifiques efficaces dans certaines maladies (diphthérie, dysentérie, scarlatine, rougeole etc.) n'exerce qu'une action insuffisante dans d'autres maladies (tétanos, méningite épidémique etc.). On sait que dans les maladies infectieuses provoquées par les ultra-virus neurotropes (rage, poliomyélite, herpès, encéphalite léthargique etc.) le sérum microbicide administré par voie endoveineuse n'exerce aucune action thérapeutique appréciable. Les expériences exécutées sur les animaux et les constatations cliniques montrent que l'introduction des anticorps spécifiques dans l'espace subdural ou subarachnoïdien n'assure pas, dans des conditions normales, leur pénétration dans le cerveau. L'action faible ou incertaine du sérum spécifique dépend de ce qu'il ne rencontre pas les toxines ou le virus. En créant des conditions qui favorisent le passage des anticorps à travers la barrière hémato-encéphalique, on assure l'action thérapeutique des anticorps.

Dans une série d'essais sur les hommes Ciuca, Balteanu et Ballif (C. R. 1927, t. XCVII) ont utilisé l'urotropine dans le but d'ouvrir la barrière hémato-encéphalique aux anticorps. Ces auteurs ont injecté sous la peau de 3 malades (démence précoce, épilepsie et encéphalite léthargique) le même nombre

d'unités antitoxiques, en administrant, d'autre part, en injections intraveineuses, de fortes doses d'urotropine (12 à 63,5 gr. par jour). Même avec ces fortes doses d'urotropine ils n'ont pas réussi à faire franchir à l'antitoxine diphtérique la barrière hémato-encéphalique. Par contre, cette même antitoxine, injectée directement dans le canal rachidien, passe en moins de 7 heures dans la circulation générale, et 38 heures après l'injection on ne trouve pas de traces d'antitoxine dans le liquide céphalo-rachidien. Chez l'homme normal l'urotropine ne rend pas les méninges perméables à l'antitoxine diphtérique de la circulation générale. Les lésions chroniques de méninges ne facilitent non plus le passage de l'antitoxine de la circulation générale dans le liquide céphalo-rachidien chez des malades injectés ou non avec de l'urotropine.

Plusieurs auteurs (Zylberlast-Zand, Le Fèvre de Arric et Millet, Speransky etc.) ont réalisé l'augmentation de la perméabilité méningée par les traumatismes de la pie-mère (ablation, congélation, choc). Notons, sans nous arrêter sur les détails, que Siengalewicz a observé l'augmentation de la perméabilité méningée sous l'influence d'intoxication aiguë par néosalvarsan, Hauptmann et Mahlapuu (Fol. Neuro-path. Estoniana 1927, vol. VII) ont constaté le même fait dans l'intoxication alcoolique aiguë. Stern (Arch. Suisse de Neur. et Psych. 1921 et 1925) a obtenu une augmentation de la perméabilité méningée par l'injection sous la peau des lapins des toxines bactériennes (diphtérique, tétanique, tuberculeuse).

Il faut noter que parmi les moyens cités ci-dessus et proposés dans le but de modifier, pour un certain temps, l'imperméabilité méningée aux sérums spécifiques et aux substances chimiothérapiques, les uns nous paraissent trop faibles, les autres sont nuisibles et n'ont pas d'importance pratique dans la clinique.

On ne saurait passer sous silence les résultats très importants, obtenus dans le traitement de la paralysie générale progressive (Wagner-Jauregg) et de la syphilis latente (Kyrle) par le paludisme thérapeutique. On sait déjà que la chimiothérapie spécifique (néosalvarsan, trépol, bismuth etc.) ce montre plus efficace sous l'influence du paludisme expérimental. Ce fait remarquable est susceptible de plusieurs explications. Si l'on admet que le paludisme expérimental augmente la permé-

abilité de la barrière hémato-encéphalique (le fait constaté pour le bromure de sodium), il est aisé de prévoir que cette méthode favorise la pénétration des substances chimiothérapiques jusqu'au sein du système nerveux central.

Divers auteurs ont pu constater que les résultats thérapeutiques obtenus dans des cas de syphilis des méninges et du cerveau par les remèdes spécifiques (néosalvarsan etc.) paraissent plus considérables, si l'on prépare les malades par l'inoculation sous la peau d'une assez forte dose du vaccin antityphique. Dans des conditions pareilles on suppose une augmentation de la perméabilité méningée déterminée par les réactions consécutives (fièvre), ou par les substances bactériennes.

Speransky et ses collaborateurs proposent de détruire, pour un certain temps, la barrière hémato-encéphalique par un procédé mécanique, désigné sous le nom de „pompage“. Dans ce but, on aspire une quantité du liquide céphalo-rachidien et l'on le réinjecte ensuite sans retirer la seringue de l'aiguille, puis on l'aspire de nouveau. En répétant cette manoeuvre, on obtient le liquide d'une coloration de plus en plus prononcée. Les vaisseaux du cerveau ne peuvent pas supporter sans altérer la perméabilité les brusques oscillations de la pression dans l'espace subdural et après une pareille destruction temporaire de la barrière défensive, l'accès du cerveau aux anticorps circulants dans le sang devient plus facile. Tchechkow et Ponomarev, en profitant de cette méthode, ont obtenu de bons effets curatifs dans le traitement de la rage, du tétanos, de la dysenterie et de la scarlatine par des sérums spécifiques injectés dans le sang.

Dans certaines maladies (méningite épidémique cérébro-spinale) le sang possède une petite quantité d'anticorps spécifiques, qui n'atteint pas le „seuil de pénétration“ en dedans du système nerveux central. Dans ces cas-là on peut faciliter le passage des anticorps à travers la barrière défensive par le procédé du „pompage“. Avec cette méthode Panferow a obtenu la guérison complète chez 4 enfants méningitiques.

Nous avons déjà remarqué que dans certaines maladies (tétanos, lyssa, méningite épidémique etc.), il est utile d'introduire le sérum spécifique sous la dure-mère. Ponomarev, Kotov et Kotliarenko ont constaté que les effets curatifs sont meilleurs si on y ajoute encore le „pompage“. Il est possible

qu'une hyperémie „ex vacuo“ modifie la circulation des liquides dans le cerveau et que dans ces conditions l'accès des parties profondes du cerveau aux anticorps, introduits dans l'espace subarachnoïdien, devient plus facile (Speransky).

Après avoir noté la grande importance de la question concernant la perméabilité méningée, nous avons entrepris une série d'expériences sur la perméabilité de la barrière défensive aux Bactériophages. Au cours de nos recherches nous avons utilisé des suspensions de Shiga-Bactériophage d'une virulence très forte.

D'Herelle a déjà constaté que les Bactériophages se comportent dans l'organisme comme des microbes saprophytes et que leur présence dans l'organisme ne s'accompagne d'aucun symptôme visible. Plusieurs auteurs ont observé le sort des Bactériophages inoculés aux animaux. Bordet et Ciuca (C. R. Soc. Biol. 1921, 84) ont constaté la présence de Bactériophages dans le sang sept heures après l'injection sous la peau chez des Cobayes et dans la veine chez des Lapins. D'Herelle et Appelmans ont trouvé qu'après l'injection sous-cutanée les Bactériophages s'éliminent rapidement de l'organisme. On note leur concentration dans la rate où ils persistent plusieurs jours après leur disparition des autres tissus. Wertheimann (Arch. f. Hyg. 1922, 91) a constaté qu'après l'injection intraveineuse les Bactériophages disparaissent lentement de la circulation et on en y retrouve encore après cinq jours. D'Herelle, par contre, n'a jamais pu constater la présence de Bactériophages dans le sang quarante-huit heures après l'inoculation. Suruki (J. Oriental. Med. 1924, 2) a trouvé la disparition totale des Bactériophages de l'organisme du lapin vingt-quatre heures après l'inoculation intraveineuse et sous-cutanée.

En étudiant la grosseur du corpuscule bactériophage, au moyen de sacs de collodion, d'Herelle a constaté que dans tous les sacs où l'antitoxine tétanique passait, les Bactériophages passaient également, et que lorsque l'antitoxine était retenue, les Bactériophages étaient retenus aussi. D'Herelle trouve les dimensions du corpuscule bactériophage à peu près pareilles à celles d'une molécule, ou, pour mieux dire, il admet que le corpuscule est un peu plus petit que la micelle de globuline sérique. Prausnitz (Centralbl. f. Bakt. I. O. 1922, 89) trouve le diamètre du corpuscule bactériophage voisin de 20 $\mu\mu$, An-

gerer — voisin de 30 $\mu\mu$. Levaditi et Nicolau (C. R. Soc. Biol. 1923, 88) ont constaté, au moyen de sacs de collodion, que les ultravirus de la rage, de la vaccine, de l'encéphalite léthargique et les Bactériophages ont tous le même diamètre: si l'un d'eux peut passer le sac de collodion, tous les quatre peuvent le passer aussi.

Jotten (Klin. Wochenschr. 1922, 1) a constaté que le Bactériophage diffusait dans la gélose à 3 p. 100, dont les canalicules sont beaucoup plus fins que les canalicules des membranes de collodion serrées. Les expériences entreprises par plusieurs auteurs dans le but de vérifier s'il y avait diffusion, ont été négatives (Prausnitz et Firle, Flu etc.).

Dans la première série de nos expériences nous avons inoculé 3 lapins par voie intraveineuse avec 1 c. c. de suspension de Shiga-Bactériophage d'une virulence très forte. Absence de toute réaction visible chez tous les lapins. La recherche de Bactériophage a été exécutée dans le liquide céphalo-rachidien obtenu par la ponction suboccipitale et aussi dans le sang obtenu, soit par la ponction intracardiaque, soit par la saignée aseptique. Pour faire la ponction, nous avons employé la narcose à l'éther. Dans l'étude de la bactériophagie nous avons eu recours à la culture de 18 heures en bouillon de la bactérie à laquelle nous avons ajouté 0,3 c. c. de sérum sanguin ou 0,3 c. c. de liquide céphalo-rachidien. Incubation à 37° C., réensemencement sur gélose.

Voici un tableau qui résume les résultats obtenus dans cette série de recherches:

Lapins ponctionnés après 2 heures:	Sang	++	Liquide	—
" " " 18 "	Sang	+	Liquide	—
" " " 24 "	Sang	+	Liquide	—
" " " 48 "	Sang	—	Liquide	—

Cette expérience nous démontre donc que le Shiga-Bactériophage inoculé par voie intraveineuse aux Lapins ne semble pas franchir normalement la barrière hémato-encéphalique.

Dans la deuxième série d'expériences nous avons injecté à deux lapins par voie intrarachidienne 1,5 et 2,0 c. c. de Shiga-Bactériophage émulsionné à 1 p. 100 dans l'eau salée isotonique. La présence de Shiga-Bactériophage a été constatée dans le liquide céphalo-rachidien et dans le sang, tous les deux obtenus 2 heures après l'inoculation. 24 heures après l'injection le Bac-

tériophage a été retrouvé dans le sang, tandis qu'il a disparu du liquide céphalo-rachidien obtenu par la ponction suboccipitale.

Mc Kinley et Holden (Proc. Soc. for exper. Biol. a. M. 1927, 24) ont réalisé des expériences semblables en utilisant le Coli „D“ Bactériophage. Les auteurs cités ont injecté 3 c. c. de Bactériophage, dilué 1 p. 10.000.000, au lapin par voie intra-rachidienne. La présence de Bactériophage a été constatée dans le sang et dans le liquide céphalo-rachidien 2 heures après l'injection. Un autre lapin a reçu par voie intraveineuse 5 c. c. de Bactériophage. Il ne parvenait pas à mettre en évidence le Bactériophage dans le liquide céphalo-rachidien.

Or, le Bactériophage ne passe pas du sang dans le liquide céphalo-rachidien dans des conditions normales; au contraire, il passe facilement du liquide céphalo-rachidien dans la circulation générale.

Dans le but de modifier l'imperméabilité méningée au Shiga-Bactériophage, nous avons préparé les lapins par l'injection intraveineuse d'agents chimiques (cylotropine, neuro-Yatrène, bromure de potassium, néosalvarsan).

Dans une série d'essais 3 lapins ont été inoculés 4 fois, à 1 jour d'intervalle, avec 2,0 c. c. de cylotropine par voie intraveineuse. 1 heure après la dernière injection les lapins ont reçu dans la veine 1 c. c. d'une suspension de Shiga-Bactériophage. Le sang obtenu par une saignée aseptique et le liquide céphalo-rachidien prélevé par la ponction suboccipitale de 5 à 20 heures après l'inoculation, ont été examinés sur la présence de Bactériophage.

Voici le tableau résumant les résultats:

Lapin tué après 5 heures:	Sang ++, Liquide —
" " " 8 "	Sang ++, Liquide —
" " " 20 "	Sang +, Liquide +

Il en résulte que l'irritation méningée obtenue par les injections répétées de cylotropine favorise le passage de Shiga-Bactériophage du sang dans le liquide céphalo-rachidien. Le passage se produit lentement. En ce qui concerne le nombre des corpuscules bactériophages, nous avons constaté par la méthode de dosage, en employant les boîtes de Petri selon d'Herelle, que le sang était riche en Shiga-Bactériophage 20 heures après l'injection, tandis que le liquide céphalo-rachidien contenait un nombre de corpuscules bactériophages moins grand.

En employant le neuro-Yatrène, le bromure de potassium, le néosalvarsan dans le but d'ouvrir au Bactériophage la barrière hémato-encéphalique, nos résultats furent constamment négatifs. Même avec de fortes doses de bromure de potassium (5 injections à 2,0 c. c. de la solution 10 p. 100) nous n'avons pas réussi à faire franchir au Shiga-Bactériophage la barrière hémato-encéphalique. Il paraît vraisemblable que ces substances ne modifient pas la perméabilité méningée à un degré suffisant pour permettre le passage dans le liquide céphalo-rachidien au Shiga-Bactériophage.

Appelmans nous a montré que les Bactériophages injectés dans la veine sont retenus principalement par la rate et persistent dans cet organe plusieurs jours après ce que tous les autres organes sont devenus stériles. Gins et Weber ont constaté le même fait concernant le virus vaccinal injecté dans la veine.

Hoën, Tschertkow et Zipp (Zeitschr. f. Hyg. u. Infektionskr. t. CVI p. 624) ont démontré que le blocage du système réticulo-endothélial par l'injection intraveineuse d'encre de Chine favorise la pénétration du virus de la vaccine du sang dans la peau. Dans pareils cas le virus persiste de 4 à 5 jours dans la circulation générale, tandis qu'il s'élimine très vite (5 heures) chez les lapins contrôles.

Dans une série d'expériences nous avons étudié l'influence du blocage du système réticulo-endothélial sur la perméabilité méningée au Bactériophage. Dans ce but nous avons injecté dans la veine des lapins (3 injections à 2,0 c. c.) de l'encre de Chine diluée dans de l'eau distillée (20 p. 100). 24 heures après la dernière injection les lapins ont reçu dans la veine 1 c. c. de Shiga-Bactériophage. Les lapins ont été sacrifiés (saignée aseptique) de 18 à 24 heures après l'inoculation de Bactériophage. Les granules de charbon ont été phagocytés par les éléments du système réticulo-endothélial du poumon, de la rate, du foie etc.

Le sang du lapin sacrifié 18 heures après l'inoculation nous a montré un plus grand nombre de corpuscules bactériophages que celui du lapin sacrifié 24 heures après l'inoculation. Dans tous ces cas le liquide céphalo-rachidien obtenu par la ponction suboccipitale ne montrait pas trace de Shiga-Bactériophage.

Il en résulte que la perméabilité méningée au Shiga-Bactériophage n'est pas influencée par le blocage du système réticulo-

endothélial réalisé par l'injection dans la veine de l'encre de Chine.

Les expériences ci-après nous montrent qu'un agent physique tel qu'un léger choc sur la tête du lapin pratiqué peu avant l'inoculation intraveineuse de Shiga-Bactériophage est suffisant pour ébranler la résistance normale des méninges et pour les rendre perméables au Bactériophage. Dans ce but deux lapins ont reçu un choc sur la tête et de 10 à 15 min. après ils ont été inoculés avec 1 c. c. de Shiga-Bactériophage par voie intraveineuse. Le liquide céphalo-rachidien prélevé 12 et 18 heures après par la ponction suboccipitale, contenant du sang à l'examen macroscopique, nous a montré la présence de Shiga-Bactériophage. Le sang obtenu par la ponction cardiaque se montrait riche en Bactériophage.

Nous avons déjà eu l'occasion d'exposer antérieurement les essais semblables réalisés par Le Fèvre de Arrie et Millet avec le virus herpétique.

Les résultats cités ci-dessus portent à admettre que le traumatisme banal (choc) détermine les ruptures capillaires au niveau des méninges. La barrière défensive rompue permet au Bactériophage circulant dans le sang de se répandre dans le liquide encéphalo-rachidien.

Des résultats positifs ont été obtenus par nous en utilisant une méthode plus délicate, celle de la ponction rachidienne (Le Fèvre de Arrie et Millet) combinée avec le „pompage“ de Speransky. Nous avons exécuté ces expériences de la manière suivante: on inoculait à un lapin dans la veine de l'oreille 1 c. c. de Shiga-Bactériophage. 1 heure après l'inoculation on injectait par ponction suboccipitale 0,5 c. c. de solution salée physiologique, ensuite on aspirait sans retirer la seringue de l'aiguille 1 c. c. du liquide céphalo-rachidien. En répétant cette manipulation à trois ou quatre reprises on obtenait une coloration du liquide pronocée. Après la dernière aspiration le liquide (1 c. c.) n'était plus réinjecté. Le même procédé de „pompage“ a été exécuté sur un autre lapin. 15 min. après le „pompage“ ce lapin a reçu dans la veine 1 c. c. de Shiga-Bactériophage.

Les sérums sanguins de ces lapins examinés 6 heures après le „pompage“ se montrèrent très riches en Shiga-Bactériophage. Par contre, les liquides céphalo-rachidiens prélevés par ponction suboccipitale 6 heures après le „pompage“, ont montré un nom-

bre de corpuscules bactériophages sensiblement inférieur au nombre retrouvé dans le sang.

Cette expérience nous a montré que la méthode de „pompage“ détermine la brèche de la barrière hémato-encéphalique et favorise le passage de Shiga-Bactériophage du sang dans le liquide céphalo-rachidien.

Speransky suppose que dans ces conditions-là l'oscillation rapide de la pression dans l'espace subdural est suivie d'une altération temporaire de la perméabilité des parois des vaisseaux sanguins du cerveau. A notre avis, la destruction de la barrière est déterminée par les ruptures capillaires au niveau des méninges. Dans nos expériences, le liquide céphalo-rachidien prélevé par ponction suboccipitale contenait chaque fois du sang à l'examen microscopique.

Je conclurai en disant que l'injection intraveineuse et sous-cutanée du Bactériophage peut être placée parmi les méthodes convenables pour contrôler la perméabilité méningée chez l'homme. En effet, Weiss et Asheshov (C. R. de la Soc. Biol. 1928 p. 770) ont publié des méthodes permettant d'obtenir des suspensions de Bactériophages purifiées des substances provenant des Bactéries dissoutes. La suspension purifiée peut être injectée au lapin à des doses assez élevées, sans produire aucune réaction.

Des études qui précèdent se dégagent un certain nombre de conclusions dont nous résumons ci-après l'essentiel :

1. Une adaptation, dite la barrière hémato-encéphalique, constituée entre le sang et le milieu ambiant du cerveau sert à garder le système nerveux central contre les substances nuisibles, présentes dans la circulation générale. Cette barrière défensive, dont la nature exacte nous reste encore obscure, sert aussi à garder la constance du liquide céphalo-rachidien.

2. Dans certaines maladies infectieuses les toxines bactériennes, circulant dans le sang, augmentent la perméabilité méningée. Elles dépassent la barrière défensive, se fixent sur la substance cérébrale et déterminent l'apparition des symptômes nerveux.

3. Dans certaines conditions pathologiques (maladies chroniques et aiguës du système nerveux, autointoxications etc.) on constate une augmentation de la perméabilité de la barrière défensive.

4. L'imperméabilité méningée aux anticorps et aux substan-

ces chimiothérapiques peut être considérée comme une cause importante de l'échec de séro- et de chimiothérapie. Les anticorps manquent dans le liquide céphalo-rachidien des hommes qui présentent ces éléments à un taux élevé dans la circulation générale.

5. Les anticorps spécifiques ont été retrouvés dans le liquide céphalo-rachidien dans des conditions où ils ont été élaborés dans le cerveau (syphilis, immunisation active etc.)

6. Une irritation méningée déterminée par différents agents chimiques, physiques et par certaines conditions pathologiques favorise le passage des ultra-virus neurotropes de la circulation générale dans l'encéphale.

7. La thérapeutique anti-infectieuse et antitoxique réclame des méthodes qui peuvent détruire, pour un certain temps, la barrière hémato-encéphalique, et rendre perméables les méninges aux sérums spécifiques et aux substances chimiothérapiques. Parmi plusieurs méthodes proposées par les auteurs, les unes paraissent trop faibles, les autres sont nuisibles et n'ont pas d'importance pratique.

8. Il nous manque actuellement une méthode exacte et convenable pour contrôler la perméabilité méningée chez l'homme.

9. Les Bactériophages inoculés par voie intraveineuse aux lapins ne pénètrent pas dans le liquide céphalo-rachidien, dans les conditions normales, tandis que, injectés par voie suboccipitale, ils passent facilement du liquide céphalo-rachidien dans la circulation générale.

10. Il paraît que les injections intraveineuses répétées de cytotropine favorisent le passage de Bactériophage du sang dans le liquide céphalo-rachidien.

11. L'injection intraveineuse de neuro-Yatrène, de bromure de potassium et de néosalvarsan ne modifie pas la perméabilité méningée à un degré suffisant pour le passage de Bactériophage.

12. La perméabilité méningée au Shiga-Bactériophage n'est pas influencée par le blocage du système réticulo-endothélial réalisé par l'injection de l'encre de Chine.

13. Le traumatisme banal, tel qu'un choc léger sur la tête du lapin, détermine les ruptures capillaires au niveau des méninges et permet au Bactériophage circulant dans le sang de se répandre dans le liquide encéphalo-rachidien.

14. La ponction suboccipitale combinée avec le „pompage“ détermine la brèche de la barrière hémato-encéphalique et favorise le passage du Bactériophage de la circulation générale dans le liquide céphalo-rachidien. Le passage de la barrière défensive est déterminé par les ruptures capillaires.

Berichtigungen.

S. 12, Abb. 1, rechts von der Abbildung

steht:

XIV „H“

XII „G“ („Knollenschicht“)

XI „F“

IX „E“

VII „D“

V „C“

III „B“

muss sein:

XIV „G“

XII „F“ („Knollenschicht“)

XI „E“

IX „D“

VII „C“

V „B“

III

**BEITRÄGE ZUR KENNTNIS
DER KUKRUSE-(C₂-C₃-)STUFE IN EESTI**

III

VON

A. ÖPIK

TARTU 1928

Inhalt: 1) Neuere Literatur über den Kukersit. 2) Über die Gliederung der C_2 - C_3 -Stufe. 3) Die Korrelation der C_2 - C_3 -Schichten. 4) Die Sedimentpetrographie und die Verbreitung der C_2 - C_3 -Schichten. 5) Die Rekonstruktion einer Echinospaeritenbank aus den Kukruse-Schichten. 6) Über einige Fossilien aus den C_2 - C_3 -Schichten: *Pseudasaphus tecticaudatus* var. *laurssoni*; *Cybele coronata* Fr. Schmidt; *Cybele rex* Nieszk.; *Cheirurus Wahli* n. sp.; *Cheirurus spinulosus* Nieszk.; Subgenus *Nieszkowskia*; *N. Ahti* n. sp.; *N. capitalis* n. sp.; *Proetus Zalesskyi* n. sp.; *Thallograptus* n. gen.; *Thallograptus sphaericola* n. sp.; *Th. defensor* n. sp.; *Th. ramulus* n. sp.; *Temnograptus* sp.; *Dicellograptus* sp.; *Discina* (*Orbiculoidea* ?) *mickwitzi* (Huene). Bemerkung: bei der Beschreibung der Fossilien werden, wo möglich, die Einbettung und die vermutliche Lebensweise berücksichtigt.

1.

Neuere Literatur über den Kukersit.

(Vgl.: A. Öpik „Beiträge zur Kenntnis der Kukruse- (C_2) -Stufe in Eesti II“ Acta et Comm. Univ. Tartuensis (Dorpatensis) A XII₅. 1927 und „Beiträge usw. I“ ebenda A VIII₅. 1925. — Dasselbe: Public. of the Geol. Instit. of the Univ. of Tartu, Nr. 4 & 10, 1926 und 1927.)

1927. — Paul N. Kogermann: „The Oil-Shale Industry of Estonia“, Published under the Authority of the Estonian Ministry of Trade & Industry, Tartu, Estonia. 39 Seiten, 15 Abbildungen und 1 Karte. Zusammenfassende Übersicht der Kukersitindustrie, sowie der chemischen Zusammensetzung des Schiefers und seiner Öle, nebst ausführlichen statistischen Angaben. Das Literaturverzeichnis enthält Hinweise auf neue Untersuchungen über die Chemie und Technologie des Kukersits.

2.

Über die Gliederung der C_2 - C_3 -Stufe.

In den „Beiträgen II“ wurde vorgeschlagen, die kukersitführenden Schichten vorläufig in zwei Zonen zu gliedern, wobei die untere den eigentlichen C_2 -Schichten, die obere den C_3 -Schichten entsprechen sollte. Die Grenze beider Zonen wurde zwischen die Bänke XII und XIII verlegt. Aus der Literatur aber (Schmidt 1881, Schamarin 1870) und den Profilen der Entwässerungsgräben

beim Gute Kuckers = Kukruse, welche damals die besten Aufschlüsse darstellten, geht hervor, dass die Schicht XV ebenfalls noch als Glied der „Kuckers'schen Schicht“ bezeichnet wurde. Auch H. Bekker verlegte hierher die obere Grenze der „unteren Abteilung“ der Kukruse-Stufe.

Ausserdem muss besonders hervorgehoben werden, dass fast die ganze beschriebene Fauna aus den Schichten IX bis XV stammt, also auch die Trilobiten der „Revision“ und die Ostrakoden der Monographie von Bonnem a. Nur seitdem die Schieferbrüche in Betrieb sind, liegen reichliche Faunenfundes sowohl aus höheren Schichten vor, als auch besonders aus den Schichten unterhalb des „Doppelkalkes“ (VIII). Aus den oben erwähnten Gründen sind wir vorläufig genötigt, die alte, von Fr. Schmidt herrührende, unten tabellarisch zusammengefasste Gliederung zu akzeptieren.

Hangendes: D_1

C ₂ -C ₃ -Stufe (Kukruse-S. im allgemeinen) meinen)	Schichten von XVII bis XXIII	C ₃ („Itfersche Schicht“; „Itfer-Formation“; „Idavere-Stufe“; „Idavere-Zone“). Leitfossilien: <i>Chasmops Wrangeli</i> , <i>Lichas triconicus</i> , <i>Asaphus itferensis</i> , <i>Sphaerocoryphe Hybneri</i> .
	Schichten von I bis XVI	C ₂ („Brandschiefer“; „Kuckers'sche Schicht“; „K.-Stage“; „Kuckers-Formation“; „Kukruse-Stufe“; „Kukruse-Zone“). Unnummerierte tiefste Schichten von C ₂ .

Liegendes: *Caryocystites*-Zone der C_{1b}-Stufe.

In neuerer Zeit ist in der stratigraphischen Terminologie Estlands ein Durcheinander entstanden. Der alte unbrauchbar gewordene Begriff „Schicht“ wurde von verschiedenen Autoren durch „Formation“, „Stufe“ oder „Zone“, und auch die alten Namen der „Schichten“ durch neue ersetzt (Raymond, Bekker). In den Publikationen des Geologischen Instituts der Universität Tartu ist die Bezeichnung „Stufe“ und „Stage“ konsequent an Stelle der von Schmidt gebrauchten „Schicht“ durchgeführt worden, in der richtigen Voraussetzung, dass die meisten „Schichten“ aus zwei oder mehreren Zonen bestehen. Vorläufig ist dies aber in unserem Fall nicht genügend sicher

festgestellt worden, und wir müssen von einer C_2 - und von einer C_3 -Zone (nicht „Stufe“) reden, welche beide zusammen die C_2 - C_3 -Stufe bilden. Die von H. Bekker vorgeschlagene Gliederung in 4 Zonen kann höchstens nur auf das produktive Kukersitfeld angewendet werden und hat somit nur eine lokale Bedeutung. Weitere Untersuchungen werden neue Tatsachen ans Licht bringen und neue Ansichten hervorrufen, und erst dann wird die Möglichkeit geschaffen sein, die „neuen“ und die „alten“ Bezeichnungen der Sedimentverbände durch zweckmässigere zu ersetzen.

Es muss auch bemerkt werden, dass die untere und die obere von H. Bekker vorgeschlagene Grenze der C_2 - C_3 -Stufe faunistisch und zum Teil auch petrographisch nicht überzeugend wirkt. Zwischen der Schicht „I“ und der Caryocystitenzone sind Kalkbänke mit Kukersitlamellen eingeschaltet, welche die für C_2 leitenden Formen enthalten. Sehr instruktiv sind in dieser Hinsicht die von K. Orviku untersuchten Profile in der Umgebung der Schieferbrüche bei Sala und Irvala. An den Flüssen Purtse, Uuemõisa und Koljala sind hier die Grenzschichten der *Caryocystites*-Zone (C_{1b}) und der C_2 -Zone aufgeschlossen. Die C_2 -Zone wird durch eine 0,1 bis 0,25 m mächtige Kukersitschicht abgeschlossen. Diese tiefste Kukersitbank wird im Profil durch mehr als 1 m mächtige bituminöse Kalksteine überlagert, doch die Schicht „I“ oder „A“ der Schieferbrüche, welche von H. Bekker als Grenzschicht bezeichnet wurde, ist damit oben noch nicht erreicht.

Diese Schicht „I“ oder „A“ ist also nicht die Grenzschicht, sondern nur die tiefste abbauwürdige Kukersitlage (vgl. K. Jaansoon-Orviku: „Beiträge zur Kenntnis der Aseri- und der Tallinna-Stufe in Eesti“, Seite 21, Acta et Comm. Univers. Tartuensis A XI., und dasselbe in Publ. of the Geol. Inst. of the University of Tartu, Nr. 8, Tartu 1927). Ganz ebenso verhält es sich oberhalb der XXIII-sten Bank, an der Grenze gegen D_1 . Irgendwelche scharfe Grenzen sind überhaupt nicht zu vermuten, weil keine Unterbrechungen¹⁾ in der Sedimentation beobachtet worden sind.

Die geographische Verbreitung der C_3 -Schichten ist dieselbe wie bei C_2 , also Estland, Ingermanland und faunistisch auch das Nordbaltikum.

1) Submarine Korrosionen ausgenommen.

3.

Die Korrelation der C₂-C₃-Schichten.

In den „Beiträgen I u. II“ wurde auf die faunistische Übereinstimmung der C₂-C₃-Schichten mit dem Älteren Chasmopskalk des Nordbaltikums hingewiesen; dadurch wird auch das Alter unserer Stufe gegenüber den anderen kalkigen, trilobitenführenden Gebieten bestimmt. Für diesen Abschnitt des Ordoviziums ist die Korrelation der Kalk- und der Graptolithenfazies in Schweden ziemlich genau durchgeführt worden. Es ist aber auch möglich, unmittelbar die Stellung der C₂-C₃-Schichten gegenüber der Graptolithenfazies zu bestimmen, indem der Umweg über den nordbaltischen, nur als Geschiebe bekannten Älteren Chasmopskalk vermieden wird. Gleichzeitig ergibt sich dadurch eine Kontrolle der in Schweden durchgeführten Korrelation.

Als Ausgangspunkt soll das im „Beitrag II“ Seite 28 erwähnte Vorkommen von *Diplograptus linnarssoni* dienen.

Der *Diplograptus linnarssoni* ist ein Zonengraptolith des unteren Dicellograptusschiefers Schonens, wo nach Hadding¹⁾ die Zonenreihe besteht:

Dicellograptusschiefer	Mittlerer	<i>Pleurograptus linearis</i>
		<i>Dicranograptus clingani</i>
	Unterer	<i>Nemagraptus gracilis</i>
		<i>Diplograptus putillus</i>
		<i>Diplograptus linnarssoni</i>
		<i>Glossograptus hincksii</i>
		<i>Didymograptus geminus</i>

Die Fossilisten des Unteren Dicellograptusschiefers mit denen der Kukruse-(C₂-C₃)-Stufe vergleichend, finden wir übereinstimmende Fossilien erst in den obersten Schichten der *Diplograptus putillus*-Zone und in den *Nemagraptus gracilis*-Schichten. Diese wenigen übereinstimmenden Fossilien sind:

Primitia tolli Bonnema

*Paterula bohémica*²⁾ Bar.

Der *Diplograptus linnarssoni* selbst gehört aber nicht den C₂-C₃-Schichten an, sondern stammt aus dem liegenden Echino-

1) „Undre Dicellograptusskiffern i Skåne“, Lund 1913.

2) Vgl. weiter unten.

sphaeritenkalk. K. Jaansoon-Orviku¹⁾ gliedert den „echten Echinospaeritenkalk“ (C_{1b}) in folgende zwei Zonen:

Hangendes: C₂

C _{1b}	Caryocystites-Zone
	Baukalkstein-Zone

Liegendes: C_{1a}.

Als Leitfossil der oberen Zone wird *Caryocystites aranea* genannt. Für die Baukalksteinzone sind es offenbar *Asaphus devexus* und *Asaphus ornatus*. Der *Diplograptus linnarssoni* stammt entweder aus den oberen Schichten der Baukalk-, oder aus den unteren Bänken der Caryocystitenzone (letzteres ist das wahrscheinlichere). Demnach entsprechen die C_{1b}-Zonen wenigstens der *Diplograptus linnarssoni*-Zone, warscheinlich aber auch einem Teil der *putillus*- und der *hincksii*-Zone. Also liegen die C₂-C₃-Kukersit- und Kalkbänke offenbar in der Höhe des *Nemagraptus gracilis*.

Graptolithenfazies	Ostbaltische Trilobitenfazies	Ostskandinavische Trilobitenfazies
<i>Pleurograptus linearis</i>	D ₂	Macrouruskalk
<i>Dicranograptus clingani</i>	D ₁	
<i>Nemagraptus gracilis</i>	C ₃	Älterer Chasmopskalk
<i>Diplograptus putillus</i>	C ₂	
<i>Diplograptus linnarssoni</i>	C _{1b} { Caryocystites-Zone Baukalk-Zone	„Orthoceratitenkalk“ Asaphidenkalk
<i>Glossograptus hincksii</i>	C _{1a}	
<i>Didymograptus geminus</i>	BIII _γ	

1) Vgl. Seite 2.

Es ist klar, dass auch die vorstehende Korrelationstabelle noch sehr ungenau ist. Die Grenzen der Graptolithenzonen werden im allgemeinen nicht mit jenen der Kalkfazies zusammenfallen, und es ist keine Möglichkeit vor auszusehen, die Lage der verschiedenen Grenzsichten einander gegenüber genau festzustellen. Ausserdem ist die Korrelation, je weiter vom *Diplograptus linnarssoni*, desto ungenauer, und nur Graptolithenfunde in der Kalkfazies werden imstande sein weitere Ausgangspunkte zu schaffen. Tatsächlich ist schon eine Anzahl von Graptolithen im estländischen Ordovizium gefunden worden, wobei mehrere Stufen und Zonen durch mehr als je einen Graptolithen vertreten sind. Auch hat es sich erwiesen, dass keine Stufe ganz graptolithenfrei ist. Alle diese wichtigen Funde müssen noch näher bestimmt werden.

Kehren wir nochmals zu unserer Korrelation zurück. Die Gleichstellung der C₂-Zone mit den *Nemagraptus gracilis*-Schichten hat zur Folge, dass auch der untere Teil des Chasmopskalkes in dieses Niveau versetzt werden muss. Somit ist hier eine Abweichung von der von uns im allgemeinen akzeptierten Korrelation von Moberg entstanden, wo dem *Nemagraptus gracilis* der etwas ältere Ancistroceroskalk entsprechen würde. Diese Ansicht wird auch von Hadding vertreten. Es ist jetzt nicht gut möglich, sich diesen Ansichten anzuschliessen, aber auch die hier vorgeschlagene Korrelation muss auf weitere beweisende Tatsachen warten.

Während die Korrelation der C₂-C₃-Stufe mit den Graptolithenschiefern immerhin noch unsicher ist, scheint die Korrelation einzelner baltischer Kalkgebiete untereinander in diesem Abschnitte des Ordoviziums genügend scharf durchgeführt zu sein. Die älteren Teile des Chasmopskalkes stimmen mit C₂-C₃ überein. Der Macrouruskalk entspricht petrographisch und faunistisch den sämtlichen D₂- und den oberen D₁-Schichten vollständig. E. Warburg hat festgestellt, dass *Chasmops maximus* Fr. Schmidt mit *Chasmops macrourus* Sjögren identisch ist, also auch die Hauptleitfossilien stimmen überein. Über diesen Fall der Korrelation sind die Meinungen überhaupt noch nicht auseinandergegangen. Schwieriger ist die scharfe Einstellung der Sedimente unterhalb des Chasmopskalkes und oberhalb der *Macrourus*-Schichten, wo grössere petrographische Unterschiede und abweichende Faunenverteilungen vorkommen.

Es ist hier auch angebracht, ein äusserst wichtiges und interessantes Vorkommen der *Chasmops*-Ablagerungen zum Vergleich heranzuziehen. Es ist dies die Etage 4b in Norwegen, die von O. Høltedhal¹⁾ eingehend untersucht worden ist. Beim Mjösen ist die korrelierte Ablagerung der C_2 - C_3 -Schichten durch fossil-leeren Schiefer und Kalksandstein vertreten, wobei die hangende Fauna ganz besonders jener der estländischen D_1 -Schichten nahe steht. Das Liegende dieser Schiefer und Kalksandsteine gleicht den C_1 -Zonen Estlands hauptsächlich hinsichtlich der Cephalopoden. Høltedhal kommt in seiner Abhandlung zu dem Schluss, dass die 4b γ und 4b β des Oslogebietes und der Schiefer und Kalksandstein am Mjösen genau der ostbaltischen C_2 - und der C_3 -Zone entsprechen.

Ein zweites wichtiges Vorkommen von *Chasmops*-Ablagerungen ist das von Wiman beschriebene in Jämtland, wo ebenfalls ausgesprochen klastische, terrigene Sedimente vorliegen; und diese haben ja wirklich Beziehungen zu den C_2 - C_3 -Zonen, welche letztere ebenfalls als der untere Teil des *Chasmops*kalks zu betrachten sind.

Im nächsten Abschnitt werden wir Gelegenheit haben, nochmals zu diesen Tatsachen zurückzukehren, besonders aber zu der Abhandlung von Olaf Høltedhal, welche dem Verfasser der „Beiträge II“ noch unbekannt war.

4.

Die Sedimentpetrographie und die Verbreitung der C_2 - C_3 -Schichten.

Der mikroskopische Aufbau des Brandschiefers und der Kalkbänke ist durch die Arbeiten Bekkers, Zalesky's und Lindenbeins genügend aufgeklärt worden. Auch die chemisch-petrographischen Verhältnisse sind gestreift und in den „Beiträgen II“ ist Rücksicht auf die Menge der terrigenen Bestandteile eines Teiles der C_2 -Bänke genommen worden. Dies geschah aber in ungenügender Masse, weil der Verfasser in der Deutung des von Schammarin (1870) untersuchten Profils nicht ganz sicher war. Weitere Studien bestätigten die Deutung einzelner Schichten in der Art, dass es möglich wurde, diese mit Sicherheit mit

1) „Studien über die Etage 4 des norwegischen Silursystems beim Mjösen“, Christiania 1909.

dem Schema von Kirschbaum-Bekker¹⁾ zu vergleichen. Diese Korrelation der Bezeichnungen Schamarins und Kirschbaum-Bekkers findet sich in der nachstehenden Tabelle unter 2 verzeichnet.

Weil es bis jetzt kein vollständiges in chemischer Hinsicht untersuchtes Profil unserer Schichten gibt, so mussten beim Herstellen der Tabelle Angaben zweierlei Ursprungs verwertet werden: erstens die Analysen von Schamarin, welche sich auf die Schichten von IX—XV beziehen lassen, und zweitens die neueren Untersuchungen von Wittlich-Weshnjakow (1922), welche

Chemisch-petrographische Zusammensetzung der Kukruse- (C₂-) Sedimente.

Das Profil			3. Thalassogene Bestandteile in %		4. Terrigene Bestandteile in %		
1. Charakter der Schichten und ihre Mächtigkeit	2. Bezeichnungsweise		a. Organische Substanz	b. CaCO ₃ + MgCO ₃ Spuren FeCO ₃	a. Ton (Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , K, Na)	b. Rückstand (fast nur Quarzsand)	c. Summe terrigener Bestandteile
	a. Neue, nach Kirschbaum u. Bekker	b. Nach Schamarin					
A. Daten für die Schichten XV—IX (nach Schamarin 1870)							
Fliesenkalk A, 0,60 m	XV	I	1,03	83,58	6,46	7,14	13,60
Brandschiefer A, 0,30 m	XIV	II	44,96	35,60	9,48	7,86	17,34
Kalkstein B, 0,41 m	XIII	III	3,55	84,43	4,67	4,50	9,17
Brandschiefer B, 0,20	XII	IV	33,35	44,39	—	—	20,40
Heller Brandsch. C, 0,32		V	46,65	25,48	—	—	25,58
Dunkelbrauner Brand-		VI a	34,28	41,66	9,93	10,77	20,70
schiefer, kalkreich C, 0,81		VI b	33,95	42,96	—	—	19,34
Kalkstein D, 0,26	X	VII	8,39	69,20	10,48	10,50	20,98
Brandschiefer D, 0,12	IX	VIII	44,65	28,85	—	—	24,19
Gelbbraun. Brandsch. E, 0,08		IX	17,55	62,48	—	—	16,63
Brauner Brandsch. E, 0,10		X	44,19	23,83	—	—	29,29
Ockriger Brandsch. F, 0,06		XI	55,87	11,71	16,61	12,82	29,43

1) Vergl. „Beiträge usw. II“, Seite 4 u. 16.

Fortsetzung der Tabelle auf S. 10.

B. Daten für die Schichten VIII—I (nach Wittlich und Weshnjakow 1922 und H. Bekker 1924).

„Doppelkalk“ 0,22—0,24	VIII		0,8	88,9	—	—	10,1
Kukersit 0,35—0,52	VII		50,2	21,4	—	—	25,0
Bitum. Kalk 0,5—0,13	VI		5,9	89,2	—	—	4,8
Kukersit, bryozoenreich 0,5—0,68	V		51,7	30,4	—	—	17,6
Bit. Kalkstein 0,12—0,15	IV		4,7	79,8	—	—	15,3
Rötlicher Kukersit (stel- lenweise Ton) 0,04—0,07	III		29,8	29,6	—	—	40,2
Bituminöser Kalk 0,03—0,10	II		7,3	82,1	—	—	10,1
Bryozoenreicher Kukersit 0,20—0,28	I		49,8	24,2	—	—	22,5

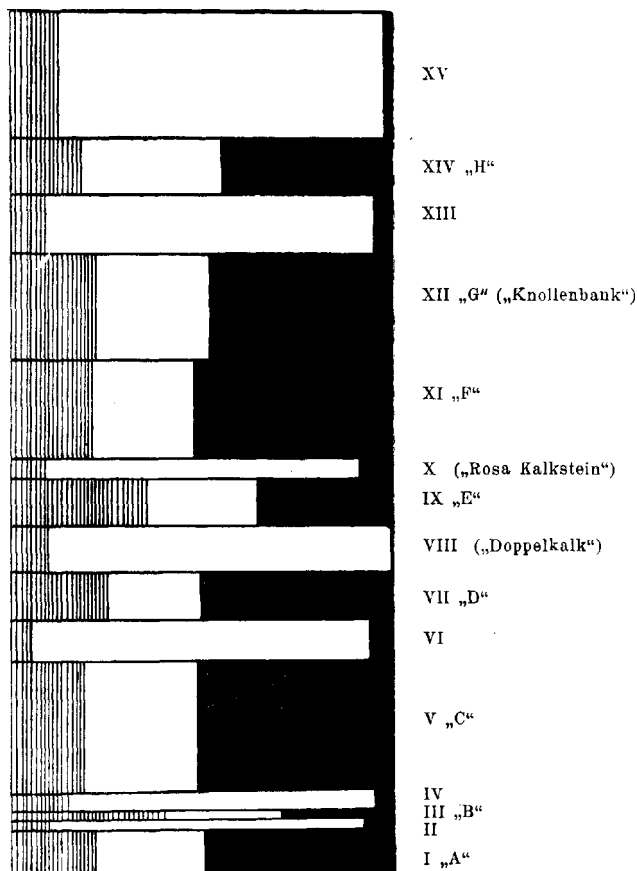
die Schichten I—XII behandeln. Diese Quellen behandeln also beide die Schichten IX—XII, und auf Grund der Übereinstimmung der Daten bezüglich des gemeinschaftlichen Abschnitts kann erwartet werden, dass die übrigen analytischen Daten im kombinierten Profil auch brauchbar sein werden, — obwohl sie aus verschiedenen, doch nicht sehr weit voneinander entfernten Lokalitäten stammen. Der von Schamarin untersuchte Stoff stammt aus den klassisch gewordenen Entwässerungsgräben des Gutes Kuckers (= Kukruse), von wo überhaupt alle alten Untersuchungen ihren Stoff erhielten. Das Untersuchungsmaterial von Wittlich-Weshnjakow aber „stammt aus den im Tagbau betriebenen Gruben unweit der Eisenbahnstation Kohtel (=Kohtla) der Linie Reval (=Tallinn) — Narva“, also aus dem staatlichen Schieferbruch Kohtla-Järve.

Die vorstehende Tabelle und das Diagramm (Abb. 1) illustrieren deutlich die Verhältnisse des betreffenden Profils, doch ist es nicht ratsam, diese Deutung auf das gesamte umfangreiche Kukersitfeld auszudehnen. Erst die Untersuchung einer grösseren Anzahl voneinander entfernter Profile, nebst Bestimmung der Korngrößen, wird unsere Vorstellung über die Herkunft der Sedimente abrunden.

Aus der Tabelle und der Abb. 1 geht deutlich hervor, dass die Kukersitbänke etwas reicher an terrigenen Partikeln (Ton und Sand) sind als die Kalkbänke, dass aber die Mengen der

Hangendes: C₃-Idavere-)Zone

20% 40% 60% 80% 100%



Liegendes: 1) Unnummerierte C₂-Schichten ca 1—2 m
2) *Caryocystites*-Zone (oberes C₁ b)

Abb. 1. Die Beziehungen der terrigenen (Ton, Sand) und der thalassogenen (CaCO₃ etc.) Bestandteile zur Menge der brennbaren Stoffe. Schraffiert: terrigene, weiss: thalassogene Bestandteile, schwarz: org. Substanz („Kukersit“). Die Grösse der einzelnen schwarzen Felder kann als Mass der Abbauwürdigkeit der entsprechenden Flöze dienen. Die römischen Zahlen bezeichnen die Schichten nach Kirschbaum-Bekker; mit den Buchstaben A, B usw. werden die einzelnen Kukersitflöze in den Brüchen bezeichnet (nicht mit der Bezeichnungswiese Schamariński zu verwechseln). Die Mächtigkeiten sind aus H. Bekker „Strat. and Pal. Supplements on the Kukruse Stage etc.“, Tartu 1924, Seite 7, Profil „Järve 11“ entnommen. Vertikalmass ca 1:45.

organischen Substanz auch nicht in annähernd gesetzmässigem Verhältnis zu den terrigenen Bestandteilen stehen. Deshalb scheint es immerhin unwahrscheinlich, dass die Ursachen, welche den terrigenen Stoff herbeitrugen, auch auf die Menge des Bitumens Einfluss ausüben konnten, oder aber es ist möglich, dass die Zunahme der klastischen Bestandteile im Kukersit und deren Abnahme in den Kalkbänken nicht unbedingt durch Vorrücken und Zurückweichen der Küstenlinie und des Erosionsgebietes hervorgerufen wurden (vgl. „Beiträge II“ S. 17). Aus vorläufigen Proben konnte ersehen werden, dass die Zunahme des Gehaltes an klastischen Stoffen von keiner merklichen Änderung der Korngrösse begleitet wird. Wenn sich aber die Strandlinie dem Kukersitfelde näherte, müssten wohl gröbere Sedimente zum Vorschein kommen, der Sand müsste wenigstens zum Teil an Korngrösse zunehmen und den Ton verdrängen. Doch der Lösungsrückstand ist in allen Fällen feinkörnig, schlammig, und die Mengen des Tones und des Sandes sind einander fast ganz gleich. Falls wir uns die klastischen Stoffe in dem thalassogenen Kalk-Kukersit „gelöst“ denken, so wird die Sedimentationsgeschwindigkeit der letzteren dermassen auf die Konzentration der in Minderheit vorhandenen terrigenen Stoffe einwirken, dass es nicht möglich sein wird, die ursprünglichen Schwankungen dieser terrigenen Stoffe abzulesen. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Rhythmus der Sedimentation (Abwechslung von Kukersit- und Kalkbänken) durch die im Meere selbst herrschenden physikalischen Bedingungen verursacht worden ist.

Im zweiten Heft der „Beiträge zur Kenntnis der Kukruse-Stufe“, in den „Schlussfolgerungen“ (S. 17), findet sich der Satz: „2. Im ganzen Gebiet der Kukruse-Stufe und seinen unmittelbaren Fortsetzungen sind keine litoralen Ablagerungen bekannt“. Zur Zeit, wo dieser Satz geschrieben wurde, waren dem Verfasser die Chasmopsablagerungen von Mjösen und Jämtland unbekannt. Diese aber gehören, wie es in der Abhandlung O. Høltedhals dargestellt worden ist, in das küstennahe Gebiet eines unbekannten, im NW gelegenen Festlandes. Wir bezweifeln nicht, dass die Chasmops-Ablagerungen und die C_2 - C_3 -Stufe gleichzeitig sind und dass sie einem einheitlichen Meeresraum angehörten. Deshalb hat der genannte Satz (2) keine so allgemeine Bedeutung, wie sie ihm von mir zugeschrieben wurde. Doch die terrigene, küstennahe Fazies der Chasmopsstufe liegt vom eigentlichen

Kukersitgebiet 700—800 km entfernt, und deshalb ist auch in diesem Fall kein Grund vorhanden, die Vorstellung über den Raum und die physikalischen Bedingungen der Entstehung der entsprechenden ostbaltischer Sedimente, wie sie in den „Beiträge II“ dargestellt worden sind, zu ändern.

Wenn man das Vorhandensein einer westlichen Landmasse annimmt, so darf man deshalb noch nicht schliessen, dass auch die terrigenen, klastischen Bestandteile der estländischen, resp. ostbaltischen Chasmopsstufe denselben westlichen Ursprung haben. Der Glint am Finnischen Meerbusen bricht jäh ab, und wir wissen nicht, wie weit sich die ostbaltische Ordovico-Silurische Platte nach Norden ausgedehnt hat. Vielleicht lag auch irgendwo dort die Heimat wenigstens eines Teiles dieser klastischen Bestandteile. Aber die Beschaffenheit der ordovizischen Sedimente im Ostbaltikum, besonders oberhalb der B_{III}-Schichten, zeigt so beständige Züge, dass es unwahrscheinlich scheint, ein Festland sei im Norden, in nächster Nähe des gegenwärtigen Glints gelegen gewesen. Wir müssen annehmen, dass die Küstenentfernung nach Norden hin wenigstens von derselben Grössenordnung war, wie sie in der westlichen Richtung festgestellt worden ist. Es geht daraus hervor, dass die *Chasmops*-Sedimente (also auch das Ordovizium) nach Norden hin sich wenigstens über einen beträchtlichen Teil Finnlands ausbreiteten. Aus ähnlichem Grunde darf auch in östlicher und südlicher Richtung keine allzu nahe Strandlinie vermutet werden. Im Süden allerdings, in Polen, im Święty Krzyż-Gebirge, scheint schon die untere Chasmopsstufe zu fehlen, obwohl Äquivalente für B_{III} und C₁ dort sicherlich noch vorhanden sind. I. Samsonowicz berichtet: „Les zones plus élevées, qui pourraient correspondre aux divisions supérieures de l'Ordovicien des provinces Baltiques, font entièrement défaut dans les montagnes de Święty Krzyż. Les schistes du Gothlandien à Graptolithes reposent en discordance sur les couches plissées du Cambrien et de l'Ordovicien. Il est évident, que vers la fin de l'âge ordovicien les couches du Cambrien et de l'Ordovicien inférieur ont subi l'action de mouvements orogéniques, auxquels a succédé une phase de dénudation.“ (Schlusszeilen aus: „Sur la stratigraphie du Cambrien et de l'Ordovicien dans la partie orientale des montagnes de Święty Krzyż (Sainte Croix), Pologne centrale“, Bull. du Service Géol. de Pologne 1920.)

5.

Die Rekonstruktion einer Echinospaeritenbank aus den Kukuruse-Schichten.

Taf. 4, Fig. 2.

Den Stoff für die Rekonstruktion lieferten Echinospaeriten aus mehreren Lokalitäten, auf denen öfters auch andere, vielleicht symbiotische Organismen vorhanden waren. Von solchen Fremdkörpern sind bis jetzt auf den Echinospaeriten Bryozoen, Graptolithen und Brachiopoden (*Philhedra*) beobachtet worden. Doch fallen die Bryozoen aus der Rekonstruktion der Echinospaeriten weg. Sie bekleiden unmittelbar die Platten des Tieres und werden bei eingebetteten Tieren nur auf den Seiten und oben, nicht aber unten gefunden. Nach diesen Merkmalen erschienen die Bryozoen auf der Kugel erst nach dem Tode des Tieres. Die Graptolithen (*Thallograptus*) wohnten auf lebenden Tieren, ebenso auch die Philhedren.

Den weiteren Stoff für die Rekonstruktion bildeten Stücke eines bituminösen Kalksteins mit Zystiden (wahrscheinlich Schicht X), welche von Herrn K. Orviku und vom Verfasser im Kukersitbruch Sala gesammelt wurden. Die Anordnung der Echinospaeriten auf dem Bilde und die Lage der anderen Organismen (*Diplotrypa*) entspricht annähernd den natürlichen an den Kalkplatten aus Sala beobachteten Verhältnissen.

Die Ausführung der Rekonstruktion übernahm stud. geol. Elsa Rosenstein.

Einbettung der Echinospaeriten.

Es konnte bei keinem Exemplar der Kolonien aus Sala nachgewiesen werden, dass es vom Sediment in aufrechter Lage verschüttet wurde.

Die Echinospaeriten liegen im Sediment gewöhnlich mit einer mehr oder weniger horizontal gestellten Vertikalachse. Die Stielöffnung ist also nicht nach unten, sondern verschieden, selten nach oben gerichtet. Die Echinospaeriten sind gewöhnlich hohl und von innen mit Kalkspatkristallen bekleidet, so dass auf jeder Platte je ein mit der Spitze zum Zentrum gerichteter Kristall aufsitzt. Einige dieser Echinospaeritendrusen enthalten etwas Sediment, welches sich auf der liegenden Seite angesammelt

hat. Wenige Exemplare sind ganz von Sediment ausgefüllt. Die Echinospaeritendrusen sind, wo sie in Berührung mit Kukersitschichten standen, mehr oder weniger zerdrückt.

Fast die Hälfte aller Echinospaeriten führt auf ihrer Oberfläche die zarten Zweige des *Thallograptus*. Die Graptolithen sind nur dann erkennbar, wenn sie der Echinospaeritenoberfläche dicht anliegen. Aus dem benachbarten Gestein können sie ihrer Zartheit wegen nicht auspräpariert werden. Die Graptolithen finden sich immer in der Umgebung des Stieles, sie waren also auf der unteren Seite des lebenden Wirtes befestigt. Niemals sind sie in der Umgebung der After-, Mund- oder Genitalöffnung gefunden worden. Dadurch wird die Möglichkeit des Schmarotzens ausgeschlossen. Die Philhedren haben keinen bestimmten Sitz auf der Echinospaeritenkugel.

Aus der Erhaltung des Echinospaeriten selbst und aus der Zartheit seiner Gefährten, der Graptolithen, geht hervor, dass die Tiere nach ihrem Tode nicht bewegt worden sind und dass die Stelle der Einbettung auch die Stelle des Sterbens und des Lebens der Tiere war. Weil die Echinospaeriten alle ungefähr gleich gross sind und annähernd in einer Schichtfläche liegen, so haben sie wahrscheinlich einen ähnlichen und gleichzeitigen Tod erlitten. Die Einbettungsfläche ist die Dachfläche des Kalksteins, also der Kontakt mit der hangenden Kukersitschicht. In den „Beiträgen II“ wurde nachgewiesen, dass viele, ja die meisten Bodenbewohner den Kukersitschlamm vermieden, und dass Tiere wie Echinospaeriten im Kukersit nicht vorkommen, sondern nur in den Kalkbänken.

Wir können deshalb mit Recht annehmen, dass das gleichzeitige Aussterben der Echinospaeritenbank, zeitlich mit dem Sedimentwechsel von Kalkstein zu Kukersit zusammenfallend, durch diesen Sedimentwechsel auch hervorgerufen worden ist.

Nach dem Absterben mussten die Echinospaeriten umfallen, wobei auch die Thallograpten umkamen. Die Graptolithenzweige, welche zwischen dem Substrat und dem Echinospaeriten selbst liegen blieben, wurden am besten erhalten. Sie wurden dicht an den Körper des Wirtes gepresst, so dass bei ausgewitterten Exemplaren eine Inkrustierung vorgetäuscht wird. Erst dann besiedelten die inkrustierenden Bryozoen die durch Verwesung der Hautteile blossgelegten Tafeln des Tieres.

Rekonstruktion der Gestalt des Echinospaeriten.

Es handelt sich hier um den *Echinospaerites aurantium* mut. *supra* Hecker, welcher allein in den C₂-Schichten in Estland gefunden wird. Bekannt ist der fast kugelfunde Körper mit der Analpyramide, Stielöffnung, peristomalen Leisten usw. Arme und Stiel sind unbekannt. Nach Analogie mit anderen Arten und nach dem Bau des Peristomal-Apparates konnte mit Sicherheit auf das Vorhandensein von Armen geschlossen werden. Eine Säule oder ein Stiel ist bei den Echinospaeriten überhaupt noch nicht gefunden worden. Nach dem Bau der „Stielöffnung“ kann ein solcher aber angenommen werden. Er muss wohl sehr locker gebaut gewesen sein, so dass von ihm keine Spur vorhanden ist. Möglicherweise fehlten dem im Sediment verborgenen Stiel jegliche Hartteile, indem der Echinospaeritenstiel eine äusserliche Ähnlichkeit mit dem Brachiopodenstiel besitzen konnte.

Zusammenfassend schliessen wir, dass die Rekonstruktion nicht vollständig der Art entspricht. Als wesentliche Abweichung von der Mutation *supra* ist die zu stark ausgezogene birnförmige Gestalt des Kelches zu betrachten. Nach Hecker müsste der Umriss runder sein.

Die Rekonstruktion der Echinospaeritenbank.

Die Anordnung der Echinospaeriten ist fast dieselbe, wie sie in der Natur nachgewiesen wurde — in den erwähnten Funden aus Sala. Zusammen mit den Echinospaeriten fanden sich einige Bryozoenstöcke (*Diplotrypa*), welche als konische Körper auf dem Bilde sichtbar sind. Ausserdem nur noch einige Stielfragmente von Krinoiden, kleine Ostrakoden, Wurmsspuren und unbedeutende Trilobitenfetzen. Die Brachiopodenklappe (*Clitambonites squamatus*) und das Chasmopskranidium (rechts unten) gehören nicht dem Urstück an, sondern sind willkürlich eingezeichnet worden.

6.

Über einige Fossilien aus den C₂-C₈-Schichten.

Pseudasaphus tecticaudatus Steinh. var. *laurssoni* A. Ö.

Taf. I, Fig. 1.

1927. *Pseudasaphus tecticaudatus* Steinh. var. *laurssoni* A. Öpik, „Beiträge zur Kenntnis der Kukuruse-Stufe II“, S. 25, Taf. III, Fig. 1 u. Taf. IV, Fig. 1.

Es liegt vor ein neuer, fast ganzer Panzer dieses Tieres, ein Geschenk des Herrn M. S. Kluschinski.

Das in den „Beiträgen II“ abgebildete und beschriebene Kopfschild hat inzwischen durch einen Unfall seine charakteristischen abgerundeten Wangenecken verloren. Wir müssen deshalb das neue Stück als den Typus der Form bezeichnen, indem es am deutlichsten die Abrundung der Hinterecken zeigt und einen Gegensatz zur Grundform darstellt, welche in „Beiträge II“, Taf. IV abgebildet ist.

Im gegenwärtigen Zustand, mit abgebrochenen Kopf- und Schwanzrändern, ist der abgebildete Trilobit noch immer 18 cm lang. Der ganze Trilobit konnte demnach eine Länge von 23 cm erreichen.

Es ist dies der einzige von den grossen Trilobiten der Kukruse-Stufe, von dem mit Sicherheit angenommen werden kann, dass er in Rückenlage eingebettet wurde. Es erwies sich nämlich, dass das Hypostoma in umgekehrter Lage der inneren Rückenseite des Panzers auflag, so als ob es in das Innere des Panzers hinabgesunken wäre. Dieses konnte nur in dem Fall geschehn, wenn der Panzer mit der Wölbung nach unten auf dem Boden lag. Bedenken erregt, dass das Hypostoma mit dem gegabelten Rande zwar nach hinten gerichtet, aber seine Aussenseite mit den Maculae ins Innere des Tieres gewandt ist. Zwischen dem Panzer und dem Hypostoma ist ein Hohlraum, der teilweise von Kalzitkristallen und lockerem Kukersit ausgefüllt ist. Über diesem Hohlraum ist der Panzer eingedrückt. Der Hohlraum entstand folglich während der Einbettung, wobei das Hypostoma allein nicht imstande war den Raum sedimentdicht zu erhalten. Es waren gewiss auch weiche Körperteile da, die genügend lange bestanden, um den Leibesraum des Tieres an dieser Stelle vor Ausfüllung zu schützen.

Dieser Fall ist als ein Beweis für ruhiges Wasser zu betrachten. Der eingedrückte Panzer weist darauf hin, dass der Trilobit mit dem Rücken eine Kukersitschicht berührte:

Fundort des Stückes: Schieferbruch Sala. Vorkommen: neben Sala auch im staatlichen Bruch Kohtla.

Gen. *Cybele* Lovén.

Cybele coronata Fr. Schmidt.

Taf. IV, Fig. 1.

1881. *Cybele coronata* Fr. Schmidt, „Revision der ostbaltischen silurischen Trilobiten I“, S. 213, Taf. XIII, F. 24–27; Taf. XIV, F. 5; Taf. XV, F. 10.

Schmidt schreibt (S. 213) von den festen Wangen des Trilobiten, dass „die Hinterecken bei keinem Exemplar deutlich erhalten sind“. Unser Stück füllt diese Lücke aus. Die Hinterecken der festen Wangen sind bei *Cybele coronata* in lange runde Hörner ausgezogen, welche ähnlich gebaut sind, wie die Stirnhörner des Tieres.

Fundort des Stückes: Schieferbruch Sala.

Auf derselben Platte befinden sich: *Otarion planifrons*, *Lichas kukersianus*, *Cybele rex*, *Leptaena estonensis*, *Diplotrypa petropolitana*, *Chirocrinus* sp. *Diplotrypa*-Stöcke sind auf der Platte zahlreich vorhanden. Entweder sind die Stöcke auf die Seite geworfen, oder (die Mehrzahl) sie sind einseitig gerichtet, indem die Epitheken mit der Wölbung des *Cybele*-Kopfes gleich gerichtet sind. Aus der Lage der *Diplotrypa*-Stöcke schliessen wir: die fossilienführende und abgebildete Seite der Platte ist die Sohlfläche; das Kopfschild von *Cybele coronata* ist mit der Wölbung nach unten eingebettet, ebenso der Kopf von *Lichas kukersianus*, *Leptaena estonensis* liegt mit der Wölbung nach oben.

Lebensbild von *Cybele coronata*: Kopfschild gewölbt, mit stark herabgebogenen Wangen. Augen hochgestielt, Augenhöcker dünn. Vorderrand mit 5 langen, rundlichen, aufrecht gebogenen Hörnern versehen. Die Spindel mässig gewölbt; die Pleuren bedeutend herabgebogen, die Spitzen in lange, nach hinten gerichtete Stacheln und das Pygidium am Hinterende in kurze rundliche Stacheln auslaufend. Vorkommen: im ganzen Gebiet des Brand-schiefers, vereinzelt, nicht scharenweise. Die Grösse konnte 6—8 cm erreichen.

Sich auf die Untersuchungen von Rud. Richter stützend („Vom Bau und Leben der Trilobiten“), ist zu schliessen, dass es sich um einen Schwimmer handelt, mit Gleichgewichts- und Schwebevorrichtungen und mit starker Muskulatur (gewölbter Körper). Im Vergleich mit den anderen *Cybele*-Arten, besonderes mit den ostbaltischen, sind die statischen Einrichtungen der *C. coronata* am besten entwickelt. Mit *C. coronata* kommt in denselben Schichten die Art *rex* vor, bei welcher nur die hinteren Pleuren mit Stacheln versehen sind. Von *C. rex* werden sehr oft gleichzeitig Bruchstücke mehrerer Individuen gefunden, was bei *coronata* nicht der Fall ist. Wir schliessen hieraus, dass *C. rex* ortbeständiger und mit dem Boden enger verbunden war als die *coronata*, welche im Meere frei umherstreifte.

***Cybele rex* Nieszk.**

Taf. III, Fig. 21, 22.

Das abgebildete Stück wird wohl der einzige aus den C₂-Schichten bekannte vollständige Panzer einer *Cybele* sein.

Von den 12 Leibesringen haben die ersten 5 nach hinten zugespitzte Pleuren; das sechste Segment ist etwas stärker entwickelt und verlängert sich nach hinten in mächtige, sehr lange Stacheln, welche parallel zur Achse verlaufen. Die weiteren Pleurenstacheln sind kürzer und konvergieren nach hinten. Kopf und Pygidium sind von Fr. Schmidt in der „Revision I“ ausführlich beschrieben worden.

Das Stück ist von Herrn K. Orviku im Schieferbruch bei Irvala gefunden worden und wird im Geol. Museum zu Tartu aufbewahrt.

Dimensionen: Länge 3,6 cm, grösste Breite 2,6 cm, Länge des Pygidiums 0,9 cm, Breite — 0,9 cm, Länge der Seitenstacheln 2,3 cm.

Gen. *Cheirurus*.***Cheirurus Wahli* nov. sp.**

Taf. I, Fig. 2, 3, 4.

Von dieser seltenen Art liegen vier unvollständige Kopfschilder vor. Das erstgefundene stammt aus der Sammlung des verstorbenen Geologen v. Wahl. Zwei andere sind vom verstorbenen Prof. H. Bekker gefunden worden. Alle Stücke gehören dem Geol. Museum der Universität Tartu.

Als Holotypus bezeichnen wir das von H. Bekker gefundene Kopfschild, welches auf Taf. I, Fig. 4 abgebildet ist.

Eine Verwechslung dieser Art ist möglich mit dem gleichzeitigen *Cheirurus spinulosus* Nieszkowski. Sichere Unterschiede bieten die Gestalt des Frontallobus und des Randsaumes. Die anderen Merkmale sind im einzelnen weniger sicher.

Die Glabella des *Cheirurus Wahli* wird durch parallel verlaufende Dorsalfurchen seitlich begrenzt. Die erste Seitenfurchen, anfangs grubenförmig, wird in der Richtung zur Mittellinie schwächer, bleibt aber deutlich, was bei *Ch. spinulosus* nur selten vorkommt. Die erste und die zweite Seitenfurchen sind untereinander parallel. Anfangs sind diese Furchen geradlinig, dann aber biegen sie im Bogen nach hinten um und enden am Steinkern in einem kleinen Grübchen, was bei *Ch. spinulosus* nicht der Fall ist. Die

dritte Seitenfurche, anfangs tief, geradlinig und etwas rückwärts gerichtet, wird im hinteren Zweige flacher und verschmilzt mit der Nackenfurche, wobei an dieser Stelle flache, dreieckige Felder entstehen. Bei *Cheirurus spinulosus* sind diese Felder nur undeutlich entwickelt. Der hintere, durch die Nackenfurche und die hinteren Seitenfurchen begrenzte Mittellappen der Glabella ist fast nur ein drittel so breit wie die ganze Glabella, bei *Ch. spinulosus* bildet er fast die Hälfte der letzteren. Die Breite des hinteren Mittellappens ist von der Breite der Seitenfurchen abhängig, welche ihrerseits Schwankungen aufweisen kann. Der Frontallobus ist trapezartig, mit deutlichen Ecken und mehr in die Länge ausgezogen als bei *Cheirurus spinulosus*. Die Randfurche ist deutlich entwickelt, was bei *spinulosus* nur ganz selten zu beobachten ist. In der Mittellinie bildet die Randfurche eine schwache Einbuchtung in den Vorderrand des Frontallobus. Diese Einbuchtung ist bei *Ch. spinulosus* viel deutlicher, abgesehen davon, dass die Randfurche schwächer entwickelt ist.

Der Randsaum von *Cheirurus Wahli* ist sehr charakteristisch. Er ist zungenartig ausgezogen, hat abgerundete Kanten (Ecken) und ist an den Seiten konkav. Der entsprechende Teil von *Ch. spinulosus* dagegen, gleichwie von allen anderen Arten derselben Gruppe¹⁾, besitzt einen schmalen, polygonalen Rand, der fast in gleicher Breite den Frontallobus bandförmig umläuft. Kleine Schwankungen in der Breite sind allerdings zu beobachten.

Der verschmälerten Schnauze des Tieres entsprechend musste auch der Schnauzenschild von *Cheirurus Wahli* doppelt so schmal sein wie bei *spinulosus*.

Der Nackenring erinnert sehr an *Ch. spinulosus*. Von den Wangen sind nur die festen Teile bekannt. Die Hinterecken sind in Hörner ausgezogen. Die Hörner sind relativ kürzer als bei *Ch. spinulosus* und divergieren nicht so stark. Beim Kopfschild Taf. I, Fig. 2 ist der Wangendorn abnorm kurz. Nach der Form und den Höckerchen an seiner Basis zu urteilen, scheint hier eine Verletzung vorzuliegen, die das normale Wachstum des Hornes verhinderte.

Von der ersten Furche zum Auge zieht sich ein Wulst hin, den beiderseits je eine Reihe eingedrückter Pünktchen begrenzt. Dieses letztere kommt aber nicht nur bei verwandten Arten vor,

1) *Cheirurus gladiator*, *exul* und *macrophthalmus*.

sondern auch innerhalb verwandter Familien, wie bei der Gattung *Cybele*.

Die Lage des Auges und die Form des Palpebrallobus stimmt mit denen von *Cheirurus spinulosus* fast genau überein.

Die Oberfläche der Glabella zieren am Hinterrande perl-schnurartig angeordnete Knötchen. Auch die hinteren Seitenloben tragen Knötchen. Die festen Wangen sind mit feinen eingedrückten Pünktchen besät. Knoten sind nur hinter dem Auge zu beobachten. Im allgemeinen ist die Oberflächenskulptur bei *Ch. Wahli* bedeutend feiner als bei *Ch. spinulosus*, bei welchem auch die Verteilung der Knoten unregelmässiger gewesen zu sein scheint.

Vorkommen: bis jetzt nur Schieferbruch Kohtla, in Schichten oberhalb des Doppelkalkes (oder Schicht VIII).

***Cheirurus spinulosus* Nieszkowski 1857.**

Taf. I, Fig. 5.

1881. *Cheirurus spinulosus* Nieszkowski. Fr. Schmidt, „Revision I“, S. 147.

Das abgebildete, früher unbekannte Schnauzenschild ergänzt ein wenig unsere Kenntnis dieser Art.

Es ist die innere Seite abgebildet. Der untere, kürzere, bogenförmige Ausschnitt entspricht der Naht gegen das Hypostoma. Die links und rechts liegenden kleinen Einbuchtungen entsprechen den Stellen, wo die Gesichtsnaht den unteren Kopfrand durchschneidet. Die am Vorderrande liegende Einbuchtung entspricht dem Vorderrand des Kopfes. Es ist dies ebenfalls eine natürliche Naht gewesen.

Fundort des Stückes: Schieferbruch Kohtla.

Subgenus *Nieszkowskia* Fr. Schmidt 1881.

1. 1853. *Cyrtometopus* Angelin (partim), *Cyrtometopus tumidus* Angelin, *C. gibbus* Ang. „Palaeontologia Scandinavica“, Tab. XXXIX, Fig. 12 u. 13, pag. 78.
2. 1857. *Sphaerexochus cephaloceros* Nieszk., „Versuch einer Monographie der in den silurischen Schichten der Ostseeprovinzen vorkommenden Trilobiten“, Taf. I, Fig. 5, 6, Seite 70, Archiv für Naturkunde, I. Serie, Bd 1, Dorpat.
3. 1859. *Sphaerexochus cephaloceros* Nieszk. (= *N. cf. variolaris*, non *Sphaerexochus cephaloceros* 1857), „Zusätze zur Monographie der Trilobiten der Ostseeprovinzen“, Archiv etc. Dorpat, S. 375 (33), Taf. I, Fig. 14, 15.
4. 1869. *Cheirurus variolaris* Linnarsson, „Om Vestergötlands cambriska och siluriska aflageringar“, Taf. I, Fig. 6, Seite 60.

5. 1881. *Subg. Nieszkowskia* Fr. Schmidt, „Revision der ostbaltischen silurischen Trilobiten I“, S. 125, 180.
N. variolaris (Linnarsson) S. 183, T. IX, Fig. 1—8; T. XI, F. 25, 26.
N. cephaloceros (Nieszkowski) S. 186, T. IX, F. 9—16; T. XI, F. 27; T. XVI, F. 36, 37.
N. tumida (Angelin) S. 180, T. VIII, F. 20—22; T. XI, F. 28; T. XIV, F. 31—35.
N. tumida var. *gibba* (Angelin) S. 180, T. VIII, F. 23 u. 24.
6. 1925. *Nieszkowskia* cf. *cephaloceros* (Nieszkowski); *Nieszk.* sp. ind. E. Warburg, „The Trilobites of the Leptaena Limestone in Dalarne“, Upsala, S. 365—366, Taf. X, Fig. 30, 31; 32, 33.
7. 1927. *N. inermis* Kummerow, „Beiträge zur Kenntnis der Fauna und der Herkunft der Diluvialgeschiebe“, Jahrbuch der Preussischen Geol. Landesanstalt, B. 48, S. 23, Taf. I, F. 14 = *Nieszkowskia variolaris* (Linnarsson) var. *mutica* Fr. Schmidt 1881.

Unsere Kenntnis der Trilobiten dieser Untergattung ist noch recht mangelhaft. Bis jetzt sind nur zwei ganze Panzer von *Nieszkowskia* bekannt, und zwar *N. tumida* Angelin und *gibba* (var. *gibba*) Angelin. Die anderen Formen sind nur in Bruchstücken gefunden worden. Dieser ungenügende Stoff ist die Ursache davon, dass nicht alle Beschreibungen bei Fr. Schmidt gleich gelungen sind. Ein Grund dafür liegt auch in der Aufstellungsweise der gewölbten Glabellen. Schmidt hat nicht berücksichtigt, dass beim Zeichnen der Wölbung in medianem Schnitt und bei den Abbildungen „von vorne“ und „von oben“ die horizontale Stellung des Nackenrings als Ausgangspunkt die richtigste ist. Sehr konsequent ist dagegen Angelin in dieser Aufstellungsweise gewesen, und deshalb sind seine Abbildungen untereinander gut vergleichbar; doch ist der Vergleich mit Schmidt nicht immer sicher, weil in der „Revision“ die stark gewölbten Köpfe auch untereinander nicht gleichartig aufgestellt sind.

Infolge der unrichtigen Aufstellung ist beispielsweise die Beschreibung der *Nieszkowskia cephaloceros* von Schmidt in mancher Hinsicht misslungen. Auf Seite 186 unten lesen wir: „Die Wangen mässig gewölbt, die Glabella hoch gewölbt, mit trapezoidalem Grundriss, etwas länger als breit, vorn wenig abgerundet, hinten am breitesten. Die Wölbung steigt von vorn nach hinten an; zwischen den Endloben bildet sich ein nach hinten über den Nackenring vorragender Höcker, von dessen Spitze ein etwas abwärts gekrümmtes Horn (F. 10) nach hinten abgeht.“ Auf Grund derselben Fig. 10, Taf. IX der „Revision I“ und

unserer Textabbildung 2e, wo die Glabella in „Angelin'scher“ Aufstellung gezeichnet ist, müssen wir die folgende, von Fr. Schmidt stark abweichende Charakteristik geben, wobei zur Erläuterung der Wangenwölbung unsere Textabb. 2 heranzuziehen ist: die Wangen gewölbt, allseitig sehr steil herabfallend; die Glabella vor dem Horn im Bogen herabgebogen und den Vorderrand überwölbend, hinter dem Horn ziemlich steil zum Nackenring geneigt. Zwischen den hinteren Seitenfurchen bildet die

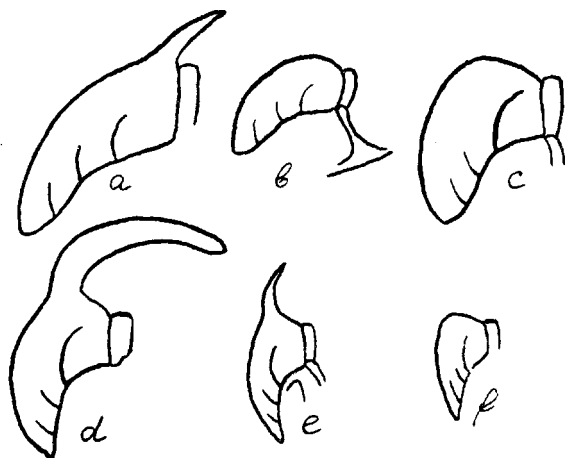


Abb. 2. Einige *Nieszkowskia*-Seitenprofile, aufgestellt nach Angelin: a. *Nieszkowskia variolaris* (Linnarsson) (Fr. Schmidt, „Revision I“, Taf. IX, F. 1b); b. *N. tumida* (Angelin) („Revision I“, T. VIII, F. 20b); c. *N. tumida* (Angelin) („Revision I“, Taf. XVI, Fig. 34), eine sich an die *N. gibba* (Angelin) annähernde Form (Angelin, Tab. XXXIX, Fig. 13a); d. *Nieszkowskia Ahti* nov. sp.; e. *Nieszkowskia cephaloceros* (Nieszkowski) („Revision I“, Taf. IX, F. 10); f. *Nieszkowskia tumida* var. *gibba* Fr. Schmidt 1881 (non *Cyrtometopus gibbus* Angelin 1853) („Rev. I“, Taf. VIII, Fig. 23b).

Glabella einen Höcker mit kurzem, etwas nach hinten gekrümmtem, fast senkrecht stehendem Horn.

Es kann also keine Rede davon sein, dass der Höcker über den Nackenring vorragt, und das Horn ist nicht nach hinten und abwärts, sondern nach oben gerichtet.

Über die Verwandtschaft der Arten *tumida* Angelin und *gibba* Angelin kann auf Grund der Abbildungen und Beschreibungen der „Revision“ folgendes bemerkt werden: Die bei Fr. Schmidt auf Taf. XVI, Fig. 31—36 abgebildeten Glabellen von *N. tumida* weisen tatsächlich Beziehungen auf zu der Art

gibba Angelin, wie sie in der „Palaeontologia Scandinavica“ Taf. XXXIX abgebildet ist. Deshalb scheint die Bezeichnung „subsp. *gibba*“ (Angelin) bei Schmidt ziemlich berechtigt zu sein. Aus der Verwandtschaft von *tumida* und *gibba* muss aber offenbar der Trilobit ausgeschlossen werden, den Fr. Schmidt T. VIII, F. 23 und 24 abbildet. Nach allen Merkmalen handelt es sich hier um eine Art aus dem Formenkreis der *Nieszkowskia cephaloceros*, was auch aus unserer Textabb. 2f, die nach Schmidt T. VIII, F. 23b gezeichnet ist, hervorzugehen scheint. Diese Form bezeichnen wir (solange keine weiteren Beweise vorliegen, welche die Stellung näher bestimmen könnten) als *Nieszkowskia tumida* subsp. *gibba* Fr. Schmidt 1881, T. VIII, F. 23, 24, non *Nieszkowskia tumida* subsp. *gibba* (Angelin) 1853.

Eine eigentümliche Ausbildung zeigen die *Nieszkowskia*-Formen, welche von Fr. Schmidt alle unter dem Artnamen *N. variolaris* vereinigt worden sind.

Nieszkowskia variolaris (Linnarsson 1869) wurde aus dem schwedischen Chasmopskalk nach einem Pygidium aufgestellt. Dieses einzige, sehr unvollständige Panzerfragment unterscheidet sich von allen anderen *Cheiruri* neben anderen Eigentümlichkeiten durch die ganz eigenartige Schalenskulptur.

Schon vorher hatte Nieszkowski (1859) aus dem Echinospaeritenkalk (C_1) Glabellen abgebildet, welche von Schmidt wegen der Skulpturähnlichkeit zu *N. variolaris* (Linnarsson) gestellt werden. Zum sicheren Vergleich fehlen aber die Pygidien. Gleichzeitig beschreibt Fr. Schmidt aus den Kukruse-Schichten, welche jünger als der Echinospaeritenkalk sind, Cheirurenbruchstücke, welche gleichfalls wegen der Skulptur bei *N. variolaris* untergebracht werden. In diesem Falle sind es mit dem schwedischen Urstück vergleichbare Pygidien, und ausserdem Kopf- und Rumpffragmente.

Das Material aus der Kukruse- (C_2 -) Zone, die Abbildungen von Schmidt und die hier abgebildeten Stücke ergeben folgendes: 1) Das von Linnarsson als *Cheirurus variolaris* beschriebene Pygidium ist nicht vollständig identisch mit den in ihren Formen sehr beständigen Pygidien aus den estländischen C_2 -Schichten. 2) Die Kopfschilder aus dem Echinospaeritenkalk und das von uns abgebildete aus C_2 können voneinander spezifisch getrennt werden. 3) Es sind keine Gründe vorhanden, das Urstück von *N. variolaris* von den Glabellen aus den C_1 -Schichten

spezifisch zu trennen oder mit diesen zu verbinden, denn es ist kein vergleichbarer Stoff vorhanden.

Alle diese *Nieszkowskia*-Fragmente haben ähnliche Panzerskulptur. Die Panzer sind mit rundlichen, flachen, verschiedenen grossen Knoten oder Buckelchen bedeckt, die stellenweise elliptische Umrisse besitzen. Die Grösse der Buckel schwankt von fast 1 mm bis 0,8 cm. (Schmidt). Die Panzer sind auffallend dünn, die Tiere selbst erreichten aber beträchtliche Grössen. Jene Schalenskulptur ist also zweifellos eine Versteifungseinrichtung, welche die Zartheit des Panzers ausgleichen sollte. Die Form und die Grösse der Buckel ist sogar bei ein und demselben Individuum sehr verschieden. Diese versteifende Panzerskulptur hat als Artenkriterium weniger Bedeutung, sie verbindet hingegen einige Arten der Untergattung *Nieszkowskia* mit der Formenreihe der *N. variolaris* (Linnarsson).

Die von E. Warburg aus dem Leptaena-Kalk beschriebenen zwei *Nieszkowskia*-Arten gehören verschiedenen Gruppen an. Die als *N. cf. cephaloceros* bezeichnete Art hat einen zu hohen Kopfhöcker, um genau der Art von Nieszkowski zu entsprechen. Die zweite, mit einem „?“ bezeichnete Glabella, bei welcher die hinteren Seitenfurchen in den Nackenring münden, ist schwerlich in unsere Untergattung einzureihen. Die von Kummerow als neue Art beschriebene Form (*N. inermis*) hat auf dem Bilde und im Text so viel Ähnlichkeit mit *Nieszkowskia variolaris* var. *mutica* Fr. Schmidt, dass diese beiden Formen als untrennbar zu betrachten sind. Wir sind somit zu folgenden Formen gelangt (die in der Kukruse-Stufe nicht gefundenen Formen sind durch kleinere Schrift kenntlich gemacht):

Arten:

Vorkommen:

A. *tumida*-Reihe:

- | | |
|--|--------------------|
| 1) <i>Nieszkowskia tumida</i> (Angelin) | BIII-C1b; Schweden |
| 2) <i>Nieszkowskia tumida</i> subsp. <i>gibba</i> (Ang.) | „ „ |

B. *cephaloceros*-Reihe:

- | | |
|--|---------------|
| 3) <i>Nieszkowskia cephaloceros</i> (Nieszk.) | C1b-C2 |
| 4) <i>Nieszkowskia Ahti</i> n. sp. | C2 |
| 5) <i>Nieszkowskia tumida</i> subsp. <i>gibba</i> Fr. Schmidt
1881 (non Angelin 1853) | C1 |
| 6) <i>Nieszkowskia cf. cephaloceros</i> E. Warburg | Leptaena-Kalk |

C. variolaris-Reihe:

- | | | |
|-----|---|--------------|
| 7) | <i>Nieszkowskia variolaris</i> (Linnarsson 1869) | Chasmopskalk |
| 8) | <i>Nieszkowskia cf. variolaris</i> (Linn.) Fr. Schmidt 1881 | C_1 |
| 9) | <i>Nieszkowskia cf. variolaris</i> var. <i>mutica</i> Fr. Schmidt | C_1 |
| 10) | <i>Nieszkowskia capitalis</i> n. sp. | C_2 |

Eine eigentümliche, nur ausserhalb des baltischen Ordoviziums vorkommende Art ist *Nieszkowskia unica* (W. Thomson), eingehend von Reed („The Lower Pal. Trilob. of the Girvan District, Ayrshire“, London 1903—1904), S. 142, Taf. XVIII, Fig. 12—16 dargestellt. Die Skulptur, soweit eine solche erhalten ist, und das Pygidium weisen auf eine nahe Verwandtschaft mit der *variolaris*-Reihe hin. Die hornlose Glabella hat sicherlich zu der var. *mutica* Beziehungen. An der Selbständigkeit dieser Art kann aber nicht gezweifelt werden.

Cheirurus (Nieszkowskia) Ahti nov. sp.

Taf. I, Fig. 6, 7, 8; Textabb. 2d, 3.

(Ahti — Meeresgott der estnischen Mythologie.)

Von dieser sehr seltenen Art liegen 5 unvollständige Kopfschilder vor, von denen das eine ein Steinkern ist. Alle Stücke gehören dem Geol. Museum der Universität Tartu.

Holotyp: die auf Taf. I, Fig. 6, 7, 8 abgebildete Glabella. Fundort des Holotyps: Schieferbruch Ubja, zwischen Rakvere und Kunda, unweit Vanamõisa.

Horizont: obere Schichten der C_2 -Zone (Schichten XI—XII).

Diese Art ist mit *N. cephaloceros* gleichzeitig und verwandt. Die genannten Arten können bei Berücksichtigung der Skulptur, der Augenlage, des Hornbaues, des Verlaufes des vorderen Zweiges der Gesichtsnaht und der Breite des Nackenringes auseinandergehalten werden. Auch die Steinkerne unterscheiden sich deutlich voneinander.

Der grösste Durchschnitt der Glabella in der Wangenebene ist breit eiförmig, oder — bei Berücksichtigung des linearen Vorderrandes — trapezoidal. Auch von oben gesehen, bei normal gestelltem Nackenring, ist der Umriss breit eiförmig, wobei das breite Ende durch den Nackenring abgeschnitten wird (Taf. I, Fig. 6). Die grösste Breite der Glabella liegt bei den Augen. Die Glabella ist mehr hoch als lang oder breit (in Angelin'scher Aufstellung), wobei die Höhe vom Vorderrand bis zur Basis des Hornes gemessen wird.

Von der Seite gesehen, also in der Mittellinie, steigt die Glabella in einem ca 30-gradigen Winkel vom Nackenring zum Horn auf. Der Anstieg bei der Nackenfurche ist auf einer kleinen Strecke bedeutend steiler. Vom Horne fällt die Glabella steil herab, mit nach vorne gerichteter grösster Krümmung. In Angelin'scher Aufstellung überragt die vordere Wölbung der Glabella den Vorderrand bedeutend. Die Überwölbung ist ein drittel so gross, wie die Länge der Glabella bis zur Nackenfurche. Am Steinkern ist die Glabella schwach gekielt.

Das Horn erhebt sich vom höchsten Punkt der Glabella, zwischen den letzten Seitenfurchen. Anfangs vertikal, biegt es in scharfem Bogen nach hinten um, weit über den Nackenring, und überschattete wahrscheinlich noch das dritte Leibesglied des Tieres. Das an der Basis fast kreisrunde Horn ist hinten seitlich stark abgeplattet.

Bedeutend unterscheidet sich hiervon das Horn von *N. cephaloceros*. Bei dieser Art ist es vertikal gestellt, kurz, nur etwas nach hinten gebogen, und immer mit rundem Durchschnitt (vgl. Textfig. 2d und 2e).

Der Nackenring der *N. Ahti* ist in der Mittellinie flach und relativ breiter als bei *cephaloceros*, die Nackenfurche schmal und ziemlich tief. Der Nackenring ist stark aufgewölbt und fällt seitlich ziemlich steil zu den Pleuren herab. Am Steinkern kann ein kleines Knötchen erkannt werden.

Die beiden ersten Seitenfurchen sind fast gleich lang und untereinander parallel; die dritte divergiert mit der zweiten stark und biegt im Bogen zur Nackenfurche um, welche aber auch auf dem Steinkern unerreicht bleibt. Die vordere Seitenfurche ist am Steinkern geknickt und etwas breiter als die anderen. Die Dorsalfurchen sind schmal und scharf.

Die Palpebralloben sind deutlich gefurcht. Sie sind von der Dorsalfurche wenigstens um ihre eigene Länge entfernt und befinden sich gegenüber den hinteren Seitenfurchen. Bei *N. cephaloceros* liegen die Augen fast dicht an der Dorsalfurche.

Die freien Wangen sind unbekannt. Von den festen Wangen sind erhalten die Teile vor dem Auge. Dem Verlauf der Gesichtsnäht und der Augenstellung entsprechend verschmälert sich die feste Wange vom Auge zum Vorderrand, bei *cephaloceros* dagegen bleibt sie auf dieser Strecke gleich schmal. Die feste Wange ist von der Nackenfurche bis zu den Augen mässig nach

vorne geneigt; von den Augen aber fallen die Wangen fast senkrecht zum Vorderrand herab. Dieses findet seinen Ausdruck auch im gleichen Verlauf der Dorsalfurche oder der Grenze der Glabella zur Wange. Auf den Abbildungen (Seitenansicht) ist deutlich sichtbar, dass die Umbiegung der Wange (Dorsalfurche) nach unten bei der dritten Seitenfurche liegt. Auf diesem Knie liegt ja auch das Auge. Also ist die Augenlage noch bestimmbar, wenn die festen Wangen gänzlich fehlen. Dasselbe beobachten wir auch bei anderen *Nieszkowskia*-Arten.

Die Oberfläche der Glabella, der Nackenring und das Horn sind mit flachen, runden, sehr undeutlichen, mehr durch Farbe als Erhabenheit hervortretenden gleich grossen Buckelchen dicht besät; ähnlich undeutlich erscheinen diese Knoten am Steinkern. Es ist das ein Unterschied von *Nieszkowskia cephaloceros*, welche dichtgestreute, spitze, konische Tuberkeln auf dem Panzer und am Steinkern trägt. Die festen Wangen sind nur mit feinen eingedrückten Pünktchen verziert, zum Unterschied von *cephaloceros*, welche auf den Wangen, neben den Vertiefungen immer die spitzen konischen Knötchen trägt.

M a s s e.

Glabella:	Höhe	Breite	Länge	Nackenring:	Höhe	Breite
Exempl. 1	18 mm	14 mm	12 mm		10 mm	13 mm
Exempl. 2	20 mm	16 mm	14 mm		10 mm	15 mm

Rekonstruktion und Lebensbild. Eine schematische Rekonstruktion des Kopfes von *Cheirurus Ahti* gibt die Textabb. 3. Der Kopf war frontal abgeplattet, d. h. die Breite und die Höhe übertrafen die Länge. Das seitlich abgeplattete Horn und die Wangenhörner sollten diese unbequeme Kopfform ausgleichen und spielten beim Schwimmen dieselbe Rolle, wie die drei Federn an einem Pfeil. Der hochgewölbte Nackenring lässt eine ähnliche gewölbte Spindel vermuten, und, nach den steil herabgebogenen Wangen zu urteilen, müssen auch die Pleuren stark geneigt gewesen sein. Das Pygidium unterscheidet sich wahrscheinlich wenig von dem der *cephaloceros*, besass also lange, abgeplattete äussere und breite, kurze, ebenfalls platte innere Pleuren. Nach einem aus demselben Fundort stammenden Pygidium, welches vielleicht zu unserer Art gehört, zu urteilen, erhoben sich die äusseren langen Pleuren (Hörner) aus der Horizontalebene nach oben, mit den inneren Lappen bedeutend diver-

gierend. Diese Einrichtung des Tiefensteuers musste seine Wirkung bedeutend verstärken.

Das Tier war ein guter Schwimmer, mit Gleichgewichtseinrichtungen versehen, stand aber sicherlich mit dem Meeresboden in Verbindung.

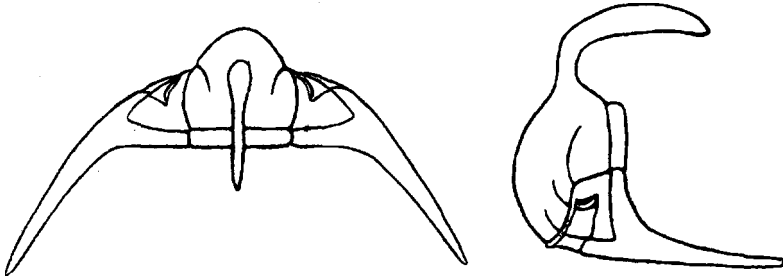


Abb. 3. Rekonstruktion des Kopfes von *Cheirurus* (*Nieszkowskia*) *Ahti*. Die fehlenden Teile sind nach der analog gebauten, besser bekannten Art *cephaloceros* ergänzt. Die Grösse der freien Wange ist unsicher; wahrscheinlich war letztere kürzer und vorn etwas mehr eingebuchtet.

Cheirurus (*Nieszkowskia*) *capitalis* nov. sp.

Taf. II, Fig. 11—15; Textabb. 4.

1881. Fr. Schmidt, „Revision I“, *N. variolaris* (partim).

Material: 1) unvollständige Kopfschilder, Pygidien und Leibeßringe, im Geol. Museum der Universität Tartu; 2) die Abbildungen auf Taf. IX, Fig. 2—8 in „Revision der ostbaltischen silurischen Trilobiten I“, 1881, Fr. Schmidt.

Holotyp: auf unserer Taf. II, Fig. 14, 15 abgebildetes, unvollständiges Kopfschild.

Verwechslung wegen der übereinstimmenden Skulptur ist möglich mit *Nieszkowskia variolaris* (Linnarsson) und mit *Nieszkowskia* cf. *variolaris* Fr. Schmidt 1881 aus dem Echinospaeritenkalk. Unterschiede von der ersteren Form liegen vor im Pygidium, von der letzteren — im Bau des Hornes, in der Augenlage, Kopfwölbung und Gestalt der Seitenfurchen.

Die Glabella ist ziemlich flach gewölbt und breit, die wirklichen Verhältnisse in dieser Hinsicht aber nicht zu ermitteln, weil der vorliegende Kopf im Schiefer seitlich plattgedrückt worden ist. Nach einigen unvollständigen Fragmenten aus Kalkschichten, wo die Panzerstücke nicht zerdrückt sind, ist ersichtlich, dass der Winkel zwischen der Wange und der Glabella sehr

stumpf war, dass also die Form auch in dieser Hinsicht sich sehr eng an die ältere *variolaris* anschloss, oder noch platter war.

Die Dorsalfurchen sind ziemlich breit und mässig tief; die dritte Seitenfurche (die hinterste) erhebt sich anfangs steil vor der Dorsalfurche und biegt im Bogen zum Nackenring um, welcher aber nicht erreicht wird. Die zweite Seitenfurche ist kürzer als die dritte und erreicht ebenfalls nicht die Dorsalfurche. Dies scheint jedoch nicht die Regel zu sein, wie bei dem abweichenden Kopffragment Taf. II, Fig. 11 deutlich zu sehen ist. Die Gestalt der vorderen Seitenfurche ist aus unseren Stücken nicht ganz sicher zu ermitteln; möglicherweise ist sie bei dem Exemplar Taf. II, Fig. 14 etwas beschädigt, daher die abweichende Länge und Richtung bezüglich der zweiten Furche. Doch scheint der erste Seitenlobus kürzer gewesen zu sein als der zweite.

Der Nackenring ist bandartig flach und mässig gewölbt, analog wie das Spindelsegment auf Taf. II, Fig. 13. Der höchste Teil des Kopfes geht in ein seitlich stark abgeflachtes, nach hinten gerichtetes Horn über. Die Basis des Hornes ist so breit, wie die beiden hintersten Seitenloben des Kopfes. Hinten berührt das steuerartige Horn fast die Nackenfurche. Das Horn überragte nach hinten drei bis vier Leibesglieder. Das Horn von *N. capitalis* unterscheidet sich somit vom „drehunden, kurzen Horn“ der älteren Art aus dem Echinospaeritenkalk.

Das Auge liegt gegenüber der dritten Seitenfurche und ist um seine eigene Länge von der Glabella entfernt. Auf Taf. II, Fig. 14, 15 und auf der Textabb. 4 ist deutlich zu sehen, dass von der Höhe des Auges unmittelbar bei der dritten Seitenfurche die Wange, die Dorsalfurche und die Glabella scharf nach unten und vorne herabbiegen. Bei der älteren Form aus dem Echinospaeritenkalk („Revision I“, Taf. IX, Fig. 1b und unsere Textabb. 1a) liegt dieser Knick gegenüber der zweiten Seitenfurche, wo deshalb auch das Auge zu erwarten wäre. Schmidt aber sagt, dass das Auge von *N. variolaris* gegenüber der dritten Seitenfurche liegt, wobei es jedoch an Exemplaren mit erhaltenen Palpebralloben offenbar fehlte. Aus diesen Überlegungen scheint

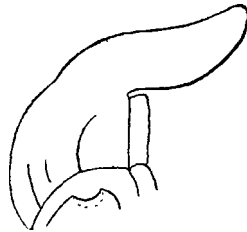


Abb. 4. Rekonstruktion des Kopfes von *Nieszkowskia capitalis* n. sp., nach Taf. II, Fig. 14, 15.

zu folgen, dass jene Angabe von Schmidt entweder unrichtig oder aus einem Kuckers'schen Fragment abgeleitet ist. Auf derselben Taf. IX, Fig. 1a (bei Schmidt) ist der Verlauf der Gesichtsnaht der *N. variolaris* zu sehen, wobei sie sicherlich vor der dritten Seitenfurche die Biegung nach rechts macht. Dies bedeutet aber, dass das Auge mehr vorne zu suchen ist, wenigstens dem zweiten Seitenlobus gegenüber, also mehr nach vorne, als bei *N. capitalis*.

Das Pygidium (Taf. II, Fig. 12, Textabb. 5 und bei Schmidt Taf. IX, Fig. 6, 7, 8) ist viergliedrig, wie bei *N. cephaloceros*. Die Kuckers'schen Pygidien der *N. capitalis* unterscheiden sich von dieser durch die Skulptur und von dem Pygidium der *Nieszkowskia variolaris* (Linnarsson 1869) durch die Lage der inneren verschmolzenen Spindelteile. Bei der echten *variolaris* erreicht die Spitze des birnenförmigen Körpers die scharfe Ausbuchtung zwischen den inneren, kurzen Pleuren, bei unserer Art aber umschliessen die zweiten Pleuren den eiförmigen Körper allseitig und sind in der Mittellinie vollständig miteinander verschmolzen. Das Pygidium von *N. capitalis* ist mehr in die Länge, dasjenige von *variolaris* mehr in die Breite ausgezogen. In dieser Hinsicht scheint unsere Rekonstruktion nicht ganz gelungen zu sein. Die äusseren langen Pleuren müssten nicht so weit seitlich abgehen, sondern offenbar von den inneren Lappen scharf nach unten abzweigen.

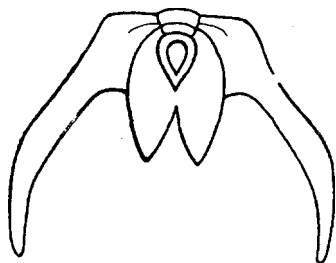


Abb. 5. Schematische Rekonstruktion des Pygidiums von *Nieszkowskia capitalis*. Die hinteren Teile des eiförmigen Mittelkörpers sind zu stark umfurcht gezeichnet. Möglicherweise sind die äusseren langen Hörner breiter gewesen. Sie verliefen wahrscheinlich (nach den Abbild. von Schmidt zu urteilen) nicht im Bogen nach rechts und links, sondern in einem scharfen Winkel nach hinten. Vgl. Taf. II, Fig. 12.

$\frac{1}{3}$ d. nat. Gr.

Die Skulptur haben wir schon vielfach erwähnt. Taf. II, Fig. 11 stellt ein in dieser Hinsicht abweichendes Stück dar, bei dem anstatt der breiten, flachen Knoten zugespitzte konische Höcker hervortreten. Dieses einzige Stück kann vorläufig nicht von der Art abgetrennt werden.

Vorkommen: in allen Aufschlüssen der C₂-Stufe, besonders im Gebiet des Brandschiefers.

Rekonstruktion und Lebensbild. Das ganze Tier muss sehr gross gewesen sein. Nach dem 14–15 cm langen Pygidium zu urteilen, konnte die Gesamtlänge des ausgestreckten Tieres nahe bei 0,5 m liegen. Der Körper, vorne breit, verjüngte sich nach hinten rasch, so dass der Umriss breit eiförmig gewesen sein muss. Die mässig gewölbte Spindel war von ähnlichen, nicht steilen Seiten begleitet. Bei der auffallenden Grösse des Trilobiten war der Panzer sehr dünn, sogar zart. Die eigenartige bucklige Beschaffenheit des Panzers diente beim Leben des Tieres als eine notwendige Versteifung, welche aber doch nicht dazu genügte, die Panzerteile nach dem Tode zusammenzuhalten. Der steuerartige oder eher kielartige Fortsatz des Kopfes, die Wangenhörner und die Hörner am Pygidium sind die Ausrüstung eines guten Schwimmers, wofür auch die dünne Panzerkruste spricht. Aber wie die vorige, so ist auch diese Art kein Schwebetrilobit gewesen, den Hauptsitz hatten sie beide auf dem Boden und in der Nähe desselben.

***Proetus Zalesskyi* nov. sp.**

Textabb. 6.

Von den seltenen Kopfschildern liegen zwei unvollständige Stücke vor, von denen wir das abgebildete als Holotyp bezeichnen. Es wird im Geol. Museum der Universität Tartu aufbewahrt.

Es sind für diese Art keine verwandten Formen anzugeben, mit denen Verwechslung möglich wäre. *Proetus Wöhrmanni* Fr. Schmidt, aus der *Expansus*-Zone (BIII α), und *Proetus wesenbergensis* Fr. Schmidt, aus der E-Stufe, sind zeitlich für unsere Art die nächsten. Der erstere, wohl der älteste *Proetus* überhaupt, unterscheidet sich von dem unsrigen dermassen, dass eine eingehende Vergleichung unnötig zu sein scheint. Auch mit *Proetus wesenbergensis* können keine gemeinschaftlichen Züge festgestellt werden. In den C_2 -Schichten, aus denen unser *Proetus* stammt, kommt kein anderer Trilobit derselben Gattung vor.

Von Proetiden sind nur die folgenden Formen beschrieben worden: *Menocephalus minutus* (Nieszk.), *Otarion* (= *Cyphaspis*) *planifrons* (Eichwald) und „*Cyphaspis*“ sp. Fr. Schmidt 1881, „mit grossen Seitenloben“, welche letzte Form wohl einer anderen Gattung, vielleicht *Phaëtonides*, angehört.

Die Kopfschilder, also auch das ganze Tier, sind sehr klein. Die Länge des abgebildeten Kopfes erreicht nur 0,3 cm. Die Glabella ist birnförmig, deutlich umfurcht, mit seitlicher Anschwellung in der Höhe der Palpebralloben. Die Seitenfurchen sind nur an ihrer dunkleren Färbung deutlich erkennbar. Der Nackenring ist in der Mittellinie sehr breit und flach und trägt ein kleines Knötchen. Seitlich verjüngt sich der Nackenring bedeutend. Durch die Verzweigung der Nackenfurche einerseits und durch die Dorsalfurche andererseits wird ein kleiner Nackenlobus abgeschnitten.

Die Palpebralloben sind nahe am Aussenrande deutlich

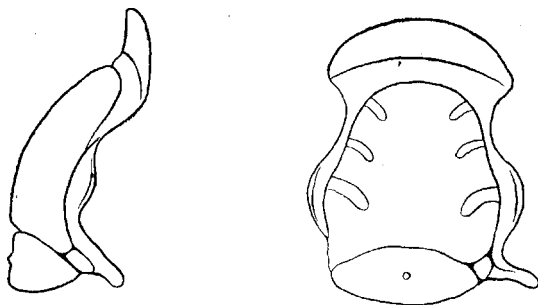


Abb. 6. *Proetus Zalesskyi* n. sp. Links — Seitenansicht; rechts — von oben. Vergrössert ca 10 mal, mit Abbé'schem Zeichenprisma bei 40-facher Vergrößerung gezeichnet. Holotyp.

gefurcht. Die Länge der Loben ist grösser als ein drittel der Glabella. Der hintere Lappen der festen Wangen ist undeutlich gefurcht.

Der Aussensaum des Kopfes ist flach (nicht konvex, wie bei den meisten Arten), der Raum zwischen der Saumfurche und der Glabella ist etwas konvex. Die Saumfurche selbst ist nur schwach ausgeprägt. Die ganze Oberfläche ist mit sehr feinen, nur im Seitenlicht deutlichen, dem Vorderrand parallel verlaufenden Linien bedeckt. Auf einem mm können ca 20 solcher Terrassenlinien gezählt werden.

V o r k o m m e n : Schieferbruch Kohtla.

Graptolithi.

Folgende Graptolithen sind bis jetzt in C₂ mit Sicherheit nachgewiesen worden:

Climacograptus kukersianus Holm.

Diplograptus (*Amplexograptus* ?) *bekkeri* A. Ö.

Dicellograptus sp.

Temnograptus sp.

Thallograptus sphaericola A. Ö.

Thallograptus defensor A. Ö.

und aus den Übergangsschichten zwischen C_{1b} und C_2 :

Diplograptus linnarssoni.

Ob *Climacograptus kuckersianus* Holm im echten C_2 oder C_3 vorkommt, kann nicht nachgeprüft werden. Wir wollen diese Art, den älteren Angaben folgend, vorläufig zu den C_2 - C_3 -Schichten rechnen. Dem *C. kuckersianus* sehr ähnliche Formen hat der Verfasser in D_1 gefunden, nicht aber in C_2 oder C_3 .

Über den stratigraphischen Wert der C_2 - C_3 -Graptolithen siehe den Abschnitt über die Korrelation unserer Schichten, oben S. 6—9.

Thallograptus nov. gen.

(Θαλλός = der Zweig.)

Genotyp: *Thallograptus sphaericola* nov. sp.

Theken klein, konisch zugespitzt und mit rundem Durchschnitt. Die proximalen Spitzen der Theken bilden biegsame Fäden, aus denen das Gerüst des Stockes besteht. Es können fadenförmige Stengel vorkommen, an denen die einzelnen Theken mittels ihrer kurzen Fäden aufsitzen (besonders *Th. defensor*). Es kann auch eine Dichotomie beobachtet werden, doch ist sie sehr verwischt. Lebensweise: sessil, auf anderen Organismen (symbiotisch) oder auf sonstigen Gegenständen.

Verbreitung der Arten: Die älteste Form erscheint in C_{1a} gleichzeitig mit den ersten Echinospaeriten, auf denen der Graptolith aufsitzt. In C_{1b} ist *Thallograptus* sp. auf *Caryocystites aranea* beobachtet worden; aus C_2 - C_3 können zwei auf *Echinospaerites aurantium* aufsitzende Arten genannt werden: *Thallograptus sphaericola* und *defensor*.

Die Art *sphaericola* kommt zusammen mit Echinospaeriten noch in D_1 vor. In D_2 sind die Echinospaeriten ausgestorben, verschwunden sind auch die sie begleitenden Graptolithen. Es erscheint hier die Art *ramulus* n. sp., deren Holotyp ein Cephalopodenfragment besiedelte.

Beziehungen zu anderen Gattungen der *Dendroidea* (es handelt sich hier offenbar um diese) sind nicht nachgewiesen.

Im Geol. Museum zu Tartu wurden diese Graptolithen als „*Algae*“ bezeichnet. In der Literatur werden sie offenbar nur von R. Hecker (als *Bryozoa*) erwähnt (Travaux du Musée Géologique et Min. Pierre le Grand près de l'Acad. des Sciences de Russie, Tome IV, 1, 1923, Pl. I, Fig. 15).

***Thallograptus sphaericola* nov. gen. et nov. sp.**

Taf. III, Fig. 16, 17, 18; Textabb. 7.

Taf. IV, Fig. 2.

Holotyp: das auf Taf. IV, Fig. 16 abgebildete und in der Textabb. 7 teilweise wiedergegebene Stück; das sämtliche Material wird im Geol. Museum zu Tartu aufbewahrt.

Das Rhabdosom besteht aus drei Hauptzweigen (Taf. III, Fig. 18), die aus einem Punkt (Anhaftungsstelle) in gleichen (ca 120°) Winkeln hervorgehen. Von diesen Hauptzweigen trennen sich, manchmal deutlich dichotomisch, sekundäre Zweige ab, deren Gerüst aus durch Fäden untereinander verbundenen Theken besteht. Zum Unterschied von der folgenden Art, sitzen die Kelche sehr dicht aneinander gedrungen und bilden büschelartige Anhäufungen. Die Dreiteiligkeit des Rhabdosoms scheint nicht die Regel zu sein und ist gewöhnlich sehr verwischt. Es ist auch nicht möglich gewesen, den Graptolithen auszupräparieren. Deshalb ist es unbekannt, ob seine Achsen alle in einer oder in verschiedenen Ebenen lagen. Der Graptolith wird nur selten mit deutlich erhaltenen Theken gefunden, wie sie der Holotyp zeigt. Gewöhnlich sind es nur schwarze, dendritenartige Gebilde auf dem Wirt, *Echinospaerites aurantium* mut. *supra*, bei denen die einzelnen Theken nicht unterscheidbar sind und nur noch die schwarze organische Substanz die Lage der Zweige angibt. Manchmal liegen oder lagen die Graptolithen nicht dicht auf den Hartteilen des Tieres, sondern einige mm entfernt (vielleicht der Dicke der äusseren Weichteile des Echinospaeriten entsprechend). Bei ausgewitterten Exemplaren treffen wir dann nur verzweigte Kalkadern, die genau dem zerstörten Graptolithen entsprechen. Lebensweise: *Th. sphaericola* wohnte auf den Echinospaeriten (daher der Name) und war immer in der nächsten Umgebung des Stieles befestigt.

Aus dieser konstanten Befestigungsart geht hervor, dass *Th. sphaericola* auf lebenden Echinospaeriten wohnte und nicht die Hartteile der ausgestorbenen Tiere besiedelte. Im letzteren Falle würde keine bestimmte Anhaftstelle zu beobachten sein.

Thallograptus sphaericola (und seine Gattungsgenossen) inkrustierte nicht das Substrat, sondern war nur an einem Punkte befestigt. Dieses geht daraus hervor, dass die Graptolithen sich nicht nur an der Oberfläche der Echinospaeriten ausbreiten, sondern sie durchsetzen auch das Gestein in der Umgebung des Wirtes. Weil der Graptolith auf dem Echinospaeriten wie auf

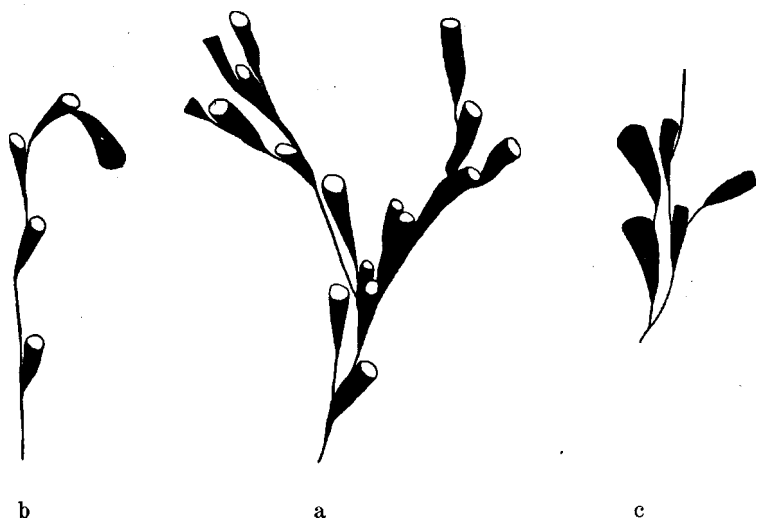


Abb. 7. a *Thallograptus sphaericola*, Detail des Holotyps; b, c: *Thallograptus defensor*, Holotyp. Vergr. ca 7 mal.

einem Objektträger ausgewittert wird, so wird auch eine Inkrustierung vorgetäuscht.

Nur zweimal wurde *Thallograptus sphaericola*? auf anderen Gegenständen beobachtet: einmal auf der Glatze eines *Chasmops odini*, und das andere — auf einer Klappe von *Clitambonites squamatus*, wobei diese beiden wahrscheinlich nach dem Tode besiedelt wurden. Die Graptolithen selbst waren nur ganz klein und schlecht erhalten.

Dass der Graptolith nur *Echinospaerites aurantium* besiedelte und immer in der Umgebung des Stieles befestigt war, muss biologisch verursacht gewesen sein. Das Schmarotzen ist aus-

geschlossen, die After-, Mund- und die Genitalöffnung werden vom Graptolithen immer vermieden, und deshalb muss an Symbiose gedacht werden. Wie der Wirt und der Besiedler einander nützlich waren, ist unbekannt. Der Graptolith konnte aber als Verteidiger auftreten, denn, wie die mutmasslichen Nachkommen der Graptolithen, die Hydroiden, konnte auch der *Thallograptus* einen Nesselapparat besitzen.

***Thallograptus defensor* nov. sp.**

Textabb. 7.

Holotyp: Textabb. 7, 2 ab; die abgebildeten Zweige gehören beide einem und demselben Exemplar an.

Diese Art ist weit seltener als der Genotyp, und es liegt nur ein Stock vor, ebenfalls auf einem Echinospaeriten. Der wesentliche Unterschied von *Th. sphaericola* liegt darin, dass bei *defensor* die Theken nicht sehr zusammengedrängt und angehäuft sind, so dass man sie einzeln unterscheiden kann. Die Verzweigung ist regellos und sehr entwickelt. Im zerdrückten Zustand sehen die Zweige von *Th. sphaericola* ziemlich breit, bandartig aus, infolge der Anhäufung der Theken. Die Zweige von *defensor* sind dagegen viel feiner und zarter.

Vorkommen: Schieferbruch Kohtla.

***Thallograptus ramulus* nov. sp.**

Taf. III, Fig. 19.

Holotyp: Taf. IV, Fig. 19, wird im Geol. Museum Tartu aufbewahrt und stammt aus der Sammlung v. Wahl's.

Von beiden obigen Arten unterscheidet sich *Th. ramulus* durch seinen schmäleren, in die Höhe gewachsenen Stock, dessen ältere Teile thekenarm sind. Die jüngeren (oberen, distalen) Zweige sind ganz besonders reich an Theken und zeigen ein büschelförmiges Aussehen. Wohnort nicht mehr *Echinospaerites*, denn diese sind zu jener Zeit schon ausgestorben (D_2), sondern in diesem Falle ein Cephalopodenfragment. Vorkommen und Horizont: D_2 (Keila = Kegelstufe, Macrouruskalk) bei Lillemõisa in Estland, nur in zwei Exemplaren auf ein und demselben Cephalopodenfragment gefunden.

***Temnograptus* sp.**

Taf. III, Fig. 20.

Die beiden abgebildeten Zweige gehören einem und demselben Exemplar an. Es ist möglich gewesen, dieses mit Säuren aus dem Kalkstein, wo es eingebettet war, herauszuätzen. Die Bleichung

der Stücke ist undurchführbar, infolge des Fehlens einer zusammenhaltenden Virgula und der Zartheit der Gebilde selbst.

Fast zweifellos scheint die Zugehörigkeit zu *Temnograptus* zu sein, was aus der Dichotomie und dem Habitus, welcher sehr an *Temnograptus multiplex* erinnert, hervorgeht. Von dieser Art unterscheiden sich unsere Stücke durch die kleineren Theken (12 auf 10 mm) und deren mehr zugespitzte Form.

Weitere Vergleichen sind vorläufig undurchführbar infolge der so abweichenden Erhaltung (im Relief).

Vorkommen: der einzige Fund stammt aus dem Schieferbruch Vanamõisa.

Dicellograptus sp.

Es wurde nur einmal ein proximales Stück mit einigen Theken aus einem Kalkstein aus C_2 (Kohtla) zufällig herausgeätzt. Beim weiteren Präparieren wurde es aber zerstört. Die Art war unbestimmbar.

Brachiopoda.

Die reichlichen Funde von Brachiopoden aus den Kukersitschichten sind vorläufig noch unvollständig bearbeitet¹⁾. Die letzten Untersuchungen über die Brachiopoden sind in den Arbeiten H. Bekkers enthalten. Über einige neue Funde kann jetzt schon berichtet werden, so über die schlosslosen Brachiopoden:

Obolus, in zwei kleinen Arten;

Acrotreta sp.;

Paterula cf. *bohémica*, ziemlich häufig bei Ubja und Vanamõisa.

Das Vorkommen von *Paterula* hat stratigraphische Wichtigkeit, wie es im Abschnitt über die Korrelation erläutert wurde. Zu den *Atremata* muss auch „*Pseudometoptoma*“ *Mickwitzi* (Huene) gezählt werden, wie es im Folgenden geschieht.

Discina (Orbiculoidea?) Mickwitzi (Huene).

Taf. I, Fig. 9, 10.

1899. *Pseudometoptoma Mickwitzi* Huene, „Die silurischen Craniaden der Ostseeländer mit Ausschluss Gotlands“, Seite 287, Taf. VI (XIV), Fig. 3a, b, c. Verhandl. d. Kais. Russ. Min. Gesellschaft, St. Pet.

1) Es wird vom Verf. d. Schrift gegenwärtig eine Monographie der Brachiopoden aus C_2 - C_3 vorbereitet.

Eine *Discina*-ähnliche Brachiopodenklappe aus den C₂-C₃-Schichten von Sõjamägi bei Tallinn wurde vom Verfasser mit einem von H. Bekker gefundenen und als *Pseudometoptoma* sp. bezeichneten Exemplar verglichen. Diese Bestimmung von H. Bekker führte mich zur Monographie der Craniaden von Huene. Es erwies sich, dass die beiden Exemplare wirklich zu „*Pseudometoptoma*“ *Mickwitzi* gehören. Dieses wurde bestätigt durch den Vergleich mit einem von Mickwitz gefundenen Exemplar, welches Herr H. v. Winkler mir freundlichst zur Verfügung stellte.

Es erwies sich zugleich, dass kein *Pseudometoptoma*, sondern eine echte *Discina* oder *Orbiculoidea* vorliegt. Folgende Unterschiede gegenüber *Pseudometoptoma* kommen in Betracht: 1) Das Tier war nicht mit der Schale befestigt. 2) Es besitzt eine Stielöffnung und eine Rinne auf der Pseudoarea. 3) Die Substanz der Schale ist nicht nur Kalkspat, sondern enthält offenbar auch Kalkphosphat. 4) Die Schalenskulptur hat keine Beziehungen zu *Pseudometoptoma*, wohl aber zu *Discina*. 5) Der ganze Habitus spricht für *Discina* vom Typus *Discina gibba* Lindström.

Die Abbildungen bei Huene sind gut, ebenfalls die Beschreibung, soweit es der Stoff ermöglichte. Unterschiede von *D. gibba* sind im Bau des Wirbels und dem Profil vorhanden. Dimensionen der abgebildeten Stücke in cm:

	Länge	Breite	Höhe
Taf. I, Fig. 9	1,6	1,4	0,7
Taf. I, Fig. 10	2,0	2,1	0,7

Tartu, 11. III. 1928.

Erklärung der Tafeln.

Alle Fossilien, bei denen der Name des Finders nicht erwähnt ist, sind vom Verfasser gefunden worden. Alle abgebildeten Stücke werden im Geologischen Museum der Universität Tartu (Dorpat) aufbewahrt.

Taf. I.

1. *Pseudasaphus tecticaudatus* Steinh. var. *Laurssoni* A. Ö. Neotypus, fast eine $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse. Vorderrand des Kopfes und Hinterrand des Pygidiums abgebrochen. Die Spindel stark eingedrückt. Fundort: Schieferbruch Sala („Eesti kiviõli A/S“). Geschenk des Herrn Ing. M. S. Kluschinsky.
- 2, 3, 4. *Cheirurus Wahlî* n. sp. 2. Kranidium aus dem Kalkstein, mit abnorm kurzem Wangenhorn. 3. Kranidium, Sammlung v. Wahl. 4. Kranidium aus dem Kukersit, Sammlung H. Bekker, Holotypus. Alle in natürlicher Grösse.
5. *Cheirurus spinulosus* Nieszk., Schnauzenschild, nat. Grösse, Schieferbruch Kohtla. Die untere Ausbuchtung entspricht der Naht gegen das Hypostom, die obere (breitere) der Naht des Vorderrandes.
- 6, 7, 8. *Nieszkowska Ahti* n. sp., ein und dasselbe Kranidium (Holotypus) in nat. Grösse: 6. von oben; 7. von der Seite; 8. etwas mehr von vorne als 6. In 6 und 7 ist der Nackenring in normaler, horizontaler Stellung.
- 9, 10. *Discina (Orbiculoidea?) Mickwitzi* (H u e n e), 1,5 mal vergrössert. 9. Ein ganzes Exemplar (Sammlung H. Bekker) von der Brachialklappe gesehen. 10. Ein anderes, von oben, 9 stammt aus Kohtla, 10 — vom Sõjamägi bei Tallinn (Reval).

Taf. II.

Nieszkowskia capitalis n. sp. Alle in nat. Grösse.

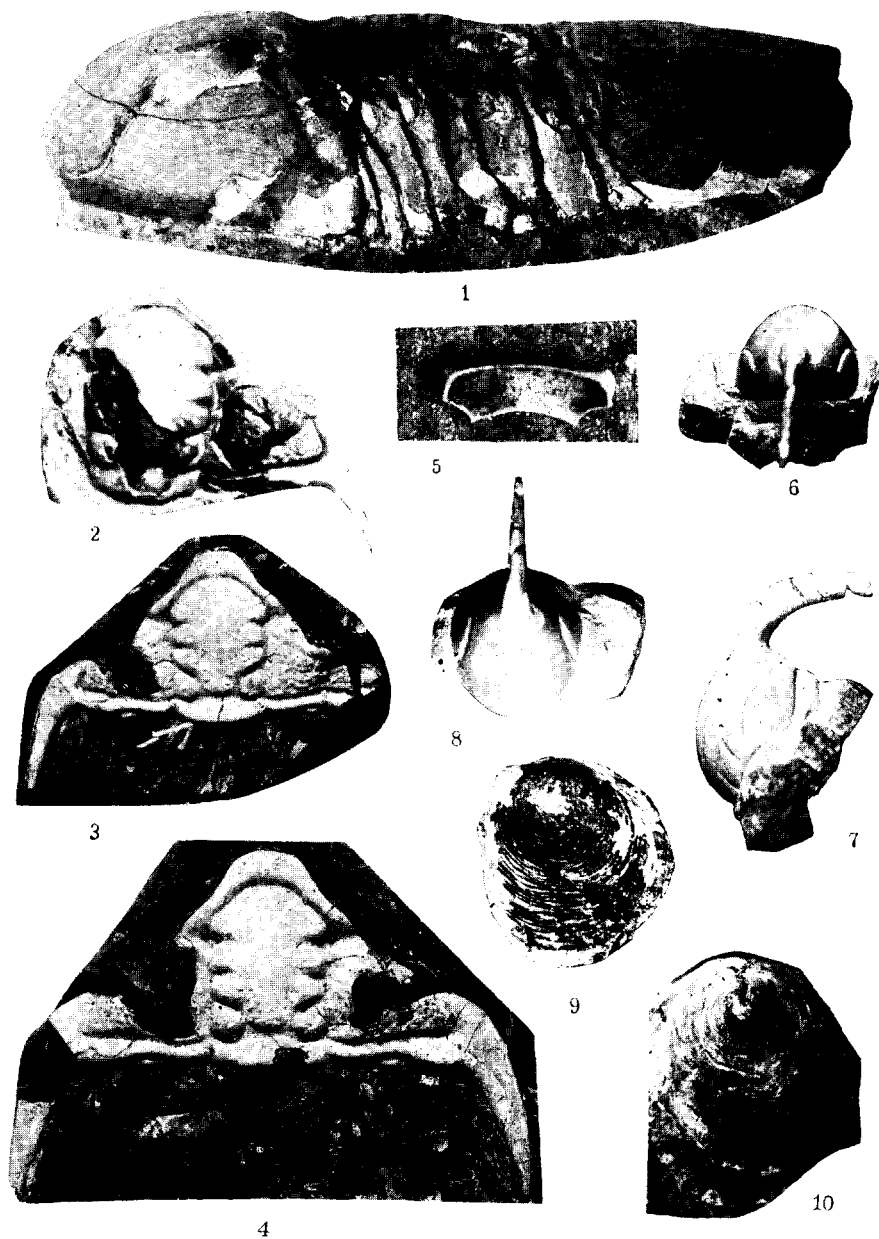
- 11—15. 11. Ein Glabellenfragment, mit abweichender Skulptur. 12. Grosses Pygidium, Sammlung H. Bekker. 14 und 15. Negativ und Positiv ein und desselben Kopfes (Holotypus). 13. Ein Spindelsegment (Sammlung W a h l). Fundort: Schieferbruch Kohtla.

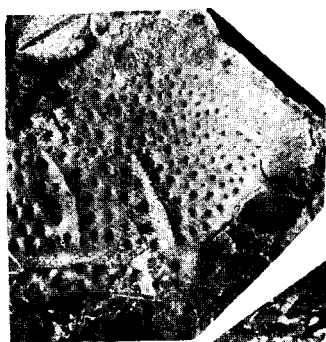
Taf. III.

- 16, 17, 18. *Thallograptus sphaericola* n. gen. et n. sp.
16. Holotypus, in nat. Grösse. Das Höckerchen am unteren Rande ist die Stielöffnung des Echinospaeriten.
17. Anderes Exemplar, 1,5 mal vergrössert. Die Stielöffnung und die Echinospaeritentafeln sind sehr deutlich.
18. Ein drittes Exemplar (aus den Sammlungen des Bergamtes) $\times 1,5$; „S“-Stielöffnung. Fundort von 16 und 17 — Kohtla, von 18 — Vanamõisa.
19. *Thallograptus ramulus* n. sp., Holotypus, auf einem Cephalopodenfragment. Fundort: Lillemõisa; Horizont: D₂ (Keila- = Kegelstufe-Macroruskalk). Nat. Grösse.
20. *Temnograptus* sp. Aus dem Kalkstein ausgeätzt. Fundort: Vanamõisa. 2,5 mal vergrössert.
21. *Cybele rex* (Nieszkowski). Vollständiges Exemplar aus Irvala (Schieferbruch der „Küttejõud“). Sammlung K. Orviku.
22. Pleurenspitzen desselben Trilobiten (21), 1,7 mal vergrössert.

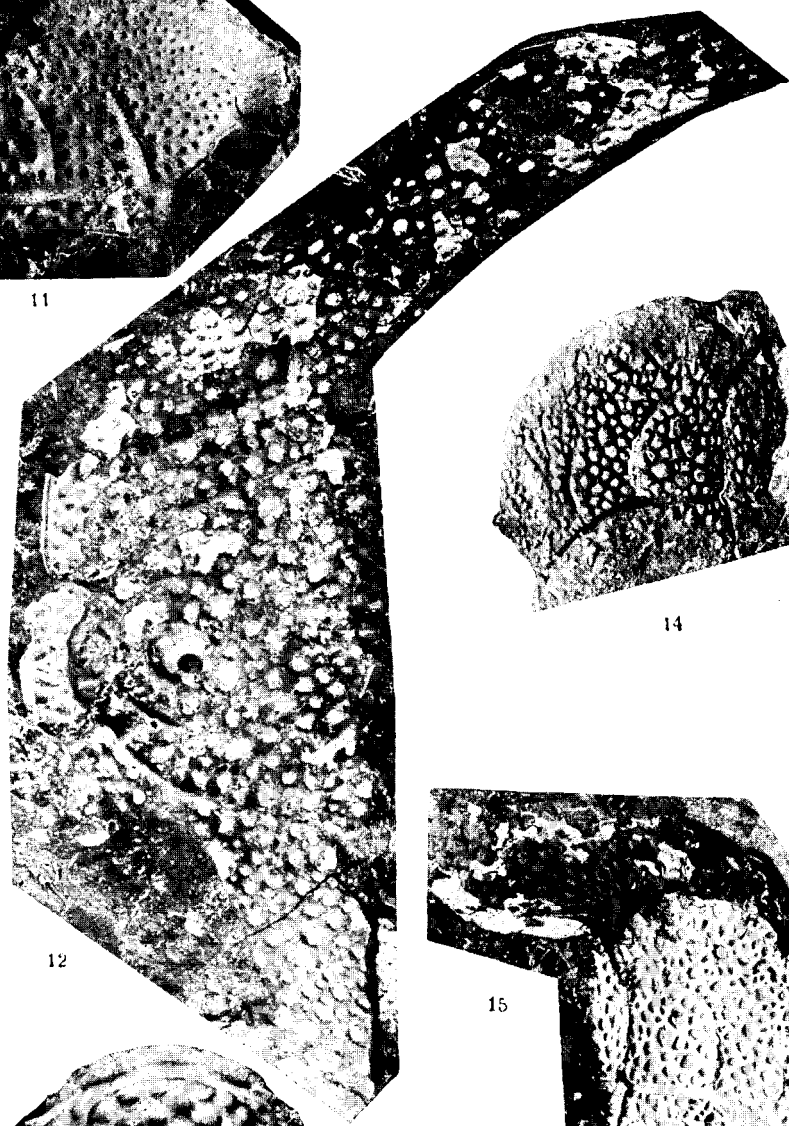
Taf. IV.

1. Teil einer Kalksteinplatte aus dem Schieferbruch Sala. *Cybele coronata* Fr. Schmidt; *Leptaena estonensis* Bekker; *Diplotrypa petropolitana*, von der epithekalen Seite; links davon, am linken Rande, ein kleines Kranidium von *Otarion* (= *Cyphaspis*) *planifrons*. Nat. Grösse.
2. Rekonstruktion einer Echinospaeritenbank mit *Thallograptus* usw., von stud. geol. Elsa Rosenstein gezeichnet.
-





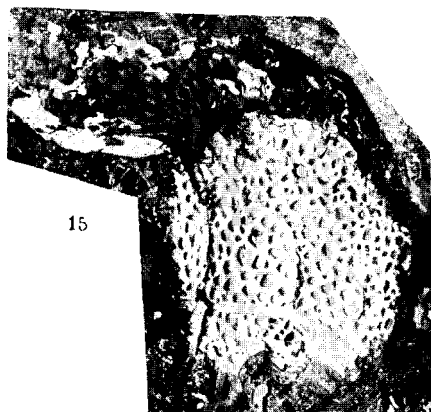
11



12



14



15



13



16



19



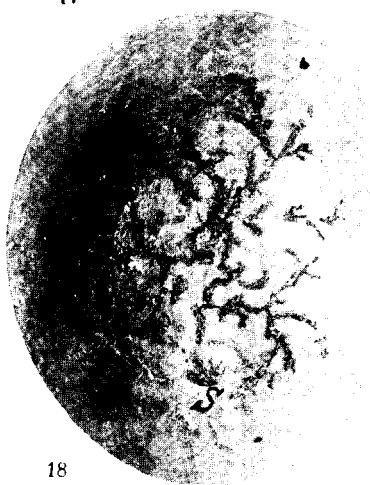
22



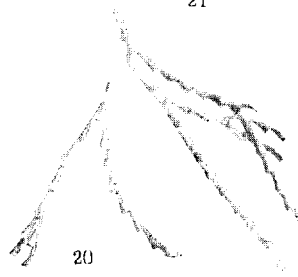
17



21



18

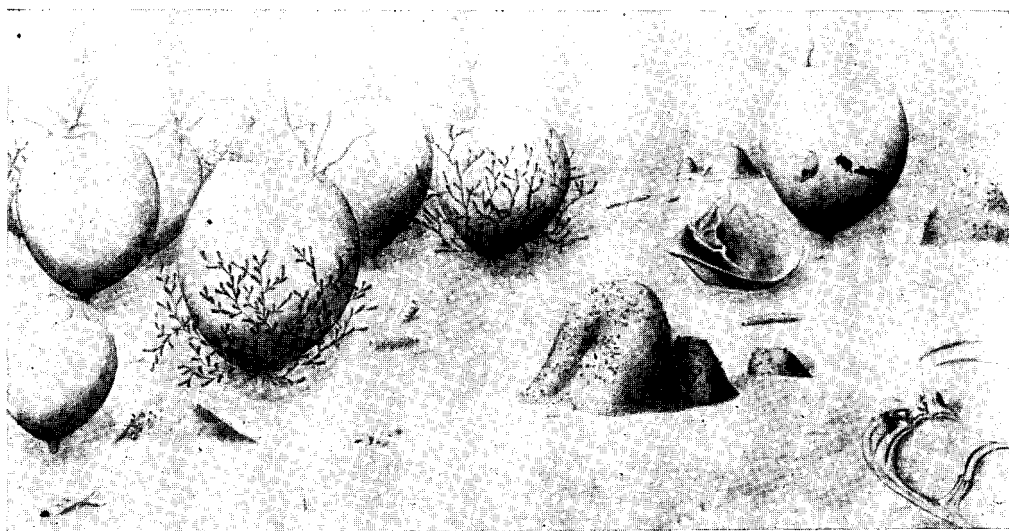


20



Fig. 1.

Photo A. Ö.



Elsa Rosenstein delin.

Fig. 2.

Photo A. Ö.

Eelmiste köidete sisu. — Contenu des volumes précédents.

A I (1921). 1. A. Paldrock. Ein Beitrag zur Statistik der Geschlechtskrankheiten in Dorpat während der Jahre 1909—1918. — 2. K. Väisälä. Verallgemeinerung des Begriffes der Dirichletschen Reihen. — 3. C. Schlossmann. Hapete mõju kolloiidide peale ja selle tähtsus patoloogias. (L'action des acides sur les colloïdes et son rôle dans la pathologie.) — 4. K. Regel. Statistische und physiognomische Studien an Wiesen. Ein Beitrag zur Methodik der Wiesenuntersuchung. — 5. H. Reichenbach. Notes sur les microorganismes trouvés dans les pêches planctoniques des environs de Covda (gouv. d'Archangel) en été 1917. — **Misc.** F. Bucholtz. Der gegenwärtige Zustand des Botanischen Gartens zu Dorpat und Richtlinien für die Zukunft.

A II (1921). 1. H. Bekker. The Kuckers Stage of the Ordovician Rocks of NE Estonia. — 2. C. Schlossmann. Über die Darmspirochäten beim Menschen. — 3. J. Letzmann. Die Höhe der Schneedecke im Ostbaltischen Gebiet. — 4. H. Kaho. Neutraalsoolade mõjust ultramaksimum-temperatuuri peale *Tradescantia zebrina* juures. (Über den Einfluss der Neutralsalze auf die Temperatur des Ultramaximums bei *Tradescantia zebrina*.)

A III (1922). 1. J. Narbutt. Von den Kurven für die freie und die innere Energie bei Schmelz- und Umwandlungsvorgängen. — 2. A. Томсонъ (A. Thomson). Значение аммонийныхъ солей для питания высшихъ культурныхъ растений. (Der Wert der Ammonsalze für die Ernährung der höheren Kulturpflanzen.) — 3. E. Blessig. Ophthalmologische Bibliographie Russlands 1870—1920. I. Hälfte (S. I—VII und 1—96). — 4. A. Lüüs. Ein Beitrag zum Studium der Wirkung künstlicher Wildunger Helenenquellensalze auf die Diurese nierenkranker Kinder. — 5. E. Öpik. A statistical method of counting shooting stars and its application to the Perseid shower of 1920. — 6. P. N. Kogerman. The chemical composition of the Estonian M.-Ordovician oil-bearing mineral „Kukersite“. — 7. M. Wittlich und S. Weshnjakow. Beitrag zur Kenntnis des estländischen Ölschiefers, genannt Kukersit. — **Misc.** J. Letzmann. Die Trombe von Odenpäh am 10. Mai 1920.

A IV (1922). 1. E. Blessig. Ophthalmologische Bibliographie Russlands 1870—1920. II. Hälfte (S. 97—188). — 2. A. Valdes. Glükogeeni hulka vähendavate tegurite mõju üle südame spetsiifilise lihassüsteemi glükogeeni peale. (Über den Einfluss der die Glykogenmenge vermindernenden Faktoren auf das Glykogen des spezifischen Muskelsystems des Herzens.) — 3. E. Öpik. Notes on stellar statistics and stellar evolution. — 4. H. Kaho. Raskemetallsoolade kihvtisusest taimeplasma kohta. (Über die Schwermetallgiftwirkung in bezug auf das Pflanzenplasma.) — 5. J. Piiper und M. Härms. Der Kiefernkreuzschnabel der Insel Ösel *Loxia pityopsittacus estiae* subsp. nov. — 6. L. Poska-Teiss. Zur Frage über die vielkernigen Zellen des einschichtigen Plattenepithels.

A V (1924). 1. E. Öpik. Photographic observations of the brightness of Neptune. Method and preliminary results. — 2. A. Lüüs. Ergebnisse der Krüppelkinder-Statistik in Eesti. — 3. C. Schlossmann. Culture in vitro des protozoaires de l'intestin humain. — 4. H. Kahlo. Über die physiologische Wirkung der Neutralsalze auf das Pflanzenplasma. — 5. Y. Kauko. Beiträge zur Kenntnis der Torfzersetzung und Vertorfung. — 6. A. Tamme kann. Eesti diktüoneema-kihi uurimine tema tekkimise, vana-duse ja levimise kohta. (Untersuchung des Dictyonema-Schiefers in Estland nach Entstehung, Alter und Verbreitung.) — 7. Y. Kauko. Zur Bestimmung des Vertorfungsgrades. — 8. N. Weiderpass. Eesti piparmündi-õli (*Oleum menthae esthicum*). (Das estnische Pfefferminzöl.)

A VI (1924). 1. H. Bekker. Mõned uued andmed Kukruse lademe stratigraafia ja faunast. (Stratigraphical and paleontological supplements on the Kukruse stage of the Ordovician Rocks of Eesti (Estonia).) — 2. J. Wilip. Experimentelle Studien über die Bestimmung von Isothermen und kritischen Konstanten. — 3. J. Letzmann. Das Bewegungsfeld im Fuss einer fortschreitenden Wind- oder Wasserhose. — 4. H. Scupin. Die Grundlagen paläogeographischer Karten. — 5. E. Öpik. Photometric measures on the moon and the earth-shine. — 6. Y. Kauko. Über die Vertorfungswärme. — 7. Y. Kauko. Eigentümlichkeiten der H_2O - und CO_2 -Gehalte bei der unvollständigen Verbrennung. — 8. M. Tilzen und Y. Kauko. Die wirtschaftlichen Möglichkeiten der Anwendung von Spiritus als Brennstoff. — 9. M. Wittlich. Beitrag zur Untersuchung des Öles aus estländischem Ölschiefer. — 10. J. Wilip. Emergenzwinkel, Unstetigkeitsflächen, Laufzeit. — 11. H. Scupin. Zur Petroleumfrage in den baltischen Ländern. — 12. H. Richter. Zwei Grundgesetze (Funktion- und Strukturprinzip) der lebendigen Masse.

A VII (1925). 1. J. Vilms. Kõhreglükogeeni püsivusest mõne-suguste glükogeeni vāhendavate tegurite puhul. (Über die Stabilität des Knorpelglykogens unter verschiedenen das Glykogen zum Verschwinden bringenden Umständen.) — 2. E. Blessig. Ophthalmologische Bibliographie Russlands 1870—1920. Nachtrag. — 3. O. Kuriks. Trachoma Eestis (eriti Tartus) mõõdunud ajal ja praegu. (Das Trachom in Estland (insbesondere in Dorpat) einst und jetzt.) — 4. A. Brandt. Sexualität. Eine biologische Studie. — 5. M. Haltenberger. Gehört das Baltikum zu Ost-, Nord- oder zu Mitteleuropa? — 6. M. Haltenberger. Recent geographical work in Estonia.

A VIII (1925). 1. H. Jaakson. Sur certains types de systèmes d'équations linéaires à une infinité d'inconnues. Sur l'interpolation. — 2. K. Frisch. Die Temperaturabweichungen in Tartu (Dorpat) und ihre Bedeutung für die Witterungsprognose. — 3. O. Kuriks. Muutused leeprahaigete silmas Eesti leprosooriumide haigete läbivaatamise põhjal. (Die Lepra des Auges.) — 4. A. Paldrock. Die Senkungsreaktion und ihr praktischer Wert. — 5. A. Öpik. Beiträge zur Kenntnis der Kukruse- (C_2 -) Stufe in Eesti. I. — 6. M. Wittlich. Einiges über den Schwefel im estländischen Ölschiefer (Kukersit)

und dessen Verschwelungsprodukten. — 7. H. Kaho. Orientierende Versuche über die stimulierende Wirkung einiger Salze auf das Wachstum der Getreidepflanzen. I.

A IX (1926). 1. E. Krahn. Über Minimaleigenschaften der Kugel in drei und mehr Dimensionen. — 2. A. Mieler. Ein Beitrag zur Frage des Vorrückens des Peipus an der Embachmündung und auf der Peipusinsel Pirisaar in dem Zeitraum von 1682 bis 1900. — 3. M. Haltenberger. Der wirtschaftsgeographische Charakter der Städte der Republik Eesti. — 4. J. Rumma. Die Heimatforschung in Eesti. — 5. M. Haltenberger. Der Stand des Aufnahme- und Kartenwesens in Eesti. — 6. M. Haltenberger. Landeskunde von Eesti. I. — 7. A. Tammekann. Die Oberflächengestaltung des nord-ostestländischen Küstentafellandes. — 8. K. Frisch. Ein Versuch das Embachhochwasser im Frühling für Tartu (Dorpat) vorherzubestimmen.

A X (1926). 1. M. Haltenberger. Landeskunde von Eesti. II—III. — 2. H. Scupin. Alter und Herkunft der ostbaltischen Solquellen und ihre Bedeutung für die Frage nach dem Vorkommen von Steinsalz im baltischen Obersilur. — 3. Th. Lippmaa. Floristische Notizen aus dem Nord-Altai nebst Beschreibung einer neuen *Cardamine*-Art aus der Sektion *Dentaria*. — 4. Th. Lippmaa. Pigmenttypen bei Pteridophyta und Anthophyta. I. Allgemeiner Teil. — 5. E. Pipenberg. Eine städtemorphographische Skizze der estländischen Hafenstadt Pärnu (Pernau). — 6. E. Spöhr. Über das Vorkommen von *Sium erectum* Huds. und *Lemna gibba* L. in Estland und über deren nordöstliche Verbreitungsgrenzen in Europa. — 7. J. Wilip. On new precision-seismographs.

A XI (1927). 1. Th. Lippmaa. Pigmenttypen bei Pteridophyta und Anthophyta. II. Spezieller Teil. — 2. M. Haltenberger. Landeskunde von Eesti. IV—V. — 3. H. Scupin. Epirogenese und Orogenese im Ostbaltikum. — 4. K. Schlossmann. Mikroorganismide kui bioloogiliste reaktiivide tähtsusest keemias. (Le rôle des ferments microbiens dans la chimie.) — 5. J. Sarv. Ahmese geomeetriselised joonised. (Die geometrischen Figuren des Ahmes.) — 6. K. Jaanson-Orviku. Beiträge zur Kenntnis der Aseri- und der Tallinna-Stufe in Eesti. I.

A XII (1927). 1. E. Reinwaldt. Beiträge zur Muriden-Fauna Estlands mit Berücksichtigung der Nachbargebiete. — 2. A. Öpik. Die Inseln Odensholm und Rogö. Ein Beitrag zur Geologie von NW-Estland. — 3. A. Öpik. Beiträge zur Kenntnis der Kukruse-(C₂)-Stufe in Eesti. II. — 4. Th. Lippmaa. Beobachtungen über durch Pilzinfektion verursachte Anthocyaninbildung. — 5. A. Laur. Die Titration des Ammoniumhydrosulfides mit Ferricyankalium. — 6. N. King. Über die rhythmischen Niederschläge von PbJ₂, Ag₃CrO₄ und AgCl im kapillaren Raume. — 7. P. N. Kogerman and J. Kranig. Physical constants of some alkyl carbonates. — 8. E. Spöhr. Über brunsterzeugende Stoffe im Pflanzenreich. Vorläufige Mitteilung.

B I (1921). 1. M. Vasmer. Studien zur albanesischen Wortforschung. I. — 2. A. v. Bulmerincq. Einleitung in das Buch des Propheten Maleachi. 1. — 3. M. Vasmer. Osteuropäische Ortsnamen. — 4. W. Anderson. Der Schwank von Kaiser und Abt bei den Minsker Juden. — 5. J. Bergman. Quaestiunculae Horatianae.

B II (1922). 1. J. Bergman. Aurelius Prudentius Clemens, der grösste christliche Dichter des Altertums. I. — 2. L. Kettunen. Lõunavepsa häälik-ajalugu. I. Konsonandid. (Südwepsische Lautgeschichte. I. Konsonantismus.) — 3. W. Wiget. Altgermanische Lautuntersuchungen.

B III (1922). 1. A. v. Bulmerincq. Einleitung in das Buch des Propheten Maleachi. 2. — 2. М. А. Курчинский (M. A. Kurtshinsky). Социальный законъ, случай и свобода. (Das soziale Gesetz, Zufall und Freiheit.) — 3. A. R. Cederberg. Die Erstlinge der estländischen Zeitungsliteratur. — 4. L. Kettunen. Lõunavepsa häälik-ajalugu. II. Vokaalid. (Südwepsische Lautgeschichte. II. Vokalismus.) — 5. E. Kieckers. Sprachwissenschaftliche Miscellen. [I.] — 6. A. M. Tallgren. Zur Archäologie Eestis. I.

B IV (1923). 1. E. Kieckers. Sprachwissenschaftliche Miscellen. II. — 2. A. v. Bulmerincq. Einleitung in das Buch des Propheten Maleachi. 3. — 3. W. Anderson. Nordasiatische Flutsagen. — 4. A. M. Tallgren. L'ethnographie préhistorique de la Russie du nord et des États Baltiques du nord. — 5. R. Gutmann. Eine unklare Stelle in der Oxforder Handschrift des Rolandsliedes.

B V (1924). 1. H. Mutschmann. Milton's eyesight and the chronology of his works. — 2. A. Pridik. Mut-em-wija, die Mutter Amenhotep's (Amenophis') III. — 3. A. Pridik. Der Mitregent des Königs Ptolemaios II Philadelphos. — 4. G. Suess. De Graecorum fabulis satyricis. — 5. A. Berendts und K. Grass. Flavius Josephus: Vom jüdischen Kriege, Buch I—IV, nach der slavischen Übersetzung deutsch herausgegeben und mit dem griechischen Text verglichen. I. Teil (S. 1—160). — 6. H. Mutschmann. Studies concerning the origin of „Paradise Lost“.

B VI (1925). 1. A. Saareste. Leksikaalseist vahekordadest eesti murretes. I. Analüüs. (Du sectionnement lexicologique dans les patois estoniens. I. Analyse.) — 2. A. Bjerre. Zur Psychologie des Mordes.

B VII (1926). 1. A. v. Bulmerincq. Einleitung in das Buch des Propheten Maleachi. 4. — 2. W. Anderson. Der Chalifenmünzfund von Kochtel. (Mit Beiträgen von R. Vasmer.) — 3. J. Mägiste. Rosona (Eesti Ingeri) murde pääjooned. (Die Hauptzüge der Mundart von Rosona). — 4. М. А. Курчинский (M. A. Kurtshinsky). Европейский хаосъ. Экономическія послѣдствія великой войны. (Das europäische Chaos.)

B VIII (1926). 1. A. M. Tallgren. Zur Archäologie Eestis. II. — 2. H. Mutschmann. The secret of John Milton. — 3. L. Kettunen. Untersuchung über die livische Sprache. I. Phonetische Einführung. Sprachproben.

B IX (1926). 1. N. Maim. Parlamentarismist Prantsuse restauratsioonialal (1814—1830). (Du parlementarisme en France pendant la Restauration.) — 2. S. v. Csekey. Die Quellen des estnischen Verwaltungsrechts. I. Teil (S. 1—102). — 3. A. Berendts und K. Grass. Flavius Josephus: Vom jüdischen Kriege, Buch I—IV, nach der slavischen Übersetzung deutsch herausgegeben und mit dem griechischen Text verglichen. II. Teil (S. 161—288). — 4. G. Suess. De eo quem dicunt inesse Trimalchionis cenae sermone vulgari. — 5. E. Kieckers. Sprachwissenschaftliche Miscellen. III. — 6. C. Vilhelmson. De ostraco quod Revaliae in museo provinciali servatur.

B X (1927). 1. H. B. Rahamägi. Eesti Evangeeliumi Luteri usu vaba rahvakirik vabas Eestis. (Die evangelisch-lutherische freie Volkskirche im freien Eesti. Anhang: Das Gesetz betreffend die religiösen Gemeinschaften und ihre Verbände.) — 2. E. Kieckers. Sprachwissenschaftliche Miscellen. IV. — 3. A. Berendts und K. Grass. Flavius Josephus: Vom jüdischen Kriege, Buch I—IV, nach der slavischen Übersetzung deutsch herausgegeben und mit dem griechischen Text verglichen. III. Teil (S. 289—416). — 4. W. Schmied-Kowarzik. Die Objektivation des Geistigen. (Der objektive Geist und seine Formen.) — 5. W. Anderson. Novelline popolari sammarinesi. I.

B XI (1927). 1. O. Loorits. Liivi rahva usund. (Der Volksglaube der Liven.) I. — 2. A. Berendts und K. Grass. Flavius Josephus: Vom jüdischen Kriege, Buch I—IV, nach der slavischen Übersetzung deutsch herausgegeben und mit dem griechischen Text verglichen. IV. Teil (S. 417—512). — 3. E. Kieckers. Sprachwissenschaftliche Miscellen. V.

B XII (1928). 1. O. Loorits. Liivi rahva usund. (Der Volksglaube der Liven.) II. 2. J. Mägiste. *oi*-, *ei*-deminutiivid läänemeresoome keelis. (Die *oi*-, *ei*-Deminutiva der ostseefinnischen Sprachen.)

TARTU ÜLIKOOLI TOIMETUSED ilmuvad kolmes seerias:

A: Mathematica, physica. medica. (Matemaatika-loodusteaduskonna, arstiteaduskonna, loomaarstiteaduskonna ja põllumajandusteaduskonna tööd.)

B: Humaniora. (Usuteaduskonna, filosoofiateaduskonna ja õigusteaduskonna tööd.)

C: Annales. (Aastaaruanded.)

Ladu: Ülikooli Raamatukogus, Tartus.

LES PUBLICATIONS DE L'UNIVERSITÉ DE TARTU (DORPAT) se font en trois séries:

A: Mathematica, physica, medica. (Mathématiques, sciences naturelles, médecine, sciences vétérinaires, agronomie.)

B: Humaniora. (Théologie, philosophie, philologie, histoire, jurisprudence.)

C: Annales.

Dépôt: La Bibliothèque de l'Université de Tartu, Estonie.
