

EESTI VABARIIGI TARTU ÜLIKOOLI
TOIMETUSED

ACTA ET COMMENTATIONES
UNIVERSITATIS TARTUENSIS
(DORPATENSIS)

A

MATHEMATICA, PHYSICA, MEDICA

XVIII

TARTU 1930

EESTI VABARIIGI TARTU ÜLIKOOI
TOIMETUSED

ACTA ET COMMENTATIONES
UNIVERSITATIS TARTUENSIS
(DORPATENSIS)

A

MATHEMATICA, PHYSICA, MEDICA

XVIII

TARTU 1930

Sisukord. — Contenta.

1. **G. Vilberg.** Erneuerung der Loodvegetation durch Keimlinge in Ost-Harrien (Estland).
 2. **A. Parts.** Über die Neutralsalzwirkung auf die Geschwindigkeit der Ionenreaktionen.
 3. **Charles R. Schlossmann.** On two strains of yeast-like organisms cultured from diseased human throats.
 4. **Hans Richter.** Die Relation zwischen Form und Funktion und das teleologische Prinzip in den Naturphänomenen.
 5. **H. Arro.** Die Metalloxyde als photochemische Sensibilatoren beim Bleichen von Methylenblaulösung.
 6. **A. Luha.** Über Ergebnisse stratigraphischer Untersuchungen im Gebiete der Saaremaa-(Ösel-)Schichten in Eesti (Unterösel und Eurypterusschichten).
 7. **K. Frisch.** Zur Frage der Zyklonenvertiefung.
 8. **E. Markus.** Naturkomplexe von Alatskivi.
-

**ERNEUERUNG DER LOODVEGETATION
DURCH KEIMLINGE IN OST-HARRIEN
(ESTLAND)**

VON

G. VILBERG

TARTU 1929

C. Mattiesen, Tartu (Dorpat).

Einleitung.

Die vorliegende Arbeit ist im Sommer des Jahres 1923 begonnen worden, im selben Jahre sind auch die erforderlichen Analysen in der Natur gemacht und das hier vorliegende Material gesammelt worden. In den folgenden Sommern sind von Zeit zu Zeit Beobachtungen über die auf dem Lood vorhandenen Vegetationsmöglichkeiten der Pflanzen angestellt worden, auch wurden Temperaturfragen behandelt. Die Beobachtungen wurden auch auf andere Loodgebiete in Ost- und West-Eesti übertragen. Die dabei gewonnenen Daten sind von mir zwecks Vergleich mit denjenigen von Ost-Harrien angeführt worden.

Die endgültige Durcharbeitung des Materials wurde mir im Jahre 1927 und 1928 im Botanischen Institut der Wiener Universität, unter der freundlichen Leitung von Prof. Dr. R. v. Wettstein ermöglicht, der mir bei der Lösung dieser Fragen nützliche Winke und Anleitung gegeben hat, wofür ich an dieser Stelle Prof. Wettstein meinen besten Dank ausspreche.

Vorher hat mir, bei der Zusammenstellung des Arbeitsplanes, mein Lehrer und Freund Prof. Dr. K. Linkola - Helsinki grosse Hilfe erwiesen; ebenso sind es gerade Prof. Linkola's Wiesenuntersuchungen in Finnland am Ladogasee, im Frühsommer 1923, gewesen, an welchen ich teilnehmen durfte und die mich zu der vorliegenden Arbeit veranlasst und angespornt haben. Daher sei mir erlaubt, mit grösster Hochachtung Prof. Linkola hier zu erwähnen, und auch allen anderen, die mir bei den Vorarbeiten behilflich waren, meinen Dank auszusprechen.

Der Verfasser.

Geographisch-geologische Übersicht.

In Nord-Eesti liegen die anstehenden Schichten des Ordoviziums und Silurs (B e k k e r 1922, 1923, 1925) fast in ihrer ganzen Ausdehnung nahe der Oberfläche. Hier und da sind sie fast ganz entblösst, oder sie werden von einer dünnen Verwitterungsschicht oder einer mehr oder weniger mächtigen Moränendecke bedeckt und bilden eine stellenweise schwach hügelige Kalksteinebene (G r a n ö 1925, S. 8). Im Norden wird diese Ebene grösstenteils vom Glint begrenzt, der stellenweise deutlich ausgeprägt und steil, an anderen Stellen wiederum niedrig ist und sich unter mehr oder weniger mächtigen, nach dem Süden zu auskeilenden Moränen- und Sanddecken verliert. Im Süden wird die Kalksteinebene mehrfach von niedriger gelegenen Gebieten begrenzt, die von Sumpfwiesen oder Hochmooren eingenommen werden; hinter diesen liegen Kuppen und Rücken von Grundmoränen mit Heuschlägen und Feldern. Die Kalksteinebene, die auf diese Weise als einseitig begrenztes Tafelhochland dasteht, wird teils von Feldern eingenommen, namentlich dort, wo die reichlich Kalkschotter führende Bodenschicht um einiges mächtiger ist, teils stellt sie Weideland dar, besonders da, wo der Flies vollständig bloss liegt, oder sehr flachgründig ist, oder wo an einzelnen Stellen ausser einer undichten Vegetation von Kräutern und Gräsern nur Wacholdersträucher zerstreut oder einzeln häufig auftreten. Ein solches ebenes, offenes oder hier und da mit Wacholder bedecktes Gebiet kann an einigen Stellen eine Längsausdehnung von 3—4 km und eine Breite von 1—2 km, anderorts aber nur eine Ausdehnung von 0,5—1 km² erreichen. Ein solches flachgründiges Gebilde, besonders wenn es als Weideland dient, wird von den Bewohnern Ost-Harriens „lood“ oder „loopealne“ genannt.

„Lood“ ist hier mehr ein pflanzengeographischer Begriff, weil für ihn die Baumlosigkeit und das Fehlen einer üppigen

Pflanzendecke charakteristisch ist ¹⁾). Im allgemeinen ist das Lood den Gebieten sehr ähnlich, die in Schweden auf den Inseln Öland und Gotland, auf dem Festland in Västergötland auftreten und die dort „Alvar“ genannt werden (D u R i e t z 1923 a, 1925 a; W i t t e 1906; S t e r n e r 1925, 1926 und die daselbst angeführte Gesamtliteratur über die schwedischen Alvar). Nach den Aussagen S c h m i d t's (1858) und K u p f f e r's (1906) besitzt auch der Untergrund von Öland und Gotland zum Teil Ähnlichkeit mit demjenigen N-Eestis. Kleinere Unterschiede der Pflanzendecke bilden sich wohl darum, weil die Lage und damit auch das Klima der Inseln sich von derjenigen des Lood unterscheidet (K u p f f e r 1906 ²⁾).

Das Lood oder loodähnliche Gebilde kann man in Eesti an mehreren Stellen finden, sie sind aber dennoch nur auf das Kalkgebiet des nord-estländischen Ordoviziums und Silurs des Festlandes oder der west-estländischen Inseln Ösel, Dagö, Moon beschränkt. Die vorliegende Arbeit befasst sich nicht mit der Erneuerung des Lood ganz Eestis, sondern beschränkt sich nur auf den Teil Ost-Harriens, welcher in einer Ausdehnung von 45 km östlich von Tallinna (Reval) liegt. Die genaue Lage zeigt die Karte (S.117). Fast das ganze der Betrachtung unterliegende Lood gebiet dient den nahegelegenen Dörfern als Weideland, auf dem vom Mai bis in den Spätherbst hinein grosse Herden von Hornvieh, Schafen und auch Pferden weiden. Augenscheinlich ist das Gebiet schon im Laufe von Jahrhunderten Weideland gewesen,

¹⁾ Das Lood und die Loodformation Ost-Harriens habe ich früher in einer in estnischer Sprache erschienenen Schrift (V i l b e r g 1927, auch 1926) ausführlicher behandelt, — dort bin ich auf die Lage des Lood, die Bodenbeschaffenheit, die Geologie des Gebiets, die Wachstumsbedingungen, die Formationen näher eingegangen, weshalb ich an dieser Stelle bei letztgenannten nicht länger verweilen will, sondern diese Gegenstände nur soweit berühre, als es zum Verständnis der vorliegenden Arbeit erforderlich ist. Dort ist auch auf die das estländische Lood betreffende Literatur hingewiesen worden.

²⁾ In meiner früheren Arbeit (V i l b e r g 1927) habe ich das ost-harrische Lood mit dem schwedischen Alvar identifiziert. Jedoch auf Grund genauerer vergleichender Nachprüfung der einschlägigen Literatur bin ich zum Ergebnis gelangt, dass das ost-harrische Lood in vieler Hinsicht sich vom schwedischen Alvar unterscheidet. Dieselbe Meinung teilen auch S t e r n e r und K u p f f e r (vgl. S t e r n e r 1925, p. 321—322), und aus diesem Grunde habe ich in dieser Arbeit die örtliche, estnische Bezeichnung „Lood“ beibehalten.

was zum Teil Karten aus dem 17. Jahrhundert bestätigen (vgl. Vilberg 1927, S. 24). Die Tatsache, dass der grösste Teil desselben so flachgründig ist, dass es kaum jemals beackert werden konnte, spricht für die gleiche Annahme.

Das Lood scheint auf den ersten Blick eben zu sein (Taf. I, 1), was in Wirklichkeit aber nicht der Fall ist; hier treten kleinere oder grössere Unebenheiten auf, die teils infolge spätglazialer Auswaschungen, teils infolge späterer Bildungen entstanden sind; teilweise hat auch der Mensch die Unebenheiten des Lood vergrössert, da hier und da grössere und kleinere Kalkbrüche zerstreut sind, aus denen der Kalkstein zu Bauten oder zur Herstellung von Mauern gebrochen wird, — letztere umgeben Felder, wie auch Heuschläge in der Nähe des Lood-Umkreises und verleihen der Landschaft ein eigenartiges Gepräge.

Der Untergrund des Lood ist überall Kalkstein, der nicht kompakt, sondern in seinem oberen Teil verhältnismässig dünn-schichtig ist, wobei die Schichten fast horizontal aufeinander liegen. Der ganze Schichtenkomplex wird von kreuz und quer verlaufenden Diaklasen tief gespalten (Taf. I, 2); letztere verlaufen meist in nordwest—südöstlicher oder in nordost—südwestlicher Richtung und teilen den Kalkblock in Felder von verschiedener Grösse. An einigen Stellen sind diese Spalten äusserlich vollständig sichtbar (sie erreichen eine Breite von 5—15 cm, zuweilen auch von 0,5 m und mehr), an anderen Stellen treten sie erst nach Beseitigung der Bodenschicht oder beim Brechen des Kalksteins zutage.

Fast überall ist der Kalkuntergrund von einer dünnen Schicht Erde bedeckt, die meistens durch Verwitterung entsteht. Inbetreff der Bodenschicht können wir verschiedene von der Bodenbeschaffenheit abhängige Gebiete unterscheiden. Stellenweise liegt der Untergrund vollständig bloss, — die Ursache ist zum Teil die auswaschende Tätigkeit des Wassers und die Deflation durch den Wind. Meistenteils sind solche Gebiete nur von kleinem Umfang, bilden Flecken, deren Grösse nur einige Quadratmeter beträgt. An anderen Stellen ist der ebene Untergrund von einer bis 10 cm mächtigen Erdschicht bedeckt, aber hier treten wiederum einige Stellen auf mit einer nur 2—3 cm mächtigen lockeren Erdkrume, in der Steinschotter von grösserem oder kleinerem Korn fehlt; an tiefgründigen Stellen dagegen ist der

Erde meist abgerundeter Kalkschotter beigemengt, dessen einzelne Teile gewöhnlich dicht gedrängt liegen.

Drittens gibt es Gebiete, die von einer verhältnismässig mächtigen Moränenschicht, dem sog. „rähk“ oder Grant, bedeckt sind, der meist von kantenbeschleunem Kalksteinschotter und Lehm gebildet wird und dessen Mächtigkeit an einigen Stellen 50—80 cm, zuweilen sogar über 1 m erreicht. Auf diesem Gebiet findet man sehr oft Wandergeröll, stellenweise verhältnismässig grosse (3—4 m hohe) erratische Blöcke, die in petrographischer Hinsicht sich aus kristallinen Gesteinsarten zusammensetzen und somit auf einen nördlichen Ursprung hinweisen (Taf. II, 3).

Wie die Forschungen H a u s e n's (1913, S. 103—104) gezeigt haben, hat auf die morphologische Ausgestaltung der Ostseeländer die spätglaziale Transgression den grössten Einfluss ausgeübt. Im Silurgebiet, wo die glazialen Bodenarten meistens eine nur dünne oder lückenhafte Decke über dem Felsgrund bilden, treten die Wirkungen der Wellen als Felsterrassen oder als Alvarböden auf (vgl. auch H ö g b o m 1915, R a m s a y 1920). Die flachgründigen Gebiete sind augenscheinlich Auswaschungsgebiete der Meeresfluten, von wo der Rähk weggespült worden ist, während die gegenwärtig vorhandene dünne Erdschicht durch Verwitterung entstanden ist. An den tiefgründigen Stellen hat sich der Rähk in grösseren Massen angesammelt. Stellenweise, z. B. auf dem Lood von Aavakannu, kann man einen von Osten nach Westen verlaufenden niedrigen Hügelrücken beobachten, der augenscheinlich einen früheren Strandwall darstellt.

Es ist gewiss, dass für die Entwicklung der Loodformation die edaphischen Verhältnisse die wichtigsten sind (F a l c k 1913, S. 359). Darum hängt die Pflanzenwelt auf dem zu untersuchenden Loodgebiet, wo auf Schritt und Tritt Kalkstein vorkommt, mehrfach von den Verhältnissen ab, die sowohl der als Untergrund wie auch der lose auftretende Kalkstein bedingt. Die Verwitterungsschicht besteht hier meist aus feiner Erde und gröberem oder feinerem Kalksteinschotter. Stellenweise findet man in der Erde kleinere Granitteilchen und auch kalkhaltigen Lehm. Im oberen Teil, in der Erdkrume, tritt Humus, meist Rohhumus von dunkelgrauer Farbe, auf. Unter der dünnen Schicht feiner Erde findet man oft Skelettgebilde vor; auf der Erdoberfläche liegen hier und da, bald dicht, bald undicht zerstreute Kalksteine.

All diese Faktoren beeinflussen unbedingt die Entwicklung der Pflanzenwelt; eine grosse Rolle spielen jedoch gleichfalls die klimatischen Verhältnisse. Die Lood Ost-Harriens befinden sich meist in der Nähe des Meeres, sind höchstens 3—4 km von diesem entfernt. Natürlich ist es dabei, dass das Meer hier das Klima beeinflusst, was sich darin äussert, dass der Frühling ziemlich kalt ist (April, Mai). Hierbei spürt man die Wirkung des Finnischen Meerbusens, auf dem bis spät in den Frühling hinein grosse Eismassen treiben (vgl. K u r r i k 1925, S. 63); dagegen ist der Herbst (Oktober, November) hier wärmer als weiter auf dem Festland. Im allgemeinen ist der Sommer kühler, der Winteranfang wärmer, wodurch die schroffen Übergänge von warm zu kalt ausgeglichen werden (V i l b e r g 1927, S. 21—22). Die Einteilung von K u r r i k (1924, S. 473—475) in Betracht ziehend, die ihrerseits auf andauernden Beobachtungen fusst und nach der ganz Estland in 4 klimatische Zonen zerfällt (1. das kühl kontinentale, 2. das gemässigt kontinentale, 3. das kühl marine und 4. das gemässigt marine Gebiet), gehört das Loodgebiet zum marinen Gebiet. Vergleicht man hier die Daten, und zwar diejenigen der mittleren Monatstemperatur und der mittleren Jahresniederschläge, z. B. der Gebiete mit gemässigt kontinentalem (Pernau, Dorpat, Werro u. s. w.) und der Gebiete mit kühl-marinem Klima (Harrien mit dem Loodgebiet, die Wiek, Wierland), so erhalten wir eine Tabelle, wo die oben erwähnten gegenseitigen Beziehungen zwischen Temperatur und Niederschlägen deutlich hervortreten:

Temperatur und Niederschläge	Januar	April	Juli	Oktober	Jahr
Gemässigt kontinentales Klima:					
Mittlere Temperatur	—6.3	3.6	17.3	5.4	4.9
Temperaturminimum und -maximum	—36.0	—	35.0	—	—
Niederschläge in mm	—	—	—	—	540
Kühl-marines Klima:					
Mittlere Temperatur	—5.6	2.0	16.9	5.7	4.7
Temperaturminimum und -maximum	—33.0	—	34.0	—	—
Niederschläge in mm	—	—	—	—	510

Zweifelsohne gehören die edaphischen und klimatischen Verhältnisse zu den wichtigsten Faktoren, die dem Lood sein cha-

rakteristisches Gepräge verleihen ³⁾, denn von ihnen ist in hohem Grade die Pflanzendecke abhängig (Hayek 1926, S. 4—5; Hildebrand 1882, S. 106). In hohem Grade hat aber auch das Weiden hier auf die Pflanzendecke eingewirkt, wovon weiterhin die Rede sein wird.

Einteilung des Lood.

Die Alvarbildungen Schwedens werden verschieden eingeteilt. Witte (1906, S 6 ff.) z. B. teilt das Alvar, seine Vegetation in Betracht ziehend, in 2 durch Übergänge verbundene Formationen ein: Alvarsteppen (alfvarsteppen) — eine offene Vegetation auf nacktem Kalkuntergrund oder dünner Erdschicht; Alvarwiese (alfvarängen) — meistens geschlossene Vegetation auf mächtigerer Erdschicht. Du Rietz (1921 a, 1923, 1925 a) geht vom Untergrund und der Bodenschicht aus und teilt das Alvar hauptsächlich in 3 grössere Gruppen: Schuttalvar (grusalvaret) — Kalksteinuntergrund, bedeckt mit einer mächtigeren Schicht von Grant und verwittertem Kalkschotter; die Pflanzendecke geschlossen, meist Gräser und Kräuter, stellenweise auch Wacholder; Karst (karsten) — fast nackter Kalkuntergrund, der von schmalen und tiefen Spalten durchzogen wird; in der Pflanzendecke treten mehr Assoziationen von Moosen und Flechten auf, zu denen sich einzelne höhere Pflanzen gesellen. Den dritten Haupttypus bilden die feuchten Depressionen, auf denen oft sehr grosse Flächen von der charakteristischen *Potentilla fruticosa*-Assoziation bedeckt sind. Sterner (1925, 1926) teilt das Alvar, die Vegetation in Betracht ziehend, in folgende Haupttypen ein: 1. die Karstvegetation (karstlavaret), 2. die Formation der niedrigen Gebüsche (lågsnårsalveret), 3. die Zwergstrauchformationen (dvärgbuskalvaret), 4. die Gras- und Krautformationen (gräsalvaret), 5. reine Moos- und Flechtenformationen (alvarets hållmarksvegetationen) und 6. reine Alpenformationen (alvarsjöarnas vegetation). An diesen vorgeführten Bei-

³⁾ Diese Faktoren sind bei Vilberg (1927, S. 20 ff.) ausführlicher behandelt worden, und es wird auf sie noch vor Betrachtung der Keimungsverhältnisse eingegangen werden.

spielen ist es ersichtlich, wie verschieden man die Alvare eines grösseren Gebietes betrachten kann.

In Ost-Harrien ist die Beschaffenheit des Loodbodens nicht gleichförmig, und infolgedessen ist auch die Pflanzendecke verschieden ausgebildet. Darum halte ich es für das zweckmässigste, das Lood von der Bodendecke und der Pflanzenwelt ausgehend einzuteilen. Auf dem untersuchten Areal lassen sich meinen Beobachtungen nach folgende Gebiete feststellen:

1) Der Karst — das ist ein fast ganz blossliegendes oder flachgründiges Kalksteingebiet, welches von Diaklasen durchsetzt wird, die meist in NW—SO- und NO—SW-Richtung ziehen. Diese sind vollständig offen, sichtbar, 5—15 cm breit, bisweilen auch breiter, und stellenweise 50—75 cm tief; oder sie sind auch ganz zugeschüttet und treten dann in Gestalt seichter Niederungen auf, die von dichtem Rasen bedeckt sind; die Pflanzendecke ist mehr oder weniger offen und xerophil. Der typische Karst nimmt grössere Gebiete des Lood von Kostivere-Vandjala ein, weiter findet man ihn auf dem Lood von Kostivere zwischen dem Dorf Loo-küla und der Narva'schen Landstrasse, auf dem Lood von Jöelähtme (Jegelecht) nördlich von der Narva'schen Strasse, auf kleineren Gebieten des Lood von Vöerdla, im nördlichen Teil der Kostivereschen Dolinen; desgleichen findet man ihn auf begrenzten Gebieten in Valkla und in Form einzelner Flecken auf dem Linnalood vom Laksberg (Taf. I, 1).

2) Schuttlood — ein Gebiet, das mit einer mächtigeren Schicht von Kalktrümmern, Erde und Moräne bedeckt ist, die eine Mächtigkeit von meist 10—20 cm, stellenweise bis 90 cm erreicht. Die Pflanzendecke ist meist geschlossen, mesophil und besteht aus Kräutern und Gräsern; Sträucher und Bäume fehlen fast vollständig. Recht oft findet man hier grössere und kleinere Wanderblöcke und -Geröll. Vertreten grösstenteils auf dem Lood von Kostivere-Jöelähtme-Vöerdla, in Valkla, in Kiiu, auf dem Laksberg, zum Teil auch in Aavakannu und Iru (Taf. II, 3).

3) Schuttlood-*Juniperetum*; es gleicht dem Boden nach dem Schuttlood, jedoch finden sich hier oft niederliegende und aufsteigende Wacholdersträucher sowie einzelne Nussbäume, die das Auftreten solcher Pflanzen ermöglichen, die dem Schuttlood fehlen. Auf einem weiteren Gebiet des Lood von Nehatu-Kärnu-Iru, ebenso auf dem Lood von Tondi, in Aavakannu und dortselbst auf dem *Juniperetum* von Uuevälja verbreitet. Es

tritt weiter im westlichen Teil von Valkla auf und auf einem sehr schmalen Gebiet des Linnalood vom Laksberg (Taf. II, 4).

Von besonderer Art sind 4) die *Kostivere urked*, d. h. die Dolinen von Kostivere, wo die Erdoberfläche sehr tiefe Unebenheiten zeigt, die von grösseren Kesseln, Schüsseln und in geringerem Masse von Trichtern gebildet werden, und ihren Ursprung der Tätigkeit des unterirdischen Laufes des Jöelähtme-Flusses verdanken. Von Bildungen des Karsts und des Schuttlood umgeben, führen die Dolinen auf ihrem Boden eine dicke Schicht angeschwemmter Erde, Schlamm und stellenweise Schutt und Schutthalden. Die Pflanzendecke der Dolinen ist fleckenförmig, unterbrochen. Der Charakter der Vegetation ist ein hydrophiler (Taf. III, 5).

Von den angeführten 4 Typen sind die ersten drei für das Loodgebiet charakteristisch, der vierte Typus ist mehr zufälliger Art, aber sein Auftreten steht doch im Zusammenhang mit dem Kalksteinuntergrund und insofern auch zum Teil im Zusammenhang mit der Entstehung des Lood, aus welchem Grunde die Behandlung dieses Gebietes ebenfalls in den Rahmen der Loodforschung fällt.

Über die Pflanzengesellschaften des Lood.

Auf den ersten Blick hin scheint das Lood eine geschlossene Vegetation zu besitzen, deren Hauptbestandteil von Gräsern gebildet wird, welche von den Herden bis aufs äusserste gekappt worden sind, so dass nur die unteren Teile der Pflanzen erhalten blieben. Ihrem Aussehen nach erinnert sie stark an die Steppenvegetation, und zwar an die kurzrasige Steppe Südrusslands (Keller 1923). Perennierende Pflanzen sind hier durchaus im Übergewicht, unter ihnen besonders Gräser und Stauden; zu diesen Grundformen der Pflanzendecke gesellen sich auch einzelne annuelle Pflanzen, — das bemerkt man meist an den Orten, die auf die eine oder die andere Art vom Rasen befreit sind: hier können die annualen Pflanzen der ganzen Pflanzendecke ein eigenartiges Gepräge verleihen, indem sie zuweilen in dichten Gruppen auftreten⁴⁾. Stellenweise, wo Fahrwege das Land kreuzen und

⁴⁾ Auf dem Lood Ost-Harriens gibt es 62,5% ausdauernde Pflanzen, 10% Stauden und Sträucher, 6% bienne und 21,5% annuelle Pflanzen (Vilberg 1927, S. 74).

der Rasen dabei unterbrochen wird, finden sich einige Pflanzen aus dem Nachbargebiet, deren Samen durch Übertragung mit Hilfe des Menschen oder des Windes hierher gelangt ist (vgl. Vilberg 1927, S. 66—67).

Im allgemeinen ist die Loodformation verhältnismässig alt. Fast überall, besonders in den geschlossenen Pflanzengesellschaften, hat hier der Kampf ums Dasein ein Ende genommen; einzelne Pflanzen, z. B. *Festuca ovina*, *Avena pratensis*, *Alchimilla vulgaris* u. s. w., haben Überhand genommen, und infolgedessen ist die Pflanzendecke eine mehr oder weniger einheitliche. Stellenweise sind die Grenzen einzelner kleiner Assoziationen verhältnismässig deutlich, z. B. bei der reinen *Alchimilla vulgaris*- oder *Antennaria dioeca*-Assoziation, zuweilen aber ist gerade von Seiten der letzteren ein Angriff auf die Assoziationen der Gräser zu merken. Augenscheinlich hat sich hier die einzelne Pflanze irgendwie unter den anderen Pflanzen eingebürgert, und infolge ihrer besseren Anpassungsfähigkeit üppig entfalten können; und indem sie sich meist auf vegetativem Wege verbreitete, vergrösserte sich unausgesetzt das von ihr eingenommene Gebiet. Im allgemeinen kann man auf dem Lood beobachten, dass die Vermehrung hier auf vegetativem Wege ausserordentlich stark ist; und dieser Vermehrungsweise zufolge wird sich, wie es auch Palmgren (1922, S. 107—108) bei Ålands Laubvegetation bemerkt hat, ganz sicher ergeben, dass manches, was bei einer oberflächlichen Betrachtung der Vegetation den Eindruck von verschiedenen Individuen gemacht hat, in Wirklichkeit unter dem Erdboden zusammenhängende oder früher einmal zusammengehörige Teile eines und desselben Individuenkomplexes darstellt; die gegenwärtig einheitlichen jüngeren Komplexe müssen sich nämlich bei zunehmendem Alter und Wachstum ganz gewiss in kleinere Teile auflösen, so dass in Zukunft vielleicht alle Zeugen der heute herrschenden Zusammengehörigkeit verloren gegangen sein werden. Eine solche Vermehrungsweise und Bildung von Flecken kann man auf dem Lood, ausser bei den oben erwähnten Pflanzen, besonders bei *Thymus serpyllum*, *Galium verum* und *Trifolium repens*, zum Teil auch bei *Veronica spicata* und auf verschütteten Spalten auch bei *Geum rivale* beobachten (Vilberg 1927, S. 65).

Seinem Aussehen nach ist das Lood mit seiner kärglichen Pflanzendecke sich immer gleich geblieben, seine Benutzung zu

Weidezwecken trägt zum Teil die Hauptschuld daran. Wie es heute aussieht, so hat es schon Jahrzehnte und Jahrhunderte hindurch ausgesehen. Als Prof. G e r m a n n (1805, S. 57) im Jahre 1803 die Lood besuchte, schienen sie ihm auf botanischem Gebiet nichts Interessantes bieten zu können. Diesen Eindruck hat man allerdings bei einer oberflächlichen Betrachtung. Bei einer sorgfältigeren Beobachtung aber können wir 2—3 grössere Pflanzenkomplexe unterscheiden: die Grundformen bilden hier — die V e g e t a t i o n v o n K r ä u t e r n u n d G r ä s e r n, welche den Karst, den grössten Teil des Schuttlood und die Dolinen einnimmt, und die V e g e t a t i o n v o n S t r ä u c h e r n u n d K r ä u t e r n resp. G r ä s e r n, die hauptsächlich auf dem Schuttalvar auftritt und den Übergang zwischen der W a c h o l d e r t r i f t und der Vegetation von Kräutern und Gräsern bildet. Das Verbreitungsgebiet der Wacholdertrift ist das Schuttlood-*Juniperetum*. Bäume gibt es auf dem typischen Loodweidland nicht, wohl aber findet man sie einzeln an den Mauern, die das Land umgeben, auf ummauerten Heuschlägen oder an Felldrändern.

Je näher wir dem Lood treten, je aufmerksamer wir die Loodformation beobachten, desto grösser wird die Zahl der Pflanzengesellschaften. Es erweist sich, dass von einer bestimmten Assoziation nicht die Rede sein kann, da ein jeder etwas grössere Pflanzenkomplex von einer Anzahl kleinerer, bisweilen ganz winziger Assoziationen gebildet wird, wodurch ein Mosaik kleinerer und grösserer Assoziationen entsteht, dessen Bildung verschiedene auf die Entwicklung der Vegetation einwirkende Faktoren beeinflusst haben. Besonders reliefartig erscheint dieses Mosaik in einem trockenen, dürren Sommer.

Das Lood ist eigentlich ein Komplex von Assoziationen, wo einzelne Assoziationsfragmente einander bald auf einem weiteren, bald auf einem engeren Gebiet ablösen. Dieser Komplex von Assoziationen wiederholt sich aber in allen Loodgebieten; hier variieren die Pflanzengesellschaften unter dem Einfluss des Bodens und anderer dem Lood eigener Faktoren. Die Frage der Pflanzengesellschaften habe ich in dem früher erschienenen Werk (V i l b e r g 1927, S. 43—72) genauer behandelt, und erwähne hier nur, dass auf beinahe nacktem oder flachgründigem Kalk meist eine M o o s - *Festuca ovina* - *Sedum acre* - A s s o z i a t i o n auftritt, während im Frühling sich an einzelnen Stellen winzige *Erophila verna*-*Saxifraga tridactylites*-*Androsaces septentrionale*-

Gesellschaften beobachten lassen. Auf dem Karstgebiet, wo die Erdschicht ebenfalls recht dünn ist, ist die *Festuca ovina-Agrostis vulgaris*-Assoziation am verbreitetsten, zu ihr gesellt sich als massgebender Faktor entweder *Trifolium repens*, oder *Thymus serpyllum*, oder *Antennaria dioeca*, stellenweise auch *Sedum acre*. Auf dem Schuttlood ist ebenfalls *Festuca ovina* und auch *Avena pratensis* im Übergewicht, während *Alchimilla vulgaris*, *Antennaria dioeca*, *Filipendula filipendula*, *Galium verum*, *Trifolium repens* die Pflanzengesellschaft reichlich ergänzen. Auf dem Schuttlood-*Juniperetum* ist die Vegetation den obenerwähnten Gesellschaften sehr ähnlich; das häufige Auftreten der Wacholdersträucher ermöglicht einzelnen Pflanzen das Gedeihen in denselben oder in ihrem Schatten, wodurch neue Elemente Eintritt finden. Hier tritt, wenn man nicht mit der starken Zunahme der Moose und Flechten rechnet, häufig die *Juniperus communis-Avena pratensis-Alchimilla vulgaris*-Assoziation auf. Eigenartig ist die Vegetation der Dolinen von Kostivere, da hier zeitweilig mit Wasser gefüllte Trichter, Kessel und Schüsseln, dergleichen höhere, schwieriger zu erreichende Blöcke, in der Umgebung auftretende Loodgebiete und feuchte Bultenwiesen den Anlass zu einer mannigfachen Entwicklung der Pflanzenwelt geben. Hier wiederholen sich die in der vorher besprochenen Gesellschaft auftretenden Pflanzen, hierzu kommen *Allium schoenoprasum*, *Sedum album*, welche beide stellenweise eine Gesellschaft bilden, während an solchen Partien des unterirdisch fließenden Jegelecht, wo letzterer in tieferen Schüsseln und Kesseln grössere oder kleinere Wasseransammlungen bildet, die Ufer oft eine typische Ufervegetation besitzen (*Alisma plantago aquatica*, *Veronica beccabunga* u. a.). Die Bultenwiesen besitzen eine typische *Aera caespitosa*-Assoziation⁵⁾.

⁵⁾ Du Rietz (1925, S. 58) bemerkt, dass typische Alvargebiete bisher nur auf den baltischen Silurgebieten (und den Silurbergen von Västergötland im inneren Südwestschwedens) bekannt sind. Ihre ökologischen Hauptbedingungen sind vor allem die folgenden zwei: 1) Eine horizontale oder fast horizontale Kalkfelsenebene von mergligem Kalkstein mit sehr wenigen tiefen Spalten, also einer sehr schlechten Drainage und einer nur ganz dünnen Schicht von Verwitterungserde. 2) Ein kalttemperiertes, ziemlich kontinentales Klima mit strengen Wintern und heissen Sommern. Diese beiden Faktorenkomplexe bewirken zusammen die charakteristischen Aufrierungsphänomene in der Verwitterungserde dieser Felsböden, welche der Vegetation ihr Gepräge verleihen und stark an die arktischen Boden-

Allgemeines über die Erneuerung der Vegetation.

Jeder Bestand erneuert sich im Laufe einer kürzeren oder längeren Zeit, da die Pflanzen, wie alle lebenden Organismen, mit der Zeit dahinsiechen, absterben und an ihrer Stelle Pflanzen, sei es von der gleichen Art oder von einer näher oder weiter entlegenen Nachart, in den Vordergrund treten. Die Erneuerung vollzieht sich vermittelst der Samen, oder aber auf vegetativem Wege durch Wurzelstöcke, Ausläufer, Knollen, Brutknospen u. s. w. Im Laufe der Vegetationsperiode werden die alten, schon verwelkten Pflanzen und Pflanzenteile allmählich durch neue ersetzt: darum sieht die Pflanzendecke immer mehr oder weniger gleich aus, wenn nicht ein Nebenfaktor oder irgendeine für die Pflanze katastrophale Erscheinung die Entwicklung derselben beeinflusst.

Über die Frage der Erneuerungsart, ob die Erneuerung durch Samen oder aber auf vegetativem Wege eher zur Vervollständigung des Pflanzenbestandes führt, herrschen unter den Pflanzenbiologen zwei verschiedene Meinungen. *Jessen* (1854) nimmt an, dass eine wirkliche Erneuerung nur durch Samen stattfinden könne, dass eine aus einem Keime, bei den Blüten-

verhältnisse erinnern. Aber er fand auch in Österreich auf den Hainburger Bergen an der österreichisch-ungarischen Grenze auf dem Hundheimer Kogel Andeutungen einer Alvarvegetation, jedoch nur auf winzig kleinen Flecken. Der Kalkfels ist an diesen Flecken nur von einer dünnen Kiesschicht bedeckt, und diese ist von einer offenen Vegetation besiedelt, in der die für die schwedische Alvarvegetation charakteristischen Moose und Flechten eine Hauptrolle spielen (*Du Rietz* 1923 b, S. 20). Alvarähnliche Gebilde sind auch „the Downs“ der Insel Wight (*Wulff* 1896), die „Triften“ oder „Trieschen“ in Deutschland, — Ringgau und anderorts (*Zeiske* 1897, S. 71—72; *Drude* 1896, 1902). Dem Lood ziemlich nahestehend sind auch die Skelett- und die Feinerde-Rendzinagebilde, die in Gestalt einzelner Flecken und Inseln in Russland im Gouvernement Petersburg auf silurischem Kalk und im Gouvernement Pskow auf devonischen Schichten auftreten (*Glinka* 1914). In Südeuropa entsprechen den Alvargebilden z. T. die sog. „la garrigue“ (*Flahault* 1888, *Warming-Graebner* 1918), in Ostserbien die „Felsentriftenformation“ (*Adamović* 1899, S. 137), während in mancher Beziehung auch die „Macchien“ Korsikas (*Rikli* 1903, S. 34) und die „Felsenheiden“ (*Rikli* l. c. S. 51) dem Alvar bzw. Lood nahestehen. Die Ähnlichkeit zwischen dem Lood und den Steppen Südrusslands ist schon vorher erwähnt worden (*Keller* 1923; *Patschoski* 1908).

pflanzen also aus dem Samen, entstehende Pflanze ein mit frischen Kräften ausgestattetes Individuum sei und dass, wenn die Vermehrung durch Samen erfolge, die Art in jeder neuen Pflanze sich wieder verjünge und sich so ungeschwächt forterhalten könne. Dagegen erfolge bei der vegetativen Vermehrung keine Verjüngung, sie sei nur eine Verlängerung des individuellen Lebens, und wie das Leben des Individuums beschränkt sei, so müsse auch hier eine Grenze der Weiterentwicklung bestehen (vgl. M ö b i u s 1894, S. 24). Dagegen zeigte M ö b i u s auf Grund genauer Untersuchungen und Beobachtungen, dass es keinen einzigen zwingenden Grund gäbe, den erwähnten Standpunkt, der das Siechtum einzelner Kulturpflanzen auf ihr Alter zurückführt, für richtig zu halten, ja, dass die Altersschwäche der auf geschlechtslosem Wege vermehrten Pflanzen nur in der Einbildung gewisser Autoren und Züchter bestehe, aber nicht mit Notwendigkeit aus der Beschaffenheit der zur vegetativen Vermehrung dienenden Pflanzenteile hervorgehe (M ö b i u s, l. c. S. 76). Dass auch auf vegetativem Wege entstandene Pflanzenindividuen tatsächliche Verjüngungsergebnisse sind, beweist auch H e r t z (1926, S. 103), da die Erneuerung der Wuchskraft in den vegetativ entstandenen Individuen oft ebenso vollständig ist, wie die geschlechtlich entstandener Individuen. Das sind zwei beinahe gegensätzliche Ansichten, die sich noch nicht zu einem gemeinsamen Standpunkt durchgerungen haben. M o l i s c h (1921, S. 263) z. B. meint, dass das letzte Wort über dieses interessante Problem noch nicht gesprochen sei. Seine Ansicht stützt er durch folgende Tatsache: das Reis von einem alten Baum genommen zeigt schwachen Wuchs und erzeugt bald Blüten und Früchte; das Reis von einem jungen Sämling wächst hingegen rasch und produziert erst nach längerer Zeit Blüten und Früchte. Das deutet allerdings darauf hin, dass das Gewebe des Vegetationspunktes, der von einem alten Baum stammt, andere Eigenschaften hat als das eines jungen Baumes; mit anderen Worten, auch die Gewebe der Vegetationspunkte könnten in den angeführten Fällen mit dem Alter des Individuums bleibende Veränderungen erleiden. Dasselbe meint auch B e n e d i c t (1915), der auf Grund einer Menge von Beobachtungen und Messungen festgestellt hat, dass beim Weinstock und bei anderen Gehölzen die Änderungen des Blattes mit zunehmendem Alter des Mutterstockes eine bestimmte Veränderung erleiden: die durch die kleinsten Auszweigungen der Nervatur gebildeten

Maschen des Geäders werden kleiner. Benedict fand auch eine Abnahme der Intensität der Kohlensäure-Assimilation, der Atmung und der Spaltöffnungszahl mit zunehmendem Alter, und er kommt daher zu dem Schlusse, dass die Meristeme selbst mit dem Alter eine Änderung erfahren, die zur Altersschwäche oder Senilität führt (vgl. Molisch, 1921, S. 265—266). Das sind die wichtigeren Ansichten inbetreff der Erneuerung der Pflanzen, bzw. der Pflanzendecke, während grundlegende Arbeiten auf diesem Gebiet noch fehlen.

Die Erneuerung der Loodvegetation näher betrachtend, finden wir, dass hier ebensowohl geschlechtliche, wie auch ungeschlechtliche Vermehrung stattfindet. Die letztgenannte Art der Erneuerung tritt aber verhältnismässig häufiger auf, wie es bei allen ähnlichen Formationen der Fall ist, wo Gräser und ausdauernde Kräuter vorherrschen, da alle diese Gewächse imstande sind, sich ohne Samenbildung nicht nur dauernd zu erhalten, sondern auch erheblich zu vermehren (Fritsch 1902, S. 397—398). Das bestätigen fast alle, die sich mit der Erforschung der Wiesen befasst haben. Palmgren (1922, S. 102) hat beobachtet, dass die Vermehrung auf vegetativem Wege innerhalb der Laubvegetation ausserordentlich stark ist. Auf Grund der Beobachtungen Ramenskij's (1924) hat die Erneuerung in den krautigen Coenosen (Wiesen, Steppen und Mooren) hauptsächlich auf vegetativem Wege zu verlaufen und die Zufuhr von Ausbreitungseinheiten keine grosse Rolle zu spielen. Dasselbe bestätigt auch Sukatschew (1925)⁶⁾. Das ist auch vollkommen natürlich, da auf dem Lood, wie auf allen Wiesenformationen, Verhältnisse herrschen, die eher eine vegetative Vermehrung als die Erneuerung durch Samen begünstigen (das ständige Abgrasen des Lood durch die Herden, das Mähen der Heuschläge). Ebenso führt die vegetative Vermehrung den Bestand schneller zur Erneuerung: während die Samen einer Pflanze gewöhnlich eine Zeitlang im Boden ruhen, ehe sie keimen, jedenfalls aber, wenn sie keimen, es einer geraumen Zeit bedarf, ehe aus ihnen wieder fortpflanzungsreife Individuen erwachsen, geht es mit der Vermehrung und

⁶⁾ In Russland hat die Wiesenforschung, nach der Zusammenfassung von Aléchin (1925, 1927) zu urteilen, grosse Fortschritte gemacht; leider aber hat der Verfasser diese Arbeiten nicht zu Gesicht bekommen können.

Ausbreitung durch Ausläufer u. s. w. oft unglaublich schneller, und meist kann eine vor wenigen Wochen in dieser Weise gebildete Pflanze ihrerseits schon wieder neue Ausläufer u. s. w. treiben, so dass, wenn sonst die Verhältnisse günstig sind, durch solche Vermehrung eine Pflanze in kurzer Zeit trotz ihres schrittweisen Vorrückens einen grösseren Raum überzogen haben kann, als manche andere, die an ihren Samen ausgezeichnete Verbreitungsvorrichtungen besitzt (Hildebrand 1873, S. 39—40). Bei einer so raschen Vermehrung durch verschiedene Knospen nehmen mehrjährige Pflanzen vollständig Überhand. Wettstein (1904, S. 18) bemerkt deshalb treffend, dass einjährige Arten auf Wiesen auffallend selten sind. Es ist dies leicht verständlich: einjährige Pflanzen, welche im Frühjahr keimen, werden sich selten so rasch entwickeln, dass sie schon vor der ersten Mahd zur Fruchtbildung gelangen. Sie werden daher auf Wiesen ausgetilgt oder zur Ausbildung ausserordentlich rasch sich entwickelnder Formen gezwungen, wie dies bei den Saisondimorphen der Fall ist. Bei diesem Kampf ums Dasein treten sicher die sich durch Samen erneuernden Pflanzen in den Hintergrund, — nicht nur um den Raum oberhalb des Bodens ringt die Pflanze, sondern auch im Boden tritt Wurzelkonkurrenz auf. Und nicht nur wenn oberirdisch die Vegetationsdecke geschlossen erscheint, sondern oft auch bei oberirdischer Offenheit kann ein geschlossener Wurzelfilz auftreten, in welchem schon um Nährstoffe gerungen wird (Rübel 1913, S. 862). Darum können sich auf dem Lood nur diejenigen Annuellen entwickeln, deren Wurzeln schwach sind, nicht allzutief in die Erde dringen und nur die Nährstoffe brauchen, die in der obersten Schicht zu finden sind. Im allgemeinen ist der ganze Haushalt der Pflanze hier deutlich auf ganz bestimmte Aussenbedingungen angewiesen, unter denen die Pflanze sich natürlich entwickeln kann (vgl. Walter 1927, S. 76).

Wenn wir auch über die vegetative Vermehrung hier und da einzelne Bemerkungen finden, — obgleich sogar über die Wiesen grundlegende Arbeiten auf diesem Gebiete fehlen, — ermangeln wir doch jeglicher Angaben über die Erneuerung durch Samen, sowohl für das Lood, wie auch für die Wiesen. Die Erneuerung der Wiesenformation auf geschlechtlichem Wege ist bis jetzt nicht behandelt worden. Diese Frage steht darum noch vollständig offen (vgl. auch Sukatschew, 1925, S. 17). Palmgren (1922, S. 107—108) geht nur ein wenig auf die Erneuerung der

Laubvegetation durch Samen ein, und empfiehlt auf diese Frage näher einzugehen.

Ein Bestand kann sich nur dann durch Samen erneuern, wenn die Samen der Pflanze auf dem gegebenen Standort reifen können und wenn die Keimungsverhältnisse günstig genug sind. Fehlt einer dieser Faktoren, so kann von einer regelrechten Erneuerung nicht die Rede sein, — ist der Zufall günstig, so findet diese nur teilweise statt, anderenfalls ist sie äusserst mangelhaft. Der letztere Fall tritt besonders dann ein, wenn die Witterung dem Keimen ungünstig ist (Ilvessalo 1917). Besonders massgebend ist hier eine grössere oder geringere Niederschlagsmenge, ebenso die Temperatur 7).

Bei der Beobachtung der auf dem Lood auftretenden Pflanzen stellt es sich heraus, dass die Erneuerung der Pflanzenbestände überhaupt langsam vonstatten geht, und zwar ist diese Erscheinung nicht besonders auffallend. Es steht fest, dass alle Pflanzen dieser Formation sich durch Samen erneuern können, wenn nur die Bedingungen dazu günstig sind. Gewöhnlich aber vollzieht sich die Erneuerung nicht bei jeder Pflanze auf diese Art, sondern wir können feststellen, dass die einen die vegetative Vermehrung bevorzugen, welche sich bei ihnen in jeder Vegetationsperiode wiederholt, während eine Erneuerung durch Samen bei ihnen verhältnismässig selten

7) Die Erneuerung der Wälder durch Samen, die sog. natürliche Verjüngung, ist verhältnismässig oft behandelt worden. Genauer über diese Frage kann man in allen grösseren Lehrbüchern des Waldbaus finden (z. B. Bühler 1922, II. Band, S. 257—412), wo auch die entsprechende Literatur angeführt ist. Angaben über die Wälder Deutschlands findet man auch bei Kast (1890) und Schwappach (1895). In der russischen Literatur behandeln diese Frage Morosow (1924), Reinwald (1911), Melder (1913), Polownikow (1913). In der letzten Zeit wurde besonders intensiv in dieser Richtung in Finnland gearbeitet, wo Renwall (1912), Lakari (1920), Ilvessalo (1912), Aaltonen (1919), Lassila (1920) die Erneuerung der Kiefernwälder behandelt, Kujala (1924) auf die Erneuerung von *Alnus glutinosa* näher eingeht. Hertz (1926) beobachtete die Erneuerung der Linde und Palmgren (1912) diejenige des *Hippophaes-rhamnoides*-Bestandes. Die Erneuerung der Kiefernwälder Schwedens behandelt Hesselman (1910, 1917). Die Erneuerung der Wälder berühren auch Kihlmann (1896) und Cajander (1922). In diesen Arbeiten findet man auch Angaben über sämtliche Literatur betreffend die natürliche Erneuerung der Wälder.

ist, andere Pflanzen vermehren sich aber nur durch Samen, d. h. auf geschlechtlichem Wege, und eine vegetative Vermehrung kommt bei ihnen gar nicht vor. Zu den letzteren gehören die einjährigen Pflanzen. Während der ungünstigen Zeit überwintern sie als Samen, die in der feuchten Frühlingszeit stark quellen und bei günstiger Temperatur zu keimen anfangen; sie erneuern also den Pflanzenbestand zu Beginn der Vegetationsperiode durch Keimlinge, entwickeln sich dann schnell weiter, so dass sie die trockene Sommerzeit im Erstarkungsstadium verbringen können, und blühen und reifen dann im Hochsommer oder im Herbst (*Euphrasia*-Arten, *Gentiana amarella* * *axillaris* u. a.). Das sind typische einjährige Sommerpflanzen, *plantae annuae aestivales* (A s c h e r s o n 1864, S. 16). Ein Teil der Pflanzen blüht im Frühling, reift und zerstreut seine Samen schon im Frühsommer. Die heisse Sommerzeit im Ruhestadium verbringend, keimen die Samen im Herbst und entwickeln sich im Laufe der warmen Zeit zu Blattrosetten. Diese können ihre Blüte bis zum nächsten Jahre aufschieben, in welchem Falle nur die Wurzelblätter überwintern, um während des zweiten Jahres die Assimilationsarbeit wieder aufzunehmen (A r e s c h o u g 1896, S. 4). In diesem Fall erneuert sich die Pflanzendecke zu Beginn der Vegetationsperiode durch Jungpflanzen, die sich bis zum Anbruch der heissen Sommerzeit vollständig entwickeln und dann absterben. Das sind überwinternde einjährige Pflanzen, *plantae annuae hiemantes* (*Erophila verna*, *Saxifraga tridactylites*, *Androsaces septentrionale*, auch *Arenaria serpyllifolia* u. a.), und auch zweijährige Pflanzen, *plantae biennes* (A s c h e r s o n l. c.) (*Carum carvi*, *Draba incana* u. a.). Die Mehrzahl der Loodpflanzen überwintert in Gestalt von Dauerorganen; diese sind entweder unterirdisch (Wurzelstöcke, Knollen, Zwiebeln), oder sie liegen über der Erde (Ausläufer, Stengelsprosse) und an ihnen befinden sich die Erneuerungsknospen. Zu Beginn der Vegetationsperiode bilden sich aus den Knospen neue Sprosse und Teile, die die Pflanzendecke erneuern. Der Einteilung A s c h e r s o n s (l. c.) zufolge sind es ausdauernde Pflanzen, *plantae perennes*. Sie bilden die Mehrzahl der auf dem Lood auftretenden Pflanzen.

Wie es sich herausgestellt hat, wird die Pflanzendecke zu Beginn der Vegetationsperiode von den Pflanzen nicht in gleicher Weise erneuert. Je nachdem, wie sich die eine oder die andere Pflanze zu Beginn der warmen Vegetationsperiode zu erneuern

pflegt, können wir die auf dem Lood auftretenden Pflanzen provisorisch in drei grössere Gruppen einteilen:

1) Die Keimlingserneuerer; — Pflanzen, die als Samen überwintert haben, im Frühling bei steigender Temperatur keimen und am Anfang der Vegetationsperiode den Pflanzenbestand durch Keimlinge erneuern. Hierher gehören: die sommerannuellen Therophyten *Raunkjær's* (1905, S. 345; auch 1910, S. 142), die annuellen ästivalen Pflanzen *Massart's* (1888), (*Jeswiet* 1914, S. 352—355), die Monocotylen und dicotylen Therophyten *Drudes* (1913, S. 76—77), die einjährigen autotrophen Pflanzen und die einjährigen Hemiparasiten *Regel's* (1921, S. 65), die Samenüberwinterer *Linkola's* (1922, S. 104).

2) Die Jungpflanzenerneuerer; — Pflanzen, die im vorangegangenen Sommer oder Herbst gekeimt und sich mehr oder weniger entwickelt, als Blattrosetten oder mit einzelnen Blättern überwintert haben und am Anfang der Vegetationsperiode den Pflanzenbestand erneuern. Zu dieser Gruppe gehören im engeren Sinn die winterannuellen Therophyten *Raunkjær's* (l. c.), die annuellen hibernalen Pflanzen *Massart's* (l. c.), (*Jewiet's* Gruppe A, 1914, S. 333—336), die winterannuellen Pflanzen *Warming's* (1918, S. 162) und *Regel's* (l. c.), die winterannuellen Rosettenüberwinterer *Linkola's* (l. c.) z. T., u. s. w.

3) Die Knospenerneuerer; — Pflanzen, deren gewöhnliche Erneuerungsorgane an unter oder über der Erde befindlichen Pflanzenteilen überwintern und zu Beginn der neuen Vegetationsperiode neue Sprosse liefern, die den Pflanzenbestand erneuern. Das sind meist ausdauernde Pflanzen, deren Lebensdauer ein oder zwei Jahre übertrifft; hierher gehören z. B. zum Teil die Phaerophyten, Chamaephyten, Hemikryptophyten, Kryptophyten *Raunkjær's* (l. c.)⁸⁾.

Die letzte Gruppe kann man, je nach der Beschaffenheit der Dauerorgane, an denen die Knospen sitzen, in Untergruppen teilen: a) Wurzelstockerneuerer, b) Knollenerneuerer, c) Zwiebelerneuerer, d) Ausläufererneuerer u. s. w.

⁸⁾ Diese Gruppe entspricht auch teilweise, auf das Lood bezogen, den entsprechenden Einteilungen der mehrjährigen Pflanzen anderer Autoren, ebenso dem radicanten Typus *Gams'* (1918, S. 332—334).

Wie aus den angeführten Analysen ersichtlich wird, können die Pflanzen aller oben erwähnten Gruppen die Loodvegetation durch Samen erneuern, wenn die Bedingungen dazu günstig sind; vor allem muss die Pflanze die Fruchtreife erreichen können. Aber das Lood bietet weder als Weideland, wo das Vieh wiederholt die Stengel kappt, noch als Heuschlag, wo der Mensch durch die Mahd das Reifen der Samen hindert, irgendwelche grössere Möglichkeiten für eine Fruchtreife. Darum muss auch die Erneuerung durch den Knospen entsprungene Sprosse, d. h. durch Knospenerneuerer, viel stärker vertreten sein, als die Erneuerung durch Keim- und Jungpflanzenerneuerer. Wie sich die Erneuerung vermittels der letzteren auf dem Lood vollzieht, wird später gezeigt werden.

Über die Arbeitsmethode.

Um Aufschluss über die Frage der natürlichen Erneuerung der Vegetation zu erhalten, versuche ich die Zahl der Keimlinge, wie auch das Auftreten von Jungpflanzen auf dem Loodgebiet festzustellen. Zwecks Untersuchung der Keimlinge wurde auf einer, jeden Loodtypus charakterisierenden Stelle ein $(20\text{ cm})^2$ grosses Viereck mit Hilfe eines dieser Grösse entsprechend einstellbaren Rahmens abgemessen. Ein Viereck von dieser Grösse hat sich aus dem Grunde als am geeignetsten erwiesen, weil es leicht in 1 dm^2 grosse Teile zerlegt werden kann, die ihrerseits ein besseres und genaueres Beobachten der Keimlinge in der gesamten Pflanzenmenge ermöglichen. Das Viereck wurde dem Rahmen nach abgemessen, indem an dessen Innenrand ein dünner Strich geführt wurde; an einer Seite wurde eine tiefere Rinne gezogen, die für den Schaufelstich bestimmt war. Die Oberseite des Vierecks wurde vorsichtig mit allen Wurzeln aufgenommen und durch 2 sich kreuzende Striche in 4 Quadratdezimeter geteilt, die der Reihe nach erst ein wenig von der Erde befreit, dann aber in der Hand in kleine Teile zerlegt wurden, um hierauf dementsprechend untersucht zu werden.

Bei der Untersuchung wurden zwei Methoden angewendet: der ersten Methode nach wurden alle Pflanzen eines dm^2 — die wachsenden und abgestorbenen, wie auch die Keimlinge — gezählt. Als selbständiges Individuum wurde die Pflanze betrachtet, die einen oberflächlich selbständigen Spross besass, ungeachtet dessen,

dass diese Sprosse sich unterirdisch oft zu einer Pflanze oder einem Pflanzenbüschel (Gräser) vereinigten. Wurde bei der Teilung in dm² ein kriechender Spross (z. B. von *Trifolium repens*) halbiert, so wurden die beiden Teile doch als selbständige Individuen betrachtet, wenn beide an den Knotenpunkten Wurzel geschlagen hatte. Beim Schneiden wurde versucht, durch grosse Vorsicht die Zahl solcher Pflanzen nach Möglichkeit zu verringern.

War auf diese Weise der ganze Lappen in einzelne Pflanzen zerpfückt, so wurden die Keimlinge und Jungpflanzen gezählt, indem sie im Arbeitsheft durch das entsprechende Zeichen (○) vermerkt wurden. Dasselbe geschah auch mit den übrigen Pflanzen, wobei bei der entsprechenden Art die Zahl der Pflanzen einfach durch Vertikalstriche (|) vermerkt wurde; alle erhaltenen Daten wurden nach der Analyse zusammengezogen. Die Keimlinge wurden meist noch als Herbariummaterial gesammelt, das nach der Zählung innerhalb eines Lappens nochmals durchgesehen und mit der schon verzeichneten Zahl verglichen wurde. Unter den Keimlingen wurden auch so junge Pflanzen gefunden, dass es schwer fiel, die Art zu bestimmen oder einander nahestehende Gattungen zu unterscheiden (z. B. *Taraxacum* und *Leontodon*); solche Fälle wurden mit dem Wort „Ignotus“ vermerkt; auf diese Weise war es möglich, die Zahl der Keimlinge eines Vierecks genau festzustellen. Mancher zweifelhafte Keimling wurde anfangs mit einem Fragezeichen (?) versehen und der vermuteten Art beigelegt. Erwies sich aber während der Arbeit seine wirkliche Stellung, so wurde der anfangs nur provisorisch eingereihte Keimling der entsprechenden Art angegliedert, oder das Fragezeichen getilgt. Konnte auch weiterhin die Zugehörigkeit eines solchen Keimlings nicht festgestellt werden, so wurde er in die Rubrik „Ignotus“ gestellt.

Um auch das Absterben der Formation feststellen zu können, wurden auch die abgestorbenen Pflanzen gezählt, zu denen die Überreste und Teile der Sprosse gerechnet wurden, die kein Leben mehr zeigten: sie waren entweder ganz abgestorben oder befanden sich im Absterben. Hier wurden die Arten nicht voneinander unterschieden, — das hätte mich meinem Ziele nicht näher gebracht, — sondern alle wurden unter eine Rubrik „abgestorben“ gesetzt. Meistens waren aber die abgestorbenen Pflanzen Gräser, unter ihnen befanden sich in der Mehrzahl: *Avena pratensis*, *Koeleria grandis*. Zu den toten Pflanzen wurden auch die hapax-

anthen Pflanzen gezählt, die im Frühling und Frühsommer geblüht hatten, während der Untersuchung aber vollständig vertrocknet und gebrochen waren, so dass sie nicht mehr den Eindruck einer vollständigen Pflanze machten: z. B. *Erophila verna*, *Saxifraga tridactylites*, *Androsaces septentrionale*, *Veronica verna* u. a.

Die oben beschriebene Zählungsmethode ermöglicht eine Übersicht über den Prozentsatz der Keimlinge, bezogen auf die Zahl der Pflanzenindividuen des ganzen Vierecks; ebenso zeigt sie die Abundanz einer oder der anderen Art. Aber weder der Prozentsatz noch die Abundanz sind hier besonders massgebend, da die Pflanzen sehr verschiedene Grösse und verschiedenen Deckungsgrad aufweisen: wenn z. B. *Festuca ovina* auf 1 dm² bis 200 Sprosse aufweist, kann ein *Cirsium acaule* allein dieses Gebiet einnehmen; der Deckungsgrad von *Alchimilla vulgaris* ist ebenfalls durchaus anders als z. B. derjenige von *Avena pratensis*. So würden einige Keimlinge, auf Pflanzen von grossem Deckungsgrad bezogen, einen verhältnismässig grossen Prozentsatz ausmachen, der Prozentsatz wäre aber recht klein, wenn man die Zahl der Keimlinge auf Pflanzen von geringem Deckungsgrad bezieht. Aus diesem Grunde hat die Zählung der Individuen keinen wesentlichen Wert, weshalb die Arbeitsmethode dementsprechend umgestellt werden musste. Als für den Vergleich am geeignetsten erwies sich die Grösse eines Gebietes: darum habe ich auch die ganze Arbeitsmethode geändert und dabei besonders im Auge behalten, dass die Zählungsmethode verhältnismässig viel Zeit erfordert und umständlich ist, besonders in dem Fall, wenn man allein ohne Protokollführer arbeitet (das beständige Vermerken mit erdigen Händen beschmutzt das Arbeitsbuch, während bei Regen oder etwas feuchtem Wetter das Arbeiten vollständig unmöglich wird). Dieses in Betracht ziehend, wurde die Methode dadurch vereinfacht, dass nur die Keimlinge von 1 dm² gezählt und die auf dem Viereck auftretenden Pflanzen nur durch das Zeichen + vermerkt wurden. Dadurch blieb für den Vergleich zur Feststellung der relativen Häufigkeit der Keimlinge, wie schon gesagt, nur die Grösse des untersuchten Gebietes übrig. Während der Arbeit betrug die Grösse des Gebietes 1 dm², aber bei der Zusammenstellung der Tabellen bereitete ein so kleines Gebiet Schwierigkeiten: die Zahl der Tabellen wäre verhältnismässig gross geworden, während eine umfassende Tabelle nicht

die nötige Übersicht geboten hätte. Aus diesem Grunde zog ich 4 nebeneinander liegende 1 dm² grosse Vierecke zu einem (20 cm)² grossen Gebiet zusammen, wodurch das Zusammenstellen der Tabelle erleichtert wurde⁹⁾. Diejenigen Vierecke, auf denen die Pflanzen gezählt wurden, behielten ihre Grösse bei und die Tabellen sind dementsprechend zusammengestellt worden, — zum Vergleich mit den anderen muss man bei letzteren die 4 einander folgenden Vierecke (1, 2, 3, 4) ebenfalls zu Gebieten von (20 cm)² zusammenziehen.

Bei der Zusammenstellung der Tabelle wurde die Methode von D u R i e t z (1921) angewandt: in jeder Tabelle sind die Arten nach Schichten angeordnet (in der ersten Rubrik durch die Buchstaben A, B, C, D verzeichnet), in jeder Schicht sind sie nach den Grundformen (in der zweiten Rubrik durch die Buchstaben n, h, g verzeichnet), in jeder Grundform in alphabetischer Reihenfolge angeordnet. Die Konstanz der Arten (im Sinne von B r o c k m a n n - J e r o s c h [1907, S. 224—245]) wird ebensowohl durch die Zahl der Quadrate, in denen die Arten vorkommen, wie auch durch den Prozentsatz der Konstanz repräsentiert (vgl. V i l b e r g 1927, S. 11—13).

Bei jedem Viereck, d. h. auf einem jeden Gebiet von (20 cm)², wurden auch die Moose und Flechten verzeichnet (meist *Thuidium abietinum* Bryol. eur., *Climacium dendroides* Web. et Aloh., *Hylacomium proliferum* L., *Peltigera canina* L., *P. apthosa* L., auf nacktem Kalk auch *Ceratodon purpureus* Brid., *Ditrichum flexicaule* Hampe, dann *Cetraria islandica* Ach., *C. nivalis* L., *Cladonia pyxidata* L. u. a. — Vgl. V i l b e r g 1927, S. 108—110). In der Tabelle sind sie nicht verzeichnet, sind aber, wenn es zur Illustration der Vegetationsverhältnisse erforderlich erschien, in den Untersuchungsprotokollen vermerkt worden. In der Schreibweise der Anthophyten und Pteridophyten habe ich mich ganz konsequent an die Nomenklatur von A s c h e r s o n - G r a e b n e r (1898—99) gehalten.

⁹⁾ Während der Arbeit auf dem 1 dm² grossen Viereck wurde immer die am meisten verbreitete Art mit dem Dominanzzeichen (†) versehen. Es war nicht möglich, auch bei der Vereinigung diese Ergänzung durchzuführen, da, während auf einem dm² eine Pflanze dominiert, dieselbe im nebenstehenden Streifen vollständig fehlen kann. Darum blieben die Dominanzverhältnisse bei der Zusammenstellung der Tabelle vollständig unberücksichtigt.

Im ganzen sind nach der ersten Methode, d. h. alle Pflanzen und Keimlinge zählend, Analysen von 92 dm² gemacht worden; nach der anderen Methode, d. h. indem nur die Keimlinge und Jungpflanzen gezählt und die auftretenden Pflanzen durch ein + vermerkt wurden, sind 420 dm² analysiert worden. Die Gesamtzahl der Analysen beträgt somit 512 dm²; ihre Daten sollen weiterhin aufgeführt werden.

Ebenso halte ich es für notwendig, genauer zu erklären, was ich unter dem Terminus „Keimling“ verstehe. Dieser Begriff ist verschieden definiert und nicht immer vom gleichen Standpunkt ausgehend behandelt worden.

Vom physiologischen Standpunkte aus betrachtet H a b e r l a n d t (1877, S. 2) ein junges Pflänzchen so lange als Keimpflanze, bis es die ihm mitgegebene Reservenernährung vollkommen aufgezehrt hat. Danach wäre eine zweijährige Eiche, welche schon mehrere echte Laubblätter und einen verholzten Stengel besitzt, deren unterirdische Keimblätter aber noch unverbrauchte Reservestoffe enthalten, immer noch als Keimpflanze anzusehen, während ein winziges, bloss mit zwei grünen Kotyledonen und einer kleinen Hauptwurzel versehenes Tabakpflänzchen, das seine Reservestoffe zur Ausbildung und Entfaltung der genannten Organe schon vollständig verbraucht hat, nur mit Unrecht als Keimpflanze betrachtet würde. Da nun aber den Reservestoffen gerade in den späteren Stadien der Keimung nur mehr eine biologische Bedeutung als Schutzmittel des jungen Pflänzchens zufällt, so ist es mehr als zweifelhaft, ob man es hier wirklich mit einer vom streng physiologischen Gesichtspunkt ausgehenden Definition zu tun habe. Darum ist man bestrebt den Begriff des Keimlings einzuschränken, indem man feststellt, dass eine jugendliche Pflanze nur so lange als Keimpflanze zu betrachten sei, als jene anatomisch-physiologischen, auf Grund der vorhandenen Reservestoffe sich vollziehenden Prozesse, welche die selbständige Ernährung des Pflänzchens ermöglichen sollen, noch nicht beendet sind; kann sich dasselbe einmal selbständig ernähren, so ist es im physiologischen Sinne keine Keimpflanze mehr, ob ihm nun Reservestoffe noch zur Verfügung stehen oder nicht. Mit der pflanzenbiologischen Betrachtungsweise rechnend, definierte H a b e r l a n d t (l. c.) den Begriff des Keimlings folgendermassen: das junge Pflänzchen wird so lange als Keimpflanze angesehen,

als es sich in den habituellen Merkmalen seiner Vegetationsorgane noch auffällig von der entwickelten Pflanze unterscheidet. Diese Definition des Keimlings oder der Keimpflanze ist vielleicht die treffendste. Aber durch das Beobachten nur in diesem Stadium befindlicher Pflanzen würde ich nicht die erwünschten Erfolge in meiner Arbeit erzielen. Dem gewöhnlichen Keimlingsstadium folgt eine Periode, wo man den Keimling als Jugendform bezeichnet (Göbel 1908; Karsten 1914); diese aber ist schwer zu begrenzen, da die Abweichungen dieser Jugendstadien von der Folgeform mehr oder minder gross sein können, indem diese beiden Streifen ihrerseits natürlich wieder Reihen von Entwicklungsvorgängen bezeichnet, die meist ohne scharfe Grenzen ineinander übergehen. Namentlich ist dies der Fall, wenn der Keimling anderen Verhältnissen angepasst ist, als die späteren Entwicklungsstadien (Göbel 1913, S. 403). Die schwedischen Forscher, die sich mit den Lebensäusserungen der Pflanze im Keimlingsstadium befasst haben (Nilsson 1885, Areschoug 1896), unterscheiden hier ein primäres oder erstes Erstarkungsstadium, welches Sylvéén (1906) als das rein vegetative Stadium definiert, das eine aus Samen hervorgegangene Pflanze durchlaufen muss, bevor sie zum ersten Male das florale Stadium erreicht. Dieses Stadium teilt er in ein Keimungs-, ein Keimpflanzen- und ein Jungpflanzenstadium ein, während innerhalb des letzteren noch folgende Gruppen unterschieden werden: Pflanzen im ersten Jahre („års" oder „första-(1-)årsplantor"), Pflanzen im zweiten Jahr („andra-(2-)årsplantor") und mehrere Jahre alte Pflanzen („flerårsplantor"). Die Einteilung von Sylvéén für die zweckmässigste haltend, habe ich bei meiner Untersuchung Pflanzen im Keimungs- und Keimpflanzenstadium beobachtet, letztere besonders im Sinn Haberlands (l. c.), während vom Jungpflanzenstadium nur Pflanzen im ersten und zweiten Jahre, ebenso mehrjährige Pflanzen, wenn sie sich im Lauf der gerade beobachteten Vegetationsperiode entwickelt haben, in Betracht gezogen wurden. Somit wurden in der vorliegenden Arbeit Pflanzen betrachtet, die 1) in Form von Samen, 2) im Keimungsstadium und 3) in mehr oder weniger vorgeschrittenem Jungpflanzenstadium überwintern. Zu der ersten Gruppe gehören die pollakanthen ebensogut wie die hapaxanthen Pflanzen, wenn nur das Keimen im Frühling zu Beginn der Vegetationsperiode begonnen

hat (Keimlingserneuerer); zur zweiten Gruppe gehören die Pflanzen, die im Spätherbst gekeimt und als Keimlinge unter mehr oder weniger günstigen Bedingungen überwintert haben, während zur dritten Gruppe die Pflanzen gezählt werden, die im Spätsommer gekeimt, sich im Laufe des Sommers zu mehr oder weniger fortgeschrittenen Pflanzen entwickelt und als solche überwintert haben (Jungpflanzenerneuerer). Weniger Aufmerksamkeit wurde all denjenigen jungen Pflanzen oder Sprossen geschenkt, die den Knospen entsprungen sind (Knospenerneuerer); obgleich auch sie bis zu einem gewissen Grade die Gesamtvegetation erneuern, sind sie doch nur im allgemeinen betrachtet worden.

Erneuerung der Loodvegetation.

Es ist natürlich, dass auf dem Lood, wo die Wachstumsbedingungen, besonders der Boden und die Feuchtigkeit, verschieden sind (Vilberg 1927, S. 27—43), auch die Keimungsbedingungen der Samen sich dementsprechend ändern. Darum kann die Erneuerung durch Samen bei weitem keine gleichbleibenden Resultate erzielen. An einem Ort finden wir eine Menge Keimlinge, an einem anderen nur vereinzelte; an einigen Stellen finden wir inmitten einer mehr oder weniger offenen Vegetation einige Dutzend Keimlinge, aber trotzdem findet an solch einer Stelle keine durchgreifende Erneuerung der Vegetation statt, sondern diese verbleibt ebenso offen wie früher. Dagegen können wir innerhalb einer geschlossenen Vegetation verhältnismässig wenige im Laufe der gleichen Vegetationsperiode entwickelte Jungpflanzen beobachten, im allgemeinen aber bleibt die Pflanzendecke in sich geschlossen. Hier muss eine Reihe von Faktoren wirken, die so oder anders, direkt oder indirekt, die Erneuerung beeinflussen und die man nicht unbeachtet lassen darf, wenn man die Erneuerung der Loodvegetation betrachtet.

Im Grunde genommen können wir auf dem Lood drei Keimungsperioden beobachten: eine im Vollfrühling zu Beginn der Wachstumsperiode, wo die latenten Kräfte der Samen, die im Winter unter der Schneedecke geruht haben, unter dem Einfluss der Feuchtigkeits- und Wärmezunahme ihren Ruhezustand aufgeben, oder wo die glücklich überwinterten Keimlinge und Jungpflanzen mit grösserer Energie zu wachsen beginnen; die zweite Periode fällt in den Frühherbst, wo nach den Niederschlägen des Juli und August die im Früh- und Hochsommer entstandenen und gereiften Samen unter günstigen Bedingungen zu keimen anfangen, und die dritte in den Herbst. Zwischen diesen bedeutsamsten Zeit-

abschnitten kann man einzelne keimende Samen finden, namentlich solche, bei denen die Dicke der Schale ein schnelles Keimen verhindert (z. B. *Trifolium repens*, *Sagina nodosa*, *Euphrasia stricta*, auch *Gentiana axillaris*). Meist aber sind die Keimungsverhältnisse des Hochsommers ungünstig, denn zu dieser Zeit herrscht meist grosse Trockenheit, vereint mit grosser Hitze, die das Spriessen des Keimlings unmöglich machen; die Samen einiger Pflanzen haben dann ihre Ruheperiode, den anderen fehlt die nötige Feuchtigkeit. Ist aber der Sommer regnerisch, oder der Himmel längere Zeit bewölkt, und herrscht zugleich Windstille, so findet sich auch im Juli-August eine gehörige Anzahl von Keimlingen.

Beim Keimen muss man in Betracht ziehen, dass auch unter günstigen Bedingungen nicht alle Samen mit der gleichen Geschwindigkeit keimen. Als Ursache kann man hier gerade die oben erwähnte Hartschaligkeit anführen. Sicher ist aber, dass auf dem Land einige Samen im Frühling nach der Schneeschmelze sich zu entwickeln anfangen, und zwar dann, wenn die Temperatur der Erdoberfläche genügend gestiegen ist, um den Beginn des Keimens zu ermöglichen. Andere Samen brauchen mehr Zeit zum Quellen. Interessant sind in dieser Beziehung die Versuche Chrebtow's (1909), die zur Bestimmung der Keimungsgeschwindigkeit der Samen von Unkräutern im Laufe von 102 Tagen (1. III. — 10. VI. 1909) und bei einer Laboratoriumstemperatur von 10—20° R. durchgeführt wurden. Wählt man hier die Daten den Loodpflanzen entsprechend und fügt eine Rubrik hinzu, welche zeigt, nach wieviel Tagen die letzten Samen zu keimen anfangen, so erhält man die umstehende Tabelle (S. 32).

Diese Tabelle ist für uns in der Beziehung bemerkenswert, dass sie uns zeigt, wieviel Zeit die Samen brauchen, um bei günstigen Bedingungen ins Keimen zu kommen. Auf dem Lood sind die Bedingungen lange nicht so günstig wie im Laboratorium, und darum verstreicht hier noch mehr Zeit bis zum Beginn des Keimens. Hier liegt aber für die Keimlinge die Gefahr vor, dass sie sich nicht bis zum Eintritt der sommerlichen Dürre genügend entwickeln können, da bei der grossen Trockenheit und Hitze des Sommers, auf die wir noch weiterhin eingehen werden, ein grosser Teil der Keimlinge oder der gerade im Beginn des Keimens stehenden Samen zugrunde geht. Die umstehende Tabelle gibt auch über den Keimungsprozentsatz Aufschluss, welcher bei eini-

gen Pflanzen nicht allzugross ist (*Vicia cracca*, *Trifolium pratense*, *Medicago lupulina*, *Alchimilla vulgaris*); er wäre aber bei einigen Pflanzen gewiss grösser gewesen, wenn der Versuch längere Zeit gedauert hätte (*Trifolium repens*, *Plantago medio*,

Name der Pflanze	Zahl der Tage, nach welchen die ersten Samen zu keimen anfangen	Zeit, im Laufe welcher alle Samen gekeimt hatten	Keimungsprozent	Zahl der Tage, nach welchen die letzt. Samen keimten
<i>Achillea millefolium</i>	7	7. III.—19. IV.	39	50
<i>Alchimilla vulgaris</i>	11	11. III.—15. V.	43	76
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	9	9. III.—22. V.	62	83
<i>Brunella vulgaris</i>	14	14. III.—12. V.	90	43
<i>Calamintha acinos</i>	11	11. III.—14. IV.	99	45
<i>Campanula rotundifolia</i>	10	10. III.—25. IV.	100	56
<i>Cerastium triviale</i>	7	7. III.—27. III.	96	27
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>	7	7. III.—26. IV.	98	57
<i>Dactylis glomerata</i>	12	12. III.—30. V.	92	91
<i>Dianthus deltoides</i>	9	9. III.—30. V.	90	91
<i>Leontodon auctumnalis</i>	7	7. III.— 1. VI.	78	93
<i>Lotus corniculatus</i>	6	6. III.—12. V.	54	73
<i>Medicago lupulina</i>	5	5. III.—19. IV.	41	50
<i>Phleum pratense</i>	8	8. III.—11. III.	99	11
<i>Plantago media</i>	8	8. III.—10. VI.	85	102
<i>Poa annua</i>	11	11. III.—30. V.	99	91
<i>Poa pratensis</i>	12	12. III.—12. V.	93	73
<i>Ranunculus acer</i>	14	14. III.— 5. VI.	90	97
<i>Rumex acetosa</i>	8	8. III.— 4. VI.	99	96
<i>Taraxacum officinale</i>	9	9. III.— 7. V.	57	68
<i>Trifolium pratense</i>	9	9. III.—31. III.	50	31
<i>Tr. repens</i>	4	4. III.— 7. VI.	75	99
<i>Urtica dioeca</i>	22	22. III.— 2. VI.	65	94
<i>Veronica chamaedrys</i>	12	12. III.—26. V.	95	87
<i>Vicia cracca</i>	7	7. III.—14. III.	20	14

Urtica dioeca, *Leontodon auctumnalis*; vgl. auch M o l i s c h 1921, S. 290 ff.).

Keimlinge kann man auf dem Lood während der ganzen Vegetationsperiode auf verschiedenen Entwicklungsstufen beobachten; ausgenommen ist nur der Frühlingsanfang, wo die Bodentemperatur die minimale Keimungstemperatur noch nicht erreicht hat. Nach der Schneeschmelze jedoch findet man auf dem Lood, besonders an unbeschatteten Stellen, am Rande von Spalten, an den Hängen von Kalkbrüchen gruppenweise und in Mengen diejenigen Pflanzen, die im Herbst zu keimen begonnen hatten und mehr oder weniger entwickelt überwintert haben. An erster Stelle steht

hier *Saxifraga tridactylites*, dann *Veronica verna*, *V. arvensis*, zum Teil auch *Androsaces septentrionale*. Diese Pflanzen entwickeln sich auf verhältnismässig dünner Bodenschicht, die leicht durchwärmt wird, sie blühen bald und sind mit Einbruch der heissen Zeit schon vollständig reif, welken und trocknen dann auf dem Kies.

Das Auftreten gerade der letztgenannten Pflanzen auf dem Lood erfordert, dass man sich bei Untersuchung der Looderneuerung nicht allein auf die Dauer einer Vegetationsperiode beschränkt, sondern dass man auch der vorangegangenen Wachstumsperiode Beachtung schenkt, da ein Teil der Pflanzen, wie früher erwähnt, schon im Herbst keimt und während der kalten Zeit als mehr oder weniger ausgebildete Pflanzen überwintert. Ebenso ist es hier von Wichtigkeit, wie die ausdauernden Pflanzen in das Stadium gelangt sind, in welchem sie die folgende Ruheperiode, den Winter, zu überdauern haben. Die Faktoren der vergangenen Wachstumsperiode können auf verschiedene Art auch die folgende Vegetationsperiode beeinflussen. Waren z. B. der Frühherbst und der Herbst des vorangegangenen Jahres warm und feucht, so keimte der grössere Teil der winterannuellen Pflanzen schon früh, sie entwickeln sich gut, befanden sich zu Beginn des Winters mehr oder weniger im Erstarkungsstadium und konnten bei günstigem Wetter besser überwintern. Bei kühlem, aber dennoch feuchtem Herbst sind aber die Keimlinge zu schwach und deshalb empfindlicher gegen ungünstige Überwinterungsverhältnisse. Ebenso sind die aufgespeicherten Nährstoffe bei den ausdauernden Pflanzen, den Verhältnissen der vorangegangenen Vegetationsperiode entsprechend, mehr oder weniger reichlich, und dieser Umstand beeinflusst zweifellos ebensowohl die Überwinterung, wie auch das Treiben der Knospen im Anfang der folgenden Wachstumsperiode.

Am zweckmässigsten beginnt man mit der Beobachtung der vorangegangenen Vegetationsperiode dann, wenn die Mehrzahl der Pflanzen mehr oder weniger ausgewachsen ist, die Früchte gereift sind und die Pflanzen daraufhin ihr energisches Wachstum eingestellt haben. Den klimatischen Verhältnissen Eestis entsprechend würde das ungefähr Mitte September sein (dritte Keimungsperiode). Ein Teil der Samen ist dann ausgestreut worden, ein anderer Teil hat den Ruhezustand der trockenen Sommerzeit aufgegeben, und mancher Same quillt, nachdem die reg-

nerische Periode angebrochen ist, und entwickelt sich für die ungünstige Winterzeit.

Auf Grund des oben Gesagten kann man für den Herbst 1922 in betreff des Loodgebietes folgende Angaben aus dem Bericht der Revaler Meteorologischen Station anführen, da die Angaben derselben für das Lood am charakteristischsten sind (vgl. Vilberg 1927, S. 27). Der September des Jahres 1922 war verhältnismässig warm. Die mittlere Temperatur betrug $11,0^{\circ}$ C; am 13. des Monats erreichte sie das Maximum von $21,0^{\circ}$ C und fiel am 23. IX. bis auf $2,0^{\circ}$ C. Nachfröste fehlten gänzlich. Zu Anfang des Monats war die Witterung trocken, zum Schluss aber regnete es fast täglich und die allgemeine Niederschlagsmenge betrug 35,6 mm. Die erste Hälfte des Oktobers war kühl (Maximum $11,4^{\circ}$ C) und regnerisch (Niederschlagsmenge 36,9 mm). Mitte des Monats fiel die Temperatur unter Null ($-0,8^{\circ}$ C), es gab ständige Nachfröste (bei $-6,6^{\circ}$ C), obgleich der Thermometer am Tage noch $3-4^{\circ}$ C zeigte. Die Kälte brachte auch eine dünne Schneedecke mit sich, die sich den Oktober und November über hielt; Mitte Dezember verschwand der Schnee vollständig, so dass eine dauernde Schneedecke sich erst ungefähr vom 15. Januar 1923 an zu bilden begann. Während der Erde die Schneedecke fehlte, war das Wetter verhältnismässig kalt (im November bis $-12,5^{\circ}$ C); der Rasen war dabei stellenweise von einer Eiskruste überzogen. Die Schneedecke hielt sich bis zum 21. März, das Wetter wurde aber darauf nicht wärmer, sondern blieb kühl, und die Nachfröste (März bis $-8,2^{\circ}$, April bis $-9,3^{\circ}$, Anfang Mai bis $-1,5^{\circ}$ C) hielten bis zum 6. Mai an (vgl. Vilberg 1927, Tabelle S. 23). Der Frühling war feucht, der Himmel bewölkt, Regen wechselte mit leichtem Schneefall ab. Die niedrige Temperatur (mittlere t° $7,4^{\circ}$ C) hielt beinahe bis Mitte Juni an, von da an wurde es allmählich wärmer.

Der Herbst 1922 war somit für das Keimen der Pflanzen verhältnismässig günstig, der September war es besonders, so dass die frühgereiften Samen zu keimen anfangen konnten. Der kühle Oktober begünstigte die Entwicklung nicht mehr viel, während die Temperatur zum Schluss des Monats gerade durch die Nachfröste ungünstig wurde. Den ganzen Winter über war die Witterung für die Pflanzenwelt ungünstig (verhältnismässig grosse Kälte zu Beginn des Winters, Fehlen der Schneedecke, Glatteis verbunden mit niedriger Temperatur). Ebenso waren die Wachs-

tumsbedingungen im Frühling ungünstig (kühler und bewölkerter Frühling mit ständigen Nachtfrösten, welche die Entwicklung der Pflanzenwelt hemmten); demzufolge blieb im Frühling die Entwicklung der Pflanzenwelt zurück¹⁰⁾. Der Sommer dagegen war mässig warm (Maximum von 25,2° C am 12. VII.; das Minimum im Juni 2,1°, im Juli 7,4°, im August 5,6°, im September 3,4° C) und niederschlagsreich (Juni 68,4 mm, Juli 73,3 mm, August 138,1 mm, September 66,3 mm); die Keimungsverhältnisse waren daher verhältnismässig günstig. Dürre gab es keine, und darum war das Lood, das im Hochsommer gewöhnlich geradezu verdorrt und gelb aussieht (vgl. Vilberg 1927, S. 32, auch die Anm. 3), diesmal mehr oder weniger grün, da der Boden meist feucht oder mindestens frisch war.

Meine Forschungen begannen im Juli 1923 und dauerten bis zum September. Es ist schwerlich zweckmässig, vor dem Juli Keimlinge zu suchen, denn obschon sie viel früher zu keimen beginnen, so sind sie im Juli verhältnismässig wenig entwickelt, sie befinden sich im sog. Keimlingsstadium, wo man sie voneinander

¹⁰⁾ Folgende Tabelle gibt den Mittelwert für den Anfang der Blütezeit von 4 Bäumen an, wie er für die Jahre 1923 und 1895 verzeichnet worden ist; die Daten sind von Kurrik (1924, S. 481—483) auf Grund phänologischer Beobachtungen zusammengestellt worden. Die Beobachtungen sind im selben Klimagebiet gemacht worden, in welches auch das Lood hineingehört, d. h. im Gebiet des kühl-marinen Klimas. Die Angaben vom Jahre 1895 sind nach Jentzsch (1895, 1896) zusammengestellt (vgl. Vilberg 1927, S. 21), wobei einige Zahlen interpoliert sind, da für einige Beobachtungsfunde die Daten fehlen.

Jahre	<i>Prunus padus</i>	<i>Prunus cerasus</i>	<i>Pirus malus</i>	<i>Syringa vulgaris</i>
1895	14. V.	15. V.	20. V.	20. V.
1923	4. VI.	9. VI.	17. VI.	23. VI.
Unterschied in Tagen	21	25	28	34

Die Angaben des Jahres 1895 entsprechen mehr den gewöhnlichen Zuständen, während das Jahr 1923 eine grössere Verspätung zeigt. Ebenso kann man beobachten, dass der Frühling von 1895 gleichmässiger warm war (ein geringerer Unterschied zwischen dem Anfang der Blütezeit der einzelnen Bäume), während im Jahre 1923 die kühle Witterung die Entwicklung der Blüten stark gehemmt hat.

nur mit gewissen Schwierigkeiten unterscheiden kann. Im Juli haben die Keimpflanzen oft schon einige der typischen Blätter, nach denen man die Pflanzen leichter auseinanderhalten kann. Aber auch dann noch findet man oft verhältnismässig junge Keimlinge, zuweilen sogar Samen, aus denen die Keimblätter erst eben anfangen auszutreten.

In meiner Arbeit bin ich nach folgendem Plan vorgegangen. Zuerst betrachtete ich im allgemeinen die Keimungsbedingungen und deren gegenseitige Verhältnisse auf dem ganzen Loodgebiet, indem ich das Lood in die vier typischen Formationen einteilte: 1) fast nackte, mit einer verhältnismässig dünnen Erdschicht bedeckte Kalksteingebiete, 2) der Karst, das ist ein flachgründiges Gebiet mit Kalksteinuntergrund, 3) das Schuttlood, das von einer mächtigeren Schicht Erde mit beigemengtem Schotter oder von Moräne bedeckt ist, 4) das Schuttlood-*Juniperetum*, wo zu den letztgenannten Faktoren noch die Wacholdersträucher sich hinzugesellen (vgl. S. 11—12). Nach diesen Betrachtungen berühre ich noch die Verhältnisse, die auf die Erneuerung durch Samen in dem einen oder anderen Gebiet günstig oder ungünstig wirken. Aber bei der Untersuchung der Keimlinge findet man auf den Untersuchungsvierecken fast immer auch abgestorbene Pflanzen, die auf die eine oder die andere Art zugrunde gegangen sind (meist sind es, wie oben erwähnt ist, Gräser — entweder *Avena pratensis*, *Koeleria grandis* oder *Festuca ovina*): auch sie wurden immer in Betracht gezogen, um mit ihrer Hilfe das eine oder das andere Erneuerungsverhältnis besser aufklären zu können.

Im allgemeinen kann man noch beobachten, dass man die Vegetationserneuerung des Lood im Vollfrühling und Frühsommer an der Hand der Knospenerneuerer vielfach verfolgen kann. Die Bildung neuer Sprosse aus Knospen, die am Wurzelstock, an der Rosette oder Zwiebel mehr oder weniger gut überwintert haben, ist am lebhaftesten beim Eintritt der warmen Zeit, und bald bedeckt sich die verblichene Pflanze mit Grün. Das Treiben von Sprossen und Ausläufern ist bei den Gräsern besonders gut zu beobachten, am besten bei *Festuca rubra* und auch *F. ovina*, *Agrostis vulgaris*, ebenso bei den Kräutern, denen der Semianismus in höherem Grade eigen ist (*Galium verum*, *Campanula rotundifolia*, *Achillea millefolium*, *Medicago lupulina* u. a.; vgl. Vilberg 1927, S. 34—35). Diese Tatsache wird durch das Fehlen des Viehs am Anfang des Frühlings auch teilweise be-

günstigt (man lässt dieses erst dann auf die Loodweide, wenn das Gras ein wenig gewachsen ist). Zu gleicher Zeit kann man an offenen Stellen, oder an Stellen, wo der Rasen fehlt, hauptsächlich die Pflanzen finden, die im vorausgegangenen Herbst gekeimt und sich mehr oder weniger entwickelt haben — das sind die Jungpflanzenerneuerer. *Erophila verna* findet man dann deckend (soc.) an den Rändern von Spalten, den Abhängen der Steinbrüche, an einzelnen hervortretenden Kalksteinblöcken, überhaupt an Stellen, die trocken und arm an Erde sind; mit ihr zusammen treten auf: *Saxifraga tridactylites*, oft soc., *Androsaces septentrionale*, cop., an einigen Stellen auch *Veronica verna*, *V. arvensis* und *Myosotis arenaria*. Die ersten drei Pflanzen verleihen im Frühsommer den flachgründigen Gebieten ihren Aspekt. Im Hochsommer sind sie meist alle vertrocknet, die Samen verstreut, die Stengel von den Tieren zertreten, so dass sie überhaupt nicht mehr als ergänzender Faktor der Pflanzendecke auf-treten.

1. Nackte Kalkplatten.

Nackte Kalkplatten kommen besonders im Karst vor. Augenscheinlich haben sie sich an den Stellen gebildet, wo sich in der allgemeinen Felsmasse eine mehr oder weniger tiefe Senkung vorfand, aus der das Wasser keinen Abfluss hatte, so dass es darin stehen blieb. Nach einem stärkeren Regen saugt sich die dünne Erdschicht voll Wasser, ist durchweicht, und die Tierfährten geben ihr ein löcheriges Aussehen. In der trockenen Zeit ist auch die dünne Erdschicht stark ausgetrocknet, die Tiere zertreten sie zu feinem Staub, der durch den Wind verweht wird. Die Erdschicht in den Mulden wird weiter durch die Tiere ausgetreten, die Witterung tut das Ihrige, und so vergrössert sich die Mulde unausgesetzt. Zur Regenzeit sammelt sich das Wasser hier zu einer flachen Lache an und hält sich auf dem undurchlässigen Kalkuntergrund längere Zeit, löst die Erde und vergrössert dadurch die Fläche des nackten Kalkes. Im Winter hebt der Frost die im Herbst mit Wasser getränkte Erde, im Frühling wird die Erde beim wechselnden Temperaturmittel bröcklig, es wirken die früheren Kräfte ein (das Treten der Tiere, Wind und Wasser), und der Streifen vergrössert sich immer mehr und mehr, bis schliesslich eine festere, an feinem Gesteinsmaterial reichere Erdschicht diesem Prozess ein Ende macht. Mit der Zeit entblösst

sich der Kalkstein vollständig und auf ihm bilden sich fleckenweise Überzüge von Krustenflechten, sowie endlich an Stellen, wo sich die Erde ansammelt, Moosüberzüge (*Ditrichum flexicaule* Hampe, *Encalypta vulgaris* Hoffm., *Ceratodon purpureus* Brid., einzelne Büschel von *Thuidium abietinum* Bryol. eur., *Th. Philiberti* Limpr., auch *Climacium dendroides* Web. et Mohr), hierzu kommen einzelne Gräser und Kräuter (*Sedum acre*, *Festuca ovina* etc.).

Der nackte Kalkstein mit der dünnen Erdschicht ermöglicht den Samen das Keimen nur unter gewissen Bedingungen, unter denen die Feuchtigkeit an erster Stelle steht. Obgleich bei Regengüssen das Wasser auf den Platten oft in Pfützen steht, verschwindet es im Sommer doch unter der Wirkung von Hitze und Wind recht rasch und hinterlässt auf dem Kalkstein eine dünne Schicht Erde, die sich niedergeschlagen hat; diese platzt in der Trockenheit in unzähligen Spalten, wobei in den letzteren die Wurzeln einzelner Pflanzen freigelegt werden. Die Erde ist beinahe vollständig trocken und bietet den Samen keine Möglichkeit zum Keimen. Wenn auch in einer feuchten Periode mancher Same auf den Fliesen gereift oder von anderswo dahin geraten ist und dann unter günstigen Bedingungen zu keimen angefangen hat, so benehmen die sengende Sonne und die Trockenheit die Lebenskraft der jungen Pflanze. Ist aber die Platte mehr oder weniger von einer oft sehr dicken Mooschicht bedeckt, dann können die Samen nicht zur Erde gelangen, und die Keimungsmöglichkeit wird sehr fraglich. Manchmal ist wiederum die Platte von einer dichten Schicht von Schotter bedeckt, die meist durch Verwitterung des Untergrundes entstanden ist, — auch an solchen Stellen können sich die Samen nicht genügend entwickeln.

Von den nackten Kalksteinplatten sind an drei typischen Standorten Proben genommen und durchgearbeitet worden. Das Ergebnis zeigt die folgende Tabelle (Tab. I).

Annotationen zu Tabelle I:

1. (10). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Ein Viereck, wo der Kalkstein beinahe blossliegt und nur von einer dünnen, 1—1,5 cm hohen Erdschicht bedeckt wird. Pflanzendecke vollständig offen. Moose fehlen beinahe vollständig.
2. (11). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Kalkstein mit nur 1—2 cm dicker Erdschicht, die reich an kleinen Steinchen ist. Beinahe *Sedetum*. Keimlinge finden sich nicht viele, die Trockenheit hat

rundherum eine Menge Gräser vernichtet, unter diesen ist *Festuca ovina* am zahlreichsten vertreten.

3. (21). 21. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Karst, beinahe vollständig nackter Kalkstein, die Erdschicht ist kaum 1 cm mächtig. Einige Stellen sind vollständig nackt. Reichlich Moose (*Ditrichum flexicaule*). Recht viel Keimlinge, die wegen ihres Jugendstadiums schwer zu bestimmen sind; vielleicht sind es *Saxifraga tridactylites*, *Androsaces septentrionale* oder *Erophila verna*, deren Samen in der feuchten Zeit auf blosser Erde zu keimen anfangen. *Saxifraga tridactylites*, *Androsaces septentrionale* und *Erophila verna* sind selbst schon vollständig vertrocknet.

Wie aus dem oben Angeführten ersichtlich, ist das erste Versuchsviereck auf einem von einer sehr dünnen Erdschicht bedeckten und von Moosen vollständig freien Kalksteingebiet genommen worden¹¹⁾. Die Keimungsbedingungen sind hier schlecht, darum findet man wenig Keimlinge. Interessant ist hier das Auftreten von *Sagina nodosa* in grösseren Mengen; da das Viereck fast ohne jegliche Pflanzendecke, offen ist, wo kein Kampf um den Standort stattfindet, kann diese sich allmählich entwickelnde Pflanze sich so üppig entfalten, dass sie im Hochsommer einem solchen Gebiet ein eigenartiges Gepräge gibt. Das gegen die Trockenheit unempfindliche *Sedum acre* ist an solchen Stellen die am häufigsten vorkommende Pflanze, was man auch auf den anderen im selben Gebiet liegenden Vierecken beobachten kann.

Auf dem zweiten Versuchsviereck ist die Erdschicht beinahe die gleiche, jedoch finden sich in ihr eine Menge kleiner Steine, die dem Eindringen der Wurzeln in die Erde hinderlich sind. Hier kommen noch abgestorbene Pflanzen hinzu, meist *Festuca ovina*, die im Umkreise reichlich vertreten ist und deren Keimlinge die übrigen an Zahl übertreffen. Augenscheinlich war das Gras in der Trockenheit verdorrt, welche von Anfang Juli an ungefähr 2 Wochen lang anhielt, wobei auch die Hitze bis auf 25,2° C stieg (12. VII.). Auf dem dritten Versuchsviereck, wo die Bedingungen den vorher beschriebenen beinahe gleich sind, ist das Moos (*Ditrichum flexicaule*) ein bedeutender Faktor. Hier

¹¹⁾ Der nackte, vom Regen oft abgespülte und von verschiedenen Krustenflechten- (*Lecidea*-, *Verrucaria*-, *Caloplaca*-, auch *Placodium*-) Assoziationen bedeckte Kalkstein ist hier nicht in Betracht gezogen worden, da er für das Keimen der Pflanzensamen nur eine minimale Möglichkeit gibt, so dass man hier nur manchmal die Samen selbst findet.

ist die Zahl der abgestorbenen Pflanzen, wahrscheinlich aus denselben Gründen, ebenfalls eine verhältnismässig grosse; auffallend ist hier aber die Menge der Keimlinge, — auf $(20\text{ cm})^2$ kommen im ganzen 75 Keimlinge, eine Zahl, die sonst auf den Loodweiden nicht häufig ist. Der grösste Teil derselben ist noch zu wenig entwickelt, um eine Unterscheidung der Arten zu erlauben. Augenscheinlich sind es entweder Keimlinge von *Erophila verna*, von *Saxifraga tridactylites* oder von *Androsaces septentrionale*. Es sei hier noch bemerkt, dass die Analyse am 21. VIII. gemacht wurde. Ende Juli und Anfang August herrschte regnerisches Wetter, zwischen dem 15. und dem 20. VIII. gab er sehr starke Regengüsse¹²⁾. Infolgedessen sammelte sich auf den flachgründigen Kalkplatten genug Feuchtigkeit an, um die ausgestreuten und während der trockenen Sommerzeit im Ruhezustande verharrenden Samen zum Keimen zu bringen. Gerade auf diesem Viereck gibt es auch, wenn auch nur in Form vertrockneter Stengel, eine grössere Zahl von *Saxifraga tridactylites*, *Androsaces septentrionale* und eine Menge von *Erophila verna*, deren Stengel zerbrochen waren und sich darum nur in wenigen Fällen genau bestimmen liessen.

Die Erneuerungsbedingungen aller 3 Vierecke zusammenfassend, kann man bei ihnen folgende Keimungsmöglichkeiten beobachten: Auf dem vom Rasen freien Viereck verdrängen die Pflanzen die neuen Eindringlinge nicht und auf feuchter Erde entwickelten sich die Keimlinge. Und dennoch kann man auf diesem Viereck keine besonders bemerkenswerte Erneuerung beobachten. Die Pflanzendecke bleibt in gleicher Weise offen. Augenscheinlich ist hier die Winterkälte in hohem Grade massgebend, da sie für die Entwicklung der Pflanzendecke ungünstig ist, sogar fast alle mehrjährigen Pflanzen vernichtet, und nur das Wachstum einiger biennen Pflanzen zulässt, denen es möglich ist, sich im feuchteren Herbst oder Frühling zu entwickeln. Aus diesem Grunde ist im Allgemeinen die Zahl der Arten auf den Kalkplatten sehr klein, — es treten nur *Sedum acre* und *Festuca ovina* auf, wobei letztere unter der Sommerhitze sehr leidet. In

¹²⁾ Am 16. VIII. betrug die Niederschlagsmenge z. B. in Kehra, das dem untersuchten Gebiet in Kostivere am nächsten liegt, im Laufe von 24 St. 97,6 mm (Meteorolog. Jahrbuch 1923, S. 185). Es war ein so starker Regen, wie ihn auch die älteren Leute dieses Gebietes nicht erlebt haben.

einer allgemeinen Zusammenfassung können wir folgendes feststellen: Die Keimungsbedingungen sind in dem nur mit einer dünnen Erdschicht bedeckten Kalksteingebiet verhältnismässig günstig, besonders gilt das für einen feuchten Sommer und Herbst. Trotzdem aber ist die Erneuerung eine minimale, da auf diesem Gebiet die Hitze des Sommers und die Winterkälte anscheinend von grösserer Bedeutung sind, als auf anderen Gebieten; als Hauptgrund wäre die Dünne der Erdschicht anzuführen, die den Änderungen der Witterung gegenüber sehr empfindlich ist. Darum wachsen hier nur diejenigen Pflanzen, deren Entwicklung in die zweite Hälfte des Sommers oder auch in den Herbst und in den Frühlingsanfang fällt, wo die Feuchtigkeit das Wachstum der Pflanzen begünstigt. Wegen der im Sommer oft herrschenden starken Hitze können hier nur die Pflanzen gedeihen, die sich vor übergrosser Transpiration und Insolation schützen können (*Sedum acre*, *Festuca ovina*, zum Teil auch *Sagina nodosa*).

2. Das Karstgebiet.

Auf dem Karst ist die Erdschicht meist überall mächtiger als auf dem oben besprochenen Gebiet, ist aber auch hier nicht von besonders grosser Dicke. Oft findet man hier in der Erde gröberen oder feineren Steinschotter. Die Menge der feinen Erde ist verhältnismässig gross, wobei der Reichtum an Stickstoff und der Prozentsatz des Glühverlustes bedeutend sind. Dagegen ist der Prozentsatz der Karbonate ein verhältnismässig geringer (Vilberg 1927, S. 18—19). Mit der Feuchtigkeit ist es hier schlecht bestellt, da das Wasser nach den Regengüssen bald die lockere Erde verlässt, um durch die im Untergrund häufig auftretenden Spalten abzufließen. Die allgemeinen Wachstumsbedingungen sind auch hier ungünstig, darum ist die Bodenschicht auf dem Karst verhältnismässig bröcklig und zerstückelt, die Pflanzendecke unzusammenhängend und offen. Hier sind die Keimungsbedingungen auch nicht besser, da die Witterung, wie auch auf dem zuerst erwähnten Gebiet, mehr oder weniger ungünstig ist. Hinzu kommt noch eine stellenweise dichte Moosschicht, die in verschiedener Weise dem Keimen hinderlich ist.

Bei der Beobachtung der Keimlinge sind hier, wie auch auf den vorher betrachteten Standorten, zwei Untersuchungsmethoden angewandt worden: erstens die Zählmethode, wobei alle

Analysen vom Karst, bezogen auf 1 dm².

Tabelle II.

S.	Gr.		1(2)				2(5)				3(6)				4(7)				5(9)				6(14)				7(16)				8(18)				9(19)				10(20)				Qu.	K%.					
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4											
C	n	<i>Helianthemum helianthemum</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	12	1	5	2	3	1	13	11	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	—	2	7	7	—	3	—	1	15	38			
		<i>Thymus serpyllum</i>	4	1	3	—	2	17	3	6	16	3	21	4	—	1	1	—	—	—	1	—	—	—	7	—	—	8	—	1	2	3	2	—	2	1	1	1	13	6	3	11	4	1	—	2	3	27	68
h		<i>Achillea millefolium</i>	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	3	6	1	3	1	2	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	10	25					
		<i>Alchimilla vulgaris</i>	3	2	1	—	1	1	5	2	1	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	3	4	4	3	3	1	7	—	1	4	—	—	—	—	17	43						
		<i>Antennaria dioeca</i>	—	—	—	—	1	2	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	23									
		<i>Campanula rotundifolia</i>	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	28									
		<i>Cerastium caespitosum</i>	2	1	3	2	—	1	4	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	28						
		<i>Dianthus deltoides</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	3									
		<i>Euphrasia stricta</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	5									
		<i>Filipendula filipendula</i>	—	—	—	—	—	1	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	20									
		<i>Fragaria vesca</i>	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	7									
		<i>Galium verum</i>	3	10	3	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	11	6	2	1	—	1	8	8	7	12	4	10	1	6	6	4	19	43							
		<i>Hieracium pilosella</i>	4	1	4	1	7	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	5						
		<i>Linum catharticum</i>	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	5									
		<i>Lotus corniculatus</i>	4	1	—	11	3	2	—	40	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	20							
		<i>Potentilla alpestris</i>	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	23									
		<i>Sagina nodosa</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	1	1	1	7	6	15							
		<i>Sedum acre</i>	2	1	—	4	1	—	1	—	3	3	2	—	26	3	2	7	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	55					
		<i>Stellaria graminea</i>	1	3	1	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	18									
		<i>Taraxacum taraxacum</i>	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	5									
		<i>Trifolium repens</i>	5	3	4	5	16	9	10	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	60									
	<i>Veronica spicata</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	6	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	7										
g		<i>Agrostis vulgaris</i>	7	3	7	19	7	3	13	7	—	—	—	—	6	20	9	21	3	11	17	10	37	26	18	26	6	10	13	5	26	19	20	19	27	21	25	10	3	7	10	13	36	90					
		<i>Avena pratensis</i>	3	1	1	4	14	22	15	13	—	—	—	1	2	—	—	1	6	11	—	3	16	12	3	5	17	6	—	9	14	9	4	—	5	6	12	—	—	7	—	8	28	70					
		<i>A. pubescens</i>	—	—	—	—	2	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	5									
		<i>Briza media</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	8									
		<i>Carex verna</i>	2	3	—	—	3	5	4	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18	45									
		<i>Festuca ovina</i>	36	27	12	16	28	33	49	23	51	1	21	24	1	23	1	134	53	67	132	71	60	11	46	49	17	78	69	94	119	138	1	131	4	6	15	8	63	24	1	62	65	75	4	71	34	40	100
		<i>F. rubra</i>	6	9	2	3	1	1	4	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	43					
		<i>Koeleria grandis</i>	—	—	—	—	7	4	2	4	2	18	13	8	10	—	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	6									
		<i>Luzula campestris</i>	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	5									
		<i>Phleum Boehmeri</i>	—	—	—	—	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	3									
		<i>Poa alpina</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	5									
		Ignotus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
		Abgestorbene	5	7	3	5	8	4	5	1	5	5	11	5	16	1	5	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36	—					
			Pflanzenindividuen	88	96	51	70	90	132	126	92	5	69	60	75	68	187	82	106	161	92	96	35	74	132	210	145	152	171	182	224	199	90	95	67	63	128	105	158	104	104	56	136	86					
		Keimlinge	4	5	5	9	11	—	3	5	2	4	2	1	2	1	3	4	—	—	2	—	—	—	—	—	2	2	2	3	4	1	3	1	2	4	2	1	4	1	8	2	1	14					

Die mittlere Individuenzahl der Arten auf 1 dm²: 111,6.
 " " Keimlingszahl " " " : 2,9.
 " " Zahl der abgestorbenen Individ. " " " : 7,6.

Pflanzen einer 1 dm² grossen Fläche gezählt werden. Diese Methode gründet sich sowohl auf die Zahl der Pflanzenindividuen, wie auch auf die Grösse der untersuchten Fläche (Tabelle II). Die zweite Methode zieht nur die Grösse der Fläche in Betracht, die nun aber 4 mal grösser gewählt wird, als bei der zuerst erwähnten Methode (Tabelle III). Bei einem Vergleich ist es somit leicht, die Flächenverhältnisse in Betracht zu ziehen.

Annotationen zu Tabelle II:

1. (2). 28. VII. 23. Das Lood von Aavakannu. Ein auf Kalkstein befindlicher offener Platz. Pflanzendecke offen. Erde 5—6 cm mächtig.
2. (5). 30. VII. 23. Das Lood von Jöelähtme. Auf Kalkstein gelegenes Weideland. Erde 4—5 cm mächtig. Pflanzendecke offen.
3. (6). 31. VII. 23. Weideland auf dem Lood von Jöelähtme. Höheres Kalksteingebiet zwischen Diaklasen. Erde 3—4 cm mächtig, locker, von wenigen Wurzeln durchwirkt. Pflanzendecke offen. Gräser in Büscheln.
4. (7). 31. VII. 23. Das Lood von Jöelähtme. Kalkgebiet am gleichen Ort. Erde 3—4 cm mächtig. Pflanzendecke offen, Gräser in Büscheln, zwischen denen einzelne Keimlinge liegen. Wenig Moos.
5. (9). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere, vollständiges Kalkgebiet; die Erdoberfläche nach Südosten zu geneigt. Rund herum liegt der Kalkstein stellenweise ganz bloss. Erde reich an Steinen, 3—4 cm mächtig. Pflanzendecke offen. Moos reichlich vorhanden.
6. (14). 15. VII. 23. Das Lood von Valkla. Vollständig offenes Kalksteingebiet auf dem Weideland von Teedu. Erde 4—5 cm mächtig. Die Pflanzendecke geschlossener. Stellt Weideland dar, ist aber nicht so sehr abgegrast, wie das südlich gelegene Gemeindeweideland.
8. (18). 29. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Südlich der Landstrasse gelegenes höheres Kalksteingebiet beim Gesinde Andrese. Die Erde erreicht kaum eine Mächtigkeit von 4—5 cm. Pflanzendecke verhältnismässig offen. Moose.
9. (19). 21. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Kalksteingebiet mit 4—5 cm tiefer Erde. Pflanzendecke geschlossen. Moose reichlich vertreten.
10. (20). 21. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Karst. Gebiet zwischen Spalten. Erdschicht 3—4 cm mächtig. Pflanzendecke offen.

Bei der Betrachtung der Tabelle II fällt die geringe Zahl der Keimlinge sofort auf; sie ist viel kleiner als auf dem früher untersuchten Gebiet: die mittlere Individuenzahl auf 1 dm² beträgt 11,6, die mittlere Zahl der Keimlinge dagegen nur 2,9. Dagegen

ist die mittlere Zahl der abgestorbenen Pflanzen bedeutend grösser (7,6). Somit sind die Keimungsbedingungen schlecht und auch die Wachstumsbedingungen sind nicht günstig. Die Erneuerung durch Samen ist ebenfalls nicht bedeutend. Es überwiegt das Absterben der Pflanzen, besonders der Gräser, letztere dominieren geradezu in der Zahl der abgestorbenen Pflanzen. Ebenso ist auch die vegetative Erneuerung infolge der schlechten Wachstumsbedingungen nicht lebhaft oder in irgendeiner Weise beachtenswert. Infolgedessen bleibt die Pflanzendecke eine offene.

Interessant ist es, dass man auf manchem Versuchsviereck nur die Keimlinge einer einzelnen Pflanze vorfindet. Daraus sieht man, dass nur diese einzelne Pflanze es bis zur Reife der Samen gebracht und dann, innerhalb einer offenen Pflanzendecke erscheinend, dort in grösserem Umfange zu keimen vermocht hat, z. B. *Helianthemum helianthemum* und *Hieracium pilosella* auf dem 1. Versuchsviereck, *Campanula rotundifolia* auf dem 7. Versuchsviereck. Ebenso kann man beobachten, dass es hauptsächlich die Kräuter, zum Teil auch die Stauden sind, die die Keimlinge liefern, während die Gräser in dieser Beziehung zurückbleiben. Besonders beachtenswert ist das Versuchsviereck 7. Es befindet sich auf einem Weideland, das von einer Mauer umgrenzt ist und auf dem das Vieh nur eines einzigen Gesindes weidet; darum ist hier der Einfluss des Viehs geringer, als auf dem Gemeindeweideland, wo die Herden des ganzen Dorfes zusammenkommen. Infolgedessen ist hier die Zahl der Individuen wie auch der Arten (18) grösser. Man kann hier besonders die Vermehrung von *Festuca ovina*, *Campanula rotundifolia* und auch *Trifolium repens* beobachten, während auch die Wachstumsbedingungen von *Filipendula filipendula* sich gebessert zu haben scheinen.

Tabelle III zeigt fast die gleichen Erscheinungen. Die Zahl der Keimlinge ist klein (im Mittel 14,6¹³), ebenso die Zahl der Arten (11,0). Vergleicht man die Tabellen, so fallen einem die Pflanzen auf, die immer Keimlinge liefern, oder als Jungpflanzen auftreten; das sind diejenigen Pflanzen, die sich dem Lood angepasst haben, und die ihrer Bitterstoffe und der Verholzung wegen von dem Vieh unberührt bleiben und deshalb zur Reife

¹³) In der vorigen Tabelle würde die Zahl der Individuen pro (20 cm)² (2,9×4) 11,6 betragen. Das Mittel — 2,9 — bezog sich dort auf 1 dm².

gelangen (*Thymus serpyllum*, *Sagina nodosa*, *Sedum acre*, *Cerastium caespitosum* und auch *Euphrasia stricta*).

Abgestorbene Pflanzen treten hier in der gleichen Weise wie auf dem übrigen Karstgebiet auf. Zu den in der Erde wurzelnden verdorrten Pflanzen gesellen sich noch die Pflanzen, die vom grasenden Vieh, besonders von den Pferden, mit dem Wurzelstock herausgerissen wurden und jetzt als verblichene Büschel herumliegen.

Im allgemeinen ist die Zahl der Keimlinge auf dem Karst eine verhältnismässig geringe. Einzelne Pflanzen erreichen die Fruchtreife, die Samen werden daselbst ausgestreut und fangen unter günstigen Bedingungen an zu keimen. Jungpflanzen gibt es aber wenig, was darauf hinweist, dass nach dem Keimungsprozess Faktoren zur Herrschaft gelangen, welche die Jungpflanzen vernichten. Die Erneuerung durch Knospen ist ebenfalls eine geringe; dagegen ist die Zahl der abgestorbenen und der vom Vieh herausgerissenen Pflanzen eine bemerkenswert grosse. Darum bleibt die Pflanzendecke auf dem Karst offen und unzusammenhängend.

Annotationen zu Tabelle III:

1. (1). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Kalksteingebiet, das von Diaklasen durchkreuzt wird. Versuchsviereck von einem zwischen den Spalten gelegenen Quadrat. Erde 1—2 cm mächtig. Pflanzendecke offen. Die Pflanzenwurzeln erreichen, ein Geflecht bildend, den Kalkstein, der aber nicht die obere Schicht des kompakten Kalksteins, sondern nur eine grössere Platte desselben darstellt.
2. (2). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Gebiet von einem Quadrat zwischen den Spalten. Erde 2—3 cm mächtig, voll kleiner Steinchen. Die Pflanzendecke sehr offen. Moose in Menge, an einigen Stellen Flechten (*Cladonia pyxidata*, *Cl. furcata* u. a.).
3. (26). 21. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Gebiet zwischen der Hütte und der Landstrasse. Die eine Hälfte liegt auf einer verschütteten Spalte mit tiefer Erdschicht; der andere Rand liegt vollständig auf Kalkstein, der mit einer 2—3 cm mächtigen Erdschicht bedeckt ist. Pflanzendecke offen. Die Bodenschicht von Moosen gebildet (*Dicranum*-, *Thuidium*-Arten), hinzu kommen Flechten (*Peltigera aphthosa*, *Cetraria islandica* u. a.).
4. (6). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere, hoch, auf flachgründigem Karstgebiet in der Nähe eines Kalkbruchs und einer Mauer.
5. (9). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Streifen eines flachgründigen Gebiets. Erde 5—6 cm mächtig. Pflanzendecke wenig geschlossen. Die Wurzeln erreichen den Kalkstein und bilden ein dichtes Geflecht.

- 6—10. (11—15). 20. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Die Versuchsvierecke liegen in seiner Mitte, in der Nähe von Hirtenhütten. Die Versuchsvierecke — $(20\text{ cm})^2$ gross — sind einem 4 m^2 grossen Gebiet entnommen. Die Vierecke 6, 7, 8, 9 stammen genau aus den Ecken dieses Gebiets, das Viereck 10 aus dessen Mitte. Bei 6—9 ist die Pflanzendecke unterbrochen, dazwischen liegen grosse Moosflecke; man findet auf diesen Vierecken Keimlinge; *Sagina nodosa*, ebenso *Sedum acre* sind überall vertreten; *Agrostis vulgaris* fehlt. Erdschicht 3—4 cm mächtig. Auf dem Viereck 10 ist die Pflanzendecke geschlossener. Hier fehlt *Sagina nodosa*, auch *Sedum acre* verschwindet. *Agrostis vulg.* überall vorhanden. Erde 4—5 cm mächtig. — Alle Pflanzen, die auf diesem 4 m^2 grossen Gebiet auftreten, fehlen in den 5 nach der früher beschriebenen Art durchgeführten Analysen.
11. (14). 20. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Kalksteingebiet mit 4—5 cm mächtiger Erdschicht. Pflanzendecke sehr undicht. Die Wurzeln der vereinzelt Pflanzen erreichen den Kalkstein.
12. (25). 21. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Karstgebiet. 4—5 cm mächtige Erdschicht. Pflanzendecke geschlossener als die vorhergehende.
13. (24). 21. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Gebiet zwischen der Hütte und der Landstrasse. Erde 3—4 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossen (ungefähr 95%).
14. (30). 21. VIII. 23. Dasselbst. Erdschicht 1—2 cm dick. Pflanzendecke offen.
15. (34). 21. VIII. 23. Karst von Vandjala bei den Kalkbrüchen. Von einem zwischen Spalten gelegenen Feld. Pflanzendecke offen. Gräser erscheinen in Büscheln. Moos in Menge, Flechten weniger.
16. (46). 22. VIII. 23. Das Lood von Vöerdla. Gebiet auf dem Weideland südlich von der Landstrasse. Erde 3—4 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossener. Moos in Menge.
17. (47). 22. VIII. 23. Gebiet in der Nähe des eben beschriebenen, liegt zwischen Spalten. Erde 4—5 cm mächtig. Pflanzendecke offen. Moos vorhanden.
18. (49). 22. VIII. 23. Dasselbst, am Abhang einer Spalte. Erde 5—6 cm mächtig. Pflanzendecke offen. Weniger Moos vorhanden.
19. (50). 22. VIII. 23. Das Lood von Vöerdla. Gebiet in der Mitte desselben in der Nähe einer neuen Mauer, gerade am Rande einer Spalte. 3—4 cm mächtige Erdschicht. Pflanzendecke offen. *Herniaria glabra* bedeckt weithin den Boden.
20. (83). 19. IX. 23. Das Linnalood des Lasnamägi. Nur mit Moos bedecktes Kalksteingebiet. Erdschicht 3—4 cm mächtig. Erde locker und bröcklig. Daneben vollständig nackter Kalkstein. Pflanzendecke vollständig offen.
21. (85). 19. IX. 23. Das Linnalood des Lasnamägi. Karstgebiet mit 3—4 cm mächtiger Erdschicht. Pflanzendecke unterbrochen, der Boden beinahe bloss.

Analysen vom Karst, bezogen auf (20 cm)².

Tabelle III.

S.	Gr.		1	2(2)	3(26)	4(6)	5(9)	6(11)	7(12)	8(13)	9(14)	10(15)	11(24)	12(25)	13(27)	14(30)	15(34)	16(46)	17(47)	18(49)	19(50)	20(83)	21(85)	22(90)	23(91)	24(92)	25(102)	26(103)	27(99)	Qu.	K%.			
C	n	<i>Helianthemum helianthemum</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	1	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	9	33			
		<i>Thymus serpyllum</i>	+	+ 2	-	+ 2	+ 2	+ 8	+ 3	+ 1	+ 3	+	+	+	+	-	+	4	+ 1	+ 5	+ 3	+ 5	+ 4	+ 6	+ 4	+ 2	+ 2	+ 3	+	+ 8	25	93		
h		<i>Achillea millefolium</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	6	22		
		<i>Alchimilla vulgaris</i>	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	4	15		
		<i>Antennaria dioeca</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	4	15		
		<i>Anthyllis vulneraria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	1	4		
		<i>Botrychium lunaria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	
		<i>Calamintha acinos</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	4	15	
		<i>Campanula rotundifolia</i>	+	+ 1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	10	37	
		<i>Cerastium caespitosum</i>	-	-	-	+ 2	+ 3	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	13	48	
		<i>Cirsium acaule</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	1	4	
		<i>Euphrasia stricta</i>	+ 3	-	-	-	+ 6	+ 3	+ 1	+ 4	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	33	
		<i>Filipendula filipendula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4
		<i>Fragaria vesca</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	2	7
		<i>Galium verum</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	12	44
		<i>Gentiana amarella *axillaris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4
		<i>Herniaria glabra</i>	-	-	+ 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	11
		<i>Leontodon autumnalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4
		<i>Lotus corniculatus</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	4	15	
		<i>Potentilla alpestris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	6	22	
		<i>P. argentea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	2	7	
		<i>Sagina nodosa</i>	-	+ 5	+ 7	+	+ 1	+ 5	+ 3	+ 1	+	+	+	+	+ 10	-	+ 1	+ 24	+ 5	+ 7	+ 14	+ 42	-	-	+	+	+	+	+	+	+	18	67	
		<i>Sedum acre</i>	+	+	+ 2	+ 1	+ 3	+ 1	+ 2	+ 2	+	+	+	+ 3	+	+	+	+ 3	+ 1	+ 1	+ 6	+ 2	+ 6	+	+	+	+	+	+	+	+	24	89	
		<i>Stellaria graminea</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	15
		<i>Taraxacum taraxacum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	11
<i>Trifolium repens</i>	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	44		
<i>Veronica spicata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	5	18		
<i>Vicia cracca</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	2	7		
<i>Viola rupestris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	1	4			
g		<i>Agrostis vulgaris</i>	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	21	78		
		<i>Avena pratensis</i>	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	52	
		<i>Briza media</i>	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	
		<i>Carex verna</i>	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	37	
		<i>Festuca ovina</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	26	96	
		<i>F. rubra</i>	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	
		<i>Koeleria grandis</i>	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	17	53	
		<i>Phleum Boehmeri</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	
		<i>Poa alpina</i>	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	26	
			Ignotus	-	1	3	-	1	8	12	3	2	-	9	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Pflanzenindividuen	9	7	9	11	16	6	6	7	9	10	6	13	14	9	9	6	8	12	10	11	14	14	15	15	16	16	9					
		Keimlinge	3	9	20	5	16	25	22	11	8	1	25	11	4	32	12	9	30	56	19	5	6	8	6	5	5	14	13					

Die mittlere Individuenzahl der Arten auf (20 cm)²: 11,0.
 " " Keimlingszahl " " " : 14,6.

22. (90). 27. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Kalksteingebiet mit 3—4 cm mächtiger Erdschicht. Pflanzendecke unterbrochen. Der Rasen fest, dehnbar. Moose.
23. (91). 27. VIII. 23. Dasselbst, — eine zwischen Spalten gelegene Stelle. 3—4 cm lockerer Erde. Die Pflanzendecke offen, der Rasen zäh.
24. (92). 27. VIII. 23. Vom gleichen Gebiet, Versuchsviereck nur um 1,5 m südwestlich gelegen. Die gleichen Bedingungen.
25. (102). 15. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Vollständiges Kalksteingebiet, das von einer 3—4 cm mächtigen Rasen- und Erdschicht bedeckt wird. Pflanzendecke offen.
26. (103). 15. VIII. 23. Dasselbst. Weide von Teedu. Erdschicht 3—4 cm mächtig. Ist nicht so stark abgegrast, wie das Gemeindelood.
27. (95). 27. VIII. 23. Das Lood von Aavakannu. Gebiet zwischen Diaklasen. Einige Spalten verschüttet und mit Rasen bedeckt. Erdschicht in der Mitte 3—4 cm mächtig. Pflanzendecke offen. Moose.

3. Das Schuttlood.

Die Wachstumsverhältnisse der Pflanzen sind auf dem Schuttlood günstiger. Hier ist die Erdschicht mächtiger, hier fließt das Regenwasser nicht so rasch durch die Spalten des Untergrundes ab, da unter der Erdschicht oft tonhaltige Moräne vorkommt, die das Wasser nicht so leicht durchlässt, wodurch die Feuchtigkeit den Pflanzen für längere Zeit erhalten bleibt. Darum wird die Schuttloodvegetation von einer geschlosseneren Formation gebildet (vgl. Vilberg 1927, S. 48).

Auf Grund der erwähnten Verhältnisse ist man geneigt anzunehmen, dass auch die Keimungsbedingungen auf dem Schuttlood günstiger sind. Wir finden aber auf dem Schuttlood verhältnismässig wenig Keimlinge: im Mittel nur 5,2 Keimlinge auf 1 dm². Die mittlere Zahl der Individuen ist dennoch grösser, — bei 132,4 Individuen auf einem Versuchsviereck. Hier müssen Verhältnisse herrschen, die der Entwicklung der Keimlinge schädlich sind.

Annotationen zu Tabelle IV:

1. (1). 25. VIII. 23. Das Lood von Aavakannu. Offenes Weideland auf Kalksteinboden. Erdschicht 8—10 cm mächtig. Pflanzendecke mehr oder weniger geschlossen.
2. (3). 28. VIII. 23. Dasselbe Lood. Auf der Koppel von Västriku, bei der Korndarre Aavakannu. 8—10 cm Erde. Pflanzendecke geschlossen.
3. (4). 28. VIII. 23. Das Lood von Aavakannu, offen zwischen dem Ellerngesträuch von Audjala und dem Unland von Oru. Früher Weide-

- land, *Juniperetum*, jetzt (4—5 Jahre lang) Heuschlag. Augenscheinlich bedüngt. Die Erdschicht mächtiger als in den vorhergehenden Fällen.
4. (8). 31. VII. 23. Das Lood von Jöelähtme. Pferdekoppel, zwischen dem Steinbruch und den Feldern. Erde mit Steinschotter ungefähr 10 cm mächtig, ziemlich locker. Vollständige offen, eben. Pflanzendecke geschlossen. Bemoosung mittelmässig.
 5. (12). 14. VIII. 23. *Juniperetum* von Uuevälja, Weideland des Gesindes Nömmiku, ummauert, etwas nördlich von der Narvaschen Landstrasse. In einiger Entfernung ein benagtes *Juniperetum*. Ein etwas hügeliges Weideland. Erdschicht bis 10 cm mächtig, reichlich mit Steinschotter versehen. Pflanzendecke geschlossen.
 8. (13). 14. VIII. 23. *Juniperetum* von Uuevälja. Pferdekoppel, wenig abgegrast. 9—10 cm. Erde. Pflanzendecke geschlossen.
 7. (15). 15. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Moränengebiet. Über 10 cm mächtige Erdschicht. In der Mitte des Streifens ein grosses *Cirsium acaule*, dessen Blätter den halben Streifen bedecken.
 8. (17). 28. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Moränengebiet, über 10 cm Erde. Pflanzendecke vollständig geschlossen. Die Bodenschicht hart, zäh, festgetreten. Verhältnismässig wenig Moose (*Thuidium abietinum*, *Hylocomium proliferum*).
 9. (22). 19. IX. 23. Das Linnalood von Lasnamägi. Nördlich der Narvaschen Landstrasse, bei dem Aerodrom des „Aeronaut“. Offenes Weideland, fast ohne Wacholder. 12—15 cm Erde. Pflanzendecke geschlossen.
 10. (23). 19. IX. 23. Auf demselben Lood, in der Nähe des eben erwähnten Platzes. Ebenes Land. Einzelne Wacholdersträucher. 6—7 cm Erde. Die Bodenschicht ziemlich zäh, von den Sprossen von *Trifolium repens* durchwachsen.

Diesen Verhältnissen können wir näher treten, wenn wir an Hand der Tabellen (IV und V) die durch das Weiden bedingten Zustände betrachten. In beiden Tabellen finden wir Analysen: 1) Vom Weideland, auf dem die Herde fast den ganzen Sommer hindurch weidet (der grösste Teil der Analysen). 2) Von den Koppeln, das ist von ummauertem Weideland, auf dem das Arbeitsvieh zeitweilig grasst (Tabelle IV, Analysen 2, 4, 6, teilweise auch 5; Tabelle V, Analyse 14, zum Teil auch 30 und 31). 3) Vom Heuschlag — einem Gebiet, das früher allerdings Weideland war, jetzt aber 4—5 Jahre der Reihe nach mehr oder weniger regelmässig gemäht wurde, während es im Hochsommer und Herbst Weideland ist (Tab. IV, Analyse 3; Tab. V, Anal. 19). Mit dem Weideland verglichen besitzen die Koppeln mehr Keimlinge und die Zahl der Individuen ist grösser. Hier ist der Einfluss der

Herde kein so grosser, und die Samen können an den Pflanzen reifen. Zur Erde gelangt, die hier weniger festgetreten ist, können die Samen zu keimen anfangen, da das Land, teilweise kultiviert, viel lockerer ist; auch die Regenwürmer tragen dazu bei, weil sie die Erde auflockern und zwischen den Wurzelstöcken der Gräser kleine Klümpchen aufwerfen, die in der feuchten Zeit eine günstige Keimungsfläche bilden. Auf dem Weideland gelangt nur ein kleiner Teil der Pflanzen zur Fruchtreife, da die Pflanzestengel von dem Vieh immerfort gekappt werden, so dass sie nicht einmal blühen können und erst recht nicht zur Fruchtreife gelangen. Nur vereinzelte Pflanzen, meist diejenigen, die das Vieh aus dem einen oder dem anderen Grunde unberührt lässt, gelangen zur Blüte. Hier ist aber die Geschlossenheit der Pflanzendecke oft ein Hindernis fürs Keimen, da die Samen, falls sie reifen, auf die der Erde näher befindlichen Blätter und Blattscheiden fallen, wo die Keimungsbedingungen schlecht sind und wo sogar der Wechsel zwischen Feuchtigkeit und Trockenheit und andere Faktoren der Aussenwelt das Keimungsvermögen vernichten können. Dagegen ist die Zahl der Keimlinge auf dem Heuschlage eine recht geringe. Das ist auch ganz natürlich, da alle Pflanzen zur Blütezeit oder ein wenig früher oder später abgemäht wurden, wodurch die Samen unmöglich zur Reife gelangen können. Ebenso können die Samen auch auf dem Grummet nicht reifen, weil nach der Mahd das Vieh auf die Heuschläge gelassen wird, wo es die Blüten und Blütenknospen vernichtet, wie das auch auf dem Weideland geschieht¹⁴). Den Unterschied in der Erneuerung durch Samen auf dem Weideland und auf dem Heuschlag zeigen teilweise die Analysen 19 und 20 der Tabelle V.

Annotationen zu Tabelle V:

1. (3). 4. VIII. 23. Das Lood von Vandjala. Hohes Schuttlood in der Umgebung des Karsts, in der Nähe eines Steinbruchs. Umgeben von Spalten. 8—10 cm Erde; in der Erde viel Steinschotter. Die Pflanzendecke offen. Moose und Flechten vorhanden.
2. (4). 4. VIII. 23. Viereck in der Nähe des eben angeführten. Die Bedingungen sind die gleichen.

¹⁴) Jedenfalls sprechen diese wenigen Analysen nicht für eine Erneuerung der Heuschläge durch Samen, — diese Frage muss jedenfalls näher untersucht werden. Aber die Keimungsmöglichkeiten können, besonders auf der Magerwiese, nicht gross sein, wenn man in Betracht zieht, dass auch die Moosdecke auf den Wiesen das Keimen erschwert.

3. (5). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Auf einem typischen Moränengrund, der sich zwischen zwei grösseren Karstgebieten befindet — es ist eine Senke zwischen zwei flachgründigen Gebieten, die mit Moräne angefüllt ist. Erdschicht 50—90 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossen. Die Bodenschicht fleckenweise ausgebildet.
4. (21). 20. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. In der Nähe der Hirtenhütten; 8—10 cm Erde. Pflanzendecke geschlossen.
- 5—9. (16—20). 20. VIII. 23. Das Lood von Kostivere, in der Nähe einer Hütte. Die Analyse wurde erst auf einem 4 m²-grossen Gebiet gemacht und von diesem Gebiet 5 Probevierecke genommen: 4 Vierecke aus dessen Ecken (5, 6, 7, 8) und eins aus der Mitte (9). Erde 8—10 cm mächtig. Pflanzendecke vollständig geschlossen.
10. (29). 21. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Gebiet zwischen der Hütte und der Landstrasse. 8—10 cm Erde. Pflanzendecke geschlossen (90%).
11. (31). 21. VIII. 23. Das Lood von Vandjala in der Nähe des Steinbruchs. 8—10 cm Erde. Erdoberfläche eben. In der Nähe ein Karstgebiet mit verschütteten Spalten. Pflanzendecke geschlossen.
12. (32). 21. VIII. 23. In der Nähe des eben erwähnten Gebiets. Erdschicht 10—12 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossen.
13. (33). 21. VIII. 23. Am gleichen Ort. 7—8 cm Erde. Unter der Erdkrume Rähk aus feinen Steinen.
14. (35). 21. VIII. 23. Gebiet an der Mauer des Vandjalaschen Feldes, in der Nähe der eben angeführten Ortschaften. 7—8 cm Erde. Das Viereck befindet sich innerhalb des Feldrandes, so dass das Gebiet im Herbst wohl Weideland ist. Pflanzendecke fast geschlossen. Moose sind viel vorhanden.
15. (48). 22. VIII. 23. Das Lood von Vöerdla. Gebiet in der Nähe der Feldmauer. 8—10 cm Erde. Pflanzendecke geschlossen.
16. (61). 24. VIII. 23. Das Lood von Iru. Glint bei der Windmühle. 10—15 cm Erde. Pflanzendecke geschlossen. Weideland.
17. (66). 25. VIII. 23. Das Lood von Iru. Weideland. 8—10 cm Erde, geringe Neigung nach Süden. Pflanzendecke geschlossen. Moose u. s. w.
18. (67). 25. VIII. 23. Auf dem gleichen Lood. Erde 12—15 cm. Pflanzendecke geschlossen, am unteren Teil der Stengel aber etwas undicht.
19. (70). 17. IX. 23. Das Lood von Nehatu. Moränengebiet. Über 20 cm Erde und Rähk. Ein Gebiet auf Weideland in der Nähe einer Mauer, das wenigstens in den letzten Jahren vom Vieh wenig betreten wurde; scheinbar ist es Heuschlag. Es liegt 3 m südöstlich von der Mauer. Gewöhnliche Moose wachsen hier recht dicht.
20. (71). 17. IX. 23. Dasselbst, auf dem Weideland nordöstlich von der Mauer in der Nähe des Kalkbruchs von Kärmu. 10—15 cm Erde. Die Erdschicht zäh, die Oberfläche festgetreten. Pflanzendecke geschlossen mit wenigen Moosen.

Analysen vom Schuttloos, bezogen auf (20 cm)².

Tabelle V.

S.	Gr.		1(3)	2(4)	3(5)	4(21)	5(16)	6(17)	7(18)	8(19)	9(20)	10(29)	11(31)	12(32)	13(33)	14(35)	15(48)	16(61)	17(66)	18(67)	19(70)	20(71)	21(81)	22(82)	23(84)	24(86)	25(87)	26(88)	27(89)	28(93)	29(101)	30(104)	31(105)	Qu.	K %.	
C	n	<i>Helianthemum helianthemum</i>	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	11	35	
		<i>Thymus serpyllum</i>	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	25	80	
		<i>Achillea millefolium</i>	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	23	74	
		<i>Alchimilla vulgaris</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	17	54	
		<i>Anemone silvestris</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	6	
		<i>Antennaria dioeca</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	14	45	
		<i>Anthyllis vulneraria</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	6	
		<i>Brunella vulgaris</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>Campanula glomerata</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>C. rotundifolia</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	13	42	
		<i>Centaurea scabiosa</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>Cerastium caespitosum</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	18	58	
		<i>Chrysanthemum leucanthem.</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>Draba incana</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>Euphrasia stricta</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	10	
		<i>Euphrasia stricta</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	14	45	
		<i>Filipendula filipendula</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	10	
		<i>Fragaria vesca</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4	13	
		<i>Galium boreale</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	26	85	
		<i>G. verum</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>Hieracium auricula</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4	13	
		<i>H. pilosella</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>H. umbellata</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4	13	
		<i>Lathyrus pratensis</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	7	22	
		<i>Leontodon auctumnalis</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	11	36	
		<i>Lotus corniculatus</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>Pimpinella saxifraga</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>Plantago major</i>	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	6	
		<i>Pl. media</i>	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	9	29	
		<i>Potentilla alpestris</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	6	
		<i>P. argentea</i>	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>Ranunculus polyanthemus</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	7	22	
		<i>Sagina nodosa</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4	13	
		<i>Sedum acre</i>	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	
		<i>Solidago virga aurea</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	32	
<i>Stellaria graminea</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4	13			
<i>Taraxacum taraxacum</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	6			
<i>Trifolium pratense</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	30	96			
<i>Tr. repens</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	11	35			
<i>Veronica spicata</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	8	26			
<i>Vicia cracca</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	10			
<i>Viola rupestris</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	31	100			
g		<i>Agrostis vulgaris</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	24	77			
		<i>Avena pratensis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	6		
		<i>A. pubescens</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	10		
		<i>Briza media</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	25	80		
		<i>Carex verna</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	31	100		
		<i>Festuca ovina</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	7	22		
		<i>F. rubra</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	24	77		
		<i>Koeleria grandis</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4	13		
		<i>Luzula campestris</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	10		
		<i>Phleum Boehmeri</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	10		
		<i>Phl. pratense *nodosum</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3		
		<i>Poa compressa</i>	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3		
				Ignotus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-
				Pflanzenindividuen	9	8	15	17	16	19	14	15	20	9	16	18	7	25	14	18	20	19	13	15	16	17	18	17	12	15	17	12	14	20	12	-
		Keimlinge	2	5	15	9	11	9	12	11	5	3	3	4	66	15	7	10	17	10	5	12	3	9	15	15	12	7	6	5	10	20	17	-		

Die mittlere Individuenzahl der Arten: 15,4.
 „ „ Keimlingszahl : 11,3.

21. (81). 18. IX. 23. Das Linnalood des Lasnamägi, beinahe am Rand des Glints gelegen. Erde 7—8 cm mächtig. Die Pflanzendecke ein wenig offen.
22. (82). 19. IX. 23. Das Linnalood am Rande des Glints, in der Nähe des Aerodroms „Aeronaut“. Erde 7—8 cm mächtig, locker, Weideland. Pflanzendecke geschlossen.
23. (84). 19. IX. 23. Das Linnalood, in der Nähe von Birkenruh und vom „Aeronaut“. Erdschicht 7—8 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossen.
24. (86). 19. IX. 23. Dasselbst eine Senke zwischen dem Rande des Glints und einer höher gelegenen Kalksteinstufe; Pflanzendecke offen.
25. (87). 19. IX. 23. Dasselbst, auf einer höheren Kalksteinstufe. Erde 7—8 cm mächtig.
26. (88). 19. IX. 23. Dasselbst, die höchste Erhebung hinter dem Kalkbruch. Erde 7—8 cm mächtig. Die Pflanzendecke geschlossen.
27. (89). 27. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Moränengebiet beim Gesinde Andrese. Erde 12—15 cm mächtig. Die Erde ist festgetreten, die Pflanzendecke geschlossen.
28. (93). 27. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Moränengebiet südlich der Landstrasse. Erdschicht mächtiger, Pflanzendecke geschlossen, einheitlich.
29. (101). 15. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Gebiet auf Kalkstein, Erde 8—10 cm mächtig, enthält Steinschotter. Pflanzendecke geschlossen.
30. (104). 15. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Das Weideland von Teedu. Moränengebiet, Erde ungefähr 10 cm mächtig. Eine flache Senke. Pflanzendecke geschlossen.
31. (105). 15. VIII. 23. Dasselbst, am Mauerrande in der Nähe der Landstrasse. Erdschicht bis 10 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossen.

Dass aber die Herden nicht ganz allein das Keimen der Pflanzen behindern, zeigen Analysen von dem sog. „Steintisch“ der Dolinen von Kostivere. Dieser Steintisch ist vom übrigen Lood vollständig getrennt (vgl. Vilberg 1927, S. 57—58; auch Abb. 7), so dass keines der weidenden Tiere dorthin gelangen kann; sogar dem Menschen ist es schwer dort hinaufzuklettern, da die untersten Schichten verwittert sind und einen unterhöhlten Fuss bilden. Da dieser Steintisch dem Vieh vollständig und auch dem Menschen teilweise unerreichbar ist, kann man hier auf eine unberührte Vegetation rechnen. Genauere Untersuchungen ergeben aber andere Resultate.

Der Steintisch — ungefähr 30 m² (7×4,5) gross — ist von einer mächtigen Erdschicht bedeckt: meist beträgt ihre Mächtigkeit 30—40 cm, während sie in der Umgebung auf dem Lood nur 10—15 cm erreicht. Die Erde ist keine unberührte Looderde, die wie gewöhnlich Steinschotter führt, sondern sie ist weich und

stellenweise geradezu locker. Sie hat sich nicht durch Verwitterung des Untergrundes gebildet, sondern ist auf den Steintisch und auf die ebenfalls mit dem Lood mehr oder weniger zusammenhängenden Felsblöcke durch den Wind transportiert worden.

Tabelle VI.

Analysen vom „Steintisch“ bei den Dolinen von Kostivere.

S.	Gr.		1 (51)	2 (52)	3 (53)	4 (54)	5 (55)	Qu.	K%.		
C	n	<i>Thymus serpyllum</i>	+	1	—	+	—	+	3	60	
		h	<i>Achillea millefolium</i>	+	+	—	+	+	4	80	
			<i>Allium schoenoprasum</i>	—	—	+	—	—	1	20	
			<i>Antennaria dioeca</i>	—	+	—	+	—	2	40	
			<i>Campanula rotundifolia</i>	+	+	—	—	+	3	60	
			<i>Filipendula filipendula</i>	+	+	1	+	7	+	5	100
			<i>Fragaria vesca</i>	+	+	+	—	—	3	60	
			<i>Galium boreale</i>	+	+	—	+	+	4	80	
			<i>G. uliginosum</i>	+	+	+	+	—	4	80	
			<i>G. verum</i>	+	+	+	+	+	5	100	
			<i>Herniaria glabra</i>	—	+	5	—	—	—	1	20
			<i>Lathyrus pratensis</i>	+	—	—	—	+	—	2	40
	<i>Lotus corniculatus</i>		+	+	—	—	—	—	2	40	
	g		<i>Plantago media</i>	—	—	+	—	—	—	1	20
			<i>Polygonum hydropiper</i>	—	—	+	—	—	—	1	20
			<i>Potentilla anserina</i> *ser.	—	—	—	—	+	—	1	20
			<i>Ranunculus acer</i>	+	—	—	—	—	—	1	20
		<i>R. auricomus</i>	+	—	—	—	—	—	1	20	
		<i>R. polyanthemus</i>	+	11	+	+	+	+	1	5	100
		<i>Sagina nodosa</i>	—	—	+	5	—	—	1	20	
		<i>Sedum acre</i>	+	+	6	+	+	+	4	80	
		<i>Sedum maximum</i>	—	+	+	4	+	—	3	60	
		<i>Stellaria graminea</i>	+	—	—	—	+	+	2	40	
		<i>Thalictrum simplex</i>	+	—	+	+	+	+	3	60	
		<i>Trifolium repens</i>	+	+	—	—	—	—	2	40	
		<i>Veronica spicata</i>	—	+	3	—	+	—	2	40	
		<i>Viola rupestris</i>	+	—	—	—	+	1	+	3	60
		g	<i>Agrostis vulgaris</i>	+	+	+	+	+	+	5	100
<i>Avena pratensis</i>			+	+	—	—	—	+	3	60	
<i>A. pubescens</i>	—		—	—	—	—	+	1	20		
<i>Carex verna</i>	—		+	+	+	+	—	4	80		
<i>Festuca ovina</i>	+		+	+	+	+	+	5	100		
<i>Festuca rubra</i>	+		—	—	+	+	+	3	60		
<i>Koeleria grandis</i>	—		—	+	—	—	—	1	20		
Pflanzenindividuen			22	19	16	17	18				
Keimlinge			12	15	17	1	1				

Die mittlere Keimlingszahl 9,2.
 „ „ Individuenzahl 18,4.

Annotationen zu Tabelle VI:

1. (51). 15. IX. 23. Viereck von einem Felsblock, der ungefähr 2 m über dem trockenen Flussbett liegt. Die Erdschicht ist mächtig, erreicht 40 cm. Auf der Erdoberfläche merklich viel Staub und Schutt, die vom Winde zusammengetragen sind. Die Neigung beträgt 4° nach Westen. Die Pflanzendecke ist geschlossen; das Versuchsviereck liegt am westlichen Hang. Die Grösse des Felsblockes beträgt ungefähr 30 m².
2. (52). 15. IX. 23. Vom selben Block, von dessen östlichem Rande.
3. (53). 15. IX. 23. Vom selben Block, von dessen südlichem Rande.
4. (54). 15. IX. 23. Vom selben Block, von dessen südlichem Rande.
5. (55). 15. IX. 23. Vom gleichen Block, von einem Rasenhügelchen in dessen Mitte.

Hier scheinen folgende Faktoren gewirkt zu haben: tritt der Jõe-lähtme-Fluss im Frühling aus den Ufern, so trägt das Hochwasser Schlamm und feine Flusserde mit sich, die beim Sinken des Wasserspiegels das Gebiet mit einer reichlichen schwarzen Schicht bedecken. In der Sonne wird diese Schicht pulvertrocken, und die in der Umgebung der Dolinen weidenden Herden zertreten sie zu feinem Staub. Der Wind trägt diesen in die Kalksteinpalten und auf die mit Gras bedeckten Felsblöcke fort. Da die Erde auf diesen Blöcken von dem Vieh nicht zertreten wird, ist sie hier verhältnismässig locker. Regenwürmer und Maulwürfe sind in der Erde dieser Blöcke nicht zu sehen. Man kann hier auch auf die auflockernde Wirkung der im Frühling zur Zeit des Hochwassers herrschenden Nachtfröste hinweisen, da im Frühling der ganze Steintisch ebenso wie die ganze Umgebung der Dolinen unter flachem Wasser steht (Taf. III, 6), und zur Zeit, wo der Wasserspiegel zu sinken beginnt, sind starke Nachtfröste eine gewöhnliche Erscheinung.

Die Vegetation der Steintafel scheint sich hauptsächlich auf vegetativem Wege zu erneuern und ist verhältnismässig geschlossen. Man findet sehr wenig Keimlinge (Tab. VI). Augenscheinlich ist hier die Wirkung der lebenden Pflanzendecke und des Klimas massgebend, worauf wir weiterhin noch näher eingehen werden.

Die Angaben dieser Tabelle zeigen, dass die Keimungsbedingungen auf diesem Felsblock, der vor dem Vieh sicher geschützt ist, ebenfalls schlecht sind; die Erneuerung durch Keimlinge ist eine minimale, während die Pflanzengesellschaft sich mehr oder

weniger durch Knospenerneuerer erneuert. Nicht nur die Intensität der Abweidung wirkt als keimungshindernder Faktor, sondern zu diesen gehören auch die Witterung, die Beschaffenheit der Erdkrume und die Wirkung der lebenden Pflanzendecke.

4. Das Schuttlood-*Juniperetum*.

Seiner Vegetation nach steht das Schuttlood-*Juniperetum* der vorher besprochenen Gruppe nahe; die Wachstumsbedingungen sind hier aber andere, da die dicht wachsenden Wacholderbüsche zweifellos die allgemeine Entwicklung der Pflanzendecke beeinflussen. Der Kalkstein ist hier von einer mächtigeren Schicht von Verwitterungserde, Steinschotter oder Rähk bedeckt; stellenweise findet man flachgründige Gebiete, ja sogar vollständig nackte Felsplatten vor. Die Pflanzendecke scheint geschlossen zu sein, aber die dichte Moosdecke (z. B. von *Hylocomium proliferum*, *Thuidium abietinum*, *Climacium dendroides*, *Camptothecium lutescens*, *Pleurozium Schreberi*, *Dicranum scoparium*, *Ditrichum flexicaule*, *Hypnum cupressiforme* u. a.), die sich unter den Wacholdersträuchern und in deren Schatten entwickelt hat, schafft hier besondere Wachstumsverhältnisse für die Pflanzen und lässt es nicht zur Bildung der Grasnarbe kommen. Ebenso erscheinen hier in den Wacholdersträuchern Pflanzen, die man sonst auf dem Lood nicht vorfindet (vgl. Vilberg 1927, S. 54—56).

Die Keimungsbedingungen sind hier verschieden, da, wie oben erwähnt wurde, die Bodenverhältnisse auch verschieden sind. Die Zahl der Keimlinge ist grösser an Stellen, wo die Pflanzendecke eine offene ist (Tab. VII, Analyse 2, 11, auch 9 u. 10). An Stellen aber, wo sich eine dichte Moosdecke befindet (Analysen 4, 5, 16), ist die Zahl der Keimlinge nicht allzu beachtenswert, — die Samen, die aufs Moos gelangen, fangen sehr langsam an zu keimen, können auf dem Moos leicht vertrocknen, oder wenn sie auch keimen, so können ihre Wurzeln doch nicht durch die Moosdecke dringen und sie gehen zugrunde (vgl. S u k a t s c h e w 1925, S. 36). Einzelne Pflanzen (*Thymus serpyllum*, *Trifolium repens*) zeigen ein grösseres Keimungsvermögen, bei anderen kann man meist eine Erneuerung durch Knospen beobachten. Stellenweise findet man unter den von Schafen benagten und 1 m erreichenden Wachholdersträuchern (*Juniperus communis*) ein

dichtes Geäst, durch welches sich einzelne Halme von *Avena pratensis*, *A. pubescens* und *Carex muricata* zeigen, oder es sind Stiele von *Anemone silvestris*, *Fragaria vesca*, *Vicia cracca*, die aus dem Geäst hervortreten und sich alle meist durch Knospen erneuern. Im allgemeinen ist die Erde hier lockerer, die Pflanzendecke oft offener, und darum sind hier die Keimungsmöglichkeiten grösser als auf dem Schuttlood; auch die mittlere Zahl der Keimlinge ist grösser — 15,4, — steht also den Keimungsmöglichkeiten des Karsts näher.

Annotationen zu Tabelle VII:

1. (62). 24. VIII. 23. Das Lood von Kärmu; liegt zwischen Wacholdersträuchern. Erde 10—12 cm mächtig. Die Erdoberfläche ist nicht sehr festgetreten. Pflanzendecke offen.
2. (63). 24. VIII. 23. Vom gleichen Lood, liegt dem Kalkstein näher. Erdschicht 5—6 cm mächtig. Der Boden ist nicht zu einer harten Kruste festgetreten. Pflanzendecke geschlossen.
3. (64). 24. VIII. 23. Dasselbst. Bedingungen wie vorher.
4. (65). 24. VIII. 23. Dasselbst. Erde 8—10 cm mächtig. Pflanzendecke oben geschlossen, unten undicht (unten *Cirsium acaule*). Moose reichlich vertreten.
5. (68). 25. VIII. 23. Das Lood von Iru. Gebiet auf einem Weideland, in der Nähe der Windmühle. Erde 10 cm mächtig. Pflanzendecke zum Teil wegen reichlicher Bemoosung unterbrochen, undicht.
6. (69). 17. IX. 23. Das Lood von Nehatu. Beim Vibelikumägi. Feuchtes, ein wenig hügeliges älteres *Juniperetum*. Erde und lehmhaltiger Rähk sind 20—25 cm mächtig, die Erde ist verhältnismässig schwarz. Die Pflanzendecke ist undicht.
7. (72). 18. IX. 23. Das Lood von Tondi. Offenes ebenes Gebiet im *Juniperetum*, in der Nähe des Weges. Erdschicht 12—15 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossen, Moose verhältnismässig wenig vertreten. Weideland, 10 cm östlich davon eine Mauer, die einen Heuschlag umgibt.
8. (73). 18. IX. 23. Gebiet vom gleichen Lood. Ein höherer Hügel im *Juniperetum*. Erde 8—10 cm mächtig, die Oberfläche verhältnismässig hart, der Rasen zäh. Die Pflanzendecke weniger geschlossen.
9. (74). 18. IX. 23. Dasselbst. Ebenes, hoch gelegenes Kalksteingebiet. Erdschicht 7—8 cm mächtig, Erde locker, der Rasen schwach. Pflanzendecke geschlossen.
10. (75). 18. IX. 23. Das Lood von Tondi, ebenes *Juniperetum*gebiet. Erde auf festem Rähk, kaum 3—4 cm mächtig. Der Kalkstein liegt etwas (6—7 cm) tiefer; die Erde locker. Die Pflanzendecke ein wenig offen.

Analysen von der

S.	Gr.		1(62)	2(63)	3(64)	4(65)	5(68)	6(69)
C	n	<i>Helianthemum helianthemum</i>	+ 1	+ 19	— 4	+ 1	+ 1	+ 8
		<i>Thymus serpyllum</i>	+ 8	+ 19	+ 4	+ 1	+ 1	+ 8
	h	<i>Achillea millefolium</i>	—	+ 19	—	+ 1	+ 1	+ 5
		<i>Alchimilla vulgaris</i>	+ 7	+ 3	—	—	—	—
		<i>Anemone silvestris</i>	—	—	—	+ 1	—	+ 1
		<i>Antennaria dioeca</i>	+ 1	—	+ 1	—	—	—
		<i>Brunella vulgaris</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Campanula glomerata</i>	—	—	—	+ 1	—	—
		<i>C. rotundifolia</i>	—	+ 1	+ 1	—	—	+ 1
		<i>Cerastium caespitosum</i>	—	+ 5	—	—	+ 1	+ 1
		<i>Cirsium acaule</i>	—	—	—	+ 1	—	—
		<i>Euphrasia stricta</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Filipendula filipendula</i>	+ 1	—	—	+ 1	—	+ 1
		<i>Fragaria vesca</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Galium boreale</i>	—	—	—	—	—	+ 1
		<i>G. verum</i>	—	+ 1	+ 1	—	—	+ 1
		<i>Herniaria glabra</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Hieracium pilosella</i>	+ 1	—	—	+ 1	—	—
		<i>Lathyrus pratensis</i>	+ 1	—	—	—	—	+ 1
		<i>Leontodon autumnalis</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Linum catharticum</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Lotus corniculatus</i>	—	+ 6	—	—	+ 1	—
		<i>Medicago lupulina</i>	—	—	—	+ 1	—	—
		<i>Plantago major</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Potentilla alpestris</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Sagina nodosa</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Sedum acre</i>	—	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1
		<i>Solidago virga aurea</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Stellaria graminea</i>	—	—	—	—	—	+ 1
		<i>Taraxacum taraxacum</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Trifolium repens</i>	+ 1	+ 1	+ 1	+ 2	+ 1	+ 1
		<i>Veronica chamaedrys</i>	—	+ 1	—	—	—	+ 1
		<i>Veronica spicata</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Vicia cracca</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Viola rupestris</i>	—	+ 1	—	—	—	—
	g	<i>Agrostis vulgaris</i>	+ 1	+ 1	+ 1	—	+ 1	+ 1
		<i>Avena pratensis</i>	+ 1	—	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1
		<i>Briza media</i>	—	—	—	—	—	+ 1
		<i>Carex verna</i>	+ 1	+ 1	—	—	—	+ 1
		<i>Festuca ovina</i>	+ 1	+ 3	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1
		<i>F. rubra</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Koeleria grandis</i>	—	+ 1	—	—	—	+ 1
		<i>Luzula campestris</i>	—	—	—	—	—	—
		<i>Phleum Boehmeri</i>	—	—	+ 1	—	—	+ 1
		<i>Phl. pratense*</i>	—	—	—	—	—	+ 1
		<i>Phl. pratense*</i>	—	—	—	—	—	—
			Ignotus	—	—	—	—	—
		Pflanzenindividuen	12	18	11	13	11	23
		Keimlinge	16	41	4	4	3	14

Die mittlere Keimlingszahl auf 4 dm² 15,1.
 „ „ Individuenzahl „ „ 15,5.

Wacholdertrift [(20 cm)²].

Tabelle VII.

7(72)	8(73)	9(74)	10(75)	11(76)	12(77)	13(78)	14(79)	15(80)	16(94)	17(100)	Qu.	K%.
-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	12	71
-	+ 8	+ 5	+ 14	+ 9	+ 5	+ 4	+ 3	+	+	+ 9	16	94
+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	12	71
-	+	+ 1	-	-	+	+	+	+	+	+ 5	10	56
-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	2	12
-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	7	41
-	-	-	-	-	-	-	-	-	+ 2	-	1	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6
-	-	-	+ 2	+ 2	-	+ 2	-	-	+	-	7	41
-	+ 3	+ 1	-	+ 2	-	-	+ 4	-	+ 1	+ 6	9	53
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	+ 4	-	1	6
-	+ 1	+ 2	-	-	+	-	-	+	-	+	8	47
-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	4	24
-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	1	6
+	+	+ 5	+	+	+	+	+	-	+	+	13	77
-	-	+	+	+ 5	+	-	-	-	-	-	1	6
-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	5	30
-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	2	12
-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	1	6
-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	2	12
-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	94
-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	2	12
+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	1	6
+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	4	24
+	-	-	-	+ 28	-	-	-	-	-	+	2	12
-	+ 1	-	+	+	-	+	+	-	-	-	10	59
-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1	6
+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	3	18
+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	2	12
+	6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	17	100
-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	6
-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	4	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	16	94
+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	16	94
-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	1	6
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	71
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	17	100
+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	4	24
-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	11	65
-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	+	2	12
-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	5	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	3	18
-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-		
10	18	18	15	15	18	14	15	14	20	18		
6	13	24	25	46	6	6	9	2	9	29		

11. (76). 18. IX. 23. Vom gleichen Lood; Kalksteingebiet, wo die Pflanzenwurzeln in einer Tiefe von 3—4 cm den glatten Fels erreichen. Pflanzendecke offen, Moose fehlen beinahe ganz.
12. (77). 18. IX. 23. Das Lood von Tondi. Von einem Moränengebiet; aus einer flacheren Mulde. Erde 20—25 cm mächtig. Feucht. Pflanzendecke geschlossen.
13. (78). 18. IX. 23. Das Lood von Tondi. Höher gelegener Kalksteinboden mit einer 6—7 cm mächtigen Erdschicht. Pflanzendecke wenig offen.
14. (79). 18. IX. 23. Das Linnalood. Gebiet hinter den Häusern am Becken von Kuristiaugu, beinahe am Rande des Glints gelegen. Weideland, offen und eben. Erde 6—7 cm mächtig. Rasen undicht, Oberfläche hart. Pflanzendecke geschlossen.
15. (80). 18. IX. 23. Das gleiche Lood. Ein flacher Platz inmitten von Wacholdersträuchern. Der Rasen fest und zäh. Stark abgegrastestes Weideland. Erde 9—10 cm mächtig.
16. (94). 27. VIII. 23. Gebiet auf einem flachen Platz zwischen den Sträuchern des *Juniperetum* von Oede in Valkla gelegen. Ebenes Land, Erde 15—18 cm mächtig, unterhalb lehmiger Grant. In der Erde viel Regenwürmer. Feucht. Viele Moose, die augenscheinlich das Keimen der Samen hindern.
17. (100). 14. VIII. 23. Gebiet auf dem Weideland von Kaberla, nördlich von der Landstrasse in der Nähe der Tränke gelegen. Niedriges, ebenes *Juniperetum*, etwas weiter entfernt ein höckeriges Wiesenland. Erde 10—12 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossen.

Besonders eigenartig sind die Entwicklungsverhältnisse der Vegetation in den Spalten, die in allen Gebieten den Kalksteinuntergrund durchqueren; meist verlaufen sie fast gradlinig in südost—nordwestlicher und nordost—südwestlicher Richtung. Wie früher erwähnt, ist ihre Breite eine verschiedene. Meistenteils, besonders aber an den Stellen, wo die Erdschicht merklich dicker ist, sind diese Spalten mit Erde, Schotter und Schutt verschüttet. Die Vegetation ändert sich je nachdem, ob die Spalten verschüttet oder offen sind; hier wird nur der erstere Fall, wo die Pflanzendecke geschlossener ist, berührt. In diesen Spalten findet sich, wenn auch nur in Form eines schmalen Streifens, eine tiefere Schicht Erde, deren Mächtigkeit oft 50—75 cm überschreitet. Pflanzen, deren Wurzeln in die Tiefe dringen, finden hier ein günstiges Substrat und bedecken stellenweise den Boden, wo sich die Spalte befindet, mit einem dichten Rasen, z. B. Streifen von *Geum rivale*, *Alchimilla vulgaris*. Ausser diesen zwei Pflanzen sind *Leontodon auctumnalis*, *Taraxacum taraxacum*, *Potentilla anserina* am typischsten für diese Art von Spalten.

Tabelle VIII.
Analysen auf den Spalten.

S.	Gr.		1 (10)	2 (22)	3 (23)	4 (28)	Qu.	K%.
C	n	<i>Thymus serpyllum</i>	+	—	+ 4	+	3	75
	h	<i>Achillea millefolium</i>	+	+	—	—	2	50
		<i>Alchimilla vulgaris</i>	+	+ 1	+ 2	+	4	100
		<i>Antennaria dioeca</i>	+	—	—	—	1	25
		<i>Brunella vulgaris</i>	+	—	—	—	1	25
		<i>Campanula rotundifolia</i>	—	—	+ 1	—	1	25
		<i>Cerastium caespitosum</i>	+	+ 2	+ 3	+	4	100
		<i>Euphrasia stricta</i>	— 57	+ 5	+ 10	—	3	75
		<i>Filipendula filipendula</i>	+	—	—	+	2	50
		<i>Galium verum</i>	+	+	—	+	2	50
		<i>Geum rivale</i>	—	+	—	—	1	25
		<i>Leontodon auctumnalis</i>	—	+ 24	—	—	1	25
		<i>Lotus corniculatus</i>	—	+	—	—	1	25
		<i>Potentilla alpestris</i>	+	—	—	—	1	25
		<i>Sagina nodosa</i>	—	—	+ 8	—	1	25
		<i>Sedum acre</i>	+ 3	—	+ 1	+ 1	3	75
		<i>Stellaria graminea</i>	+	—	+	—	2	50
		<i>Trifolium repens</i>	+	+ 1	+	+	4	100
		<i>Veronica spicata</i>	+	—	—	—	1	25
		<i>Viola rupestris</i>	+	—	—	—	1	25
	g	<i>Agrostis vulgaris</i>	+	+	+	+	4	100
		<i>Avena pratensis</i>	+	+	—	+	3	75
		<i>Carex verna</i>	+	+	+	+	4	100
		<i>Festuca ovina</i>	+	+	+	+	4	100
		<i>Festuca rubra</i>	—	+	—	—	1	25
		<i>Koeleria grandis</i>	+	—	—	+	2	50
		<i>Phleum Boehmeri</i>	—	—	+	+	2	50
		Pflanzenindividuen	20	13	13	13		
		Keimlinge	60	32	29	1		

Die mittlere Artenzahl 15,5.

„ „ Keimlingszahl 30,5.

Annotationen zu Tabelle VIII:

1. (10). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Die Stelle einer verschütteten Spalte. In der Mitte verhältnismässig tiefe Erde, an den Rändern erreicht sie eine Mächtigkeit von 5—6 cm. Die Pflanzendecke vollständig geschlossen.
2. (22). 20. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Eine verschüttete Spalte; an den Rändern ist die Erde 3—4 cm mächtig, in der Mitte ist sie tiefer. In der Mitte der Boden etwas beckenartig vertieft. Die Pflanzendecke geschlossen.
3. (23). 20. VIII. 23. Vom gleichen Lood. Teilweise das Gebiet einer Spalte, wo die Erde über 20 cm mächtig ist, an den Rändern ist weniger Erde vorhanden. Pflanzendecke offen.

4. (28). 21. VIII. 23. Vom gleichen Lood, ein Gebiet zwischen Hütte und Landstrasse; auf einer Spalte gelegen. Pflanzendecke geschlossen (100%), Erdschicht 8—10 cm mächtig.

Die Wachstumsbedingungen sind auf den verschütteten Spalten verhältnismässig günstiger, als auf dem diese umgebenden Lood. Die Erde ist tiefer, die Feuchtigkeit grösser, da ausser dem Regen noch der kühle, frische Kalkfelsen den Pflanzen zur trockenen Zeit die nötige Feuchtigkeit liefert und dieser Art von Spaltenvegetation ein üppigeres Gedeihen ermöglicht; sogar während der Dürre, wo das Gras besonders auf dem Karst und dem Schuttland verdorrt, weisen die Spalten grüne Streifen einer dichten Vegetation auf. Aber auch hier sind die Keimungsverhältnisse nicht die günstigsten: das Vieh reisst mit Gier an den Spitzen der Gräser und deren blühenden Teilen; die Tritte der Tiere sind zwischen zwei widerstandsfähigeren, die lockerere Erde umgebenden Wänden wirksamer; und die dichte Pflanzendecke verwehrt den Samen den Zutritt zur Erde, wo letztere zu keimen anfangen könnten. Die mittlere Zahl der Keimlinge (Tab. VIII), die auf 30,5 steigt, ist eine verhältnismässig grosse, hängt aber besonders von *Euphrasia stricta* ab, deren Keimpflanzen hier in grosser Zahl vorhanden sind; auch der Zufall spielt hier eine Rolle (*Leontodon auctumnalis*, — Analyse 2). Besonders aber macht sich hier die durch wiederholtes Treten erzielte Festigkeit der Erde geltend.

Es ist sicher, dass die Zahl der Keimlinge auf dem einen oder dem anderen Gebiet des Loods stark schwankt, da man hier Stellen finden kann, wo Keimlinge und Jungpflanzen verhältnismässig reichlich auftreten, während sie an anderen Stellen überhaupt fehlen. Die oben angeführten Analysen geben ein Durchschnittsbild der Erneuerung der Loodvegetation durch Samen. Die Angaben würden immer ein wenig variieren, einerlei, wo man den Versuchsstreifen wählte. Um diese Schwankungen in der Menge der Keimlinge zu charakterisieren, wurden einige in einer Linie gelegene Analysen auf dem Lood von Kostivere gemacht, unter denen alle Typen, bis auf das Schuttlood-*Juniperetum*, vertreten sind (Tabelle IX). Auch hier finden wir die früher festgestellten Verhältnisse wieder: die meisten Keimlinge finden sich gerade auf fast nacktem Kalkstein (Analyse 5) und auf dem Karst (Analyse 1); die bei der Analyse 2 auftretende grosse Anzahl von Jungpflanzen von *Euphrasia stricta* ist mehr durch den Zufall als durch andere herrschende Faktoren bedingt.

Tabelle IX.

Analysen auf einer Linie vom Kostivere-Lood.

S.	Gr.		1 (56)	2 (57)	3 (58)	4 (59)	5 (60)	Qu.	K%.			
C	n	<i>Helianthemum helianth.</i>	—	—	—	—	+	1	20			
		<i>Thymus serpyllum</i>	+ 2	+	+	+	+	2	5	100		
h		<i>Achillea millefolium</i>	—	+	+	—	—	2	40			
		<i>Alchimilla vulgaris</i>	—	+	2	—	—	1	20			
		<i>Antennaria dioica</i>	+	+	—	+	—	3	60			
		<i>Campanula rotundifolia</i>	—	+	1	—	—	1	20			
		<i>Cerastium caespitosum</i>	—	+	1	+	6	+	1	3	4	80
		<i>Euphrasia stricta</i>	—	+	22	—	+	1	—	2	40	
		<i>Filipendula filipendula</i>	—	+	+	—	—	—	2	40		
		<i>Galium verum</i>	+	+	—	+	—	—	3	60		
		<i>Gentiana amarella</i> *axill.	+	5	—	—	—	—	1	20		
		<i>Leontodon auctumnalis</i>	—	+	—	1	—	+	1	3	60	
		<i>Potentilla alpestris</i>	+	+	—	—	—	—	2	40		
		<i>Sagina nodosa</i>	—	—	—	—	—	+	9	1	20	
		<i>Sedum acre</i>	+	—	—	+	+	—	3	60		
		<i>Stellaria graminea</i>	—	+	+	—	—	—	2	40		
		<i>Trifolium repens</i>	+	1	+	—	—	—	3	60		
		<i>Veronica spicata</i>	+	+	—	+	—	—	3	60		
		<i>Viola rupestris</i>	—	+	+	—	—	—	2	40		
g		<i>Agrostis vulgaris</i>	+	+	+	+	—	4	80			
		<i>Avena pratensis</i>	—	+	+	+	—	3	60			
		<i>Carex verna</i>	+	+	+	+	—	4	80			
		<i>Festuca ovina</i>	+	+	+	+	+	5	100			
		<i>Festuca rubra</i>	—	—	+	—	—	1	20			
		<i>Koeleria grandis</i>	+	+	+	+	—	4	80			
		<i>Luzula campestris</i>	—	+	—	—	—	1	20			
		<i>Phleum Boehmeri</i>	—	—	+	—	—	1	20			
		<i>Poa alpina</i>	—	—	—	+	—	1	20			
Pflanzenindividuen			12	21	15	13	7					
Keimlinge			8	27	7	2	15					

Annotationen zu Tabelle IX:

1. (56). 16. IX. 23. Das Lood von Kostivere. Kalksteingebiet, Karst. Gebiet auf dem Weideland von Looküla, Lage desselben an der Mauer (strassenwärts). Erdschicht 4—5 cm mächtig, Erde vollständig feucht. Die Pflanzendecke ist einheitlich, geschlossen, — letzteres teilweise deshalb, weil die Moosdecke stark verbreitet ist.
2. (57). 16. IX. 23. Dasselbst. Moränengebiet, das ungefähr 50 m. südwestlich von ersterem gelegen ist. Tiefe der Erde 40—50 cm; diese ist verhältnismässig locker (trocken). Pflanzendecke geschlossen. Viel Moos.
3. (58). 16. IX. 23. Dasselbst, an der Grenze des Moränengebiets und des Kalksteingebiets, ungefähr 75 m südöstlich vom zuletzt angeführ-

ten Gebiet gelegen. Erdschicht 6—7 cm mächtig, locker. Pflanzendecke offen. Moos. Regenwürmer.

5. (60). 16. IX. 23. Dasselbst, vollständig auf Kalk gelegen, 2 m nordöstlich vom vorher erwähnten Gebiet. Erdschicht 2—3 cm mächtig, locker. Moose bedecken fast die ganze Fläche.

Alle früher angeführten Analysen zusammenfassend, können wir folgende Beobachtungen machen: 1) die Erneuerung durch Samen oder Keimlinge ist auf dem ganzen Loodweideland gering und kaum bemerkbar, da, wie es die Analysen bestätigen, die Zahl der Keimlinge, mit den anderen Pflanzen verglichen, eine minimale ist; auch ihr Deckungsgrad ist ein sehr geringer; 2) je geschlossener die Pflanzendecke ist, desto weniger Keimlinge findet man; 3) je intensiver die Beweidung, desto geringer ist die Erneuerung durch Samen; 4) die Pflanzendecke des Lood erneuert sich meist auf vegetativem Wege durch die Knospenerneuerer; besonders ausgesprochen ist diese Art der Erneuerung bei den Gräsern, während unter den Kräutern sich diejenigen erneuern, die ein ständig sich wiederholendes Kappen während der Beweidung vertragen; 5) abgestorbene Pflanzen treten im ganzen Gebiet auf, ein Teil derselben befindet sich teilweise in der Erde, der andere liegt lose auf dem Grase herum und ist von den weidenden Tieren, besonders von den Pferden, mit den Wurzeln herausgerissen worden; 6) das Absterben der Pflanzen und die Neuentwicklung von Sprösslingen halten sich dennoch mehr oder weniger das Gleichgewicht, so dass das Lood als eine sich gleichbleibende Pflanzenformation erscheint, obgleich die auf dem Lood herrschenden Bedingungen für die Erneuerung der Vegetation durch die Keimlinge ungünstig sind.

Sekundäre Bildungen.

Das Loodweideland ist meist ein unberührtes Gebilde, da die auf dem Untergrund liegende Erdschicht weder bewegt noch durchgemengt wurde. Wie schon früher erwähnt, ist das Loodgebiet mindestens Jahrhunderte lang Weideland gewesen, auf das sich der Einfluss der Menschen nur im Zusammenhang mit dem Weiden ausgedehnt hat. Es gibt aber auch Stellen auf dem Loodgebiet, die nicht mehr unberührt sind. Vor allem wären hier die ausgedehnten Kalksteinbrüche zu nennen, aus denen schon seit langem für Bauten und Mauern Steine gebrochen wurden. Beim

Steinbrechen wird in die tieferen Schichten eingedrungen; die obere Erdschicht wird meist zu einem Haufen zusammengeworfen, der eine freie Fläche für die Ansiedlung von Pflanzen bildet. Hier entwickelt sich eine natürliche Berasung, unter welcher Stebler und Schröder (1892, S. 111) eine ohne Zutun einer künstlichen Aussaat stattfindende Begrünung nackter Stellen verstehen. Auf der nackten Erde fangen Pflanzen zu keimen an, die als Samen vom Winde von den nächsten Feldern, zuweilen auch von den Heuschlägen herbeigetragen werden (*Taraxacum taraxacum*, *Artemisia campestris*), oder die vom Vieh (*Geum rivale*, *Lappa tomentosa*, *Lappula lappula*) oder durch Vögel (*Fragaria vesca* u. a.) verschleppt werden. Hier findet man ebenfalls eine Menge Anthropochore, die durch die Steine führenden Fuhrleute den Weg hierher gefunden haben. Diese Samen finden hier nur auf der Erd- und Steinhalde günstige Lebensbedingungen vor und keimen und entwickeln sich hier viel besser als auf dem Lood (siehe Vegetation der Steinbrüche, Vilberg 1927, S. 68—71). Was die Keimlinge anbetrifft, so können wir hier Stellen finden, wo eine einzige Pflanzenart grössere oder kleinere Streifen vollständig bedeckt hat (z. B. *Sagina nodosa*, *Arenaria serpyllifolia*, *Calamintha acinos*, *Herniaria glabra*, *Braya supina* u. a.).

Das sind Stellen, wo der Kampf ums Dasein eigentlich noch nicht begonnen hat, es sind verhältnismässig junge Besiedlungsgebiete, wo noch eine natürliche Besamung stattfindet (Weber 1892, S. 181). Auf einem Teil dieser Gebiete hat aber der Kampf ein Ende genommen, — es sind dies aus Erde und Rasen aufgeschüttete Wälle, die hier und da an den Abhängen alter Steinbrüche des Lood auftreten und sich schon mehr oder weniger mit Rasen bedeckt haben. Hier bilden Gräser die allgemeine Bedeckung; darunter findet man *Sedum acre*, *Sagina nodosa*, *Lotus corniculatus*, *Galium verum*. Keimlinge gibt es hier verhältnismässig wenige, was die unten angeführte Analyse (Tab. X, Anal. 1) bestätigt.

Ein zweites sekundäres Gebilde sind die an langen Steinmauern gelegenen Landstreifen. Im Winter beim Sturm bilden sich an den Mauern grössere oder kleinere Schneehalden. Wenn der Wind über das offene Lood und die in dessen Nachbarschaft gelegenen Felder stürmt, so trägt das Schneegestöber Erde, Schutt und Pflanzenteilchen mit sich und lässt sie am Mauerrand auf dem Schneeanger liegen. Nach der Schneeschmelze bleibt die mit-

geschleppte Erde dort liegen und vergrössert im Laufe der Jahre die Mächtigkeit der Erdschicht. Wenn z. B. die Erde auf dem Lood in der Umgebung der Mauer 4—5 cm mächtig ist, so ist sie neben der Mauer, dicht daran, wo die Tiere nicht hintreten können, 10—15 cm mächtig. Die Erde ist hier meist locker, sehr feinkörnig und wird häufig noch von Ameisen durchbohrt, deren Nester an den Mauern verhältnismässig häufig sind. Aber die lockere Erde trocknet leicht im Winde und in der Hitze, darum findet man hier verhältnismässig wenig Feuchtigkeit, die Keimungsbedingungen sind schlecht und die Möglichkeit der Keimung fraglich (s. Analyse 2).

Tabelle X.

		1 (7)				2 (8)									
		1	2	3	4	1	2	3	4						
C	h	<i>Achillea millefolium</i>	—	—	—	—	+	+	+	+					
		<i>Campanula rotundifolia</i>	—	—	—	—	—	+	—	—					
		<i>Cerastium caespitosum</i>	—	—	+	+	+	1	—	—					
		<i>Galium verum</i>	+	+	+	+	—	—	—	—					
		<i>Herniaria glabra</i>	—	—	—	—	+	—	—	+					
		<i>Lotus corniculatus</i>	+	—	—	—	—	—	—	—					
		<i>Sagina nodosa</i>	—	+	—	—	—	—	—	—					
		<i>Sedum acre</i>	+	1	+	+	2	+	+	+					
		<i>Veronica spicata</i>	+	1	—	—	—	—	—	—					
		g		<i>Agrostis vulgaris</i>	+	+	+	+	+	—	—				
<i>Festuca ovina</i>	+			+	+	+	+	+	+						
<i>Koeleria grandis</i>	—			—	+	—	—	—	—						
<i>Poa alpina</i>	—			—	—	—	+	+	+						
	6			2	5	2	6	5	2	7	3	6	1	4	—

Annotationen zu Tabelle X:

- (7). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Aus der Erde und dem Rähk eines alten Steinbruchs aufgeschüttete Schwelle auf Karstgebiet. Erde 10—12 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossen. Im Rasen viel *Polytrichum juniperinum*, wenig andere Moose.
- (8). 4. VIII. 23. Das Lood von Kostivere. Gebiet neben einer Mauer, auf dem der Wind im Laufe der Zeit mehr Erde angehäuft hat, ihre Mächtigkeit ungefähr 12—15 cm. Erde weich, locker, die Wirksamkeit der Ameisen bemerkbar. Pflanzendecke undicht, recht wenig Moose.

Man darf nicht vergessen, zu den oben angeführten Verhältnissen bei den Mauern das „Schlafen“ der Schneehalden hinzuzu-

fügen; man versteht darunter das längere Verweilen der hier angewehten Schneehalden während der Schneeschmelze im Frühling; unter dem tiefen Schnee fehlt die nötige Luftzirkulation und manche Gräser und Kräuter ersticken und verwelken zum Frühling zu, oder sie sind infolge des Lichtmangels etioliert und kommen später unter voller Beleuchtung um. Infolge des „Schlafens“ ist die Pflanzendecke meist undicht, der Rasen ist unterbrochen. Oft findet man hier auch Pflanzen, z. B. *Cirsium lanceolatum*, die die Tiere ihrer stacheligen Blätter wegen in Ruhe lassen.

Beachtenswert sind auch die verlassenen Feldstreifen. An einigen Stellen, wo die Erdschicht ein wenig mächtiger ist, ist das Lood einmal kultiviert worden. Aber da die Bodendecke doch zu dünn und zu steinig ist, und da die ungünstigen Faktoren des Klimas hier mehr empfunden werden, hat sich der Ackerbau nicht gelohnt und ist aufgegeben worden. Solche von der Kultur verlassene Felder findet man an einigen Stellen. Das Lood von Iru (Karte 1, 3) ist ungefähr vor 7—8 Jahren Feld gewesen. Die Pflanzendecke ist schon geschlossen, die Gräser befinden sich im Übergewicht; von den Kräutern kommen oft *Antennaria*, *Achillea millefolia*, *Galium verum*, *Trifolium repens*, *Lotus coniculatus* vor, häufig findet man auch *Sagina nodosa* und *Euphrasia stricta*. Mehrjährige Pflanzen aber, die mehr Zeit brauchen, um auf einem Gebiet Fuss zu fassen, fehlen hier beinahe vollständig, z. B. *Veronica spicata*, *Filipendula filipendula*, *Helianthemum helianthemum*. *Thymus serpyllum* hat sich aber stellenweise schon eingebürgert. Ebenso sind junge Wacholdersprösslinge verhältnismässig häufig. Die gewöhnlichen Unkräuter der Felder sind aber vollständig verdrängt worden und verschwunden (vgl. Vilberg 1927, S. 80—81).

Den gleichen Erscheinungen begegnen wir auch auf dem Umland, auf dem Weideland von Välja beim Tallukmägi (Karte 1, 11). Dies Gebiet ist vor 10 Jahren Feld gewesen, aber die Berasung ist hier nicht so schnell fortgeschritten, weil die Bodendecke (dünne Erdschicht mit viel Gestein) und das intensive Weiden von Schafherden diese ungünstig beeinflussten. Die Pflanzendecke ist sehr undicht und unterbrochen. Gräser haben hier verhältnismässig schlecht Wurzel gefasst, allgemein sind *Thymus serpyllum*, *Sedum acre* und *Taraxacum taraxacum*. Interessant ist hier das Auftreten von *Carduus nutans*, da diese in der nächsten Umgebung beinahe vollständig fehlt. *Verbascum thapsus* stammt

augenscheinlich von den in der Nähe gelegenen Kalkbrüchen. Im Hochsommer ist aber das ganze Gebiet mit *Sagina nodosa* vollständig besät. Ebenso hat sich hier folgendes Feldunkraut festgesetzt: *Matricaria inodora*, *Veronica arvensis*, *Vicia cracca*, *Fumaria officinalis*, *Myosotis intermedia*, *Linaria vulgaris*, desgleichen *Polygonum aviculare*, *Capsella bursa pastoris*, *Medicago lupulina*. Das Erscheinen des Feldunkrauts erklärt sich durch die Anwesenheit eines Feldes in nächster Nähe, das ausserdem noch im Herbst mit dem Unland vereinigt wird und mit diesem ein stark ausgenutztes Weideland bildet. Auch hier gibt es kleine Wacholdersträucher, deren Wachstum besonders durch die Schafe zu leiden hat, weil diese die jungen Triebe abnagen und den Sträuchern die Form runder Büschel geben (Taf. IV, 7).

Auch die Fahrwege muss man zu den sekundären Gebilden zählen; kreuz und quer schlängeln sie sich durch das Lood zwischen den Ansiedlungen, den Kalkbrüchen und der grossen Narvaschen Landstrasse dahin. Unter dem Gewicht des Fuders haben sich die Räder, besonders in der feuchten Zeit, tief in die Boden- decke eingedrückt und haben den Rasen beseitigt, oder dieser ist durch die Tritte der Pferde zugrunde gegangen und es haben sich nackte, unbesiedelte Flecken gebildet. Bei der Berasung derselben hat der Zufall eine besonders grosse Rolle gespielt. Wo ein einzelner Same auf eine nackte Stelle geraten ist, sich dort zu einer Pflanze entwickelt und dann durch Samen oder auf vegetativem Wege stark vermehrt hat, haben sich einzelne vollständig reine Gesellschaften auf einem grösseren oder kleineren Gebiet gebildet (*Chrysanthemum suaveolens*, *Juncus bufonius*, *Polygonum aviculare*, *Sagina nodosa*, *S. procumbens*, *Veronica serpyllifolia*, *Poa annua* u. a.). Auch die das Land kreuzende grosse Narvasche Poststrasse wird an ihren Rändern überall von *Chrysanthemum suaveolens*, *Plantago major*, zuweilen auch von *Potentilla argentea*, *Festuca ovina*, *Poa annua* undicht bewachsen. In Iru besetzen *Carduus nutans*, *Cirsium lanceolatum*, *Urtica dioeca* und stellenweise auch *Medicago falcata* die Ränder der Landstrasse ¹⁵⁾.

¹⁵⁾ Als sekundäre Bildungen muss man auch die sehr grossen Sandwälle und Wälle von Ölschiefer auf dem Lood von Iru-Kärnu (siehe Karte 1, 3) betrachten; diese sind während des Weltkrieges aufgeworfen worden, als zum Schutze Revals unter den Kalksteinschichten in einer Tiefe von 20 m grosse unterirdische Kasernen, Eisenbahnlinien u. s. w. gebaut wurden; daselbst findet man im Umkreis von einigen 10 km Laufgräben

Überhaupt ist der Zufall bei der Erneuerung des Lood ein wichtiger Faktor. Palmgren (1925, S. 137) bemerkt im selben Sinn, dass der Zufall bei der Entwicklung der verschiedenen Pflanzengesellschaften, bei der Bewachsung der einzelnen Standorte ebenso wie bei der Entwicklung der Vegetation und Flora über grössere Gebiete eine bedeutende Rolle spielt. Dasselbe kann man auf dem Lood oft beobachten. Als Beispiel nehmen wir einige Vierecke vom Lood von Valkla (Karte 1, 9). An einer Stelle wurde aus irgendeinem Grunde ungefähr eine Schaufelvoll Rasen aufgenommen. Auf dieses Viereck geriet ein einzelner Same von *Chrysanthemum leucanthemum*, dieser fing dort an zu keimen und sich zu entwickeln; späterhin hat dieselbe Pflanze sich auf vegetativem Wege vermehrt und das ganze Viereck besetzt, dabei hat sie alle übrigen Pflanzen dort fast völlig verdrängt, so dass diese nun kaum über 10% des ganzen Vierecks verfügen. Typische Keimlinge und Jungpflanzen sind hier nicht zu finden, wohl aber fand ich dort im ganzen 110 einzelne Sprosse, die sich auf vegetativem Wege vermehrt haben. Kaum 1 m von diesem Viereck entfernt, befand sich ein zweites, auf dem der ganze Rasen im Laufe der Zeit unter einem dichten und verhärteten Haufen tierischer Exkreme (von Hornvieh) gemodert hatte, auf dem bedüngten Viereck wuchs in gleicher Dichte *Brunella vulgaris*. Beide Pflanzen sind zufällig auf unbesiedeltes Land geraten und haben sich vegetativ in verhältnismässig grosser Zahl verbreitet. Dass es geeigneter ist, gerade die Flächengrösse zum Vergleich mit der Pflanzendecke heranzuziehen, zeigt ein Versuchsstreifen vom ebenfalls vollständig berasteten Lood (Analyse 1 der folgenden Tabelle XI).

Solchen einzelnen Fällen der Erneuerung der Pflanzendecke kann man auf dem Lood noch manchesmal begegnen. Besonders unter grösseren Kalksteinen kann man diese Erscheinung beobachten: hat ein Kalkstein längere Zeit auf einer Stelle gelegen, so ist der Rasen unter ihm infolge von Luft- und Lichtmangel zugrunde gegangen, und es hat sich ein Flecken fast nackter schwarzer Erde gebildet, in der oft braune oder schwarze Ameisen

mit geräumigen Blindagen. Aber der Charakter dieser Bildungen weicht vollständig von demjenigen des Lood ab, darum wird auf sie in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden. Die natürliche Berasung derselben hat aber der Verfasser jahrelang verfolgt, eine Zusammenfassung darüber wird späterhin veröffentlicht werden.

Tabelle XI.

			1 (96)	2 (97)	3 (98)	
C	n	<i>Thymus serpyllum</i>	+ 14	+ 7	+ 12	
		h	<i>Achillea millefolium</i>	+	+	+
			<i>Brunella vulgaris</i>	—	—	(155)
			<i>Campanula rotundifolia</i>	+ 1	—	—
			<i>Cerastium caespitosum</i>	+ 6	—	+ 2
			<i>Chrysanthemum leucanth.</i>	—	(110)	+
			<i>Galium verum</i>	+ 4	—	+ 1
			<i>Gentiana amar. *axill.</i>	+ 4	—	+ 1
			<i>Hieracium auricula</i>	—	+	—
			<i>Leontodon auctumnalis</i>	—	—	+
			<i>Linum catharticum</i>	+ (19)	—	+ (1)
			<i>Lotus corniculatus</i>	+	—	+
			<i>Potentilla alpestris</i>	—	—	+ 2
			<i>Sagina nodosa</i>	+ 4	—	—
			<i>Taraxacum taraxacum</i>	+ 1	+ 5	+ 1
			<i>Trifolium repens</i>	+ 2	+	+
			<i>Viola rupestris</i>	+ 5	+ 7	+ 4
			g		<i>Agrostis vulgaris</i>	+
<i>Avena pratensis</i>	+	+			+	
<i>Carex verna</i>	+	+			+	
<i>Festuca ovina</i>	+	+			+	
<i>Koeleria grandis</i>	+	—			+	
<i>Luzula campestris</i>	—	+ 1			—	
<i>Phleum pratense *nodosum</i>	+	+			+	

Annotationen zu Tabelle XI:

- (96). 27. VIII. 23. Das Lood von Valkla. Gebiet auf Weideland nördlich von der Landstrasse (zwischen der Landstrasse und dem Versuchsviereck steht eine Mauer). Offenes, ebenes, hohes trockenes Land. Erdschicht 8—10 cm mächtig, ein wenig feucht, der Rasen stark, dehnbar; Pflanzendecke geschlossen.
- (97). 27. VIII. 23. Das Lood von Valkla, in der Nähe des ersten Vierecks. Das Versuchsviereck dicht mit *Chrysanthemum leucanthemum* bedeckt, der Wurzelstock derselben aus unbekanntem Gründen in einzelne kleinere Teile zerfallen, die jetzt als selbständige Pflanzen dastehen und fast das ganze Viereck bedecken. Wenig andere Pflanzen, die kaum 10% der Gesamtfläche einnehmen. Typische Keimlinge von *Chrysanthemum leucanthemum* nicht zu bemerken. Erdschicht 8—10 cm mächtig. — Augenblicklich eine Stelle, wo der Rasen unter unbekanntem Umständen entfernt wurde.
- (98). 27. VIII. 23. Dasselbst, ungefähr 1 m vom vorherigen Viereck entfernt. Das Viereck mit *Brunella vulgaris* dicht bedeckt. Die Besiedlungsverhältnisse dieselben wie oben. Anwesenheit von Exkrementen von Hornvieh.

ihr Nest bauen; dazwischen kommen hier auch Tausendfüssler und Würmer vor. Wird der Stein auf irgendeine Weise von dieser Stelle verschoben, so beginnen Samen auf der unbedeckten Fläche zu keimen, und die neuen Pflanzen bedecken oft in der früher erwähnten Art das ganze Gebiet. Auf dem Linnalood (Karte 1, 1) werden die unter den Exkrementen des Hornviehs zugrunde gegangenen Pflanzen oft von fast reinen Gesellschaften von *Stellaria media*, zuweilen auch von *Cerastium caespitosum* ersetzt. Aber solche reine Gesellschaften halten doch nicht lange Stand: zwischen den einzelnen Pflanzen und zwischen diesen und der sie umgebenden Vegetation beginnt ein Kampf um den Standort, und die Folge ist, dass Pflanzen, die weniger anpassungsfähig sind, verdrängt werden. Das ständige Weiden der Tiere verringert die Widerstandsfähigkeit der Kräuter, und mit der Zeit bleiben die Gräser, für die die Wachstumsverhältnisse günstiger sind, uneingeschränkte Sieger.

Gerade an den sekundären Bildungen können wir beobachten, wie sich die natürliche Berasung des Lood vollzieht. Während auf frischer, offener, vollständig nackter Erde, wie z. B. an den Abhängen von Steinbrüchen und auf Erdhaufen u. s. w., meist annuelle oder auch diejenigen ausdauernden Pflanzen im Übergewicht sind, deren Samen durch den Wind weitergetragen werden, treten auf älteren Gebilden die sich auf vegetativem Wege verbreitenden Gräser auf, ebenso Kräuter, deren Wurzelsystem nicht tief in die Erde eindringt oder deren Entwicklung durch das Weiden nicht behindert wird (*Trifolium repens*, *Alchimilla vulgaris*). Knospenerneuerer, deren Wurzelstöcke oder Knollen tiefer in der Erde liegen und längere Zeit brauchen um Wurzel zu schlagen, erscheinen am spätesten. Mit der Zeit nehmen diejenigen Pflanzen überhand, die für den betreffenden Standort mit den besseren Schutzmitteln versehen sind, die anderen unterliegen im Kampf. Auch der Wachholder fängt an zu wachsen und wird zu grossen Sträuchern, wenn nicht die Schafe allmählich die jüngeren Triebe benagen, so dass die Pflanze verkrüppelt und oft ganz zugrunde geht.

Keimungsmöglichkeiten auf dem Lood.

Die oben gebrachten Tabellen zeigten, dass die Menge der Keimlinge der Loodvegetation keine grosse, sondern im Gegenteil eine verhältnismässig kleine ist, woraus wir schliessen können,

dass die Erneuerung durch Keimlinge, sei es von ein-, zwei- oder mehrjährigen Pflanzen, nicht den Bestand vervollständigen, sondern umgekehrt, denselben undichter machen würde, wenn keine Erneuerung auf vegetativem Wege stattfände. Den Beobachtungen entsprechend müsste die Erneuerung durch Samen dennoch viel häufiger sein, denn einzelne Pflanzen können immerhin auf dem Lood reifen und vollständig entwickelte Samen liefern. Wenn wir auch nur die keimfähigen Samen in Betracht ziehen, so stellt es sich mit Sicherheit heraus, dass sie für eine vollständige Erneuerung der Loodvegetation genügen würden. In dieser Beziehung geben die Versuche *Chrebtow's* (1908) ein interessanter Beispiel — hier wurden vor allen Dingen während einer Vegetationsperiode die Samen der auf dem Felde wachsenden Unkräuter gezählt. Aus *Chrebtow's* Angaben einzelne auf dem Lood vorkommende Pflanzen herausgreifend, erhalten wir für die Zahl der Samen folgende Tabelle:

Name der Pflanze	Zahl der Samen
<i>Artemisia campestris</i>	99.900
<i>Capsella bursa pastoris</i>	73.010
<i>Cerastium caespitosum</i>	28.706
<i>Potentilla argentea</i>	28.305
<i>Achillea millefolium</i>	26.775
<i>Thymus serpyllum</i>	23.040
<i>Campanula rotundifolia</i>	21.970
<i>Phleum pratense</i>	17.034
<i>Trifolium repens</i>	10.412
<i>Taraxacum taraxacum</i>	7.498
<i>Leontodon auctumnalis</i>	4.864
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	2.360
<i>Erophila verna</i>	2.030
<i>Alchimilla vulgaris</i>	750

Wie gesagt, beziehen sich diese Angaben auf Feld. Auf dem Lood, wo die Erde magerer und die Wachstumsverhältnisse ungünstiger sind, ist die Zahl der Kapseln, der Köpfchen u. s. w. verhältnismässig gering, aber die Menge der Samen in den Kapseln und Köpfchen ist hier dennoch gross genug, damit die Keimlinge öfter auftreten können. Auf dem Lood von Aavakannu zählte ich an einem *Cerastium caespitosum* 96 Kapseln, von denen eine jede 25—30, im Mittel 27 Samen enthielt. Somit besass dieses

Cerastium caespitosum rund 2600 Samen. Aber das war im Juli, und wenn man in Betracht zieht, dass sich bei *Cerastium caespitosum* neue Blüten und Früchte bis zum Spätherbst entwickeln, so ist die Zahl der Samen, die sich während einer Wachstumsperiode gebildet haben, bei *Cerastium caespitosum* auch auf dem Lood eine verhältnismässig grosse. Und trotzdem findet man nicht allzuviel Keimlinge von dieser Pflanze. Noch interessanter sind die Gräser. Eine *Agrostis vulgaris* besitzt in der Rispe im Mittel 4—5 Tausend Samen, dasselbe sieht man bei *Festuca ovina*; oft reifen an einem Horst mehrere Rispen mit Tausenden von Samen, und trotzdem findet man nicht sehr viel Keimlinge von Gräsern, — gerade die Gräser besitzen am wenigsten Keimlinge, was alle Analysen bestätigen. Ebenso kann man beobachten, dass nicht alle auf dem Lood wachsenden Pflanzen Jungpflanzen liefern. Die Kräuter besitzen mehr Keimlinge, doch gilt dieses nicht für alle, — bei einigen treten verhältnismässig wenig Keimlinge auf, z. B. bei *Achillea millefolium*, bei anderen fehlen sie überhaupt. Alle Analysen in Betracht ziehend, kann man feststellen, dass bei folgenden Pflanzen Keimlinge zu finden sind:

<i>Thymus serpyllum</i>	43,5%	<i>Hieracium pilosella</i>	2,8%
<i>Cerastium caespitosum</i>	34,5 „	<i>Linum catharticum</i>	2,8 „
<i>Sedum acre</i>	26,5 „	<i>Ranunculus polyanth.</i>	2,8 „
<i>Trifolium repens</i>	23,7 „	<i>Viola rupestris</i>	2,3 „
<i>Alchimilla vulgaris</i>	19,8 „	<i>Herniaria glabra</i>	1,7 „
<i>Sagina nodosa</i>	17,5 „	<i>Achillea millefolium</i>	1,1 „
<i>Euphrasia stricta</i>	16,0 „	<i>Anthyllis vulneraria</i>	1,1 „
<i>Campanula rotundifolia</i>	15,4 „	<i>Hieracium umbellatum</i>	1,1 „
<i>Festuca ovina</i>	6,8 „	<i>Pimpinella saxifraga</i>	1,1 „
<i>Stellaria graminea</i>	6,8 „	<i>Trifolium pratense</i>	1,1 „
<i>Filipendula filipendula</i>	5,1 „	<i>Antennaria dioeca</i>	0,6 „
<i>Galium verum</i>	4,6 „	<i>Brunella vulgaris</i>	0,6 „
<i>Helianthemum helianthemum</i>	4,6 „	<i>Cirsium acaule</i>	0,6 „
<i>Lotus corniculatus</i>	3,9 „	<i>Dianthus superbus</i>	0,6 „
<i>Taraxacum taraxacum</i>	3,9 „	<i>Gentiana amarella* axill.</i>	0,6 „
<i>Leontodon auctumnalis</i>	3,4 „	<i>Koeleria grandis</i>	0,6 „
<i>Potentilla alpestris</i>	3,4 „	<i>Plantago major</i>	0,6 „
<i>Veronica spicata</i>	3,4 „	<i>Potentilla argentea</i>	0,6 „
		<i>Sedum maximum</i>	0,6 „

Hierzu kommen noch Pflanzen im Jungstadium, besonders *Erophila verna*, *Saxifraga tridactylites*, *Androsaces septentrionalis*,

Veronica verna u. a., die im Frühling früher blühen und darum in den Analysen nicht beobachtet werden; ebenso gehört zweifellos der grösste Teil der „Ignoti“ gerade diesen Pflanzen an. Aber das allgemeine Bild wird dadurch nicht verändert. Zusammenfassend kann man folglich feststellen, dass die Zahl der Keimlinge auf dem Lood, mit ihrer Dichte und der Ständigkeit ihres Auftretens verglichen, eine sehr kleine ist: darum ist die Erneuerung der Loodvegetation durch Samen eine verhältnismässig minimale, so dass der Bestand dadurch keine Vollständigkeit erlangen würde; die Gräser geben verhältnismässig wenig Keimlinge und erneuern die Vegetation hauptsächlich auf vegetativem Wege; da die Gräser auf dem Lood in der Mehrzahl sind, so scheint das Lood sich gerade durch vegetative Vermehrung zu erneuern, wodurch die ganze Pflanzendecke des Lood fast unverändert bleibt, weil sich der Bestand an Stelle der alten abgestorbenen Pflanzen, die durch verschiedene, den Pflanzen schädliche Nebenfaktoren zugrunde gehen oder beim Weiden vom Vieh herausgerissen werden, immer wieder erneuert. Unter den Kräutern kann man mehr Keimlinge finden, aber auch hier ist deren Zahl gering, da bei den mehrjährigen Kräutern, den Knospenerneuerern, die vegetative Vermehrung viel häufiger ist als die Erneuerung durch Samen. Die einjährigen treten in verhältnismässig geringer Zahl auf, so dass sie den Bestand nicht um vieles vervollständigen, sie treten fleckenweise an den Stellen auf, wo die Bedingungen für ihre Verbreitung günstig sind; aber mit der Zeit unterliegen sie den mehrjährigen im Kampf ums Dasein und werden aus dem Bestande ausgeschieden. Die Winterannuellen gedeihen nur dort, wo der Kampf um den Standort gering ist (an den Rändern der Spalten, auf beinahe blossem Kalksteingebiet), und blühen auch zu einer Zeit, wo die anderen Pflanzen sich erst zu entwickeln beginnen; ihr Standort ist aber später, während der Wachstumsperiode, vollständig offen, so dass sich die Erneuerung durch Winterannuelle nur im Frühsommer vollzieht.

Allgemeine Keimungsbedingungen.

a) Feuchtigkeit, Temperatur, Insolation u. s. w.

Es steht fest, dass die Zahl der Keimlinge auf dem Lood eine geringe ist, und dass die Erneuerung der Vegetation sich auf vege-

tativem Wege vollzieht. Es hat sich aber erwiesen, dass die Erneuerung viel grössere Masse annehmen könnte, wenn man die vollständig entwickelten Samen der Pflanzen in Betracht zöge. Da das aber nicht der Fall ist, wie es die entsprechenden Beobachtungen gezeigt haben, sind wir gezwungen, nach den Ursachen zu suchen, die eine Erneuerung vermittels aus Samen entstandener Pflanzen verhindern.

Molisch (1921, S. 289) machte diesbezüglich folgende treffende Bemerkung: „Wenn ein Same keimen soll, dann müssen gewisse innere und äussere Bedingungen erfüllt sein. Zu den letzteren gehören Wasser, Sauerstoff, eine gewisse Temperatur, event. Licht, Frostwirkung und bestimmte chemische Einflüsse“. Am wichtigsten ist die Feuchtigkeit, denn solange der Same trocken aufbewahrt wird, keimt er nicht; erst wenn er eine gewisse Menge Wasser aufzunehmen Gelegenheit hat, quillt er und keimt. Wie früher (S. 30) erwähnt, können wir auf dem Lood hauptsächlich drei grössere Keimungsperioden beobachten. Alle diese Perioden fallen mit Zeiten zusammen, wo die Niederschläge gewöhnlich grösser sind, wodurch auch die Feuchtigkeit steigt. In den gereiften Samen, die vor der bezeichneten Zeit auf den Boden solcher Stellen gelangen, wo sie zu keimen beginnen können, erwacht das Leben zu Beginn der feuchteren Zeit, und sie entwickeln sich weiter, falls auch die anderen Bedingungen günstig sind. Häufig jedoch folgt der feuchten Frühlingsperiode Trockenheit, zuweilen sogar Dürre des Sommers. Dieser Wechsel bringt den Pflanzen oft den Tod, denn der Entwicklung einer jungen Pflanze schadet nichts mehr, als wenn die Keimung durch plötzlich eintretenden Wassermangel unterbrochen wird (N e g e r 1913, S. 724): die Keimlinge können unter solchen Verhältnissen unmöglich erstarken, sie vertrocknen und kommen um. Diese Erscheinung kann man besonders in einem trockenen Sommer an offenen Stellen beobachten, so z. B. an den Rändern der Spalten, auf nacktem Kalkstein, an den Abhängen von Kalkbrüchen¹⁶⁾.

¹⁶⁾ Die oben erwähnten Verhältnisse machten sich besonders im Sommer 1927 bemerkbar, wo von Ende Juni an einen Monat lang Dürre herrschte. Ende Juli (29. VII) war das Lood von Kunda in der Nähe von Rakvere (Wesenberg) vollständig verbrannt, die Erde pulvertrocken und besonders an rasenlosen Stellen glühend heiss. Das Gras war trocken und weiss wie vorigjähriges Gras, und so brüchig, dass es beim Gehen unter den Füssen brach und Spuren der Schritte hinterliess. Beim grösseren Teil der Pflanz-

Ebenso ist dem grössten Teil der Pflanzen der Wechsel zwischen Feuchtigkeit und Trockenheit schädlich. Resistenzfähiger sind die Gräser, wie es diesbezügliche Versuche H a b e r l a n d t s zeigen (1877, S. 61—62). Von 100 Körnern keimten bei ihm:

	nach 1-	2-	3-	4-	5-	6-	7-maligem Austrocknen
vom Weizen	75	70	57	31	25	10	1
„ Hafer	90	83	77	62	40	27	8
„ Raps	85	55	27	17	1	—	—
„ Flachs	88	78	30	9	—	—	—
von der Erbse	87	38	3	—	—	—	—

Dagegen schafft der Wechsel zwischen Feuchtigkeit und Trockenheit nur für einzelne Pflanzensamen, meist für dickschalige Samen (z. B. *Raphanus raphanistrum*), günstigere Keimungsbedingungen, da er zum Sprengen der Samenschale beiträgt (L a k o n 1914, S. 966—967).

Günstiger sind die Keimungsbedingungen während der zweiten Keimungsperiode, d. h. im Hochsommer. Meist keimen dann winterannuelle Pflanzen, die im Frühling zeitig geblüht haben und zur Fruchtreife gelangt sind, wie *Erophila verna*, *Saxifraga tridactylites* u. a. Während die Samen in der heissen Sommerzeit sich in der Ruheperiode befinden, fangen sie unter dem Einfluss der Feuchtigkeit zu keimen an. Meistens sind die Keimungsbedingungen im Herbst günstig, und die Pflanzen können sich soweit entwickeln, dass sie mehr oder weniger gut überwintern und im Frühling zeitig zum Leben erwachen, um dann im Frühsommer schon zu blühen (vgl. auch J e s s e n 1854, S. 46).

Schwer sind auch die Keimungsbedingungen in der dritten Keimungsperiode, die bei günstiger Temperatur im Herbst eintritt. Ist der Herbst trocken, so können die aus den Kapseln oder

zen hatten sich die Blätter zusammengezogen. Den Beobachtungen nach hielten *Lotus corniculatus* und *Galium verum* am besten unter der Trockenheit aus. Von abgestorbenen Pflanzen hielten recht viel aus *Avena pratensis*, *Festuca ovina* und auch *Trifolium repens*. Keimlinge sind überhaupt nicht vorhanden. Am Abhang des Kalkbruchs sind einige vollständig braune Jungpflanzen zu finden. *Arenaria serpyllifolia*, auch *Calamintha acinos* sind vollständig abgestorben. Auf dem Rasen findet man einige latente Samen. Das ganze Lood sieht gefleckt aus: es ist weisslich, wo der Kalkstein etwas tiefer liegt (15—20 cm), braun, wo die Erde in einer 5 cm dicken Schicht über dem Stein liegt, etwas grünlich da, wo die Erdschicht über 20 cm tief ist.

Köpfchen herausgerieselten Samen nicht so schnell ins Keimen kommen, wodurch sich die Keimungszeit verspätet und die Wachstumsperiode ansehnlich verkürzt wird. Hatte der Winter früh und streng begonnen, so hatten die meisten Samen der niedrigen Temperatur wegen nicht gekeimt (Jeswiet 1914, S. 336). Ist aber der Herbst feucht und warm, dann keimt eine Anzahl von Samen ein- wie auch mehrjähriger Pflanzen, die Keimlinge aber können nicht genügend erstarken und gehen darum bei der Winterkälte, oft aber auch durch einen kalten Frühling oder infolge von Nachtfrösten zugrunde. Beim grössten Teil der Pflanzen keimen die Samen nicht sogleich nach der Reife, sondern ruhen bis zum nächsten Frühjahr (Hildebrand 1883, S. 2; Baur 1918, S. 324), wodurch das Überwintern erleichtert wird und die Samen vielleicht im Frühling unter günstigeren Bedingungen zu keimen beginnen. Wie früher schon erwähnt, sind gerade diese Keimlinge auf dem Lood im Übergewicht.

Ausser den oben erwähnten Verhältnissen, bei denen wir noch verweilen werden, brauchen die Pflanzensamen eine offene, von anderen Pflanzen unbedeckte Bodenfläche, in welcher der Keimling wurzeln kann. Die Keimungsperiode und die Erstarkungszeit gehören zu den schwersten Lebensperioden der Pflanzen. Haberland (1887, S. 3) beschreibt diesen Zeitabschnitt sehr anschaulich folgendermassen: „Wohl niemals ist die Pflanze so vielen Gefahren ausgesetzt, als zur Zeit der Keimung. Sie hat die Samenhülle kaum verlassen und soll nun auf der Stelle mit den erwachsenen Pflanzen ihrer Umgebung in einen Wettbewerb um die äusseren Bedingungen des Daseins treten. So gering ihr anfängliches Raumbedürfnis auch sein mag, sie bleibt doch in den meisten Fällen ein „Eindringling“, dem die Behauptung des Daseins nicht leicht gemacht wird. Doch ganz abgesehen von diesem unmittelbaren Kampfe mit den Nachbarpflanzen, der am Ende manchem Keimling erspart bleibt, ist doch dieser letztere durch all diejenigen Einflüsse des Klimas und anderer Verhältnisse, welche bei der erstarkten und erwachsenen Pflanze bloss eine teilweise Schädigung des Organismus oder einen zeitweiligen Stillstand der Lebensfunktion herbeiführen, in seiner ganzen Existenz bedroht“. Und dieser schon vielfach erwähnte Kampf zwischen den Pflanzen entsteht bekanntlich dadurch, dass durch die vielen Samen und die ungeschlechtliche Vermehrung viel mehr Individuen ins Dasein treten, als Raum für diese jungen Pflanzen,

nachdem sie aufgewachsen sind, zur Verfügung steht (C a j a n d e r 1925, S. 666). In diesem Kampf kommen diejenigen Pflanzen zur Geltung, die mit dem Lood angepassten Schutzvorrichtungen versehen sind¹⁷⁾. Nach den Beobachtungen H i l d e b r a n d t s (1881, S. 109) müssen überhaupt in der Vegetation diejenigen Pflanzen zur Herrschaft gelangen, welche die erste Zeit des Lebens dazu anwenden, um starke vegetative Organe zu entwickeln, mit denen sie die anderen Pflanzen beschatten oder niederdrücken. Darum sind auf dem Lood, besonders an tiefgründigeren Stellen, *Taraxacum taraxacum*, ebenso *Leontodon auctumnalis* so stark vertreten, dass sie im Frühsommer (*Taraxacum taraxacum*) und im Hochsommer (*Leontodon auctumnalis*) dem Lood ein eigenartiges Gepräge geben. Ebenso haben die Gräser, sich vegetativ vermehrend, einen dichten Rasen bildend, sich verbreitet, so dass die Samen wirklich keinen Ort finden, wo sie anfangen könnten zu keimen. Ein Teil der Samen bleibt sogar an den oberen Teilen der Grasnarbe hängen und gelangt gar nicht zum Keimen (F l e i s c h e r 1921, S. 97). Darum können sich die Pflanzen in geschlossenen Formationen, wie es meist alle wiesenartigen Formationen sind, nicht aus den Samen entwickeln, aus welchem Grunde hier die Verjüngung der Pflanzendecke nur in beschränktem Masse durch Samen geschehen kann und die Vermehrung also hauptsächlich auf vegetativem Wege vor sich gehen muss (vgl. C a j a n d e r 1922, S. 2—3), und je länger und heftiger dieser Kampf andauert, um so eintöniger wird die Vegetation. Die Mehrjährigen nehmen vollständig die Überhand, die Annuellen, als kurzlebige Formen, werden mehr verdrängt, und die Samen, die auf die eine oder die andere Weise in den geschlossenen Bestand geraten, können nicht anfangen zu keimen und gehen zugrunde.

Auf dem Lood können wir kaum auf einen besonderen Einfluss der Belichtung beim Keimen rechnen. Das Lood ist ja offen und der Karst sowie das Schuttlood vollständig baumlos, so dass die Beleuchtung auf die Pflanzendecke uneingeschränkt einwirken kann. H e s s e l m a n (1904, S. 155) beobachtete, dass der

¹⁷⁾ Die Schutzvorrichtungen der Alvar- resp. Loodpflanzen sind von Grevillius (1896) sehr ausführlich behandelt worden. Auch Altenkirch (1894) berührt diese Frage bezüglich der Geröllflora Sachsens. In diesen Arbeiten ist auch die entsprechende Literatur angeführt.

Lichtgenuss der Pflanzen auf den sonnenoffenen Wiesen, resp. auf dem Lood, 1 oder beinahe 1 ist. Es ist ja allgemein bekannt, dass intensives Licht auf das Wachstum retardierend wirkt, aber auch diese Wirkung ist, je nach der Anpassung der Art, sehr verschiedenartig (Gräbner 1910, S. 183—184). Nobbe (1882) hat Versuche mit Gräsern ausgeführt (mit *Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense*, *Zea mays*) und fand, dass das Licht bei der Keimung der Samen, unter sonst gleichen Bedingungen, keinen oder einen nachteiligen Einfluss ausübt, indem es den Vorgang retardierte und dadurch unter Umständen bei langsam-keimenden Samenarten die Keimpflänzchen den sich entwickelnden Pilzen überantwortet. Das gleiche kann man auch in Betreff der Lichtwirkung auf das Keimen der Samen für das Schuttlood-*Juniperetum* annehmen, wo der Lichtgenuss der Pflanze naturgemäss ein anderer ist; er ist kleiner als auf dem offenen Lood, — Hesselman (l. c.) fand in den Wacholderbeständen Schwedens stets nur einen herabgesetzten Lichtgenuss, der kaum $\frac{1}{17}$ — $\frac{1}{20}$ erreicht.

Um so grösser ist der Einfluss der Temperatur bei der Erneuerung der Pflanzen. Hitze, d. h. viel Wärme schadet den Pflanzensamen kaum, da auch die Hitze, die während der heissesten Zeit auf dem Lood herrschen kann, doch zu niedrig ist, um auf die Samenpflanzen schädlich einzuwirken. Die Hitze kann aber dennoch das Keimen schädlich beeinflussen, da es bekannt ist, dass durch hohe Temperaturen die Keimung der Samen verzögert wird; und so wird es in der Natur geschehen, dass nach Erhöhung der Temperatur die Samen eines Gewächses erst später keimen (Hildebrandt 1881). Am meisten schadet aber die Hitze den Pflanzen, die schon gekeimt haben. Gewöhnlich keimt ein Teil der Samen im Frühsommer, meist aber im Juni, während der Periode reichlicher Niederschläge. Wenn einer feuchten Periode eine trockene Zeit folgt, wie es im Jahre 1927 der Fall war, so gehen alle Pflanzen, die gekeimt haben, zugrunde: die Erde trocknet durch die Hitze und durch die grosse Transpiration vollständig aus, die Pflanzen erhalten keine Feuchtigkeit und ein schwacher Keimling vertrocknet. Walter (1927, S. 131) bemerkt, dass auch durch zu starke Erwärmung der obersten Bodenschichten auf trockenen, sonnigen Standorten die Pflanzen an dem Wurzelhals geschädigt werden können. Sogar im Herbst, nach dem ersten Herbstregen, wenn wieder eine trockene Zeit

mit vielem Sonnenschein eintritt, wirkt die Sonnenhitze vernichtend, wie es J e s w i e t (1913, S. 315), der auf den Dünen Hollands gearbeitet hat, beobachtete, denn wenn Samen an solchen Stellen gekeimt haben, an denen es vom frühen Morgen bis zum späten Abend Sonnenschein gibt, so sind sie bald vertrocknet. Auch ein Teil der Samen mit verhältnismässig dicker Schale, wie die Samen von *Sagina nodosa*, *Gentiana amarella* u. a., kommen in der Hitze um, verlieren ihr Entwicklungsvermögen, wenn sie in der vorangegangenen feuchten Periode gequollen sind.

Die Temperaturverhältnisse des Lood betrachtend, muss man einige für das Lood charakteristische Zustände genauer ins Auge fassen. Schon das Fehlen der Baum- und Strauchschicht bedingt andere Temperaturverhältnisse. H e s s e l m a n (1904, S. 454) fand beim Studium der Laubwiesen in Schweden, im östlichen Teil von Uppland auf der Insel Skabbholmen, dass die Temperatur der sonnenoffenen Wiesen an heiteren Sommertagen am Mittag durchschnittlich um 1—1,5° höher ist, als in den am meisten geschlossenen Beständen. W a r m i n g (1887), H o m é n (1897) und K r a u s (1911, S. 103—104) zeigten, dass die Temperatur am Standort der Pflanzen, besonders im Sommer bei wolkenfreiem Himmel, viel höher ist; dadurch wächst die Pflanze in ganz anderen Verhältnissen auf, als sie bei den meteorologischen Beobachtungen verzeichnet werden. Um auf diesem Gebiet auch in betreff des Loods einige Gewissheit zu erlangen, machte ich im Sommer 1923 einige Beobachtungen (V i l b e r g, 1927, S. 30—32), die man aber der mangelhaften Instrumente wegen nicht für vollständig massgebend halten kann. Und dennoch zeigen sie, dass die Wärme an der Erdoberfläche viel grösser ist, als z. B. 1 m hoch in der Luft (am 23. VIII. 1923 betrug die Temperatur auf dem Lood von Aavakannu um 12h in der Luft 20,0°, auf der Erde dagegen 40,0° C). Dasselbe bestätigen auch Temperaturbeobachtungen, die ich im Sommer 1927 vom Anfang Mai bis Mitte August veranstaltet habe. Der Versuchsort befand sich in Kunda im Park der Volkshochschule von Wierland, in der Nähe von Rakvere (Wesenberg) ($\varphi = 59^{\circ} 31'$, $\lambda = 26^{\circ} 32'$)¹⁸⁾, unweit

¹⁸⁾ Der Beobachtungsort befand sich auf einem offenen Wiesenplatz, der eine verhältnismässig geringe Neigung nach Süden aufweist. In der nächsten Umgebung befanden sich meist Gräser, die auf dem guten Boden verhältnismässig stark in die Höhe gewachsen waren. Das Gebiet wird im Norden vom Hauptgebäude der Volkshochschule, von der anderen Seite von

von beinahe ebensolchen Loodbildungen wie in Ost-Harrien, aber ungefähr 100 km östlich gelegen. Die Beobachtungen wurden folgendermassen durchgeführt: 1) Messung der Lufttemperatur 1 m über der Erdoberfläche, d. h. ungefähr in der Höhe der Spitzen der Sträucher, wobei das Thermometer an die Nordkante eines 5 cm breiten Tisches befestigt war, um die Temperatur hier den Temperaturverhältnissen, wie sie bei den Sträuchern massgebend sind, mehr oder weniger anzupassen. 2) Messung der Temperatur in der Höhe der Grasspitzen, 5—6 cm von der Erde entfernt, wobei die Quecksilberkugel von oben mit grünem Papier oder mit einem frischen Linden- oder Syringenblatt bedeckt wurde. 3) Temperaturmessung auf blosser mit Grasstopeln bedeckter Erde, die durch Beschneiden immer von Gras reingehalten wurde; die Beobachtungen vollzogen sich hier auf zweierlei Arten: a) mit dem Schwarzkugelthermometer im Vakuum, und b) mit dem Blankkugelthermometer im Vakuum, beide lagen horizontal auf der Erde. 4) Messung der Temperatur in der Erde, auf dem Horizont der Pflanzenwurzeln, in einer Tiefe von 6 cm¹⁹⁾. Ausser der Temperatur wurden mit möglichster Genauigkeit die Bewölkung und deren Dichte, die Sonnenbedeckung²⁰⁾, der Wind und die Windstärke²¹⁾ beobachtet. Nach dem Thermographen wurde

Bäumen begrenzt, die den Beobachtungsort nicht beschatten; nur um 8^h berührt der Schatten des Gipfels einer *Abies sibirica* und um 11^h der Schatten eines undichten Gipfels von *Acer platanoides* ungefähr eine halbe Stunde lang den Beobachtungsort, während um 15^h der dichte Gipfel einer *Tilia cordata* den Thermometer über eine halbe Stunde lang beschattet. Besonders stark war die Wirkung der Beschattung Ende Juli und im August, wo die Sonnenhöhe abnahm. Die Sonne beschien die Beobachtungsstelle von 7^h —20^h.

¹⁹⁾ Die Schwarzkugel- und die Blankkugelthermometer der Firma Fluss stammen aus dem meteorologischen Institut der Universität Dorpat. Die anderen Thermometer — sehr empfindlich und mit einer Skala von der Genauigkeit 0,2 versehen — stammen von unbekanntem Firmen und waren auf der Erde und bei den Grasspitzen angebracht. In der Luft ein gewöhnlicher Thermograph von Six. Alle Thermometer wurden beim Beginn in einem dunklen Raum kontrolliert und beinahe jeden Morgen an ihrem nächtlichen Aufbewahrungsort auf die gleiche Höhe gebracht. Die Beobachtungen meist nach jeder Stunde aufgezeichnet. Behilflich war mir dabei mein Schüler Ernst Lilienblatt, dem ich hier meinen Dank ausspreche.

²⁰⁾ A. R ü b e l 1922, S. 45—46.

²¹⁾ Ibid. S. 93—94.

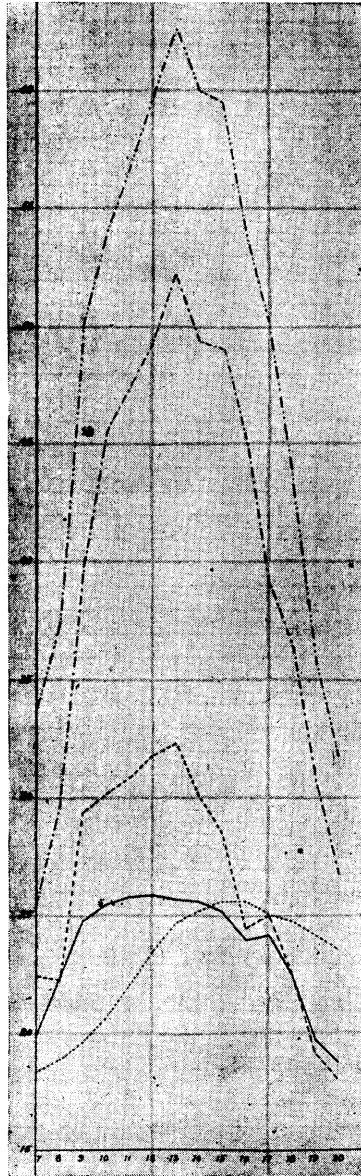
auch jeden Tag das Temperaturminimum und -maximum vermerkt.

Hier ist nicht der Ort die gesamten Ergebnisse der Beobachtungen zu veröffentlichen — dieses wird späterhin in einer speziellen Arbeit geschehen; um aber die Temperaturverhältnisse zu charakterisieren, führe ich einige Angaben über den Juli an. Der Juli war im Jahre 1927 in Kunda verhältnismässig gleichmässig. Den ganzen Monat über war der Himmel klar, zeitweilig von leichten dünnen Cumuluswolken bedeckt, die aber keine grosse Rolle bei der Sonnenbedeckung spielten. Nur einige Mal, am 20. und 24., regnete es — das erste Mal leicht, so dass nur die oberste Erdschicht nass wurde; das zweite Mal regnete es den ganzen Tag hindurch in grossen Tropfen. Den ganzen Juli herrschten verhältnismässig leichte Ost- und Nordostwinde, mehr in der Mitte des Monats erreichte der Wind eine mittlere Stärke.

Schon die absoluten Extreme des Juli veranschaulichen genügend diejenigen Temperaturverhältnisse, die während eines heissen Sommers auf dem Lood herrschen. Aus den Beobachtungen ergibt sich, dass die Temperatur im Juli folgendermassen steigt:

1. Auf der Erdoberfläche:
 - a) nach dem Schwarzkugelthermometer auf 71,0⁰ (19. VII.).
 - b) nach dem Blankkugelthermometer „ 61,0⁰ (19. VII.).
2. Bei den Grasspitzen „ 45,6⁰ (19. VII.).
3. In der Luft „ 31,5⁰ (16., 18., 19. VII.).
4. In der Erde „ 28,8⁰ (19. VII.).

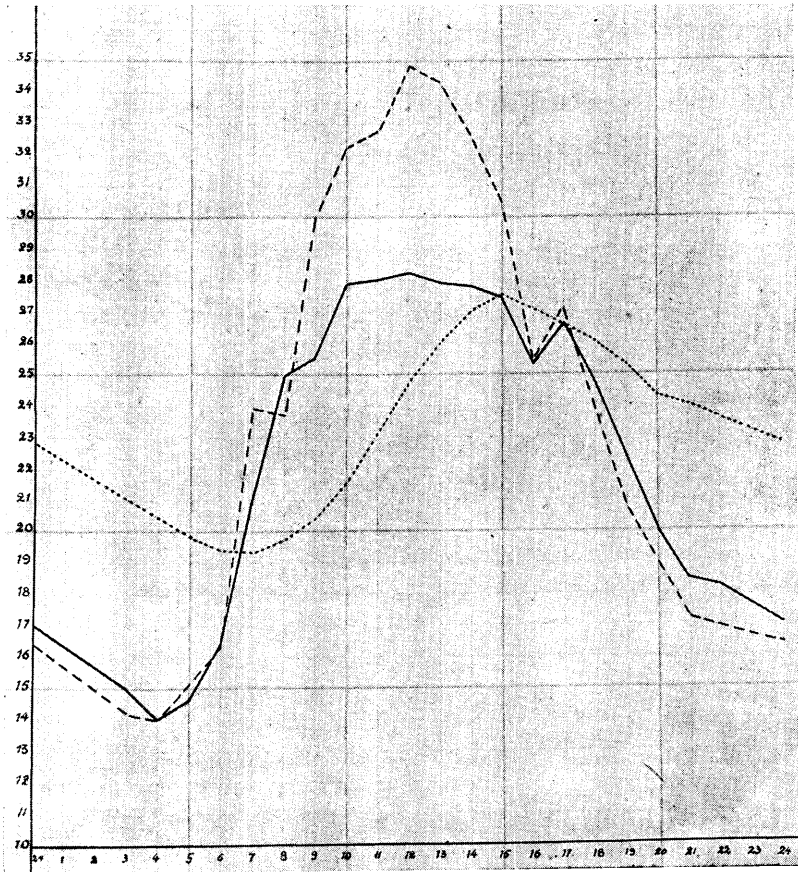
In der Nacht sank die Temperatur auf 6⁰ C (1. VII.); die wärmsten Nächte am 19. und 20. Juli hatten 15⁰ C. Am übersichtlichsten sind aber die Temperaturverhältnisse durch die Kurve im Diagramm auf Seite 81 wiedergegeben, wobei letzteres auf Grund der Beobachtungen des ganzen Monats zusammengestellt wurde. Hier variierte die Temperatur in der Zeit zwischen 7^h — 20^h, während die Sonne den Beobachtungsplatz beschien. Um die Temperaturschwankungen vollständiger anzugeben, wurden auch zu einer andern Zeit und mit denselben Thermometern ausser dem Insolationsthermometer Beobachtungen gemacht. Diese Angaben zeigen die Temperaturverhältnisse innerhalb 24 Stunden;



Temperaturverhältnisse im Juli 1923.

- t° in der Erde
 ——— „ in der Luft
 - - - - - „ bei den Grasspitzen
 „ auf der Erdoberfläche nach dem Blankkugelthermometer
 - - - - - „ daselbst nach den Schwarzkugelthermometer.
 Abszisse — Zeit, Ordinate — t° nach C.

zur Illustration derselben wurde ein Diagramm aufgestellt (S. 82), dessen Kurven das Verhalten der Temperatur am 11.—19. VII. und am 22.—23. VII. bei den Grasspitzen, in der Luft und in der



Temperaturverhältnisse am 11.—23. Juli 1923.

..... t° in der Erde

—— „ in der Luft

----- „ bei den Grasspitzen.

Abszisse — Zeit, Ordinate — t° nach C.

Erde angeben. In beiden Diagrammen spiegelt sich die Beeinflussung der Temperatur durch die Insolation wieder: die Sonne braucht nur von Bäumen verdeckt zu werden, und sogleich fällt auch die Temperatur. Am meisten schwankt die Temperatur bei

den Grasspitzen: ein durchsichtiger Wolkenschleier vor der Sonne, ein etwas stärkerer Windstoss bringen das Thermometer zum Fallen. Um 8^h, wo der Boden noch kälter ist, erniedrigt der Schatten von *Abies sibirica* die Temperatur, das gleiche tut der leichte Schatten von *Acer platanoides* um 11^h. Bedeckt aber der Schatten der dichten Linde um 15^h den Beobachtungsort ungefähr eine halbe Stunde lang, so wirkt das sogar auf das Luftthermometer erniedrigend. Die Beeinflussung des Schwarzkugel- und des Blankkugelthermometers ist deshalb unverzeichnet geblieben, weil sie Schleuderthermometer sind, die während jeder Beobachtung heruntergeschlagen werden, und deren Steigen man während der nächsten Beobachtung verzeichnet.

Wie aus den Kurven ersichtlich, erreicht die Temperatur ihr Maximum um 13^h und fängt dann an zu sinken. Am gleichmässigsten sind die Temperaturschwankungen unter der Erde; hier steigt sie bis 15^h — das ist zwei Stunden nach der heissesten Zeit in der Luft oder bei den Grasspitzen, was durch das langsamere Wärmeleitungsvermögen der Erde zu erklären ist; aus demselben Grunde ist es in der Nacht in der Erde, in der Wurzelregion, wärmer als auf der Erdoberfläche.

Auf eins muss man hier noch aufmerksam machen: dass die Temperatur auf dem gewöhnlichen Lood, wo der Kalkuntergrund nahe ist, auch tagsüber niedriger ist als auf dem erwähnten Beobachtungsort, d. h. auf der Wiese, wo die Erdschicht mächtiger ist und der Untergrund tiefer liegt. Diese Tatsache ergibt sich aus den Beobachtungen, die auf dem Lood bei Kunda-Aru, 2 km westlich von der Volkshochschule von Wierland, gemacht wurden, wohin die Überführung der Beobachtungsapparatur auf dem Rade nur $\frac{1}{4}$ Stunde Zeit in Anspruch nahm. In der untenstehenden Tabelle zeigen die kursiven Daten die Höhe der Temperatur auf dem Lood an, wie sie in der Erde bei gleicher Tiefe (6 cm) in einem Gebiet herrscht, wo Steinschotter und Kalkstein schon in einer Tiefe von 3—4 cm auftreten.

T a g e s z e i t

Datum	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h
17. VII.	20,0	20,2	21,0	22,0	23,8	25,2	26,8	27,8	28,2	28,2	27,6	27,0	—	25,8
18. „	20,0	20,2	20,8	20,8	21,2	22,8	23,8	23,8	23,8	23,0	26,8	26,4	25,8	25,0
19. „	19,6	20,0	20,6	22,0	24,6	26,0	27,8	28,8	28,6	28,6	27,6	27,2	26,2	25,6
20. „	19,6	20,2	21,4	19,6	20,6	21,6	22,4	22,8	23,0	23,0	23,0	26,8	26,0	25,2

Unter anderen Verhältnissen ist der Unterschied ein relativ geringer, und die Angaben der obigen Diagramme kann man mit einigen Abweichungen auch für die Verhältnisse auf dem Lood für gültig erklären. Zum besseren Vergleich sei noch eine Tabelle inbetreff der Lufttemperatur angeführt:

T a g e s z e i t														
Datum	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h
17. VII.	22,0	25,5	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	26,0	25,0	25,0	24,5	—	21,0
18. „	24,0	25,0	28,5	28,0	28,5	30,0	29,0	29,5	28,5	26,0	21,5	23,5	23,5	21,5
19. „	23,0	24,0	26,5	28,0	28,5	29,0	29,0	28,0	27,5	26,5	27,5	25,5	22,5	21,0
20. „	21,5	22,0	25,0	25,0	27,0	27,5	29,0	29,0	28,5	29,0	28,5	26,0	21,5	20,5
									Max.		Min.			
									17. VII.		29,0			14,0
									18. „		31,5			14,5
									19. „		31,5			15,0
									20. „		30,0			15,0

Aus den eben angeführten Daten ersieht man, dass die Hitze im Sommer besonders an den Stellen, wo die Erde nackt oder nur von einer undichten Pflanzendecke bedeckt ist, auf dem Lood verhältnismässig stark ist. Zieht man noch in Betracht, dass das Schwarzkugelthermometer die richtigsten Daten gibt, weil hier alle Reflexions- und Absorptionsverhältnisse beseitigt worden sind, so ist die Temperatur bei der Pflanzendecke in einem heissen Sommer, an sonnenklaren Tagen besonders hoch. An den Graspitzen steigt die Temperatur doch nicht so stark (Maximum nach dem gewöhnlichen Thermometer 45,6°C), weil hier öfters die Winde wühlend wirken. Jedenfalls schädigt die Hitze den Pflanzen nicht direkt, zum Teil schon darum, weil z. B. in einem geschlosseneren Bestand die unteren Pflanzenteile sich unbedingt in einer kühleren Umgebung befinden (vgl. H a y e k 1926, S. 11). Durch die Hitze wird aber die Transpiration stark beschleunigt. H e s s e l m a n (1904, S. 11) fand, dass an heiteren Sommertagen, falls der Boden genug Feuchtigkeit enthält, die Transpiration an sonnenoffenen Standorten diejenige im Schatten sehr bedeutend übertrifft. Die Sonnenformen können sogar bisweilen zehnmal mehr Wasser pro Tag abgeben als die Schattenpflanzen. Mit steigender Temperatur wird die Transpiration lebhafter, ebenso bei geringe-

rer Feuchtigkeit der Luft ²²⁾). Die Transpiration aber wird besonders durch den Wind verstärkt. Überall, wo er hinstreicht, trocknet er aus. Dieses Austrocknen des Bodens und der Pflanzen ist ja die Haupttätigkeit des Windes in der Ökologie der Gewächse (Gräbner 1910, S. 221). Die Erde verhärtet sich dadurch beim Eintrocknen und wird zum Teil auch humusarm.

Die Temperaturverhältnisse sind dem Keimen verhältnismässig ungünstig, gerade wegen des Mangels an Feuchtigkeit. Und da die höhere Temperatur zusammen mit dem Wind in der heissen Zeit die Feuchtigkeit vom Lood abführt, verkümmern die Jungpflanzen und Keimlinge und kommen wegen Mangel an Feuchtigkeit um, wenn die Dürre längere Zeit anhält. Regnet es aber nach regelmässigen Zwischenperioden, so entwickeln sich die Pflanzen besser und die Pflanzendecke sieht einheitlicher aus.

Zweifellos beeinflussen die Erdkrume und der Untergrund, wenn auch nicht direkt, so doch indirekt die Keimung. Das Lood gehört zu den flachgründigen Gebilden, da hier, besonders auf dem Karst, die Erdschicht sehr dünn ist. Besonders abhängig sind gerade die Feuchtigkeitsverhältnisse von der Bodendecke, vor allem von deren physikalischer Beschaffenheit, von der Bodenstruktur, speziell der Körnigkeit. Wie schon früher gezeigt (Vilberg 1927, S. 18—19), ist die Menge der Feinerde, welcher, wie Schimper (1898, S. 95) bemerkt, nur geringe wasseraufsaugende Kraft zukommt, auf dem Lood eine verhältnismässig grosse. In der heissen Sommerzeit kann deshalb das Regenwasser nicht in allzu grossen Mengen in den Boden eindringen, wodurch die Feuchtigkeitsverhältnisse verschlechtert werden, da bei starker Insolation und hoher Temperatur die flachgründige Erdschicht sehr schnell austrocknet, und beim Mangel der nötigen Feuchtigkeit können auch die Samen nicht anfangen zu keimen ²³⁾).

²²⁾ Die Transpiration wird sehr ausführlich von Burgerstein (1904—1925) behandelt, bei dem auch die bezügliche Literatur aufgezählt ist.

²³⁾ Im Jahre 1923 war der Sommer verhältnismässig regnerisch, auch die Insolation war durch Bewölkung geschwächt; darum konnte man im Juli auf dem Lood Keimlinge finden. Aber auch dann war die Zahl der Keimlinge eine geringe (vgl. die Analysen für den Juli und August).

b) Einwirkungen von Kälte und Schnee.

Zweifellos beeinflusst die Winterkälte die Erneuerung des Lood, wobei sich die Kälte um so stärker bemerkbar macht, als das Loodgebiet nur von einer dünnen Schneedecke überzogen wird. Da das Gebiet beinahe vollständig offen ist, weder Bäume noch Sträucher trägt, wird den Stürmen im Winter kein Einhalt geboten; diese tragen den Schnee von einer Stelle zur anderen, so dass er auf dem Lood in verschiedener Mächtigkeit auftritt. In den Einsenkungen liegt der Schnee stellenweise 40—45 cm tief und ist vom Winde vollständig geglättet. Dagegen sind die höher gelegenen Gipfel und Blöcke, z. B. auf dem Lood von Kostivere in der Nähe der Kalkbrüche und auf dem Linnalood des Lasnamägi in der Nähe des Glintrandes, fast vollständig nackt oder von einer dünnen Schneeschicht bedeckt, die sich durch die Wirkung von Frost und Tauwetter in eine harte Kruste verwandelt hat. Dort, wo sich Wacholdersträucher befinden, ist die Erde von einer mächtigeren Schneeschicht bedeckt, die der Wind zwischen den Wacholdersträuchern angeweht hat. Bei den niedrigeren Sträuchern schauen nur die Spitzen aus dem Schnee, meist nur die vorjährigen Triebe, von denen ein grosser Teil vertrocknet ist. Auch hinter Steinen und Steinmauern liegt der Schnee höher, und es bilden sich dort oft lange Halden festen, tragenden Schnees. Ein solches Schwanken der Mächtigkeit der Schneedecke wirkt entsprechend auf die gesamte Pflanzendecke ein. Die Schneedecke ist ja allgemein anerkannt als vorzüglicher Kälteschutz, — eine Eigenschaft, die besonders darauf beruht, dass der Schnee ein schlechter Wärmeleiter ist (Linkola 1922, S. 173; Woikoff 1889, S. 104—105; Tanfiljev 1925, S. 278—279). Der Schnee ist für das Lood der einzige Schutz vor der Kälte, da eine abgestorbene Pflanzendecke, Blätter u. s. w. hier vollständig fehlen, weil das Lood im Herbst von dem Herdenvieh abgegrast worden ist, so dass die Wurzelstöcke allein das Land bedecken. Wie die Untersuchungen Grisch's (1907, S. 271—274) gezeigt haben, bietet die Schneedecke gewissen Pflanzen Vorteile dadurch, dass sie 1) dieselben vor den nachteiligen Wirkungen niedriger Temperaturen sowie vor zu starker Verdunstung schützt; 2) die oft sehr erheblichen Temperaturschwankungen mildert, die nächtliche Ausstrahlung hemmt und den Boden wärmer hält; 3) die namentlich durch Barfröste verursachten Volumenveränderungen des

Bodens und das damit Hand in Hand gehende Emporheben und Zerreißen des Wurzelsystems vieler Pflanzenarten verhindert; 4) den Boden zu einer für die Pflanzenwelt günstigen Zeit reichlich mit Wasser versorgt. Dabei spielt aber die Mächtigkeit der Schneedecke eine grosse Rolle. Eine dünne Schneedecke kann die Pflanzen, besonders die Keimlinge, kaum vor starker Kälte schützen, während eine höhere Schneedecke den Pflanzen den nötigen Schutz bietet, so dass die oberirdischen Teile derselben vom Frost nicht beschädigt werden. Dasselbe bestätigen auch meine Beobachtungen und Untersuchungen, die ich Anfang Januar 1928 bei Reval auf dem Lasnamägi (Karte 1, 1), auf dem *Juniperetum* von Uuevälja und auf dem Lood von Aavakannu (Karte 1, 8) durchgeführt habe. Vierecke von ungefähr (0,5) m² wurden an verschiedenen stark verschneiten Stellen möglichst sorgfältig vom Schnee gereinigt, und es wurde festgestellt, bei welchen Pflanzen die oberirdischen Teile heil und vom Frost unbeschädigt und welche vollständig abgestorben waren.

Die Resultate zeigt folgende Tabelle, in der die beschädigten Pflanzen mit dem Zeichen \pm und die heilen Pflanzen mit $+$ eingetragen sind ²⁴⁾.

Annotationen zu Tabelle XII.

1. 4. II. 25. Auf dem Lasnamägi bei Tallinna. Schneedecke fehlt vollständig. Tauwetter, feiner Regen. Bei einem Gange über das Land sind vollständig grüne Pflanzen gefunden worden, deren Blätter vom Frost fast unbeschädigt und frisch waren. *Androsaces*, *Erophila* in Rosetten; bei *Stellaria media* geöffnete Blüten (farblos).
2. 3. I. 28. Auf dem Lasnamägi, am Rande des Glints, auf einem Gebiet von (0,5) m². Das Versuchsviereck vollständig offen. Sehr wenig Schnee, dieser liegt kaum 1 cm hoch, darum liegt das Gebiet fast bloss da. Der Rasen guckt überall durch den Schnee hervor. Der Wind scheint hier stärker zu sein als an anderen Stellen. Der grösste Teil der Blätter, vom Frost beschädigt, ist schon ganz oder zum Teil bräunlich geworden. Verhältnismässig viele Blätter bei *Sesleria coerulea*, *Helianthemum helianth.*, *Phleum Boehmeri*. Die Moosdecke frisch, meist *Thuidium abietinum*, *Climacium dendroides*, *Hylocomium proliferum*, auch *Cladonia pyridata*, *Cetraria islandica*, *Peltigera canina*.
3. Dasselbst. Schnee 3 cm hoch. Auf einem höheren Hügel, bei dem „Aeronaut“. *Galium verum* ist beschädigt, bei *Campanula rotundifolia*

²⁴⁾ Die Analyse 1 wurde, wie die Annotation sagt, auf dem Gange über das Lood gemacht.

- die unteren Blätter vollständig heil, nur 2—3 sind beschädigt. *Antennaria*, ebenso *Alchimilla vulgaris*, teilweise abgestorben.
4. Dasselbst, 10 cm unter dem Schnee. Der grösste Teil der Pflanzen, bis auf kleine Anzeichen von Beschädigungen, heil. *Veronica spicata* beschädigt.
 5. Dasselbst, 10 cm unter dem Schnee. Der grösste Teil der Pflanzenblätter heil; *Galium verum* stellenweise ein wenig beschädigt. *Alchimilla* abgestorben.
 6. Dasselbst, in der Mitte des Lood, 10 cm unter dem Schnee. Die unteren Blätter von *Sagina nodosa* verhältnismässig heil, Stiele abgestorben, der Rasen unterbrochen.
 7. Dasselbst, 13 cm unter dem Schnee. Alle Pflanzen gut im Stande. *Trifolium repens* ein wenig beschädigt. *Alchimilla* abgestorben.
 8. Dasselbst, mitten im Lood, in der Nähe der Steinbrüche, 15 cm unter dem Schnee. Alle Pflanzenblätter erhalten, nur *Alchimilla* abgestorben. *Stellaria graminea* etwas beschädigt. *Potentilla alpestris* sehr gut erhalten.
 9. In der Nähe vom früheren Ort, 15 cm unter dem Schnee. Alle Blätter der Pflanzen meistens heil. *Alchimilla* abgestorben.
 10. Dasselbst, 20 cm unter dem Schnee. Blätter der Pflanzen verhältnismässig heil.
 11. Dasselbst, mitten im Lood, 20 cm unter dem Schnee. Alle Blätter der Pflanzen heil, nur bei *Sesleria* und *Festuca ovina* Teile der Blätter vom Frost benommen.
 12. Dasselbst, in einer Senke, 20 cm unter dem Schnee. Fast alle Blätter unversehrt. *Filipendula*, *Galium verum*, *Achillea millefolium* sind vom Frost beschädigt.
 13. 5. I. 28. Im Haselgebüsch von Lallu, in der Nähe des Hügels vom Waisenhaus. Im *Juniperetum*. Schnee 30 cm hoch, dicht. Oberhalb eine harte Kruste.
 14. Haselgebüsch von Aavakannu. Ringsum höhere, breite Haselnusssträucher. 40 cm hoher Schnee. Auf dem Boden eine Menge von Blättern, unter denen sich die Pflanzen gut erhalten haben. *Alchimilla* abgestorben.
 15. *Juniperetum* von Uuevälja. 40 cm hoher Schnee. Alle Pflanzen verhältnismässig gut erhalten, nicht beschädigt. Die grosse Kälte hat ihnen nicht geschadet. Augenscheinlich sind aber die Nachtfroste im Herbst stark gewesen, da *Alchimilla* abgestorben ist.
 16. Dasselbst, zwischen Wacholdersträuchern. Schnee 45 cm hoch, mit einer Kruste an der Oberfläche. Alle Pflanzen gut erhalten. *Alchimilla* abgestorben.
 17. Haselgebüsch von Kaeratammik, am Abhange des Kalkbruchs, unter dem Schnee. An kleinen Höhlungen mit Pflanzen, wie *Verbascum thapsus*, Rasen von *Thymus serpyllum*, *Poa compressa* am Rande des Kalkbruchs.

Aus der Tabelle ersieht man, dass an Stellen mit 5 cm hoher Schneedecke (Anal. 2, 3) verhältnismässig viele Blätter vom Frost

Tabelle XII.
Überwinternde Pflanzen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Helianthemum helianthemum</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+
<i>Thymus serpyllum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+
<i>Achillea millefolium</i>	+	±	-	+	±	+	-	-	+	+	-	±	-	+	+	+	+
<i>Androsaces septentrionale</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anemone silvestris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Antennaria dioeca</i>	-	-	±	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Brunella vulgaris</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Calamintha acinos</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>Campanula rotundifolia</i>	-	±	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cerastium caespitosum</i>	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+
<i>Draba incana</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Erophila verna</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Erysimum hieraciifolium</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Filipendula filipendula</i>	+	±	±	+	-	-	+	-	+	+	+	±	-	+	+	+	+
<i>Fragaria vesca</i>	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	±	+	+	+
<i>F. viridis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Galium verum</i>	-	±	±	+	±	+	+	+	-	+	+	±	+	-	+	+	+
<i>Hieracium pilosella</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>H. ? praealtum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Leontodon auctumnalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Lotus corniculatus</i>	-	±	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Medicago lupulina</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Plantago lanceolata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Potentilla alpestris</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+
<i>Ranunculus polyanthemus</i>	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sagina nodosa</i>	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Saxifraga granulata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sedum acre</i>	+	±	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
<i>Silene nutans</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stellaria graminea</i>	-	-	-	-	-	+	-	±	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>St. media</i>	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Taraxacum taraxacum</i>	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trifolium repens</i>	+	±	-	-	-	-	-	±	-	+	+	-	-	+	-	-	+
<i>Urtica dioeca</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Verbascum thapsus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Veronica chamaedrys</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>V. spicata</i>	+	-	-	±	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Agrostis vulgaris</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-
<i>Avena pratensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. pubescens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carex verna</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Festuca ovina</i>	+	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Luzula campestris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phleum Boehmeri</i>	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phl. pratense</i>	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Poa compressa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sesleria coerulea</i>	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	±	-	-	-	-	+

beschädigt wurden; die Zahl der verletzten Pflanzen ist unter einer 5—10 cm mächtigen Schneedecke (Anal. 4—6) viel geringer, während die Wirkung des Frostes noch tiefer unter dem Schnee eine auffallend geringe ist und die Pflanzen grün überwintern (vgl. auch R ü b e l 1925, S. 37—38). Interessant ist es, dass *Alchimilla vulgaris* fast immer vom Frost beschädigt ist und die oberirdischen Blätter vollständig gelb und abgestorben sind. Diese Tatsache erklärt sich dadurch, dass die zartere *Alchimilla vulgaris* im Herbst von den Kahlfrösten beschädigt wird und dann endgültig abstirbt. Die anderen Pflanzen leiden weniger unter der Kälte, werden allerdings in gefrorenem Zustand vom Schnee bedeckt, tauen aber langsam auf und scheinen dann vollständig unbeschädigt zu sein, denn es steht fest, dass beim Frost die Temperatur auf dem Erdboden unter der Schneedecke höher ist, als in der Luft und auf der Schneefläche. Å k e r m a n (1923, S. 493) fand, dass die Temperatur 3 cm unter dem Schnee $-3,5^{\circ}$ C (19. II.) betrug, während das Quecksilber in der Luft zu gleicher Zeit auf $-11,5^{\circ}$ C fiel, und dass, als am nächsten Tage (20. II.) die Temperatur auf $-10,0^{\circ}$ C stieg, dieselbe unter dem Schnee auf der gleichen Höhe stehen blieb. Daraus sieht man, dass die Temperatur auf dem Boden unter der Schneedecke nicht so stark schwankt und bei geringen Schwankungen der Aussentemperatur fast konstant bleibt. Dasselbe bestätigen auch meine Messungen auf dem Linnalood des Lasnamägi am 3. I. 28, wo bei einer Kälte von $-3,0^{\circ}$ C auf dem Schneehorizont folgende Temperaturen herrschten:

Tiefe des Schnees in cm:	1	4	10	15	16	20	22	35	44
Temperatur an der Erdoberfläche:	$-3,0$	$-2,0$	$-1,2$	$-1,0$	$-0,8$	$-0,6$	$-0,6$	$-0,4$	$-0,4$

Messungen auf dem *Juniperetum* von Uuevälja und dem Lood von Aavakannu am 5. I. 28 bei $-3,0^{\circ}$ C auf der Schneefläche ergaben folgende Daten:

Tiefe des Schnees in cm:	15	25	30	35	40	45
Temperatur an der Erdoberfläche:	$-0,6$	$-0,2$	$-0,2$	$-0,1$	$-0,1$	$-0,1$

Dabei muss man natürlich auch die Lage und die Dichte des Schnees in Betracht ziehen, da die Temperatur, besonders bei stärkerem Wind, unter lockerem, nicht zusammengepresstem Schnee nicht ebensohoch sein kann, wie unter einer gleich dicken

Schicht kompakten, tragenden Schnees; auch muss man zwischen dem eigentlichen Schnee und dem bei Tauwetter zu Eis gewordenen Schnee unterscheiden. Angaben auf diesem Gebiet fehlen, aber die Tatsache wird teilweise durch meine Messungen am 5. I. 28 bestätigt: hier betrug die Temperatur im Gesträuch 15 cm tief unter dem Schnee $-0,6^{\circ}$ C; auf dem offenen Gebiet in der gleichen Tiefe $-0,8^{\circ}$ C; im *Juniperetum* betrug die Temperatur 30 cm unter dem Schnee $-0,2^{\circ}$, auf dem offenen Gebiet dagegen $-0,4^{\circ}$ C²⁵). Jedenfalls besitzt die Schneedecke einen grossen Wert als Schutzmittel der Keimlinge und der lebenden Teile der übrigen Pflanzen. Die Lood sind, wie schon gesagt, ver-

²⁵) Zur Bestimmung der Temperaturverhältnisse auf dem Erdboden unter dem Schnee, auf der Schneeoberfläche und in der Luft habe ich in Dorpat in meinem eigenen, von Häusern umgebenen Garten vom 1.—2. I. und vom 6.—18. I. 28 regelmässige Beobachtungen gemacht. Zu meinem Unglück aber war das Wetter milde, es taute, weshalb auch die Temperaturdifferenz auf und unter dem Schnee eine sehr geringe war. Dennoch führe ich aus der Reihe dieser Beobachtungen die Daten für einige Tage an. Am 1. I. herrschte den Tag über Kälte, die Temperatur betrug nach C:

Tageszeit (1. I.)	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	23h
t ⁰ in der Luft									
(1,5 m hoch)	-6,0	-6,0	-6,0	-7,0	-7,0	-7,5	-7,0	-5,0	-5,0
t ⁰ auf der Schneefläche	-7,2	-7,0	-7,0	-8,0	-7,5	-7,0	-7,0	-7,0	-7,0
t ⁰ unter dem Schnee,									
25 cm tief	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-2,0

Bemerkenswert ist hier die Tatsache, dass die Temperatur auf dem Erdboden unter der Schneedecke fast konstant bleibt. Interessant sind auch die Temperaturverhältnisse bei Tauwetter, z. B. am 9. I., wobei es schon 4—5 Tage vorher getaut hatte, die Nächte aber dennoch kühl waren (Minimum auf der Schneefläche: am 6. I. — $-2,5^{\circ}$; 7. I. — $-10,2^{\circ}$; 8. I. — $-8,5^{\circ}$).

Tageszeit (9. I.)	9h	10h	11h	14h	15h	17h	18h	19h	20h	22h	23h
t ⁰ in der Luft	-2,0	-1,5	0,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0
t ⁰ auf der Schneefl.	-5,0	-3,0	-1,0	0,0	0,4	0,4	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5
t ⁰ 10 cm unter											
dem Schnee	-1,2	-1,2	-1,0	-0,6	-0,6	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0
t ⁰ 25 cm unter											
dem Schnee	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0

Die letzteren Daten beweisen, dass sich die Temperatur unter dem Schnee auf dem Erdboden nicht schnell ändert, und dass die Schwankungen in der Änderung der Temperatur von der Mächtigkeit der Schneedecke abhängen. Bei einer dünneren Schneedecke sind die Änderungen der Temperatur schneller zu bemerken. Bemerkenswert ist es auch, dass am 16. I., als

hältnismässig schneearme Gebiete; besonders trifft das für die höher gelegenen Stellen und für den Karst zu. Diese Armut wird noch durch im Winter auftretendes Tauwetter stark vergrössert: so z. B. war Anfang Februar 1925 das Lood des Lasnamägi infolge eines stärkeren Tauwetters fast vollständig kahl. Folgen dem Tauwetter plötzlich starke Kahlfröste, was in Eesti eine gewöhnliche Erscheinung ist, so leiden die beim Tauwetter mit Wasser durchtränkten Pflanzen, besonders aber die Jungpflanzen und Keimlinge, sehr unter dem Frost. Auch die sonnigen Tage im Frühling, besonders Ende März, tragen dazu bei, dass der Schnee schnell schmilzt und das Lood nach einigen Tagen „bunt“ ist, wie es die Leute der Umgegend nennen. Auch hier bleibt die Wirkung starker Nachtfröste nicht aus, da gerade die intermittierende Tau- und Frostwirkung das Leben der Pflanzen vernichtet (G o e p p e r t 1887, S. 2—3; G r ä b n e r 1910, S. 195—200), falls die gefrorenen Pflanzenteile sehr jäh auftauen,—ein Umstand, dem wohl trotz vielfachen Widerspruches eine grosse Bedeutung zugeschrieben werden muss, seitdem Å k e r m a n n (1919, S. 121) kürzlich durch ausschlaggebende Versuche die Wichtigkeit der Art des Auftauens für die Erhaltung der Pflanzen festgestellt hat (L i n k o l a 1922, S. 175). Fehlt die nötige Schneedecke, so sind die Temperaturschwankungen unter dem Einfluss der warmen Strahlen der Frühlingssonne auf der nackten dunklen Loodfläche ziemlich gross, und es regt sich das Leben in den Pflanzen, denen die herrschenden Nachtfröste schaden können; unter einer mächtigeren Schneeschicht ist ihre Wirkung aber viel geringer ²⁶).

nach anhaltendem Tauwetter plötzliche Kälte eintrat, die Temperatur unter dem Schnee sich nur allmählich änderte, wie es die unten angeführten Daten zeigen:

Tageszeit (16. I.)	14 ^h	22 ^h	(17. I.) 9 ^h	10 ^h	12 ^h	14 ^h	17 ^h	20 ^h
t° in der Luft	—4,0	—8,0	—16,0	—15,0	—15,0	—12,5	—15,0	—16,0
t° 10 cm unter dem Schnee	—0,2	—0,2	—0,3	—0,6	—0,6	—1,0	—1,2	—1,8
t° 25 cm unter dem Schnee	0,0	0,0	—0,2	—0,4	—0,4	—1,0	—1,2	—1,0

²⁶) G r i s c h (1907, S. 277) machte die entsprechenden Versuche und fand, dass die Sonnenstrahlen unter dem Schnee in einer Tiefe von 55 cm noch wirksam sind; das gleiche bestätigen Versuche von R ü b e l (1922, S. 60—61). Das Schmelzen unter der Schneedecke im Umkreis dunkler Gegenstände veranschaulicht ebenfalls die Wirkung der Sonnenstrahlen im Frühling.

Hier muss man besonders mit der Widerstandsfähigkeit der Keimlinge den Temperaturschwankungen gegenüber rechnen. Es ist ja bekannt, dass einzelne Pflanzenarten verhältnismässig starken Frost vertragen, z. B. *Senecio vulgaris* —13° (Arrhenius 1892, S. 22), *Achillea millefolium*, *Anthemis tinctoria* u. a. —15° C (Witte 1901, S. 273—274; vergleiche auch Goepfert 1880, S. 248, Linkola 1922, S. 173—74). Ebenso wissen wir durch die Versuche Becquerel's (1905, 1907 a, b), dass Pflanzensamen im wasserfreien Zustand und bei latentem Leben sehr starke Kälte vertragen und immer keimungsfähig bleiben (vgl. auch Jost 1913, S. 402 ff.; Molisch 1921, S. 254), in gequollenem Zustand hingegen erfrieren sie leicht. Fr. Haberlandt (1874, S. 514 ff.), der diese Frage ausführlicher behandelt hat, konnte feststellen, dass eine stärkere Frostwirkung die Keimfähigkeit der angequollenen Samen weitaus stärker schädigt, als eine schwächere, weshalb die meisten unserer einjährigen Gewächse bei öfterer Wiederkehr strenger Winter nach und nach verschwinden müssten, namentlich in Gegenden, wo der Boden ohne Schneedecke schutzlos dem strengsten Froste preisgegeben ist. Lidfors (1907, S. 45) hat beobachtet, dass besonders die Keimwurzeln sehr empfindlich gegen Kälte sind, so dass meistens schon eine kurze Wirkung von Temperaturen wenig unter dem Nullpunkt genügt, um ihr Leben zu vernichten. Grisch (1907, S. 271—283) stellte bei seinen Untersuchungen fest, dass die bedeutend geringere Zahl von Keimpflanzen auf Streifen ohne Schneedecke sehr auffällig ist. Es ist wohl möglich, dass sie hier in dem von der Frühlingssonne erwärmten Boden früher aufkeimten, dann aber Kälterückschlägen zum Opfer fielen. Befanden sich auf einem unter Schnee gelegenen Streifen 104 Keimlinge, so betrug ihre Zahl auf schneefreien Streifen nur 17 (Grisch, l. c.). Daraufhin kann man mit Bestimmtheit annehmen, dass ein Teil der Samen, die im Herbst bei der Feuchtigkeit gequollen sind, oder schon zu keimen begonnen haben, im Winter auf nackten oder nur mit einer dünnen Schneeschicht bedeckten Gebieten durch den Frost die Fähigkeit der Weiterentwicklung verlieren; ebenso geht auch ein grosser Teil derjenigen Samen zugrunde, die im Winter gekeimt, aber sich nicht merklich entwickelt haben; auch wenn diese Samen den Winter noch überstehen, gehen sie durch die Nachtfröste im Frühling zugrunde. Auch die oberirdischen Teile älterer mehrjähriger Pflanzen leiden, besonders während der Nachtfröste des Frühlings,

unter dem Mangel einer Schneedecke, und ein grosser Teil der Pflanzenteile, die unter dem Schnee einigermassen überwintert haben, verliert im Frühling seine Lebenskraft²⁷⁾.

Die Winterfröste beeinflussen augenscheinlich noch auf eine andere Art die Entwicklung der Pflanzendecke. Im Frühling, nach der Schneeschmelze, ist die den Kalkstein bedeckende dünne Erdschicht vollständig aufgeworfen, die Bodenschicht hat sich gehoben, die Pflanzenwurzeln haben sich von der Erde gelöst. Dadurch bilden sich zwischen den kleineren und grösseren Erdklumpen leere Höhlungen, in denen die losgerissenen Wurzelenden und Faserwurzeln, von einer grauen, trüben Schicht bedeckt, bloss liegen. Es ist ein netzartiges Gewebe, welches sich zuweilen gehoben, zuweilen aber gesenkt hat. Einige Streifen weisen tiefere Spalten auf, in denen einzelne weisse Steinsplitter sichtbar werden. Stellenweise finden sich unter dem Rasen Höhlungen, die den Anschein erwecken, als ob sie ihre Entstehung den Insekten verdanken. An einigen Stellen sind wieder grössere Streifen Erde losgerissen worden, als hätte jemand sie von einer Stelle auf die andere gehoben.

Diese Stellen sind im Herbst, vor dem Eintritt der Fröste, vollständig unter Wasser, oder die Erde ist hier mit Wasser ganz durchtränkt. Stellt sich Frost ein, so gefriert die wasserdurchtränkte Erde bis zum Kalksteinuntergrund, so dass das Wasser nicht abfließen kann. Beim Gefrieren vergrössert sich das Volumen des

²⁷⁾ Letztere Erscheinung wird auch durch meine Beobachtungen im Winter 1926/27 in Kunda bestätigt. Im Herbst 1926 bedeckte der erste Schnee (16. X.) ungefrorenes Land (Minimum $-2,0^{\circ}$ C), und verging nach 2—3 Wochen (7. XI.). Der November war mild, Schnee fehlte und die Temperatur sank wenig unter $-1,0^{\circ}$ C. Der Dauerschnee (29. XI.) legte sich auf nur wenig gefrorenes Land, und die oberirdischen Teile der Pflanzen erhielten sich, kaum beschädigt, unter der Schneedecke. Die Schneedecke blieb andauernd bis Anfang März (4. III. 1927) auf der Erde liegen und schmolz dann plötzlich ab, so dass am 8.—9. III. schon alle Felder und Wiesen entblösst waren; am 10. III. fiel starker Regen. Unter dem Schnee erschienen die Blätter vieler Pflanzen (über 50 Arten) vollständig grün und unversehrt; ich fand bei einer *Alchimilla vulgaris* einige Blätter in vollständig unbeschädigtem Zustand vor. Bei einigen *Viola arvensis*, *Stellaria media*, *Capsella bursa pastoris*, auch *Veronica agrostis* und bei einer *Matricaria inodora* fand ich unversehrte Blüten. Aber die im März und sogar im April folgenden Nachtfröste beschädigten die grünen Blätter vieler Pflanzen; z. B. bei *Geum rivale*, *Veronica chamaedrys*, *Brunella vulgaris* bekamen sie erst einen roten Überzug und wurden dann vollständig braun.

Wassers, hierbei dehnen sich 10 Raumteile Wasser auf 11 Raumteile Eis aus. Dadurch werden die festen Bodenteilchen voneinander gedrängt, bisweilen die ganze Oberflächenschicht emporgehoben (vgl. Fleischer 1921, S. 10). Infolge einer solchen „Hebung durch Frost“, wie es die Ortssprache bezeichnet, werden die Pflanzenwurzeln entblösst, diese trocknen bald im Winde und in der Sonnenhitze, und gehen zugrunde. Dies bezieht sich besonders auf die Gräser, aber auch ein Teil der Jungpflanzen, meist *Erophila verna*, *Veronica verna*, *Saxifraga tridactylites*, die im Herbst auf diesen blossen Stellen gekeimt haben, wird vernichtet. Diese Auffrierungsphänomene treten auf allen Loodgebieten, besonders aber auf dem Karst auf. Sie sind den Bewegungen ähnlich, die auf dem Alvar von Gotland und Öland auf Felsen und undrainiertem Verwitterungsboden beobachtet wurden (Hesselman 1908; du Rietz 1925, S. 58—59; Sterner 1925, S. 12—13) und die, freilich gewissermassen in Miniatur, gerade die charakteristischen Bodenphänomene der Arktis zeigen, wobei die Rolle der perennierenden Tjäle des arktischen Gebiets hier von dem horizontalen, undurchlässigen Kalkfels übernommen wird. Sterner (l. c.) hält für die wichtigsten Ursachen der Entstehung des Polygonbodens: 1) die dünne, auf dem Kalkfelsboden ruhende, stark wasseraufspeichernde Erdschicht, 2) das Durchtränken der Erde während des Winterhalbjahrs und ihr Austrocknen im Sommer, 3) das in jedem Winter sich mehrmals wiederholende Gefrieren und Auftauen der Erde.

Es ist natürlich, dass eine solche Auffrierung auf die Pflanzendecke merklich einwirkt. Darum ist an solchen Stellen, wo diese Erscheinung ständig oder häufig ist, die Pflanzendecke offener und zerstückelt, wie wir es schon früher auf dem Karst beobachtet haben. Dagegen ist die Pflanzendecke auf dem Schuttlood, wo der Kalkuntergrund von einer mächtigeren Moränenschicht bedeckt ist und wo die Auffrierungsphänomene fehlen, geschlossener und der Rasen viel zäher. Augenscheinlich ist auch der Reichtum an abgestorbenen Pflanzen auf dem Karst durch den Frost bedingt.

c) Der Einfluss des Weidens.

Wie schon mehrmals betont, übt das Weiden einen grossen Einfluss auf die Erneuerung des Lood aus. Das Lood ist fast überall Weideland, wo vom Frühling bis zum Spätherbst Dutzende

von Rindern und Pferden und Hunderte von Schafen weiden. Besonders intensiv findet das Weiden im Frühsommer statt, wenn das Wachstum des Grases rasch vor sich geht, während die Weide zum Herbst zu weniger benutzt wird, da das Vieh oft auf die Felder und Heuschläge getrieben wird, nachdem diese frei geworden sind. Wie schon gesagt, sind die Wachstumsbedingungen der Pflanzen auf dem Lood verhältnismässig schlecht: darum suchen die Tiere hier auch den letzten Grashalm auf. Im Frühling, im April, hat das Gras gewöhnlich die Möglichkeit zu wachsen, da das Vieh nicht gleich zu Beginn der Wachstumsperiode auf das Land gelassen wird; denn man versucht so lange wie möglich das Vieh mit dem Winterfutter zu versorgen, oder man treibt es zuweilen auch auf die Heuschläge und Felder in der Nähe des Bauernhofes. Das geschieht teils, um dem Grase die Möglichkeit zum Wachstum zu bieten, teils auch, weil das Lood feucht ist und die grösseren Herdentiere die Bodendecke zertreten könnten (harter Untergrund und feuchte Bodenschicht) und dadurch den Rasen vernichten würden. Wenn man darum im Frühling und im Frühsommer einzelne blühende Pflanzen erblickt, wie z. B. *Festuca ovina*, *Agrostis vulgaris*, *Poa alpina* unter den Gräsern, auf den verschütteten Spalten *Taraxacum taraxacum*, an wenigen Stellen fleckenweise *Alchimilla vulgaris* und *Antennaria dioeca*, so verlieren sich auch die letzten im Hochsommer und das ganze Lood gleicht einem kurz geschnittenen Rasen, auf dem man sehr selten vereinzelt blühende Stengel von *Lotus corniculatus* oder auch *Filipendula filipendula* vorfindet. Die Sommerhitze versengt oft die ganze Pflanzendecke. Sind die Herden schon auf den Heuschlag übergeführt worden, so wird das Gras im Spätsommer bei grösserer Feuchtigkeit noch gross, wobei einzelne Pflanzen blühen und bei einem warmen Herbst sogar das Reifestadium erreichen. Aber auch während der Wachstumsperiode im Herbst bleiben die Herden nicht weg, denn wenn das Gras grösser geworden ist, werden sie aufs Lood gelassen, jetzt besonders die Schafe, die das Gras wieder abweiden. Somit können wir auf dem Lood dreimaligen Tiefstand der Pflanzendecke beobachten: im Frühling nach Abgang des Schnees, im Sommer im Juni, Juli und teilweise auch im August, und im Herbst — Ende September; ebenso kann man zwei Hochstandsperioden feststellen: im Mai, besonders an dessen Ende, und in der ersten Hälfte des September (vgl. Wettstein 1904, S. 7—8). Der erste Hochstand ist ver-

hältnismässig kurz und bis auf die winterannuellen gelangen kaum einzelne Pflanzen zur Blüte. Der zweite Hochstand kommt infolge der klimatischen Verhältnisse verhältnismässig spät, weshalb nur einzelne Pflanzen blühen und zuweilen auch reifen können. Zu jeder anderen Zeit sind die Pflanzen meist steril und von dem Vieh gekappt. Blühend findet man meist jene Pflanzen vor, die giftig, übelriechend oder stachelig sind (vgl. G r ä b n e r 1909, S. 140). Diese reifen, die Samen werden durch den Wind oder durch das Vieh verbreitet, und sie vergrössern ihren Standort, wenn sie für ihre Entwicklung den günstigen Boden finden.

Es ist bekannt, dass der ständige intensive Weidegang eine Verarmung der Flora hervorruft. Die am meisten begehrten Arten gehen zurück, wenn sie nicht ein besonders ausgiebiges vegetatives Vermehrungsvermögen besitzen (wie manche Gräser); Tritt und Zahn des Viehs, durch Jahrhunderte auf denselben Orten wirksam, haben eine auswählende Wirkung auf den Artenbestand ausgeübt, die dem Effekt einer natürlichen Bedingung gleichkommt. Durch die stetige Nutzung bei ungenügender Düngung verarmt der Boden, und es nehmen anspruchslose Pflanzen überhand (S c h r o e t e r 1926, S. 337). Das Weiden trivialisiert die Flora. Die Oberhand gewinnen die Pflanzen, die das stetige Gras des Viehs vertragen. Meist bleiben beim Abweiden jene Bodengräser übrig, die wegen ihrer Bestockungsfähigkeit wiederholtes Abbeissen vertragen und deren Bestockung durch dasselbe gefördert wird (K r a f f t 1913, S. 237). Das intensive Weiden auf dem Lood begünstigt besonders das Wachstum von *Festuca ovina* (vgl. auch S p r y g i n 1926; D u R i e t z 1924, S. 95; W a l t e r 1927, S. 399). B e r n a d s k y (1905, S. 4) beobachtete, dass infolge des Abweidens eine allgemeine Verödung stattfindet: besonders sind Verbreitung der Xerophyten und Unterdrückung der Mesophyten dessen Folge, wodurch die Erscheinung, dass durch wiederholtes Abweiden Ausbildung von Steppenformationen begünstigt wird, ihre Erklärung findet. Meist nehmen die mehrjährigen Pflanzen überhand. Von den annuellen werden diejenigen Individuen im Vorteil sein, welche verholzen, also einen Anlauf zu verlängertem Leben nehmen, andere werden dadurch in ihrem Leben verändert werden können, dass ihnen die ersten vegetativen Teile abgebissen werden (H i l d e b r a n d 1881, S. 109).

Die Folge des intensiven Weideganges ist eine allgemeine Berasung des Lood. Es ist ja schon längst beobachtet worden, dass,

wenn die Knospe des Haupttriebes durch irgendein Unglück (Abreissen, Abfressen, Erfrieren) zerstört wird, sich die seitlichen Knospen entfalten (F a n k h a u s e r 1880, S. 49). Das Vieh frisst gewöhnlich mit den Blattspitzen auch die Hauptachse ab, wodurch sich Nebenachsen bilden; haben sich letztere entwickelt, so werden auch sie abgefressen und es bilden sich wiederum neue Nebenachsen: dadurch wird die Pflanzendecke dichter, der Wuchs der Gräser aber ein niedrigerer. Im allgemeinen kann man beobachten, dass auf dem Lood infolge des Abweidens verhältnismässig niedrige Pflanzen erhalten bleiben, deren Hauptachsen mehr oder weniger längs der Erde kriechen (z. B. *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus*, auch *Veronica spicata*, *Galium verum* u. a.), und die das Vieh kaum mit den Zähnen erreichen kann.

Zusammen mit den Pflanzenstielen beissen die Tiere auch den Blütenstand und somit auch die Blüten ab, und diejenigen Pflanzen, welche vorzugsweise auf die Fortpflanzung durch die Samen angewiesen sind, also einjährige Kräuter, treten zurück, während die rasenbildenden Pflanzen sich entwickeln (siehe E n g l e r 1877, S. 198). Die Pflanzen, denen es dennoch gelungen ist zum Blühen zu kommen, besitzen oft verhältnismässig viel Blüten, da die Wachstumsbedingungen des Lood — starke Beleuchtung, häufig grosse Trockenheit, magerer Boden u. s. w. — alle zur Blütenbildung beitragen (vgl. M o l i s c h 1921, S. 274—278; S o r a u e r 1921, S. 291; G r ä b n e r 1910, S. 210). Aber verhältnismässig wenige der gereiften Samen gelangen zum Keimen, da sie auf den dichten Rasen fallen, welcher sie den Boden nicht erreichen lässt, wodurch die Samen weder Wurzel schlagen, noch wachsen können (vgl. P u r i n g 1898, S. 101); bleiben die Samen für längere Zeit auf den Blättern den wechselnden Witterungsverhältnissen ausgesetzt, so geht sogar ihre Keimfähigkeit verloren.

Auch das Treten der Tiere spielt beim Beweiden, namentlich wenn es sich um Pferd und Rinder handelt, eine Rolle. Auf den entblößten Trittstellen siedelt sich eine Reihe meist einjähriger Ruderalpflanzen an, die durch die starke Düngung im Wachstum begünstigt werden (W a l t e r 1927, S. 400). Oft erscheinen auf dem Lood in flachen Senken kleinere oder grössere Bulten, deren Bildung durch Tritte der Tiere in einer Zeit ihren Anfang genommen hat, wo sie verhältnismässig viel Feuchtigkeit enthielten. Dadurch wird der zuerst ebene Boden bultig, zwischen den Bulten wachsen oft Mesophyten, während auf den Bulten Xerophyten

gedeihen. Besonders oft findet man zwischen den Bulten *Sagina nodosa*, die sich dort, eine unbesetzte Stelle findend, entwickelt.

Ein Übel des Weidens ist auch das Festtreten des Bodens. Besonders die Pferde sind daran beteiligt, weil die Erde unter ihren Hufen zu einer harten Rinde wird. Die Folgen des Tretens geben sich besonders auf dem Moränengebiet kund, wo infolgedessen die Erdschicht recht zäh und hart ist. Auf dem festen Boden beginnen die Samen nicht so leicht zu keimen, und viele von ihnen gehen darum zugrunde. Günstiger sind die Keimungsbedingungen bei den Samen, die von den Tieren in die Erde getreten werden und die bei genügender Feuchtigkeit zu keimen beginnen. Ebenso stellte Linkola (1916, S. 185—186) fest, dass auf den Viehstegen und auch auf den Ruheplätzen des Viehs Pflanzen auftreten, die man auf den Felsen sonst selten findet. Gerade neben den Mauern, wo man oft Viehstege vorfindet, treten auch auf dem Lood Ruderalpflanzen auf; dieselben erscheinen auch in der Umgebung grösserer Steine, wo besonders die Schafe in der heissen Zeit zu schlafen lieben. An solchen Stellen ist der Rasen oft infolge der vielen Tritte unterbrochen, in der Wolle werden Samen von weitergelegenen Standorten verschleppt, die hier zu keimen beginnen. Dadurch erklärt sich auch das Vorkommen solcher Pflanzen neben Mauern und um erratische Blöcke herum, wie *Urtica dioeca*, *Potentilla anserina*, *Sagina procumbens*, *Plantago major*, *Stellaria media*, *Viola canina* u. a.

Welchen Einfluss das Weiden auf die Erneuerung der Pflanzendecke ausübt, zeigen Untersuchungen auf dem Weideland und auf den nebenan liegenden Heuschlägen. Die Versuchsvierecke sind den Stellen entnommen, wo das Weideland und der Heuschlag aneinander grenzen und nur durch eine Steinmauer getrennt sind (Taf. IV, 8). Die Versuchsvierecke sind meist in der Entfernung von 5 m von der Mauer genommen worden, da dicht an der letzteren weder die Pflanzendecke noch ihre Wachstumsbedingungen vollständig denjenigen der weiter entfernten Gebiete gleichen: auf dem Weideland verläuft der Mauer entlang fast immer der Viehsteg, der Boden ist hier immer mehr zertreten, sei es, weil die Tiere hier bei schlechtem Wetter Windschutz suchen, oder schon darum, weil die Tiere zweier Nachbarweiden oft zusammenkommen; auf den Heuschlägen findet man neben der Mauer grössere Feuchtigkeit und Schatten; sogar die Bodenschicht ist hier mächtiger. Aber das muss man in betreff des Heuschlags bemerken,

dass nicht nur die Sense allein die Pflanzendecke vermindert, sondern dass nach der Mahd, wenn der Grummet schon ein wenig gewachsen ist, der Heuschlag vollständig als Weideland benutzt wird, wo zum Herbst zu das Abweiden viel intensiver stattfindet, als auf dem eigentlichen Weideland; der Grummet des Heuschlags ist viel weicher, das Gras des Weidelandes dagegen verholzt, weshalb das Vieh dieses Gras nicht fressen will.

Die folgende Tabelle (XIII) gibt uns manche Aufklärung über die Erneuerung durch Samen. Vergleicht man die Keimlinge in den Analysen 1, 2, 3, 6, 9 und auch 10 (Heuschlag oder Koppel) und in den Analysen 4, 5, 7, 8 (Weideland), so erweist es sich, dass auf dem Heuschlag, der sich immerhin weniger unter dem Einfluss des Abweidens befindet, die Zahl der Keimlinge auf einem gleich grossen Viereck merklich grösser ist, als auf dem Weideland. Auf dem letzteren ist die Zahl der Keimlinge verhältnismässig klein. Das Maximum an Keimlingen (80) findet sich 25—30 cm von der Mauer entfernt, wo das Treten durch das Herdenvieh teilweise seltener ist; in der Nähe der Mauer, wo es in stärkerer Masse auftritt, verringert sich die Zahl der Keimlinge. Es sind aber hier auch andere Bedingungen, die die Entwicklung der Keimlinge ermöglichen. Auf dem Heuschlag erscheint die Pflanzendecke, von oben gesehen, geschlossen, weiter unten aber, zwischen den Stielbüscheln, gibt es oft grössere oder kleinere Zwischenräume, wo die Regenwürmer oft kleine Erdklümpchen aufgeworfen haben. Auf den Heuschlägen, ebenso auf den Koppeln (Analysen 1, 2, 3, 6), wird das Gras, besonders in trockenen Sommern, nicht immer gemäht, sondern hier weiden die Arbeitspferde entweder gefesselt oder vollständig frei (in den Koppeln). Bei einer geringeren Zahl von Tieren kann das Gras besser wachsen, die Pflanzen können ungestörter blühen und reifen. Infolge eines weniger intensiven Abbeissens ist die Berasung hier nicht so dicht, sondern im unteren Teil finden sich Zwischenräume, wo die herabgefallenen Samen unter günstigen Bedingungen keimen können. In den Analysen 9 und 10, wo fast immer gemäht wird, ist die Pflanzendecke viel dichter, infolgedessen haben die Samen weniger Raum zum Keimen; ebenso wird das Reifen der Samen durch das frühe Mähen verhindert (die Heuschläge des Lood werden verhältnismässig früh gemäht, damit das Gras nicht verholze), und darum ist auch die Zahl der Keimlinge eine geringere. Dem Keimen hinderlich ist auf dem Heuschlag ebensogut wie auf den Kop-

peln die Moosdecke (*Thuidium abietinum*, *Th. Philibertii*, *Climacium dendroides* u. a.), die hier viel dichter und kräftiger ist und dabei den Samen den Zutritt zur Erde verwehrt. Hier kann man auch einige Stellen beobachten, auf denen die Moose vollständig überhand nehmen. Hier beobachtet man eine Veränderung der Pflanzendecke: die Luft dringt nicht so leicht durch die dicke Mooschicht hindurch; der Boden bekommt eine saure Reaktion und einzelne Pflanzen, besonders Gräser und Schmetterlingsblütler, verschwinden, weil sie gegen eine saure Bodenschicht empfindlicher sind (S u k a t s c h e w 1925, S. 205). Interessant ist auch, dass sich auf den Heuschlägen und Koppeln, wo das Weiden eine geringere Bedeutung hat, *Anthyllis vulneraria*, *Senecio campester*, *Chrysanthemum leucanthemum*, auch *Trifolium montanum*, *Galium boreale*, ebenso *Solidago virga aurea*, *Libanotis libanotis*, *Centaurea scabiosa*, *Knautia arvensis*, *Briza media* u. a. Pflanzen, die gewöhnlich auf dem Lood nicht auftreten, zu entwickeln beginnen.

Wie aus dem vorhin Gesagten und aus den Analysen zu ersehen ist, wird die Erneuerung durch Keimlinge, hauptsächlich durch das Weiden des Viehs, verhindert: das Herdenvieh vernichtet meistens bei den Pflanzen die Blüten schon im Entstehen, wodurch die Möglichkeit der Fruchtreife vernichtet wird; infolge ständigen Beschneidens können nur solche Pflanzen fortkommen, die es häufig vertragen. Somit wird die ganze Flora des Lood vereinheitlicht, dadurch auch artenärmer, und die Berausung geht schneller vor sich.

Stellenweise behindert der dichte Rasen das Keimen der Samen derart, dass dieselben auf den Blättern und Basalteilchen der Pflanzen und Gräser vertrocknen und dadurch verhindert werden mit der feuchten Erde in Berührung zu kommen; und bei einem solchen andauernden Zustande verlieren die Samen ihre Keimfähigkeit; infolge des Weidens werden meist die annuellen Pflanzen vernichtet und an die erste Stelle treten die perennierenden, deren Vermehrung in der Regel durch Erneuerungsknospen geschieht.

Annotationen zu Tabelle XIII.

1. (36). 22. VIII. 23. Auf dem Heuschlag in der Nähe des Lood von Vöerdla. Die Bedingungen sind, wenn man vom Abweiden absieht, denjenigen des Lood gleich. Stellenweise liegt der Kalkstein in breiten Streifen bloss. Erde 10—12 cm mächtig, der untere Teil mit Steinschotter untermengt. Die Pflanzendecke, von oben gese-

- hen, geschlossen, unterhalb finden sich Lücken zwischen den Stielen. Bemoosung mittelmässig. Der Heuschlag wird auch im Frühsommer zum Anpflocken der Pferde benutzt, zum Herbst hin ist er Weideland.
2. (37). 22. VIII. 23. Vom gleichen Ort, ungefähr 10 m südlicher. Erde 10—12 cm mächtig, darunter Rähk. Pflanzendecke offener. Bemoosung mittelstark.
 3. (38). 22. VIII. 23. Vom gleichen Ort, ungefähr 10 m südlicher. An der Mauer (1,5 m nördlich von der Mauer). Heuschlag. Erde 10—12 cm mächtig. Pflanzendecke geschlossen. Wenig Moose.
 4. (39). 22. VIII. 23. Weideland des Dorfes Vöerdla, 1,5 m südlich von der Mauer. Erde 10—12 cm mächtig. Pflanzendecke vollständig geschlossen. Wenig Moose.
 5. (40). 22. VIII. 23. In der gleichen Linie wie oben, aber von einem Weideland, zwischen der Mauer und der Landstrasse, ungefähr 100 m von der Mauer entfernt. Loodgebiet mit wenig Rähk. Erde 10—12 cm mächtig. Steinschotter beginnt mit 4—5 cm. Pflanzendecke geschlossen. Wenig Moose.
 6. (41). 22. VIII. 23. Das Lood von Vöerdla, fast an dessen Anfang, wo die Mauern beginnen. Koppel, eben augenscheinlich als Heuschlag benutzt. Das Versuchsviereck zum grössten Teil auf einer verschütteten Spalte (daneben Kalksteingebiet, von einer dichten Moosdecke überzogen [*Thuidium abietinum*, *Th. Philibertii*, *Climacium dendroides*]). Erde 12—15 cm mächtig, darunter Steinschotter. Pflanzendecke von oben gesehen geschlossen, zwischen den Stengeln aber bleiben kleine freie Flecken mit lockerer Erde.
 7. (42). 22. VIII. 23. Vom gleichen Ort, aber vom Weideland, das von dem oben genannten Viereck durch eine Mauer getrennt ist. Die Entfernung der Vierecke voneinander ungefähr 15 m. Der Rasen recht stark, zäh und hart. Moosdecke undicht.
 8. (43). 22. VIII. 23. Von dem gleichen Ort, vom Weideland. Dichte Pflanzendecke, harter und zäher Rasen. Erde 12—15 cm mächtig. Dichtes, kurzes Moos.
 9. (44). 22. VIII. 23. Von einem benachbarten Heuschlag, wo das Vieh zeitweilig gegrast hat (schlechte Mauer). Pflanzendecke dicht. Zwischen den unteren Teilen der Stengel kleine Erdklümpchen, die von Regenwürmern stammen. Moos dicht. Erde 12—15 cm mächtig.
 10. (45). 22. VIII. 23. Auf dem Heuschlag 4—5 m von der Mauer entfernt; scheint unberührt zu sein. Pflanzendecke dicht, von oben geschlossen, unten kleine Lücken zwischen den Stengeln. Wenig Moos.

Welches wäre die Klimaxformation des Lood?

Wie früher gesagt, ist das typische Lood in Ost-Harrien eine vollständig offene wiesenartige Formation, oder es treten hier und da einzelne Wacholdersträucher oder sogar ein mehr oder weniger dichtes *Juniperetum* auf²⁸⁾. Bäume fehlen auf dem Lood vollständig. Bei der Entwicklung der gesamten Loodbildung haben verschiedene Faktoren mitgespielt, von denen an erster Stelle Trockenheit, Kälte und Abweidung stehen. Jedenfalls hat letzterer Faktor, d. h. das Abweiden, in hohem Grade zur Waldlosigkeit des Lood beigetragen (vgl. auch K u p f f e r 1912, S. 109; T h o m s o n 1924, S. 47), was von mehreren Seiten bei der Behandlung ähnlicher Bildungen bestätigt wird (siehe z. B. H e s s e l m a n 1904, S. 323; W a r m i n g - G r ä b n e r 1918, S. 544—545; T a n f i l j e f 1925, S. 284). Meinen Beobachtungen nach ist das Abweiden einer der wichtigsten Faktoren gewesen, der dem Lood Ost-Harriens ein solches eigenartiges Gepräge gegeben hat.

Es ist nicht uninteressant die Frage zu berühren, worin sich das Lood verändern würde, wenn man das Abweiden verhinderte, während die übrigen Verhältnisse die gleichen blieben.

Solche Reservate gibt es auf dem Loodgebiet Eestis nicht, weshalb die entsprechenden Beobachtungen fehlen. Aber den ganzen Prozess der Vegetationsveränderung können wir zum Teil auf den in der Umgegend des Lood gelegenen ummauerten Gebieten, besonders in der Nähe der Mauern und auf einzelnen steinigten Stellen zwischen den Feldern verfolgen, z. B. auf den Feldern von Kostivere-Vandjala, wo das Weiden nicht so intensiv ist. Auf Grund dieser Beobachtungen kann man annehmen, dass bei fehlendem Abweiden die auf dem Lood wachsenden Pflanzen sich vollständig entwickeln und grösser werden. Die Bestockung nimmt ab, die Pflanzen besitzen wohlentwickelte Spitzen und die Pflanzendecke wird überhaupt unterbrochener. Die Moosdecke entwickelt sich stärker, wird dichter und die Moose bedecken fast ganz den Boden. Ein Teil der Pflanzen nimmt ab oder ver-

²⁸⁾ In West-Harrien, im Kirchspiel Keila, besonders zwischen Väana und Joa, ebenso in der Umgegend von Harku und Hüüru tritt auf weiten Gebieten *Potentilla fruticosa*-Lood auf, wo *Potentilla fruticosa*-Bestände häufig sind. Im allgemeinen unterscheidet sich das westliche Lood seiner Pflanzendecke nach in verschiedener Weise vom östlichen Lood, weshalb ersteres einer speziellen Untersuchung bedarf.

schwindet ganz, z. B. *Lotus corniculatus*, *Medicago lupulina*, auch *Trifolium repens*; zum Teil kommen neue Pflanzen hinzu, meist solche, deren Wurzeln in die Tiefe dringen, z. B. *Libanotis libanotis*, *Centaurea scabiosa*, *Senecio Jacobaea* und *campester*, *Solidago virga aurea*, auch *Anthyllis vulneraria*, *Trifolium montanum* u. s. w. Die grösseren Blätter der Pflanzen bedecken den Boden, lassen das Licht nicht in die Wurzelregion eindringen; die Folge davon ist eine allgemeine Verundichtung der Pflanzendecke. Im Laufe der Jahre bildet sich ein Filz aus den Teilen der abgestorbenen Pflanzen, der die Vegetationserneuerung durch Samen in hohem Grade behindert, ebenso stört er das Treiben neuer Sprosse aus den Knospen (vgl. S u k a t s c h e w 1925, S. 105; P a t s c h o s k i j 1908, S. 23).

Von den nahen Wäldern und einzelnen Bäumen werden Samen auf das Lood verschleppt, die hier unter günstigen Umständen zu keimen beginnen, sich entwickeln und der Vegetation ihr Gepräge verleihen. An trockenen Stellen findet man bald einzelne Sprosse von *Populus tremula*, an feuchten Stellen — *Alnus incana*. Wacholdersträucher sind hier und da zu sehen. Einzelne kleine Tannen erscheinen, besonders auf Moränengebiet, zwischen den Wacholdersträuchern. Im Laufe der Jahre nehmen die Tannen an Zahl zu und verdrängen die Laubbäume (vgl. P a l m g r e n 1912, S. 42). Die Kiefer ist seltener, da sie den Kalkboden nicht bevorzugt (C a j a n d e r 1916, S. 281). Zum Schluss herrscht die Tanne (vgl. S e r n a n d e r 1892, S. 36 ff.); dazwischen sind einzelne Laubbäume verstreut, während Wacholdersträucher, auch Haselsträucher, das Unterholz bilden.

Im allgemeinen herrschen in der Umgebung des Lood Tannenwälder vor. Als Beispiel führen wir den Kaeratammik an (Karte 1, 8b, Lubjaahju). Früher befand sich hier, dem Namen nach zu urteilen („Tammik“ — Eichenhain), zum Teil ein Eichenwald, von dem sich eben nur einzelne Exemplare erhalten haben. Wahrscheinlich ist der Eichenwald vom Menschen vernichtet worden; übrig blieb der Haselstrauch als Unterholz, der mit der Zeit von der Tanne verdrängt wurde. Oben dominiert die Tanne, dazwischen finden sich einzelne Birken, Eichen, Linden, Faulbeerbäume, Espen, Weisslerlen und selten auch einige Kiefern. Im Unterholz finden sich Haselsträucher, Ebereschen, *Lonicera xylosteum*, *Ribes alpinum*, häufig auch Wacholdersträucher. Wo der Haselstrauch vom Menschen beim Strauchmachen vernichtet worden

ist, fängt die Tanne an stärker zu wachsen. Im ganzen Walde steht bei der natürlichen Verjüngung die Tanne an erster Stelle (vgl. R a m a n n 1895; T h o m s o n 1924, S. 49).

Die gleiche Erscheinung tritt auch bei den anderen auf dem Loodboden von Kooli (Karte 1, 11) gelegenen Wäldern auf. Hier hatten die Tannen vollständig das Übergewicht, waren 60—90 Jahre alt und wurden ungefähr vor 10 Jahren gefällt. Einzelne alte Eichen stehen auf offeneren Stellen inmitten der Tannen, hier und da sind *Fraxinus excelsior*, *Betula verrucosa*, *Populus tremula*, auch *Salix caprea*, einige *Crataegus monogynus*, *Sorbus aucuparia* zerstreut, das Unterholz wird oft von *Corylus avellana*, *Rosa*-Arten, *Lonicera xylosteum* und *Juniperus communis* gebildet. Die ganze Pflanzendecke ist andersartig, als auf dem offenen Lood²⁹).

Recht häufig sind in der Nähe des Lood auch die Haselsträucher, meist dort, wo die Moränendecke verhältnismässig dünn ist oder vollständig fehlt. Augenscheinlich würden die Haselsträucher bald das ganze Karstgebiet bedecken, wobei die ersten Sprosse aus Samen hervorgehen würden, die zufällig von Vögeln oder vom Vieh verschleppt und hier und da auf den Spalten verstreut wurden. Der Wacholderstrauch wäre hier ein häufiger Gefährte des Haselstrauchs. Die Bildung grösserer Tannenwälder auf dem Karstgebiet, wo so wenig Erde ist, wäre kaum denkbar (vgl. D u R i e t z 1925 b, S. 57—58). Mit der Zeit aber könnten im Haselgebüsch Bedingungen eintreten, die der Entwicklung eines Fichtenbestandes günstig wären.

Die Kiefer findet man in der Umgebung des Lood verhältnismässig selten, und wenn sie auftritt, dann ist sie verkrüppelt und gering von Wuchs. Die Bildung von Kiefernbeständen wäre

²⁹) Im Sommer 1923 (6. VI.) habe ich hier in der Feldschicht folgende Arten vermerkt: *Daphne mezereum* gr., *Pteris aquilinum* gr. cop., *Urtica dioeca* gr., *Lappa tomentosa* sp., *Lathyrus vernus* gr. cop., *Hypericum perforatum* sp., *H. quadrangulum* sp., *Origanum vulgare* sp., *Pulmonaria officinalis* sp., *Geranium silvaticum* sp., *Ranunculus cassubicus* sp., *Geranium sanguineum* gr. cop., *Anemone nemorosa* gr., *A. ranuncoloides* gr. cop., *Primula officinalis* gr., *Ranunculus auricomus* sp., *Trollius Europaëus* sp., *Fragaria vesca* cop., *Rubus saxatilis* gr., *Hepatica hepatica* gr. cop., *Galeobdolon luteum* sp., *Viola mirabilis* sp., *Stellaria holostea* gr., *Brunella vulgaris* sp., *Geum rivale* sp., *Geum urbanum* sol., *Calamintha clinopodium* sp., *Taraxacum taraxacum* sp., *Viola canina* sp., *Polygala amarella* gr. cop., *Festuca elatior* sp., *Melica nutans* sp., *Luzula pilosa* sp., *Carex digitata* sp.

hier kaum zu erwarten. Wird aber die Moränenschicht auf dem Kalkstein mächtiger, so kann auch die Kiefer gut gedeihen und reine Bestände bilden ³⁰⁾ (vgl. Hesselman 1906; Warming-Gräbner 1918, S. 731—732; DuRietz 1925, S. 58; Cedercrutz 1927, S. 54).

An den Stellen, wo die Feuchtigkeit grösser ist und wo sich in der Nähe ein Ellernbestand vorfindet, dringt die Weisseller meist auf vegetativem Wege, aber auch durch Samen ins Lood ein und erweitert ihr Gebiet (Vilberg 1927, S. 91). Auf trockenen Gebieten dringt sie nicht vor und wird durch Wacholdersträucher ersetzt.

Aus allen Beobachtungen geht hervor, dass das augenblickliche offene Lood nach Ausschaltung der Abweidung bald bewaldet wäre, wobei zuerst die Bestände einander ablösen würden, bis schliesslich die Tanne die Oberhand gewönne und Tannenbestände als Klimaxformationen das Lood bedeckten.

³⁰⁾ Im Kirchspiel Keila in West-Harrien befinden sich an einigen Stellen auf Loodgebilden in der Nähe des Glints grössere Kieferhaine. Auch in Pullapää, in der Nähe von Hapsal, wächst die Kiefer auf dem Lood. Aber auch hier ist die Kiefer eigenartig gewachsen.

Zusammenfassung.

Die bisher erörterten Beobachtungen können wir folgendermassen zusammenfassen:

1) Die Erneuerung durch Samen oder Keimlinge, d. h. durch Keimlings- oder Jungpflanzenerneuerer, ist auf dem ganzen Loodweideland gering und kaum bemerkbar, da, wie es die Analysen bestätigen, die Zahl der Keimlinge, mit den anderen Pflanzen verglichen, eine minimale ist; auch ihr Deckungsgrad ist ein sehr geringer.

2) Die Pflanzendecke des Lood erneuert sich meist auf vegetativem Wege durch Knospenerneuerer; besonders ausgesprochen ist diese Art der Erneuerung bei den Gräsern, während unter den Kräutern sich diejenigen erneuern, die ein ständig sich wiederholendes Kappen während der Beweidung vertragen.

3) Je geschlossener die Pflanzendecke ist, desto weniger Keimlinge findet man.

4) Je intensiver die Beweidung, desto geringer ist die Erneuerung durch Samen.

5) Abgestorbene Pflanzen treten im ganzen Loodgebiet auf, ein Teil derselben befindet sich teilweise in der Erde, der andere liegt lose auf dem Grase herum und ist von den weidenden Tieren mit den Wurzeln herausgerissen worden.

6) Das Absterben der Pflanzen und die Neuentwicklung von Keimlingen und Sprösslingen halten sich dennoch mehr oder weniger das Gleichgewicht, so dass das Lood als eine sich gleichbleibende Pflanzenformation erscheint, obgleich die auf dem Lood herrschenden Bedingungen für die Erneuerung der Vegetation ungünstig sind.

7) An den sekundären Bildungen können wir beobachten, wie sich die natürliche Berasung des Lood vollzieht.

8) Die Erneuerung der Loodvegetation hängt am meisten von den Boden- und Klimaverhältnissen (Trockenheit, starke Inso-

lation, Transpiration, Winterkälte, dünner Schneedecke u. s. w.) ab, neben welchen noch verschiedene äussere Einflüsse massgebend sind, unter denen an erster Stelle das Weiden steht.

9) Aus allen Beobachtungen geht hervor, dass das augenblicklich offene Lood nach Ausschaltung der Abweidung bald bewaldet sein würde, wobei zuerst die Bestände einander ablösen würden, bis schliesslich die Tanne die Oberhand gewönne und Tannenbestände als Klimaxformationen das Lood bedeckten.

Literaturverzeichnis.

- Aaltonen, V. T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa I. Metsätieteellisen koelaitoksen julkaisuja 1. Helsinki.
- Adamovič, Lujo. 1899. Die Vegetationsformationen Ostserbiens. Engl. Bot. Jahrb., Bd. 26, p. 124—218. Leipzig.
- Akerman, A. 1919. Über die Bedeutung der Art des Auftauens für die Erhaltung gefrorener Pflanzen. Bot. Notiser, p. 49—64, 103—126.
- Aléchin, B. 1925. Fitosoziologija (utschenije o rastiteljnych ssoobščestchestwach) i jejo poslednije uspechi u nas i na sapade. Met. geobot issledow., p. 9—75. Moskau.
- „ 1927. Luga i metody ich issledowanija (Les prairies et les méthodes de leur étude). Bull. de la Soc. des Naturalistes de Moscou, t. 36, livr. 1—2, p. 25—67.
- Altenkirch, G. 1894. Studien über die Verdunstungsschutzeinrichtungen in der trockenen Geröllflora Sachsens. Engl. Bot. Jahrb., Bd. 18, p. 354—393.
- Areschoug, F. W. C. 1896. Beiträge zur Biologie der geophilen Pflanzen. Acta reg. soc. phys. Lund, t. 6.
- Arrhenius, Axel. 1892—93. Frosthärdighet hos *Senecio vulgaris* L. Meddel. Soc. F. Fl. Fennica 19, p. 21—22.
- Ascherson, Paul. 1864. Flora der Provinz Brandenburg, der Altmark und des Herzogthums Magdeburg. Berlin.
- „ u. Graebner, P. 1898—99. Flora des Nordostdeutschen Flachlandes. Berlin.
- Baur, E. 1917. Physiologie der Fortpflanzung im Pflanzenreich. Die Kultur der Gegenwart, III, 4, Bd. 4. Leipzig.
- Becquerel, Paul. 1905. Action de l'air liquide sur la vie de la graine. C. R. Acad. Sc. Paris 140, p. 1652—1653. (Zit. nach Just, Bot. Jahresb. 33, 1905, 3. Abt., p. 93.)
- „ 1907. Die Wirkung tiefer Temperaturen. (Zit. nach Just, Bot. Jahresb. 35.)
- „ 1907. Recherches sur la vie latente des graines. Ann. Sc. nat. Bot. 9. ser., t. 5, p. 193—311.
- Bekker, Hendrik. 1922. Ülevaade Eesti ordoviitsiumi ja siluri kohta käivatest uurimistest. (Übersicht über die Ergebnisse der Untersuchungen auf dem silurischen Gebiet Estlands.) Loodus 1922, Nr. 3, 4, p. 161—165, 217—224.
- „ 1923. Ajaloolise geoloogia õpperaamat. Tartu.
- „ 1925. Lühike ülevaade Eesti geologiast. „Eesti“, p. 31—61. Tartu.
- Benedict, H. M. 1915. Senile changes in leaves of *Vitis vulpina* L. and certain other plants. Cornell University agric. experim. station, June, p. 281—365. (Zit. nach Molisch, 1920, p. 255.)
- Bernadsky, J. 1905. Anordnung der Formationen nach ihrer Beeinflussung seitens der menschlichen Kultur und der Weidetiere. Engl. Bot. Jahrb., Bd. 34, p. 1—8.

- Brockmann-Jerosch, H. 1907. Flora des Puschlav (Bezirk Bernina, Kanton Graubünden) und ihre Pflanzengesellschaften. Leipzig.
- Bühler, A. 1922. Der Waldbau nach wissenschaftlicher Forschung und praktischer Erfahrung. II. Band, p. 257—412. Stuttgart.
- Burgerstein, A. 1904—25. Transpiration der Pflanzen. I. Teil — 1904, II. Teil — 1920, III. Teil — 1925. Jena.
- Cajander, A. K. 1916. Metsänhoidon perusteet I. Helsinki.
 „ 1922. Über die Waldtypen II. Acta Forest. Fennica 20. Helsingfors.
 „ 1925. Der gegenseitige Kampf in der Pflanzenwelt. Veröffentl. des Geobot. Instit. Rübel in Zürich, 3. Heft, p. 665—675.
- Cedercreutz, C. 1927. Studien über Laubwiesen in den Kirchspielen Kyrslätt und Ebo in Finnland. Acta Bot. Fennica 3.
- Chrebtow, A. 1908. Primery plodowitosti i rasprostranennosti polewowych ssornych rastenij w Pribaltijskom kraje. Trudy Bjuro po prikladn. bot. 1908, Nr. 11—12, p. 272—302.
 „ 1909. Primery prorastanija ssemjan ssornych rastenij. Trudy Bjuro po prikladn. bot. 1900, Nr. 10.
- Drude, O. 1896. Deutschlands Pflanzengeographie. Stuttgart.
 „ 1902. Der Hercynische Florenbezirk. Die Vegetationen der Erde VI. Leipzig.
 „ 1913. Die Oekologie der Pflanzen. Braunschweig.
- Du Rietz, G. E. 1921 a. Vegetationen och det öländska landskapet. Sv. Turistför. Årsskr., p. 73—91. Stockholm.
 „ 1921 b. Zur methodologischen Grundlage der modernen Pflanzensoziologie. Uppsala.
 „ 1923 a. Studien über die *Helianthemum oelandicum*-Assoziationen auf Oeland. Svensk Bot. Tidskrift, Bd. 17, H. 1, p. 69—82.
 „ 1923 b. Einige Beobachtungen und Betrachtungen über Pflanzengesellschaften in Niederösterreich und den kleinen Karpathen. Österr. Bot. Zeitschrift, p. 1—43. Wien.
 „ 1924. Studien über die Vegetation der Alpen mit derjenigen Skandinaviens verglichen. Veröffentl. d. Geobot. Instit. Rübel in Zürich, 1. Heft, p. 1—138.
 „ 1925 a. Gotländische Vegetationsstudien. Uppsala.
 „ 1925 b. Die regionale Gliederung der skandinavischen Vegetation. Uppsala—Stockholm.
- Engler, A. 1879. Versuch einer Entwicklungsgeschichte der extratropischen Florengebiete der nördlichen Hemisphäre. Leipzig.
- Falck, Kurt. 1913. Iakttagelser öfver alfvarvegetationen på Öland särskildt med hänsyn till alfvarvakternas osmotiska tryck. (Beobachtungen über die Alfvarvegetation der Insel Oeland, namentlich über den osmotischen Druck der Alfvarpflanzen.) Svensk Bot. Tidskrift, Bd. 7.
- Fankhauser, J. 1880. Verhältnis verschiedener organisch verbundener pflanzlicher Sprosse zu einander. Mitteil. der naturf. Gesellsch. in Bern, p. 44—56.
- Flahault, C. 1888. Les herborisations aux environs de Montpellier II. Les Garrigues. Journ. de Bot., Bd. 2. Paris.

- Fleischer, M. 1921. Die Anlage und die Bewirtschaftung von Moorwiesen und Moorweiden. 3. Aufl. Berlin.
- Fritsch, K. 1902. Über den Einfluss des Ackerbaues und der Wiesenkultur auf die Vegetation. *Mitteil. d. Naturwissensch. Vereins f. Steiermark*, p. 390—402.
- Gams, H. 1918. Prinzipienfragen der Vegetationsforschung. Ein Beitrag zur Begriffsklärung und Methodik der Biocoenologie. *Vierteljahrsschrift d. Naturforsch.-Ges. in Zürich*, Bd. 63, p. 293—493.
- Ger mann, Prof. 1805. Reise durch Esthland, vorzüglich botanischen Inhalts. Im Sommer 1803 unternommen. *Hoppe Taschenbuch*, p. 57—104. Nürnberg u. Altdorf.
- Glinka, K. 1914. Die Typen der Bodenbildung, ihre Klassifikation und geographische Verbreitung. Berlin.
- Goebel, K. 1898, 1913. Organographie der Pflanzen, insbesondere der Archegoniaten und Samenpflanzen. I. Teil, 1. u. 2. Aufl. Jena.
- Göppert, H. 1871(?). Über Einwirkung der Kälte auf die Pflanzen.
„ 1880. Über Einwirkung niedriger Temperaturen auf die Vegetation. *Gartenflora*, p. 243—248.
- Gräbner, P. 1909. Die Pflanzenwelt Deutschlands. Leipzig.
„ 1910. Lehrbuch der allgemeinen Pflanzengeographie nach entwicklungsgeschichtlichen und physiologisch-ökologischen Gesichtspunkten. Leipzig.
- Granö, J. G. 1925. Eesti loodus: orienteeriv ülevaade. „Eesti“, p. 3—17. Tartu.
- Grevillius, A. Y. 1896. Morphologisch-anatomische Studien über die xerophile Phanerogamenvegetation der Insel Oeland. *Engl. Bot. Jahrb.*, Bd. 23. Leipzig.
- Grisch, Andr. 1907. Beiträge zur Kenntnis der pflanzengeographischen Verhältnisse der Berggipfelstöcke. *Beihefte z. Bot. Zentralblatt* 22, 2, p. 254—316.
- Haberlandt, Fr. 1874. Frühlings landwirtschaftl. Zeitung 33, p. 514 ff. (Zit. nach Haberlandt, 1877.)
- Haberlandt, G. 1877. Die Schutzeinrichtungen in der Entwicklung der Keimpflanze. Wien.
- Hausen, H. 1913. Über die Entwicklung der Oberflächenformen in den russischen Ostseeländern und angrenzenden Gouvernements in der Quartärzeit. *Fennia* 34. Helsingfors.
- Hayek, Aug. 1926. Allgemeine Pflanzengeographie. Berlin.
- Hertz, M. 1925. Niinipuun uudistumisesta Suomesta. (Über die Verjüngung der Linde in Finnland.) *Acta Forest. Fennica*. Helsinki.
- Hesselman, H. 1904. Zur Kenntnis des Pflanzenlebens schwedischer Laubwiesen. *Beihefte z. Botan. Zentralblatt*, Bd. 17.
„ 1908. Vegetationen och skogsväxten på Gotlands hällmarker. *Skogsvårdsför. Tidskr.* Stockholm.
„ 1910—17. Studier öfver de norrländska tallhedannas foryngningsvillkor. (Studien über die Verjüngungsbedingungen der nordländischen Kiefernheiden.) *Medd. fr. Statens Skogsförs.-anst.* 1, 1910, Nr. 7; 2, 1917, Nr. 13—14. Stockholm.

- Hildebrandt, Fr. 1873. Die Verbreitungsmittel der Pflanzen. Leipzig.
 „ 1881. Die Lebensdauer und Vegetationsweise der Pflanzen, ihre Ursachen und ihre Entwicklung. Engl. Bot. Jahrb., Bd. 2.
 „ 1883. Einige Beobachtungen über den Witterungseinfluss auf die Lebensdauer und Vegetationsweise der Pflanzen. Engl. Bot. Jahrb., Bd. 4, p. 1—11.
- Högbom, A. G. 1915. Fennoskandia . (Skandinavien und Finnland.) Handbuch der regionalen Geologie, Heft 13.
- Homén, Th. 1897. Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde. Acta Soc. Scient. Fenn., t. 33, 3.
- Ilvessalo, L. 1917. Tutkimuksia mäntymetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa. Acta Forest. Fennica 6. Helsinki.
- Jentzsch, A. 1895. Der Frühlingseinzug des Jahres 1895 in Estland. Balt. Wochenschrift 33, Nr. 48, p. 618—621.
 „ 1896. Der Frühlingseinzug des Jahres 1895 in Kur-, Liv- und Estland. Balt. Wochenschrift 34, Nr. 4, p. 41.
- Jessen, C. F. W. 1854. Über die Lebensdauer der Gewächse. Leopoldin. Nova Acta 25.
- Jeswiet, J. 1913. Die Entwicklungsgeschichte der Flora der holländischen Dünen. Beihefte z. Bot. Zentralblatt, Bd. 30, 2. Abt., p. 269—391.
 „ 1914. Eine Einteilung der Pflanzen der niederländischen Küstendünen in ökologische Gruppen. Beihefte z. Bot. Zentralblatt, Bd. 31, 2, p. 322—372.
- Jost, Ludwig. 1913. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 3. Aufl. Jena.
- Karsten, G. 1914. Lehrbuch der Biologie für Hochschulen. 2. Aufl. Berlin.
- Kast. 1890. Die horst- und gruppenweise Verjüngung im kgl. bayrischen Forstamt Siegsdorf. München.
- Keller, B. A. 1923. Die Pflanzenwelt der russischen Steppen, Halbwüsten und Wüsten. Woronesch.
- Kihlman, A. O. 1896. Pflanzenbiologische Studien aus Russisch-Lappland. Acta Soc. Fauna et Flora Fennica, vol. 6.
- Krafft, G. 1913. Lehrbuch der Landwirtschaft auf wissenschaftlicher und praktischer Grundlage. II. Bd. 9. Aufl. Berlin. (Zit. nach Teräsvoori, 1926.)
- Kraus, G. 1911. Boden und Klima auf kleinstem Raum. Versuch einer exakten Behandlung des Standortes auf dem Wellenkalk. Jena.
- Kujala, Viljo. 1924. Tervaleppä (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) Suomessa. Kasvimaantieteellinen tutkimus. (Die Schwarzerle in Finnland. Pflanzengeographische Untersuchung.) Metsätieteellisen koelaituksen julkaisu 7. Helsinki.
- Kupffer, K. R. 1906. Botanische Studienreise in Schweden im August 1905. Korrespondenzbl. d. Nat.-Ver. Riga, Bd. 49, p. 125—127.
 „ 1912. Kurze Vegetationsskizze des ostbaltischen Gebiets. Ebenda, Bd. 55, p. 107—125. Riga.
- Kurrik, V. 1924. Eesti kliima valdkonnad. „Loodus” 3, p. 472—485.
 „ 1925. Eesti kliima. „Eesti loodus”, p. 62—75. Tartu.

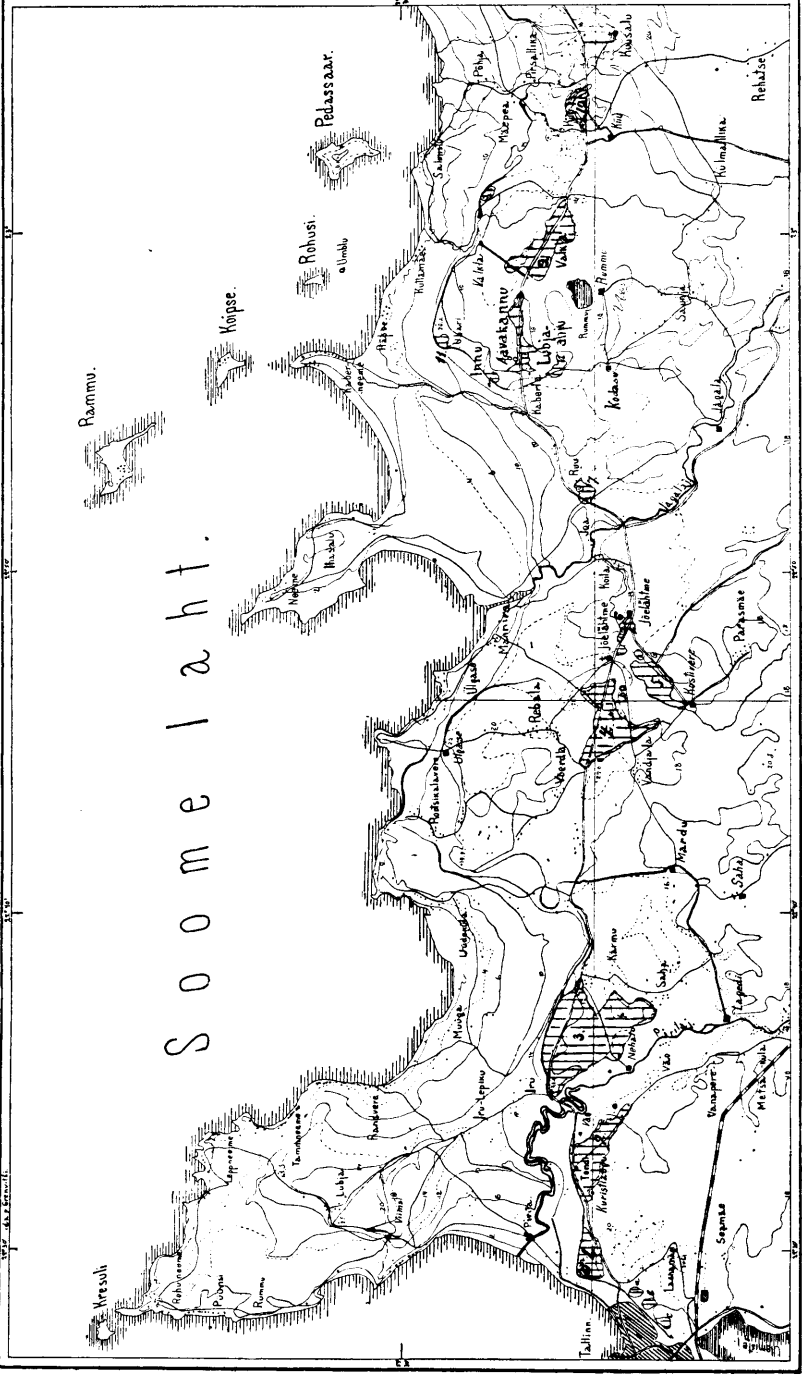
- Lakari, O. J. 1915. Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden. Acta Forest. Fennica. Helsinki.
- Lakon, G. 1914. Die neuen Forschungsergebnisse auf dem Gebiete der Samenkeimung. Die Naturwissenschaften, 2. Jhrg., p. 966—67.
- Lassila, J. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. (Untersuchungen über die Entstehung und Entwicklung der Kiefernwälder nördlich vom nördlichen Polarkreise.) Acta Forest. Fennica 14. Helsinki.
- Lidfors, B. 1907. Die wintergrüne Flora. Eine biologische Untersuchung. Lunds Universit. Årsskrift N. F., Afd. 2, Bd. 2, Nr. 13.
- Linkola, K. 1916. Studien über den Einfluss der Kultur auf die Flora in den Gegenden nördlich vom Ladogasee I. Acta pro fauna et flora Fennica 45. Helsingfors.
- „ 1922. Zur Kenntnis der Überwinterung der Unkräuter und Ruderalpflanzen in der Gegend von Helsingfors. Annales Soc. Zool.-Bot. Fenniae Vanamo, t. I, 7. Helsingfors.
- Masart, J. 1908. Essai de géographie botanique des districts littoraux et alluviaux de la Belgique. Rec. de l'Institut. botan. Léon Errera, t. 7, p. 167—584. (Zit. nach Jeswiet, 1914.)
- Melder, Chr. 1913. Tipologitscheskaja klassifikacija lessow Kurljandskoj gub. (Typologische Klassifikation der Waldbestände des Gouvernement Kurland.) Iswestija Imp. Lesn. Institut., t. 34, p. 1—166. St. Petersburg.
- Meteoroloogia aastaraamat Eesti Vabariigi kohta. (Meteorol. Jahrbuch für Eesti.) 1922, 1923.
- Möbius, M. 1897. Beiträge zur Lehre von der Fortpflanzung der Gewächse. Jena.
- Molisch, H. 1921. Pflanzenphysiologie als Theorie der Gärtnerei. 4. Aufl. Jena.
- Morosow, G. F. 1924. Utschenije o lesse. Moskau.
- Neger, Fr. W. 1913. Biologie der Pflanzen auf experimenteller Grundlage (Bionomie). Stuttgart.
- Nilson, Hj. 1885. Dicotyla jordstammar. Lunds Univ. Årsskrift 21.
- Nobbe, F. 1882. Übt das Licht einen vorteilhaften Einfluss auf die Keimung der Grassamen? (Zit. nach G. Thomes, Baltische Wochenschrift 1882, Nr. 44, p. 771.)
- Palmgren, A. 1912. Hippophaes rhamnoides auf Åland. Acta pro fauna et flora Fennica 36. Helsingfors.
- „ 1922 a. Über Artenzahl und Areal, sowie über die Konstitution der Vegetation. Acta Forest. Fennica 22. Helsingfors.
- „ 1922 b. Zur Kenntnis des Florencharakters des Nadelwaldes. Eine pflanzengeographische Studie aus dem Gebiete Ålands. Ebenda 22. Helsingfors.
- „ 1925. Die Artenzahl als pflanzengeographischer Charakter, sowie der Zufall und die säkulare Landhebung als pflanzengeographische Faktoren. Acta Botanica Fennica 1. Helsingfors.

- Patschoskij, J. 1908. Pritschernomorskija stepi. Sap. Imp. Obschtsch. Sseljskochos. Jushn. Rossii 78.
- Polownikow, P. 1913. Jestestwennoje wosobnowlenije ssosny w wereskowom boru w Ssapeschnikowskom lesnitschestwe Ssuw. gub. Lesnoj shurnal, p. 502—527.
- Puring, H. 1898. Otscherk rastiteljnosti sapadnoj tshasti Pskowskoj gub. Trudy S.-Peterburgsk. obschtsch. jestestwoisp., t. 28, 3, p. 1—222.
- Ramann, E. 1895. Wald und Moor in den russischen Ostseeprovinzen. Zeitschrift f. Forst- u. Jagdwesen, 1. Heft, p. 17—30.
- Ramensky, L. G. 1925. Die Grundgesetzmässigkeiten im Aufbau der Vegetationsdecke. Westnik opyt. dela 1925. Woronesch.
- Ramsay, W. 1920. Litorina gränsen i sydlika Finland. Geolog. Fören. förhandligar, Bd. 42.
- Raunkjær, C. 1905. Types biologiques pour la géographie botanique. Acad. royale d. sc. et lettr. Dänemark, 5.
- „ 1910. Statistik der Lebensformen als Grundlage für die biologische Pflanzengeographie. Beihefte z. Bot. Zentralblatt, Abt. II, Bd. 27, p. 171—206 a.
- Regel, K. 1921. Statistische und physiognomische Studien an Wiesen. Ein Beitrag zur Methodik der Wiesenuntersuchung. Acta et Comm. Univ. Dorpatensis A 1, 4. Dorpat.
- Reinwaldt, A. 1911. Wosobnowlenije ssosny w Aahofskom lesnitschestwe Lifl. gub. Isw. Imp. Lesn. Institut., t. 21.
- Renvall, A. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. Acta Forest. Fenn. 1. Helsingfors.
- Rikli, M. 1903. Botanische Reisestudien auf einer Frühlingssfahrt durch Korsika. Zürich.
- Rübel, E. 1913. Ökologische Pflanzengeographie. Handwörterbuch d. Naturwissenschaften, IV. Bd., p. 858—907. Jena.
- „ 1922. Geobotanische Untersuchungsmethoden. Berlin.
- „ 1925. Alpenmatten-Überwinterungsstadien. Schroeter-Festschrift, p. 37—53. Zürich.
- Schroeter, C. 1926. Das Pflanzenleben der Alpen. Eine Schilderung der Hochgebirgsflora. 2. Aufl. Zürich.
- Schimper, A. F. W. 1898. Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Jena.
- Schmidt, Fr. 1858. Beiträge zur Geologie der Insel Gotland nebst einigen Bemerkungen über die untersilurische Formation des Festlandes von Schweden und die Heimat der norddeutscher silurischen Geschiebe. Arch. f. d. Naturk. Liv-, Ehst- und Kurlands, 2. Ser., Bd. 1. Dorpat.
- Schwappach, A. 1895. Die Samenproduktion der wichtigsten Waldholzarten in Preussen. Zeitschrift f. Forst- und Jagdwesen, 27. Jhrg.
- Sernander, R. 1892. Die Einwanderung der Fichte in Skandinavien. Engl. Bot. Jahrb., Bd. 15.
- Sprygin, J. J. 1926. Aus dem Gebiete der Pensaer Waldsteppe. I. Die Grassteppen des Gouvernement Pensa. Moskau. (Zit. nach Bot. Zentralbl. 1927, p. 177.)

- Sorauer, P. 1921. Handbuch der Pflanzenkrankheiten I. 4. Aufl. Berlin.
- Stebler, F. G. u. Schroeter, C. 1892. Beiträge zur Kenntnis der Matten und Weiden der Schweiz. X. Landw. Jahrbuch der Schweiz, Bd. 6.
- Sternner, R. 1925. Einige Notizen über die Vegetation der Insel Oeland. Svensk Bot. Tidskrift, Bd. 19, H. 3, p. 303—322.
- „ 1926. Ölands växtvärld. Södra Kalmar Län. III. Kalmar.
- Ssukatschew, W. 1925. Rastitelnyje ssoobschtschestwa. (Wwedenije w fitosozologiju.) 3. Aufl. Leningrad.
- Sylvén, N. 1906. Om de svenska Dicotyledonernas förstärkningsstadium eller utveckling från frö till blomning. I. II. del. Uppsala.
- Tanfiljef, G. J. 1925. Natürliche Wiesen in Russland. Festschrift Carl Schroeter (Veröffentlichungen des Geobotan. Instit. Rübel in Zürich, 3. Heft).
- Teräsvuori, K. 1926. Wiesenuntersuchungen I. Annales Soc. Zool.-Bot. Fennicae Vanamo 5, 1. Helsinki.
- Thomson, P. 1924. Zur Frage der regionalen Verbreitung und Entstehung der Gehölzwiesen und Alvartriften in Nord-Estland. Sitzungsber. d. Naturf.-Ges. zu Dorpat 30, p. 45—53.
- Vilberg, G. 1926. Eestin alvarikasvillisuudesta. Luonnon Ystävä 6. Helsinki.
- „ 1927. Loost ja lootaimkonnast Ida-Harjumaal. (Die Alvare und die Alvarvegetation in Ost-Harrien.) Sitzungsber. d. Naturf.-Ges. zu Dorpat 34, 1. Tartu.
- Walter, H. 1927. Einführung in die allgemeine Pflanzengeographie Deutschlands. Jena.
- Warming, E. 1887. Om Grönlands Vegetation. Meddel. om Grönland 12, 100. (Zit. nach Drude 1890.)
- „ u. Gräbner, P. 1918. Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie. 3. Aufl. Illustr. Ausgabe. Berlin.
- Weber, C. 1892. Über die Zusammensetzung des natürlichen Graslandes in Westholstein, Dithmarschen und Eiderstedt. Schriften d. naturwissenschaftl. Vereines f. Schleswig-Holstein, p. 179—217. Kiel.
- Wettstein, R. v. 1904. Die Biologie unserer Wiesenpflanzen. Wien.
- Witte, H. 1901. Några notiser om den fanerogama vinterflore i Västergötland. Bot. Notiser, p. 273—275.
- „ 1906. Till de svenska alfvarväxternas ekologi. Uppsala.
- Woeikof, A. 1889. Der Einfluss einer Schneedecke auf Boden, Klima und Wetter. Geogr. Abhandl. d. Prof. A. Penck, III, 3.
- Wulff, I. Z. 1896. Some remarks on the flora of the Isle of Wight, England. Bot. Not. Lund.
- Zeiske, M. 1897. Die Trift- und Felsformationen des Ringgaus. Abh. d. Ver. f. Naturk. zu Kassel 42. Kassel.

Erläuterungen zur Karte.

1. Das Linnalood; a, b, d, — kleinere Gebiete auf dem Ülemiste-mägi.
2. Das Lood von Tondi.
3. Das Lood von Iru-Kärnu.
4. Das Lood von Jöelähtme-Kostivere-Vöerdla.
5. Die Dolinen von Kostivere (Kostivere urked).
6. Das Lood in der Nähe des Gutes Jöelähtme.
7. Das Lood von Koeralõuga.
8. Das Lood von Aavakannu:
 - a — das Lood an den Abhängen bei Innu;
 - b — das Lood bei Lubjaahju.
9. Das Lood von Valkla.
10. Das Lood von Kiiu.
11. Ein Teil des Lood auf dem Tallukmägi.



Soome laht.

Alvar (Lood)

1:50,000



Fig. 1. Das Lood von Kostivere. Totalansicht des Karstgebietes.
In der Mitte verschüttete Spalten.



Fig. 2. Kalksteinbruch auf dem Linnalood. Die horizontalen
Schichten des Untergrundes sind sichtbar.



Fig. 3. Das Lood von Jõelähtme. Schuttlod mit Geröll und
erratischen Blöcken.



Fig. 4. Das Lood von Aavakannu. Schuttlod mit Wacholderbüschen.
Rechts Haselgebüsch, links feuchteres Gebiet mit Ellern.



Fig. 5. Dolinen (Urked) von Kostivere. Eine Wasserader, die in Spalten des Kalksteins verschwindet und einen unterirdischen Fluss bildet.



Fig. 6. Dolinen von Kostivere. Dasselbe Gebiet (Fig. 5) zur Zeit des Hochwassers.

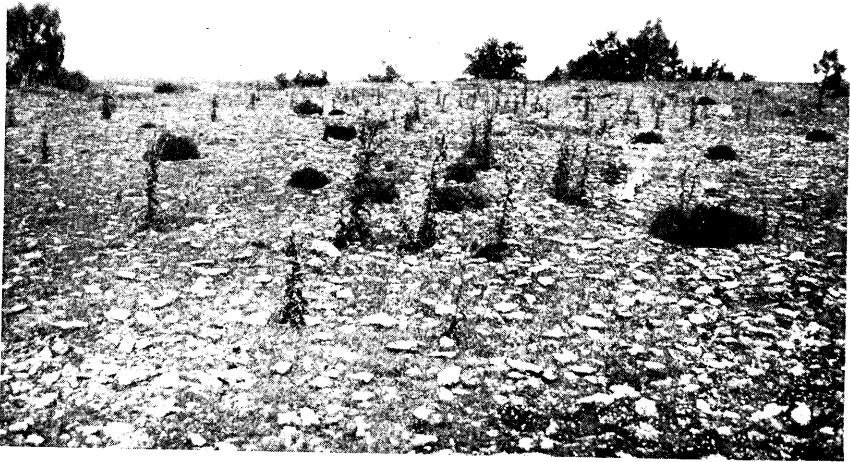


Fig. 7. Unland bei Tallukmäe, vor etwa 10 Jahren als Feld benutzt.
Zwischen von Schafen benagten Wacholderbüschen *Carduus marianus*.



Fig. 8. Das Lood von Jõelähtme. Links von der primitiven Mauer
Weideland, auf dem stellenweise fast nackte Kalksteinplatten zu sehen sind;
rechts eine Koppel mit geschlossener Pflanzendecke. Etwas weiter die
Narvasche Landstrasse.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung	3
Geographisch-geologische Übersicht	5
Einteilung des Lood	10
Über die Pflanzengesellschaften des Lood	12
Allgemeines über die Erneuerung der Vegetation	16
Über die Arbeitsmethode	23
Erneuerung der Loodvegetation	30
1. Nackte Kalkplatten	37
2. Das Karstgebiet	42
3. Das Schuttlood	47
4. Das Schuttlood- <i>Juniperetum</i>	54
Sekundäre Bildungen	62
Keimungsmöglichkeiten auf dem Lood	69
Allgemeine Keimungsbedingungen	72
a) Feuchtigkeit, Temperatur, Insolation u. s. w.	72
b) Einwirkungen von Kälte und Schnee	86
c) Der Einfluss des Weidens	95
Welches wäre die Klimaxformation des Lood?	103
Zusammenfassung	107
Literaturverzeichnis	109

**ÜBER DIE NEUTRALSALZWIRKUNG AUF
DIE GESCHWINDIGKEIT DER IONEN-
REAKTIONEN**

VON

A. PARTS

TARTU 1929

C. Mattiesen, Tartu.

Die vorliegende Arbeit wurde im physikalisch-chemischen Laboratorium der Universität Tartu ausgeführt. Dem Leiter des Laboratoriums, Herrn Dozenten Dr. A. Paris, bin ich für sein Interesse an dieser Arbeit und sein gütiges Entgegenkommen zu tiefstem Dank verpflichtet.

1. Einleitung.

Es ist allgemein bekannt, dass man bei der Untersuchung der Geschwindigkeit der Ionenreaktionen den sehr ausgeprägten „reaktionskinetischen Anomalien“ und der Neutralsalzwirkung begegnet (8). Die reaktionskinetischen Anomalien äußern sich darin, dass die nach einer bestimmten Ordnung berechneten Geschwindigkeitskoeffizienten der Reaktion mit deren Fortschreiten und mit der Änderung der Konzentration der reagierenden Stoffe sich ändern. Die Neutralsalzwirkung auf die Reaktionsgeschwindigkeit ist sehr deutlich bemerkbar beim Hinzufügen solcher Salze (Neutralsalze), die selbst an der Reaktion nicht teilnehmen.

Es fehlte bis zu der letzten Zeit eine Theorie, die die reaktionskinetischen Anomalien der Ionenreaktionen zu erklären und die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten von den hinzugefügten Salzmengen zu berechnen versucht hätte. Der erste, der für Ionenreaktionen eine von dem klassischen Reaktionsgeschwindigkeitsausdruck abweichende Geschwindigkeitsgleichung aufstellte, war Brönsted (8, 9). Brönsted hat versucht, seine Gleichung theoretisch und experimentell unter Zuhilfenahme der in der Literatur vorhandenen Daten und des von ihm selbst gesammelten Materials bei verschiedenen Reaktionen zu beweisen. Mit der theoretischen Begründung der Brönsted'schen Gleichung haben sich auch Bjerrum (5, 6) und Christiansen (14) befasst, ohne jedoch Brönsted zu befriedigen.

Für die Bestätigung verschiedener theoretischer Anschauungen schien es mir wünschenswert, mehr systematisches Material zur Untersuchung der Wirkung von Neutralsalzzusätzen auf die Geschwindigkeit der Ionenreaktionen zu sammeln.

Obwohl die genannten Gleichungen (Brönsted's) auf verdünnte Salzlösungen als Reaktionsmedia anwendbar sind, ist es von Interesse, die Reaktionsgeschwindigkeit auch in konzentrierten

(bis zu 6 n.) Salzlösungen zu untersuchen. Das ist umsomehr wichtig, als die Wirkung der Neutralsalze in konzentrierten Salzlösungen bisher nur bei solchen Reaktionen, an denen nur ein Ion aktiv beteiligt ist, oder die zwischen neutralen Molekülen verlaufen, untersucht worden ist.

Da zur Untersuchung solche Reaktionen geeigneter schienen, bei denen der Neutralsalzzusatz die Reaktionsgeschwindigkeit vergrößert¹⁾, blieben zur Auswahl nur ziemlich wenige übrig. Es war ja dabei vieles zu beachten: die Reaktion sollte eindeutig verlaufen, ihre Verfolgung sollte nicht sehr umständlich sein, die nötigen Stoffe sollten leicht in reinem Zustande herstellbar sein, — denn es musste ein umfangreiches Zahlenmaterial zur Verfügung stehen, damit man auf Grund desselben zu bestimmten Schlüssen kommen konnte. Von diesen Erwägungen ausgehend, wählte ich die im nächsten Abschnitt genannten Reaktionen.

2. Über die Durchführung der Versuche.

In der vorliegenden Arbeit kommt die Neutralsalzwirkung in folgenden Reaktionen zur Betrachtung:

- 1) $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{COO}' + \text{OH}' \rightarrow \text{CH}_2\text{OHCOO}' + \text{CH}_3\text{COO}'$
 $\text{CHBr} \cdot \text{COO}' \qquad \qquad \text{CBr} \cdot \text{COO}'$
- 2) $\begin{array}{c} | \\ \text{CHBr} \cdot \text{COO}' \end{array} + \text{OH}' \rightarrow \begin{array}{c} || \\ \text{CH} \cdot \text{COO}' \end{array} + \text{Br}' + \text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{S}_2\text{O}_8'' + 2\text{J}' \rightarrow 2\text{SO}_4'' + \text{J}_2$.

Die erste und zweite Reaktion sind von Holmberg (29, 28), die dritte von Price (45) untersucht worden.

Die Acetylglykolsäure bereitete ich nach Anschütz' und Bertram's (3) Vorschrift aus Glykolsäure und Acetylchlorid. Zur Reinigung destillierte ich die Säure im Vakuum und kristallisierte sie danach dreimal aus Benzol um. Getrocknet wurde das Präparat ebenfalls im Vakuum. Der Schmelzpunkt lag bei 67°—68° C. Bei der Titration mit Natriumhydroxyd wurde an Lauge verbraucht:

1) Das sind die zwischen gleichnamig geladenen Ionen verlaufenden Reaktionen.

0,3468 g Säure	verbrauchte	14,69 ccm	0.2000 n. NaOH,	berechnet	14,69
0,7183 „ „	„	30,43 „	„	„	30,42
0,8466 „ „	„	35,86 „	„	„	35,86
0,3731 „ „	„	15,80 „	„	„	15,80

Die racemische Dibrombernsteinsäure wurde nach McKenzie (41) bereitet und nach Holmberg (27) durch Umkristallisieren aus Äthylacetat und Fällung mit Tetrachlorkohlenstoff gereinigt. Getrocknet im Vakuum. Bei der Titration mit Natriumhydroxyd wurde an Lauge verbraucht:

0,7004 g Säure	verbrauchte	25,50 ccm	0.2000 n. NaOH,	berechnet	25,39
0,6917 „ „	„	25,18 „	„	„	25,07
0,7148 „ „	„	26,00 „	„	„	25,91
0,8082 „ „	„	29,35 „	„	„	29,30

Man sieht, dass die Acetylglykolsäure zur Neutralisation die theoretische Menge von Natriumhydroxyd verbraucht, dagegen ist aber der Laugenverbrauch bei *d*-, *l*-, Dibrombernsteinsäure ein wenig grösser als berechnet. Auch durch mehrmalige Fällung aus Äthylacetat änderte sich dieser Umstand nicht.

Zur dritten Reaktion benutzte ich ausschliesslich Kaliumper-sulfat und Kaliumjodid. Die erstgenannte Verbindung bereitete ich aus käuflichem Präparat durch zweimaliges Umkristallisieren aus 80° C. Wasser. Schon nach der ersten Kristallisation waren keine Sulfationen mehr nachzuweisen. Die Verbindung wurde im Vakuum getrocknet und jede Woche neu bereitet.

Das benutzte Kaliumjodid war Kahlbaum'sches Präparat „zur Analyse“.

Karbonatfreies Natriumhydroxyd erhielt ich nach Clark (15). Die so bereitete Lauge gibt in der Kälte wie in der Hitze, mit HCl und Phenolphthalein als Indikator titriert, die gleichen Resultate.

Als Salze benutzte ich zum Teil von mir selbst umkristallisierte (KNO_3 , K_2SO_4 , Na_2SO_4 , KCl , NaNO_3 , NaClO_3 , SrCl_2 , BaCl_2), zum Teil de Haën's „garantiert reine Reagenzien“ (NH_4Cl , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 , BaCl_2 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), zum Teil Kahlbaum'sche Reaktive „zur Analyse“ (KCl , MgCl_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, CaCl_2). Das Lithiumsulfat war ein gewöhnliches Kahlbaum'sches Reaktiv, Lithiumchlorid und Lithiumnitrat aus Riedel's „Lithium carbonicum purum“ von mir selbst bereitet. Ich konnte

bei Benutzung von Salzen verschiedenen Ursprungs keinerlei Unterschiede in der Reaktionsgeschwindigkeit feststellen.

Zur Bestimmung der Neutralität der bei den ersten zwei Reaktionen benutzten Salze fügte ich zur 1 n. Salzlösung einige Tropfen Phenolphthalein und einen Tropfen ca. 0,04 n. Bariumhydroxyd hinzu. Mit allen Salzen erhielt ich eine rötliche Lösung.

Das zur Arbeit benutzte Wasser habe ich immer durch Kochen von Kohlenstoffdioxyd befreit. Die nötigen Gefässe — Messkolben, Pipetten, Büretten — waren kalibriert.

Die Gehaltsbestimmung bei einigen Salzen — Li_2SO_4 , Na_2SO_4 , Ca-, Ba-, Sr-, Mg-Salzen — wurde auf Grund der Hygroskopizität oder des Kristallwassergehalts gewichtsanalytisch durchgeführt, andere Salze — NaCl, KCl, NaClO_3 usw. — nahm ich nach dem Trocknen als 100^o/_o-ig an.

Bei allen Reaktionen verfuhr ich folgendermassen, abweichend von Holmberg und Price: einen 100 ccm fassenden Messkolben füllte ich beinahe bis zur Marke mit dem Neutralsalz — durch Abwägung der entsprechenden Menge, oder aus 2 n. bzw. 0,5 n. Lösung mit der Pipette genommen — und einem an der Reaktion teilnehmenden Stoffe ¹⁾. Der Messkolben wurde danach zur Temperaturlausgleichung in den Thermostaten ²⁾ gehängt, wo die Reaktionen verliefen, und die nötige Zeit dort belassen. Dann füllte ich den Messkolben genau bis zur Marke mit reinem Wasser und goss seinen Inhalt in einen ca. 200 ccm fassenden, aus Jenaer Glas gefertigten, reinen und trocknen Erlenmeyerkolben, der, mit einem Gummistopfen verschlossen, im Thermostaten gelassen wurde. (Für die Reaktionen, an denen Hydroxytionen teilnehmen, war der Kolben durch

1) Die Füllung des Messkolbens wurde immer in der genannten Reihenfolge vorgenommen. Bei den ersten zwei Reaktionen musste man, wenn im Kolben Calcium-, Strontium- und Bariumsalze anwesend waren, mit der Möglichkeit des Ausfallens eines Niederschlages von Hydroxyden der genannten Metalle beim Zugiessen von Natriumhydroxyd rechnen. Tatsächlich fiel auch an den Wänden des Kolbens ein Niederschlag von Calciumhydroxyd (seltener Sr und Ba) aus, wenn der Kolben nicht genügend rein war. Mit einem gut gereinigten Kolben und bei vorsichtigem Zugiessen der NaOH-Lösung zu der im Kolben befindlichen (die Wände durften von der Hydroxydlösung nicht berührt werden!) liessen sich Lösungen erzielen, die während des ganzen Versuches klar blieben. Nur zu Ende erschien im Erlenmeyerkolben eine Trübung — wohl durch das eingedrungene CO_2 gefälltes Karbonat.

2) Der Thermostat war nur dem zerstreuten Tageslicht ausgesetzt (33).

Durchsaugen von CO_2 -freier Luft von CO_2 befreit worden.) Frühestens nach Ablauf einer Stunde liess ich unter starkem Schütteln eine in einem Porzellan- oder Jenaglasschiffchen¹⁾ abgewogene Menge der zweiten an der Reaktion teilnehmenden Substanz mit dem Schiffchen in den Kolben fallen (Acetylglykolsäure, Dibrombernsteinsäure, Kaliumjodid), indem ich gleichzeitig einen Stopper in Gang setzte. Verfährt man so wie geschildert, dann kommen Temperaturänderungen, die beim Zusammengiessen von Lösungen mit verschiedener Konzentration leicht eintreten können, kaum in Betracht²⁾.

Acetylglykolsäure, Dibrombernsteinsäure und Kaliumjodid lösen sich genügend schnell, so dass keine Gefahr besteht, dabei die anderen Reaktionsfehler überschreitende Fehler zu begehen³⁾.

Nach passenden Zeitintervallen pipettierte ich zuerst dreimal je 25 ccm der Lösung, und zum vierten Male 20 ccm in eine Porzellanschale, die zur Stoppung der Reaktion ein gemessenes Volumen Salzsäure enthielt. Bei der Reaktion zwischen Persulfat und Jodid habe ich zur Verlangsamung der Reaktion fein zerstoßenes Eis in die Porzellanschale getan. (Das Eis war aus destilliertem Wasser durch Gefrieren gewonnen.) Gleich danach titrierte ich die überschüssige Salzsäure mit ca. 0,04 n. Bariumhydroxyd, oder das während der Reaktion gebildete Jod mit ca. 0,01 n. Natriumthiosulfatlösung⁴⁾. Alle Reaktionen sind wiederholt worden.

Die auf diese Weise erhaltenen Resultate sind in den Tabellen (4) bis (328) wiedergegeben, wo in der ersten Spalte unter t die

1) Die Reaktionsgeschwindigkeit verändert sich nicht, wenn statt eines Jenaer Glaskolbens ein solcher von gewöhnlichem Glase, oder statt des Porzellan- ein Glasschiffchen benutzt wird.

2) Die Temperatur im Kolben veränderte sich nicht infolge der Lösungs- bzw. Neutralisationswärme der hinzugefügten Substanz, wie man mit Hilfe von Temperaturmessungen vor und nach dem Zusatze feststellen konnte.

3) Das Kaliumjodid löst sich nur bei 0° und in den höchsten der benutzten Alkalimetallsalzkonzentrationen langsam. Gebraucht man aber fein zerteiltes KJ, so kann man auch diesen Fehler vermeiden. Ausserdem verläuft die Reaktion bei 0° so langsam, dass die zum Auflösen verbrauchte, ein wenig längere Zeit belanglos ist. Acetylglykolsäure und Dibrombernsteinsäure lösen sich unter allen Bedingungen schnell auf.

4) Der Titer der Natriumthiosulfatlösung wurde mit ca. 0,01 n. Jodlösung bestimmt. Die Jodlösung wurde durch Verdünnen einer ca. 0,1 n. mit As_2O_3 titrierten Jodlösung durch ausgekochtes Wasser erhalten.

Zeit in Minuten, gezählt vom Anfang der Reaktion, aufgeführt ist, in der zweiten Spalte unter $(a-x) \times$ Faktor die der Zeit entsprechende Konzentration der einen Reaktionskomponente in Mol/Liter, und in der dritten die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante vom Beginn der Reaktion bis zu der in der ersten Spalte stehenden Zeit. Über die Bedeutung der Konstanten k_1 und k_2 siehe die Bemerkung vor der Tabelle 329.

Grösstenteils findet man in einer Tabelle Angaben über 8 verschiedene Reaktionszeiten. In dem Falle, wo in einer Tabelle mehr Angaben zu finden sind, habe ich mehr als zwei Parallelversuche durchgeführt, oder aber ich bin von 200 ccm der Reaktionsflüssigkeit ausgegangen.

Die Geschwindigkeitskonstanten bei der ersten und zweiten Reaktion sind mit Hilfe der Gleichung

$$k = \frac{x}{ta(a-x)}$$

berechnet. Hier bedeutet t die Zeit in Minuten, a die Anfangskonzentration von Acetylglykolat-, Dibromsuccinat- oder Hydroxylionen, x — die Konzentration der reagierten Stoffe in Mol/Liter.

Für die dritte Reaktion lautet die benutzte Gleichung

$$k = \frac{2 \times 2,303}{t(a-2b)} \log \frac{(a-x) 2b}{(2b-x) a},$$

die für den Fall $a = 2b$ in

$$k = \frac{2}{t} \frac{x}{a(a-x)} \text{ übergeht.}$$

Hier hat t dieselbe Bedeutung wie früher, a ist die anfängliche Jodidkonzentration, b — die anfängliche Persulfatkonzentration, und x die Konzentration des reagierten Jodids, alles in Mol/Liter.

Die Temperatur¹⁾ schwankte im Thermostaten zwischen $\pm 0,02^\circ$, dessenungeachtet ist aber in den Tabellen die Temperatur bis auf $\pm 0,05^\circ$ C. genau angegeben.

Nehmen wir an, dass man bei der Reaktion zwischen Acetylglykolationen und Hydroxylionen in der Titration einen Fehler von

1) Das angewandte Thermometer war mit einem von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geprüften verglichen worden.

1,5 Tropfen, das heisst 0,045 ccm ca. 0,04 n. Bariumhydroxyd machen kann, was auf Grund der Erfahrungen nicht übertrieben zu sein scheint, dann erhält man für den prozentualen Fehler der Geschwindigkeitskonstante infolge des Titrierungsfehlers, aus der Gleichung

$$\frac{dk}{k} \% = \frac{100 \ a dx}{x(a-x)}$$

(dk ist die Änderung der Konstante infolge der Änderung von x um dx) folgende Werte:

Tabelle 1.

x	$a - x$	$\frac{dk}{k} \%$
0,00719	0,01400	$\pm 1,30$
0,01119	0,01000	$\pm 1,17$
0,01519	0,00600	$\pm 1,44$
0,01619	0,00500	$\pm 2,10$

Der letzte Wert für $\frac{dk}{k} \%$ ist für den Fall berechnet worden, wenn man 20 ccm der Lösung analysiert, die übrigen für 25 ccm.

Bei der Reaktion zwischen Dibromsuccinationen und Jodionen ist der Titrierungsfehler ebenso gross, und für $a = b = 0,01813$ hat man:

Tabelle 2.

x	$a - x$	$\frac{dk}{k} \%$
0,00513	0,01300	$\pm 1,97$
0,00813	0,01000	$\pm 1,61$
0,01113	0,00713	$\pm 1,64$
0,01313	0,00513	$\pm 2,52$

Der letzte Wert für $\frac{dk}{k} \%$ ist wiederum für den Fall berechnet, wenn 20 ccm der reagierenden Lösung analysiert werden.

Die Fehler beim Titrieren sind durch den Umstand bedingt, dass in der Nähe des Neutralisationspunktes die Farbe des Phenolphthaleins nicht sogleich scharf erscheint und danach allmählich verschwindet, so dass es ziemlich schwer fällt, den wirklichen Endpunkt der Titration zu bestimmen. Eine bis zu einer schwach rosa Farbe titrierte Lösung verblasst nach 5—10 Sekunden. Lässt man diese Lösung stehen, so braucht man nach 40 Minuten 3 Tropfen Bariumhydroxyd, um die Farbe wieder zum Vorschein

zu bringen, nach 30 Minuten — 2 Tropfen, nach 20 Minuten — 2 Tropfen, nach 10 Minuten — 1 Tropfen. Fügt man aber zu der Lösung, sogleich nachdem die Farbe verblasst ist, tropfenweise Bariumhydroxyd hinzu, so verbraucht sie im Verlaufe von 40 Minuten 6—7 Tropfen, was darauf hinweist, dass in der Gegend von P_H , wo das Phenolphthalein als Indikator wirkt, die Reaktion genügend schnell verläuft.

Berücksichtigt man die Fehler, die durch die Temperatur, durch allmähliches Eindringen von CO_2 in die Lösung, durch ungenaue Lösungen, durch den Ausfluss der Bürette, durch in unrichtigem Augenblicke vermerkte Zeit usw. bedingt sind, mit $\pm 0,4\%$, so dürften die Konstanten bei der ersten Reaktion im Mittel um nicht bedeutend über $\pm 1,5\%$, und bei der zweiten um $\pm 2,0\%$ um den Mittelwert schwanken.

Bei der Reaktion zwischen Persulfat und Jodid berechnet man für

$$\frac{dk}{k} \% = \frac{100(a-2b)}{(a-x)(2b-x)} \ln \frac{(2b-x)a}{(a-x)2b} dx,$$

und rechnet man hier mit einem Titrierungsfehler von $\pm 0,03$ ccm ca. 0,01 n. Natriumthiosulfat, so erhält man

Tabelle 3.

$(a-x) \times 2510,0$	$(b-x) \times 2510,0$	$\frac{dk}{k} \%$
58,75	27,37	$\pm 0,83$
56,75	25,37	$\pm 0,59$
54,75	23,37	$\pm 0,47$
52,75	21,37	$\pm 0,40$
50,75	19,37	$\pm 0,35$
48,75	17,37	$\pm 0,33$
50,75 *)	19,37 *)	$\pm 0,45$ *)
48,75 *)	17,37 *)	$\pm 0,42$ *)

Hieraus ist leicht zu ersehen, dass wenn man die hier angegebenen Fehlergrenzen für die Titration annimmt, der dadurch bedingte prozentuale relative Fehler der Geschwindigkeitskonstanten bei der eben behandelten Reaktion bedeutend kleiner ist, als bei den zwei ersten. Doch kommt bei der Durchführung

*) Diese zwei letzten Reihen gelten für den Fall, wenn man 20 ccm von der Lösung analysiert.

dieser Reaktion die Schwierigkeit hinzu, die durch die Verflüchtigung von Jod aus der Lösung entsteht, und bei konzentrierten Salzlösungen durch das langsame Verblässen der blauen Farbe der Jodstärke.

Der erste Fehler wird zu Ende der Reaktion bedeutender. Zu seiner Erläuterung sei gesagt, dass 25,10 ccm 0,01000 n. Jodlösung in drei Bestimmungen 26,13 ccm, 26,14 ccm, 26,12 ccm — im Mittel 26,13 ccm — ca. 0,01 m. Natriumthiosulfatlösung verbraucht hat, wobei die Jodlösung in eine Porzellanschale pipettiert und gleich titriert wurde. Ist die Thiosulfatmenge in der Schale um einige Zehntel ccm geringer, als dem zu titrierendem Jod entspricht, pipettiert man nun dieselbe Jodmenge in Thiosulfat und titriert dann mit Thiosulfat zu Ende, so findet man einen Verbrauch von 26,37 ccm, 26,39 ccm, 26,38 ccm — im Mittel 26,38 ccm — Natriumthiosulfatlösung. Der Unterschied ist ca. 1%; soviel Jod hat sich also im ersten Falle während der Titrierung verflüchtigt. Die hier angegebenen Zahlen gelten für Lösungen, die Zimmertemperatur haben: bei niederer Temperatur verdampft natürlich weniger Jod und der Unterschied zwischen den zwei Titrierungsarten ist nicht so gross. Bei Null Grad ist der Unterschied ca. 0,4%.

Ausser den eben genannten und bei den zwei ersten Reaktionen erwähnten Fehlern tritt hier noch einer hinzu, dadurch, dass die Reaktion durch die Eislösung nicht gänzlich gehemmt, sondern nur verlangsamt wird. Um diesen Fehler möglichst unbedeutend zu machen, wurden die Titrierungen schnell ausgeführt. In einer Zeitspanne von maximal 30 Sekunden, von dem Augenblicke an gerechnet, wo die Hälfte der reagierenden Lösung in die Schale geflossen war, war die Titrierung beendet.

Den Gesamtfehler, der durch die erwähnten verschiedenen Umstände bedingt ist, abzuschätzen ist nicht leicht, aber aller Wahrscheinlichkeit nach dürfte $\frac{dk}{k}$ % ein Prozent nicht bedeutend übersteigen.

3. Über die Versuchsergebnisse.

Die einzelnen Werte der in den Tabellen (4) bis (328) aufgeführten Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten weichen mitunter vom Mittelwert mehr ab, als nach der im vorigen Abschnitt ge-

benen Abschätzung der möglichen Fehler eigentlich zu erwarten wäre. Die Veränderung der Konstanten verläuft aber, abgesehen von einigen Fällen, in dem Sinne, dass man am Anfang der Reaktion dafür grössere Werte findet als am Ende — mit anderen Worten: die Geschwindigkeitskonstanten werden mit dem Fortschreiten der Reaktion kleiner.

Die Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten können berechnet werden

- a) analytisch:
 - a₁) auf die Anfangszeit
 - a₂) auf jedes Zeitintervall;
- b) graphisch:
 - b₁) auf die Anfangszeit
 - b₂) auf jedes Zeitintervall.

Den Mittelwert kann man nach allen vier Methoden berechnen.

Es ist ja einleuchtend, dass die einzelnen Konstanten, einerlei, ob auf analytischem oder graphischem Wege ermittelt, gleich sein müssten. In Wirklichkeit ist es aber ein Unterschied, ob man den Mittelwert aus analytisch oder graphisch berechneten Konstanten als arithmetisches Mittel nimmt, oder ob dieser Mittelwert graphisch durch die am besten den Versuchsergebnissen angepasste Gerade ausgedrückt wird.

Wenn der arithmetische Mittelwert aus einzelnen Konstanten gewonnen wird, so ist damit die Voraussetzung verbunden, dass die einzelnen Konstanten gleiche Genauigkeit und gleiches „Gewicht“ besitzen.

Da eine solche Annahme im allgemeinen nicht berechtigt ist, so haben Moesveld (43), Wagner (53) und Schmid (48) Gleichungen zur Berechnung des Mittelwertes der Geschwindigkeitskonstante vorgeschlagen. Von diesen Gleichungen ist die vollständigste diejenige von Schmid. Da aber die für die Berechnung der Geschwindigkeitskonstanten nach dieser Gleichung nötigen Voraussetzungen bei den von mir untersuchten Reaktionen nicht erfüllt sind, so ist von der Schmid'schen Mittelkonstantenberechnung hier Abstand genommen worden. Auch die analytische Berechnung auf jedes Zeitintervall auszuführen und das arithmetische Mittel daraus zu errechnen ist, wie Wagner und Schmid gezeigt haben, unvorteilhaft.

0,02119 m. acetylglykolsaures Natrium und
0,02119 m. Natriumhydroxyd.

Temperatur $25,00 \pm 0,05^{\circ}$ C.

Tabelle 4.

Ohne Zusätze.		
t	$a-x$	k
7,40	0,01339	3,71
7,53	1354	3,54
8,02	1328	3,51
8,18	1321	3,48
8,20	1320	3,48
8,52	1302	3,48
9,15	1263	3,50
9,15	1249	3,59
10,77	1180	3,49
14,85	1001	3,50
15,37	0,00995	3,43
16,48	954	3,50
16,77	953	3,44
17,82	919	3,46
18,15	912	3,44
19,00	889	3,44
19,13	889	3,41
20,17	858	3,44
27,92	693	3,48
27,97	692	3,48
28,78	696	3,35
29,07	676	3,47
29,77	667	3,45
30,85	651	3,45
32,97	633	3,36
34,65	608	3,39
40,80	550	3,30
41,85	535	3,34
44,77	502	3,39
44,85	500	3,41
45,18	497	3,41
45,85	493	3,32
48,43	466	3,46
49,95	453	3,48
52,13	438	3,47

$k_1=3,45$ $k_2=3,45$

Tabelle 5.

Mit 0,0500 n. NaNO_3 .		
t	$a-x$	k
7,17	0,01312	4,05
7,65	1294	3,93
7,77	1271	4,05
10,25	1156	3,83
15,90	0,00909	3,95
16,28	913	3,83
18,10	861	3,81
18,98	837	3,84
26,00	680	3,84
26,45	686	3,73
26,65	666	3,86
29,37	629	3,82
37,00	533	3,80
40,28	500	3,79
42,90	476	3,80
43,93	468	3,78

$k_1=3,86$ $k_2=3,85$

Tabelle 6.

Mit 0,250 n. NaNO_3 .		
t	$a-x$	k
5,57	0,01366	4,67
5,58	1362	4,69
5,60	1362	4,68
12,57	0,00965	4,49
13,13	935	4,55
13,35	928	4,54
23,37	655	4,51
23,62	665	4,37
24,22	650	4,40
38,42	447	4,59
38,48	447	4,59

$k_1=4,56$ $k_2=4,52$

Tabelle 7.

Mit 1,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
4,07	0,01456	5,29
9,03	1051	5,31
9,32	1030	5,35
10,40	1003	5,16
10,45	0,00995	5,20
16,40	750	5,25
16,95	731	5,18
18,43	712	5,06
18,53	706	5,10
26,77	531	5,14
27,58	518	5,13
29,45	511	5,04
31,65	485	5,02

$$k_1=5,18 \quad k_2=5,17$$

Tabelle 8.

Mit 3,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
4,75	0,01328	5,92
5,95	1217	5,88
9,07	1004	5,78
9,83	0,00957	5,83
16,23	709	5,78
17,85	664	5,79
25,47	520	5,70
29,32	466	5,71

$$k_1=5,79 \quad k_2=5,78$$

Tabelle 9.

Mit 6,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
3,37	0,01352	7,95
3,40	1348	7,93
7,12	0,00977	7,75
7,27	973	7,65
11,43	765	7,31
11,58	740	7,59
20,05	509	7,44
20,57	492	7,60

$$k_1=7,65 \quad k_2=7,63$$

Tabelle 10.

Mit 0,0500 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
8,52	0,01256	3,88
8,82	1236	3,82
17,97	0,00871	3,85
18,65	851	3,77
28,80	655	3,66
28,87	654	3,66
41,02	499	3,74
41,58	505	3,63

$$k_1=3,75 \quad k_2=3,75$$

Tabelle 11.

Mit 0,250 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
5,50	0,01372	4,67
5,88	1352	4,55
12,77	0,00953	4,52
14,72	894	4,39
21,93	695	4,41
23,72	659	4,41
33,73	511	4,40
35,75	500	4,28

$$k_1=4,45 \quad k_2=4,45$$

Tabelle 12.

Mit 1,00 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
3,98	0,01449	5,48
4,33	1405	5,53
9,97	1004	5,26
10,08	0,00998	5,26
17,88	710	5,24
18,50	685	5,34
29,13	506	5,16
31,25	480	5,16
$k_1=5,30$		$k_2=5,29$

Tabelle 15.

Mit 0,0514 n. Na_2SO_4 .

t	$a-x$	k
7,55	0,01315	3,82
7,72	1288	3,95
16,02	0,00922	3,83
16,43	908	3,83
27,70	654	3,82
27,73	654	3,82
40,90	493	3,81
42,33	476	3,85
$k_1=3,84$		$k_2=3,84$

Tabelle 13.

Mit 3,00 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
3,38	0,01449	6,45
4,20	1356	6,32
7,30	1079	6,23
8,25	1011	6,27
13,40	0,00780	6,04
15,67	707	6,01
22,93	531	6,15
24,78	509	6,02
$k_1=6,19$		$k_2=6,17$

Tabelle 16.

Mit 0,259 n. Na_2SO_4 .

t	$a-x$	k
5,83	0,01433	4,64
6,92	1265	4,61
13,28	0,00931	4,53
14,37	886	4,57
21,47	697	4,49
23,07	652	4,60
34,27	498	4,48
34,65	496	4,46
$k_1=4,55$		$k_2=4,55$

Tabelle 14.

Mit 6,00 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
3,22	0,01363	8,14
3,58	1291	8,44
6,90	0,00970	8,10
8,38	862	8,21
11,12	741	7,90
12,78	659	8,18
19,20	511	7,73
20,30	469	8,18
$k_1=8,11$		$k_2=8,10$

Tabelle 17.

Mit 1,04 n. Na_2SO_4 .

t	$a-x$	k
3,88	0,01402	6,21
3,92	1403	6,15
9,00	0,00993	5,95
11,32	870	5,99
18,25	647	5,88
18,33	648	5,84
29,68	456	5,80
32,52	420	5,87
$k_1=5,96$		$k_2=5,95$

Tabelle 18.

Mit 3,00 n. Na₂SO₄.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
3,53	0,01230	9,66
5,08	1032	9,78
6,57	0,00913	9,49
8,53	779	9,51
10,53	683	9,43
12,42	606	9,49
18,28	451	9,55
19,80	420	9,58
$k_1=9,56$	$k_2=9,53$	

Tabelle 21.

Mit 1,00 n. KCl.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
3,70	0,01473	5,59
4,28	1402	5,63
9,37	1014	5,50
9,75	1000	5,42
17,72	0,00699	5,42
18,20	689	5,46
28,70	499	5,34
30,10	478	5,38
$k_1=5,47$	$k_2=5,46$	

Tabelle 19.

Mit 0,0500 n. KCl.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
7,28	0,01314	3,97
7,42	1312	3,91
16,53	0,00907	3,82
17,00	893	3,81
26,12	678	3,84
27,00	654	3,91
38,08	521	3,80
38,43	514	3,83
$k_1=3,86$	$k_2=3,85$	

Tabelle 22.

Mit 3,00 n. KCl.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
3,93	0,01350	6,83
4,33	1301	6,85
7,90	1000	6,69
8,52	0,00969	6,71
14,18	716	6,52
14,70	692	6,62
23,73	485	6,70
23,98	485	6,63
$k_1=6,69$	$k_2=6,67$	

Tabelle 20.

Mit 0,250 n. KCl.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
5,78	0,01354	4,61
6,23	1331	4,48
13,60	0,00926	4,48
23,28	663	4,45
23,80	661	4,37
35,38	487	4,47
36,07	478	4,45
$k_1=4,47$	$k_2=4,46$	

Tabelle 23.

Mit 0,0500 n. KNO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
6,15	0,01411	3,85
6,63	1366	3,92
7,80	1301	3,80
15,63	0,00943	3,76
16,13	920	3,81
26,03	696	3,71
26,63	676	3,78
40,63	512	3,65
40,97	519	3,55
$k_1=3,76$	$k_2=3,76$	

Tabelle 24.

Mit 0,250 n. KNO_3 .

t	$a-x$	k
5,55	0,01388	4,48
6,43	1317	4,47
12,92	0,00962	4,39
13,72	932	4,38
22,28	693	4,36
23,60	662	4,40
34,05	511	4,36
35,37	492	4,41
$k_1=4,41$		$k_2=4,40$

Tabelle 25.

Mit 1,00 n. KNO_3 .

t	$a-x$	k
3,98	0,01473	5,20
3,98	1472	5,21
9,58	1060	4,92
9,63	1055	4,94
17,97	0,00735	4,95
18,12	731	4,95
30,68	507	4,89
30,70	502	4,95
$k_1=5,00$		$k_2=4,98$

Tabelle 26.

Mit 2,50 n. KNO_3 .

t	$a-x$	k
3,55	0,01479	5,75
4,73	1343	5,76
8,67	1047	5,57
10,82	0,00930	5,58
15,97	738	5,53
18,07	678	5,55
28,00	495	5,53
30,03	469	5,53
$k_1=5,60$		$k_2=5,59$

Tabelle 27.

Mit 0,0500 n. K_2SO_4 .

t	$a-x$	k
6,83	0,01350	3,93
7,65	1290	3,97
15,25	0,00946	3,84
16,10	920	3,82
26,68	676	3,78
28,00	646	3,85
40,32	492	3,87
41,25	488	3,82
$k_1=3,86$		$k_2=3,85$

Tabelle 28.

Mit 0,250 n. K_2SO_4 .

t	$a-x$	k
5,55	0,01356	4,78
7,37	1218	4,74
13,80	0,00903	4,60
15,25	851	4,61
21,92	677	4,60
23,88	633	4,64
35,28	490	4,45
36,50	467	4,57
$k_1=4,63$		$k_2=4,62$

Tabelle 29.

Mit 1,00 n. K_2SO_4 .

t	$a-x$	k
4,22	0,01363	6,21
4,77	1300	5,96
6,23	1170	6,14
9,65	0,00952	6,00
9,77	946	5,99
11,93	845	5,96
17,52	663	5,92
17,53	666	5,87
18,70	634	5,91
27,92	488	5,65
30,15	452	5,77
31,90	437	5,72
$k_1=5,93$		$k_2=5,93$

Tabelle 30.

Mit 0,0404 n. LiCl.

t	$a-x$	k
6,12	0,01403	3,44
6,65	1361	3,95
14,52	0,00978	3,79
14,78	958	3,87
26,03	678	3,85
26,27	678	3,82
40,03	505	3,77
40,98	497	3,76
$k_1=3,84$		$k_2=3,84$

Tabelle 33.

Mit 0,998 n. LiNO₃.

t	$a-x$	k
4,25	0,01416	5,64
5,45	1289	5,58
9,57	1020	5,32
10,45	0,00980	5,25
18,37	708	5,12
18,52	703	5,13
30,85	494	5,04
31,90	485	4,99
$k_1=5,26$		$k_2=5,24$

Tabelle 31.

Mit 0,204 n. LiCl.

t	$a-x$	k
5,75	0,01351	4,67
6,23	1310	4,67
13,08	0,00938	4,54
13,45	923	4,55
21,17	703	4,49
21,80	693	4,45
33,65	502	4,52
34,05	505	4,43
$k_1=4,54$		$k_2=4,53$

Tabelle 34.

Mit 0,0395 n. Li₂SO₄.

t	$a-x$	k
6,15	0,01396	3,98
6,83	1343	3,99
16,17	0,00911	3,87
16,72	888	3,82
26,00	686	3,79
26,02	673	3,90
38,88	512	3,81
39,72	495	3,90
$k_1=3,88$		$k_2=3,87$

Tabelle 32.

Mit 1,02 n. LiCl.

t	$a-x$	k
4,10	0,01419	5,68
4,20	1419	5,54
9,50	1030	5,25
9,85	1000	5,36
17,90	0,00705	5,29
18,77	686	5,38
29,15	512	5,08
31,37	502	4,85
$k_1=5,30$		$k_2=5,31$

Tabelle 35.

Mit 0,199 n. Li₂SO₄.

t	$a-x$	k
5,97	0,01303	4,73
11,40	1000	4,63
14,37	0,00881	4,62
14,73	880	4,51
23,10	658	4,53
23,42	650	4,55
34,75	492	4,49
35,50	475	4,60
$k_1=4,58$		$k_2=4,57$

Tabelle 36.

Mit 0,991 n. Li_2SO_4 .

t	$a-x$	k
4,42	0,01300	6,73
4,80	1275	6,51
8,72	0,00972	6,39
8,77	979	6,27
16,23	676	6,21
16,53	673	6,13
27,28	466	6,13
27,30	478	5,93
$k_1=6,29$		$k_2=6,28$

Tabelle 39.

Mit 0,990 n. BaCl_2 .

t	$a-x$	k
3,40	0,01378	7,46
4,20	1282	7,34
7,65	0,00971	7,29
7,93	947	7,36
13,17	700	7,27
13,83	674	7,31
22,35	474	7,33
$k_1=7,34$		$k_2=7,33$

Tabelle 37.

Mit 0,0492 n. BaCl_2 .

t	$a-x$	k
5,43	0,01361	4,84
5,97	1326	4,73
12,27	0,00945	4,78
12,93	923	4,73
19,45	715	4,77
19,93	702	4,78
28,13	549	4,80
29,18	533	4,81
$k_1=4,78$		$k_2=4,78$

Tabelle 40.

Mit 2,41 n. BaCl_2 .

t	$a-x$	k
3,02	0,01315	9,56
3,28	1276	9,50
6,15	0,00952	9,42
6,33	937	9,40
10,50	688	9,37
11,15	658	9,40
18,82	443	9,49
19,52	433	9,42
$k_1=9,45$		$k_2=9,43$

Tabelle 38.

Mit 0,248 n. BaCl_2 .

t	$a-x$	k
3,98	0,01392	6,19
4,90	1303	6,13
9,33	0,00953	6,19
10,22	911	6,12
16,58	668	6,19
17,75	634	6,23
26,43	480	6,10
27,13	462	6,24
$k_1=6,18$		$k_2=6,18$

Tabelle 41.

Mit 0,0497 n. $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
5,97	0,01338	4,62
6,27	1323	4,53
12,52	0,00963	4,53
12,57	953	4,60
20,65	705	4,58
30,52	535	4,58
31,07	526	4,60
$k_1=4,57$		$k_2=4,57$

Tabelle 42.

Mit 0,251 n. Ba(NO₃)₂.

t	$a-x$	k
4,98	0,01325	5,67
6,18	1222	5,60
11,72	0,00885	5,62
12,52	850	5,63
18,90	645	5,71
20,00	625	5,64
28,42	480	5,67
28,73	480	5,61
$k_1=5,64$	$k_2=5,65$	

Tabelle 45.

Mit 0,248 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
4,18	0,01355	6,37
5,10	1258	6,33
9,72	0,00924	6,28
10,68	873	6,31
16,65	658	6,29
18,72	598	6,41
26,48	458	6,46
27,35	455	6,31
$k_1=6,34$	$k_2=6,34$	

Tabelle 43.

Mit 0,750 n. Ba(NO₃)₂.

t	$a-x$	k
4,05	0,01361	6,49
4,87	1278	6,38
9,53	0,00934	6,28
9,55	931	6,31
15,90	676	6,33
16,40	668	6,25
25,65	474	6,39
28,33	432	6,50
$k_1=6,34$	$k_2=6,33$	

Tabelle 46.

Mit 0,989 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
2,93	0,01426	7,83
3,35	1366	7,77
6,87	1006	7,60
7,62	0,00952	7,59
12,47	700	7,67
12,83	687	7,67
17,30	558	7,63
19,00	518	7,68
$k_1=7,68$	$k_2=7,66$	

Tabelle 44.

Mit 0,0492 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
4,90	0,01421	4,93
5,25	1376	4,86
11,32	0,00981	4,84
11,83	963	4,79
19,03	708	4,94
19,92	692	4,89
30,10	515	4,88
31,20	500	4,90
$k_1=4,88$	$k_2=4,87$	

Tabelle 47.

Mit 2,96 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
2,72	0,01298	11,0
3,05	1234	11,1
5,62	0,00913	11,1
6,05	887	10,8
8,85	687	11,1
9,65	656	10,9
12,55	537	11,1
13,05	512	11,3
$k_1=11,1$	$k_2=11,0$	

Tabelle 48.

Mit 0,0502 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
4,25	0,01340	6,45
4,78	1287	6,38
9,63	0,00928	6,29
10,25	900	6,24
16,37	671	6,22
17,15	644	6,29
25,30	480	6,37
25,73	475	6,34
$k_1=6,32$		$k_2=6,30$

Tabelle 50.

Mit 1,01 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
2,53	0,01298	11,8
2,57	1286	11,9
5,10	0,00945	11,5
5,23	924	11,7
7,82	726	11,6
8,77	674	11,5
12,30	526	11,6
12,53	512	11,8
$k_1=11,7$		$k_2=11,6$

Tabelle 49.

Mit 0,253 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
4,03	0,01176	9,39
4,68	1108	9,20
8,82	0,00782	9,15
9,75	735	9,11
14,62	545	9,32
15,85	521	9,13
21,58	407	9,20
22,22	396	9,25
$k_1=9,21$		$k_2=9,19$

Tabelle 51.

Mit 3,03 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
2,27	0,01200	15,9
2,42	1192	15,2
4,57	0,00835	15,9
4,77	830	15,3
6,92	645	15,6
7,37	632	15,1
9,70	509	15,4
10,27	490	15,3
$k_1=15,5$		$k_2=15,5$

Temperatur $15,00 \pm 0,05^\circ \text{C}$.

Tabelle 52.

Ohne Zusätze.

t	$a-x$	k
10,13	0,01532	1,78
11,28	1495	1,75
12,23	1465	1,73
13,72	1403	1,75
24,58	1124	1,70
25,83	1103	1,68
27,25	1071	1,70
29,00	1040	1,69
53,38	0,00732	1,68
54,42	731	1,65
55,22	721	1,66
56,92	702	1,67
77,68	555	1,71
78,15	561	1,68
79,07	563	1,65
80,12	549	1,69
$k_1=1,70$		$k_2=1,69$

Tabelle 53.

Mit 0,0499 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
8,35	0,01571	1,72
9,68	1524	1,90
21,27	1148	1,88
22,43	1123	1,87
40,10	0,00819	1,87
41,08	816	1,83
62,93	608	1,87
63,90	608	1,84
$k_1=1,88$		$k_2=1,87$

Tabelle 56.

Mit 3,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
8,23	0,01419	2,83
9,78	1339	2,81
18,65	1005	2,80
22,22	0,00930	2,71
31,87	745	2,73
37,38	665	2,76
47,12	571	2,71
49,57	541	2,78
$k_1=2,77$		$k_2=2,76$

Tabelle 54.

Mit 0,251 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
10,42	0,01437	2,15
11,67	1371	2,17
21,50	1071	2,15
22,73	1043	2,14
40,03	0,00753	2,14
41,27	745	2,11
62,10	561	2,11
63,50	553	2,10
$k_1=2,13$		$k_2=2,13$

Tabelle 57.

Mit 6,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
5,13	0,01522	3,61
6,73	1400	3,60
15,27	0,00990	3,53
16,93	937	3,51
27,55	697	3,50
29,37	666	3,51
36,93	557	3,58
42,38	508	3,53
$k_1=3,55$		$k_2=3,54$

Tabelle 55.

Mit 1,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
10,82	0,01347	2,47
20,40	1031	2,44
21,88	0,00992	2,45
33,25	785	2,41
35,13	755	2,43
55,18	557	2,40
56,77	535	2,46
$k_1=2,44$		$k_2=2,43$

Tabelle 58.

Mit 0,0499 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
10,53	0,01492	1,88
10,95	1463	1,93
23,55	1097	1,87
24,25	1076	1,90
42,03	0,00808	1,82
42,73	794	1,84
65,05	598	1,85
68,00	590	1,80
$k_1=1,85$		$k_2=1,85$

Tabelle 59.

Mit 0,251 n. NaClO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
7,80	0,01547	2,24
8,98	1493	2,20
18,58	1143	2,17
19,67	1116	2,16
37,42	0,00779	2,17
38,53	779	2,11
59,48	575	2,13
60,63	571	2,11
<i>k</i> ₁ =2,16		<i>k</i> ₂ =2,16

Tabelle 62.

Mit 6,00 n. NaClO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
5,35	0,01487	3,75
6,72	1382	3,74
15,43	0,00961	3,69
16,80	920	3,66
26,02	705	3,64
27,67	674	3,66
36,72	545	3,71
37,93	541	3,63
<i>k</i> ₁ =3,69		<i>k</i> ₂ =3,68

Tabelle 60.

Mit 1,00 n. NaClO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
6,43	0,01571	2,56
8,02	1474	2,57
17,52	1103	2,48
18,77	1058	2,52
30,40	0,00810	2,51
31,53	795	2,53
52,08	567	2,48
53,28	551	2,52
<i>k</i> ₁ =2,52		<i>k</i> ₂ =2,52

Tabelle 63.

Mit 0,0499 n. KCl.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
10,92	0,01477	1,88
11,97	1432	1,89
23,95	1093	1,85
24,85	1069	1,86
42,55	0,00802	1,82
43,43	782	1,86
68,47	579	1,83
69,07	573	1,84
<i>k</i> ₁ =1,85		<i>k</i> ₂ =1,85

Tabelle 61.

Mit 3,00 n. NaClO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
6,58	0,01491	3,02
6,60	1494	3,00
14,38	1129	2,87
20,25	0,00948	2,88
28,18	780	2,87
29,83	752	2,89
43,22	585	2,86
43,37	586	2,85
<i>k</i> ₁ =2,91		<i>k</i> ₂ =2,90

Tabelle 64.

Mit 0,251 n. KCl.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
10,17	0,01432	2,23
11,60	1363	2,26
22,32	1042	2,19
23,82	1005	2,20
40,07	0,00755	2,13
41,43	724	2,19
63,57	549	2,12
65,02	533	2,16
<i>k</i> ₁ =2,17		<i>k</i> ₂ =2,17

Tabelle 65.

Mit 1,00 n. KCl.

t	$a-x$	k
8,53	0,01437	2,63
9,85	1371	2,61
19,30	1027	2,60
20,67	1002	2,55
32,03	0,00782	2,52
33,65	758	2,52
54,27	553	2,46
56,23	528	2,53
$k_1=2,55$		$k_2=2,55$

Tabelle 68.

Mit 0,250 n. LiNO₃.

t	$a-x$	k
7,55	0,01543	2,33
8,93	1471	2,33
19,93	1092	2,23
21,15	1061	2,22
37,70	0,00784	2,13
38,93	750	2,21
61,17	561	2,14
62,55	543	2,19
$k_1=2,21$		$k_2=2,21$

Tabelle 66.

Mit 3,00 n. KCl.

t	$a-x$	k
5,65	0,01525	3,25
15,08	1061	3,12
15,17	1058	3,12
26,00	0,00790	3,05
27,37	763	3,06
42,52	555	3,11
44,97	533	3,15
$k_1=3,11$		$k_2=3,10$

Tabelle 69.

Mit 0,998 n. LiNO₃.

t	$a-x$	k
6,25	0,01586	2,54
7,23	1532	2,50
16,70	1131	2,47
17,93	1092	2,48
29,07	0,00847	2,44
30,42	829	2,41
43,22	669	2,37
52,42	588	2,35
$k_1=2,45$		$k_2=2,45$

Tabelle 67.

Mit 0,0497 n. LiNO₃.

t	$a-x$	k
8,38	0,01565	1,99
9,68	1518	1,93
21,98	1129	1,88
22,93	1103	1,90
40,62	0,00810	1,88
41,58	803	1,86
66,75	584	1,86
67,57	575	1,87
$k_1=1,90$		$k_2=1,89$

Tabelle 70.

Mit 0,0492 n. BaCl₂.

t	$a-x$	k
9,18	0,01469	2,27
9,83	1429	2,32
21,07	1054	2,26
21,88	1035	2,26
34,15	0,00800	2,28
34,98	789	2,28
55,93	560	2,35
56,70	556	2,34
$k_1=2,30$		$k_2=2,29$

Tabelle 71.

Mit 0,248 n. BaCl₂.

t	$a-x$	k
6,23	0,01527	2,94
7,42	1453	2,98
16,67	1064	2,81
17,88	1027	2,80
27,87	0,00796	2,82
29,42	781	2,75
39,97	600	2,99
41,33	589	2,97
$k_1=2,86$	$k_2=2,84$	

Tabelle 74.

Mit 0,0492 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
10,35	0,01411	2,29
11,07	1368	2,34
22,37	1021	2,34
23,20	0,00998	2,28
35,67	776	2,29
36,52	760	2,31
57,55	550	2,34
58,28	540	2,37
$k_1=2,32$	$k_2=2,32$	

Tabelle 72.

Mit 0,990 n. BaCl₂.

t	$a-x$	k
6,17	0,01461	3,44
6,83	1418	3,42
15,65	1006	3,34
16,93	0,00968	3,32
27,87	708	3,37
29,03	687	3,39
36,83	583	3,38
37,83	561	3,47
$k_1=3,38$	$k_2=3,36$	

Tabelle 75.

Mit 0,248 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
8,75	0,01381	2,88
10,35	1289	2,94
19,35	0,00966	2,91
21,17	916	2,93
31,03	728	2,91
32,78	695	2,95
42,95	578	2,93
44,40	558	2,97
$k_1=2,93$	$k_2=2,93$	

Tabelle 73.

Mit 2,50 n. BaCl₂.

t	$a-x$	k
5,17	0,01437	4,33
5,80	1381	4,35
12,52	0,00995	4,26
13,20	971	4,23
22,43	708	4,19
23,53	684	4,21
39,08	468	4,26
39,35	463	4,29
$k_1=4,27$	$k_2=4,25$	

Tabelle 76.

Mit 0,989 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
5,08	0,01540	3,50
5,80	1483	3,49
17,92	0,00919	3,44
18,67	905	3,49
24,57	757	3,46
25,48	737	3,47
39,48	540	3,50
40,15	530	3,52
$k_1=3,48$	$k_2=3,48$	

Tabelle 77.

Mit 2,96 n. SrCl_2 .

t	$a-x$	k
3,40	0,01558	5,00
5,30	1374	4,76
9,13	1105	4,74
11,17	0,00998	4,75
15,28	835	4,75
17,55	766	4,75
23,10	630	4,83
24,88	598	4,83
$k_1=4,80$	$k_2=4,78$	

Tabelle 80.

Mit 1,03 n. CaCl_2 .

t	$a-x$	k
4,15	0,01414	5,67
5,53	1281	5,58
9,35	1005	5,59
11,37	0,00914	5,47
16,60	729	5,42
18,23	680	5,48
25,62	537	5,43
27,18	518	5,36
$k_1=5,50$	$k_2=5,50$	

Tabelle 78.

Mit 0,0512 n. CaCl_2 .

t	$a-x$	k
8,22	0,01402	2,94
9,53	1337	2,90
18,70	0,00989	2,88
20,10	960	2,84
29,52	761	2,85
30,93	747	2,81
43,48	579	2,88
44,95	571	2,85
$k_1=2,87$	$k_2=2,86$	

Tabelle 81.

Mit 2,97 n. CaCl_2 .

t	$a-x$	k
3,65	0,01304	8,08
4,85	1161	8,03
8,40	0,00887	7,80
9,72	815	7,70
13,32	656	7,90
15,28	605	7,73
18,93	510	7,87
20,37	498	7,54
$k_1=7,84$	$k_2=7,83$	

Tabelle 79.

Mit 0,258 n. CaCl_2 .

t	$a-x$	k
4,22	0,01530	4,32
5,75	1385	4,35
9,68	1140	4,19
11,50	1050	4,18
18,03	0,00819	4,15
19,63	777	4,15
31,48	557	4,20
32,97	553	4,05
$k_1=4,20$	$k_2=4,19$	

Tabelle 82.

Mit 5,96 n. CaCl_2 .

t	$a-x$	k
3,58	0,01047	13,5
3,65	1024	13,0
3,85	0,00803	13,2
8,32	642	13,1
8,55	624	13,3
11,50	481	14,0
11,70	469	14,2
$k_1=13,6$	$k_2=13,5$	

Tabelle 83.

Mit 0,0502 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
8,02	0,01421	2,89
9,37	1345	2,90
18,63	1005	2,81
26,25	0,00834	2,77
30,13	766	2,77
37,90	660	2,76
41,85	618	2,74
46,97	553	2,85
$k_1=2,81$		$k_2=2,80$

Tabelle 85.

Mit 1,01 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
4,07	0,01447	5,39
5,12	1343	5,33
9,32	1047	5,18
10,78	0,00969	5,19
17,68	721	5,18
19,35	684	5,12
28,37	512	5,20
29,70	504	5,02
$k_1=5,20$		$k_2=5,19$

Tabelle 84.

Mit 0,253 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
5,33	0,01443	4,15
6,60	1343	4,13
15,05	0,00931	4,00
16,72	869	4,06
23,77	703	4,00
25,55	661	4,07
35,10	522	4,11
36,98	499	4,14
$k_1=4,08$		$k_2=4,07$

Tabelle 86.

Mit 3,02 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
3,23	0,01435	6,97
4,62	1270	6,83
8,05	0,00979	6,83
9,53	898	6,73
13,12	742	6,68
14,87	679	6,73
19,48	559	6,76
21,40	526	6,67
$k_1=6,78$		$k_2=6,76$

Temperatur $0,00 \pm 0,05^\circ \text{C}$.

Tabelle 87.

Ohne Zusätze.

t	$a-x$	k	t	$a-x$	k
			60,50	0,01279	0,512
			97,57	1044	498
			102,6	1011	504
22,90	0,01687	0,528	103,1	1002	502
24,50	1664	527	104,5	0,00998	507
31,68	1570	521	148,0	819	506
32,80	1553	522	148,8	811	510
56,10	1309	521	161,6	772	510
58,22	1291	520	162,9	772	506
58,88	1286	519	$k_1=0,513$		$k_2=0,512$

Tabelle 88.

Mit 0,0499 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
16,67	0,01756	0,585
18,50	1727	584
52,47	1302	564
56,02	1266	567
98,65	0,00984	552
100,3	974	553
147,0	781	547
149,5	781	541
$k_1=0,562$	$k_2=0,561$	

Tabelle 91.

Mit 3,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
24,28	0,01499	0,804
25,65	1476	802
52,88	1131	780
53,95	1124	774
81,62	0,00911	767
82,20	901	770
115,3	748	761
115,9	732	772
$k_1=0,779$	$k_2=0,777$	

Tabelle 89.

Mit 0,251 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
35,50	0,01418	0,657
36,43	1401	664
66,65	1110	644
73,80	1047	655
101,8	0,00887	644
102,8	880	646
138,8	728	650
139,9	728	645
$k_1=0,651$	$k_2=0,650$	

Tabelle 92.

Mit 6,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
16,28	0,01570	1,014
17,75	1537	1,007
43,47	1107	0,993
44,30	1100	987
69,57	0,00868	978
70,88	855	985
100,5	685	983
102,0	672	995
$k_1=0,995$	$k_2=0,990$	

Tabelle 90.

Mit 1,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
31,05	0,01439	0,718
31,70	1427	722
61,93	1100	706
62,57	1096	703
95,18	0,00882	695
95,93	877	696
125,5	732	713
126,5	732	707
$k_1=0,708$	$k_2=0,705$	

Tabelle 93.

Mit 0,0499 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
11,67	0,01857	0,571
12,93	1830	576
47,83	1343	570
50,08	1325	565
94,75	1015	542
96,78	1002	544
144,3	0,00779	563
145,9	780	550
$k_1=0,560$	$k_2=0,559$	

Tabelle 94.

Mit 0,251 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
37,02	0,01394	0,663
38,20	1386	653
66,45	1111	644
72,70	1061	647
104,2	0,00877	641
105,5	866	647
141,7	722	645
142,8	715	649
$k_1=0,649$		$k_2=0,647$

Tabelle 97.

Mit 5,00 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
19,00	0,01537	0,940
20,02	1512	947
45,82	1111	934
47,07	1097	934
72,62	0,00874	926
74,73	855	934
103,6	705	914
104,8	689	935
$k_1=0,933$		$k_2=0,933$

Tabelle 95.

Mit 1,00 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
19,53	0,01617	0,751
20,52	1603	740
43,87	1261	731
47,80	1242	727
92,55	0,00872	729
94,37	863	728
129,3	705	732
130,7	697	737
$k_1=0,733$		$k_2=0,732$

Tabelle 98.

Mit 0,0499 n. KCl .

t	$a-x$	k
47,17	0,01352	0,568
47,93	1338	575
72,52	1137	562
73,52	1123	569
105,9	0,00932	568
106,9	932	562
158,7	730	566
159,5	728	566
$k_1=0,567$		$k_2=0,566$

Tabelle 96.

Mit 3,00 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
21,27	0,01535	0,845
23,08	1502	840
49,23	1142	820
50,98	1119	827
78,68	0,00900	812
80,80	885	815
112,9	715	821
114,4	711	817
$k_1=0,825$		$k_2=0,823$

Tabelle 99.

Mit 0,251 n. KCl .

t	$a-x$	k
32,27	0,01460	0,660
33,12	1448	660
63,22	1132	651
65,20	1121	644
96,88	0,00910	647
98,12	903	648
136,8	746	635
137,6	738	642
$k_1=0,648$		$k_2=0,648$

Tabelle 100.

Mit 1,00 n. KCl.

t	$a-x$	k
15,33	0,01708	0,741
16,72	1678	742
38,87	1320	735
41,08	1286	745
88,50	0,00897	727
90,82	877	735
125,7	717	735
126,9	717	728
$k_1=0,736$		$k_2=0,736$

Tabelle 103.

Mit 0,250 n. LiNO₃.

t	$a-x$	k
31,18	0,01462	0,680
35,70	1397	683
55,85	1178	675
60,50	1147	661
87,83	0,00952	659
92,62	931	651
137,8	724	660
143,3	709	655
$k_1=0,666$		$k_2=0,664$

Tabelle 101.

Mit 3,00 n. KCl.

t	$a-x$	k
28,53	0,01394	0,860
30,27	1365	861
52,23	1092	850
53,65	1081	845
78,80	0,00885	835
80,40	871	841
110,4	711	846
112,1	707	841
$k_1=0,848$		$k_2=0,846$

Tabelle 104.

Mit 0,998 n. LiNO₃.

t	$a-x$	k
21,37	0,01585	0,744
26,17	1504	738
45,90	1239	730
51,18	1191	719
76,68	0,00978	718
81,92	955	702
112,5	783	716
121,7	752	705
$k_1=0,722$		$k_2=0,720$

* Tabelle 102.

Mit 0,0497 n. LiNO₃.

t	$a-x$	k
48,70	0,01333	0,571
49,35	1326	574
75,85	1116	559
76,46	1105	566
107,6	0,00935	555
108,5	922	564
160,4	736	553
160,9	730	559
$k_1=0,563$		$k_2=0,560$

Tabelle 105.

Mit 0,0492 n. BaCl₂.

t	$a-x$	k
32,60	0,01432	0,695
33,83	1417	691
59,42	1132	692
60,27	1132	683
86,80	0,00939	683
88,38	929	684
129,6	732	691
130,6	730	688
$k_1=0,688$		$k_2=0,687$

Tabelle 106.

Mit 0,248 n. BaCl₂.

t	$a-x$	k
21,95	0,01530	0,828
23,67	1490	842
44,80	1173	850
46,88	1160	832
73,72	0,00918	838
75,32	921	815
113,4	748	836
114,7	746	830
$k_1=0,834$	$k_2=0,834$	

Tabelle 109.

Mit 0,0492 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
29,35	0,01472	0,707
30,75	1457	697
56,22	1166	686
57,35	1150	693
84,23	0,00955	683
85,25	950	681
127,1	732	704
128,1	730	701
$k_1=0,695$	$k_2=0,691$	

Tabelle 107.

Mit 1,00 n. BaCl₂.

t	$a-x$	k
15,90	0,01605	0,951
18,05	1560	937
36,20	1237	928
38,25	1204	937
55,35	1011	956
61,23	0,00963	925
93,62	734	951
95,12	726	952
$k_1=0,942$	$k_2=0,940$	

Tabelle 110.

Mit 0,248 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
18,83	0,01577	0,861
20,32	1543	854
41,03	1221	846
42,72	1199	848
70,18	0,00934	853
71,70	918	861
100,1	746	868
101,4	738	871
$k_1=0,858$	$k_2=0,856$	

Tabelle 108.

Mit 2,50 n. BaCl₂.

t	$a-x$	k
16,02	0,01514	1,18
17,22	1489	1,16
32,90	1187	1,13
33,83	1171	1,13
56,98	0,00895	1,13
57,95	893	1,12
78,72	738	1,12
80,38	724	1,13
$k_1=1,14$	$k_2=1,13$	

Tabelle 111.

Mit 0,960 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
16,83	0,01566	0,990
18,62	1533	969
36,48	1213	966
38,33	1192	957
57,98	0,00974	957
60,25	956	953
86,97	759	975
89,18	749	968
$k_1=0,967$	$k_2=0,964$	

Tabelle 112.

Mit 2,90 n. SrCl₂.

t	$a-x$	k
11,30	0,01640	1,22
14,73	1530	1,23
29,10	1216	1,20
29,92	1194	1,22
49,68	0,00950	1,17
50,78	922	1,21
76,53	707	1,23
77,45	701	1,23
$k_1=1,22$		$k_2=1,21$

Tabelle 115.

Mit 1,03 n. CaCl₂.

t	$a-x$	k
9,80	0,01600	1,56
11,50	1535	1,56
25,52	1158	1,53
26,70	1147	1,50
37,37	0,00974	1,48
44,82	885	1,46
70,62	642	1,54
72,18	636	1,53
$k_1=1,52$		$k_2=1,51$

Tabelle 113.

Mit 0,0512 n. CaCl₂.

t	$a-x$	k
24,83	0,01481	0,818
25,70	1469	813
50,83	1134	806
52,00	1116	815
77,28	0,00910	812
78,33	898	819
111,2	738	794
112,2	736	790
$k_1=0,808$		$k_2=0,810$

Tabelle 116.

Mit 2,97 n. CaCl₂.

t	$a-x$	k
7,77	0,01559	2,18
8,40	1530	2,16
16,47	1205	2,17
17,32	1191	2,12
29,03	0,00910	2,16
29,90	906	2,11
49,23	650	2,17
50,03	634	2,21
$k_1=2,16$		$k_2=2,15$

Tabelle 114.

Mit 0,258 n. CaCl₂.

t	$a-x$	k
11,68	0,01630	1,21
15,05	1536	1,19
33,42	1157	1,17
35,45	1126	1,17
57,47	0,00898	1,12
58,92	876	1,14
85,88	676	1,17
87,30	684	1,13
$k_1=1,16$		$k_2=1,16$

Tabelle 117.

Mit 5,96 n. CaCl₂.

t	$a-x$	k
6,93	0,01320	4,22
7,22	1291	4,20
12,23	1011	4,23
12,95	1005	4,04
18,10	0,00829	4,06
20,08	790	3,95
24,43	691	3,99
26,30	672	3,86
$k_1=4,07$		$k_2=4,07$

Tabelle 118.

Mit 0,0502 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
26,67	0,01457	0,804
28,15	1431	806
53,23	1115	798
54,22	1103	802
79,75	0,00907	790
80,78	892	804
113,7	738	778
114,5	736	775

$$k_1=0,795 \quad k_2=0,796$$

Tabelle 120.

Mit 1,01 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
12,57	0,01522	1,47
14,02	1483	1,44
30,27	1108	1,42
31,48	1097	1,40
48,58	0,00868	1,40
49,93	863	1,38
74,27	676	1,36
75,68	662	1,37

$$k_1=1,41 \quad k_2=1,40$$

Tabelle 119.

Mit 0,253 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
16,43	0,01517	1,14
18,08	1478	1,13
36,98	1126	1,13
38,47	1105	1,12
60,52	0,00871	1,12
62,78	856	1,11
88,97	695	1,09
90,48	684	1,09

$$k_1=1,12 \quad k_2=1,12$$

Tabelle 121.

Mit 3,02 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$a-x$	k
9,00	0,01574	1,82
9,93	1525	1,85
18,42	1241	1,81
19,30	1207	1,85
31,10	0,00978	1,77
36,30	890	1,79
55,27	695	1,75
56,10	684	1,76

$$k_1=1,80 \quad k_2=1,80$$

**0,01813 m. Dibrombernsteinsaures Natrium und
0,01813 m. Natriumhydroxyd.**

Temperatur $25,00 \pm 0,05^\circ \text{C}$.

Tabelle 122.

Ohne Zusätze.

t	$a-x$	k	t	$a-x$	k
6,35	0,01505	1,78	28,93	0,00965	1,68
6,45	1500	1,78	30,80	931	1,70
6,98	1480	1,78	32,18	917	1,68
13,07	1279	1,77	32,20	917	1,68
14,02	1258	1,78	35,78	878	1,64
14,67	1240	1,74	37,35	865	1,62
14,83	1236	1,74	62,60	637	1,63
16,97	1188	1,71	64,42	624	1,63
18,52	1155	1,69	65,07	620	1,63
			68,18	603	1,62
			68,38	599	1,64

$$k_1=1,70 \quad k_2=1,70$$

Tabelle 123.

Mit 0,0500 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
5,45	0,01486	2,23
5,63	1476	2,24
13,10	1200	2,15
13,20	1210	2,08
24,38	0,00949	2,06
24,53	952	2,03
53,58	618	1,99
53,92	622	1,97
$k_1=2,10$		$k_2=2,09$

Tabelle 126.

Mit 2,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
4,32	0,01150	7,56
4,87	1092	7,48
9,62	0,00786	7,50
9,98	776	7,39
14,95	602	7,42
15,77	584	7,37
20,10	462	7,31
22,48	457	7,29
$k_1=7,39$		$k_2=7,40$

Tabelle 124.

Mit 0,250 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
6,27	0,01343	3,08
6,32	1339	3,09
12,23	1081	3,05
12,35	1081	3,03
20,45	0,00866	2,95
20,57	858	2,99
37,37	612	2,90
37,77	613	2,86
$k_1=3,00$		$k_2=3,00$

Tabelle 127.

Mit 4,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
2,27	0,01191	12,7
2,62	1140	12,4
4,78	0,00879	12,3
5,27	827	12,5
7,30	681	12,6
7,88	648	12,6
10,22	559	12,1
10,72	528	12,5
$k_1=12,5$		$k_2=12,5$

Tabelle 125.

Mit 1,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
3,53	0,01360	5,23
4,58	1262	5,26
8,38	1018	5,14
9,70	0,00956	5,10
14,35	784	5,05
15,70	739	5,11
24,28	572	4,93
25,92	547	4,93
$k_1=5,09$		$k_2=5,10$

Tabelle 128.

Mit 6,00 n. NaNO_3 .

t	$a-x$	k
2,13	0,01042	19,1
2,30	1014	18,9
4,47	0,00718	18,8
4,73	699	18,6
7,02	537	18,7
7,15	533	18,5
9,45	434	18,6
10,03	412	18,7
$k_1=18,7$		$k_2=18,7$

Tabelle 129.

Mit 1,03 n. Na_2SO_4 .

t	$a-x$	k
4,00	0,01313	5,25
4,80	1249	5,19
8,68	1003	5,13
9,68	0,00955	5,12
14,03	795	5,04
15,27	757	5,04
24,40	563	5,02
24,40	563	5,02
$k_1=5,10$		$k_2=5,10$

Tabelle 132.

Mit 1,00 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
4,02	0,01300	5,42
5,42	1191	5,32
9,18	0,00961	5,33
10,72	900	5,22
14,97	749	5,24
16,45	706	5,28
24,67	549	5,15
26,27	523	5,18
$k_1=5,27$		$k_2=5,27$

Tabelle 130.

Mit 3,08 n. Na_2SO_4 .

t	$a-x$	k
2,33	0,01188	12,4
2,98	1075	12,7
5,50	0,00916	12,3
5,75	783	12,6
8,83	611	12,3
9,37	585	12,4
11,77	509	12,0
12,60	483	12,1
$k_1=12,4$		$k_2=12,4$

Tabelle 133.

Mit 3,00 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
2,70	0,01187	10,8
2,93	1154	10,7
5,15	0,00876	10,8
5,72	864	10,6
8,60	685	10,6
8,70	680	10,6
13,23	507	10,7
13,27	513	10,5
$k_1=10,7$		$k_2=10,6$

Tabelle 131.

Mit 0,251 n. NaClO_3 .

t	$a-x$	k
6,73	0,01308	3,17
7,73	1266	3,08
13,05	1053	3,05
14,25	1011	3,07
21,45	0,00836	3,01
22,50	811	3,03
41,45	566	2,93
42,20	549	3,01
$k_1=3,04$		$k_2=3,04$

Tabelle 134.

Mit 0,0497 n. LiNO_3 .

t	$a-x$	k
5,00	0,01479	2,43
5,50	1460	2,42
11,53	1214	2,36
11,88	1200	2,37
22,68	0,00935	2,28
23,37	919	2,30
54,47	554	2,30
55,02	565	2,22
$k_1=2,33$		$k_2=2,33$

Tabelle 135.

Mit 0,250 n. LiNO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
5,10	0,01332	3,91
5,48	1310	3,86
12,88	0,00970	3,72
13,00	907	3,71
21,43	738	3,75
21,53	742	3,70
32,80	575	3,62
33,05	575	3,59
$k_1=3,73$		$k_2=3,73$

Tabelle 138.

Mit 1,00 n. KNO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
3,68	0,01325	5,52
4,70	1240	5,43
8,87	0,00975	5,35
9,35	950	5,36
14,82	744	5,35
15,97	711	5,36
25,15	553	5,43
24,23	547	5,27
$k_1=5,38$		$k_2=5,37$

Tabelle 136.

Mit 0,998 n. LiNO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
3,85	0,01218	7,00
4,40	1165	6,98
8,20	0,00890	6,98
8,78	867	6,86
12,95	694	6,87
13,85	667	6,85
19,65	523	6,93
20,55	510	6,86
$k_1=6,92$		$k_2=6,91$

Tabelle 139.

Mit 2,50 n. KNO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
2,80	0,01227	9,41
3,50	1130	9,53
5,43	0,00948	9,27
6,05	894	9,38
8,25	756	9,35
10,17	667	9,33
14,75	523	9,23
14,88	525	9,10
$k_1=9,33$		$k_2=9,33$

Tabelle 137.

Mit 0,250 n. KNO₃.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
5,28	0,01393	3,15
5,33	1391	3,14
13,50	1034	3,08
13,72	1022	3,11
21,30	0,00825	3,11
21,38	827	3,08
37,23	593	3,07
37,33	587	3,09
$k_1=3,10$		$k_2=3,10$

Tabelle 140.

Mit 0,0492 n. BaCl₂.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
5,23	0,01244	4,82
6,28	1177	4,75
11,15	0,00924	4,76
12,12	886	4,77
17,17	735	4,67
18,13	699	4,84
19,95	567	4,86
25,32	559	4,89
$k_1=4,80$		$k_2=4,78$

Tabelle 141.

Mit 0,248 n. BaCl₂.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
2,73	0,01221	9,80
2,95	1192	9,74
5,17	0,00954	9,62
5,93	891	9,62
8,83	715	9,57
8,93	714	9,51
12,43	566	9,78
$k_1=9,65$	$k_2=9,63$	

Tabelle 144.

Mit 0,248 n. SrCl₂.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
2,73	0,01205	10,2
2,92	1173	10,3
5,55	0,00894	10,2
5,68	889	10,1
8,47	701	10,3
8,87	684	10,3
12,73	518	10,8
12,93	509	10,9
$k_1=10,4$	$k_2=10,4$	

Tabelle 142.

Mit 0,990 n. BaCl₂.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
2,02	0,01073	18,9
2,08	1047	19,5
4,40	0,00715	19,2
4,45	715	19,0
6,88	536	19,1
6,92	530	19,3
9,18	422	19,8
9,40	418	19,6
$k_1=19,3$	$k_2=19,3$	

Tabelle 145.

Mit 0,989 n. SrCl₂.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
2,28	0,01036	18,1
2,43	1005	18,2
4,53	0,00723	18,4
4,70	714	18,1
7,00	540	18,6
7,12	535	18,5
9,33	438	18,6
10,20	400	19,1
$k_1=18,5$	$k_2=18,4$	

Tabelle 143.

Mit 0,492 n. SrCl₂.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
5,30	0,01203	5,28
5,80	1176	5,15
10,07	0,00931	5,18
11,00	897	5,12
15,48	739	5,18
16,82	696	5,27
24,23	539	5,38
24,97	530	5,35
$k_1=5,24$	$k_2=5,22$	

Tabelle 146.

Mit 0,0502 n. Ca(NO₃)₂.

<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>
3,78	0,01089	9,70
4,88	0,00984	9,52
8,92	715	9,49
10,08	655	9,67
14,45	507	9,83
15,82	486	9,53
20,83	390	9,66
21,95	372	9,74
$k_1=9,64$	$k_2=9,64$	

Tabelle 147.

			t	$a-x$	k
Mit 0,253 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.			6,93	0,00580	16,5
			7,37	556	16,9
t	$a-x$	k	10,20	435	17,1
2,55	0,01015	17,0	10,30	424	17,5
2,62	0,00992	17,5			
4,77	747	16,5	$k_1=17,0$	$k_2=16,9$	
5,02	725	16,5			

0,00625 m. Kaliumpersulfat und 0,0250 m. Kaliumjodid.

Temperatur $25,00 \pm 0,05^\circ \text{C}$.

Tabelle 148.			Tabelle 150.		
Ohne Zusätze.			Ohne Zusätze.		
t	$(a-x) \times 1985,2$	k	t	$(a-x) \times 2510,0$	k
10,38	48,62	0,327	21,38	60,26	0,317
20,60	47,69	324	22,55	60,14	316
34,63	46,52	321	50,00	57,30	320
49,85	45,33	321	51,50	57,23	313
65,02	44,28	318	86,43	54,35	311
80,77	43,27	316	96,28	53,57	313
120,9	41,05	311	135,6	51,29	299
$k_1=0,320$	$k_2=0,320$		136,9	51,12	302
			$k_1=0,311$	$k_2=0,312$	

Tabelle 149.			Tabelle 151.		
Ohne Zusätze.			Ohne Zusätze.		
t	$(a-x) \times 2510,0$	k	t	$(a-x) \times 2510,0$	k
28,05	59,51	0,320	40,25	58,20	0,325
29,28	59,32	326	41,10	58,15	321
63,58	56,06	320	80,27	54,67	319
64,37	56,02	319	81,57	54,60	318
102,5	53,06	316	91,93	53,83	313
105,2	52,82	310	92,93	53,74	317
129,9	51,37	309	122,1	51,80	311
131,0	51,29	309	123,5	51,79	309
$k_1=0,316$	$k_2=0,316$		$k_1=0,317$	$k_2=0,317$	

Tabelle 152.

Ohne Zusätze.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
29,85	59,24	0,328
30,73	59,14	329
63,85	56,04	320
64,82	55,96	320
91,48	53,83	316
94,80	53,64	314
124,5	51,59	313
125,7	51,85	303

$$k_1=0,318 \quad k_2=0,318$$

Tabelle 153.

Mit 0,0504 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
22,98	58,93	0,468
24,18	58,77	466
36,70	56,98	466
37,95	56,82	467
58,17	54,40	459
59,35	54,28	458
80,33	52,25	448
81,83	52,20	442

$$k_1=0,459 \quad k_2=0,460$$

Tabelle 154.

Mit 0,100 n. KCl.

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
6,20	48,58	0,569
12,43	47,55	579
13,18	47,38	593
20,53	46,32	580
25,48	45,62	579
31,18	44,48	575
39,08	43,85	580
40,80	43,74	568
56,17	42,17	565

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
56,73	41,97	0,569
71,47	40,65	558
72,20	40,45	571
89,93	39,13	557
92,15	39,03	551

$$k_1=0,571 \quad k_2=0,571$$

Tabelle 155.

Mit 0,251 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
9,47	59,64	0,908
10,30	59,38	911
17,90	57,26	903
21,52	56,34	900
39,08	52,51	889
40,28	52,29	889
45,00	51,67	859
47,55	51,08	874

$$k_1=0,892 \quad k_2=0,893$$

Tabelle 156.

Mit 1,00 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
4,38	59,21	2,25
4,78	58,97	2,22
5,63	58,17	2,33
8,62	56,43	2,21
8,63	56,37	2,23
9,45	55,86	2,23
12,30	54,27	2,22
12,50	54,20	2,20
13,40	53,64	2,23
17,68	51,88	2,13
18,17	51,49	2,17
19,03	51,14	2,17

$$k_1=2,22 \quad k_2=2,22$$

Tabelle 157.

Mit 3,00 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,73	58,60	6,81
1,83	58,28	6,99
3,33	55,40	6,86
3,37	55,42	6,75
5,00	52,75	6,74
6,72	50,57	6,56
6,77	50,36	6,68
$k_1=6,77$		$k_2=6,77$

Tabelle 158.

Mit 0,0500 n. KNO_3 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
9,38	48,37	0,454
10,37	48,22	461
20,05	47,03	456
20,63	46,95	458
30,55	45,83	454
32,42	45,69	446
41,82	44,72	446
42,13	44,68	447
55,25	43,46	444
56,23	43,37	444
71,13	42,14	441
71,15	42,08	445
84,60	41,15	437
86,53	41,06	433
106,4	39,73	434
107,6	39,67	430
$k_1=0,446$		$k_2=0,446$

Tabelle 159.

Mit 0,100 n. KNO_3 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
12,70	47,51	0,578
13,35	47,46	561
21,10	46,34	560
21,58	46,23	568
31,10	45,01	558
32,15	44,83	565
41,93	43,71	556
42,73	43,53	560
55,45	42,20	560
70,75	40,80	552
71,27	40,72	555
91,83	39,02	554
$k_1=0,561$		$k_2=0,561$

Tabelle 160.

Mit 0,250 n. KNO_3 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
5,23	48,35	0,828
10,05	47,26	823
10,63	47,07	845
15,87	45,99	834
15,92	46,08	838
21,03	44,88	853
21,22	44,94	834
30,23	43,38	825
30,67	43,30	826
41,02	41,82	807
42,05	41,62	815
50,55	40,53	808
52,30	40,29	808
60,15	39,38	803
60,98	39,29	802
$k_1=0,821$		$k_2=0,823$

Tabelle 161.

Mit 0,500 n. KNO_3 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
10,07	46,32	1,18
10,25	46,26	1,19
15,10	44,88	1,19
15,23	44,86	1,18
19,90	43,67	1,18
20,98	43,41	1,18
25,15	42,48	1,17
25,15	42,49	1,17
30,18	41,48	1,16
30,20	41,47	1,16
35,20	40,51	1,16
37,32	40,18	1,15
40,22	39,72	1,14
$k_1=1,17$		$k_2=1,17$

Tabelle 162.

Mit 1,00 n. KNO_3 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
3,98	47,58	1,78
3,98	47,56	1,80
8,00	45,75	1,78
8,18	45,73	1,75
11,42	44,34	1,78
12,32	44,09	1,75
15,23	43,04	1,75
16,53	42,62	1,74
18,73	41,90	1,74
20,45	41,42	1,73
23,83	40,45	1,73
25,38	40,04	1,73
27,65	39,60	1,69
30,87	38,79	1,70
32,37	38,53	1,68
$k_1=1,74$		$k_2=1,74$

Tabelle 163.

Mit 2,00 n. KNO_3 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
3,72	46,76	2,73
7,27	44,44	2,74
10,48	42,70	2,71
10,92	42,51	2,69
14,40	40,82	2,70
14,42	40,90	2,67
17,82	39,59	2,63
18,10	39,41	2,66
21,03	38,43	2,62
21,80	38,11	2,64
$k_1=2,68$		$k_2=2,68$

Tabelle 164.

Mit 0,0500 n. K_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
20,07	59,57	0,439
21,07	59,43	438
35,50	57,50	432
36,33	57,37	434
56,40	55,05	428
57,43	54,92	429
70,63	53,70	419
71,37	53,57	422
$k_1=0,430$		$k_2=0,430$

Tabelle 165.

Mit 0,100 n. K_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
12,85	47,65	0,531
13,50	47,58	524
21,07	46,55	522
21,32	46,47	530
31,30	45,20	529
31,47	45,21	524
40,30	44,19	523

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
40,63	44,14	0,524
54,32	42,73	519
68,90	41,48	509
90,22	39,71	510
91,95	39,59	498
$k_1=0,520$		$k_2=0,522$

Tabelle 166.

Mit 0,250 n. K_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
13,20	59,05	0,786
13,35	59,02	785
21,60	57,03	784
21,98	56,98	778
34,88	54,33	773
35,37	54,24	773
49,82	51,86	758
50,77	51,69	760
$k_1=0,775$		$k_2=0,775$

Tabelle 167.

Mit 1,00 n. K_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
3,32	60,53	1,81
6,82	58,46	1,79
9,50	57,06	1,77
10,38	56,58	1,78
15,57	54,18	1,77
16,60	53,80	1,76
24,83	50,76	1,74
25,67	50,49	1,74
$k_1=1,77$		$k_2=1,77$

Tabelle 168.

Mit 0,0504 n. NaCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
26,07	59,19	0,382
27,13	59,11	376
46,27	56,87	378
47,23	56,81	375
68,85	54,62	375
70,32	54,50	374
94,22	52,60	364
95,47	52,42	368
$k_1=0,374$		$k_2=0,374$

Tabelle 169.

Mit 0,251 n. NaCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
17,67	59,14	0,578
18,30	59,03	570
30,68	56,86	571
33,08	56,45	574
51,47	53,80	566
52,28	53,61	573
66,08	52,07	556
68,16	51,77	560
$k_1=0,568$		$k_2=0,569$

Tabelle 170.

Mit 1,00 n. NaCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,13	59,64	1,20
7,84	59,34	1,21
16,12	56,28	1,21
18,00	55,68	1,21
28,60	52,64	1,19
29,42	52,44	1,19
41,40	49,79	1,16
42,00	49,59	1,18
$k_1=1,20$		$k_2=1,20$

Tabelle 171.

Mit 3,00 n. NaCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
3,32	58,34	3,80
4,05	57,54	3,76
5,18	56,27	3,79
5,48	55,96	3,81
7,53	53,93	3,80
8,50	53,12	3,77
10,18	51,81	3,73
10,83	51,20	3,78
$k_1=3,78$		$k_2=3,78$

Tabelle 172.

Mit 5,00 n. NaCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,73	57,45	8,97
2,72	54,98	8,97
3,23	53,61	9,01
4,22	51,75	9,07
5,05	50,23	9,09
5,87	48,90	8,88
6,85	47,48	9,07
7,20	47,19	8,90
$k_1=8,99$		$k_2=9,00$

Tabelle 173.

Mit 0,0473 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
15,67	47,98	0,359
16,82	47,82	369
26,92	46,83	368
37,10	45,94	362
45,53	45,19	364
45,93	45,18	362
65,75	43,64	360
66,38	43,62	358

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
84,35	42,32	0,360
85,78	42,34	353
104,8	41,14	356
105,2	41,11	354
$k_1=0,360$		$k_2=0,361$

Tabelle 174.

Mit 0,250 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
7,03	48,48	0,551
12,43	47,64	552
13,27	47,52	550
19,07	46,73	540
19,90	46,55	552
25,43	45,89	536
26,43	45,66	552
32,18	45,02	538
34,47	44,59	550
42,03	43,87	537
44,92	43,43	550
52,68	42,80	529
56,63	42,19	549
70,22	41,19	523
71,62	40,97	531
$k_1=0,543$		$k_2=0,543$

Tabelle 175.

Mit 0,263 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
11,72	60,30	0,569
12,97	60,11	556
30,43	56,97	564
31,47	56,85	558
56,65	53,26	555
57,98	53,15	550
73,32	51,53	536
74,75	51,38	539
$k_1=0,553$		$k_2=0,554$

Tabelle 176.

Mit 1,00 n. NaNO_3 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
5,17	48,05	1,04
9,27	46,85	1,06
10,63	46,50	1,05
14,80	45,49	1,03
15,57	45,23	1,05
20,63	44,08	1,05
22,97	43,58	1,04
25,43	43,09	1,04
25,45	43,06	1,04
30,80	42,07	1,03
30,97	42,02	1,03
35,82	41,17	1,03
36,22	41,10	1,03
40,50	40,42	1,02
41,43	40,27	1,02
$k_1=1,04$		$k_2=1,04$

Tabelle 177.

Mit 3,00 n. NaNO_3 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
3,16	47,48	2,35
3,55	47,23	2,36
6,94	45,23	2,37
7,28	45,03	2,37
10,72	43,33	2,35
10,95	43,19	2,36
14,41	41,72	2,34
14,83	41,53	2,34
18,05	40,35	2,32
18,97	39,99	2,33
22,05	39,07	2,29
22,77	38,81	2,30
$k_1=2,34$		$k_2=2,34$

Tabelle 178.

Mit 6,01 n. NaNO_3 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
2,28	46,55	4,82
3,50	45,22	4,70
4,57	44,15	4,65
5,85	42,94	4,64
9,90	39,78	4,60
10,00	39,69	4,62
12,77	37,96	4,60
13,37	37,73	4,54
$k_1=4,65$		$k_2=4,64$

Tabelle 179.

Mit 0,0504 n. NaClO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
20,00	59,89	0,393
20,67	59,81	392
44,67	57,00	381
45,43	56,89	384
64,90	54,93	379
66,17	54,85	377
89,72	52,93	366
91,00	52,80	368
$k_1=0,368$		$k_2=0,368$

Tabelle 180.

Mit 0,251 n. NaClO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
10,67	60,52	0,565
10,72	60,49	571
28,83	57,23	564
29,08	57,16	568
55,13	53,43	557
55,67	53,38	556
66,90	52,11	547
71,67	51,63	542
$k_1=0,559$		$k_2=0,560$

Tabelle 181.

Mit 1,00 n. NaClO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,17	59,81	1,13
9,15	59,11	1,12
15,87	56,89	1,10
17,13	56,44	1,11
25,10	54,18	1,10
26,08	53,93	1,10
35,08	51,85	1,08
36,45	51,61	1,07
$k_1 = 1,10$		$k_2 = 1,10$

Tabelle 184.

Mit 0,0519 n. Na₂SO₄.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
28,08	59,13	0,361
29,12	59,00	362
49,42	56,72	365
50,50	56,69	359
71,12	54,78	351
72,45	54,65	355
96,42	52,60	356
98,23	52,56	352
$k_1 = 0,358$		$k_2 = 0,358$

Tabelle 182.

Mit 3,00 n. NaClO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
3,52	59,39	2,66
4,33	58,77	2,60
6,78	56,85	2,59
7,72	56,20	2,58
10,53	54,28	2,58
11,32	53,83	2,57
15,52	51,61	2,51
16,87	50,96	2,50
$k_1 = 2,57$		$k_2 = 2,58$

Tabelle 185.

Mit 0,259 n. Na₂SO₄.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
12,53	60,30	0,532
17,30	59,43	534
28,42	57,61	527
30,15	57,32	529
47,23	54,93	521
49,20	54,70	518
64,43	52,90	512
65,23	52,81	512
$k_1 = 0,523$		$k_2 = 0,523$

Tabelle 183.

Mit 6,00 n. NaClO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
2,85	58,21	4,57
3,00	57,73	4,87
4,78	55,26	4,89
5,00	54,68	5,12
8,33	51,05	5,01
9,40	50,13	4,95
10,30	49,71	4,73
$k_1 = 4,88$		$k_2 = 4,91$

Tabelle 186.

Mit 1,04 n. Na₂SO₄.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,95	59,77	1,03
8,75	59,49	1,03
17,10	56,85	1,03
19,02	56,30	1,02
29,88	53,52	1,01
31,53	53,06	1,02
42,47	50,98	0,99
45,01	50,40	1,00
$k_1 = 1,02$		$k_2 = 1,02$

Tabelle 187.

Mit 3,00 n. Na_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
2,45	60,23	2,80
3,72	59,01	2,82
6,28	56,84	2,80
7,53	55,91	2,78
11,58	52,90	2,85
12,53	52,50	2,78
16,65	50,39	2,71
17,73	50,01	2,66
$k_1=2,77$		$k_2=2,79$

Tabelle 190.

Mit 1,02 n. LiCl .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
5,88	60,56	1,01
6,98	60,21	0,991
15,00	57,59	1,00
15,83	57,43	0,984
25,30	54,80	993
27,80	54,22	987
40,17	51,50	983
41,00	51,31	985
$k_1=0,992$		$k_2=0,991$

Tabelle 188.

Mit 0,0511 n. LiCl .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
23,83	59,70	0,353
24,95	59,50	361
44,43	57,35	358
45,42	57,24	357
66,73	55,18	354
67,75	55,09	354
88,58	53,46	344
93,07	53,13	344
$k_1=0,353$		$k_2=0,354$

Tabelle 191.

Mit 0,0499 n. Li_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
27,05	59,32	0,354
27,78	59,25	351
49,37	56,92	347
50,32	56,86	348
72,63	54,73	350
73,60	54,68	348
98,77	52,64	346
$k_1=0,349$		$k_2=0,349$

Tabelle 189.

Mit 0,255 n. LiCl .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
21,13	58,95	0,506
21,92	58,85	502
34,38	56,94	502
35,42	56,81	500
55,33	54,17	499
56,48	54,06	497
68,12	52,77	493
69,43	52,65	491
$k_1=0,499$		$k_2=0,499$

Tabelle 192.

Mit 0,249 n. Li_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
17,42	59,76	0,473
18,47	59,56	479
34,30	57,26	472
36,00	57,00	474
54,35	54,76	465
55,70	54,58	467
74,30	52,76	453
76,28	52,49	457
$k_1=0,468$		$k_2=0,468$

Tabelle 193.

Mit 0,993 n. Li_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,33	60,42	0,862
18,32	57,41	854
19,43	57,15	851
34,13	53,95	836
35,13	53,69	843
43,17	52,34	823
44,52	52,09	824
$k_1=0,842$		$k_2=0,844$

Tabelle 196.

Mit 0,251 n. NH_4Cl .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
10,08	59,86	0,788
15,20	58,59	777
23,83	56,56	779
28,62	55,54	778
39,37	53,60	762
42,70	53,00	763
54,00	51,31	748
57,85	50,77	745
$k_1=0,768$		$k_2=0,769$

Tabelle 194.

Mit 2,99 n. Li_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
4,22	58,90	2,57
4,83	58,44	2,58
7,48	56,47	2,53
8,20	55,92	2,54
11,10	54,06	2,53
11,82	53,67	2,51
15,80	51,67	2,45
16,67	51,23	2,45
$k_1=2,52$		$k_2=2,52$

Tabelle 197.

Mit 1,00 n. NH_4Cl .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
6,12	58,69	1,87
7,00	58,20	1,86
11,93	55,53	1,87
12,83	55,08	1,87
19,62	52,14	1,86
20,47	51,84	1,85
27,45	49,45	1,83
28,53	49,20	1,81
$k_1=1,85$		$k_2=1,86$

Tabelle 195.

Mit 0,0504 n. NH_4Cl .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
22,30	59,36	0,426
22,72	59,31	422
42,67	56,75	420
43,47	56,63	422
63,38	54,47	417
64,13	54,40	416
86,52	52,41	407
87,05	52,35	408
$k_1=0,417$		$k_2=0,418$

Tabelle 198.

Mit 3,00 n. NH_4Cl .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
2,27	58,22	5,72
2,30	58,15	5,75
4,00	55,32	5,78
4,05	55,25	5,77
5,50	53,22	5,75
5,97	52,61	5,74
7,57	50,72	5,73
7,70	50,52	5,75
$k_1=5,74$		$k_2=5,75$

Tabelle 199.

Mit 4,97 n. NH_4Cl .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,25	57,72	11,7
1,38	57,27	11,7
2,60	53,31	12,0
2,67	53,14	12,0
3,97	49,93	12,0
4,03	49,75	12,0
5,42	47,11	11,9
5,50	47,01	11,9
$k_1=11,9$		$k_2=11,9$

Tabelle 202.

Mit 1,00 n. NH_4NO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,62	58,33	1,66
8,32	57,99	1,65
13,55	55,59	1,63
14,38	55,21	1,64
21,27	52,59	1,62
22,03	52,58	1,62
29,33	50,17	1,58
30,45	49,76	1,59
$k_1=1,62$		$k_2=1,62$

Tabelle 200.

Mit 0,0504 n. NH_4NO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
20,77	59,58	0,423
21,50	59,46	425
41,37	56,90	420
42,08	56,86	417
61,62	54,73	412
62,65	54,62	412
84,92	52,65	402
85,77	52,58	401
$k_1=0,414$		$k_2=0,414$

Tabelle 203.

Mit 3,00 n. NH_4NO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,85	60,12	3,88
2,55	59,20	3,89
4,45	56,88	3,92
5,12	56,24	3,85
7,15	54,13	3,89
8,12	53,27	3,86
10,30	51,48	3,84
12,48	49,91	3,82
$k_1=3,87$		$k_2=3,87$

Tabelle 201.

Mit 0,251 n. NH_4NO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
14,12	59,01	0,744
14,50	58,90	748
27,67	55,95	751
27,93	55,98	740
36,53	54,35	736
38,62	53,93	741
52,03	51,88	725
52,50	51,84	721
$k_1=0,738$		$k_2=0,740$

Tabelle 204.

Mit 6,00 n. NH_4NO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,23	59,37	7,65
1,65	58,33	7,66
2,80	55,79	7,63
3,33	54,67	7,70
4,38	52,87	7,57
4,92	51,96	7,58
6,37	49,86	7,52
6,43	49,75	7,54
$k_1=7,61$		$k_2=7,61$

Tabelle 205.

Mit 0,0500 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
7,72	48,69	0,409
8,57	48,62	395
16,05	47,72	409
17,38	47,61	401
26,35	46,64	404
27,13	46,60	398
36,38	45,69	398
36,73	45,61	403
46,33	44,74	401
47,15	44,65	402
61,30	43,47	399
65,47	43,15	397
80,72	42,02	397
85,92	41,71	393
101,6	40,69	391
106,0	40,51	387
$k_1=0,400$		$k_2=0,400$

Tabelle 206.

Mit 0,250 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
5,82	48,46	0,677
6,10	48,41	675
11,65	47,34	684
12,00	47,27	686
17,95	46,25	678
18,48	46,13	685
24,08	45,23	682
30,27	44,31	678
33,73	43,79	680
39,37	43,07	673
43,28	42,57	671
50,62	41,66	672
53,42	41,37	668
60,02	40,67	664
64,15	40,25	663
$k_1=0,676$		$k_2=0,677$

Tabelle 207.

Mit 0,251 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
12,70	59,55	0,698
13,78	59,29	700
27,83	56,36	694
29,30	56,09	691
53,07	52,13	687
54,60	51,99	680
78,50	49,17	659
79,23	49,20	651
$k_1=0,683$		$k_2=0,684$

Tabelle 208.

Mit 1,00 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
4,08	47,86	1,49
8,22	46,25	1,48
9,72	45,70	1,48
13,28	44,53	1,47
14,72	43,99	1,49
17,90	43,15	1,45
19,15	42,66	1,49
22,53	41,92	1,45
24,07	41,48	1,46
28,87	40,34	1,45
30,12	40,08	1,45
33,43	39,46	1,43
34,85	39,06	1,45
38,17	38,57	1,42
40,65	38,00	1,44
$k_1=1,46$		$k_2=1,46$

Tabelle 209.

Mit 3,00 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
4,93	44,22	4,24
5,15	44,05	4,22
6,95	42,47	4,25

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,18	42,37	4,20
9,25	40,89	4,17
9,28	40,79	4,22
11,25	39,62	4,15
11,32	39,51	4,19
13,50	38,33	4,14
13,58	38,35	4,11
$k_1=4,19$		$k_2=4,19$

Tabelle 210.

Mit 6,02 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
2,12	42,21	14,6
2,18	42,03	14,6
4,60	37,39	14,0
4,77	36,99	14,0
6,88	34,31	13,7
7,13	34,19	13,5
$k_1=14,1$		$k_2=14,0$

Tabelle 211.

Mit 0,0504 n. BaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
12,20	59,68	0,695
25,38	56,86	689
26,28	56,67	692
45,35	53,40	680
46,27	53,26	680
60,50	51,25	673
67,37	50,32	675
$k_1=0,683$		$k_2=0,684$

Tabelle 212.

Mit 0,251 n. BaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,55	59,32	1,27
8,22	59,04	1,27
15,85	56,15	1,27
16,82	55,73	1,28
29,52	51,89	1,27
30,62	51,45	1,29
34,08	50,89	1,25
35,28	50,40	1,28
$k_1=1,27$		$k_2=1,27$

Tabelle 213.

Mit 1,00 n. BaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
3,05	59,75	2,70
3,73	59,05	2,79
6,17	57,00	2,76
6,83	56,50	2,75
10,62	53,78	2,75
11,55	53,14	2,76
15,92	50,79	2,70
16,80	50,29	2,72
$k_1=2,74$		$k_2=2,75$

Tabelle 214.

Mit 2,50 n. BaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,28	59,28	7,56
1,47	58,85	7,49
3,08	55,44	7,46
3,18	55,21	7,40
4,85	52,26	7,40
4,88	52,31	7,31
6,72	49,84	7,14
6,73	49,75	7,26
$k_1=7,38$		$k_2=7,38$

Tabelle 215.

Mit 0,0482 n. SrCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
13,50	60,09	0,539
14,37	59,98	528
27,25	57,74	533
33,30	56,78	535
50,95	54,32	531
52,05	54,31	520
68,45	52,51	507
75,60	51,81	503
$k_1=0,525$		$k_2=0,526$

Tabelle 218.

Mit 3,01 n. SrCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,63	58,87	6,72
1,83	58,47	6,66
3,20	55,86	6,60
3,35	55,49	6,72
4,92	52,95	6,66
5,02	52,88	6,60
6,90	50,37	6,55
7,12	50,20	6,47
$k_1=6,62$		$k_2=6,63$

Tabelle 216.

Mit 0,240 n. SrCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,90	60,19	0,884
8,95	59,80	907
17,78	57,35	892
18,70	57,10	894
30,38	54,38	882
31,53	54,11	884
43,78	51,77	873
44,78	51,70	860
$k_1=0,885$		$k_2=0,886$

Tabelle 219.

Mit 6,01 n. SrCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
0,83	54,95	30,9
0,90	54,37	29,8
1,93	48,20	29,8
2,05	47,35	30,7
3,08	43,59	30,1
3,48	42,43	29,9
4,57	40,01	29,5
4,68	39,66	29,9
$k_1=30,1$		$k_2=30,1$

Tabelle 217.

Mit 0,959 n. SrCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
4,10	59,97	1,86
5,00	59,37	1,88
9,15	57,06	1,84
9,93	56,64	1,84
15,62	53,90	1,84
16,52	53,55	1,83
22,67	51,28	1,79
23,33	51,05	1,79
$k_1=1,83$		$k_2=1,84$

Tabelle 220.

Mit 0,0517 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
15,38	59,92	0,505
16,33	59,81	496
34,25	57,06	491
35,42	56,85	496
53,37	54,51	492
54,57	54,44	487
78,15	51,97	476
79,67	51,86	474
$k_1=0,490$		$k_2=0,490$

Tabelle 221.

Mit 0,258 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
9,83	59,92	0,791
10,88	59,63	793
19,50	57,46	794
20,50	57,23	793
32,50	54,68	787
33,80	54,46	783
49,87	51,77	766
51,13	51,59	764
$k_1=0,784$		$k_2=0,786$

Tabelle 224.

Mit 5,95 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
0,87	55,32	26,6
1,25	52,60	27,5
2,00	48,39	28,2
2,62	46,04	27,5
3,30	43,87	27,3
4,00	41,92	27,5
4,58	40,49	27,8
$k_1=27,5$		$k_2=27,5$

Tabelle 222.

Mit 1,03 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
4,63	59,99	1,58
5,30	59,62	1,63
10,17	57,21	1,61
11,30	56,77	1,63
17,22	54,19	1,60
19,37	53,44	1,58
26,57	50,98	1,58
27,90	50,72	1,55
$k_1=1,60$		$k_2=1,60$

Tabelle 225.

Mit 0,0504 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
17,33	59,64	0,496
18,58	59,44	495
37,08	56,70	488
38,35	56,53	488
61,22	53,72	482
81,15	51,80	469
82,63	51,59	473
$k_1=0,484$		$k_2=0,485$

Tabelle 223.

Mit 2,98 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,80	59,06	5,75
1,88	58,91	5,76
3,25	56,59	5,69
3,72	55,98	5,56
5,73	53,06	5,64
6,03	52,59	5,71
8,05	50,57	5,48
8,13	50,43	5,51
$k_1=5,64$		$k_2=5,64$

Tabelle 226.

Mit 0,251 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
11,18	59,67	0,762
12,82	59,25	762
22,73	57,00	750
24,87	56,47	760
38,12	53,95	749
41,55	53,34	748
52,70	51,67	734
53,93	51,53	729
$k_1=0,751$		$k_2=0,751$

Tabelle 227.

Mit 1,00 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
6,07	59,69	1,39
6,62	59,40	1,41
12,50	56,88	1,40
13,50	56,46	1,40
21,23	53,75	1,39
22,30	53,41	1,39
31,08	50,97	1,35
32,43	50,69	1,34
$k_1=1,38$		$k_2=1,39$

Tabelle 228.

Mit 3,00 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
2,17	59,89	3,62
3,85	58,01	3,55
4,87	56,97	3,52
5,67	56,16	3,52
6,65	55,27	3,50
8,37	53,80	3,48
10,25	52,31	3,48
12,18	50,98	3,44
$k_1=3,51$		$k_2=3,51$

Tabelle 229.

Mit 6,03 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,78	56,97	9,64
2,00	56,88	9,61
3,47	52,87	9,60
3,53	52,74	9,55
5,02	49,84	9,56
5,07	49,75	9,57
5,17	49,51	9,64
6,67	47,48	9,32
6,93	46,98	9,46
7,13	46,78	9,38
$k_1=9,53$		$k_2=9,55$

Tabelle 230.

Mit 0,0490 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
6,83	48,76	0,427
7,25	48,70	430
15,28	47,69	437
15,38	47,68	437
25,37	46,52	438
25,50	46,51	437
35,28	45,49	434
35,55	45,49	431
44,87	44,54	434
45,40	44,49	434
59,48	43,25	430
60,12	43,23	427
76,37	41,96	424
80,32	41,64	424
98,12	40,44	419
99,65	40,33	421
$k_1=0,430$		$k_2=0,431$

Tabelle 231.

Mit 0,245 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
10,13	47,75	0,645
11,42	47,44	665
15,20	46,82	654
16,25	46,70	639
20,12	46,10	635
22,02	45,68	659
30,13	44,46	658
30,17	44,52	648
40,55	43,05	655
40,70	43,12	644
50,27	41,93	650
50,52	41,97	639
60,27	40,90	638
60,32	40,85	644
$k_1=0,647$		$k_2=0,648$

Tabelle 232.

Mit 0,256 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
14,73	59,21	0,672
14,82	59,22	666
30,33	56,14	662
32,47	55,77	660
52,92	52,52	655
57,30	51,92	654
75,73	49,74	642
80,78	49,22	637

$k_1=0,656$ $k_2=0,657$

Tabelle 233.

Mit 0,980 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
8,38	46,70	1,24
8,63	46,57	1,26
12,60	45,45	1,22
12,97	45,36	1,22
16,65	44,31	1,23
17,28	44,19	1,22
21,43	43,07	1,24
22,45	42,92	1,21
26,68	41,89	1,23
27,63	41,70	1,22
33,08	40,66	1,21
37,20	39,86	1,21
37,50	39,84	1,20

$k_1=1,22$ $k_2=1,22$

Tabelle 234.

Mit 1,96 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
3,65	47,20	2,33
6,93	45,30	2,33
7,17	45,19	2,31
10,42	43,50	2,33

 t $(a-x) \times 1985,2$ k

10,68	43,46	2,30
13,98	41,86	2,35
14,27	41,62	2,40
17,48	40,50	2,34
17,77	40,59	2,27
21,12	39,38	2,29
21,55	39,14	2,32

$k_1=2,33$ $k_2=2,33$

Tabelle 235.

Mit 3,04 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
2,25	59,21	4,40
2,35	58,97	4,52
4,53	56,19	4,39
4,58	56,21	4,32
7,12	53,28	4,40
8,13	52,41	4,33
9,88	50,95	4,28
10,07	50,84	4,24

$k_1=4,36$ $k_2=4,36$

Tabelle 236.

Mit 3,91 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
1,93	45,65	7,58
2,47	44,68	7,62
4,03	42,51	7,29
4,63	41,65	7,36
6,32	39,73	7,27
6,72	39,23	7,34
8,50	37,71	7,16
8,75	37,42	7,23
10,92	35,80	7,16

$k_1=7,33$ $k_2=7,33$

Tabelle 237.

Mit 5,89 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 1985,2$	k
2,07	39,41	23,2
2,20	39,07	22,9
4,45	33,77	22,8
4,65	33,32	23,1
6,55	31,11	22,1
7,43	30,04	22,8

 $k_1=22,8$ $k_2=22,8$

Tabelle 240.

Mit 1,00 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
9,42	59,45	0,973
10,65	59,11	958
21,63	56,08	939
22,90	55,67	952
28,98	54,13	959
30,35	53,84	955
38,08	52,28	940
39,37	52,09	932

 $k_1=0,951$ $k_2=0,951$

Tabelle 238.

Mit 0,0504 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
24,75	59,10	0,414
26,15	58,97	407
47,47	56,35	407
48,45	56,25	407
69,27	54,01	408
70,80	54,04	398
93,88	52,01	394
95,07	51,96	391

 $k_1=0,403$ $k_2=0,404$

Tabelle 241.

Mit 3,01 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
2,80	59,87	2,83
4,32	58,54	2,77
6,83	56,45	2,77
7,68	55,82	2,76
10,25	54,04	2,75
11,00	53,50	2,76
14,78	51,41	2,70
16,15	50,83	2,65

 $k_1=2,75$ $k_2=2,75$

Tabelle 239.

Mit 0,251 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
15,30	59,62	0,566
16,42	59,43	562
32,07	56,73	561
33,20	56,55	561
49,20	54,22	557
50,55	54,05	556
72,25	51,52	546
73,40	51,49	539

 $k_1=0,557$ $k_2=0,558$

Tabelle 242.

Mit 5,01 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,60	58,34	7,88
1,72	57,92	8,11
3,25	54,64	7,92
3,58	53,86	8,07
5,48	50,61	8,02
5,52	50,61	7,96
7,32	48,47	7,63
7,55	48,18	7,64

 $k_1=7,90$ $k_2=7,93$

Temperatur $15,00 \pm 0,05^{\circ}$ C.

Tabelle 243.

Ohne Zusätze.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
46,60	60,13	0,154
47,30	60,10	154
47,75	60,11	151
48,62	60,05	151
89,08	58,13	149
90,45	58,10	148
104,0	57,38	151
104,9	57,39	150
107,4	57,31	149
108,8	57,29	148
109,2	57,16	151
111,0	57,08	151
162,8	55,03	149
164,3	54,91	150
169,7	54,72	150
171,4	54,70	149
174,5	54,62	148
177,8	54,55	147
226,7	52,85	147
228,7	52,72	148
231,5	52,70	147
232,8	52,75	144
253,0	52,00	147
255,1	52,00	146

$$k_1 = 0,149 \quad k_2 = 0,149$$

Tabelle 244.

Mit 0,0499 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
58,00	58,26	0,222
59,15	58,23	220
72,28	57,26	223
73,57	57,26	220

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
101,0	55,52	0,222
116,9	54,62	221
153,8	52,80	217
158,0	52,40	218

$$k_1 = 0,221 \quad k_2 = 0,221$$

Tabelle 245.

Mit 0,251 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
19,82	59,59	0,442
21,87	59,31	438
41,92	56,62	438
44,35	56,32	435
59,18	54,64	435
62,50	54,26	436
71,22	53,39	433
72,67	53,40	424

$$k_1 = 0,435 \quad k_2 = 0,435$$

Tabelle 246.

Mit 1,00 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
10,97	58,41	1,13
11,68	58,20	1,12
12,38	58,03	1,10
18,10	56,13	1,11
18,13	56,17	1,10
18,83	55,96	1,11
26,87	53,73	1,10
28,62	53,27	1,10
33,12	52,16	1,10
38,50	51,05	1,08
39,47	50,90	1,08
40,30	50,63	1,09

$$k_1 = 1,10 \quad k_2 = 1,10$$

Tabelle 247.

Mit 3,00 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
3,37	58,80	3,31
3,45	58,71	3,32
6,57	55,82	3,24
7,18	55,31	3,23
10,00	53,04	3,24
10,52	52,54	3,29
12,83	51,07	3,24
14,40	50,15	3,28
$k_1 = 3,27$		$k_2 = 3,26$

Tabelle 250.

Mit 1,00 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
15,03	60,02	0,498
16,95	59,67	500
33,30	57,05	507
52,40	54,55	498
53,98	54,29	503
76,50	51,87	494
77,88	51,81	488
$k_1 = 0,500$		$k_2 = 0,501$

Tabelle 248.

Mit 0,0499 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
50,00	59,48	0,181
51,73	59,41	180
93,32	57,04	181
94,48	57,03	179
149,9	54,28	181
151,1	54,39	177
209,3	52,02	177
211,1	52,03	176
$k_1 = 0,179$		$k_2 = 0,179$

Tabelle 251.

Mit 3,00 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
4,87	60,73	1,12
7,52	59,72	1,11
13,85	57,48	1,11
14,97	57,15	1,11
24,58	54,25	1,11
27,88	53,56	1,09
42,58	50,26	1,08
43,68	50,11	1,07
$k_1 = 1,10$		$k_2 = 1,10$

Tabelle 249.

Mit 0,251 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
36,38	59,28	0,266
37,48	59,17	267
61,38	57,17	268
64,65	56,93	267
100,8	54,43	264
101,7	54,37	264
163,3	50,95	259
164,7	50,87	259
$k_1 = 0,264$		$k_2 = 0,265$

Tabelle 252.

Mit 6,00 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
4,47	59,37	2,10
10,37	55,57	2,14
11,27	55,10	2,13
15,83	52,79	2,12
17,37	52,16	2,09
23,72	49,72	2,06
25,17	49,23	2,05
$k_1 = 2,10$		$k_2 = 2,10$

Tabelle 253.

Mit 0,0494 n. Li_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
56,35	59,36	0,168
57,07	59,40	162
93,85	57,48	164
94,85	57,40	165
150,7	54,85	165
152,0	54,88	163
211,4	52,65	162

$$k_1=0,164 \quad k_2=0,164$$

Tabelle 256.

Mit 2,99 n. Li_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
8,45	59,18	1,18
9,27	58,84	1,19
15,83	56,44	1,20
16,77	56,12	1,20
24,93	53,62	1,20
28,05	52,75	1,20
35,97	50,95	1,17
37,45	50,58	1,17

$$k_1=1,19 \quad k_2=1,19$$

Tabelle 254.

Mit 0,249 n. Li_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
39,85	59,57	0,220
61,52	58,07	218
64,80	57,83	220
110,5	55,05	218
115,6	54,78	218
165,9	52,26	216
167,5	52,27	214

$$k_1=0,218 \quad k_2=0,218$$

Tabelle 257.

Mit 0,0499 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
52,88	59,03	0,195
54,27	58,93	198
81,12	57,30	198
82,58	57,22	198
128,2	54,79	199
129,4	54,77	195
171,9	52,79	195
176,1	52,66	193

$$k_1=0,196 \quad k_2=0,197$$

Tabelle 255.

Mit 0,993 n. Li_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
9,90	61,27	0,398
42,62	57,00	400
43,73	56,90	398
67,82	54,34	399
68,90	54,31	393
86,07	52,75	392
87,10	52,69	390

$$k_1=0,396 \quad k_2=0,397$$

Tabelle 258.

Mit 0,251 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
34,22	58,66	0,339
35,25	58,59	335
47,68	57,33	334
48,60	57,20	336
75,37	54,86	331
76,58	54,71	333
107,1	52,48	326
108,4	52,40	326

$$k_1=0,333 \quad k_2=0,333$$

Tabelle 259.

Mit 1,00 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
6,65	60,96	0,721
8,90	60,36	729
22,68	57,15	729
23,87	56,86	734
39,97	53,89	720
41,27	53,60	727
51,28	52,10	714
52,32	51,97	711
$k_1=0,723$		$k_2=0,725$

Tabelle 262.

Mit 0,0499 n. BaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
32,50	58,98	0,325
33,45	58,90	324
58,70	56,36	328
59,53	56,31	327
87,33	54,04	322
88,88	53,95	321
114,3	51,96	323
115,4	51,79	331
$k_1=0,325$		$k_2=0,325$

Tabelle 260.

Mit 3,00 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
3,68	59,86	2,16
5,02	58,97	2,12
7,70	57,28	2,08
8,20	57,00	2,08
12,68	54,46	2,09
13,17	54,19	2,09
19,12	51,57	2,05
20,60	51,03	2,03
$k_1=2,08$		$k_2=2,08$

Tabelle 263.

Mit 0,251 n. BaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
9,17	60,73	0,593
11,70	60,12	614
25,53	57,47	606
47,35	53,89	608
48,98	53,60	613
71,77	50,68	607
76,00	50,17	608
$k_1=0,607$		$k_2=0,608$

Tabelle 261.

Mit 6,00 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,90	57,92	7,35
1,92	57,85	7,43
3,52	54,69	7,26
5,22	51,85	7,25
5,28	51,90	7,12
7,15	49,41	7,05
7,53	48,92	7,08
$k_1=7,22$		$k_2=7,22$

Tabelle 264.

Mit 1,00 n. BaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
5,92	59,85	1,35
7,08	59,34	1,34
13,88	56,61	1,33
17,05	55,45	1,33
27,58	52,01	1,34
28,77	51,72	1,34
39,33	49,08	1,33
40,60	48,83	1,33
$k_1=1,34$		$k_2=1,34$

Tabelle 265.

Mit 2,50 n. BaCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
2,25	59,79	3,63
2,93	59,06	3,54
5,25	56,42	3,51
7,98	54,07	3,51
9,85	52,57	3,50
10,78	51,88	3,49
17,48	47,85	3,42
18,78	47,00	3,48
$k_1=3,51$		$k_2=3,51$

Tabelle 268.

Mit 0,959 n. SrCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
8,23	60,11	0,891
9,55	59,71	890
20,40	56,80	869
21,30	56,59	867
34,42	53,67	862
40,90	52,41	861
50,50	50,78	853
51,52	50,67	847
$k_1=0,868$		$k_2=0,867$

Tabelle 266.

Mit 0,0477 n. SrCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
34,50	59,61	0,252
35,37	59,54	252
66,40	57,16	248
67,55	57,05	250
106,1	54,46	245
108,7	54,35	247
141,6	52,59	243
142,8	52,54	243
$k_1=0,248$		$k_2=0,248$

Tabelle 269.

Mit 2,90 n. SrCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
2,52	59,94	3,06
3,15	59,36	2,99
5,72	56,93	3,03
6,78	56,13	2,97
9,83	53,65	3,04
10,73	53,07	3,01
15,43	50,22	2,98
16,55	49,79	2,91
$k_1=3,00$		$k_2=3,00$

Tabelle 267.

Mit 0,240 n. SrCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
12,57	60,79	0,420
13,55	60,64	421
32,87	57,99	418
34,30	57,77	422
66,73	54,16	415
72,03	53,63	415
110,7	50,38	408
111,9	50,27	408
$k_1=0,416$		$k_2=0,416$

Tabelle 270.

Mit 0,0512 n. CaCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
36,33	59,69	0,232
37,38	59,61	232
68,43	57,38	230
69,77	57,25	232
123,3	54,07	228
125,0	53,97	228
152,2	52,54	228
154,2	52,44	228
$k_1=0,230$		$k_2=0,230$

Tabelle 271.

Mit 0,258 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
14,32	60,80	0,366
35,97	58,14	369
40,78	57,58	370
79,22	53,82	368
80,88	53,76	363
122,5	50,50	363
124,1	50,48	360

$$k_1=0,365 \quad k_2=0,366$$

Tabelle 274.

Mit 5,76 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
1,23	57,61	12,2
1,58	56,45	12,0
2,78	52,62	12,4
3,12	51,75	12,3
4,72	48,04	12,7
4,77	47,96	12,4
6,60	45,04	12,2
6,60	44,96	12,3

$$k_1=12,3 \quad k_2=12,4$$

Tabelle 272.

Mit 1,03 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
12,88	59,24	0,762
15,64	58,56	761
28,67	55,68	759
29,35	55,58	755
42,08	53,19	755
45,21	52,67	752
53,68	51,32	751
53,85	51,37	746

$$k_1=0,755 \quad k_2=0,755$$

Tabelle 275.

Mit 0,0499 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
39,27	59,97	0,194
40,22	59,94	192
71,18	58,02	192
75,80	57,76	191
133,3	54,74	191
134,4	54,67	191
155,9	53,73	188
157,3	53,67	188

$$k_1=0,191 \quad k_2=0,191$$

Tabelle 273.

Mit 2,88 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
2,12	60,78	2,50
2,92	60,05	2,53
6,25	57,41	2,51
9,07	55,49	2,47
12,77	53,18	2,48
16,43	51,27	2,47
19,90	49,63	2,47
22,95	48,42	2,45

$$k_1=2,49 \quad k_2=2,48$$

Tabelle 276.

Mit 0,251 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
24,33	60,38	0,265
25,45	60,32	260
48,23	58,34	261
57,33	57,65	259
101,9	54,44	261
103,5	54,39	258
127,5	52,96	257
129,7	52,85	257

$$k_1=0,260 \quad k_2=0,260$$

Tabelle 277.

Mit 1,00 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
17,63	59,82	0,458
19,30	59,62	448
36,10	57,15	458
37,18	57,09	451
59,72	54,35	451
61,43	54,21	447
80,35	52,27	446
82,95	52,05	445
$k_1=0,451$		$k_2=0,451$

Tabelle 278.

Mit 3,00 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
5,60	60,01	1,34
6,98	59,43	1,32
15,13	56,16	1,32
16,57	55,68	1,32
27,18	52,27	1,32
28,23	52,10	1,29
33,15	50,79	1,29
34,85	50,54	1,31
$k_1=1,31$		$k_2=1,31$

Temperatur $0,00 \pm 0,05^\circ \text{C}$.

Tabelle 279.

Ohne Zusätze.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
124,3	60,67	0,0452
125,4	60,67	447
125,8	60,63	455
127,6	60,62	451
128,3	60,62	448
136,5	60,49	448
137,8	60,45	452
243,7	58,90	445
245,3	58,91	442
261,6	58,66	444
263,3	58,61	446
291,9	58,21	447
294,2	58,19	445
296,8	58,18	442
399,0	56,86	439
401,7	56,79	443
449,5	56,18	444
452,2	56,19	440
457,7	56,09	443
461,9	55,97	448

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
463,8	56,02	0,0443
533,6	55,28	436
536,4	55,27	435
612,6	54,32	442
615,7	54,34	438
619,6	54,30	439
621,8	54,30	437
623,8	54,35	431
$k_1=0,0444$		$k_2=0,0444$

Tabelle 280.

Mit 0,0499 n. KCl .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
130,0	59,58	0,0677
132,0	59,53	676
224,2	57,54	675
227,1	57,53	672
374,8	54,76	674
377,1	54,76	670
542,8	52,06	680
543,5	52,06	677
$k_1=0,0675$		$k_2=0,0674$

Tabelle 281.

Mit 0,251 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
128,4	56,84	0,139
131,7	56,71	139
154,1	55,90	136
155,8	55,82	136
223,1	53,59	135
225,2	53,47	135
312,8	51,15	132
315,6	51,01	133
$k_1=0,136$		$k_2=0,136$

Tabelle 283.

Mit 3,00 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
12,05	58,52	1,000
12,25	58,45	1,000
25,02	54,87	0,993
25,05	54,85	995
30,47	53,55	991
30,52	53,63	978
40,32	51,54	974
50,55	49,77	959
$k_1=0,987$		$k_2=0,989$

Tabelle 284.

Mit 0,0499 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
126,4	60,29	0,0532
127,7	60,25	533
253,4	58,07	532
254,6	58,11	525
421,5	55,61	522
423,3	55,59	522
591,3	53,50	514
592,8	53,51	512
$k_1=0,0524$		$k_2=0,0524$

Tabelle 282.

Mit 1,00 n. KCl.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
26,40	59,33	0,361
27,47	59,26	355
38,87	58,03	350
46,13	57,30	348
46,70	57,19	351
51,80	56,70	349
68,08	55,21	346
77,60	54,24	353
78,47	54,27	347
90,60	53,28	346
92,58	53,09	348
100,7	52,53	344
103,8	52,33	342
110,4	51,84	343
111,3	51,79	342
114,0	51,65	340
132,0	50,52	336
137,4	50,15	338
$k_1=0,347$		$k_2=0,347$

Tabelle 285.

Mit 0,251 n. NaNO₃.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
124,2	59,28	0,0780
126,9	59,22	778
260,1	56,21	763
262,9	56,12	766
410,1	53,35	757
413,4	53,36	750
539,8	51,48	734
543,5	51,32	742
$k_1=0,0759$		$k_2=0,0759$

Tabelle 286.

Mit 1,00 n. NaNO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
103,8	57,63	0,143
107,1	57,52	143
147,7	55,93	141
149,4	55,84	142
189,1	54,42	141
195,2	54,15	142
318,9	50,63	138
321,1	50,56	138
$k_1=0,141$		$k_2=0,141$

Tabelle 289.

Mit 0,0499 n. NaClO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
149,7	59,84	0,0538
153,1	59,82	527
282,2	57,66	525
284,7	57,65	521
427,5	55,52	524
429,6	55,58	515
621,5	53,19	511
622,7	53,31	502
$k_1=0,0520$		$k_2=0,0520$

Tabelle 287.

Mit 3,00 n. NaNO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
29,60	59,31	0,324
30,15	59,16	333
65,08	56,02	314
85,22	56,12	309
89,67	54,24	305
89,88	54,10	311
115,5	52,41	305
115,6	52,50	301
$k_1=0,313$		$k_2=0,312$

Tabelle 290.

Mit 0,251 n. NaClO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
120,4	59,42	0,0773
122,5	59,31	784
258,4	56,20	769
401,2	53,44	764
406,4	53,36	763
516,8	51,58	757
518,1	51,64	749
$k_1=0,0765$		$k_2=0,0766$

Tabelle 288.

Mit 6,00 n. NaNO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
21,22	58,21	0,614
21,60	58,12	616
37,77	55,49	595
37,88	55,44	599
55,02	53,01	591
55,48	53,00	587
67,08	51,58	582
67,47	51,60	578
$k_1=0,595$		$k_2=0,595$

Tabelle 291.

Mit 1,00 n. NaClO_3 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
97,43	57,87	0,144
101,3	57,74	143
142,3	56,02	144
144,7	55,91	144
183,4	54,50	143
186,3	54,40	143
309,9	50,66	141
314,8	50,63	140
$k_1=0,143$		$k_2=0,143$

Tabelle 292.

Mit 3,00 n. NaClO₃.

<i>t</i>	$(a-x) \times 2510,0$	<i>k</i>
29,95	59,26	0,326
31,12	59,13	326
66,18	55,99	312
66,72	55,89	314
90,97	54,00	311
92,73	53,99	306
116,7	52,32	305
$k_1=0,314$		$k_2=0,313$

Tabelle 295.

Mit 0,0494 n. Li₂SO₄.

<i>t</i>	$(a-x) \times 2510,0$	<i>k</i>
129,2	60,42	0,0489
130,4	60,39	491
232,5	58,77	484
233,5	58,76	483
392,2	56,47	482
393,4	56,47	481
506,8	55,05	476
528,1	54,77	479
$k_1=0,0483$		$k_2=0,0483$

Tabelle 293.

Mit 5,00 n. NaClO₃.

<i>t</i>	$(a-x) \times 2510,0$	<i>k</i>
18,00	59,62	0,481
37,38	56,78	476
39,70	56,66	459
62,90	54,02	457
62,82	53,72	469
70,90	52,96	462
73,77	52,80	444
$k_1=0,463$		$k_2=0,464$

Tabelle 296.

Mit 0,249 n. Li₂SO₄.

<i>t</i>	$(a-x) \times 2510,0$	<i>k</i>
133,1	59,75	0,0622
135,6	59,70	629
221,1	57,97	624
222,3	57,93	626
383,3	55,17	618
582,6	52,33	612
584,0	52,40	603
$k_1=0,0619$		$k_2=0,0621$

Tabelle 294.

Mit 0,0497 n. LiNO₃.

<i>t</i>	$(a-x) \times 2510,0$	<i>k</i>
153,6	59,95	0,0502
156,3	59,92	497
287,9	57,82	499
290,6	57,80	495
430,8	55,83	492
436,6	55,82	487
623,7	53,51	488
626,4	53,61	479
$k_1=0,0493$		$k_2=0,0493$

Tabelle 297.

Mit 0,993 n. Li₂SO₄.

<i>t</i>	$(a-x) \times 2510,0$	<i>k</i>
91,50	59,03	0,114
94,83	58,94	113
138,2	57,38	114
140,5	57,39	112
203,9	55,43	111
207,7	55,23	113
340,4	51,95	109
343,6	51,85	110
$k_1=0,112$		$k_2=0,112$

Tabelle 298.

Mit 2,99 n. Li_2SO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
15,92	60,52	0,379
17,58	60,42	360
41,30	57,68	357
42,60	57,43	366
71,70	54,93	343
93,15	53,27	338
94,10	53,09	342
$k_1=0,355$		$k_2=0,355$

Tabelle 301.

Mit 1,00 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
78,42	56,96	0,220
79,75	56,84	221
103,8	55,44	218
105,2	55,43	216
170,3	52,06	216
173,3	52,00	214
213,8	50,40	210
215,9	50,33	210
$k_1=0,216$		$k_2=0,216$

Tabelle 299.

Mit 0,0499 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
131,5	59,95	0,0585
133,3	59,88	592
225,9	58,17	584
226,7	58,14	585
372,0	55,14	585
372,0	55,71	583
374,3	55,71	578
499,2	53,97	570
499,4	53,93	573
$k_1=0,0581$		$k_2=0,0582$

Tabelle 302.

Mit 3,00 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
9,00	60,50	0,677
11,40	59,94	676
25,17	57,24	645
26,33	57,04	643
51,52	53,02	630
53,50	52,78	626
56,33	52,51	617
57,25	52,31	623
$k_1=0,642$		$k_2=0,640$

Tabelle 300.

Mit 0,251 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
99,75	59,16	0,1008
100,7	59,18	0,0992
201,4	56,21	983
202,6	56,18	984
293,6	53,88	981
295,4	53,86	978
365,1	52,42	963
366,3	52,40	963
$k_1=0,0982$		$k_2=0,0982$

Tabelle 303.

Mit 6,00 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,62	56,77	2,35
8,00	56,56	2,32
12,00	54,31	2,25
12,40	54,14	2,24
17,70	51,81	2,15
20,09	50,77	2,15
24,50	49,08	2,14
$k_1=2,23$		$k_2=2,22$

Tabelle 304.

Mit 0,0499 n. BaCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
57,54	60,62	0,0977
60,26	60,50	101
147,8	57,66	100
149,1	57,66	101
285,6	53,93	100
287,8	53,79	102
320,9	52,96	102
322,0	52,76	104
$k_1=0,101$		$k_2=0,101$

Tabelle 305.

Mit 0,251 n. BaCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
31,52	60,53	0,191
32,68	60,46	190
71,92	58,03	190
80,93	57,30	198
148,2	53,85	195
150,3	53,65	198
171,3	52,67	199
173,8	52,44	202
$k_1=0,195$		$k_2=0,195$

Tabelle 306.

Mit 1,00 n. BaCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
22,43	59,24	0,437
23,40	59,22	422
34,12	57,76	424
45,30	56,52	414
46,58	56,32	417
52,65	55,68	414
74,40	53,31	420
75,68	53,15	413

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
82,08	52,60	0,418
92,42	51,68	417
93,65	51,64	415
124,9	49,20	413
$k_1=0,419$		$k_2=0,418$

Tabelle 307.

Mit 2,50 n. BaCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
12,93	57,40	1,21
23,48	54,65	1,10
28,67	53,32	1,09
30,83	52,79	1,09
34,53	51,90	1,09
35,80	51,73	1,07
43,18	50,10	1,08
44,25	50,03	1,06
$k_1=1,10$		$k_2=1,09$

Tabelle 308.

Mit 0,0477 n. SrCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
137,1	59,16	0,0733
140,7	59,08	732
209,8	57,47	736
211,5	57,46	732
354,8	54,65	725
356,8	54,68	717
413,4	53,75	710
415,0	53,71	712
$k_1=0,0725$		$k_2=0,0726$

Tabelle 309.

Mit 0,240 n. SrCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
74,45	59,43	0,124
75,32	59,37	125
143,3	56,84	123

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
143,9	56,80	0,124
252,9	53,46	122
253,4	53,43	122
286,8	52,60	120
287,1	52,54	120
$k_1=0,123$		$k_2=0,123$

Tabelle 310.

Mit 0,959 n. SrCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
25,27	60,41	0,251
26,73	60,13	268
39,69	59,02	254
56,73	57,66	261
76,82	56,17	260
104,0	54,43	255
105,7	54,29	257
129,6	52,88	255
138,5	52,49	252
140,1	52,36	253
162,9	51,24	251
$k_1=0,256$		$k_2=0,257$

Tabelle 311.

Mit 2,90 n. SrCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
9,10	59,61	0,955
9,78	59,44	943
17,88	57,20	915
19,23	56,88	908
27,40	54,95	896
28,42	54,65	900
42,03	52,09	874
43,37	51,80	877
$k_1=0,911$		$k_2=0,909$

Tabelle 312.

Mit 0,0512 n. CaCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
109,9	60,03	0,0679
111,3	60,01	674
179,1	58,47	681
180,5	58,53	666
308,7	56,04	662
310,4	56,02	661
378,2	54,85	659
380,0	54,90	651
$k_1=0,0667$		$k_2=0,0667$

Tabelle 313.

Mit 0,258 n. CaCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
77,50	59,76	0,106
79,73	59,64	108
145,6	57,41	107
147,5	57,43	106
257,2	54,32	105
288,4	53,54	105
295,6	53,40	104
$k_1=0,106$		$k_2=0,106$

Tabelle 314.

Mit 1,03 n. CaCl₂.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
27,67	60,47	0,223
28,52	60,38	225
57,92	58,30	220
63,58	57,87	222
120,4	54,49	218
121,6	54,42	218
170,4	52,05	216
171,6	52,02	216
$k_1=0,220$		$k_2=0,220$

Tabelle 315.

Mit 2,88 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
5,09	61,32	0,747
9,32	60,20	749
21,27	57,38	741
21,93	57,23	742
44,40	52,99	734
45,37	52,86	732
51,25	51,94	729
51,75	51,95	721
$k_1=0,738$		$k_2=0,738$

Tabelle 316.

Mit 5,76 n. CaCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
4,27	57,21	3,83
4,50	56,94	3,84
7,95	53,73	3,70
8,38	53,33	3,72
11,87	50,67	3,68
13,30	49,64	3,69
16,92	47,64	3,61
16,93	47,66	3,61
$k_1=3,69$		$k_2=3,69$

Tabelle 317.

Mit 0,0499 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
134,5	59,57	0,0655
136,2	59,49	665
218,0	57,85	651
219,5	57,82	653
363,7	55,18	651
365,7	55,21	644
459,4	53,73	649
462,1	53,74	637
$k_1=0,0651$		$k_2=0,0650$

Tabelle 318.

Mit 0,251 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
80,45	59,80	0,1010
81,60	59,78	1003
148,7	57,63	1003
149,9	57,62	0998
257,7	54,73	985
259,3	54,65	991
296,1	53,83	973
297,5	53,78	982
$k_1=0,0992$		$k_2=0,0993$

Tabelle 319.

Mit 1,00 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
29,58	60,73	0,184
30,53	60,58	192
38,57	60,15	184
64,82	58,64	180
78,02	57,89	180
78,80	57,80	183
127,3	55,44	178
143,5	54,69	178
147,3	54,51	178
193,8	52,66	176
194,9	52,67	175
$k_1=0,180$		$k_2=0,180$

Tabelle 320.

Mit 3,01 n. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
11,35	60,81	0,460
13,10	60,52	461
28,95	58,24	446
32,37	57,80	444
57,15	54,79	440
58,17	54,70	438
73,73	53,18	431
74,40	53,16	429
$k_1=0,444$		$k_2=0,443$

Tabelle 321.

Mit 0,0508 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
138,3	59,72	0,0605
139,2	59,64	618
263,8	57,31	606
265,1	57,34	600
391,4	55,22	600
392,5	55,21	600
464,9	54,13	598
465,8	54,10	599
$k_1=0,0603$		$k_2=0,0603$

Tabelle 324.

Mit 3,04 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
8,35	60,76	0,642
13,28	59,66	643
26,90	57,16	614
28,00	56,93	617
50,95	53,37	608
54,53	52,86	595
69,25	51,19	593
70,32	51,00	596
$k_1=0,613$		$k_2=0,612$

Tabelle 322.

Mit 0,256 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
59,08	60,76	0,0907
90,30	59,78	906
119,8	58,90	906
242,0	55,70	897
242,4	55,73	890
310,2	54,26	878
310,9	54,24	880
$k_1=0,0896$		$k_2=0,0897$

Tabelle 325.

Mit 0,0499 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
120,8	60,26	0,0562
121,9	60,30	547
258,2	57,76	562
260,3	57,83	548
402,2	55,57	551
403,6	55,61	546
515,8	54,13	539
516,4	54,13	539
$k_1=0,0549$		$k_2=0,0550$

Tabelle 323.

Mit 1,02 n. MgCl_2 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
51,00	59,52	0,176
52,87	59,42	175
99,78	56,90	175
102,0	56,80	175
114,1	56,17	175
115,4	56,18	172
203,1	52,59	170
205,0	52,46	171
$k_1=0,174$		$k_2=0,174$

Tabelle 326.

Mit 0,251 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
97,32	60,04	0,0762
98,50	60,03	742
195,6	57,67	756
198,5	57,69	742
328,9	54,83	740
330,3	54,87	732
435,4	53,25	723
436,9	53,24	720
$k_1=0,0740$		$k_2=0,0741$

Tabelle 327.

Mit 1,00 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
81,22	59,08	0,127
82,87	58,97	128
176,6	55,56	126
178,4	55,45	127
238,6	53,65	125
239,7	53,53	126
280,3	52,50	124
281,3	52,53	124
$k_1=0,126$		$k_2=0,126$

Tabelle 328.

Mit 3,01 n. MgSO_4 .

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
12,73	60,84	0,403
14,32	60,60	406
31,18	58,49	388
31,67	58,51	381
70,05	54,41	380
70,40	54,42	378
89,65	52,79	373
$k_1=0,387$		$k_2=0,386$

In der Tabelle (329) sind zur Illustrierung der obigen Ausführungen bei einer Anzahl Reaktionsgeschwindigkeitsmessungen zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen die Konstanten nach verschiedenen Methoden berechnet. In der ersten Spalte sind die Temperaturen, bei denen die Versuche ausgeführt wurden, verzeichnet, in der zweiten der Salzzusatz, in den folgenden unter k_1 das arithmetische Mittel aus den analytisch für die Anfangszeit berechneten Konstanten, unter b der graphisch unter Berücksichtigung aller gemessenen Resultate gefundene Mittelwert, unter c der Mittelwert nach Schmid berechnet. Die Geschwindigkeitskonstanten unter k_2 sind auf gleiche Weise wie bei k_1 errechnet, mit dem einzigen Unterschied, dass den zwei mittleren Werten bei jeder Reaktion ein doppelt so grosses Gewicht beigelegt worden ist, wie der ersten und der letzten, weil ja die mittleren Messungen viel genauer zu sein pflegen als die übrigen.

Tabelle 329.

			k_1	b	c	k_2
25°	6,00 n. NaNO_3	(Tab. 9)	7,65	7,60	7,35	7,63
25°	0,250 n. KNO_3	(Tab. 24)	4,41	4,41	4,37	4,40
15°	Ohne Zusätze	(Tab. 52)	1,70	1,69	1,62	1,69
15°	1,03 n. CaCl_2	(Tab. 80)	5,50	5,48	5,34	5,50
0°	3,00 n. NaNO_3	(Tab. 91)	0,779	0,772	0,752	0,777
0°	0,0492 n. BaCl_2	(Tab. 105)	0,688	0,690	0,685	0,687

Die Geschwindigkeitskonstanten nach Schmid liegen häufig ausserhalb der experimentell gefundenen Konstantengrenzen und

sind bedeutend kleiner als der gewöhnliche Mittelwert. Die analytische und die graphische Berechnung ergeben mehr oder weniger gleiche Resultate, ebenso fallen die Konstanten unter k_2 mit den zuletzt erwähnten zusammen. Da die graphische Mittelwertberechnung umständlich ist, dabei etwas willkürlich sein muss, und da die Ergebnisse von den Konstanten unter k_1 und k_2 auch nicht viel abweichen, so habe ich für jeden Versuch die Mittelkonstanten nach k_1 und k_2 berechnet. Den mittleren Analysen und den daraus gefundenen Konstanten ein zweimal grösseres Gewicht beizulegen, ist gewiss wieder willkürlich, doch es sei nochmals gesagt, dass die erste und letzte Bestimmung keine solche Genauigkeit haben, wie die zweite und dritte. Bei der ersten Bestimmung ist — wie ja auch die Fehlerrechnung zeigt — der Titrierungsfehler im Vergleich mit den zwei folgenden Bestimmungen am grössten, ebenso ist der Zeitfehler bei dieser Bestimmung grösser als bei den anderen. Bei der letzten Bestimmung ist wegen des Analysierens von 20 ccm Lösung der Titrierungsfehler wieder gross, ausserdem können da verschiedene Störungen und Nebenreaktionen eintreten. Also sind alle späteren Berechnungen mit k_2 -Konstanten ausgeführt worden, die auch mit H o l m b e r g's Ergebnissen gut übereinstimmen.

Die graphische Interpolation aus H o l m b e r g's (29) Daten bei 25° C für 0,02119 m. Natriumhydroxyd und Natriumacetylglykolat ergibt für die Geschwindigkeitskonstante den Wert 3,44, während ich dafür 3,45 gefunden habe; die analytische Berechnung nach Daten desselben Autors (28) bei 25° C für 0,01813 m. Natriumhydroxyd und Natriumdibromsuccinat ergibt für die Geschwindigkeitskonstante 1,68, während der von mir gefundene Wert 1,70 beträgt.

Bei der Reaktion zwischen Persulfat- und Jodionen ist die Übereinstimmung mit P r i c e's (45) Veröffentlichungen weniger gut. Laut S. 478 seiner Arbeit beträgt für die Reaktion zwischen $\frac{1}{80}$ n. $K_2S_2O_8$ und $\frac{1}{40}$ n. KJ die Geschwindigkeitskonstante, auf meine Einheiten umgerechnet, 0,290, während das Mittel aus meinen Bestimmungen 0,317 ist. P r i c e hat gezeigt, dass bei ein und derselben $K_2S_2O_8$ - und KJ-Konzentration die Versuche in Bezug auf den Wert der Geschwindigkeitskonstante nicht vollständig zu reproduzieren sind. Die zu verschiedenen Zeiten gemachten Reaktionsgeschwindigkeitsmessungen haben Resultate

ergeben, die um 5—6% voneinander abweichen. Derselben Erscheinung bin auch ich begegnet, nur dass die Schwankungen kleiner waren und statt 5—6% etwa 2% betragen, wie die Tabelle (330) zeigt:

Tabelle 330.

Datum der Ausführung des Versuches.			
26. 5. 27	Tabelle 148		0,320
25. 3. 28	„ 150		312
25. 4. 28	„ 149		316
2. 5. 28	„ 151		317
16. 6. 28	„ 152		318

Kiss (33) (34) (35) (36) und seine Mitarbeiter haben dieselbe Reaktion untersucht. Kiss' und Bruckner's (35) Konstanten sind etwa um 15% grösser als die von Price, bei der eben genannten Konzentration der reagierenden Stoffe. Daran soll nach diesen Autoren das Kaliumpersulfat schuld sein. Wurde von Kiss und Bruckner das Kaliumpersulfat von Schuchard benutzt, das sie aus Wasser umkristallisiert, mit Alkohol gewaschen, zwischen Filtrierpapier und schliesslich im Exsikkator getrocknet hatten, so war die von ihnen gefundene Reaktionsgeschwindigkeit grösser als bei Price. Wurde von ihnen aber das Merck'sche Präparat gebraucht, so konnten sie die Price'schen Resultate reproduzieren. Dabei ist aus der Arbeit nicht zu ersehen, ob sie das Kaliumpersulfat von Merck gereinigt haben oder nicht. Diese Nichtübereinstimmungen zwingen zu einer Kontrolle der Reproduzibilität meiner Versuche.

Es scheint mir unwahrscheinlich, dass die bei meinen Versuchen benutzten Kaliumpersulfatpräparate von de Haën und Kahlbaum, die zweimal aus Wasser bei 80°C umkristallisiert waren, noch eine Verunreinigung enthalten konnten, die die Reaktion hätte beschleunigen können. Kaliumjodid dagegen kann Verunreinigungen enthalten, da ja die Verbindung schwer umzukristallisieren ist. Darum dürfte man auch erwarten, dass mit Kaliumjodidpräparaten verschiedenen Ursprunges verschiedene Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten erhalten werden. Aus der Tabelle (331) ersieht man, dass die Verschiedenheit der Fabriken bei Persulfat keine Wirkung auf die Veränderung der Geschwindigkeit ausübt. Dasselbe findet man in den Tabellen

(332—334) für Kaliumjodid Kahlbaum'scher, Merck'scher und Baird-Tatlockscher Provenienz. (Der kleinere Wert für die Geschwindigkeitskonstante in den Tabellen ist durch die niedrigere Temperatur bei der Ausführung der Versuche bedingt.)

Tabelle 331.

KJ von Kahlbaum.

Persulfat de Haën.	Persulfat Kahlbaum.
$k_2=0,320$ (Tab. 148)	$k_2=0,312; 0,317; 0,318$
$k_2=0,316$ (Tab. 149)	(Tabellen 150, 151, 152)
Mittel 0,318.	Mittel 0,316.

Tabelle 332.

Persulfat Kahlbaum.
Kaliumjodid Kahlbaum „zur
Analyse“.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
28,35	59,66	0,297
30,47	59,35	311
33,30	59,08	312
63,65	56,29	307
65,80	56,12	306
70,15	55,75	307
99,37	53,56	304
102,8	53,31	304
106,6	53,09	302
123,1	52,23	293
125,8	52,05	293
130,5	51,71	295
$k_1=0,303; k_2=0,304$		

Tabelle 333.

Persulfat Kahlbaum.
Kaliumjodid Merck „pro ana-
lysi neutr.“

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
29,33	59,53	0,304
30,62	59,32	312
34,53	58,99	306
64,67	56,25	304
66,55	56,07	306
71,00	55,74	303
100,2	53,64	298
103,6	53,35	300
107,3	53,08	300
123,7	52,23	291
127,2	52,05	290
132,1	51,55	297
$k_1=0,301; k_2=0,301$		

Im Zusammenhang mit dem oben Gesagten könnte die Frage der Reproduzierbarkeit der Versuche in Salzlösungen auftauchen, wenn man zum Zusatze Salze verschiedenen Ursprungs benutzt. Diesbezügliche Versuche habe ich während der Arbeit fortwährend ausgeführt, indem ich Salze von verschiedenen chemischen Fabriken sowohl untereinander als auch mit den von mir selbst umkristallisierten verglich. Ich konnte keinen Unterschied fest-

Tabelle 334.

Persulfat Kahlbaum.

Kaliumjodid Baird-Tatlock.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k	t	$(a-x) \times 2510,0$	k
30,02	59,48	0,302	101,2	53,53	0,299
32,70	59,17	306	104,5	53,37	296
35,38	58,95	302	108,5	52,92	303
65,27	56,19	305	125,0	52,10	293
67,80	56,01	303	129,7	51,86	291
72,00	55,64	304	132,9	51,44	299

$k_1=0,300; k_2=0,301$

stellen. In der Tabelle (335) sind zwei Reihen solcher Versuche zusammengefasst, die in einem Zeitraum von einem Jahr ausgeführt wurden. In der einen Reihe benutzte ich de Haën's Persulfat und Kahlbaum'sche Salze „zur Analyse“, in der anderen Kahlbaum'sches Persulfat und de Haën'sche „garantiert reine“ Reagenzien als hinzugefügte Salze.

Tabelle 335.

Persulfat de Haën.
Salze — Kahlbaum „Zur
Analyse“.

0,250 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ $k_2=0,677$ (Tabelle 206)
0,245 n. MgCl_2 $k_2=0,648$ (Tabelle 231)
0,250 n. NaNO_3 $k_2=0,543$ (Tabelle 174)

Persulfat Kahlbaum.
Salze — de Haën „garan-
tiert rein“.

0,251 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ $k_2=0,684$ (Tabelle 207)
0,256 n. MgCl_2 $k_2=0,657$ (Tabelle 232)
0,263 n. NaNO_3 $k_2=0,554$ (Tabelle 175)

In Gegenwart von Ammonsalzen wird ein Teil des ausgeschiedenen Jods durch das durch die Hydrolyse gebildete Ammoniak verbraucht. Man findet also in der Lösung eine kleinere Menge von Jod, als tatsächlich ausgeschieden worden ist (1) (42).

Zur Bestimmung der nötigen Korrektur fügte ich ein bekanntes Quantum von ca 0,01 n. Jodlösung zu der in einem Mess-

kolben befindlichen Ammonsalzlösung hinzu. Die untersuchten Lösungen waren 0,25 n., 1 n., 2,5 n. bzw. 3 n. in Bezug auf Ammonsalz. Der Messkolben stand im Thermostaten. Nach verschiedenen Zeitintervallen titrierte ich die Lösung teilweise, oder aber alles auf einmal. Die Differenz zwischen dem jetzt in Lösung befindlichen und dem hinzugefügten Jod ergibt die Korrektur. Es stellte sich heraus, dass der Jodverbrauch von der Zeit in den Grenzen von 5 bis 40 Minuten nicht abhängt. Ammonchloridlösungen zeigen bei allen Konzentrationen und Temperaturen keinen Jodverbrauch. In Ammonnitrat- und Ammonsulfatlösungen fehlte der Jodverbrauch bei 0° und 15° ebenfalls. Ausserdem ist für Ammonnitratlösungen bei 25° eine Korrektur nur in 3 n. bzw. 6 n. Lösungen nötig, und zwar beträgt sie 0,6% bzw. 1%. Für Ammonsulfatlösungen von den Konzentrationen 0,250 n., 1,00 n., 3,00 n. bzw. 6,00 n. wurden Korrekturen von der Grösse 0,8%, 1,4%, 1,4% bzw. 2% gefunden. Dabei hängt die prozentuale Korrektur nicht von dem Quantum des zugesetzten Jodes ab.

K i s s und seine Mitarbeiter haben noch gefunden, dass die Differenz der Geschwindigkeitskonstanten bei ihren Versuchen etwa 10% beträgt, wenn man die Anfangs- und Endwerte vergleicht, und zwar sind die Endwerte die kleineren. Diese Forscher haben die Konstanten für jedes Zeitintervall berechnet.

Man erhält nach K i s s die Geschwindigkeitskonstanten ohne den „Gang“, wenn man annimmt, dass das bei der Reaktion gebildete Jod einen Teil der Jodionen unter Bildung von Trijodionen bindet, und dass Trijodionen nicht reaktionsfähig sind. Auch P r i c e hat das Fallen der Zahlenwerte der Konstanten bemerkt und angenommen, dass das Trijodion nicht so energisch reagiert wie das Jodion. Bei meinen Versuchen ist das Abnehmen der Geschwindigkeitskonstanten nicht so bedeutend wie bei K i s s. Deshalb ist es, besonders wenn man die Seite 13 erwähnten Möglichkeiten, die den „Gang“ verursachen können, im Auge behält, wohl überflüssig, die Annahme von K i s s bei der Geschwindigkeitskonstantenberechnung zu verwenden. Die auf Grund der Indifferenz des Trijodions dem Persulfat gegenüber berechneten Konstanten differieren von den gewöhnlichen nur unbedeutend, und dazu ist ihre Berechnung viel umständlicher.

4. Über die Reaktionsgeschwindigkeit in verdünnten Salzlösungen.

Die von Brönsted (8) (9) verallgemeinerte Gleichung für eine zwischen Ionen verlaufende bimolekulare Reaktion



lautet:

$$h = k_R k_M C_A C_B \frac{f_A f_B}{f_{AB}}$$

Hier versteht man unter h die Reaktionsgeschwindigkeit; C_A , C_B und f_A , f_B bedeuten die Konzentrationen bzw. die Aktivitätskoeffizienten (so wie sie thermodynamisch von Lewis (38) definiert worden sind) der betreffenden Stoffe, und f_{AB} bedeutet den Aktivitätskoeffizienten eines aus beiden Stoffen sich bildenden, sogenannten „kritischen Komplexes“ (Brönsted). k_R ist eine von der Reaktion, nicht aber vom Medium, und k_M eine vom Medium, nicht aber von der Reaktion abhängige Konstante. Für verdünnte Lösungen vereinfacht sich diese Gleichung zu

$$h = k_{RM} C_A C_B \frac{f_A f_B}{f_{AB}}$$

wo k_{RM} das Produkt der beiden Faktoren k_R und k_M ist. Der Faktor $\frac{f_A f_B}{f_{AB}}$ wird von Brönsted „der kinetische Aktivitätsfaktor“ genannt.

Brönsted hat seine Gleichung durch experimentelles Material zu bestätigen versucht, wobei er nur die Veränderungen der Aktivitätskoeffizienten in Betracht gezogen hat, mit anderen Worten, er hat angenommen, dass k_M unveränderlich und die spezifische Wirkung der Salze ganz unbedeutend ist.

Zur Bestimmung der Aktivitätskoeffizienten von Ionen können wir prinzipiell den experimentellen oder den theoretischen Weg wählen. Die experimentelle Bestimmung ist mit Potentialmessungen verbunden, und zwar mit solchen, die eine Flüssigkeitspotentialdifferenz enthalten. Da die letztere unbestimmt ist, so ist es unmöglich, den Aktivitätskoeffizienten experimentell unmittelbar genau zu messen. Theoretisch dagegen könnten dafür drei Methoden in Betracht kommen: die von Debye-Hückel (16),

die L e w i s - R a n d a l l'sche (38) „Hypothese von den unabhängigen Aktivitätskoeffizienten der Ionen“ und das B r ö n s t e d'sche (10) „Prinzip der spezifischen Ionenwirkung“.

Nach D e b y e - H ü c k e l haben wir für verdünnte Elektrolytlösungen

$$-\log f_A = 0,501 z_A^2 \sqrt{\mu} \frac{1}{1 + 0,328 \cdot 10^8 a \sqrt{\mu}}$$

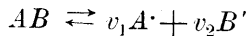
wobei f_A der Aktivitätskoeffizient eines Ions A , z_A die Ladung desselben Ions, μ die gesamte Ionenstärke der Lösung, und a der Ionendurchmesser ist.

Das Gesetz ist als ein Grenzgesetz anzusehen, und es erlangt unbeschränkte Gültigkeit im Falle unendlich verdünnter Lösungen. Seine Anwendbarkeitsgrenzen für endliche Konzentrationen sollen die Experimente bestimmen.

Es steht nicht besser mit der L e w i s - R a n d a l l'schen Hypothese, die ebenfalls als eine Grenzhypothese anzusehen ist, und die lautet: „in einer verdünnten Lösung hängt der Aktivitätskoeffizient eines jeden Ions nur von der Gesamtionenstärke der Lösung ab“. Setzt man dazu den Aktivitätskoeffizienten irgendeines Ions fest, so kann man mit Hilfe der thermodynamischen Gleichung

$$f_{AB}^v = f_A^{v_1} f_B^{v_2}$$

wo



und

$$v = v_1 + v_2$$

aus dem Aktivitätskoeffizienten eines Salzes denjenigen der einzelnen Ionen bestimmen.

Bei der Reaktion zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen wird der Ausdruck des kinetischen Aktivitätsfaktors

$$F = \frac{f_{OH'} \times f_{acetylgl.}}{f_{OH' + acetylgl.}}$$

sein. Nach der D e b y e - H ü c k e l'schen Theorie erhalten wir für $\log F$

$$\log F = 2,0,501 \sqrt{\mu} \frac{1}{1 + 0,328 \cdot 10^8 a \sqrt{\mu}}$$

und hieraus, wenn wir für alle beteiligten Ionen den gleichen Durchmesser $a = 3,76 \cdot 10^{-8}$ annehmen,

Tabelle 336.

μ	F
0,0424	1,46
0,0924	1,66
0,1174	1,74

Die Grösse μ ist gleich 0,0424, wenn die reagierenden Stoffe je 0,02119 m. sind und Zusätze fehlen; gleich 0,0924, wenn die Reaktion in 0,05 n. Lösung eines ein-einwertigen Salzes verläuft; und gleich 0,1174, wenn das Salz zwei-einwertig oder ein-zweiwertig und die Lösung 0,05 n. in Bezug auf Salz ist.

Aus den Lewis-Randall'schen Angaben erhalten wir, für die zwei ersten μ -Werte interpolierend und den letzten Wert extrapolierend

Tabelle 337.

μ	F
0,0424	1,67
0,0924	1,88
0,1174	1,97

wenn wir den Aktivitätskoeffizienten des Acetylglykolations gleich dem Aktivitätskoeffizienten von ClO_3' , JO_3' , BrO_3' , und den Aktivitätskoeffizienten des kritischen Komplexes gleich demjenigen des Sulfations setzen.

In der zitierten Brönsted'schen Arbeit befinden sich auch Mittelwerte der Aktivitätskoeffizienten, die aber von den Lewis-Randall'schen abweichen. Der Aktivitätskoeffizient eines Ions hängt nach Brönsted in erster Linie von seiner Wertigkeit und der Äquivalentkonzentration der als Lösungsmittel dienenden Salzlösung ab. Ist das Ion mehrwertig, so zeigt sich ferner der elektrische Typus des Lösungsmittels als von Bedeutung, da der Aktivitätskoeffizient viel kleiner ist, wenn das Lösungsmittel mehrwertige Ionen von entgegengesetztem Zeichen enthält. Die für Aktivitätskoeffizienten von Brönsted gegebenen Werte gelten für den Fall, wenn in der Lösung entgegengesetzt geladene Ionen von nur einer Wertigkeit auftreten. Da bei meinen Versuchen diese Voraussetzung nur dann erfüllt war, wenn das Kation des

hinzugefügten Salzes einwertig war, sind die nach Brönsted'schen Aktivitätskoeffizienten berechneten Werte des kinetischen Aktivitätsfaktors für zweiwertige Kationen enthaltende Salze nur dann gültig, wenn in der Lösung statt der zum Teil einwertigen (von Natriumhydroxyd, Kaliumpersulfat und Kaliumjodid stammenden) Kationen lauter zweiwertige vorhanden sind.

Aus der Brönsted'schen Arbeit finden wir

Tabelle 338.

c	F_{Me}	$F_{Me'}$
0,0424	0,99	1,41
0,0924	1,12	1,68

c ist die Äquivalentkonzentration der Lösung, F_{Me} der kinetische Aktivitätsfaktor in einer Salzlösung, die einwertige Kationen enthält, und $F_{Me'}$ derselbe Faktor in einer Salzlösung, wo zweiwertige Kationen vorhanden sind.

In der Tabelle (339) findet man die experimentell gefundenen Geschwindigkeitskonstanten in 0,0500 n. Salzlösung und daneben für dieselbe Salzkonzentration die nach Debye-Hückel,

Tabelle 339.

Hinzugefügtes Salz	Geschwindigkeitskonstante				
	gefunden in 0,05 n. Lösung	berechnet nach			gefunden in 0,25 n. Lösung
		Debye-Hückel	Lewis-Randall	Brönsted	
NaNO ₃	3,85	3,92	3,88	3,90	4,52
NaClO ₃	3,75	3,92	3,88	3,90	4,45
Na ₂ SO ₄	3,83	4,11	4,07	3,90	4,52
KCl	3,85	3,92	3,88	3,90	4,46
KNO ₃	3,76	3,92	3,88	3,90	4,40
K ₂ SO ₄	3,85	4,11	4,07	3,90	4,62
LiCl	3,92	3,92	3,88	3,90	4,62
Li ₂ SO ₄	3,93	4,11	4,07	3,90	4,73
BaCl ₂	4,80	4,11	4,07	5,85	6,19
Ba(NO ₃) ₂	4,58	4,11	4,07	5,85	5,65
SrCl ₂	4,89	4,11	4,07	5,85	6,35
Ca(NO ₃) ₂	6,29	4,11	4,07	5,85	9,15

Lewis-Randall und Brönsted berechneten Werte, denen der ohne Salzzusätze ermittelte Wert 3,45 zur Grundlage dient. In der letzten Spalte derselben Tabelle finden sich die experimentellen Werte für die Geschwindigkeitskonstante in 0,250 n. Salzlösung.

Sowohl nach Debye-Hückel als nach Lewis-Randall müssten die Geschwindigkeitskonstanten in allen 0,05 n. ein-einwertigen Salzlösungen keine Unterschiede zeigen. Ebenso müsste man in ein-zweiwertigen oder zwei-einwertigen Salzlösungen untereinander gleiche Geschwindigkeitskonstanten erhalten, die im allgemeinen grösser wären als die entsprechenden Konstanten einer ein-einwertigen Lösung von derselben Äquivalentkonzentration. Man sieht wirklich, dass die Geschwindigkeitskonstanten in Gegenwart von NaNO_3 -, NaClO_3 -, KCl -, KNO_3 - und LiCl -Zusätzen untereinander gleich sind und mit den auf Grund Debye-Hückel'scher, Lewis-Randall'scher bzw. Brönsted'scher Aktivitätskoeffizienten berechneten gut übereinstimmen. Die Sulfate entsprechen der Regel nicht — die Geschwindigkeitskonstante ist kleiner als die Theorie es verlangt.

Die Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten bei zweiwertigen Metallsalzen sind dagegen erstens grösser, als nach Debye-Hückel bzw. Lewis-Randall zu erwarten wäre, und zweitens hängen sie stark vom Kation ab — sie steigen nämlich beim Übergang von Barium zu Strontium und Kalzium. Statt des berechneten Wertes 4,11 bzw. 4,07 findet man entsprechend 4,80, 4,89, 6,29, oder statt 19,1% bzw. 18,0% Erhöhung eine von 39,1, 41,7 bzw. 82,3%. Dabei darf man auch den Einfluss der Anionen nicht übergehen — bei Barium- und Kalziumnitratlösungen ist die Geschwindigkeit kleiner als bei Chloridlösungen (siehe auch Tabelle 340).

Vergleicht man die experimentellen Ergebnisse mit den nach Brönsted'schen Aktivitätskoeffizienten berechneten kinetischen Aktivitätsfaktoren und den daraus folgerichtig erhaltenen Geschwindigkeitskonstanten, so findet man eine bessere Übereinstimmung zwischen gefundenen und berechneten Werten. Nach Brönsted soll überhaupt kein Unterschied bestehen zwischen den Geschwindigkeitskonstanten der Lösungen, die Salze der Typen $\text{e} \cdot \text{e}$ enthalten, was ja auch die Messungen bei $(\text{Na}_2, \text{K}_2, \text{Li}_2)\text{SO}_4$ und Chlorid- bzw. Nitrat-Lösungen ergeben haben. Weiter ergibt sich nach Angaben Brönsted's für die

Geschwindigkeitskonstante einer zweiwertige Kationen enthaltenden Salzlösung, bei $c=0,0924$, der Wert 5,85, gegenüber dem Debye-Hückel'schen bzw. Lewis-Randall'schen Wert 4,11 bzw. 4,07. Dabei gilt der Brönsted'sche Wert 5,85 für den Fall, wenn die Lösung nur zweiwertige Kationen enthält, wobei $C_{Ba^{2+}}$ bzw. $C_{Sr^{2+}}$ oder $C_{Ca^{2+}}$ gleich 0,0924 äq/Lit. ist. Die von mir gefundenen Konstanten 4,80, 4,89, 6,29 sind bei einer Reaktion gemessen, die in einer Lösung verläuft, wo $C_{Ba^{2+}}$, $C_{Sr^{2+}}$, $C_{Ca^{2+}} = 0,0500$ äq/Lit, und $C_{Na^{+}} = 0,0424$ ist. Wenn diese Lösung keine Na-Ionen, sondern nur solche von Ba, Sr und Ca enthielte, wären die Konstanten also grösser. Aller Wahrscheinlichkeit nach steigen sie aber bei Barium- und Strontiumsalzen nicht bis 5,85, wogegen sie bei Kalziumsalzen beinahe den Wert 7,0 erreichen. Man sieht, dass die Übereinstimmung mit dem Brönsted'schen Wert 5,85 doch besser ist als diejenige mit dem Lewis-Randall'schen und dem Debye-Hückel'schen 4,07 bzw. 4,11.

In Tabelle (340) findet man die experimentellen, bei 15,0° und 0,0° bestimmten Geschwindigkeitskonstanten. Wie ein Vergleich mit den für 25,0° gegebenen Geschwindigkeitskonstanten zeigt, bleiben die Verhältnisse beim Übergang von einem Salz zu einem anderen bei diesen Temperaturen wie bei 25,0° bestehen.

Tabelle 340.

Hinzugefügtes Salz	Temperatur 15,0°		Temperatur 0,0°	
	0,05 n.	0,25 n.	0,05 n.	0,25 n.
NaNO ₃	1,87	2,13	0,561	0,650
NaClO ₃	1,85	2,16	0,559	0,647
KCl	1,85	2,17	0,566	0,648
LiNO ₃	1,89	2,21	0,560	0,664
BaCl ₂	2,30	2,85	0,690	0,853
SrCl ₂	2,33	2,94	0,694	0,857
CaCl ₂	2,83	4,16	0,803	1,15
Ca(NO ₃) ₂	2,80	4,06	0,796	1,12

Bei den Reaktionen zwischen Dibromsuccinat- und Hydroxylionen bzw. Persulfat- und Jodionen befindet sich im Nenner des Brönsted'schen kinetischen Aktivitätsfaktors der Aktivitätskoeffizient eines dreiwertigen Ions. Es ist bewiesen (11)

(37), dass die aus der Debye-Hückel'schen Theorie abgeleitete Gleichung als Grenzesetz für die Aktivitätskoeffizienten solcher (dreiwertiger) Ionen gültig ist, diese Gültigkeit aber bei viel niedrigeren μ -Werten sich zu verlieren beginnt, als bei zweiwertigen oder gar einwertigen Ionen. Deshalb muss man damit rechnen, dass die mit Hilfe der Debye-Hückel'schen Gleichung berechneten kinetischen Aktivitätsfaktoren ziemlich unsicher sind, und dass sie von den tatsächlichen Verhältnissen nur ein grobes Bild geben können.

So berechnet man für die Reaktionen zwischen Dibromsuccinat- und Hydroxylionen und Persulfat- und Jodionen:

Tabelle 341.

Dibromsuccinat- + Hydroxylionen.			Persulfat- + Jodionen.		
	μ	F		μ	F
(Ohne Zusätze)	0,0725	2,54	(Ohne Zusätze)	0,0439	2,16
(0,05 n. Me·S')	0,1225	3,09	(0,05 n. Me·S')	0,0939	2,79
(0,05 n. Me ₂ S'' oder Me·S ₂)	0,1475	3,33	(0,05 n. Me ₂ S'' oder Me·S ₂)	0,1189	3,05
			(0,05 n. Me·S'')	0,1439	3,29

Indem wir nach Lewis-Randall für ein dreiwertiges Ion die entsprechenden Werte des La^{+++} und $\text{Fe}(\text{CN})_6'''$ nehmen und dann inter- und extrapolieren, finden wir

Tabelle 342.

μ	F
0,0439	1,05
0,0725	1,05
0,0939	0,98
0,1189	0,99
0,1225	1,01
0,1439	0,93
0,1475	0,97

Man sieht, dass die nach Lewis-Randall berechneten kinetischen Aktivitätsfaktoren beinahe keine Veränderung zeigen. Die Bedeutung der Salzkonzentration muss demnach für die Geschwindigkeitskonstanten auch gleich Null sein — was aber tatsächlich nicht der Fall ist. Die Angaben über Aktivitätskoeffizienten dreiwertiger Ionen, die bei Lewis-Randall zu finden sind,

scheinen zu gross zu sein. Aus den Brönsted'schen Zahlen findet man für die kinetischen Aktivitätsfaktoren der mich interessierenden Konzentrationen die Werte

Tabelle 343.

c	F_{Me}	$F_{Me'}$
0,0375	2,10	3,12
0,0544	2,29	3,80
0,0875	2,51	4,89
0,1044	2,67	5,07

Alle hier berechneten kinetischen Aktivitätsfaktoren sind noch bedeutend ungenauer als diejenigen für Reaktionen zwischen einwertigen Ionen. Wie schon erwähnt, ist dies durch das Vorkommen des Aktivitätskoeffizienten eines dreiwertigen Ions in dem Faktor bedingt. Je grösser die Ladung einer Ionenart, um so stärker und bei um so niedrigeren Konzentrationen offenbaren sich die Eigenheiten der Ionen. Diese Eigenheiten können so stark hervortreten, dass man auf Grund von Analogien nichts mehr über den zu erwartenden Wert des Aktivitätskoeffizienten aussagen darf. Natürlich verliert dadurch der Brönsted'sche kinetische Aktivitätsfaktor, als eine ausserhalb der experimentellen Tatsachen stehende Grösse, seine Bedeutung.

Tabelle 344.

Hinzugefügtes Salz	Geschwindigkeitskonstante			
	gefunden in 0,05 n. Salz- lösung	berechnet		gefunden in 0,25 n. Salz- lösung
		nach Debye- Hückel	nach Brönsted	
NaNO ₃	2,09	2,07	1,98	3,00
NaClO ₃	—	2,07	1,98	3,04
LiNO ₃	2,33	2,07	1,98	3,73
KNO ₃	—	2,07	1,98	3,10
BaCl ₂	4,83	2,23	3,76	9,66
SrCl ₂	5,28	2,23	3,76	10,4
Ca(NO ₃) ₂	9,61	2,23	3,76	16,8

In der Tabelle (344) sind die gefundenen und die berechneten Werte der Geschwindigkeitskonstante für die Reaktion zwischen Dibromsuccinat- und Hydroxylionen wiedergegeben. Daraus ist

zu ersehen, dass bei 0,05 n. NaNO_3 -, NaClO_3 - und KNO_3 -Lösungen die Geschwindigkeitskonstante um 23% wächst, bei der LiNO_3 -Lösung dagegen um 37%. Für 0,05 n. NaClO_3 - und KNO_3 -Lösungen habe ich zwar die Geschwindigkeitskonstanten nicht gemessen, wohl aber kann man nach den Resultaten bei 0,25 n. Salzlösungen, zum Teil auch nach *H o l m b e r g*'s Messungen, mit völliger Gewissheit darauf schliessen, dass die genannten Konstanten den entsprechenden bei der NaNO_3 -Lösung gleich sind. Bei allen erwähnten Salzlösungen muss man mit *D e b y e - H ü c k e l*'schen sowie *B r ö n s t e d*'schen Aktivitätskoeffizienten gleiche Geschwindigkeitskonstanten erhalten. Dabei muss nach *B r ö n s t e d* mit 17% Erhöhung und nach *D e b y e - H ü c k e l* mit 22% Erhöhung der Konstanten bei 0,05 n. ein-einwertigem Salzzusatz gerechnet werden. Barium-, Strontium- und Kalziumsalze müssten wiederum in Bezug auf die Geschwindigkeitskonstante eine Gruppe bilden, in der der Konstantenwert grösser ist als bei einer ein-einwertigen Salzlösung, und in der die Unterschiede der einzelnen Konstanten klein sind. Die Geschwindigkeitskonstante steigt aber in dieser Reihenfolge der erwähnten Kationen von 4,83 über 5,28 bis 9,61. Nach *D e b y e - H ü c k e l* muss der Wert der Geschwindigkeitskonstante ungefähr 2,23 betragen, nach *B r ö n s t e d* soll er ebenfalls kleiner sein als 3,76, weil dieser Wert ja die Voraussetzung enthält, dass in der Lösung nur zweiwertige Kationen vorhanden seien, was aber bei meinen Versuchen nie der Fall war.

Auffallend ist die Wirkung der Kalziumionen: 0,05 n. Zusatz beschleunigt die Reaktion schon so stark, dass die Geschwindigkeitskonstante von 1,70 auf 9,61 steigt. Der Zuwachs beträgt 465%.

Bei 0,25 n. Lösungen bleiben die Verhältnisse die gleichen.

Am besten ist die Reaktion zwischen Persulfat- und Jodionen untersucht. Grösstenteils deshalb, weil hierbei die Anwendungsmöglichkeit von Salzen bedeutend grösser ist als bei solchen Reaktionen, an denen auch Hydroxylionen teilnehmen. Für die genannte Reaktion findet man in der Tabelle (345) neben den in 0,05 n. Salzlösung bei 25,0° ermittelten Geschwindigkeitskonstanten auch die entsprechenden nach *D e b y e - H ü c k e l* bzw. *B r ö n s t e d* berechneten Werte. In der folgenden Tabelle (346) sind die Geschwindigkeitskonstanten für dieselbe Reaktion bei 15,0° und 0,0° wiedergegeben.

Tabelle 345.

Hinzugefügtes Salz	Geschwindigkeitskonstanten				
	gefunden in 0,05 n. Salz- lösung	berechnet		gefunden in 0,10 n. Salz- lösung	gefunden in 0,25 n. Salz- lösung
		nach Debye- Hückel	nach Brönsted		
KCl	0,459	0,409	0,379	0,571	0,891
KNO ₃	0,446	0,409	0,379	0,561	0,823
K ₂ SO ₄	0,430	0,448	0,379	0,522	0,775
NaCl	0,374	0,409	0,379	—	0,568
NaNO ₃	0,363	0,409	0,379	—	0,543
NaClO ₃	0,368	0,409	0,379	—	0,559
Na ₂ SO ₄	0,357	0,448	0,379	—	0,516
LiCl	0,353	0,409	0,379	—	0,496
Li ₂ SO ₄	0,349	0,448	0,379	—	0,469
NH ₄ Cl	0,417	0,409	0,379	—	0,767
NH ₄ NO ₃	0,413	0,409	0,379	—	0,738
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,400	0,448	0,379	—	0,680
BaCl ₂	0,682	0,448	0,738	—	1,27
SrCl ₂	0,533	0,448	0,738	—	0,903
CaCl ₂	0,485	0,448	0,738	—	0,774
Ca(NO ₃) ₂	0,484	0,448	0,738	—	0,750
MgCl ₂	0,433	0,448	0,738	—	0,652
MgSO ₄	0,403	0,483	0,738	—	0,557

Der Vergleich von Anionen ein und desselben Metalles (ein- oder zweiwertig) zeigt nach experimentellen Daten bei 25,0° eine unterschiedliche Wirkung von Chlorid, Nitrat und Sulfat. Es hat nämlich die Geschwindigkeitskonstante den kleinsten Wert bei einer Sulfatlösung, einen höheren bei Nitrat- und den höchsten bei Chloridlösung. Die Gesetzmässigkeit von 0,05 n. Lösungen findet man auch bei 0,25 n. Lösungen und niedrigeren Temperaturen wieder. Dagegen müsste nach Debye-Hückel, wie aus Tabelle (345) zu ersehen, die Geschwindigkeitskonstante in der Sulfatlösung bedeutend grösser sein als in Nitrat- oder Chloridlösung desselben Kations, während nach Brönsted kein Unterschied zwischen Sulfationen und anderen Anionen besteht.

Tabelle 346.

Hinzugefügtes Salz	Geschwindigkeitskonstante			
	Temperatur 15,0°		Temperatur 0,0°	
	in 0,05 n. Salzlösung	in 0,25 n. Salzlösung	in 0,05 n. Salzlösung	in 0,05 n. Salzlösung
KCl	0,221	0,434	0,0674	0,136
NaNO ₃	0,179	0,265	0,0524	0,0758
NaClO ₃	—	—	0,0520	0,0765
LiNO ₃	—	—	0,0493	—
Li ₂ SO ₄	0,164	0,218	0,0483	0,0622
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,197	0,332	0,0582	0,0980
BaCl ₂	0,325	0,606	0,101	0,195
SrCl ₂	0,252	0,424	0,0739	0,125
CaCl ₂	0,228	0,361	0,0662	0,105
Ca(NO ₃) ₂	—	—	0,0650	0,0991
MgCl ₂	—	—	0,0600	0,0890
MgSO ₄	0,191	0,260	0,0550	0,0740

Die spezifische Wirkung von Kationen, mit der wir schon bei früher erörterten Reaktionen bekannt geworden sind, ist auch bei dieser Reaktion ziemlich stark, obgleich man diese Tatsache weder nach Brönsted noch nach Debye-Hückel erwarten könnte.

In 0,05 n. und 0,25 n. Lösungen und bei allen Temperaturen haben Li-Ionen die geringste steigernde Wirkung auf die Geschwindigkeitskonstante. Sie werden von Natriumionen, diese wiederum von Ammoniumionen überholt; Kaliumionen schliesslich haben von den einwertigen Kationen die grösste beschleunigende Wirkung. Der diesbezügliche Unterschied von Kationen ist keineswegs geringfügig zu nennen, denn 0,05 n. Lithiumchloridzusatz z. B. vergrössert die Geschwindigkeitskonstante um 11,4%, während der entsprechende KCl-Zusatz eine Steigerung von 44,8% verursacht. Bei der Reaktion zwischen Persulfat- und Jodionen haben Lithiumionen also eine schwächere Wirkung, während sie bei der Reaktion zwischen Acetylglykolationen und Hydroxylionen mit Natrium- und Kaliumionen auf ziemlich gleicher Stufe standen, und bei der Reaktion zwischen Dibromsuccinat- und Hydroxylionen schliesslich, eine grössere Wirkung als K⁺ und Na⁺ hatten.

Durch Kalium- und Ammoniumionen wird ein grösserer Wert der Geschwindigkeitskonstante erzielt als nach Brönsted berechnet wird, während sie bei Lithium- und Natriumsalzen mit dem Brönsted'schen Werte ungefähr übereinstimmt. Dagegen haben von den ein-einwertigen Salzen in Wirklichkeit nur die Ammoniumsalze die nach Debye-Hückel berechnete Wirkung, während sie bei Kaliumsalzen grösser und bei Natrium- bzw. Lithiumsalzen kleiner ist.

Barium-, Strontium- und Kalziumionen wirken auf die Geschwindigkeit dieser Reaktion wiederum anders. Bei den vorigen zwei Reaktionen stieg der Wirkungsgrad der genannten Ionen in der gegebenen Reihenfolge, während bei dieser Reaktion gerade das Gegenteil eintritt — die Wirkung fällt in derselben Reihenfolge. Kalziumchlorid hat bei 0,05 n. Lösung bei 25,00° und 15,00° eine nur wenig grössere Wirkung als Kaliumchlorid, aber schon bei 0,00°, oder in 0,25 n. Lösungen bei allen Temperaturen, wirkt Kaliumchlorid stärker. Ebenso verhält sich die Sache bei Strontiumchlorid — die Wirkung bei 0,25 n. Lösungen und den Temperaturen von 15,00° und 0,00° ist schwächer als bei Kaliumchlorid.

Nach Brönsted sowohl als nach Debye-Hückel müsste zwischen den Lösungen ein bedeutender Unterschied bestehen, je nachdem sie ein- oder zweiwertige Kationen enthalten. Der von Debye-Hückel geforderte Wert 0,448 für die Geschwindigkeitskonstante wird nur bei Magnesiumchloridlösung nicht erhalten, und den Brönsted'schen Wert 0,738 erreicht man eventuell nur bei Bariumchloridlösung, wenn man sich die Voraussetzungen vergegenwärtigt, unter denen die Geschwindigkeitskonstante berechnet wurde.

Der grosse Unterschied zwischen Barium und Kalzium in 0,05 n. Lösungen — bei Bariumchlorid Steigerung der Konstanten um 115%, bei Kalziumchlorid um 53,0% — gehört zur spezifischen Wirkung der betreffenden Salze.

Nach Brönsted gehören Magnesiumchlorid wie Magnesiumsulfat zur Gruppe der Ba-, Sr-, Ca-Salze, während nach Debye-Hückel nur Magnesiumchlorid dazu gerechnet wird, weil Magnesiumsulfat eine stärkere Wirkung haben soll. Die experimentellen Ergebnisse aber stellen erstens für Magnesiumsulfat eine bedeutend geringere Wirkung fest als für Magnesiumchlorid, und zweitens stellen sie Magnesiumchlorid in der Wirkung sogar hinter Kalziumchlorid zurück. In dieser Hinsicht übertrifft

das Magnesiumchlorid das Ammoniumchlorid nur um ein wenig bei 0,05 n. Lösung und 25,0°, während bei einer 0,25 n. Lösung beide Salze sich umgekehrt verhalten. Ganz analog hat Magnesiumsulfat bei 0,05 n. Lösung und 25,0° denselben Wirkungsgrad wie Ammonsulfat, während bei anderen Temperaturen und 0,25 n. Lösungen das Ammonsulfat stärker ist.

Bei dieser Reaktion sieht man die spezifischen Ionenwirkungen stark hervortreten. Auch die Änderungen der Temperatur und der Konzentrationen bleiben nicht, wie bei den ersten Reaktionen, belanglos für die Veränderungen der gegenseitigen Verhältnisse der Ionen in Bezug auf die Reaktionsgeschwindigkeit.

Auf Grund der von mir erhaltenen Resultate kann man zusammenfassend sagen, dass es mit Hilfe der Brönste'schen Theorie möglich ist die qualitative Wirkung von Neutralsalzen vorauszusagen. Die quantitative Übereinstimmung der Theorie mit den Tatsachen lässt aber viel zu wünschen übrig, besonders dann, wenn bei den Versuchen die in der Lösung vorhandenen, aber an der Reaktion nicht teilnehmenden Ionengattungen variiert werden. Bessere Resultate ergeben sich beim Vergleichen der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten unter Berücksichtigung der gesamten Ionenstärke der Lösung, wenn nur die Konzentrationen, nicht die Neutralsalze selbst verändert werden.

5. Über die Reaktionsgeschwindigkeit in konzentrierten Salzlösungen.

Als konzentrierte Lösungen bezeichne ich die von mir gemessenen Lösungen von 0,25 n. an. Eine solche Grenze zwischen verdünnten und konzentrierten Lösungen ist durch die Anwendbarkeitsgrenzen der Brönste'schen Theorie bedingt. Bei 0,25 n. Salzlösungen hat man mindestens mit einer ca 0,3 n. Gesamtionenkonzentration zu rechnen, weil die Ionenkonzentration der reagierenden Stoffe in Summa ungefähr 0,05 n. beträgt. Bei solchen Lösungen (0,3 n.) sind die individuellen Unterschiede der Ionenaktivitätskoeffizienten ziemlich gross. Und gerade wegen der Unbestimmbarkeit des kinetischen Aktivitätsfaktors einer-

seits und wegen der Ungültigkeit der Brönsted'schen Annahmen für konzentrierte Lösungen andererseits ist hier diese Teilung vorgenommen worden.

Bei 0,25 n. Salzlösung kann das Vorhandensein von zwei Kationengattungen in der Lösung störend wirken. Das Natrium- und das Kaliumion stammen aus den reagierenden Stoffen, das andere Kation aus dem hinzugesetzten Salz. Aber schon in 1 n. Lösung ist das Kation des hinzugefügten Salzes in grossem Überschuss vorhanden, und man kann praktisch die Lösung so betrachten, als wenn sie nur eine einzige Art von Kationen enthielte.

Die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der hinzugefügten Neutralsalzmenge bei höheren Konzentrationen der Salzlösungen ist nur von Timofejew, Muchin und Gurewitsch (52), in letzter Zeit auch von Kiss und seinen Mitarbeitern untersucht worden. Die erstgenannten Autoren haben hauptsächlich die Wirkung des Natriumchlorids auf die Reaktion zwischen Ferri- und Stannoionen beobachtet. Sie arbeiten mit Lösungen, die in Bezug auf Natriumchlorid bis 2,5 n. waren. Dabei wurde auch die Wirkung der Temperatur nicht ausser Acht gelassen. Sie haben gefunden, dass die Reaktionsgeschwindigkeit mit steigender Natriumchloridkonzentration ebenfalls stets stieg, und die Reaktionsordnung von der dritten zur zweiten überging. Die Reaktion zwischen Perfulfat- und Jodionen haben Kiss und Bruckner (35) sowie Kiss und Bossányi (36) zum Objekt ihrer Untersuchungen gemacht. Die Versuche haben sie nur bei 25° ausgeführt und dabei auch einige von mir benutzte Neutralsalze gebraucht. Die Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten, die sich in den Arbeiten dieser Autoren finden, stimmen aber miteinander nicht überein, ganz abgesehen davon, dass die Absolutwerte der Konstanten in beiden Arbeiten verschieden sind.

In den folgenden Tabellen (347 bis 353) sind die Ergebnisse meiner Messungen, beginnend mit Lösungen mit 0,25 n. Salzzusatz, übersichtlich angeordnet. Die Geschwindigkeitskonstanten sind, wenn nötig, für die in den Tabellen angegebenen Konzentrationen graphisch inter- oder extrapoliert. Die extrapolierten Werte sind in Klammern eingeschlossen.

Tabelle 347.

Acetylglykolat- + Hydroxylionen.

Temperatur 25,00.

Salz	0,250 n.	0,750 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	6,00 n.
NaNO ₃	4,52	—	5,17	—	5,78	7,63
NaClO ₃	4,45	—	5,29	—	6,17	8,10
Na ₂ SO ₄	4,52	—	5,89	—	9,53	—
KCl	4,46	—	5,46	—	6,67	—
KNO ₃	4,40	—	4,98	—	—	—
K ₂ SO ₄	4,62	—	5,93	—	—	—
LiCl	4,62	—	5,30	—	—	—
LiNO ₃	—	—	5,24	—	—	—
Li ₂ SO ₄	4,73	—	6,32	—	—	—
BaCl ₂	6,19	—	7,34	(9,58)	—	—
Ba(NO ₃) ₂	5,65	6,33	—	—	—	—
SrCl ₂	6,35	—	7,68	—	(11,1)	—
Ca(NO ₃) ₂	9,15	—	11,6	—	15,4	—

Tabelle 348.

Acetylglykolat- + Hydroxylionen.

Temperatur 15,00.

Salz	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	6,00 n.
NaNO ₃	2,13	2,43	—	2,76	3,54
NaClO ₃	2,16	2,52	—	2,90	3,68
KCl	2,17	2,55	—	3,10	—
LiNO ₃	2,21	2,45	—	—	—
BaCl ₂	2,85	3,37	4,25	—	—
SrCl ₂	2,94	3,49	—	(4,81)	—
CaCl ₂	4,16	5,45	—	7,87	(13,6)
Ca(NO ₃)	4,06	5,18	—	6,75	—

Tabelle 349.

Acetylglykolat- + Hydroxylionen.

Temperatur 0,00.

Salz	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	5,00 n.	6,00 n.
NaNO ₃	0,650	0,705	—	0,777	—	0,990
NaClO ₃	0,647	0,732	—	0,823	0,933	—

Salz	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	5,00 n.	6,00 n.
KCl	0,648	0,736	—	0,846	—	—
LiNO ₃	0,664	0,720	—	—	—	—
BaCl ₂	0,835	0,940	1,13	—	—	—
SrCl ₂	0,857	0,970	—	(1,22)	—	—
CaCl ₂	1,15	1,50	—	2,16	—	(4,09)
Ca(NO ₃) ₂	1,12	1,40	—	1,80	—	—

Tabelle 350.

Dibromsuccinat- + Hydroxyllionen.

Temperatur 25,0°.

Salz	0,250 n.	1,00 n.	2,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	4,00 n.	6,00 n.
NaNO ₃	3,00	5,10	7,40	—	—	12,5	18,7
Na ₂ SO ₄	—	5,00	—	—	12,1	—	—
NaClO ₃	3,04	5,27	—	—	10,6	—	—
LiNO ₃	3,73	6,91	—	—	—	—	—
KNO ₃	3,10	5,37	—	9,33	—	—	—
BaCl ₂	9,66	19,4	—	—	—	—	—
SrCl ₂	10,4	18,5	—	—	—	—	—
Ca(NO ₃) ₂	16,8	—	—	—	—	—	—

Tabelle 351.

Persulfat- + Jodionen.

Temperatur 25,0°.

Salz	0,250 n.	0,500 n.	1,00 n.	2,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	4,00 n.	5,00 n.	6,00 n.
KCl	0,891	—	2,22	—	—	6,77	—	—	—
KNO ₃	0,823	1,17	1,74	2,68	—	—	—	—	—
K ₂ SO ₄	0,775	—	1,77	—	—	—	—	—	—
NaCl	0,568	—	1,20	—	—	3,78	—	9,00	—
NaNO ₃	0,543	—	1,04	—	—	2,34	—	—	4,63
NaClO ₃	0,559	—	1,10	—	—	2,58	—	—	4,91
Na ₂ SO ₄	0,516	—	0,990	—	—	2,79	—	—	—
LiCl	0,496	—	0,978	—	—	—	—	—	—
Li ₂ SO ₄	0,469	—	0,848	—	—	2,53	—	—	—
NH ₄ Cl	0,767	—	1,86	—	—	5,75	—	12,0	—
NH ₄ NO ₃	0,738	—	1,62	—	—	3,87	—	—	7,61
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,677	—	1,46	—	—	4,19	—	—	13,9
BaCl ₂	1,27	—	2,75	—	7,38	—	—	—	—
SrCl ₂	0,903	—	1,90	—	—	6,61	—	—	30,0
CaCl ₂	0,774	—	1,57	—	—	5,66	—	—	27,8
Ca(NO ₃) ₂	0,750	—	1,39	—	—	3,51	—	—	9,49
MgCl ₂	0,652	—	1,24	2,39	—	4,26	7,75	—	(23,6)
MgSO ₄	0,557	—	0,951	—	—	2,74	—	7,90	—

Tabelle 352.

Persulfat- + Jodionen.

Temperatur 15,0°.

Salz	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	6,00 n.
KCl	0,434	1,10	—	3,26	—
NaNO ₃	0,265	0,501	—	1,10	2,10
Li ₂ SO ₄	0,218	0,399	—	1,19	—
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,332	0,725	—	2,08	7,22
BaCl ₂	0,606	1,34	3,51	—	—
SrCl ₂	0,424	0,890	—	(3,12)	—
CaCl ₂	0,361	0,740	—	2,60	(13,4)
MgSO ₄	0,260	0,451	—	1,31	—

Tabelle 353.

Persulfat- + Jodionen.

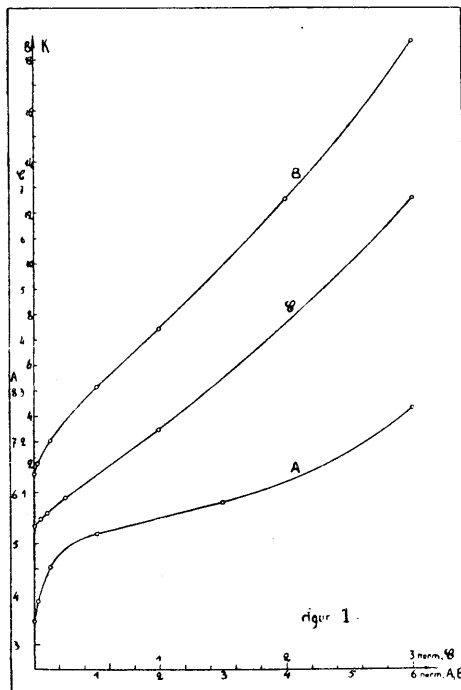
Temperatur 0,0°.

Salz	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	5,00 n.	6,00 n.
KCl	0,136	0,347	—	0,989	—	—
NaNO ₃	0,0758	0,141	—	0,312	—	5,95
NaClO ₃	0,0765	0,143	—	0,313	0,464	—
Li ₂ SO ₄	0,0622	0,112	—	0,356	—	—
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,0980	0,216	—	0,640	—	2,22
BaCl ₂	0,195	0,418	1,09	—	—	—
SrCl ₂	0,125	0,265	—	(0,943)	—	—
CaCl ₂	0,105	0,216	—	0,775	—	(3,90)
Ca(NO ₃) ₂	0,0991	0,180	—	0,442	—	—
MgCl ₂	0,0890	0,172	—	0,603	—	—
MgSO ₄	0,0740	0,126	—	0,385	—	—

Ein Blick auf die Tabellen lehrt uns, dass bei allen Reaktionen die Werte der Geschwindigkeitskonstanten mit wachsender Neutralsalzkonzentration steigen. Zeichnet man die Resultate graphisch auf, so erhält man Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurven, die einen Wendepunkt aufweisen. Sind auf die Abzissenachse die Äquivalenzkonzentrationen des hinzugefügten Salzes und auf die Ordinatenachse die entsprechenden Geschwindigkeitskonstanten abgetragen, so sieht man, dass die Kurve, in Bezug auf die wachsenden Salzkonzentrationen, flacher wird und

durch einen Wendepunkt geht, um dann wieder steiler anzusteigen. In Fig. 1 sind die Kurven wiedergegeben, die das Gesagte illustrieren.

Die Kurve A zeigt die Veränderung der Geschwindigkeitskonstanten bei der Reaktion zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen in Abhängigkeit von Natriumnitratzusätzen, die



Kurve I verbildlicht dasselbe bei der Reaktion zwischen Dibromsuccinat und Hydroxylionen, ebenfalls in Natriumnitratlösung, und die Kurve C bezieht sich auf die Reaktion zwischen Persulfat- und Jodionen mit einem Kaliumchloridzusatz. Bei allen diesen Reaktionen war die Temperatur 25,0° C. Der Wendepunkt ist bei der Kurve A scharf ausgeprägt, bei den Kurven B und C jedoch nicht so augenfällig. In der Tabelle (354) sind für diese drei Kurven die Steigungen für die zwei nebeneinander stehenden, experimentell bestimmten Konzentrationen berechnet. Wie man sieht, gehen die Steigungen durch ein Minimum.

Tabelle 354.

K u r v e

A	B	C
8,00	7,80	2,84
3,35	4,55	2,24
0,87	2,80	2,14
0,31	2,30	1,77
0,62	2,55	2,28
	3,10	

Betrachten wir jetzt die Tabelle (351), die die Ergebnisse der Geschwindigkeitskonstantenmessungen bei der Reaktion zwischen Persulfat- und Jodionen bei 25,0° wiedergibt, näher. Versucht man im allgemeinen die Geschwindigkeitskonstanten bei höheren Konzentrationen der Neutralsalze mit denjenigen bei niedrigeren Konzentrationen — also bei 0,25 n. — zu verbinden, so scheint dies auf den ersten Blick aussichtslos. In der Tabelle (355) ist eine Reihe von aufs Geratewohl gewählten Salzen miteinander verglichen. Die erste Spalte nennt die Salze, die zweite betrifft die Verhältnisse der Geschwindigkeitskonstanten bei 6 n. Lösung, und die dritte dieselben bei 0,25 n. Lösung.

Tabelle 355.

Verhältnis der Geschwindigkeitskonstanten in

Salze	6,00 n. Lösung	0,250 n. Lösung
$\text{SrCl}_2 : \text{CaCl}_2$	1,08	1,17
$\text{CaCl}_2 : \text{MgCl}_2$	1,18	1,19
$\text{NaClO}_3 : \text{NaNO}_3$	1,06	1,01
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 : \text{MgSO}_4$	1,76	1,22
$\text{MgSO}_4 : \text{NaNO}_3$	1,71	1,01
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 : \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1,47	0,907
$\text{SrCl}_2 : \text{NaNO}_3$	6,48	1,63
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 : \text{NH}_4\text{NO}_3$	1,83	0,921

Wir sehen, dass die relative Wirkung auf die Geschwindigkeitskonstanten sich zuweilen mit der Konzentration des Salzes nicht ändert, wie z. B. bei Kalzium- und Magnesiumchlorid; zuweilen aber vermindert sich der Unterschied in der Salzwirkung, z. B. bei Strontium- und Kalziumchlorid. Die Unterschiede in den

Wirkungen können bei höheren Konzentrationen zuweilen viel stärker hervortreten, wie bei Strontiumchlorid und Natriumnitrat, oder bei Magnesiumsulfat und Natriumnitrat, u. s. w. Es gibt aber auch einige Fälle, wo ein Salz, das in verdünnter Lösung ein schwächeres Beschleunigungsvermögen besass als ein anderes, bei höheren Konzentrationen dasselbe in der Wirkung bedeutend übertrifft, wie es bei Ammonsulfat und Kalziumnitrat, oder bei Ammonsulfat und Ammonnitrat der Fall ist.

Wenn wir aber Salze mit gemeinsamen Kationen oder Anionen betrachten, lässt sich hierbei eine gewisse Regelmässigkeit nicht ableugnen. Schon bei meinen Erörterungen über 0,05 n. Salzzusätze im vorigen Abschnitt habe ich gezeigt, dass bei dieser Reaktion sich ein Unterschied zwischen den Chloriden, Nitraten und Sulfaten ein und desselben Metalles zeigt. Rein qualitativ hängt dieser Unterschied vom Metalle nicht ab. Viel ausgeprägter erscheint er aber bei konzentrierten Lösungen der verschiedenen Salze eines Metalles. Die Tabelle (356) nennt in der ersten Spalte die Salze, in der zweiten die Normalität des Salzzusatzes, bei dem die in der dritten Spalte verzeichneten Verhältnisse der Geschwindigkeitskonstanten gefunden wurden, und in der letzten dieselben Verhältnisse bei 0,25 n. Salzlösungen.

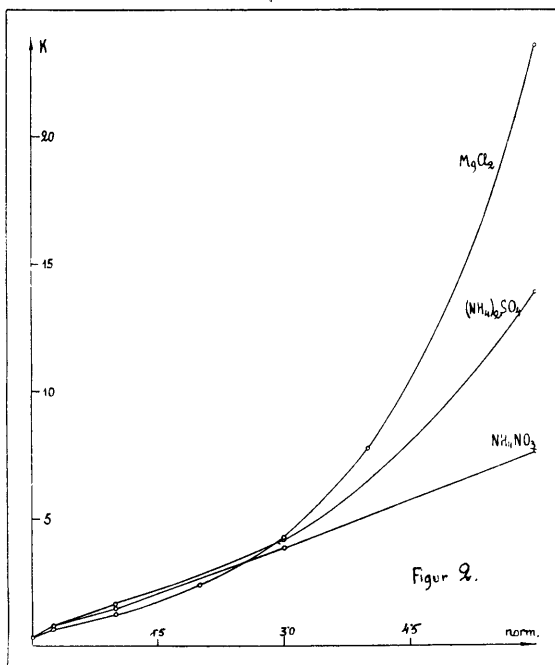
Tabelle 356.

Salze	Normalität	Verhältnis der Geschwindigkeitskonstanten in	
		der gegebenen Lösung	0,250 n. Lösung
$\text{CaCl}_2 : \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	6 n.	2,93	1,03
$\text{NH}_4\text{Cl} : \text{NH}_4\text{NO}_3$	5 n.	1,79	1,04
$\text{NaCl} : \text{NaNO}_3$	5 n.	2,34	1,03
$\text{KCl} : \text{KNO}_3$	2 n.	1,98	1,08

Wie man sieht, sind in der Tabelle (356) die Werte der Geschwindigkeitskonstanten für Nitrate und Chloride eines Metalles gegeben: und wiederum sind die Unterschiede zwischen ihnen in konzentrierten Lösungen immer grösser als in verdünnten.

Wenn alle Angaben der Tabelle (351) in ein und demselben Massstabe in das Koordinatensystem eingetragen werden und man dann die Schnittpunkte der resultierenden Kurven betrachtet, so sieht man, dass bei höheren Konzentrationen der hinzugefügten Salze (von ca 0,6 n. Lösungen an) die bei Chloridlösun-

gen gemessenen Geschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurven die entsprechenden Kurven bei Sulfat- und Nitratlösungen schneiden. Ebenso schneiden sich die Kurven bei Sulfatlösungen und Nitratlösungen. Mit anderen Worten — die Steigung der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurven hängt bei konzentrierten Lösungen hauptsächlich von dem Anion des verwendeten Neutralsalzes ab. Die Steigung der Kurven bei



Chloridlösungen ist grösser als bei Sulfatlösungen, und bei diesen wiederum grösser als bei Nitratlösungen.

Zur genaueren graphischen Darstellung der Resultate müsste man einen ziemlich grossen Massstab gebrauchen, denn sonst kämen die Kurven bei niedrigeren Salzkonzentrationen einander zu nahe. Deshalb habe ich die Zeichnung hier nicht wiedergegeben. Fig. 2 zeigt nur den charakteristischen Verlauf von einigen Kurven. Im folgenden zähle ich die Schnittpunkte der Kurven auf. Die Kurve mit dem an erster Stelle verzeichneten Salzzusatz schneidet die Kurve, deren Salzzusatz die zweite Stelle einnimmt; die entsprechenden Konzentrationen sind in Klammern ge-

setzt. Diese Schnittpunkte kann man durch die Angaben der Tabelle (354) kontrollieren.

$\text{Li}_2\text{SO}_4\text{—NaNO}_3$ (2,6 n.); $\text{MgSO}_4\text{—NaNO}_3$ (2,0 n.); $\text{MgSO}_4\text{—NH}_4\text{NO}_3$ (4,4 n.); $\text{MgSO}_4\text{—Ca}(\text{NO}_3)_2$ (4,6 n.); $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{—NaNO}_3$ (1,6 n.); $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{—Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,6 n.); $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{—NH}_4\text{NO}_3$ (2,2 n.); $\text{K}_2\text{SO}_4\text{—KNO}_3$ (1,0 n.).

$\text{NaCl—Ca}(\text{NO}_3)_2$ (2,4 n.); $\text{NaCl—NH}_4\text{NO}_3$ (3,2 n.); $\text{MgCl}_2\text{—Ca}(\text{NO}_3)_2$ (1,6 n.); $\text{MgCl}_2\text{—NH}_4\text{NO}_3$ (2,4 n.); $\text{MgCl}_2\text{—}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (2,9 n.); $\text{CaCl}_2\text{—KNO}_3$ (1,3 n.); $\text{NH}_4\text{Cl—K}_2\text{SO}_4$ (0,6 n.); $\text{NH}_4\text{Cl—KNO}_3$ (0,6 n.); $\text{CaCl}_2\text{—NH}_4\text{NO}_3$ (1,1 n.).

Es kommt nur zweimal vor, dass die einer Sulfatlösung entsprechende Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurve von einer zu einer Chloridlösung gehörigen geschnitten wird. Die Seltenheit eines solchen Falles ist dadurch bedingt, dass von den fünf zur Messung gekommenen Sulfaten die Kaliumsulfatlösung nur um wenig konzentrierter als 1 normal bereitet werden kann, und dass die bei Natriumsulfat-, Lithiumsulfat- und Magnesiumsulfatlösungen gefundenen Kurven niedriger verlaufen als alle Kurven bei Chloridlösungen.

In Tabelle (357) sind die Steigungen der Kurven für je zwei aufeinander folgende Neutralsalzzusätze berechnet. In der ersten Vertikalreihe stehen die hinzugefügten Salze, in der zweiten die Steigung der Geschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurven zwischen 0,05 n. Salzlösung und neutralsalzfrier Lösung, in den folgenden Reihen die Steigung zwischen den am Anfang der Reihe verzeichneten Neutralsalzzusätzen.

Tabelle 357.

Persulfat- + Jodionen.

Temperatur 25,0°.

Salz	0,0500 n.	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	5,00 n.	6,00 n.
	und salzfrei	und 0,0500 n.	und 0,250 n.	und 1,00 n.	und 1,00 n.	und 3,00 n.	und 3,00 n.
KCl	2,84	2,16	1,77	—	2,28	—	—
KNO ₃	2,58	1,89	1,22	—	—	—	—
K ₂ SO ₄	2,26	1,73	1,33	—	—	—	—
NaCl	1,14	0,97	0,84	—	1,29	2,61	—
NaNO ₃	0,92	0,90	0,66	—	0,65	—	0,76

Salz	0,0500 n. und salzfrei	0,250 n. und 0,0500 n.	1,00 n. und 0,250 n.	2,50 n. und 1,00 n.	3,00 n. und 1,00 n.	5,00 n. und 3,00 n.	6,00 n. und 3,00 n.
NaClO ₃	1,02	0,96	0,72	—	0,74	—	0,78
Na ₂ SO ₄	0,80	0,80	0,63	—	0,90	—	—
LiCl	0,72	0,72	0,64	—	—	—	—
Li ₂ SO ₄	0,64	0,58	0,51	—	0,84	—	—
NH ₄ Cl	2,00	1,75	1,46	—	1,45	3,13	—
NH ₄ NO ₃	1,92	1,63	1,18	—	1,13	—	1,25
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,66	1,40	1,04	—	1,37	—	3,24
BaCl ₂	7,30	2,94	1,97	3,09	—	—	—
SrCl ₂	4,32	1,85	1,33	—	2,36	—	7,80
CaCl ₂	3,36	1,45	1,06	—	2,05	—	7,38
Ca(NO ₃) ₂	3,34	1,33	0,85	—	1,06	—	1,99
MgCl ₂	2,32	1,10	0,78	—	1,51	—	6,45
MgSO ₄	1,72	0,77	0,53	—	0,89	2,58	—

Erstens ergibt diese Tabelle, dass alle obengenannten Kurven Wendepunkte haben, da die Kurvensteigungen durch ein Minimum gehen. Bei zwei Salzen — Kaliumnitrat und Kaliumsulfat — gelangt man infolge geringer Löslichkeit noch nicht bis zum Wendepunkte der Kurve, und bei Lithiumchlorid sind wiederum die Versuche früher unterbrochen worden. Bei Natriumsulfat und Lithiumchlorid sind die beiden ersten Steigungen einander gleich, was wohl darauf zurückzuführen ist, dass Natrium- und Lithiumionen eine schwächere Wirkung haben als Kaliumionen. Wäre das ursprüngliche Kaliumpersulfat und Kaliumjodid durch Natriumpersulfat und Natriumjodid, bzw. Lithiumsulfat und Lithiumjodid ersetzt worden, dann hätten wir statt des jetzt erhaltenen Wertes 0,317 für die Geschwindigkeitskonstante einen kleineren Wert erhalten, und bei 0,05 n. Lösung würde man eine grössere Steigung erzielt haben. Ebenso resultiert jetzt infolge zu starker Bariumionenwirkung in 0,05 n. Lösung eine Steigung von 7,30.

Aus dieser Tabelle ergibt sich auch, dass die Wendepunkte der Kurven bei Nitratlösungen im allgemeinen bei einer höheren Konzentration liegen, als bei Chlorid- und Sulfatlösungen. Für Natrium-, Ammonium- und Kalziumionen ist es ohne Zweifel so, während bei Kaliumnitrat infolge der geringeren Löslichkeit des Salzes der Wendepunkt noch nicht erreicht ist, und man deshalb über dieses Salz nichts Bestimmtes aussagen kann.

Wir finden in derselben Tabelle, dass bei ein und demselben Kation die Geschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurven bei

Chloridlösungen, und zwar bei allen Konzentrationen derselben, steiler ansteigen, als dieselben Kurven bei Nitrat- oder Sulfatlösungen. Besonders zwischen 3 und 6 normalen Lösungen von Strontium-, Kalzium- und Magnesiumchlorid weisen die Steigungen der Kurven enorm grosse Werte auf. Wegen der begrenzten Löslichkeit von Kaliumchlorid sind wir verhindert, einen bestimmten Schluss darüber zu ziehen, inwiefern diese starke Steigung nur den Chloriden zweiwertiger Metalle eigen sein sollte. Letzteres ist freilich wahrscheinlich, denn Natriumchlorid und Ammoniumchlorid zeigen geringere Steigungen der Kurven, und dasselbe könnte man auch bei Kaliumchlorid erwarten, da die Steigung hier zwischen 1 n. und 0,25 n. Lösung 1,77 und zwischen 3,0 n. und 1,0 n. Lösung 2,28 ist, wogegen sie bei Strontiumchlorid zwischen den entsprechenden Lösungen 1,33 bzw. 2,36 beträgt.

Die Steigungen der Geschwindigkeitskonstanten-Konzentrationskurven zeigen bei Nitrat- und Sulfatlösungen insofern eine Eigentümlichkeit, als sie bei niedrigeren Konzentrationen beim Nitrate steiler sind; bei höheren Salzkonzentrationen verhalten sie sich dagegen gerade umgekehrt — bei Sulfatlösungen haben sie eine grössere Steigung als bei Nitratlösungen. Der Umschwung tritt bei Kaliumionen zwischen 0,25 n. und 1,0 n. Lösungen, bei Natrium- und Ammoniumionen zwischen 1,0 n. und 3,0 n. Lösungen ein.

Ogleich die Kurvensteigungen bei ein und demselben Kation nur von dem Anion abhängen, übt das Kation doch eine grosse spezifische Wirkung aus. Die spezifische Wirkung des Kations äussert sich in dem Absolutwerte der Steigung. Mit dieser Wirkung könnte man auch den eben erwähnten Unterschied in der Steigung bei Chloridlösungen ein- und zweiwertiger Metalle erklären. Infolge spezifischer Kationenwirkung schneidet die Kurve des Kalziumchlorids diejenige des Ammoniumchlorids und die Kurve des Kalziumnitrats diejenige des Ammoniumnitrats.

Auf Grund spezifischer Kationenwirkungen lassen sich also die Unterschiede in dem Absolutwerte der Steigung bei ein und demselben Anion, aber verschiedenen Kationen erklären. Durch die spezifische Kationenwirkung ist aber auch erklärlich, dass z. B. die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante bei der Sulfatlösung eines Kations eine grössere Steigung aufweist als bei der Chloridlösung eines anderen Kations, wie es u. a. bei Ammonsulfat- und Natriumchloridlösungen der Fall ist.

Infolge gleichzeitigen Auftretens der Kationen- und Anionenwirkungen in konzentrierten Lösungen können die relativen Verhältnisse der Geschwindigkeitskonstanten grössere Werte gerade bei solchen Lösungen erreichen. In 0,25 n. Salzlösung besitzt die Konstante den grössten Wert bei Bariumchlorid — 1,27 und den kleinsten bei Lithiumsulfat — 0,469; das Verhältnis der beiden Werte ist 2,71. In 6 n. Lösung aber findet sich der grösste Konstantenwert bei Kalziumchlorid — 30,0 und der kleinste bei Natriumnitrat — 4,63, das Verhältnis beträgt also 6,48.

Wenn wir uns nun auch die relative Steigung der Reaktionsgeschwindigkeit klarmachen wollen, so kann uns dabei die Tabelle (358) helfen. In der ersten Spalte sind die Salze vermerkt, in der zweiten die Konzentrationen und in der dritten das Verhältnis der bei den genannten Salzlösungen und der ohne Zusätze gefundenen Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten. In 6 n. Strontiumchloridlösung verläuft — wie die Tabelle zeigt — die Reaktion beinahe hundertmal schneller als in reinem Wasser. Andere Salze haben keine so stark beschleunigende Wirkung, doch erreicht auch bei dem am schwächsten wirkenden Salze — Natriumnitrat — die Reaktionsgeschwindigkeit in 6 n. Lösung einen 14,6-fachen Wert.

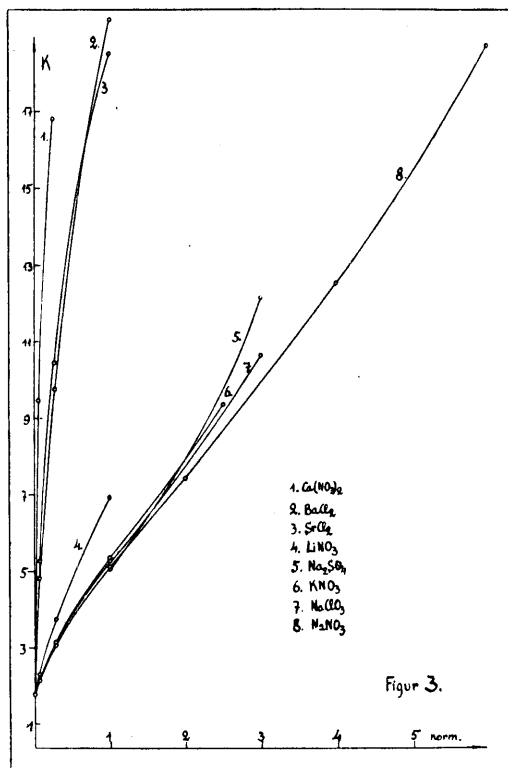
Tabelle 358.

Salz	Normalität	Verhältnis der Geschwindigkeitskonstanten
NaNO ₃	6 n.	14,6
NaClO ₃	6 n.	15,5
NaCl	5 n.	28,4
KCl	3 n.	21,4
NH ₄ Cl	5 n.	37,9
NH ₄ NO ₃	6 n.	24,0
(NH ₄) ₂ SO ₄	6 n.	43,8
BaCl ₂	2,5 n.	23,3
SrCl ₂	6 n.	94,6
CaCl ₂	6 n.	87,7
Ca(NO ₃) ₂	6 n.	29,9
MgCl ₂	6 n.	74,4
MgSO ₄	5 n.	24,9

Der Einfluss der Temperatur wird im folgenden Abschnitt zur näheren Besprechung gelangen, doch wäre an dieser Stelle zu

bemerken, dass sich die Verhältnisse in den Grenzen von 15,0⁰ bis 0,0⁰ nicht wesentlich ändern.

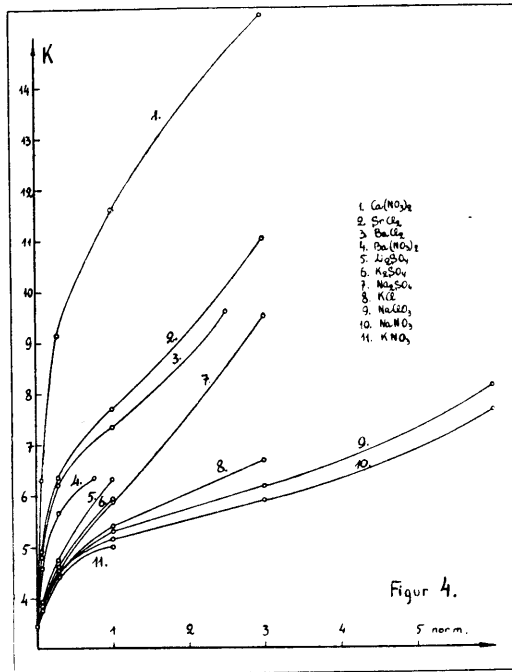
Bei der Reaktion zwischen Dibromsuccinat- und Hydroxylionen finden wir die Regelmässigkeiten der Konstantenveränderungen wieder. Die Zeichnung 3 zeigt die Resultate. Auf die Ordinate sind die Geschwindigkeitskonstanten und auf die Abszisse die Konzentrationen der hinzugefügten Salze abgetragen. Bei den den Natriumsulfat- und Natriumnitratzusätzen ent-



sprechenden Kurven ist der Wendepunkt deutlich zu sehen. Dasselbe dürfte man auch von Kaliumnitrat und Natriumchlorat erwarten, wenn ich sie bei höheren Konzentrationen hätte untersuchen können. Mit höheren Konzentrationen von Barium-, Strontium- und Kalziumsalzen sind die Versuche wegen zu grosser Beschleunigung der Reaktionsgeschwindigkeit aus technischen Gründen nicht ausgeführt worden.

Wegen des zu kleinen experimentellen Materials kann man die Gültigkeit der bei der Persulfat-Jodreaktion gefundenen Gesetz-

mässigkeit in Bezug auf Anionenwirkung hier nicht kontrollieren. Zwar schneidet die Natriumsulfatlösungskurve diejenigen von Kaliumnitrat, Natriumnitrat und Natriumchlorat, wie dies ja bei der genannten Reaktion nach der Analogie zu erwarten war, aber der Fall steht einzeln da, und es wäre falsch, daraus auf die allgemeine Gültigkeit der Regel zu schliessen.



Sonst sieht man die schon bei 0,05 n. Salzlösungen erscheinenden starken spezifischen Kationenwirkungen auch bei höheren Konzentrationen der Lösungen bestehen bleiben.

Solche Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurven, die einen Wendepunkt haben, findet man auch bei der Reaktion zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen. Fig. 4 stellt die bei 25,0° gemessenen Versuchsergebnisse dar. Die Kurven für Natriumnitrat und Natriumchlorat weisen Wendepunkte auf. Bei den Kurven für Bariumchlorid und Strontiumchlorid scheinen solche ebenfalls vorhanden zu sein, obgleich das experimentelle Material einen derartigen Schluss nicht einwandfrei gestattet. Die Kurven der bei 0,0° und 15,0° gemessenen Reaktion für Kalzium-

chlorid haben ebenfalls einen Wendepunkt. In Bezug auf die Anionenwirkung dürfen wir sagen, dass Chloride die Reaktionsgeschwindigkeit stärker beeinflussen als die entsprechenden Nitrate. Dies ergibt sich aus dem Vergleich zwischen BaCl_2 und $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, CaCl_2 und $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KCl und KNO_3 . Bei LiCl und LiNO_3 ist praktisch kein Unterschied vorhanden. Ebenso wirken Sulfate stärker als Nitrate, wie es für Li_2SO_4 , Na_2SO_4 und K_2SO_4 feststeht. Die Kurven der Sulfate steigen noch steiler an als bei den entsprechenden Chloriden, so dass bei dieser Reaktion die Reihenfolge der Anionen (anders als bei der Persulfat-Jodreaktion) $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3$ ist.

Die unterschiedlichen Kationenwirkungen, von denen bei den 0,05 n. Lösungen schon die Rede war, bleiben auch bei höheren Konzentrationen bestehen.

Die relativen Verhältnisse der Geschwindigkeitskonstanten können je nach dem Salz grösser oder kleiner werden. So z. B. ist das Verhältnis der Konstanten in 0,25 n. Lösung von $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ zu NaNO_3 bei 25,0° — 2,02, dasselbe Verhältnis in 3 n. Lösung unter sonst unveränderten Bedingungen 1,62; und in einer 0,25 n. Kalziumchlorid- und Natriumnitratlösung bei 15,0° — 1,95, in 6 n. Lösung dagegen 3,84.

Es ist von Interesse, die relativen Steigerungen der Reaktionsgeschwindigkeit bei allen drei Reaktionen in Salzlösungen miteinander zu vergleichen. Hierbei kann man sich an die Tabelle (359) halten, worin die Verhältnisse der Geschwindigkeits-

Tabelle 359.

Salz	Normalität	Persulfat- + Jodionen	Dibromsuccinat- + Hydroxylionen	Acetylglykolat- + Hydroxylionen
NaNO_3	6 n.	14,6	11,0	2,2
NaClO_3	6 n.	15,5	—	2,4
NaClO_3	3 n.	8,1	6,2	1,8
Na_2SO_4	3 n.	8,8	7,1	2,8
KNO_3	2 n.	8,4	4,7	—
BaCl_2	1 n.	8,7	11,4	2,1
BaCl_2	2,5 n.	23,3	—	2,8
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	3 n.	11,1	—	4,5
CaCl_2	6 n.	89,9	—	8,1 ¹⁾
SrCl_2	3 n.	20,9	—	3,2

¹⁾ Gilt für 15,0°.

konstanten von Lösungen mit Salzzusatz zu solchen ohne Salzzusatz, für verschiedene Salze, bei möglichst hohen Konzentrationen derselben und bei einer Temperatur von 25,0°, verzeichnet sind. Nach dieser Tabelle üben die Neutralsalze bei der Persulfat-Jodreaktion die grösste Wirkung aus. Dabei muss man sich aber vergegenwärtigen, dass bei der Reaktion von Dibromsuccinat- und Hydroxylionen die stark beschleunigenden Neutralsalze, eben wegen zu schnell wachsender Reaktionsgeschwindigkeit, bei höheren Konzentrationen nicht gebraucht worden sind. Sonst könnte man bestimmt erwarten, dass die Verhältnisse der Geschwindigkeitskonstanten für diese Reaktionen in 6 n. Kalziumchlorid-, 2,5 n. Bariumchlorid-, 3 n. Strontiumchlorid- und 3 n. Kalziumnitratlösung grösser sein werden, als die entsprechenden Verhältnisse bei der Persulfat-Jodreaktion. Man kann nach den in Tabelle (359) enthaltenen, für 1 n. Bariumchloridlösung geltenden Verhältnissen darauf schliessen.

Zum Schluss muss man trotzdem sagen, dass bei Reaktionen zwischen Persulfat- und Jodionen sowie zwischen Dibromsuccinat- und Hydroxylionen die Neutralsalze im allgemeinen in gleicher Weise wirken. Zwar sind zwischen den Wirkungen der einzelnen Salze bedeutende Unterschiede vorhanden, aber sie sind durch die spezifischen Wirkungen der betreffenden Salze zu erklären.

Bei der dritten Reaktion sind wir zu einem solchen Schlusse keineswegs berechtigt. Hier haben die Neutralsalze immer eine viel schwächere Wirkung als bei den beiden anderen Reaktionen. Das geht aus der Tabelle (359) klar genug hervor. Auch in verdünnten Lösungen ist die Neutralsalzwirkung auf diese Reaktion geringer. Dies entspricht der Brönsted'schen Theorie. Den tieferen Grund dafür muss man ihr zufolge darin suchen, dass an der Reaktion zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen zwei einwertige Ionen teilnehmen, während bei den anderen Reaktionen die Ionen ein- und zweiwertig sind. Darum könnte man zu der Annahme geneigt sein, dass auch in konzentrierten Salzlösungen die Ladungen der an der Reaktion teilnehmenden Ionen für die relative Steigerung der Geschwindigkeitskonstanten durch Salzzusatz massgebend sind. Vergleichen wir auf Grund der Arbeiten von Kautz und Robinson (31), B o w e (13), Å k e r l ö f (2), G r u b e und S c h m i d (22) und F r e n c h (21) die Neutralsalzwirkung auf die von den genannten Autoren untersuchten, von Ionen katalysierten Reaktionen, so sehen wir, dass die relative

Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten bei den von Ionen katalysierten Reaktionen von derselben Grössenordnung ist wie bei der zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen verlaufenden Reaktion.

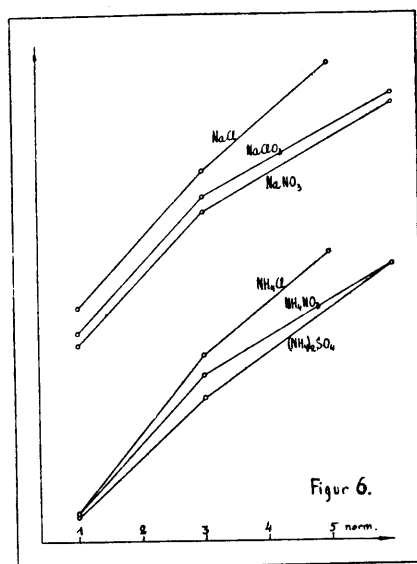
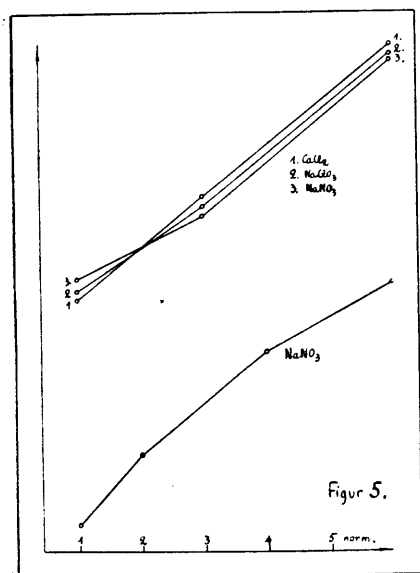
Deshalb scheint mir der Schluss berechtigt, dass bei hochkonzentrierten Salzlösungen — bis 6 n. — die beschleunigende Wirkung der Neutralsalze durch die Ladungsverhältnisse der reagierenden Ionen nicht bestimmt wird. Dies wird auch durch Tatsachen, die im theoretischen Teile der vorliegenden Arbeit besprochen werden, bestätigt.

Für konzentrierte Salzlösungen haben G r u b e und S c h m i d (22) eine „Neutralsalzwirkungsformel“ von der Form

$$\frac{1}{c} \log \frac{K}{K_0} = M$$

gegeben. Danach muss der Logarithmus der Geschwindigkeitskonstante K von der Konzentration c des hinzugefügten Salzes linear abhängen. M ist eine Konstante, von G r u b e und S c h m i d „die spezifische Neutralsalzwirkung“ genannt, und K_0 bedeutet die Geschwindigkeitskonstante derselben Reaktion ohne Salzzusätze. Das Gesetz wurde für die Cyanamidhydrolyse durch Salpetersäure aufgestellt. Auf Grund von aus der Literatur geschöpften Daten sind die genannten Autoren zu dem Schlusse gekommen, dass das Gesetz ganz allgemein für Katalysen gültig ist, sofern die Neutralsalzkonzentration 1 n. überschritten wird. Obgleich meines Erachtens die von mir untersuchten Reaktionen nicht zu den katalytischen im Sinne von G r u b e und S c h m i d gehören, scheint es mir doch wünschenswert, die Gültigkeit der linearen Abhängigkeit des Logarithmus der Geschwindigkeitskonstanten von der Salzkonzentration zu untersuchen, umso mehr als auch von K i s s das Gesetz als für Persulfat-Jodidreaktion richtig angenommen worden ist. Wir können auch gleich sagen, dass die Gleichung für die hier behandelten Reaktionen nicht für das ganze Konzentrationenintervall der hinzugefügten Salze gültig sein kann, weil ja die Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurven Wendepunkte aufweisen, was bei einer logarithmischen Kurve nie der Fall sein kann. Wir können deshalb die Anwendbarkeit der Gleichung nur für Salzkonzentrationen prüfen, die grösser sind als die den Wendepunkten entsprechende. Zur Bestätigung oder Widerlegung des Ge-

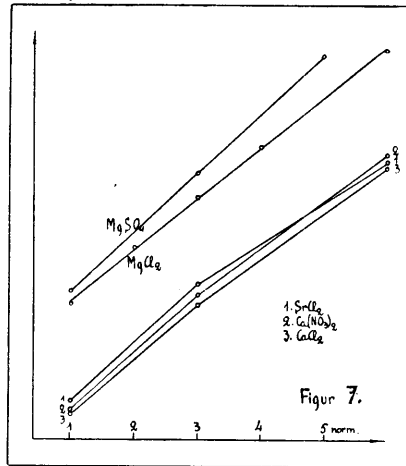
setzes muss man wenigstens drei Punkte der angeblichen Geraden kennen, und da ich die Geschwindigkeitskonstantenbestimmung gewöhnlich in 6 n., 3 n. und 1 n. Lösungen vorgenommen habe, kann man diese Messungen zu Hilfe nehmen. Die in Fig. 5 wiedergegebenen, nahe beieinander liegenden Kurven gelten für die Reaktion zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen, mit Zusätzen von Kalziumchlorid bei 15,0° C, und von Natriumnitrat und Natriumchlorat bei 25,0° C. Die einzeln stehende Kurve gibt den Loga-



rithmus der Reaktionsgeschwindigkeitskonstante (an der Ordinate), abhängig von der Natriumnitratkonzentration (an der Abszisse), bei Dibromsuccinat-Hydroxylionen, und zwar bei einer Temperatur von 25,0°. Nur die bei der Reaktion mit Kalziumchloridzusätzen gemessenen Geschwindigkeitskonstantenlogarithmen stehen auf einer Geraden.

In Fig. 6 sind die Veränderungen des Logarithmus der Geschwindigkeitskonstante bei Persulfat-Jodionenreaktion graphisch verzeichnet. Die oberen drei Kurven gelten für Natriumchlorid-, Natriumchlorat- und Natriumnitratzusätze, die unteren drei für Ammonchlorid-, Ammonnitrat- und Ammonsulfatzusätze. Fig. 7 gibt ein Bild derselben Reaktion, wobei aber die drei beieinanderliegenden Kurven Strontiumchlorid-, Kalziumnitrat- und Kalzium-

chloridwirkung widerspiegeln, die beiden übrigen Magnesiumsulfat- und Magnesiumchloridwirkung. (Die in den Figuren 6 und 7 wiedergegebenen Kurven gelten für 25,0°.) Auch hier liegen die Konstantenlogarithmen-Konzentrationspunkte nur bei Magnesiumsulfat und Magnesiumchlorid auf einer Geraden. Wir müssen darum auf die Anwendung der Grube-Schmi'd'schen



Gleichung bei dem genannten Konzentrationsintervall bei allen drei Reaktionen verzichten. Im folgenden Abschnitt, bei der Erörterung des Temperatureinflusses, werden wir noch auf diese Frage zurückkommen.

6. Über den Einfluss der Temperatur.

Bei der Betrachtung des Einflusses der Temperatur ist es in erster Linie interessant festzustellen, welche Wirkung Neutralsalze auf den Temperaturkoeffizienten der Reaktion (das Verhältnis der Geschwindigkeitskonstanten bei 10,0° Temperaturdifferenz) ausüben. Doch ist es, wie ja auch die theoretische Behandlung der Frage ergibt, nicht zu erwarten, dass hierbei eine einfache Gesetzmässigkeit zutage träte. Mit dem Einfluss von Neutralsalzen auf den Temperaturkoeffizienten der Ionenreaktionen haben sich nur Kiss und Bossányi (34), Timofejew, Muchin und Gurewitsch (52) befasst. Die letztgenannten drei Autoren

sind zu dem Schlusse gekommen, dass ein Neutralsalzzusatz bei der Reaktion zwischen Ferri- und Stannoionen den Temperaturkoeffizienten der Reaktion zwischen $0,0^{\circ}$ und $10,0^{\circ}$ vermindert. In 0,0625 n. bzw. 0,125 n. und 0,3125 n. Natriumchloridlösungen betrug der Temperaturkoeffizient entsprechend 4,97 bzw. 4,86 und 4,71, gegenüber 5,08 in salzfreier Lösung. Bei der Reaktion zwischen Persulfat- und Jodidionen, die bei $0,0^{\circ}$, $25,0^{\circ}$ und $50,0^{\circ}$ und in 0,05 n., 0,5 n. und 2 n. Lösungen von Magnesiumsulfat, Kaliumnitrat, Lithiumchlorid und Natriumsulfat verlief, haben K i s s und B o s s á n y i gefunden, dass der Temperaturkoeffizient durch Neutralsalze nicht geändert wird. Dasselbe hat man auch für Reaktionen gefunden, die zwischen neutralen Molekülen verlaufen, oder auch von Ionen katalysiert werden (Literaturangaben in 17, 32, 46, 49).

Gehen wir bei den von mir untersuchten Reaktionen von derselben Annahme aus, so müssten bei verschiedenen Temperaturen die Verhältnisse der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten bei ein und demselben Salzzusatz einander gleich sein. Nehmen wir immer das Verhältnis von Geschwindigkeitskonstanten, die in salzfreier Lösung gemessen sind, zur Einheit, dann müsste, falls die genannte Annahme richtig wäre, auch bei Salzzusätzen das Verhältnis der Geschwindigkeitskonstanten der Einheit gleich sein. Dass die Sache aber weit komplizierter ist, zeigen die Tabellen (360) bis (363).

In der ersten Vertikalreihe sind die Salzzusätze, in der ersten Horizontalreihe die Normalität der Zusätze vermerkt. In den anderen Reihen finden sich die Verhältnisse der Geschwindigkeitskonstanten bei zwei, in jeder Tabelle verzeichneten Tem-

Tabelle 360.

Acetylglykolat- + Hydroxylionen.

Temperatur $15,0^{\circ}$ und $25,0^{\circ}$.

Salz	0,0500 n.	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	6,00 n.
NaNO ₃	0,991	0,962	0,959	—	0,975	0,947
NaClO ₃	1,007	0,991	0,972	—	0,959	0,927
KCl	0,981	0,993	0,953	—	0,949	—
LiNO ₃	—	—	0,955	—	—	—
BaCl ₂	0,978	0,940	0,937	0,906	—	—
SrCl ₂	0,973	0,946	0,928	—	0,885	—
Ca(NO ₃) ₂	0,911	0,906	0,911	—	0,895	—

Tabelle 361.

Acetylglukolat- + Hydroxylionen.

Temperatur 0,0° und 15,0°.

Salz	0,0500 n.	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	5,00 n.	6,00 n.
NaNO ₃	0,990	1,007	0,958	—	0,929	—	0,923
NaClO ₃	0,997	0,989	0,959	—	0,937	0,922	—
KCl	1,010	0,986	0,953	—	0,901	—	—
LiNO ₃	0,978	0,992	0,970	—	—	—	—
BaCl ₂	0,990	0,968	0,921	0,878	—	—	—
SrCl ₂	0,983	0,962	0,918	—	0,837	—	—
CaCl ₂	0,937	0,912	0,908	—	0,906	—	0,992
Ca(NO ₃) ₂	0,938	0,911	0,892	—	0,880	—	—

Tabelle 362.

Persulfat- + Jodionen.

Temperatur 15,0° und 25,0°.

Salz	0,0500 n.	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	6,00 n.
KCl	1,024	1,036	1,054	—	1,024	—
NaNO ₃	1,049	1,040	1,023	—	1,000	0,965
Li ₂ SO ₄	1,000	0,989	1,001 ^a	—	1,001	—
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,048	1,039	1,056	—	1,057	1,105
BaCl ₂	1,014	1,015	1,037	1,012	—	—
SrCl ₂	1,006	0,999	0,997	—	1,004	—
CaCl ₂	1,000	0,993	1,003	—	0,978	1,026
MgSO ₄	1,008	0,993	1,009	—	1,017	—

Tabelle 363.

Persulfat- + Jodionen.

Temperatur 0,0° und 25,0°.

Salz	0,0500 n.	0,250 n.	1,00 n.	2,50 n.	3,00 n.	5,00 n.	6,00 n.
KCl	1,049	1,090	1,116	—	1,043	—	—
NaNO ₃	1,031	0,997	0,968	—	0,952	—	0,918
NaClO ₃	1,009	0,977	0,928	—	0,864	0,808	—
Li ₂ SO ₄	0,988	0,947	0,943	—	1,003	—	—
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,039	1,029	1,056	—	1,091	—	1,146
BaCl ₂	1,057	1,096	1,085	1,054	—	—	—
SrCl ₂	0,990	0,988	0,996	—	1,019	—	—
CaCl ₂	0,975	0,969	0,982	—	0,978	—	—
Ca(NO ₃) ₂	0,959	0,943	0,925	—	0,899	—	1,002
MgCl ₂	0,990	0,975	0,990	—	1,011	—	—
MgSO ₄	0,976	0,948	0,946	—	1,003	—	—

peraturen, wobei das Verhältnis der bei denselben Temperaturen, aber ohne Zusätze gemessenen Geschwindigkeitskonstanten gleich Eins gesetzt ist. Das Verhältnis ist immer von der Konstanten bei niedriger Temperatur zu der Konstanten bei höherer Temperatur gebildet. So ist z. B. in der Tabelle (360) das Verhältnis

$$\frac{K_{\text{salz}} 15^{\circ}}{K_{\text{salz}} 25^{\circ}} \cdot \frac{K_{\text{salzfrei}} 15^{\circ}}{K_{\text{salzfrei}} 25^{\circ}}$$

wiedergegeben.

Tabelle (360) zeigt, dass bei allen Salzzusätzen, ausgenommen 0,05 n. Natriumchlorat, das Produkt

$$\frac{K_{\text{salz}} 15^{\circ}}{K_{\text{salz}} 25^{\circ}} \times \frac{K_{\text{salzfrei}} 25^{\circ}}{K_{\text{salzfrei}} 15^{\circ}}$$

kleiner als Eins ist. Es ist interessant zu sehen, dass dieses Produkt mit wachsendem Salzzusatz kleiner wird, wenn man einige kleine Abweichungen bei Natriumnitrat, Kalziumnitrat und Kaliumchlorid nicht beachtet. Das Verhältnis $\frac{K_{\text{salz}} 25^{\circ}}{K_{\text{salz}} 15^{\circ}}$ ist also grösser als das entsprechende $\frac{K_{\text{salzfrei}} 25^{\circ}}{K_{\text{salzfrei}} 15^{\circ}}$, oder mit anderen

Worten: in Neutralsalzlösung hat die Reaktion zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen einen grösseren Temperaturkoeffizienten als in salzfreier Lösung. Bedenkt man nun, dass Neutralsalzzusatz die Reaktionsgeschwindigkeit vergrössert, so sieht man, dass die Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit und die Vergrösserung des Temperaturkoeffizienten parallel verlaufen.

Die in Tabelle (361) für 0,0⁰ und 15,0⁰ gegebenen Zahlenwerte sind denjenigen der vorigen Tabelle vollständig analog. Sie alle sind — mit Ausnahme je eines Wertes bei Natriumnitrat und Kaliumchlorid — kleiner als Eins, und werden mit wachsendem Neutralsalzzusatz noch kleiner — Kalziumchlorid in 6 n. Lösung bildet jedoch eine Ausnahme. Die kleinen Unebenheiten in den Tabellen (360) und (361) sind durch Versuchsfehler erklärbar.

Die in den Tabellen (362) und (363) für die Persulfat-Jodionenreaktion gegebenen Zahlen lassen sich der allgemeinen einfachen Gesetzmässigkeit nicht unterordnen. Wenn bei Acetylglykolat- und Hydroxylionenreaktion nur bei 6 n. Kalziumchloridlösung und zwischen 0,0⁰ und 15,0⁰ der Temperaturkoeffizient kleiner war,

als er nach der gefundenen Regel hätte sein dürfen, und zwischen 15,0^o und 25,0^o in Kalziumnitratlösung von der Konzentration nicht abhing, so kann bei der Persulfat-Jodionenreaktion von einer solchen Gesetzmässigkeit überhaupt keine Rede sein. Die Tabellen (362) und (363) enthalten die oben erwähnten Verhältnisse für 15,0^o und 25,0^o, bzw. 0,0^o und 25,0^o. Statt für 0,0^o und 15,0^o sind in der Tabelle (363) diese Verhältnisse für 0,0^o und 25,0^o berechnet, weil bei 15,0^o die Versuche in kleinerer Zahl ausgeführt wurden als bei 0,0^o. Ausserdem sind die Zahlenwerte für 0,0^o und 15,0^o leicht zu erhalten, wenn man nur den entsprechenden Wert aus Tabelle (363) durch denjenigen aus Tabelle (362) dividiert.

Tabelle (362) ergibt, dass der Temperaturkoeffizient der Reaktion zwischen 15,0^o und 25,0^o in Lithiumsulfat-, Strontiumchlorid-, Kalziumchlorid- und Magnesiumsulfatlösungen vom Neutralsalz nicht beeinflusst wird. Dagegen vermindert sich der Koeffizient in Kaliumchlorid-, Natriumnitrat-, Ammoniumsulfat- und Bariumchloridlösungen. Die Wirkung der Konzentration ist hier nicht leicht ersichtlich.

Zwischen 0,0^o und 25,0^o haben Strontiumchlorid und Magnesiumchlorid keinerlei Wirkung auf den Temperaturkoeffizienten. Wohl aber wird er in Gegenwart von Natriumnitrat, Natriumchlorat und Kalziumnitrat bei allen angewandten Konzentrationen vergrössert, dagegen in Gegenwart von Kaliumchlorid, Ammoniumsulfat und Bariumchlorid bei allen Konzentrationen verkleinert. Bei Lithiumsulfat, Kalziumchlorid und Magnesiumsulfat wird der Temperaturkoeffizient — ausgenommen bei grösserem Salzzusatze, wo er unverändert bleibt — wieder vergrössert.

Nach allen diesen Tatsachen ist es also unmöglich, bei der Persulfat-Jodionenreaktion zu irgendeiner Regelmässigkeit in Bezug auf die Wirkung von Neutralsalzen auf die Temperaturkoeffizienten der Reaktion zu gelangen. Doch wären wir wohl berechtigt zu sagen, dass Neutralsalze den Temperaturkoeffizienten der Reaktion nicht immer unverändert lassen, oder dass mit der Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit die Verkleinerung des Temperaturkoeffizienten Hand in Hand geht.

In den vorigen Kapiteln habe ich schon auf einige Gesetzmässigkeiten der Neutralsalzwirkung auf die Reaktionsgeschwindigkeit hingewiesen. Schon damals habe ich den Temperatureinfluss kurz besprochen. Und es hat sich zum Teil schon damals

zeigt, dass Temperaturänderungen diese Gesetzmässigkeiten nicht stören. Wie man aus den Tabellen (360)—(363) ersieht, ist der Unterschied der Temperaturkoeffizienten bei zwei verschiedenen Salzen und ein und derselben Konzentration nicht sehr gross. Deshalb ist auch nicht zu befürchten, dass durch verschiedene Temperaturen bedingte relative Veränderungen der Geschwindigkeitskonstanten die spezifische Neutralsalzwirkung überwiegen. Wenn dies nun nicht der Fall ist, dann bleiben die auf Grund des bei einer Temperatur gemessenen Zahlenmaterials aufgestellten Regeln auch für eine andere bestehen.

Die Veränderungen der Geschwindigkeitskonstanten mit der Temperatur kann man gut durch die bekannte Arrhenius'sche Gleichung

$$\log k = -\frac{A}{T} + B$$

wiedergeben.

Tabelle (364) enthält die nach dieser Gleichung berechneten Geschwindigkeitskonstanten für die Reaktion zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen. Die unter *A* und *B* gegebenen Werte sind mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate aus den bei drei Temperaturen gemessenen Werten berechnet worden.

Tabelle 364.

Acetylglykolat- + Hydroxylionen.

Salzzusatz	<i>A</i>	<i>B</i>	Geschwindigkeitskonstanten					
			berechnet			gefunden		
Ohne Zusatz	2689,3	9,5944	3,46	1,68	0,513	3,45	1,69	0,512
0,0500 n. NaNO ₃	2723,8	9,7274	3,86	1,86	0,562	3,85	1,87	0,561
0,250 n. „	2736,6	9,8354	4,49	2,15	0,647	4,52	2,13	0,650
1,00 n. „	2815,8	10,1628	5,17	2,43	0,704	5,17	2,43	0,705
3,00 n. „	2840,8	10,2987	5,83	2,72	0,781	5,78	2,76	0,777
6,00 n. „	2887,4	10,5730	7,65	3,53	0,992	7,63	3,54	0,990
0,0500 n. SrCl ₂	2759,1	9,9478	4,89	2,33	0,695	4,89	2,33	0,694
0,250 n. „	2827,9	10,2901	6,31	2,96	0,854	6,35	2,94	0,857
1,00 n. „	2923,1	10,6938	7,67	3,50	0,969	7,68	3,49	0,970
3,00 n. „	3120,8	11,5178	11,1	4,81	1,22	11,1	4,81	1,22

Für die Reaktion zwischen Persulfat- und Jodionen gilt die entsprechende Tabelle (365).

Tabelle 365.
Persulfat- + Jodionen.

Salzzusatz	Geschwindigkeitskonstanten							
	A	B	berechnet			gefunden		
Ohne Zusatz	2775,8	8,8141	0,316	0,150	0,0443	0,317	0,149	0,0444
0,05 n. NaNO ₃	2741,3	8,7636	0,367	0,176	0,0528	0,363	0,179	0,0524
0,25 n. „	2789,2	9,0996	0,549	0,260	0,0764	0,543	0,265	0,0758
1 n. „	2830,1	9,5185	1,05	0,492	0,139	1,04	0,501	0,141
3 n. „	2842,7	9,9091	2,34	1,09	0,314	2,34	1,10	0,312
6 n. „	2896,7	10,3840	4,61	2,12	0,593	4,63	2,10	0,595
0,05 n. KCl	2710,4	8,7565	0,458	0,222	0,673	0,459	0,221	0,674
0,25 n. „	2655,0	8,8581	0,888	0,436	0,136	0,891	0,434	0,136
1 n. „	2623,2	9,1493	2,22	1,10	0,347	2,22	1,10	0,347
3 n. „	2718,1	9,9515	6,77	3,26	0,989	6,77	3,26	0,989
0,05 n. CaCl ₂	2813,7	9,1278	0,485	0,228	0,0662	0,485	0,228	0,0662
0,25 n. „	2821,9	9,3574	0,773	0,362	0,105	0,774	0,361	0,105
1 n. „	2803,2	9,6025	1,57	0,740	0,216	1,57	0,740	0,216
3 n. „	2804,6	10,1599	5,60	2,64	0,770	5,66	2,60	0,775
6 n. „	2779,0	10,7721	28,0	13,3	3,92	27,8	13,4	3,90
1 n. (NH ₄) ₂ SO ₄	2732,4	9,3415	1,49	0,715	0,216	1,46	0,725	0,216
3 n. „	2658,1	9,5437	4,21	2,06	0,641	4,19	2,08	0,640
6 n. „	2601,5	9,8797	14,1	7,03	2,24	13,9	7,22	2,22
0,05 n. MgSO ₄	2817,1	9,0587	0,403	0,191	0,0550	0,403	0,189	0,0449
0,25 n. „	2853,4	9,3217	0,557	0,260	0,0740	0,558	0,259	0,0741
1 n. „	2861,0	9,5826	0,951	0,451	0,126	0,959	0,445	0,127
3 n. „	2774,8	9,7502	2,74	1,31	0,385	2,75	1,30	0,386

In beiden Tabellen kommt die Wirkung der Neutralsalze auf den Temperaturkoeffizienten in der Veränderung der Konstanten *A* klar zum Ausdruck. Aus der ersten Tabelle ersieht man, dass mit wachsendem Neutralsalzzusatz *A* ausnahmslos ebenfalls wächst; der Temperaturkoeffizient wächst mit dem Salzzusatz, wie nach der Gleichung

$$\frac{d \log k}{dT} = \frac{A}{T^2}$$

leicht zu begreifen ist. Die zweite Tabelle zeigt dagegen, dass die Veränderungen von *A* keine solche einfache Regelmässigkeit zeigen, was seinerseits wieder die aus den Tabellen (362) und (363) gezogenen Schlussfolgerungen bestätigt.

In der Arbeit von Kiss und Bossányi ist für die Abhängigkeit der Geschwindigkeitskonstanten von der Temperatur

bei der Persulfat-Jodionenreaktion ohne Salzzusatz folgende Gleichung gegeben:

$$\log k = -\frac{2779}{T} + 10.403$$

während ich nach meinen Messungen erhalte:

$$\log k = -\frac{2776}{T} + 8.8141$$

Ebenso gut stimmt die von Kiss und Bossányi für 0,05 n. Magnesiumsulfatlösung gegebene Gleichung

$$\log k = -\frac{2815}{T} + 10.66$$

mit der meinigen

$$\log k = -\frac{2817}{T} + 9.0587$$

Andere Salzkonzentrationen sind uns nicht gemeinsam.

Tabelle (366) gibt die Temperaturkoeffizienten der Reaktionen zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen und zwischen Persulfat- und Jodionen wieder.

Tabelle 366.

Temperatur	Temperaturkoeffizient bei der Reaktion zwischen	
	Acetylglykolat- u. Hydroxylionen	Persulfat- u. Jodionen
0,0 ^o —10,0 ^o	2,24	2,29
5,0 ^o —15,0 ^o	2,17	2,22
10,0 ^o —20,0 ^o	2,12	2,16
15,0 ^o —25,0 ^o	2,06	2,11

Im vorigen Kapitel wurde das von Grube und Schmid (22). aufgestellte Gesetz betreffend die Reaktionsgeschwindigkeit und die Konzentration des Salzzusatzes kurz besprochen. Die Gültigkeit des Gesetzes kann man auch nach dem Einfluss der Temperatur auf die Reaktionsgeschwindigkeit prüfen.

Nach Grube und Schmid soll

$$\frac{1}{c} \log \frac{K}{K_0} = M$$

sein — in konzentrierten Salzlösungen und bei allen Temperaturen. K ist die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante in c -normaler Salzlösung, K_0 die Konstante in salzfreier Lösung und M eine von der Salzkonzentration unabhängige Konstante¹⁾. Man kann die Gleichung in der Form

$$\log K = Mc + N$$

schreiben, wo N gleich $\log K_0$ ist. Andererseits ist im Falle der Gültigkeit der Arrhenius'schen Gleichung

$$\log K = -\frac{A}{T} + B$$

Differenzieren wir die beiden Gleichungen nach T , so erhalten wir

$$\frac{\partial \log K}{\partial T} = \frac{\partial M}{\partial T} c + \frac{\partial N}{\partial T} = M_1 c + N_1$$

und

$$\frac{\partial \log K}{\partial T} = \frac{A}{T^2}$$

Diese beiden Gleichungen ergeben ihrerseits

$$\frac{A}{T^2} = M_1 c + N_1$$

oder

$$A = M_1 c T^2 + N_1 T^2$$

Bei konstanter Temperatur wird

$$A = M_2 c + N_2$$

oder in Worten ausgedrückt: die Konstante A der Arrhenius'schen Gleichung muss sich linear mit der Konzentration des hinzugefügten Salzes ändern, wenn die Grube-Schmid'sche

¹⁾ Schmid und Olsen (49) haben gefunden, dass bei Cyanamid-hydrolyse M auch von der Temperatur unabhängig ist.

Gleichung richtig ist. Um das zu prüfen, habe ich die Differenz der A -Werte bei 6 n. und 1 n. Salzlösungen genommen, und auf Grund der proportionalen Veränderung von A mit der Konzentration berechnete ich die Differenzen für die A -Werte in 3 n. und 1 n., bzw. 6 n. und 3 n. Lösungen. Diese Werte finden sich in Tabelle (367) in der dritten und fünften Kolumne. In der zweiten und vierten Kolumne sind die experimentell gefundenen Differenzen verzeichnet.

Tabelle 367.

	Für die Differenz der A -Werte			
	bei 3 n. und 1 n. Lös.		bei 6 n. und 3 n. Lös.	
	gefunden	berechnet	gefunden	berechnet
NaNO ₃ (Acetylglykolat- + Hydroxylionen)	25,0	28,7	47,6	42,9
NaNO ₃ (Persulfat- + Jodionen)	12,6	26,7	54,1	40,0
(NH ₄) ₂ SO ₄ (Persulfat- + Jodionen)	-74,3	-52,4	-56,6	-78,5
CaCl ₂ (Persulfat- + Jodionen)	+1,4	-9,7	-25,6	-14,5

Auch auf diese Weise kann man — wegen zu grosser Diskrepanz zwischen den berechneten und den gefundenen Werten für die A -Differenzen — die Gültigkeit der G r u b e - S c h m i d'schen Gleichung für beide Reaktionen bei dem untersuchten Temperatur- und Konzentrationsintervall kaum bestätigen.

7. Über die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten von der Anfangskonzentration der Reaktionskomponenten in Neutralsalzlösung.

Auf Grund theoretischer Betrachtungen dürfte man erwarten, dass die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten bei den Ionenreaktionen von der Anfangskonzentration der Reaktionskomponenten verschwindet, wenn als Lösungsmittel nicht reines Wasser, sondern eine Neutralsalzlösung verwendet wird.

Zu diesem Schlusse ist auch Brönsted in seiner mehrmals erwähnten Arbeit gekommen.

Mit der experimentellen Prüfung dieser Regel haben sich nur Holluta und Martini (26) sowie Kiss (36) befasst.

Holluta und Martini haben die Wirkung der Konzentration der Reaktionskomponenten bei der Reaktion zwischen Ferri- und Thiosulfationen in 1 n. Natriumchloridlösung untersucht. Ihre Versuchsergebnisse zeigt die Tabelle (368).

Tabelle 368.

FeCl ₃	Na ₂ S ₂ O ₈	<i>k</i>
0,002 m.	0,002 m.	53,2
0,001 m.	0,001 m.	40,5
0,001 m.	0,002 m.	45,0
0,004 m.	0,002 m.	53,6

Obgleich die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante *k* bedeutende Schwankungen zeigt, sollen diese Abweichungen vom Mittelwert nach den genannten Autoren in die Fehlergrenzen der Experimente fallen.

Kiss hat mit zwei voneinander verschiedenen Anfangskonzentrationen der reagierenden Stoffe bei der Reaktion zwischen Persulfat- und Jodionen in Magnesiumsulfatlösungen gearbeitet. Die von ihm gefundenen Geschwindigkeitskonstanten enthält die Tabelle (369).

Tabelle 369.

MgSO ₄	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₂	$\frac{k_1}{k_2}$
—	158	118	1,34
0,05 n.	206	169	1,22
0,5 n.	369	320	1,15
1,0 n.	523	456	1,13
2,0 n.	920	830	1,10
3,0 n.	1580	1570	1,00

Die Werte der Geschwindigkeitskonstanten unter *k*₁ gelten für *C*_{J'} = 0,025 n. und *C*_{S₂O₈''} = 0,0125 n., und die Werte derjenigen unter *k*₂ für *C*_{J'} = 0,0125 n. und *C*_{S₂O₈''} = 0,00625 n.

Tabelle 370.

0,0125 m. Kaliumpersulfat und
0,0250 m. Kaliumjodid.Temperatur $25,00^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
3,00	57,71	2,32
3,60	56,92	2,28
4,00	56,35	2,28
5,37	54,45	2,27
6,52	53,04	2,24
7,05	52,37	2,25
8,02	51,24	2,24
9,20	49,90	2,24
9,40	49,74	2,23
10,10	49,04	2,22
11,07	48,12	2,20
11,95	47,29	2,18

$$k_1 = 2,25; \quad k_2 = 2,25$$

Tabelle 372.

0,00625 m. Kaliumpersulfat und
0,0125 m. Kaliumjodid.Temperatur $25,00^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
4,65	29,43	2,27
7,23	28,47	2,25
12,25	26,74	2,27
13,03	26,48	2,27
14,12	26,17	2,25
18,67	24,84	2,25
19,72	24,60	2,23
20,58	24,32	2,25
25,92	23,08	2,22
26,50	23,04	2,18
27,27	22,90	2,17

$$k_1 = 2,24; \quad k_2 = 2,24$$

Tabelle 371.

0,00833 m. Kaliumpersulfat und
0,0167 m. Kaliumjodid.Temperatur $25,00^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
4,62	38,49	2,27
4,72	38,35	2,31
5,53	37,86	2,28
9,20	35,72	2,23
9,50	35,53	2,24
10,53	34,94	2,25
13,17	33,59	2,24
14,23	33,12	2,22
15,37	32,56	2,22
18,87	31,12	2,16
20,60	30,49	2,17
21,78	30,07	2,16

$$k_1 = 2,23; \quad k_2 = 2,23$$

Tabelle 373.

0,0125 m. Kaliumpersulfat und
0,0250 m. Kaliumjodid.Temperatur $15,00^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
7,30	56,90	1,13
8,40	56,13	1,12
8,95	55,74	1,12
12,53	53,39	1,12
13,22	52,97	1,12
14,48	52,16	1,12
18,00	50,18	1,11
19,07	49,69	1,10
21,10	48,59	1,11
24,90	46,93	1,08
25,45	46,51	1,10
28,00	45,56	1,08

$$k_1 = 1,11; \quad k_2 = 1,11$$

Tabelle 374.

0,00833 m. Kaliumpersulfat und
0,0167 m. Kaliumjodid.Temperatur $15,000 \pm 0,050$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
10,13	38,22	1,12
11,13	37,96	1,10
11,88	37,71	1,11
20,53	35,20	1,10
21,57	34,93	1,10
22,28	34,74	1,10
32,97	32,16	1,10
34,25	31,96	1,08
35,50	31,69	1,08
45,07	29,81	1,08
46,73	29,57	1,07
48,30	29,31	1,06

 $k_1=1,09$; $k_2=1,09$

Tabelle 376.

0,0125 m. Kaliumpersulfat und
0,0250 m. Kaliumjodid.Temperatur $0,000 \pm 0,050$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
10,98	59,76	0,364
11,68	59,62	360
12,78	59,39	355
27,53	55,99	351
28,37	55,83	349
29,08	55,65	351
53,63	51,07	341
54,60	51,00	339
55,43	50,79	340
77,72	47,63	327
78,75	47,57	325
82,00	46,94	336

 $k_1=0,347$; $k_2=0,347$

Tabelle 375.

0,00625 m. Kaliumpersulfat und
0,0125 m. Kaliumjodid.Temperatur $15,000 \pm 0,050$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
15,05	28,42	1,10
16,03	28,18	1,13
16,60	28,09	1,12
22,23	26,97	1,15
25,15	26,69	1,12
26,23	26,51	1,12
37,12	24,93	1,11
38,12	24,84	1,10
49,67	23,45	1,09
50,92	23,33	1,08
52,17	23,19	1,08

 $k_1=1,11$; $k_2=1,11$

Tabelle 377.

0,00833 m. Kaliumpersulfat und
0,0167 m. Kaliumjodid.Temperatur $0,000 \pm 0,050$.

t	$(a-x) \times 2510,0$	k
17,50	39,80	0,351
18,65	39,64	357
19,35	39,59	353
40,40	37,46	348
41,43	37,36	347
42,48	37,19	354
87,08	35,50	343
88,45	33,44	341
89,27	33,30	344
116,0	31,59	334
117,2	31,53	335
120,4	31,26	338

 $k_1=0,345$; $k_2=0,346$

Tabelle 378.			57,22	27,81	358
0,00125 m. Kaliumpersulfat und			57,92	27,81	354
0,0125 m. Kaliumjodid.			58,93	27,78	351
Temperatur $0,00^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$.			103,9	25,64	344
			105,1	25,57	346
t	$(a-x) \times 2510,0$	k	141,8	24,06	343
27,88	29,49	0,366	143,9	24,04	339
28,60	29,50	355	145,0	23,97	341
29,43	29,46	353	$k_1 = 0,350; \quad k_2 = 0,350$		

Bei derselben Reaktion benutzte ich eine 1 n. Kaliumchlorid-lösung als Lösungsmittel. Die reagierenden Stoffe wurden in folgenden Konzentrationen (Mol/Liter) angewandt: Kaliumjodid — 0,0250 m., 0,0250 m., 0,0167 m. und 0,0125 m., und entsprechend: Kaliumpersulfat — 0,0125 m., 0,00625 m., 0,00833 m. und 0,00625 m. Die Versuchsergebnisse für drei Temperaturen finden sich in den Tabellen (370) bis (378) und (156), (246), (282). Wie die Tabelle (379) zeigt, ist die Konzentrationswirkung der Reaktionskomponenten bei allen Temperaturen in 1 n. Kaliumchlorid-lösung gleich Null.

Tabelle 379.

Tempera- tur	0,0125 m. $K_2S_2O_8$	0,00625 m. $K_2S_2O_8$	0,00833 m. $K_2S_2O_8$	0,00625 m. $K_2S_2O_8$
	0,0250 m. KJ	0,0250 m. KJ	0,0167 m. KJ	0,0125 m. KJ
25,0 ^o	2,25	2,22	2,23	2,24
15,0 ^o	1,11	1,10	1,09	1,11
0,0 ^o	0,347	0,347	0,346	0,350

In salzfreier Lösung dagegen fand Price bei den in dieser Tabelle verzeichneten Konzentrationen der reagierenden Stoffe für die Geschwindigkeitskonstanten (in von den meinigen abweichenden Einheiten) die Werte 66, 58, 58 und 50. Von dieser beinahe 30% betragenden Veränderung der Geschwindigkeitskonstanten merkt man in 1 n. Kaliumchloridlösung nichts mehr.

Die Tabellen (380)—(382) und (126) gelten für Reaktionen zwischen dem Anion der Dibrombernsteinsäure und den Hydroxylionen. Die Messungen sind in 2 n. Natriumnitratlösung mit vier verschiedenen äquimolaren Mengen der Ausgangsstoffe gemacht worden.

Tabelle 380.

0,03117 m. dibrombernsteinsau-
res Natrium und
0,03117 m. Natriumhydroxyd.
Temperatur $25,000 \pm 0,050$.

t	$a-x$	k
2,58	0,01940	7,54
2,63	1930	7,50
5,73	1354	7,29
5,77	1350	7,28
10,55	0,00922	7,24
10,57	919	7,26
15,18	710	7,16
15,73	690	7,17

$$k_1 = 7,31; \quad k_2 = 7,29$$

Tabelle 381.

0,02429 m. dibrombernsteinsau-
res Natrium und
0,02429 m. Natriumhydroxyd.
Temperatur $25,000 \pm 0,050$.

t	$a-x$	k
2,90	0,01590	7,76
5,12	1555	7,43
5,37	1240	7,36
6,02	1162	7,37
9,70	0,00902	7,19
11,97	773	7,37
20,05	542	7,15
21,32	525	7,01

$$k_1 = 7,33; \quad k_2 = 7,33$$

Tabelle 382.

0,01232 m. dibrombernsteinsau-
res Natrium und
0,01232 m. Natriumhydroxyd.
Temperatur $25,000 \pm 0,050$.

t	$a-x$	k
2,73	0,00981	7,61
2,83	972	7,66

5,40	825	7,41
5,50	820	7,41
11,78	599	7,28
11,93	596	7,26
19,05	457	7,22
19,50	450	7,24

$$k_1 = 7,39; \quad k_2 = 7,37$$

Die von mir in 2 n. Natriumnitratlösung und von Holmberg in salzfreier Lösung (bei ein klein wenig von den meinen abweichenden Konzentrationen der Reaktionskomponenten) gemessenen Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten findet man in der Tabelle (383).

Tabelle 383.

Konzentrationen der Reaktionskomponenten	Geschwindigkeitskonstanten in 2 n. NaNO_3 Lös.	Konzentrationen der Reaktionskomponenten	Geschwindigkeitskonstanten in salzfreier Lös.
0,03117 m.	7,29	0,03109 m.	1,95
0,02429 m.	7,33	0,02473 m.	1,85
0,01813 m.	7,40	0,01727 m.	1,64
0,01232 m.	7,37	0,01222 m.	1,51

Die Differenz der Konstanten in salzfreier Lösung beträgt ca 25%, wogegen in 2 n. Natriumnitratlösung die Konstanten nicht mehr als etwa um 1,5% voneinander abweichen.

Die in einer 2 n. Natriumnitratlösung bei 25,0° gemessenen Geschwindigkeitskonstanten der Reaktion zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen sind in den Tabellen (384)—(386) verzeichnet. Die erste Hälfte der Tabelle (387) enthält die Geschwindigkeitskonstanten der Natriumnitratlösung mit den entsprechenden Konzentrationen der Reaktionskomponenten, die zweite Hälfte aber die zum Teil von H o l m b e r g, zum Teil von mir gemessenen Geschwindigkeitskonstanten in salzfreier Lösung. Die Veränderung der Konstanten im Zusammenhang mit der Änderung der Konzentration der reagierenden Stoffe ist in der Salzlösung kleiner als in salzfreier Lösung.

Nach der ziemlich kleinen — etwa 6%-igen — Veränderung der Geschwindigkeitskonstanten durch die Anfangskonzentration müsste man erwarten, dass die einzelnen Konstanten in 2 n. Natriumnitratlösung weniger voneinander abweichen würden, als in Tabelle (387) verzeichnet ist. Man muss sich aber vergegenwärtigen, dass besonders in einer 0,01609 m. Lösung die Fehler, vor allem die Titrationsfehler, so gross werden, dass eine bessere Übereinstimmung sich nicht erzielen lässt.

Tabelle 387.

Konzentrationen der Reaktions- komponenten	Geschwindigkeits- konstanten in 2 n. NaNO ₃ Lös.	Konzentrationen der Reaktions- komponenten	Geschwindigkeits- konstanten in salzfreier Lös.
0,02711 m.	5,42	0,02762 m.	3,58
0,02119 m.	5,41	0,02119 m.	3,45
0,01609 m.	5,32	0,01381 m.	3,32

Tabelle 384.

0,02711 m. acetylglykolsaures Natrium und		10,48	1063	5,41
0,02711 m. Natriumhydroxyd.		12,01	0,00978	5,44
Temperatur 25,00° ± 0,05°.		15,83	815	5,42
<i>t</i>	<i>a-x</i>	<i>k</i>	17,08	773
4,82	0,01585	5,40	19,47	709
5,28	1529	5,40	22,75	613
9,85	1106	5,44	28,32	528
			<i>k</i> ₁ = 5,41;	<i>k</i> ₂ = 5,42

Tabelle 385.

0,02119 m. acetylglykolsaures
Natrium und
0,02119 m. Natriumhydroxyd.
Temperatur $25,00^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$.

t	$a-x$	k
5,43	0,01301	5,46
5,45	1301	5,44
12,67	0,00868	5,39
12,72	868	5,37
19,97	636	5,51
20,17	634	5,48
30,55	485	5,20
31,17	467	5,36

$$k_1 = 5,40; \quad k_2 = 5,41$$

Tabelle 386.

0,01609 m. acetylglykolsaures
Natrium und
0,01609 m. Natriumhydroxyd.
Temperatur $25,00^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$.

t	$a-x$	k
6,15	0,01051	5,36
7,10	0,00994	5,42
14,72	709	5,36
15,55	685	5,39
30,53	452	5,21
31,10	446	5,21
41,27	353	5,36
41,32	354	5,33

$$k_1 = 5,33; \quad k_2 = 5,32$$

Aus den hier gegebenen Tabellen ergibt sich eindeutig der Schluss, dass die reaktionskinetischen Anomalien bei Ionenreaktionen in genügend konzentrierten Salzlösungen verschwinden, wie man es auf Grund von theoretischen Betrachtungen nach Brönsted auch erwarten muss.

8. Theoretische Erörterungen.

Von dem kinetischen Standpunkt aus haben sich mit der Berechnung von Reaktionsgeschwindigkeiten bei Ionenreaktionen Bjerrum (5) und Christiansen (14) befasst. Für eine bimolekulare Reaktion ist Christiansen zu der Gleichung gelangt:

$$h = C_A C_B S_{AB} e^{-\frac{Q}{RT}} e^{-\frac{v_B \epsilon}{kT} \varphi_i} \alpha_0 \Omega (1 + \sum \chi_i \xi_i) \dots \quad (I)$$

C_A und C_B bedeuten die Konzentrationen der reagierenden Stoffe, S_{AB} — die Stoszzahl pro Liter und Sekunde, wenn die Konzentration der Stoffe A und B gleich einem Mol pro Liter ist (nach

der kinetischen Gastheorie berechnet) ¹⁾; Q ist die Aktivierungswärme, und das Glied $e^{-\frac{v_B \epsilon}{kT} \varphi_i}$ trägt der Wirkung der mit den Ionen verbundenen elektrischen Ladungen auf die Stosszahl Rechnung. Debye und Hückel (16) haben nämlich nach dem Boltzmann'schen Prinzip gezeigt, dass die Konzentration eines Ions B, das an der Reaktion teilnimmt, in unmittelbarer Nähe des anderen Ions A nicht der mittleren Konzentration C_B der ganzen Lösung gleich ist, sondern dass diese Ionenkonzentration durch die Gleichung

$$C = C_B e^{-\frac{v_B \epsilon}{kT} \varphi_i}$$

bestimmt wird. Darum muss man, um die richtige Stosszahl zu erhalten, diesen Faktor in die Gleichung einführen. v_B ist hier die mit Vorzeichen gerechnete Valenz des Ions B, φ_i — das mittlere elektrostatische Potential in der Entfernung a vom Ion A. Ω ist ein sterischer Faktor, der von der Salzkonzentration nach Christiansen nicht abhängt, und $\alpha_0(1 + \sum \chi_i \xi_i)$ ist ebenfalls ein Faktor, der der inaktivierenden Wirkung des Lösungsmittels und der spezifischen Ionenwirkung entspricht. Von allen diesen Faktoren hängen in der Gleichung (I) nach Christiansen nur φ_i und ξ_i von der Totalsalzkonzentration ab.

Christiansen hat auch gezeigt, dass, wenn wir den Faktor $(1 + \sum \chi_i \xi_i)$ einstweilen beiseite lassen und von der Reihen-

entwicklung des Ausdruckes $e^{-\frac{v_B \epsilon}{kT} \varphi_i}$ nur das erste und zweite Glied benutzen, der so resultierende Faktor rein formal als der „kinetische Aktivitätsfaktor“ Brönsted's interpretiert werden kann. Somit ist gezeigt, dass bei der Übertragung der kinetischen Betrachtungsweise der Reaktionsgeschwindigkeit von den gasförmigen Systemen auf die Ionenreaktionen eine Gleichung

¹⁾ Lewis (40) hat sich dahin geäußert, dass man in Flüssigkeiten die Stosszahl nicht mit Hilfe der für gasförmige Systeme gültigen Gleichung berechnen kann, sondern dass dafür die Diffusionskoeffizienten der betreffenden Moleküle massgebend sind. Norrish und Smith (44) haben die entsprechenden Berechnungen durchgeführt und gezeigt, dass man dann praktisch dieselben Resultate erhält wie bei der Berechnung nach der kinetischen Gastheorie.

sich ergibt, die in Bezug auf die Neutralsalzwirkung zu einer Formel wird, welche im Grenzfalle unendlich verdünnter Lösungen mit der Brönsted'schen übereinstimmt.

Wollen wir aus der Gleichung (I) die Neutralsalzwirkung exakt herauslesen, so ist dies unmöglich, weil man 1) für die Berechnung von φ_i nur annähernde Werte erhalten kann, und 2) weil über die Abhängigkeit des ζ_i von der Salzkonzentration nichts bekannt ist. Eben deshalb muss man den Faktor $(1 + \sum \zeta_i \zeta_i)$ unberücksichtigt lassen. Für φ_i benutze ich die Ausdrücke von Debye und Hückel. Fasst man alle anderen von der Totalionenkonzentration unabhängigen Faktoren zu einer Konstanten zusammen, so erhält man für die Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten in unendlich verdünnter Lösung die folgende Gleichung:

$$k_0 = \text{konst. } e^{-\frac{v_1 v_2 \epsilon^2}{a k T D}}$$

und in einer Lösung, wo die gesamte Ionenstärke gleich μ ist:

$$k_1 = \text{konst. } e^{-\frac{v_1 v_2 \epsilon^2}{a k T D} e^{-\alpha a}}$$

α ist $0,3239 \sqrt{\mu} \cdot 10^8$, und a — der Radius um das Ion, bis wohin andere Ionen sich nähern müssen, um reagieren zu können.

Für das Verhältnis der Geschwindigkeitskonstanten erhalten wir

$$\frac{k_0}{k_1} = e^{-\frac{v_1 v_2 \epsilon^2}{a k T D} (1 - e^{-\alpha a})}$$

oder

$$\log \frac{k_0}{k_1} = -\frac{v_1 v_2 \epsilon^2}{a k T D \cdot 2,303} (1 - e^{-\alpha a})$$

Setzen wir $k_0 = 1$, dann ist

$$\log k_1 = \frac{v_1 v_2 \epsilon^2}{a k T D \cdot 2,303} (1 - e^{-\alpha a})$$

Wenn wir für die in der Gleichung vorkommenden Zeichen folgende Zahlen setzen

$$\kappa = 0,3239 \cdot \sqrt{\mu} \cdot 10^8$$

$$k = 1,371 \cdot 10^{-16}$$

$$\varepsilon = 4,77 \cdot 10^{-10}$$

$$D = 88,23$$

$$T = 273$$

$$a = 3,76 \cdot 10^{-8}$$

so haben wir:

$$\log k_1 = v_1 v_2 \cdot 0,7959 (1 - e^{-1,218\sqrt{\mu}})$$

Beteiligen sich an der Reaktion zwei einwertige Ionen, so hat man:

$$\mu = 0,0100 \quad 0,0200 \quad 0,0424 \quad 0,0500 \quad 0,0924 \quad 0,100$$

$$k_1 = 1,23 \quad 1,34 \quad 1,50 \quad 1,55 \quad 1,76 \quad 1,80$$

und für ein einwertiges und ein zweiwertiges:

$$\mu = 0,0100 \quad 0,0200 \quad 0,0439 \quad 0,0500 \quad 0,0939 \quad 0,100$$

$$k_1 = 1,52 \quad 1,79 \quad 2,28 \quad 2,40 \quad 3,13 \quad 3,28$$

Berechnet man aus diesen Daten für die Reaktion zwischen Acetylglukolat- und Hydroxylionen die Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten bei 0,05 n. Salzzusatz, so ist der erhaltene Wert 4,05, während er mit Hilfe der Brönsted'schen Gleichung nach den Angaben von Lewis-Randall berechnet 3,88 beträgt, und nach den Angaben von Brönsted 3,90 erhalten wird. Für die Persulfat-Jodionenreaktion beträgt die Konstante bei entsprechender 0,05 n. Salzlösung 0,434, während auf Grund der Tabelle (342) nach den Lewis-Randall'schen Angaben keine Veränderung der Geschwindigkeitskonstanten zu erwarten wäre, nach Brönsted aber beträgt die Konstante 0,379. Wenn man die mit Hilfe der Christensen'schen Gleichung berechneten Geschwindigkeitskonstanten mit den experimentellen Resultaten vergleicht, die in den Tabellen (339) und (345) verzeichnet sind, und wenn man die oben mehrmals betonte spezifische Wirkung der Salze berücksichtigt, so kann man die Übereinstimmung der experimentellen Ergebnisse mit den nach jener Gleichung berechneten keineswegs schlechter nennen, als es mit den nach Brönsted's Gleichung berechneten Daten der Fall war.

Um noch ein Beispiel herauszugreifen, sind im folgenden nach Christiansen die Geschwindigkeitskonstanten für die von Brönsted und Livingston (12) untersuchten Reaktionen zwischen $\left[\text{Co} \begin{smallmatrix} \text{Br} \\ (\text{NH}_3)_5 \end{smallmatrix} \right]^{++}$ und Hg^{++} berechnet (a wurde wie früher gleich $3,76 \cdot 10^{-8}$ genommen). Bei $\mu = 0,0022$ haben Brönsted und Livingston für die Geschwindigkeitskonstante den Wert 103 gefunden. Nach dieser Messung berechnet sich für die Geschwindigkeitskonstante in Salzlösung, wo $\mu = 0,0319$ ist, der Wert 287, während nach der Originalarbeit für verschiedene Salze 330, 254, 196, 200 und 215 gefunden worden ist. Auch hier nenne ich die Übereinstimmung im Vergleich mit den früher besprochenen Resultaten eine befriedigende.

Aus diesen Beispielen ist wohl zu ersehen, dass durch das Glied $e^{-\frac{v_B \epsilon}{kT} \varphi_i}$, das zur Christiansen'schen Gleichung gehört, die Salzwirkung bei den Ionenreaktionen qualitativ immer und quantitativ mindestens ebenso gut, wie auf Grund der nach der Brönsted'schen Theorie berechneten Werte, sich deuten lässt.

Die im vierten Abschnitt dieser Arbeit mehrmals betonte spezifische Wirkung der Neutralsalze, insbesondere der Kationen, wenn die Reaktion zwischen den Anionen verläuft, äussert sich in der Veränderung des Koeffizienten $(1 + \sum \chi_i \zeta_i)$ der Christiansen'schen Gleichung. Bei diesem Koeffizienten bedeutet χ_i die Konstanten, die für die verschiedenen gelösten Molekulararten charakteristisch sind und sowohl positiv als negativ sein können. Meines Erachtens können sie von Reaktion zu Reaktion variieren. ζ_i bezeichnet nach Christiansen die Konzentration der i -ten Ionenart in der unmittelbaren Nähe des reagierenden Komplexes. Wie er auch berechnet hat, kann diese Konzentration bedeutend — um Zehnerpotenzen — von der mittleren Konzentration der Ionen in der Lösung abweichen. Wir sind von der theoretischen quantitativen Auswertung dieses Faktors noch weit entfernt, und zwar ist dies durch unsere Unkenntnis der tatsächlichen Vorgänge bei den reagierenden Stoffen bedingt.

Begegnet man beim Berechnen der Abhängigkeit der Geschwindigkeitskonstanten von der Konzentration des hinzugefügten Salzes in verdünnten Lösungen infolge spezifischer Ionenwirkungen

Schwierigkeiten, die man heute noch nicht überwunden hat, so sind sie bei konzentrierten Salzlösungen noch viel grösser.

Eine einheitliche vollständige Theorie der Reaktionsgeschwindigkeit in Lösungen ist bis jetzt noch ausser Sicht (vgl. z. B. 2, 18, 46, 51 und besonders die Literaturangaben in 39). Zwischen den Eigenschaften des als Lösungsmittel dienenden Stoffes — des Reaktionsmediums — und der Reaktionsgeschwindigkeit hat man Zusammenhänge festzustellen versucht, aber erfolglos (23, 24, 25, 54). Ganz im allgemeinen kann man auch die Neutralsalzwirkung in konzentrierten Lösungen als durch Veränderung der Mediumseigenschaften bedingt betrachten. Man hat hierbei den Vorteil, dass durch schrittweisen Salzzusatz die Mediumseigenschaften stets verändert werden können.

Betrachten wir kurz und ohne auf Vollständigkeit Anspruch zu erheben die Eigenschaftsveränderungen des Mediums und der reagierenden Stoffe durch den Neutralsalzzusatz, welche auf die Geschwindigkeit der Ionenreaktionen von Wirkung sein können.

Das Glied $e^{-\frac{v_B \epsilon}{kT} \varphi_i}$, das den Konzentrationsänderungen, die durch die zwischen Ionen wirkenden elektrischen Kräfte bedingt sind, in der Nähe von Ionen Rechnung trägt, ist bei konzentrierten Salzlösungen exakt unberechenbar.

Nach Fajans' (19) refraktometrischen Messungen ist es bekannt, dass die äusseren Elektronenhüllen der Ionen in Lösungen sich gegenseitig beeinflussen: sie werden deformiert. Eine solche Deformation der Elektronenhüllen der reagierenden Ionen kann die Reaktionsgeschwindigkeit vergrössern, oder auch verringern. In Betreff rein katalytischer Vorgänge ist diese Anschauung allgemein verbreitet (20). Doch weiss man auch qualitativ darüber nichts Bestimmtes zu sagen, geschweige denn quantitativ.

Es wird durch Neutralsalze der Hydrationsgrad der Ionen verändert, und dies bleibt nicht ohne Wirkung auf die Reaktionsgeschwindigkeit (22, 30). Durch Neutralsalze wird ferner auch das Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Formen des Wassers verschoben (4).

Die bei vollständig dissoziierten Elektrolyten vorhandene Anzahl von Assoziationskomplexen kann nach Bjerrum (7) durch Neutralsalzzusatz verändert werden, ebenso wie bei unvoll-

ständig dissoziierten Elektrolyten der Dissoziationsgrad sich ändert. Man ist völlig berechtigt, den Assoziationskomplexen auf Grund der Analogie mit den nichtdissoziierten Molekülen eine von den Ionen verschiedene Reaktionsfähigkeit beizulegen (39).

Schon aus den hier erwähnten verschiedenen Wirkungen sieht man, welche eine Anzahl von mannigfaltigen Erscheinungen zu berücksichtigen ist. Rein qualitativ können wir uns die Neutralisatzwirkung auf die Reaktionsgeschwindigkeit vorstellen, in Bezug auf die quantitativen Verhältnisse tappen wir noch vollständig im Dunkeln herum.

Es ist von Interesse, mit Hilfe der Christiansen'schen Gleichung den Absolutwert der Reaktionsgeschwindigkeit bei meinen Reaktionen zu berechnen.

Setzen wir in die Gleichung (I) statt Q den aus dem Temperaturkoeffizienten der Reaktion berechneten Wert ein und nehmen wir die Ausdrücke Ω , α_0 und $(1 + \sum \zeta_i \xi_i)$ vorläufig alle gleich Eins, so berechnet man für die Reaktion zwischen 0,02119 m. Acetylglykolat- und Hydroxylionen in salzfreier Lösung für die in einer Sekunde reagierte Menge in Molen pro Liter:

$$h = \frac{\pi 3,76^2 \cdot 10^{-16} (0,02119 \cdot 6,06 \cdot 10^{20})^2 \sqrt{\bar{u}_1^2 + \bar{u}_2^2} e^{-\frac{2698 \cdot 2,303}{298} \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 e^{-\alpha a}}{kTaD}}}{6,06 \cdot 10^{23}} \cdot 1000$$

$$= 2,03 \cdot 10^{-2}.$$

Hierbei sind \bar{u}_1 und \bar{u}_2 die Wurzeln aus dem mittleren Geschwindigkeitsquadrat beider reagierenden Ionen.

Experimentell fand ich

$$h = \frac{3,45}{60} \times 0,02119^2 = 2,58 \cdot 10^{-5}$$

Bei der Persulfat-Jodionenreaktion findet man für die Geschwindigkeit des Jodionenverbrauches in Molen pro Liter und Sekunde

$$h = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3,76^2 \cdot 10^{-16} \cdot 0,00625 \cdot 0,0250 \cdot 6,06^2 \cdot 10^{40} \sqrt{u_1^2 + \bar{u}_2^2} e^{-\frac{2775,8 \cdot 2,303}{298} \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 e^{-\alpha a}}{kTaD}}}{6,06 \cdot 10^{23}} \cdot 1000$$

$$= 6,03 \cdot 10^{-4}$$

und experimentell

$$h = \frac{0,317}{60} \cdot 0,000625 \cdot 0,0250 = 8,26 \cdot 10^{-7}$$

	$\frac{h \text{ ber.}}{h \text{ gef.}}$	Acetylglykolat- + Hydroxylionen	Persulfat- + Jodionen
Das Verhältnis		$7,82 \cdot 10^2$	$7,30 \cdot 10^2$

Die beobachteten und berechneten Reaktionsgeschwindigkeiten decken sich nicht gut. Einer ebensolchen und noch grösseren Diskrepanz begegnet man aber bei allen Reaktionen, die in flüssiger Phase verlaufen. Man hat dies durch die Dreierstösse erklärt, an denen ausser den reagierenden Molekülen auch die Moleküle des Lösungsmittels teilnehmen. In Flüssigkeiten ist die „mittlere freie Weglänge“ bedeutend kleiner als in Gasen, und deshalb wird oft ein Zusammenstoss der mit nötiger Energie ausgestatteten Moleküle in der Nähe eines dritten, und zwar eines Lösungsmittelmoleküls erfolgen. Die zum Reagieren nötige Energie kann dann auf das Lösungsmittelmolekül übertragen werden, und dadurch wird das Zustandekommen der Reaktion verhindert.

Ohne eine spezielle Annahme über die tatsächlichen Prozesse zu machen, kann man doch sagen, dass die aus dem Neutralsalz stammenden Ionen nicht ohne Wirkung auf diese Erscheinungen zu bleiben brauchen. Man hat es hier mit Deformationen im weitesten Sinne zu tun, die unter dem Christiansen'schen Faktor $(1 + \sum \chi_i \xi_i)$ zusammengefasst werden.

In der Christiansen'schen Gleichung ist die Grösse a — der Abstand, bis zu welchem sich die Molekülzentren einander nähern müssen, um reagieren zu können — nicht genau bekannt. Ist sie kleiner als $3,76 \cdot 10^{-8}$, was sehr wahrscheinlich ist, so wird die Anzahl der Zusammenstösse dadurch verringert und ebenso ver-

mindert sich das Glied $e^{-\frac{v_B \epsilon}{kT} \varphi_i}$.

Bei der Berechnung des Ausdrucks $\sqrt{u_1^2 + u_2^2}$ habe ich die Ionen als nicht hydratisiert betrachtet. Sind sie nun mit einer stabilen Wasserhülle verbunden, so ist ihre Masse grösser und die Geschwindigkeit deshalb kleiner, was auch zu einer kleineren Reaktionsgeschwindigkeit führt.

Die berechneten Werte der Reaktionsgeschwindigkeit $2,03 \cdot 10^{-2}$ Mol/Liter für die eine, und $6,03 \cdot 10^{-4}$ Mol/Liter für die

andere Reaktion sind also, auch abgesehen von einer nichtberücksichtigten Reihe früher erwähnter Faktoren, ziemlich approximativ.

Die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten von der Temperatur kann man leicht erhalten, wenn die Christiansen'sche Gleichung logarithmiert und nach der Temperatur differenziert wird:

$$\frac{\partial \log k}{\partial T} = \frac{\partial \log \text{Stosszahl}}{\partial T} + \frac{Q}{RT^2} + \frac{\partial \log a}{\partial T} + \frac{\partial \log \Omega}{\partial T} - \frac{\partial}{\partial T} \frac{v_1 v_2 \varepsilon^2 e^{-\alpha a}}{akDT} + \frac{\partial}{\partial T} \log(1 + \sum \chi_i \xi_i)$$

Wie wir sehen, ist das Resultat eine ziemlich unübersichtliche Gleichung. Da uns das Verhältnis der Temperaturkoeffizienten in Salzlösungen interessiert, können wir einstweilen annehmen, dass

nur das Glied $\frac{\partial}{\partial T} \frac{v_1 v_2 \varepsilon_1 \varepsilon_2 e^{-\alpha a}}{akTD}$ sich von Salzlösung zu Salzlösung ändert, während die anderen konstant bleiben — wir beschränken uns bloß auf die durch rein elektrische Kräfte bedingte Veränderung der Stosszahl. Man erhält also:

$$\frac{\partial \log k}{\partial T} = \text{konst.} + \frac{v_1 v_2 \varepsilon^2}{ak} \left(\frac{e^{-\alpha a}}{DT^2} + \frac{e^{-\alpha a}}{TD^2} \frac{\partial D}{\partial T} - \frac{e^{-\alpha a} \alpha a}{2DT^2} - \frac{e^{-\alpha a} \alpha a}{2D^2 T} \frac{\partial D}{\partial T} \right)$$

Wie aus der letzten Gleichung zu ersehen ist, bereitet auch ihre Deutung unüberwindliche Schwierigkeiten, weil über $\frac{\partial D}{\partial T}$ nichts bekannt ist. Die Arbeiten der einzelnen Autoren beschränken sich nur auf die Abhängigkeit des D von dem Salzzusatz, und sogar dabei treffen wir noch auf widersprechende Angaben (47, 50, 55, 56).

Im allgemeinen können wir nur sagen, dass Neutralsalze den Temperaturkoeffizienten beeinflussen können, ihn sowohl verkleinern oder ohne Veränderung lassen als auch vergrössern können, was auch durch die experimentellen Ergebnisse bestätigt wird.

Es bleibt schliesslich noch die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstante bei Ionenreaktionen in Salzlösungen von der Anfangskonzentration der reagierenden Stoffe zur Be-

trachtung übrig. Die Christiansen'sche Gleichung (I)

zeigt wiederum, dass das Glied $e^{-\frac{v_B \epsilon}{kT} \varphi_i}$ in neutralsalzfreier Lösung stark von der Konzentration der Reaktionskomponenten abhängt. Das entspricht der tatsächlichen Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Konzentration der Ausgangs-

stoffe. In Salzlösung ist die Veränderung von $e^{-\frac{v_B \epsilon}{kT} \varphi_i}$, die dann die Veränderung der Anfangskonzentration verursacht, klein, und da die übrigen Eigenschaften des Lösungsmittels nicht nennenswert geändert werden, hängt die Reaktionsgeschwindigkeit schliesslich auch von der Anfangskonzentration nicht mehr ab. So gelangt man zur Erklärung dieser beobachteten Erscheinung auch auf Grund der Gleichung von Christiansen.

9. Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss von Neutralsalzen auf die Reaktion zwischen Persulfat- und Jodionen, Acetylglukolat- und Hydroxylionen und Dibromsuccinat- und Hydroxylionen untersucht. Die Neutralsalzzusätze variierten von 0,05 n. bis 6 n. Die erste und zweite Reaktion wurden bei drei Temperaturen — 0,0°, 15,0° und 25,0°, die letzte nur bei 25,0° untersucht.

Dabei ergab sich:

1. Durch die Neutralsalze werden alle drei Reaktionen ausnahmslos stark beschleunigt, wie es qualitativ sowohl Christiansen's wie auch Brönsted's Reaktionsgeschwindigkeitstheorien fordern. Es treten dagegen schon in 0,05 n. Neutralsalzlösungen die spezifischen Kationen- und Anionenwirkungen der hinzugefügten Neutralsalze hervor. Durch diese spezifischen Wirkungen ist es erklärlich, dass die Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit und das Wachsen der „gesamten Ionenstärke“, im Widerspruch mit der Brönsted'schen Gleichung, bei dem Übergang von einem Salz zu einem andern, sowie von Reaktion zu Reaktion einander nicht parallel gehen.

2. In konzentrierten Salzlösungen bleiben sowohl die spezifischen Kationen- wie Anionenwirkungen bestehen. Die Kationen-

wirkungen äussern sich im Absolutwerte der Geschwindigkeitskonstante, während die Anionen für die Steigung der Geschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurve massgebend sind. Es wurde gezeigt, dass bei den untersuchten Reaktionen die Geschwindigkeitskonstanten-Konzentrationenkurven einen Wendepunkt aufweisen, wenn sie nur bis zu genügend hohen Konzentrationen der Salzlösungen untersucht worden sind.

3. Zur Prüfung der Grube-Schmid'schen Gleichung für die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten von der Salzkonzentration wurde eine neue Relation abgeleitet. Die Grube-Schmid'sche Gleichung ist bei den untersuchten Reaktionen von 1 n. bis 6 n. Salzlösungen im allgemeinen nicht gültig.

4. Die Abhängigkeit der Geschwindigkeitskonstanten von der Temperatur wird durch die Arrhenius'sche Gleichung gut wiedergegeben. Bei der Reaktion zwischen Acetylglykolat- und Hydroxylionen wird durch Neutralsalzzusätze in allen Konzentrationen der Temperaturkoeffizient der Reaktionsgeschwindigkeit vergrössert. Bei der Reaktion zwischen Persulfat- und Jodionen sind die Wirkungen der Neutralsalze auf den Temperaturkoeffizienten der Reaktionsgeschwindigkeit spezifisch.

5. Es wurde gezeigt, dass bei allen drei Reaktionen in konzentrierten Salzlösungen die Konzentrationen der Reaktionskomponenten auf die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante keine Wirkung ausüben.

6. Alle in dieser Arbeit gefundenen Tatsachen sind durch die Christiansen'sche Theorie der Reaktionsgeschwindigkeit erklärbar.

10. Literaturverzeichnis.

1. Abbe \ddot{g} , R. und Auerbach, Fr.: Handbuch der anorganischen Chemie IV₂, Leipzig 1913, Seite 368.
2. Åkerlöf, G.: Journ. Amer. Chem. Soc. 49, 2955 (1927).
3. Anschütz, R. und Bertram, W.: Ber. Dtsch. Chem. Ges. 36, 466 (1903).
4. Bancroft, W.: Journ. physical Chem. 30, 1194 (1926).
5. Bjerrum, N.: Ztschr. physikal. Chem. 108, 82 (1924).
6. — Ebenda, 118, 251 (1925).
7. — Kong. Danske Vidensk. Meddelelser, Math.-phys. Kl. 7, Nr. 9, 3—48 (Z. 1926, II 1379).
8. Brönsted, J. N.: Ztschr. physikal. Chem. 102, 169 (1922).
9. — Ebenda 115, 337 (1925).
10. — Journ. Amer. Chem. Soc. 45, 2898 (1923) (Z. 1924, I 994).
11. — und Brumbaugh, N. J.: Ebenda 48, 2015 (1926).
12. — und Livingston, R.: Ebenda 49, 435 (1927).
13. Bowe, L. E.: Journ. physical Chem. 31, 291 (1927).
14. Christiansen, J. A.: Ztschr. physikal. Chem. 113, 35 (1924).
15. Clark, W. M.: The Determination of Hydrogen Ions. Baltimore 1927.
16. Debye, P. und Hückel, E.: Physikal. Ztschr. 24, 185 und 305 (1923).
17. Dhar, N. R.: Ztschr. anorg. allem. Chem. 128, 229 (1923).
18. Euler, H. und Ölander, A.: Ztschr. physikal. Chem. 131, 107 (1928).
19. Fajans, K.: Ztschr. Elektrochem. 34, 502 (1928).
20. Frankenburger, W.: Ztschr. angew. Chem. 41, 523 und 561 (1928).
21. French, C. C.: Journ. physical Chem. 32, 401 (1928).
22. Grube, G. und Schmid, G.: Ztschr. physikal. Chem. 119, 19 (1926).
23. Halban, H.: Ztschr. physikal. Chem. 67, 129 (1909).
24. — Ebenda 84, 129 (1913).
25. van't Hoff: Studien zur chemischen Dynamik. Amsterdam-Leipzig 1896.
26. Holluta, J. und Martini, A.: Ztschr. anorg. allem. Chem. 140, 206 (1924).
27. Holmberg, B.: Journ. prakt. Chem. [2] 84, 145 (1911).
28. — Ztschr. physikal. Chem. 79, 147 (1912).
29. — Ebenda 84, 451 (1913).
30. Kassel, L.: Nature 121, 746 (1928).
31. Kautz, C. F. und Robinson, A. L.: Journ. Amer. Chem. Soc. 50, 1022 (1928).
32. Kilpatrick, M.: Journ. Amer. Chem. Soc. 50, 358 (1928).
33. Kiss, A. und Zombory, L.: Rec. trav. chim. Pays-Bas 46, 225 (1927).
34. — und Bossányi, J.: Ebenda 47, 619 (1928).
35. — und Bruckner, V.: Ztschr. physikal. Chem. 128, 71 (1927).
36. — und Bossányi, J.: Ebenda 134, 26 (1928).

37. LaMer, V. K., King, C. V. und Mason, C. F.: Journ. Amer. Chem. Soc. 49, 363 (1927).
38. Lewis, G. N. und Randall, M.: Thermodynamics. New-York 1923.
39. Lewis, W. C. McC.: A System of Physical Chemistry, Vol. I. (1926).
40. — A System of Physical Chemistry, Vol. III. (1924).
41. McKenzie, A.: Journ. Chem. Soc. London 101, 1196 (1912).
42. McLauhlan, W. H.: Ztschr. physikal. Chem. 44, 600 (1903).
43. Moesveld, A. L. Th.: Ztschr. physikal. Chem. 103, 481 (1923).
44. Norrish, R. G. W. und Smith, F. F. P.: Journ. Chem. Soc. London 129 (1928).
45. Price, T. S.: Ztschr. physikal. Chem. 27, 474 (1898).
46. Rice, F. O., Fryling, C. F. und Wesolowski, W. A.: Journ. Amer. Chem. Soc. 46, 2405 (1924).
47. Sack, H.: Physikal. Ztschr. 28, 199 (1927).
48. Schmid, G.: Ztschr. physikal. Chem. 119, 8 (1926).
49. — und Olsen, R.: Ebenda 124, 97 (1926).
50. Skancke, R. und Schreiner, E.: Physikal. Ztschr. 28, 597 (1927).
51. Spitalsky, E.: Ztschr. physikal. Chem. 122, 157 (1926).
52. Timofejew, W. F., Muchin, G. E. und Gurewitsch, W. G.: Ztschr. physikal. Chem 115, 161 (1925).
53. Wagner, C.: Ztschr. physikal. Chem. 115, 130 (1925).
54. Walden, P.: Elektrochemie nichtwässriger Lösungen. Leipzig 1924.
55. — und Werner, O.: Ztschr. physikal. Chem. 129, 389 (1927).
56. Zahn, H.: Physikal. Ztschr. 28, 916 (1927).

Inhaltsverzeichnis.

1. Einleitung	5
2. Über die Durchführung der Versuche	3
3. Über die Versuchsergebnisse	13
4. Über die Reaktionsgeschwindigkeit in verdünnten Salzlösungen	79
5. Über die Reaktionsgeschwindigkeit in konzentrierten Salzlösungen	91
6. Über den Einfluss der Temperatur	110
7. Über die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten von der Anfangskonzentration der Reaktionskomponenten in Neutralsalzlösung	119
8. Theoretische Erörterungen	126
9. Zusammenfassung	135
10. Literaturverzeichnis	137

**ON TWO STRAINS OF YEAST-LIKE
ORGANISMS CULTURED FROM DISEASED
HUMAN THROATS**

BY

CHARLES R. SCHLOSSMANN

DIRECTOR OF THE BACTERIOLOGICAL INSTITUTE,
UNIVERSITY OF TARTU (DORPAT), ESTONIA

TARTU (DORPAT) 1929

K. Mattiesen, Tartu (Dorpat).

The object of the present article is to compare the properties, in culture, of two strains of yeast-like organisms isolated from diseased human throats, and also to test their pathogenicity for the common laboratory animals. It is known that yeast-like organisms in conjunction with bacteria are frequently found in the bacteriological examination of the exudates obtained from diseased mucous membranes of the respiratory system. Generally, they are only saprophytes harmless for man and do not cause pathologic changes in test animals. During recent years there have been described various lesions of the throat, bronchi and lungs with numerous yeast-like organisms in the expectoration. The latter were found to be pathogenic for the laboratory animals, and many cases of human diseases came to be looked upon as being caused by these organisms. Other cases, however, were thought to be caused by certain pathogenic bacteria and the yeast-like organisms were regarded as a secondary infection. Bronchomycosis has recently received prominent attention from many observers. Stovall and Greeley¹⁾ reported 18 cases of pulmonary affections with yeast-like organisms in the expectorations. 12 strains were pathogenic for the laboratory animals. In an examination of the sputa of a number of cases of suspected tuberculosis Marett (Jersey) found that 40 per cent. contained blastomycetes, 40 per cent. blastomycetes and tubercle bacilli, and 20 per cent. tubercle bacilli without blastomycetes. The author points out that chronic blastomycetic bronchial catarrhs are of frequent occurrence and that they are the commonest precursors of pulmonary tuberculosis. A search through the literature of the subject reveals the fact that in similar cases many authors attach no importance to the presence of yeast cells in the sputum, and assume some other cause for the bronchial catarrh.

1) Stovall, W. D. and Greeley, H. P. J. Amer. Med. Assoc. 1928, 91.

It has long been known that yeast-like organisms are present in the throats of healthy persons, but how far they are responsible for pathological conditions is not yet settled. Our previous bacteriological investigations have shown that in a large proportion of the cases of angina various yeast cells were present. Generally, they were considered as mouth contamination and their pathogenicity for the laboratory animals was not tested. The present two strains of yeast-like organisms were cultured from two patients in whom the clinical features of the throat affection suggested the possibility that the yeasts in association with bacteria might be the factor of the pathologic condition. It seems, therefore, that it might be of interest to study these strains in order to determine their virulence and importance in disease. From a practical point of view it may be mentioned that in cases of blastomycetic affections a special and systematic treatment must be carried out. The successfulness of the treatment, however, is secured by the early recognition of the cause of the pathologic condition.

Strain 1 came from the throat of a 7-year old boy having scarlet fever. At first the child exhibited the clinical features of a mild form of scarlet fever. By the sixth day the malignant pharyngeal symptoms appeared and progressed rapidly. The fauces and tonsils were covered with a thick membranous exudate. Necrosis occurred in the tissues of the throat and the angina was associated with otitis. On bacteriological examination of the throat hemolytic streptococci and numerous yeast-like organisms were found. The Klebs-Loeffler bacillus was not present. The child died within 36 hours with clinical picture of an acute intoxication.

Strain 2 together with the hemolytic streptococcus was isolated from the throat of a 46-year old man. The patient exhibited the clinical picture of an acute and severe pharyngitis. The disease set in with a high fever. The examination of the throat revealed a general congestion of the mucous membrane. The tonsils were covered by a pultaceous exudate. The disease persisted for 5 days and improved after medical treatment.

Cultural characteristics. The strains 1 and 2 of yeast-like organisms grow abundantly on ordinary media; a richer development occurred on sugar media. The beerwort medium was especially favourable. They grow both at room

(20° C) and at incubator (37° C) temperature; 37° C was more favourable for growth than 20° C. No growth occurred in anaerobic cultures.

The growth of the two strains on Sabouraud's acid agar was found to be practically identical. In young cultures the colonies were circular, white, smooth and elevated in the centre, becoming cream-coloured and powdery in old cultures. On glucose agar the cultural characteristics were more varied. Growth was rapid and the cultures covered the entire surface of the slants. The beginning of growth was white, smooth and heaped up. After a few days the white of strain 1 changed to a cream colour, becoming light brown, downy and powdery in old cultures. Filaments were sometimes noted in old cultures radiating out from the edges of the colonies and sheets. On the surface of growth light folds were noted and the underside of the colonies changed to brown.

The growth of strain 2 showed much the same character in young cultures. In old cultures the white slowly changed to a slightly grayish tinge, the powderiness was scantier and no filaments were noted on glucose agar medium. Growth on carrot was abundant, white in young cultures and lightly grayish in old cultures. For the gelatine liquefaction test the organisms were grown in gelatine medium (12%) for thirty days at room temperature (20° C) and in the incubator (37° C). In the gelatine-stick cultures (20° C) growth was very slow. At first, only a thin layer formed on the surface. Later on development occurred along the line of puncture and filaments radiated out from the stab like an inverted pinetree along the line of stab. At the end of the cultivation the set that was grown in the incubator was put into the ice box for three hours. The gelatine was not liquefied.

These yeast-like organisms produced much the same type of growth in all liquid sugar media. At first, growth appeared at the bottom of the tubes. After a few days of growth a flocculent grayish-white deposit was visible at the bottom of the tubes. After a few weeks a flocculent cloudiness become apparent in the liquid medium and a granular deposit along the sides of the tubes. A grayish-white culture-ring developed on the walls of the tubes encircling the surface of the medium. No pellicle developed on the surface of the cultures.

Morphology. These yeast-like organisms stain readily in the young state with ordinary dyes, they are Gram-positive. The shape and size of cells varied markedly even in the same culture. In the young cultures (48 hours at 37° C) oval and slightly elongate budding forms were more often observed. Some sausage-shaped and very long forms were found in young cultures of strain 1. No mycelia were present in the early cultures. In the unstained preparations the yeast cells were strongly refractive (See Figs. 1 and 2).

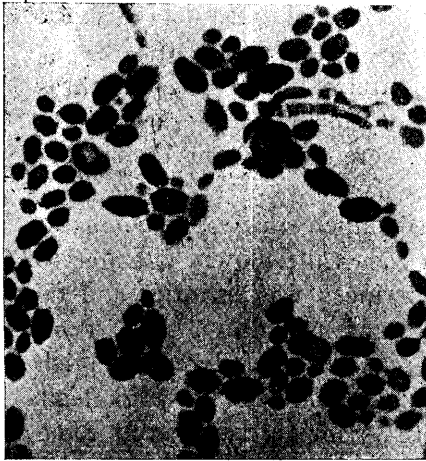


Fig. 1. Strain 1 from dextrose agar, 48 hours at 37° C.

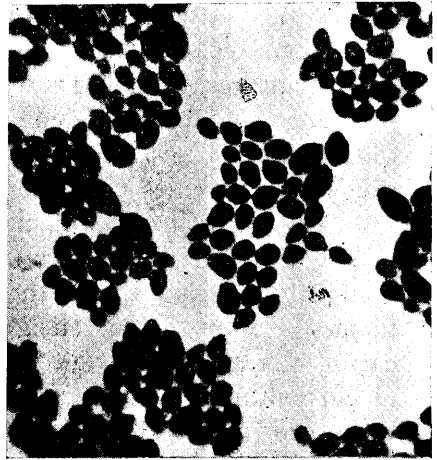


Fig. 2. Strain 2 from dextrose agar, 48 hours at 37° C.

The yeast cells from the old cultures stained very irregularly. The size and shape of the cells varied enormously. Each yeast cell contained a more or less definite nucleus, which was demonstrated by the hæmatoxylin. In the glucose agar cultures incubated for 30 days at 37° C numerous large round, encapsulated cells were present. With basic stains the cytoplasm of these was clear, except for a small bit of rounded or oval material which took the stain. Strain 1 produced numerous elongate yeast cells on this medium as well as some long septate mycelia. Strain 2 formed mycelia reluctantly on glucose agar (see Figs. 3 and 4).

Strains 1 and 2 produced abundant mycelia in the old sugar broth cultures. Carrot peptone broth was found to be a

good medium for the production of mycelium. The mycelia were septate and continued to reproduce by budding only. Short branches were present arising anywhere along the mycelium.

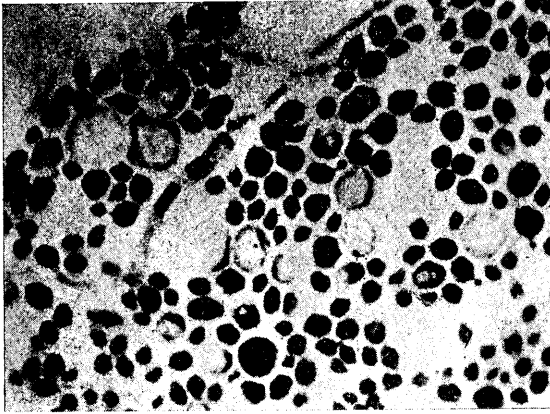


Fig. 3. Strain 1 from dextrose agar, 30 days at 37° C.

Lateral and terminal conidia were present. At the end of many mycelia a rounded large body was visible, with doubly refractive membrane and granular cytoplasm. With basic stain the cyto-

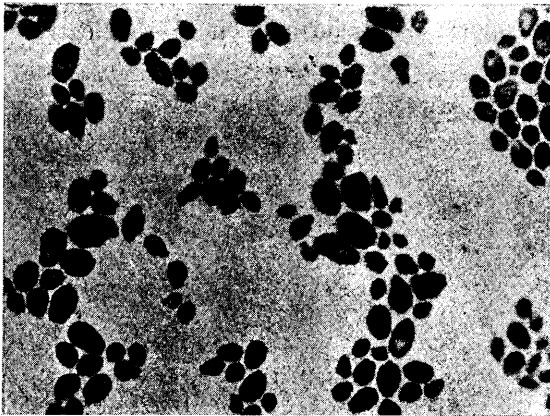


Fig. 4. Strain 2 from dextrose agar, 30 days at 37° C.

plasm was clear, except for small bits of material which took the stain (see Figs. 5 and 6).

For demonstration of the formation of spores Moeller's and Fraenkel's staining methods were used. No spores were

found in cultures on ordinary media. An attempt was then made with various elective media. Young cultures in beerwort media were transplanted to carrot, to Gorodkova's medium and

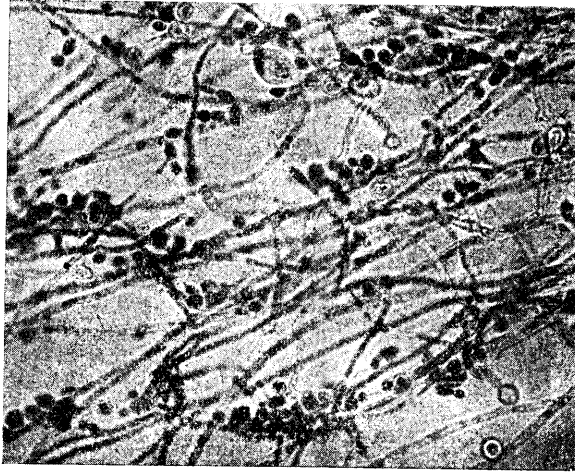


Fig. 5. Strain 1 from 10% sucrose broth, 37 days at 37° C.

to gypsum blocks. The cultures were incubated for 3 months at 37° C. No spores were formed on these elective media.

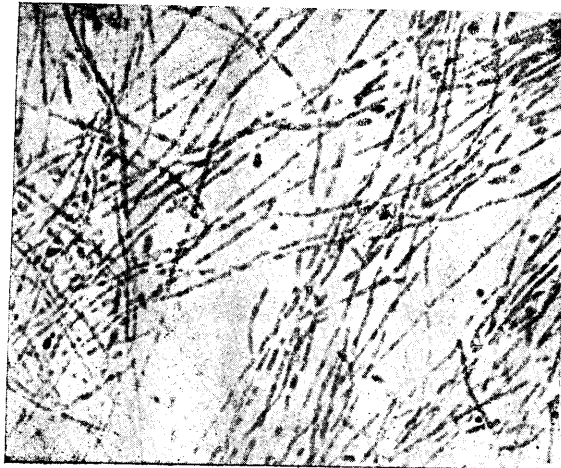


Fig. 6. Strain 2 from 10% sucrose broth, 37 days at 37° C.

Sasakawa ¹⁾, in his extensive work, tested the formation of spores in numerous strains of pathogenic blastomycetes. His experiments have shown that only one species of pathogenic yeasts, *Saccharomyces canis* Sanfelice, possesses the property of forming spores. Many irregular acid resisting granules and bodies were demonstrated, however, in several strains by Moeller's and Fraenkel's staining methods. We, too, have found similar acid resisting bodies in the cells of strain 1 incubated on carrot for three months.

Fermentation tests. As fermentation tests with carbohydrates, the ordinary macromethods and the micromethod recommended by Guilliermond ²⁾ were used. Two per cent. of each of the carbohydrates in broth medium was used in this series with litmus as indicator. The cultures were always incubated for ten days before being discarded as negative. Table 1 gives the reactions with the carbohydrates studied. The Hopkins ³⁾ medium containing lactose and saccharose was tried out for testing the pathogenicity of the fungi in vitro. After growing for three weeks they did not ferment either of these sugars. The results obtained with our strains 1 and 2 are thus in agreement with Hopkins' theory that pathogenic yeasts will not ferment these two sugars. Generally, the present yeast-like organisms possess very weak zymogenic properties. They did not change the litmus milk; no indol or hydrogen sulphide was formed by them.

Table 1. Fermentation tests of the two strains.

Yeast-like Organism	Glucose	Levulose	Maltose	Galactose	Saccharose	Lactose	Mannitol	Dulcitol	Dextrin	Arabinose	Inulin	Litmus milk	Glycerine	Gelatine
Strain 1	AG	0	AG	sA	0	0	0	0	0	0	0	alk	0	0
Strain 2	AG	0	AG	sA	0	0	0	0	0	0	0	alk	0	0

0 = no reaction; A = acid; G = gas; s = slight; alk = alkaline.

1) Sasakawa. Centralbl. f. Bakteriol. etc. Abt. I, Orig. Bd. 88, S. 269.

2) Guilliermond. Clef dichotomique pour la détermination des levures. Paris, 1928.

3) Hopkins, J. G. and Iwamoto, K. Arch. f. Dermat. u. Syphil. 1923, 8.

Thermal resistance. Thermal death point tests were tried out at 48°C and at 56°C. Sterile test tubes each containing 5 cc of sterile physiologic salt solution were heated in the water bath at 48°C and at 56°C. After 10 minutes 1 cc of 24-hour growth suspended in sterile salt solution was added to each tube and the tubes were heated in the water bath. The fragments were cultured on glucose agar after 5-, 10-, 20-, 30-, 45-, 60- and 90-minute exposures. The final results after 72-hours growth at 37°C were recorded. The time in minutes required to kill the organisms is shown in table 2.

Table 2. Time and temperature necessary to kill the yeast-like organisms.

Strain	Temperature	Minutes							
		5	10	15	20	30	45	60	90
1	48° C	+	+	+	+	+	-	-	-
1	56° C	+	+	+	-	-	-	-	-
2	48° C	+	+	+	+	+	-	-	-
2	56° C	+	+	+	+	-	-	-	-

+ indicates growth; - no growth after the exposure.

Ricketts¹⁾ has reported that the pathogenic yeasts were killed in two to five minutes at 54° to 58° C. Spring²⁾ and Mc Kinney³⁾ have found that numerous strains of blastomyces can survive 48°C for twenty minutes. It appears that the pathogenic yeasts thus rank among the more resistant organisms as far as heat is concerned.

Animal tests. As soon as the yeast-like organisms could be grown in pure culture, they were injected into test animals to determine their virulence. Cultures grown on sugar agar for 24 hours at 37°C were suspended in sterile physiologic salt solution, and 0.5 cc to 1 cc of the emulsion of each of the strains were injected subcutaneously, intraperitoneally and intravenously. When abscesses resulted from the injection, they were cultured. The animals that died were necropsied and the heart blood, spleen, kidney, liver and lungs were cultured.

1). Ricketts, J. Med. Research 1901, 6, p. 537.

2) Spring, D. Journ. of Infect. Diseases 1929, 44, p. 169.

3) Mc Kinney, M. Journ. of Infect. Dis. 1929, 44, p. 47.

When the yeast-like organism was recovered from an animal, it was identified by carbohydrates fermentation tests.

The rabbit which received 1 cc of an emulsion from strain 1 into the marginal ear vein died within 48 hours, and the rabbit which received an emulsion from strain 2 died within 3 days. No lesions were to be seen, but the identical organisms were recovered from lungs, spleen, liver and heart blood. It may be noted in passing that the death of the rabbits is due to organ insufficiency rather than to the virulence and multiplication of the organisms. Intraperitoneal injection into rabbits caused no real visceral changes. In rabbits killed 40 days after the injection a few nodules were seen in the tissue at the root of the mesentery. No yeast-like organisms were found. The rabbits which received subcutaneously 1 cc of a suspension from strains 1 and 2 developed a marked infiltration in the subcutaneous tissue. Within 10 to 14 days a fluctuant abscess was formed which subsequently ulcerated and discharged quantities of greenish-yellow pus. Identical yeast-like organisms were recovered from the pus. The ulcers improved spontaneously, and there was no tendency to local extension, much less to metastasis.

The guinea-pigs which received intraperitoneally 0.5 cc of an emulsion remained well. When killed four weeks later, there were usually found adhesions between several loops of bowel. Small caseous nodules were present in the abdominal cavity which had a predilection for the root of the mesentery. Only one of the guinea-pigs, which was inoculated with strain 1, had an abscess in the liver, from which the identical organisms were recovered. All the guinea-pigs that were injected subcutaneously with 0.5 cc of an emulsion developed a marked infiltration and later a local abscess was formed, from which the identical organisms were cultivated. The guinea-pigs improved spontaneously and there was no tendency to metastasis.

The white rats which were inoculated intraperitoneally with strains 1 and 2 remained well. When killed four weeks later and examined at necropsy, the animals exhibited small caseous nodules near the root of the mesentery. There was no evidence of generalized blastomycosis. All the rats that received subcutaneously 0.5 cc of an emulsion developed a local infiltration which exhibited a tendency toward spontaneous healing.

As to the susceptibility of different animal species, it appeared that the white mice were the most susceptible of all the laboratory animals. Several mice which were inoculated intraperitoneally with strains 1 and 2 died within a few days. No lesions were to be seen, but the kidneys, liver, spleen and lungs contained numerous yeast-like organisms. The remainder of the injected mice died within 25—35 days. Multiple military blastomycetic abscesses were recovered in most of the organs. The mice which were inoculated subcutaneously died within 20—30 days. Local infiltrations and ulcers were sometimes to be found. When examined at necropsy, there was evidence of generalization in some cases. The examination confirmed that in the mouse the yeast-like organisms had the power of proliferation.

Classification. A review of the preceding data shows that the two strains of the yeast-like organisms are closely related. That they are not of the true yeasts or saccharomycetales is suggested by their failure to produce ascospores under favourable conditions and also by their failure to reproduce sexually. All the pathogenic yeasts are called blastomycetes because of their frequent method of reproduction by means of budding. The position which the blastomycetes occupy in systematic biology has not yet been exactly determined. In recent years they have been grouped with the ascomycetes (Buschke¹), but this view was contested by Guillermond. In general, the blastomycetes can be regarded as modified yeast forms and because of this they are designated as *Fungi imperfecti* (Non-saccharomyces of Guillermond, *Hyphomyces* of other authors). The *fungi imperfecti* may or may not form a mycelium. Ricketts divided the yeast-like organisms which form mycelia into a group which forms mycelia reluctantly, and another which forms abundant mycelia. The yeast-like organisms which multiply by budding and form mycelia under certain conditions are variously classified as *Monilia* (Plaut²), *Persoon*), *Blastomyces* (Gilchrist³), *Oidia* (Ricketts), *Oospora* (Saccardo)

1) Buschke. Handb. der pathog. Mikroorg. Bd. V. 1928.

2) Plaut. Handb. d. pathog. Mikroorg. von Kolle u. Wassermann, Bd. 32, 1913.

3) Gilchrist. Bull. John Hopkins Hosp. 1896, I, p. 269.

or *Parasaccharomyces* (Anderson¹). Those which do not form mycelia are classified as *Torula* (Stoddard and Cutler²), or *Cryptococcus* (Castellani and Chalmers³). On the morphological basis it seems to be evident that our strains 1 and 2 should be placed with the budding organisms which form mycelia, and they could therefore be called *Monilia*. Castellani⁴) thinks that since mycelial elements are present, classification among the *Monilia* is most satisfactory.

Classification of the *Monilia* is undertaken by means of biochemical characteristics by Castellani and Chalmers, Nye, Zervas and Cornwell⁵), and similar tables of the sugar fermentations were constructed by them. If the carbohydrates fermentation reactions are chiefly considered, it appears that our two strains 1 and 2 would belong to the same species. Castellani,⁶) however, points out that many *Monilia* after a few transplantations can alter their fermentation characters. Fermentation tests may, therefore, form a basis for separating genera; they are unreliable for separating species. Many authors (Anderson etc.) have arranged a classification of yeast-like organisms ignoring carbohydrates fermentation tests altogether. The sugar fermentations of our two strains do not exactly agree with those in Castellani's table, and the nature of these pathogenic yeasts does not yet admit of definite classification.

In recent years many authors have suggested that serologic reactions might aid in the identification and classification of yeast-like organisms. Animal immunization with yeasts and immune reactions in those animals have been studied by Hines⁷), Van den Linden⁸), Castellani⁹), McKinney¹⁰). Generally, it was found that fungi behave like bacteria in pro-

1) Anderson. Journ. of Infect. Dis. 1917, 21, p. 341.

2) Stoddard and Cutler. Monog. 6. Rockefeller Inst. for Med. Res. 1916.

3) Castellani and Chalmers. Manual of Tropical Med. 1920, p. 1082.

4) Castellani. Arch. Derm. u. Syphil. 1926, 14, p. 291.

5) Nye, Zervas and Cornwell. Am. J. M. Sci. 1928, 175, p. 153.

6) Castellani. Arch. f. Dermat. u. Syphil. 1927, 16.

7) Hines. Journ. Infect. Dis. 1924, 34, p. 529.

8) Van den Linden. Compt. rend. Soc. de biol. 1926, 95, p. 881.

9) Castellani. Brit. Med. Journ. 1923, 2, p. 238 and Arch. f. Derm. u. Syphil. 1927, 16.

10) Farah. Journ. Trop. Med. 1923, 26.

ducing specific agglutinins, but that non-specific agglutinins are also present. It was more difficult to immunize rabbits against the yeast-like organisms than against bacteria. McKinney states that the agglutination and complement fixation reactions indicated a marked serologic difference between the non-pathogenic commercial yeast and the *Monilia* isolated from human sources. The serologic reactions show only a slight group or species specificity and thus do not classify the yeast-like organisms within the pathogenic group. Specific agglutinins in patients serum during blastomycotic diseases have been found by Widal and Abrami. Farah found positive agglutination and complement fixation reactions with patients serum during bronchomoniliasis. In general, the serologic reactions with patients serum during the diseases produced by the pathogenic yeasts are not yet sufficiently studied and they remain a source of confusion to serologists.

Summarizing discussion. A review of the characters by which the yeast-like organisms are classified shows that the organisms described could be called *Monilia*. The cultural characteristics, pathogenic and zymogenic properties of these organisms do not yet admit of definite identification of our two strains. They are virulent to some degree for laboratory animals. In general, the virulence for the common laboratory animals was low and the symptoms of disease were featureless, even when injected into the peritoneal cavity. The degree of pathogenicity of our strains 1 and 2 varied from production of inflammation and abscesses to death. As to the susceptibility of different animal species, it appears that rabbits were but slightly susceptible, generalization occurred in no instance. Guinea-pigs were comparatively resistant. White rats were susceptible, although they were not killed by the disease. White mice were very susceptible to these blastomycetic organisms and several mice died within a few days of the inoculation. In the case of the mice, there were but a few instances of generalization. On the whole, it appears that the white mouse is an animal of choice for diagnostic tests of the pathogenic yeasts. Spring points out that the testicle of the rat and mouse is the situation of choice for inoculation. In appraising the pathogenicity in animal tests death should not be expected; it is sufficient to achieve local multiplication of the blastomycetic

organisms and the development of abscesses. Ricketts, Stober¹⁾, Hektoen, Hyde and Bevan²⁾ tested many strains of pathogenic yeasts on various laboratory animals and they were never able to secure consistently positive results. The animal tests were planned by many authors towards the reproduction of the blastomycotic disease as it occurred in man. This way of comparison of the pathogenicity, however, is not of much value, because in man a pathogenic yeast can lose a certain degree of the virulence in a short time. On the other hand, incongruous results might be explained by the degree of tissue resistance. It is usual to find that blastomycetic lesions have not developed uniformly enough in the different animal individuals and in the various anatomical parts of the body.

As to the pathogenicity of our two strains to man, it appears that these yeast-like organisms should be looked upon as being a certain etiologic factor of the pathologic condition in the two patients described. On microscopic examination of the stained smears from the throat, great numbers of yeast-like organisms in conjunction with cocci and bacteria were found. In none of the patients with an acute pharyngitis were such great numbers of yeast-like organisms present. One cannot therefore escape the impression that these blastomycetic organisms were able to increase the severity of the disease. It is well-nigh impossible to admit that they are only harmless saprophytes in the throat. Certainly, in these two cases the mucous membranes of the throat were bearers of the pathogenic yeasts, and the tissue resistance was considerably diminished before the symbiotic infection took place.

Conclusions.

Two strains of yeast-like organisms isolated from diseased human throats were studied. The following are the principal results:

1. Culturally, the budding yeast-like organisms were *Monilia*, producing mycelium and having no ascospores. Irregular acid resisting granules and bodies were found in the yeast cells incubated on carrot for three months.

1) Stober. Arch. Int. Med. 1914, 13.

2) Hektoen, Hyde and Bevan. Journ. of Dermatol. 1899, 11.

2. The present yeast-like organisms possess very weak zymogenic properties. No indol or hydrogen sulphide was formed.

3. These yeast-like organisms rank among the more resistant microorganisms as far as heat is concerned.

4. They are virulent to some degree for the common laboratory animals. Generalization of infection occurred only in the mouse, which is the animal of choice for diagnostic tests.

5. It appears probable that the yeast-like organisms isolated were a certain etiologic factor of the pathologic condition in the two patients described.

AUS DEM ZOOTOMISCHEN INSTITUT DER UNIVERSITÄT TARTU-DORPAT

DIREKTOR: PROF. DR. *HANS RICHTER*

**DIE RELATION ZWISCHEN FORM UND FUNK-
TION UND DAS TELEOLOGISCHE PRINZIP IN
DEN NATURPHÄNOMENEN**

VON

PROF. DR. HANS RICHTER

TARTU-DORPAT 1929

C. Mattiesen, Dorpat.

Im Jahre 1922 erschien von mir eine kurze extraktartige Schrift: „Die Entwicklung der Begriffe Kraft, Stoff, Raum, Zeit durch die Philosophie etc.“ (1) und meine Veröffentlichung: „Zwei Grundgesetze der lebenden Masse und der Natur überhaupt“ (2). Im Frühjahr 1923 hielt ich auf der Versammlung der Anatomischen Gesellschaft (3) einen Vortrag: „Zwei Grundgesetze (Funktion- und Strukturprinzip) der lebendigen Masse“, ein Thema, das ich dann auch in meiner Antrittsvorlesung in Dorpat behandelte (3).

In Bezug auf das Strukturprinzip, welches der Formbildung zu Grunde liegt, stütze ich mich bei diesen Abhandlungen auf die Protomerentheorie Martin Heidenhains, die dieser geniale Forscher auf histologischem Gebiete in seinem tiefgründigen Werke „Zelle und Plasma“ formuliert hat. Noch in demselben Jahre 1923 erschien eine Abhandlung dieses Autors „Formen und Kräfte in der lebendigen Natur“ (4).

Die Arbeiten von M. Heidenhain darf man nicht einfach lesen, man muss sie studieren. Die Probleme, welche in dieser letzteren Arbeit Heidenhain's sowie auch in meinen eigenen oben erwähnten Veröffentlichungen behandelt werden, sind sich sehr ähnlich, ja decken sich fast. Nur der Weg dazu unterscheidet sich. Heidenhain stiess als erfolgreicher und tiefgründiger Histologe, also mehr von naturwissenschaftlich-experimenteller Seite auf diese Grundfragen der Biologie. Ich selbst, einem alten, in mir steckenden Hange folgend, war mehr von der Seite der Philosophie¹⁾ an diese Probleme

¹⁾ Ich hatte das Glück nach Abschluss meines Fachstudiums als Assistent in Breslau zwei Philosophen grundverschiedener Richtung nebeneinander hören zu können, nämlich einmal Baumgartner, von der alten Schule, zugleich katholischer Geistlicher, und dann Ebbinghaus, bekanntlich der Bahnbrecher für die moderne experimentelle Psychologie.

geraten. Da ich aber zugleich Anatom bin und als solcher schon in Bern die Vorlesungen über Histologie las, so ergab sich auch daraus noch eine weitere Übereinstimmung des Gegenstandes, wie dies schon die Titel der beiderseitigen Abhandlungen zeigen.

Eigenartig, aber nicht verwunderlich ist es in diesem Zusammenhange, wenn Heidenhain in seinem epikritischen Schlusskapitel seiner diesbezüglichen Abhandlung „Formen und Kräfte etc.“ (4) an mehreren Stellen hinweist auf die Möglichkeit der Behandlung dieser Probleme vom „erkenntnistheoretischen“, also philosophischen Standpunkte aus. Ich zitiere hier (S. 132): „Immer gelangen wir bei dieser Art der Naturerkenntnis auf Massen und Kräfte. Die Kräfte aber, welche die Massen bewegen, sind unbekannt und unerkennbar. Sie durchschreiten in letzter Linie überall die leeren Räume, ob es sich nun um den fallenden Stein oder um das Elektron handelt, welches von dem zentralen Kern des Atoms angezogen wird. Demgemäss sind sie fiktiver Natur und, meiner Meinung nach, von metaphysischer Art, unerkannt und nur in ihren Wirkungen spürbar. Daher ruhen Physik und Chemie auf einem Untergrunde, welcher jenseits aller direkten Erfahrung liegt. Das hier vorliegende Problem dürfte naturwissenschaftlich überhaupt nicht, wohl aber erkenntnistheoretisch auflösbar sein.“ (S. 133:) „Wir haben demgemäss in der Biologie zwei Arten der möglichen Erfahrung und sind den exakten Naturwissenschaften in Bezug auf die Mittel überlegen. Beide Arten der Erfahrung beziehen sich jedoch auf das nämliche Objekt und ergänzen einander. Ihr gegenseitiges Verhältnis näher zu bestimmen, wird abermals eine Aufgabe der Erkenntnistheorie sein.“ (S. 134:) „Ich halte es aber erkenntnistheoretisch für möglich, ja für wahrscheinlich, dass die Kräfte, von denen die exakten Naturwissenschaften sprechen, in den inneren Erfahrungen als psychische Vorgänge unmittelbar zum Bewusstsein gelangen.“

Meine eigene erste Abhandlung auf diesem Gebiete („Kraft, Stoff, Raum, Zeit etc.“, cf. oben (1)) ruht nun auf einer erkenntnistheoretischen Grundlage, denn sie hatte zur Veranlassung einen Vortrag, welchen ich in der mathematischen Vereinigung in Bern (im März 1921) hielt, dessen Titel lautete: „Versuch einer naturwissenschaftlichen Erklärung unserer Erkenntnis methode und Logik etc.“ (cf. Vorwort der Schrift).

Wenn nun zwei Wissenschaftler bei ihren ähnlichen Abhandlungsgegenständen, der eine am Anfang seines Weges, der andere am Ende das Problem der Erkenntnistheorie stehen hat, wenn sich diese Wege gewissermassen polar zueinander zu verhalten scheinen, so dürfte es nicht unfruchtbar sein, näher auf die Entsprechungen beider einzugehen.

In dem ersten Hauptteil seiner vorliegenden Abhandlung setzt sich Heidenhain auch mit einem Philosophen auseinander, nämlich mit Driesch, dessen Hauptwerk auf diesem Gebiete „Die Philosophie des Organischen“ heisst. Heidenhain selbst nennt Driesch „Philosophen und Logiker im Naturforscherkleide“. Von einem experimentellen Naturforscher, einem Entwicklungsmechaniker aus der Schule W. Roux's wandelte sich Driesch zu einem Philosophen. Man könnte von ihm sagen, er kam von der Frage des „woher?“ und gelangte zur polaren Frage des „wohin?“ und „wozu?“, und so zur Teleologie und zur Aufstellung seines vitalistischen Faktors im Entwicklungsgeschehen lebendiger Dinge, dem er den Namen „Entelechie“ gibt. (Dieser Ausdruck stammt bekanntlich von Aristoteles und enthält das Wort „τέλος“ = Ende, Zweck.) Indem er den Gang des Entstehens lebendiger Dinge (Tierformen) eingehend untersuchte, dabei also gewissermassen historisch-retrospektiv eingestellt war, kam er andererseits zu einer „prospektiven Potenz“ und weiter zu seiner „Entelechie“, die wieder auf das mechanische Geschehen der Entwicklung zurückwirken soll (cf. Heidenhain (4), S. 63). Es scheint also, als ob in dem sich entwickelnden lebendigen Dinge die Fähigkeit enthalten ist, vorausschauend (prospektiv, provident) „Pläne“ zu entwerfen, nach welchen es in seinem Entstehungsprozess handelt, wie ein Baumeister, der einen Bau leitet und nach seinen eigenen entworfenen Plänen sich bei der Ausführung richtet, und so zu einem, einem Zweck entsprechenden Werk gelangt. Hier berührt sich also, wie man sieht, die Philosophie des Organischen von Driesch mit Gedanken in der „Theorie des Lebendigen“ von J. v. Uexküll (6). Die von letzterem betonte „Planmässigkeit“ setzt auch eine „prospektive Potenz“ voraus und enthält auch ein teleologisches Prinzip, und v. Uexküll's „Merk- und Wirkwelt“, die wie Matrize und Patrizie aufeinander passen, sich also wie Plus und Minus verhalten, schliessen den Begriff der „Polarität“ in sich.

Heidenhain (4) stellt mit Recht den Satz auf (S. 5—6): „dass jedes lebendige Objekt bei aufmerksamer Betrachtung geeignet ist, eine Unterlage für solche Untersuchungen zu bilden, welche die äussersten oder tiefsten Grundlagen des Baues und der Entwicklung lebendiger Geschöpfe zum Gegenstande haben.“

In welcher Beziehung = „Relation“ (= Kategorie der Kategorien nach R e n o u v i e r) stehen nun diese tiefsten Grundlagen einerseits der Entwicklung und anderenteils des endlichen (τέλος!), fertigen Baues zueinander? Diese Frage deckt sich im Grunde genommen mit der Frage der Beziehung der Morphologie zur Physiologie, wenn man die Entwicklung der Physiologie zurechnet (cf. *φύεσθαι* griechisch = wachsen!), oder auch mit der Beziehung der „Formen und Kräfte in der lebendigen Natur“ nach der Sprache von Heidenhain, oder mit der „Relation zwischen Form und Funktion“, wie ich mich ausdrücken möchte, indem ich unter „Funktion“ das ganze Aktive, Handelnde, Veränderliche, Bewegliche, den „Prozess“ verstehe und die „Form“ als das Unbewegliche, Feststehende nehme.

Es steht diese Relation in Analogie mit derjenigen der umfangreicheren, tieferen und einfacheren Begriffe: des „Stoffes“ zur „Kraft“ (cf. meine Schrift „Kraft, Stoff etc.“ (1)), denn das „Stoffliche“, die Masse ist die Grundlage der Struktur (= innere Form), die bei lebendigen Objekten wieder die äussere Form (= Gestalt) bedingt. Die „Kraft“ dagegen ist ja als die Ursache des Vorganges (Prozesses) der Tat, der Bewegung zu denken.

Mit Recht beklagt sich Heidenhain (4) darüber (S. 2 u. 3): „So ungeheuer auch der Fortschritt unserer Wissenschaft auf dem Gebiete der praktischen Analyse der Tier- und Pflanzenformen im fertigen und Embryonalzustande gewesen ist, so gering ist der Fortschritt in den Grundanschauungen. Mehr als zwei Generationen von Gelehrten lebten sich aus, indem sie die tierischen Formen in ihre Einzelbestandteile auflösten und gewissermassen eine empirische Formel der Zusammensetzung der Geschöpfe aufstellen.“ „Die Morphologie war und blieb Zergliederungskunst.“ „Kurz: die Analyse als Methode und die Analyse als Theorie beherrschten das Feld.“ „Eine Theorie lebendiger Systeme höherer Ordnung und den Begriff einer Konstitution der Formen, vermittelt durch Systemfunktionen, gab es nicht.“

Daraus ist zu ersehen, dass die Mitberücksichtigung der Funktion es ist, die die einseitige zerstückelnde, analytische Betrachtungsweise zu Synthese wandelt. In einer meiner früheren Abhandlung „Zwei Grundgesetze etc.“ (3) (Acta et Comment. Univ. Dorpatensis A VI. 12, S. 16, vorletzter Absatz) drückte ich mich bei der Besprechung der Polarität als Urprinzip folgendermassen aus: „Sobald die Wirkung, also die Funktion der entgegengesetzten Pole in Betracht kommt, so tritt sogleich das sich Anziehende, Entgegenkommende, Zusammengehörige in Erscheinung.“

Heidenhain hat es zustande gebracht, diese einseitige analytische Auffassung des Körpers als der eines „Zellenstaates“, also der Vergesellschaftung von Einzelpersonen (Zellindividuen), ein Ende zu bereiten durch die Aufstellung seiner Theorie der Teilkörpersysteme oder seiner Protomerentheorie. Aber ich hatte schon in meinem Heidelberger Vortrage darauf hingewiesen, dass diese Theorie keine rein morphologische ist, sondern dass Heidenhain hier schon auf das physiologische Gebiet übergreift, „was ja bei seiner erblichen Belastung von Seiten eines berühmten Verwandten des Physiologen Heidenhain nicht verwunderlich sei.“ Denn in seiner Teilkörpertheorie ist das Ausschlaggebende die Art und Weise des Teilungsvorganges, der sich allerdings dann in der Form und Gestalt und in der Anordnung der Teile im Raume widerspiegelt. Der Morphologe begreift die Dinge im Raum, der Physiologe mehr die zeitlichen Abläufe. Heidenhain selbst drückt sich hierüber in seiner vorliegenden Abhandlung folgendermassen aus (S. 40): „Die Entwicklung ist ein Vorgang mit bestimmtem zeitlichem Verlauf, während dessen ein Material, welches dauernd wächst und schwillt, nach bestimmten Naturgesetzen geordnet wird, wobei die in der Zeit sich vollziehende Ordnung der Dinge schliesslich als ein Nebeneinander im Raume, als eine Regel des Aufbaues erscheint. Man kann daher von einer bildhaften Projektion des Entwicklungsprozesses in den Raum sprechen, worüber ich mich ein andermal auslassen werde.“

Hierbei ist wohl zu beachten: versucht man die ursprünglich dreidimensionale räumliche Gestalt als flächenhaftes Bild sich zweidimensional, also nebeneinander vorzustellen und möchte nun als dritte jetzt nicht beanspruchte Dimension des Raumes, das Zeitliche des Vorganges symbolisch als ein Hinter-

einander einfügen, um so das Ganze räumlich (wir sind Augentiere!) besser begreifen zu können, so sind wir leicht Irrtümern ausgesetzt. Man wird dann leicht verführt, nach dem Vorbilde Einsteins die Zeit als 4. Dimension des Raumes tatsächlich zu betrachten. Dem ist aber nicht so! denn Zeit und Raum verhalten sich zueinander wie zwei gleichwertige Pole, wobei der eine nicht bloss einem Teilstück des anderen entsprechen kann. (Cf. meine Schrift: „Kraft, Stoff, Raum, Zeit etc.“ (1)).

In seiner Teilkörpertheorie kommt Heidenhain schliesslich bei der stufen- (kategorieen-) weisen Aufteilung auf ein letztes Teilstück, die „Protomere“, die als das letzte Unteilbare an biologischen Objekten gedacht werden kann, analog einem Atom oder moderner einem Elektron in Physik und Chemie. Als ich in meinen Abhandlungen, besonders „Zwei Grundgesetze der lebenden Masse und der Natur überhaupt“, aus der Heidenhain'schen Teilkörper- und Protomerentheorie mein Strukturprinzip, die „Merie bzw. Dimerie“ entnahm, erweiterte und ergänzte ich diese Theorie durch den scharfen Hinweis darauf, dass bei dieser stufenweisen Aufteilung niemals gleiche Teilstücke entstehen, sondern dass auch hier wie überall in der Natur die Ungleichheit, „iniquitas“ herrschend ist. Denn ich war von der erkenntnistheoretischen, also philosophischen Seite an dieses Problem herantreten und hatte gewissermassen zuvor die wichtige Frage gestellt: Wie kam die Gleichheit, aequitas in die Welt, während es doch in der Natur kein einziges Ding gibt, welches einem anderen gleich (=) oder gar kongruent (\cong) im mathematischen Sinne ist. Sie ist eng verbunden mit der anderen Frage, der „Abgrenzungsmöglichkeit“.

Heidenhain selbst hat sich weder in „Zelle und Plasma“, noch in der letzten vorliegenden Abhandlung genauer darüber geäussert. Aus seinen scheinbar erfolgreichen Bestrebungen, seine Protomere auch „rechnerisch“ zu erfassen, könnte man auf die Annahme einer letzten „Gleichheit“ schliessen, vielleicht hat diese „Rationalität“ auch nur Bezug auf eine Gleichheit der Proportionen (= gleiche Verhältnisse). Es ist nun sehr interessant zu erkennen, wie auch Driesch in seiner Philosophie des Organischen neben dem Festhalten an der Entwicklung der Teilstücke „in getrennten Reihen“ an einer Gleichheit (= aequitas) bei der Konstruktion seiner „aequipotentiellen Sy-

steme" festhält. Um nun zu einer Erklärung zu kommen, wie dann doch Variation und Mannigfaltigkeit in diesem gleichartigen Konglomerat entsteht, wird die „Entelechie" zu Hilfe gerufen. (Zitiert nach Heidenhain, S. 28.) „Räumliche Mannigfaltigkeit entsteht, wo solche Mannigfaltigkeit nicht vorhanden war" (Driesch, S. 140). „Durch die Furchung werden neue äquipotentielle Systeme erzeugt und in diesen die Lokalisation der spezifischen Prozesse der Formbildung durch Entelechie bestimmt."

Auf den m. E. einzig richtigen Ausweg, aus diesem Dilemma herauszukommen, verfällt man nicht, nämlich von vorn herein eine Iniquitas, eine Ungleichheit, als Grundprinzip der Natur anzunehmen. Die ganze Differenzierung im Verlaufe der Entwicklung ist weit leichter zu begreifen, wenn man eine allmähliche stufen- und schrittweise Steigerung der Iniquitas annimmt, begonnen bei der einfachsten und tiefsten Ungleichheit, der Polarität. Dann ist auch der vitalistische Faktor entbehrlich, die prospektive Potenz mit der Entelechie, die wieder mit Retrovalenz (valere = wirksam sein, Heidenhain) begabt sein muss, was alles nur unter der Voraussetzung eines „Vorurteiles" im eigentlichen Sinne des Wortes begreifbar wäre. Hier wird m. E. zu sehr unsere logisch-anthropistische Auffassung in das reine Naturgeschehen hineingemischt. Um auf den obigen Ausweg zu verfallen, muss man erst das erkenntnistheoretische Tor passiert haben.

Um im folgenden leichter verstanden zu werden, muss ich hier in grossen Zügen auf die Erkenntnistheorie eingehen. Genauer, allerdings auch sehr kurz und mit Lücken, die ich damals absichtlich noch offen liess, ist das Problem vom biologischen Standpunkt aus der Lösung näher geführt worden in meiner Schrift „Kraft, Stoff, Raum, Zeit etc." (1).

Ich will dies hier so tun, dass ich die oben aufgeworfene Frage: Wie kamen Gleichheit und Grenzen in die Welt? auf dieser Grundlage zu beantworten versuche. Ganz kurz gefasst lautet die Antwort auf diese Frage: „Durch das Instrument und durch die Methode unseres Erkennens." Es ist also etwas rein Subjektives. (Hier weise ich auf den Ausspruch v. Uexküll's in seiner theoretischen Biologie hin: „Das Geheimnis der Welt ist hinter den Subjekten,

nicht hinter den Objekten zu suchen.") Ich selbst möchte lieber mich so ausdrücken: es ist hinter der Beziehung, Relation, zwischen erkennendem Subjekt und zu erkennendem Objekt zu suchen.

Diesen Angelpunkt der Philosophie, jeder Philosophie, hat auch K a n t untersucht und dann auf diesem Grundstein sein ganzes philosophisches Gebäude errichtet. Um das Verhältnis zwischen dem erkennenden aktiven Subjekt und dem zu erkennenden passiven Objekt klar erfassen zu können, schuf K a n t den Begriff des „Ding an sich“ („noumenon“), welches losgelöst von jeder sinnlichen Erfahrung und Erkenntnis als Teil der „wahren Welt“, n i c h t der Erscheinungswelt („phaenomena“) aufzufassen ist und existieren muss. An die Stelle des Wortes „wahre Welt“ möchte ich „Natur“ setzen. Da nun die „wahre Welt“, die „Natur“ sich nicht in festgelegten Gestalten, Formen und Bildern erschöpft, sondern der Wechsel, der Ablauf, das Fließende (*πάντα ῥεῖ*), Zeitliche das eigentlich Wesentliche ist, habe ich den Begriff des „Ding an sich“ erweitert durch den Begriff des „V o r g a n g a n s i c h“, da man im allgemeinen gewohnt ist, unter „Ding an sich“ etwas Festes, Materielles vorzustellen und den V o r g a n g, die zeitliche Veränderung leicht unberücksichtigt lässt.

Meines Wissens bin ich der erste, der diesen Begriff des „Vorgang an sich“ festgelegt und formuliert hat. Bei jedem Wahrnehmen und Erkennen treten wir als Subjekt dem „Ding an sich“ oder dem „Vorgang an sich“ als Objekt entgegen, denn auch das Wahrnehmen und Erkennen ist ein Handeln, eine Tat. Das Besondere der Handlung des Wahrnehmens und E r k e n n e n s liegt nun darin, dass es immer ein W i e d e r e r k e n n e n ist und dem Vorgang ein V e r g l e i c h (comparatio), ja ein Gleich (=)-setzen zugrunde liegt. (Am Beispiel eines Dreiecks habe ich dies in meiner Schrift „Kraft, Stoff etc.“ (1) näher dargelegt!) Das Finden oder Nichtfinden eines Tertium comparationis zwischen zwei Sinneseindrücken, die auf uns gewirkt haben, ist das, was das Wahrnehmen und Erkennen ausmacht. Wenn ich aber etwas vergleiche, so muss das erste, mit dem ich das andere zusammensetzen, vergleichen will, erst einmal fixiert, festgelegt, geprägt sein. Der einfachste Fall hiervon ist der, wenn ich etwas m e s s e. Dann muss ich auch den M a ß s t a b als etwas Festes, Unveränderliches bestimmt haben (cf. den Normal-Meterstab aus Platin im Keller der Académie des Sciences in Paris!). Will ich

doch durch das Messen etwas erkennen, begrifflich erfassen, nämlich das, was wir Quantität nennen (cf. auch die Wage) ¹⁾.

Nun hat der Satz der klassischen griechischen Philosophie: *πάντα ῥεῖ* auch heute und für uns noch seine Gültigkeit und ebenso der Ausruf des Archimedes: „*δός μοι ποῦ στῶ* etc.“ In der wahren Welt, in der Natur ist alles im Fluss, gibt es nichts, irgendwo und irgendwann, was nicht in Veränderung, im Wandel begriffen wäre.

Wie erhalte ich aber nun das Feste und Bestimmte, das ich unbedingt notwendig habe, wenn ich zum Zwecke des Erkennens vergleichen will, das eine am anderen abmessen will?

Dies kann ich nur so erreichen, dass ich ein Teilstück aus dem Fliessen des weltlichen Geschehens abgrenze, abscheide, absondere, und es als Sinneseindruck, als etwas Geprägtes, als Bild in meinem Gehirn, als Gedächtnismasse (*μνήμη*) festlege. Dieses Fixierte kann mir dann als Vergleichsobjekt, als ein Mass dienen, wenn ich beim anderen, zweiten Eindruck durch Vergleichen „e r k e n n e n“, wiedererkennen will. Heutzutage, wo jedem das Prinzip des Kino geläufig ist, ist dies alles nicht so schwer zu verstehen. Auch bei der kinematographischen Aufnahme grenzen und scheiden wir ein Teilstück aus dem fließenden Ablauf des Vorganges durch die Momentphotographie ab und fixieren es als gesondertes einzelnes Bild auf den Filmstreifen. Beim Vorführen des Filmbandes mit den einzelnen getrennten Bildern vereinigen sich diese durch die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge zu einem fließenden Vorgang durch Überbrückung der unterdrückten Zwischenstufen (denn: „Geschwindigkeit ist keine Hexerei“). Unser E r k e n n e n von Vorgängen beruht im Grunde genommen auf diesem gleichen Prinzip. Beim Erkennen werden wir also zunächst immer eine Fixation durch Absonderung und Abgrenzung vornehmen müssen und sodann einen Vergleich, ein Gleichsetzen des ersten Eindrucks mit den anderen. Damit durchbrechen wir aber zwei wesentliche Prinzipie der „wahren Natur“, nämlich die K o n t i n u i t ä t, welche sich aus dem Fliessen ergibt, und die U n g l e i c h h e i t, die überall vorhanden ist und

¹⁾ Hierin liegt auch ein Begriffsfehler, den Einstein m. E. begeht, wenn er in seinen Folgerungen so weit geht, dass er das Maß bei der Bewegung sich verändern lässt; denn dann ist es eben nicht mehr ein „Maß“, ein Begriff, von dem sich rechterweise die Unveränderlichkeit nicht trennen lässt.

auch mit dem „Πάντα ἔστι“ zusammenhängt. Denn das Fortschreiten einer Welle, einer Wellenbewegung nach einer Richtung hin kann ich mir nur so vorstellen, dass Wellenberg und Wellental, oder auch der aufsteigende und der absteigende Teil des Wellenberges resp. Wellentales sich nicht gleichen, sich nicht die Wage halten, sondern die eine Seite grösser sein muss als die andere, also ein Plus-Minus vorhanden sein muss, also eine Polarität, die erste und tiefste Iniquitas, welche es gibt. Wären sie sich gleich (=), würden sie sich also die Wage halten, so müsste absoluter Stillstand eintreten und eine völlige Starrheit resultieren. Nur unter der Voraussetzung der U n g l e i c h h e i t ist überhaupt eine Bewegung der Welle, ein Fortschreiten der Wellenbewegung möglich. Diese Ungleichheit, dieses Plusminus, ist es dann aber zugleich, welches die R i c h t u n g der Bewegung im Raume bestimmt.

Hier kann der Übergang der Bewegung (= Funktion) in den räumlichen Begriff der Struktur und Form geahnt werden! Stehende ¹⁾, starre Wellen, welche die Gleichheit des Wellenberges und Wellentales, resp. der Auf- und Abstiegseite jedes von beiden zur Voraussetzung hat, gibt es in der fließenden Natur, in der „Realität“ nicht. Ja schon allein die Feststellung, der Entscheidung, das Kriterium darüber, ob ein Wellenberg und Wellental sich gegenseitig die Wage halten, gehört zur Unmöglichkeit, weil bei der Bewegung keine scharfe Abgrenzung zwischen beiden möglich ist. Immer wird beim Vergleich eine letzte Differenz sich ergeben, im weitesten, auch mathematischen Sinne des Wortes genommen, niemals wird die absolute Null (euklidisch) erreicht. Diese gibt es in der wahren Natur nicht. Die Null ist ein rein ideeller, gedanklicher Begriff, der wieder auf der Annahme der G l e i c h h e i t beruht. Die Null kann man sich am einfachsten so entstanden d e n k e n, dass man (absolut) Gleiches von Gleichem abzieht. Eine gewisse Verwirrung in diese klaren mathematischen, algebraischen und geometrischen Begriffe der Null und des Punktes, wie sie Euklid verstand, hat die höhere Mathematik hineingebracht, die nicht mehr mit dem Starren ²⁾, rein Räumlichen operiert, sondern schon das Verän-

¹⁾ „Stehend“ ist hier nicht so begrenzt zu fassen, wie es in der physikalischen Wellenbewegungslehre verstanden zu werden pflegt, sondern philosophisch im eigentlichen Sinne des Wortes weiter gefasst!

²⁾ Der grosse französische Mathematiker Poincaré sagt: „Wenn

derliche, Fließende, was dem Zeitbegriff eignet, hineinmischt. Dieser ist aber das diametral Entgegengesetzte, das polare Gegenteil, von dem, wodurch sich das Räumliche charakterisiert. Die Null der euklidischen Elementaralgebra ist nicht dieselbe Null, wie sie bei der Differential- und Integralrechnung zutage tritt¹⁾. Hier liegt nur eine relative Möglichkeit weit getriebener Annäherung an den absoluten Begriff der Null vor, indem man die Differenz (dx , dy , dz) im gegebenen Falle soweit zu verkleinern sucht, dass sie praktisch und rechnerisch nicht mehr ins Gewicht fällt: also ein praktischer Wägungsbegriff ins Ideelle übertragen. Man vernachlässigt einen tatsächlichen wahren Fehler, man abstrahiert davon, macht Minus ($-$), subtrahiert die letzte Differenz, um eine Gleichung herzustellen, um eine Gleichheit gedanklich zu konstruieren, wo sie in Wahrheit noch nicht da ist, aber auch niemals da sein kann, wenn es sich um ein Fließen, um eine Bewegung, um einen Vorgang handelt. Das Umgekehrte macht man beim Integrieren. Beim Integral vervollständigt man, macht Plus, um das absolute Voll, das Gegenteil der Null, das Unendlich (∞) zu konstruieren. Dieses Unendlich ist aber auch nur ein rein gedanklicher, ideeller Begriff, welcher der „wahren Natur“ nicht anhaftet, nicht anhaften kann. Genau so, wie wir bei der Null die unterste (Superlativ!) Grenze konstruieren, ziehen wir beim Unendlich die oberste (Superlativ!) Grenze, die es aber beide in Wahrheit nicht gibt. Superlative existieren in der wahren Natur überhaupt nicht (cf. meine Schrift „Kraft, Stoff etc.“). Wenn ich etwas summiere, also Plus mache, so muss ich, wenn ich überhaupt zu einem Resultat kommen will, irgendwo und irgendwann einmal aufhören. Dabei muss ich aufrunden, vollkommen machen, d. h. integrieren. Hier legen wir also eine Differenz gedanklich dazu, die in Wahrheit nicht da ist, um zum Schluss zu kommen. In dieser höheren Mathematik, wo wir das Variable in Raum und Zeit zu erfassen suchen, versucht man durch fortgesetzte gedankliche gleichartige Auf-

es keine festen Körper in der Natur gäbe, so hätten wir keine Geometrie.“ Cf. Bloch, Über Wirklichkeit und Wahrheit, Annalen der Naturphilosophie 1919, XIV, 1, S. 60.

¹⁾ Scherzhaft äusserte sich ein Amerikaner anlässlich der starken Inflation des deutschen Geldes: „Die deutsche Mark ist der beste Beweis, dass es keine absolute Null gibt.“ Sie war nichts wert, galt aber doch noch etwas.

teilung resp. Vermehrung (Merie oder Dimerie) schliesslich zu einem Resultat, zu einer Grenze zu kommen, kann diese aber nur erreichen, indem man eine Differenz, einen Fehler vernachlässigt, abstreichend (Minus (—) machend) oder aufrundend (Plus (+) machend). „Der Mathematiker wird hier biologisch,“ habe ich mich früher ausgedrückt, denn er wendet hier die „zwei Grundgesetze der lebenden Masse“, die Dimerie (Aufteilung) und die Plusminusrelation ($+\cap-$) an, nur kann er dabei zwei Dinge nicht entbehren, die sich nun einmal nicht vom gedanklichen Erfassen, vom Erkennen und Wissen trennen lassen: nämlich die Gleichheit und die Abgrenzung.

Aber in der „wahren Natur“ gibt es keine Grenzen, hier ist alles in fließender Bewegung, in Wellenbewegung. Und es gibt keine andere Bewegung als diese! Es dürfte schwer fallen, diesen Satz zu widerlegen!

Der unbewegliche, unveränderliche starre Raum ist die Domäne der Morphologie, die fließende Zeit diejenige der Physiologie, der Funktion (im weitesten, auch mathematischen Sinne des Wortes genommen), die der Prozesse, der Abläufe.

Als das tiefste Funktionsprinzip der lebendigen Masse betrachte ich die Plusminusrelation ($+\cap-$). Ich verstehe zunächst darunter die Art und Weise, wie die lebendige Masse (im Sinne Heidenhains) auf einen Reiz vermöge der Irritabilität reagiert: also eine Regel, wie der Effekt eines Reizes abläuft. Heidenhain sagt in „Zelle und Plasma“ (Bd. I, S. 102): „Weder Struktur noch Funktion sind das erste, sondern die Reize, welche von aussen kommend oder gleichviel auch im Zelleibe selbst entstehend die kleinsten Teilchen der lebenden Masse polarisieren.“ Wie wir sehen, befinden wir uns demnach hier an dem wichtigen Orte des Überganges der Funktion zur Struktur oder umgekehrt. Ich selbst ging bei der Feststellung des „Funktionsprinzipes“ aus von der Beziehung, Relation des Reizes (irritamentum) zum Vorgang des Effektes des Reizes an der lebendigen Masse, welcher sich zur Erkenntnis, zur Wahrnehmung gibt durch Veränderung der Struktur, der Form. Hier kann Funktion und Struktur, Vorgang und Form nicht voneinander getrennt werden, wie sich auch Kraft und Stoff nicht voneinander scheiden lassen.

Zur Feststellung einer solchen Regel, eines solchen Gesetzes der Irritabilität, des Reaktionsgesetzes kann ich nur kommen,

wenn ich beobachte, was geschieht, wenn sich das irritamentum selbst möglichst gleichmässig, oder gesetzmässig, verändert. Wenn man nun einen Reiz, z. B. die Temperatur (cf. Fig. 1), gleichmässig ansteigen lässt, so verläuft die Reaktion an der lebendigen Masse nicht parallel oder in gerader Proportion, sondern es entsteht eine Effektkurve von einem Plus (+) zu einem Minus(—). Es besteht eine Plusminusrelation (+ \curvearrowright —) zwischen Reiz und Wirkung.

Dieses Gesetz ist auch auf alle anorganischen Stoffe anwendbar, wobei nur ein gradueller Unterschied besteht in Bezug auf Höhe und Ausdehnung der resultierenden Kurve. Man vergleiche die Kolloidchemie (cf. meine Artikel „Zwei Grundgesetze der lebenden Masse und der Natur überhaupt“ (Lit. Nr. 2)).

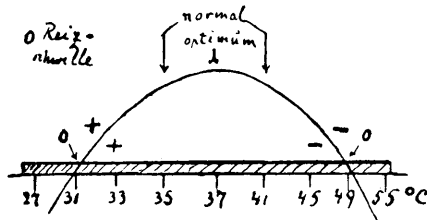


Fig. 1.

Es taucht nun eine neue Frage auf: wie ist das Verhältnis dieser Plusminusrelation zu dem, was wir „Polarität“ nennen? Dabei müssen wir näher auf den Begriff der Polarität eingehen. „Pole“, und zwar Plus (+)- und Minus (—)-Pole, unterscheiden wir sowohl an festen Gegenständen als einen Zustand, als auch an Vorgängen, ja an Kräften, z. B. an der Elektrizität. In diesem Begriffe scheinen sich also Form und Funktion (Kraft) zu vereinigen, eine gemeinsame Wurzel zu haben.

An unserem Planeten unterscheiden wir einen Nord- und Südpol, als Endpunkte der gedachten Achse, um welche sich die Erdkugel dreht ($\pi\acute{o}\lambda\omicron\varsigma$ griechisch = Drehpunkt, dasselbe im reinen Latein = „vertex“ Wirbel). Hieraus kann man schon entnehmen, dass dem Begriff der Polarität kein reiner Zustand zugrunde liegt, sondern hier die Bewegung, das Dynamische hineinspielt. Noch mehr tritt dieses hervor beim Magnet mit seinem Plus- und Minuspol, wo eine klare lokalisierte Wirkung zutage tritt und über die Bezeichnung entscheidet. In der Chemie hat die Polarität durch die „Ionisierung“ (Plus (+)- und Minus

(—)-Ionen) Fuss gefasst, und man kann dabei direkt von einem Eindringen der dynamischen Auffassung in das Stoffliche sprechen. Rein dynamisch, also kraftlich sind die Pole beim elektrischen „Strom“ aufzufassen. Und da sind wir schon bei der Wellenbewegung angelangt. Und ich glaube, dass sich gerade hier, an der Hand des Wellensymbols das Wesen der Polarität am klarsten aufweisen lässt. Das G e g e n s ä t z l i c h e tritt im Wellenberg und Wellental zutage; zugleich sieht man aber auch die enge Zusammengehörigkeit und die Abhängigkeit beider voneinander, die gegenseitige Bedingtheit und reziproke Ergänzung zu einer untrennbaren Einheit. Und schliesslich — und dies ist der Punkt, der häufig, ja in der Regel übersehen wird — ist noch der Begriff der *Iniquitas* damit verknüpft. Denn in der bewegten, fließenden Welle verhält sich Wellenberg zu -tal nicht etwa wie

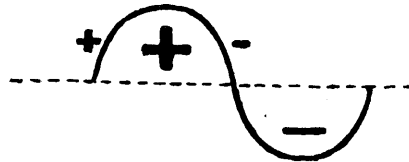


Fig. 2.

+ 1 und — 1 in der Algebra, die sich zu Null (0) ergänzen. Denn es ist immer eine Differenz zu Gunsten des einen vorhanden, je nach der R i c h t u n g, in welcher die Wellenbewegung fortschreitet. Hier ist das erste Auftreten eines räumlich Dimensionalen spürbar. Eben die gleiche Überlegung trifft auf die Auf- und Absteigeseite jedes Wellenberges oder -tales zu. Tritt Gleichheit ein, so haben wir es mit „s t e h e n d e n“ Wellen zu tun, eine rein ideelle mathematische Annahme, ein G r e n z f a l l (cf. Fig. 2).

Meine Plusminusrelation (+ \frown —) deckt sich also fast vollständig mit dem allgemeineren Begriff der Polarität, nur dass ich, als Biologe, einen grösseren Nachdruck auf das Bewegliche, Dynamische, F u n k t i o n e l l e lege.

Dem Begriffe der Polarität liegen also zunächst drei wesentliche Momente zugrunde: 1) die enge Verknüpfung und Zusammengehörigkeit mit Ergänzung zur ausgleichenden neutralen Einheit hin, 2) die Gegensätzlichkeit, 3) die Ungleichheit. Die beiden letzteren decken sich aber insofern mit einander, als der höchste, resp. tiefste G r a d der Ungleichheit, die Gegensätzlich-

keit, das Plus und Minus ist. Der Gegensatz ist der Superlativ (= Grenzfall) der Ungleichheit.

In der Polarität sind also zwei Gegensätze zu einer Einheit verknüpft, wobei ein Ausgleich angestrebt, aber nicht erreicht wird. Anders ausgedrückt könnte man von einem stets gestörten labilen Gleichgewicht sprechen. Und dieses Prinzip ist das tiefste Prinzip der wahren Natur. Es ist dasjenige Prinzip, welches jeder Wellenbewegung zugrunde liegt, und lässt sich in folgedessen am Symbol der Welle darstellen. Aber auch die einfache Kurve, der gespannte Bogen (cf. den Begriff der „Syntonie“ Heidenhains!), der Brückenbogen kann das Prinzip symbolisieren. (In letzterem Vergleich erscheint also die Natur als der „Pontifex maximus“.) Man könnte das Prinzip auch noch anders zum Ausdruck bringen, was wieder leicht aus der Wellenbewegung ableitbar und dessen Symbol ablesbar ist. Es



Fig. 3a.



Fig. 3.

stellt eine erste Differenzierung (iniquitas) unter Innehalten der Kontinuität dar (Fig. 3).

In dem Bilde einer anschwellenden, sich steigernden Wellenbewegung kann dieser Vorgang in seinen verschiedenen Abstufungen sehr gut zum Ausdruck gebracht werden. Die einfache Wellenbewegung geht dann in die Mäandrierung, in die Wirbelbewegung in Form einer Doppelspirale (divortex) über. Hieraus kann geschlossen werden: je stärker die Wellenbewegung wird, desto stärker wird die Absonderung des einzelnen Wellenbergtales bzw. der Mäanderschlinge oder weiter des Divortex gegenüber dem Anstossenden, der Umgebung. Ein Plus von Bewegung steigert also die Differenzierung und Absonderung und vermindert die Kontinuität und umgekehrt, also ein polares Verhältnis. Aber niemals wird das Kontinuum völlig aufgehoben.

In der wahren Natur, ja an jedem „Vorgang an sich“ ist immer die Ungleichheit, die Differenz mit dem Zusammenhange, der Kontinuität vereinigt. Ohne diese Voraussetzung könnte das „*πάντα ἕει*“ nicht mehr gelten.

Wenn ich nun aber etwas erkennen, mit dem Verstand erfassen, begreifen will, müssen diese beiden Grundprinzipien der wahren Natur, des „Vorganges an sich“ aufgegeben und ins polare Gegenteil verkehrt werden. Was vorher im Kontinuum nur differenziert war, trenne und grenze ich jetzt völlig ab als festliegendes Bild, als gesonderte Form, wie im Filmband des Kinos; und die Ungleichheit gebe ich auf im Vergleich des Wiedererkennens, des als gleich Anerkennens. Hierbei tue ich der wahren Natur Gewalt, Zwang an. „Ich mache Fehler in der tiefsten Wurzel der Erkenntnis.“ In Bezug auf das obige Wellenschema könnte man sagen: ich nehme dort geschlossene, abgegrenzte gleichartige Kreise an, wo in Wahrheit ineinander gehende Spiralen, die stets voneinander abweichen, vorliegen.

Dabei abstrahiere und supplementiere ich in Bezug auf diese Übergangsfineinheiten. Ich mache Fehler in der Plus- oder Minusrichtung. So tritt uns hier wieder das tiefste Funktionsprinzip, die Plusminusrelation entgegen, aber diesmal in der Gedankentätigkeit, in der Idee, und zwar um zu einer Grenze zu gelangen, ohne die ein Erkennen nicht möglich ist, also um das Ziel der Erkenntnis zu erreichen. So ist auch, im Grunde genommen, jedes Ziel, jeder Zweck subjektiv von Seiten des Erkennenden gemacht, ist also kein Begriff, der auf die „wahre Natur“, auf den „Vorgang oder Ding an sich“, auf die „noumena“ anwendbar ist. Das Erkennen ist etwas vom Erkennenden Gemachtes (Artifizielles). Jeder erste Sinneseindruck schon fälscht den fließenden „Vorgang an sich“, da er abgrenzt und fixiert. Jedes Sinnesorgan, als ein aufnehmender Spiegel, ist einem lückenhaften Raster vergleichbar, was schon durch den feinen Aufbau des Organs selbst bedingt ist. Auch die lebendige Protoplasmamasse der Gehirnganglienzellen ist als Projektionsgrundlage dieser schon dank des Aufnahmeorgans fehlerhaften Bildprägung nicht fest, sondern plastisch und mobil, veränderlich in der Zeit, als Erinnerung (*μνήμη*). Wenn nun dann noch bei der Tätigkeit des Erkennens, Wiedererkennens andere folgende Eindrücke mit diesen ersten Erinnerungsprägungen verglichen, gleichgesetzt werden, identifiziert werden, so werden wieder erst recht weitere Fehler

gemacht. Von unbedingt vorhandenen Ungleichheiten sieht man ab, man nimmt Ähnlichkeit für Gleichheit, indem man abstrahiert und supplementiert. Anders aber gelange ich niemals zu einem Erkennen, schliesslich zu keinem Wissen, denn alledem liegt immer ein Vergleich zugrunde.

Die Schwierigkeit des erkenntnistheoretischen Problems liegt nun darin: bei dem, was wir Erscheinung, Phänomen nennen, also dem Resultat des Erkennens, die Grenze richtig zu ziehen zwischen dem, was nur „Ding oder Vorgang an sich“, also gewissermassen Objekt des Erkennens ist, und dem, was durch die Methode des Erkennens dazu gekommen ist, also dem subjektiven Anteil der Erscheinung. Denn im Phänomen stellt sich beides gemischt dar, ist beides ineinander gewirkt und eng verwoben.

Goethe sagt hierüber: „Alles was im Subjekt ist, ist im Objekt und noch etwas mehr, alles was im Objekt ist, ist im Subjekt und noch etwas mehr“ (Naturw. Schriften, Bd. II, S. 162).

Leider hat uns Goethe, dem wir hierüber noch den gewichtigen Ausdruck im Faust verdanken: „Ja, was man so erkennen heisst!“, und der in seinen Faust überhaupt sehr viel seines Wissens über die Erkenntnis „hineingeheimnisst“ hat, nicht verraten, was das „noch etwas mehr“ ist, was sowohl im Subjekt als im Objekt steckt.

Wenn ich selbst versuche dieses „noch etwas mehr“ zu umschreiben, so möchte ich so sagen: Suche ich in den Erscheinungen (phaenomena) mehr zu erfassen das Fliessende, Veränderliche, Unabgegrenzte, Ungleiche, so komme ich dem Unmittelbaren, Objektiven, Wahren näher, lasse ich aber das Starre, Unveränderliche, Abgegrenzte, Gestaltete, Formale, Exakte, Gleiche, Rationale, Logische in den Vordergrund treten, so ist der subjektive Faktor der überwiegende.

Sowohl dem Subjekt als dem Objekt gemeinsam beim Erkennen sind die beiden Grundgesetze der lebendigen Masse und der Natur überhaupt, die Plusminusrelation ($+ \cap -$) und die Dimerie (Merie (Y), also das Funktions- (Reaktions-) prinzip und das Struktur- (Stoff-) prinzip. Bei alledem muss man noch eins festhalten. In Bezug auf die Erscheinungswelt, oder um mit Uexküll zu sprechen „Merkwelt“, die von der Ausbildung unserer Sinnesorgane abhängig ist, zählen wir mehr zur Kategorie der Augentiere. Darum messen wir auch der Form und

Gestalt, als demjenigen, das wir mit den Augen und auch mit dem Tastgefühl am leichtesten und besten prüfen können, erhöhte Wichtigkeit bei. Deswegen ist alles Räumliche bei uns im Vorrang gegenüber dem Zeitlichen, Veränderlichen. Es ist uns auch leichter vorstellbar als Zeitliches (cf. Einstein: „Die Zeit als 4. Dimension“!). Unser ganzes Forschen ist darum auch mehr auf die Morphologie zugeschnitten. Zeit und Raum müssen aber als etwas Gleichwertiges polar gegenübergestellt werden. Die Zeit ist der Begriff, durch den wir das Bewegliche, der Raum derjenige, durch den wir das Unbewegliche erfassen. Subjektives ist in beiden vorhanden. Wenn wir von „K r a f t“ sprechen, müssen wir dem polar gegenüberstellen den „S t o f f“. Auch zwischen diesen beiden ist ein Tertium comparationis gefunden, die E n e r g i e, die Bewegung an sich. Ob wir die Energie als Kraft oder Stoff empfinden oder anerkennen, hängt davon ab, wie weit es uns gelingt sie zu fixieren und abzugrenzen durch unser Auge oder Tastgefühl oder sonstwie. Können wir dies nicht, so sprechen wir von Kraft, sonst von Stoff, materia.

Die Möglichkeit des Abwägens, als die Relation zur Gravitation, spielt dabei eine Rolle. Da wir nun auch die Gravitation als eine Bewegung auffassen müssen, so muss also eine Ungleichheit, ein Plusminus, ein Grad, eine Modifikation der Bewegung darüber entscheiden, ob wir eine Energie als Kraft oder Stoff empfinden, anerkennen. Schon in meiner ersten Veröffentlichung drückte ich mich hierüber so aus (in „Kraft, Stoff etc.“ (1), S. 26): „Im Verhältnis zu uns als Subjekt erscheint uns ein gewisses Plus von Bewegung oder Energie als „Stoff“, als etwas Materielles, etwas „Handgreifliches“, dagegen ein gewisses Minus von Bewegung oder Energie als etwas nicht Fassbares, nur indirekt Fühlbares oder Merkbares, als eine „Kraft“.

Doch möchte ich hierbei darauf aufmerksam machen, dass sich dies vielleicht insofern kompliziert, als man nicht übersehen darf, dass auch hier bei der Unterscheidung zwischen Kraft und Stoff die Plusminusrelation, also die Kurvenreaktion zur Geltung kommt.

Da nun jede Bewegung eine Wellenbewegung ist, kann man sich vielleicht eine bildliche Darstellung am Wellensymbol (Fig. 3) machen, indem man nämlich den Übergang der Wellenbewegung in eine Doppelspirale, in einen Divortex, einen Wirbel, als den Beginn einer stofflichen Gestaltung der Energie nimmt. Diese bildliche

Vorstellung könnte zugleich als ein Atom-, oder besser ein Elektronmodell gelten. Hierdurch würde auch die Auffassung gestützt, dass das mikrokosmische Atom den analogen Aufbau hat wie ein Weltall im Makrokosmos in Form eines Spiralnebels, eines Weltenstaubwirbels, also einer Art Urätherwirbel (Fig. 3a, S. 17). Die ganze moderne dynamische Auffassung im Naturgeschehen rechtfertigt diese Vorstellung. Dagegen mit dem Festhalten am Starren, dem Lückenhaften und „leeren Räumen“ kommen wir nicht weiter.

Auch das Elektron soll nach neueren Untersuchungen (der englische Physiker T o m p s o n in der Royal Institution) nicht mehr etwas Stoffliches, ein „Massenpunkt“ sein, sondern eine Welle, eine Wellenbewegung.

Die dynamische Auffassung der Erscheinungswelt gewinnt in der Wissenschaft immer mehr an Bedeutung, was sich wohl vornehmlich von der Energietheorie Wilh. O s t w a l d s herleitet. Die materialistische Weltanschauung wird von dieser Seite her abgebaut. Kraft und Stoff, das sind nur Erscheinungsformen der Energie, der Dynamis.

Diese Auffassung, zu welcher man zunächst durch rein experimentelle, naturwissenschaftliche Untersuchungen gelangt ist, muss aber eine erhebliche Stütze erfahren, wenn auch von philosophischer, und zw. erkenntnistheoretischer Seite der Nachweis erbracht wird, dass auch schon in rein begrifflicher Hinsicht die Grundzeichen dessen, was wir Stoff (materia) nennen, vornehmlich dem subjektiven Anteil der Erscheinungswelt angehören, also ein mehr logisches Postulat sind, nicht aber dem „Ding an sich“, der „wahren Natur“ inhärent sind. Hier in der „wahren Natur“ herrscht das Fließende, das Zusammenhängende, nicht Abtrennbare, nicht scharf Erfassbare, mehr das Gefühlsmässige, Unexakte, nicht Messbare, Irrationale, Unlogische. Die Phänomene stellen aber eine Mischung, ein Ineinandergewirktsein der objektiven und subjektiven Faktoren dar. Und genau so wie es in einem gewirkten Teppich, in einem Gewebe schwer ist, die einzelnen Fäden, welche durcheinanderlaufen, richtig zu scheiden und auseinanderzuhalten, genau so verhält es sich mit unseren Begriffen, die wir der Erscheinungswelt entnehmen und wieder auf sie anwenden.

Die Schwierigkeit bei diesem Grundproblem der Philosophie, der Erkenntnistheorie wird dadurch vermehrt, dass wir dasselbe

Instrument, das wir erforschen wollen, selbst wieder zu dieser Erforschung benutzen müssen. „Das Auge muss in sich selbst zurückschauen,“ so habe ich mich einmal früher ausgedrückt. Wie kann man dies bewerkstelligen? Man muss sich eines Spiegels bedienen. Schon die Wahl und Güte des Spiegels ist entscheidend über die Erscheinung des gespiegelten Bildes des Objekts. Aber jeder Spiegel verkehrt schon die rechte zur linken Seite, nun kommt noch die Konstruktion des Auges als Organ hinzu, das als Objekt zugleich wieder Subjekt ist. Aus dieser kurzen Betrachtung erhellt zur Genüge die Schwierigkeit der Scheidung zwischen demjenigen, was von der Erscheinung, und erst recht von der Denkwelt, subjektiver und was objektiver Anteil ist. Wie überall ist die Abtrennung, die Scheidung, die Kritik das Schwerste. Auf einem schmalen, scharfen First balancierend, genügt ein kleiner Fehltritt, um den Kritiker auf der einen oder anderen Seite ins Extrem herabrutschen zu lassen. Die Balancierstange, die diese Turnerei erleichtern kann, scheint mir in folgendem gegeben zu sein: Das Gewicht der objektiven — „Ding an sich“ — Seite ist belastet mit fließender Bewegung, Kontinuität und Ungleichheit, die der subjektiven, erkennenden Seite mit dem polaren Gegenteil davon, mit Abgrenzung, Gleichheit, Starrheit, Unbeweglichkeit. Soweit die erkenntnistheoretische philosophische Seite.

Und nun zurück zu *Heidenhain*. In seiner Abhandlung „Formen und Kräfte in der lebendigen Natur“ hat *Heidenhain* an der Stelle, wo sich die beiden Begriffe „Form“ und „Kraft“ berühren, zwei neue Bezeichnungen eingesetzt, nämlich „*Syntonie*“ und „*Ideokanon*“. Ausgehend von der Korrelation zwischen Kern und Cytoplasma, der sogenannten „Kern-Plasma-Relation“, bezeichnet *Heidenhain* die dauernde entwicklungsphysiologische Korrelation, diesen „tätigen Zustand des Lebens“, mit „*Syntonie*“. Wortgemäss ist es eine Zusammen-spannung, ein Spannungszustand. Hierbei wird man an einen gespannten Bogen, oder eine gespannte Spiralfeder gemahnt (cf. Wellensymbol, Fig. 3 u. 3a), die fortgesetzt ihre Wirkung ausübt. *Heidenhain* (4) drückt sich so aus, S. 87—88:

„So spreche ich in diesem Falle von *Syntonie* oder syntonischen Zuständen, und ich sehe das Wesentliche meiner Ausführungen darin, dass diese syntonischen Zustände in innigster Weise mit der Daseinform, mit der Regel des körperlichen Seins,

mit dem gesetzmässigen Zustand der Formen verknüpft sind. Diese Regel des Seins oder die Daseinsform bezeichne ich als „I d e o k a n o n“ oder kurz als „K a n o n“ des betreffenden Gebildes. Dabei geht der Begriff des Kanons auf die Konstitution, diese als Form gedacht, der Begriff der Syntonie hingegen auf die Kräfte, welche dem Bestande der Formen dauernd zugrunde liegen. „Kanon“ heisst, aus dem Griechischen wörtlich übersetzt, eigentlich die „Richtschnur“; in übertragenem Sinne jedoch bedeutet das Wort im Kreise der griechischen Bildhauerschulen die überlieferte Regel der Proportionen des menschlichen Körpers. Der bekannte Doryphoros soll angeblich den Kanon der Schule des Polyklet zur Anschauung bringen. „Idea“ ist die äussere Erscheinung oder die Gestalt.“

Das Verhältnis zwischen diesen beiden Begriffen, von denen der Kanon mehr ein rationaler, die Syntonie mehr ein wirkender,



Fig. 4.

realer Begriff zu sein scheint, könnte ich mir in Anlehnung an meine obigen Ausführungen etwa folgendermassen klarmachen: Nehmen wir das Schema von abebbenden Wellen als gegeben an, so kann ich die fließenden Wellen zu stehenden, starren machen, wenn ich die Auf- und Abstiegseite der Wellenberge resp. -täler „gleich“ mache, so dass sie sich die Wage halten. Ich kann die einzelnen Wellen nun noch weiter mathematisieren, indem ich in die Wellenkurven, die immer kleiner werden, aber sonst ähnlich sind, durch Verbindung (Fig. 4) dreier entsprechender Punkte Dreiecke konstruiere. So werden auch ähnliche (\sim) immer kleiner werdende Dreiecke entstehen. Nun wissen wir aus der Mathematik, dass ähnliche Dreiecke gleiche Winkel haben und die Proportionen ihrer Seiten gleich sind. Ich habe nun schon vor Jahren zur bildlichen Darstellung der Verhältnisse der Vererbung und des Einflusses des Milieus auf einen wachsenden Organismus (Tier, spez. Zuchttier) ein sogenanntes „Biologisches Dreieck“ konstruiert (cf. Lit. Nr. 7). Aus der Figur ist folgendes zu entnehmen: der Winkel an der

Spitze (γ Fig. 5) stellt die sogenannte Vererbungsspanne dar, welche sowohl beim individuellen als auch beim hyperindividuellen Wachstum (Fortpflanzung) das Tier (lebendiges Ding) (hier symbolisiert durch die Form des Dreiecks) zu einem Hauptteil bestimmt. Der andere bestimmende Hauptfaktor ist gegeben durch die gleichen Proportionen der den Winkel γ einschliessenden Seiten der ähnlichen Dreiecke. Aus dieser konstanten Seiten-

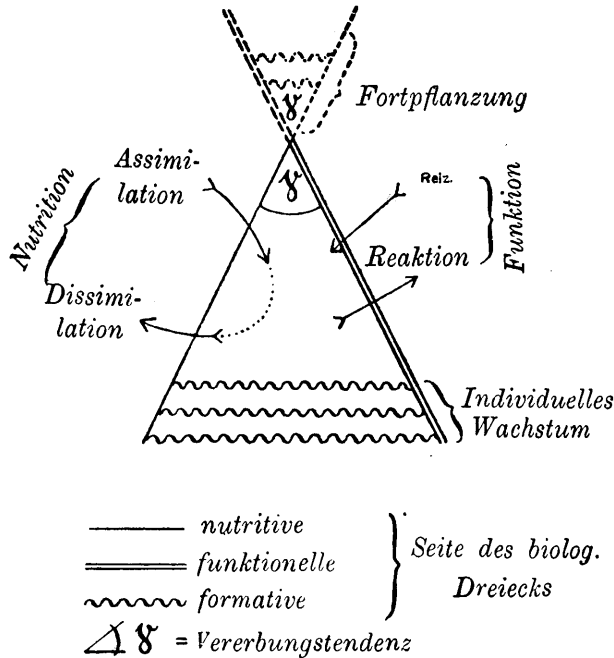


Fig. 5.

proportion im biologischen Dreieck kann nun leicht Heidenhains „Ideokanon“ entnommen werden, während die Winkelspannung, oder, auf die Welle zurückgreifend, die Bogen spannung die „Syntonie“ zum Ausdruck bringen könnte. Hier wäre also in symbolischer Weise das verwirklicht, was Heidenhain (4), S. 94 sagt: „In diesen unkomplizierten Fällen bei Geschöpfen ohne Blutbahn, ohne Nervensystem und ohne den besonderen Chemismus der inneren Sekretion, deckt sich gewissermassen Syntonie und Kanon der Formen in einfacher Weise.“ Und an anderer Stelle sagt Heidenhain noch (S. 92):

„Meine Gesamtanschauung geht nun dahin, dass die Formen allenthalben lebendiger Natur sind und durch einen dauernden Vorgang (Prozess) „Syntonie“ unterhalten werden.“

Diesen dauernden Vorgang könnte man sich ganz gut als eine Art Wellenbewegung vorstellen, und die Form kommt dann durch Fixierung, Erstarrung der Wellen zustande. Hier fühlen wir das oben erörterte erkenntnistheoretische Problem wieder hindurch!

Die „Syntonie“ Heidenhains hat grosse Verwandtschaft, ja deckt sich in vielen Punkten mit der von mir formulierten „Plusminusrelation“ als tiefstes Funktionsprinzip. Auch in der Syntonie liegt ein dynamisches Verhältnis, ein Wirkungs- oder Funktionsverhältnis. Funktion ist hier im weitesten Sinne des Wortes genommen, begreift also neben der Betriebsphysiologie (Roux) auch noch die Entwicklung in sich. Heidenhain (4) sagt hierüber (S. 95—96): „Erstere gehören zu dem Haushalt des tierischen Körpers, zum Ökus, und man könnte sie daher treffend auch als „ökonomische Funktionen“ bezeichnen. Letztere hingegen liegen der Entstehung und Unterhaltung des Bestandes der lebendigen Formen zugrunde, und wir werden sie späterhin kurzerhand als „genetische“ Funktionen bezeichnen. Diese Unterscheidung nun ist wichtig und notwendig im Interesse unseres wissenschaftlichen Systems, aber es ist nahezu selbstverständlich, dass alle Vorgänge des Lebens in irgendeiner Weise in Zusammenhang stehen, indem sie sich gegenseitig bedingen. Es ist also beispielsweise selbstverständlich, dass Stoffwechsel und Ernährung eine notwendige Voraussetzung normaler Entwicklung sind. Sehen wir aber von derartigen Erhaltungsfunktionen allgemeiner Natur ab, so zeigt sich im besonderen, dass durch Arbeit und Ruhe die Gleichgewichtslage der Formen beeinflusst wird (Roux). Bei vermehrter Arbeitsleistung haben wir eine aufsteigende Entwicklung, bei Inaktivität dagegen Involution und Rückbildung der Formen. Diese Tatsache hätte für sich allein zu der Schlussfolgerung Veranlassung geben können, dass auch die Gleichgewichtslage der Formen durch besondere physiologische Zustände in dem oben bezeichneten Sinne unterhalten wird.“

Im embryologischen Unterricht sowie auch bei wissenschaftlichen Diskussionen pflegte ich darauf aufmerksam zu machen, wie schwer es ist, die Grenze aufzuweisen, wo spontane Entwick-

lung (genetische Funktion) aufhört und die ökonomische Funktion eines Organes beginnt, ebenso wieviel man bei der Entwicklung dem spontanen Wachstumsimpulse zurechnen soll und wieviel dem schon einsetzenden Funktionsreiz. Die Schwierigkeit der Entscheidung ist hier sehr gross, und häufig ist es ganz unmöglich eine Grenze zu ziehen. Beides geht allmählich ineinander über, fliesst ineinander zu einer Wechselbeziehung, zur Lebensfunktion überhaupt. Nehmen wir z. B. das Einwachsen einer Blutkapillare in ein Gewebe: Wieviel ist hierbei dem Wachstum und der Vermehrung der Endothelzellen an der Spitze zuzurechnen und wieviel dem Impuls der im Kapillarrohr nachdrängenden Blutsäule, die ein Teil der ökonomischen oder Betriebs-Physiologie des Körpers ist? Auch das Symbol, in welchem ich das Funktionsprinzip mit dem Strukturprinzip bildlich darstelle (Fig. 6), zeigt deutlich den innigen Zusammenhang zwischen

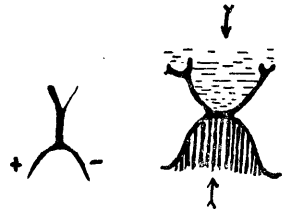


Fig. 6.

Funktion und Wachstum, zwischen der Funktion als zeitlich Dynamisches und dem Ergebnis der Entwicklung und des Wachstums als räumlich Stoffliches, als Form, als Gestalt. Auch das Tertium comparationis, welches ich aus diesen beiden Prinzipien eruiert habe, erkennt Heidenhain als Grundprinzip aller Formgestaltung der lebendigen Masse an, das ist die Polarität. In „Formen und Kräfte“ ist ein ganzes Kapitel der Polarität gewidmet. Schon frühzeitig ist Heidenhain darauf gestossen. Schon in „Zelle und Plasma“ spricht er an einzelnen Stellen davon.

Hier will ich aus „Formen und Kräfte etc.“ folgende Stellen zitieren (S. 114—115):

„Ausserdem steht das Problem der Polarität in unmittelbarem Zusammenhange mit der allgemeinen Vorstellung einer morphologischen und physiologischen Verfassung der Formen lebendiger Geschöpfe, für welche ich in der vorliegenden Arbeit die Ausdrücke Ideokanon und Syntonie geprägt habe.

Der Begriff der Polarität ist durchaus allgemeiner Natur. Von Polarität kann gesprochen werden, wenn bei einem Tier oder einer Pflanze der Körper im ganzen oder eventuell kleinere Teile desselben (Sprosse, Blätter, Pflanzenhaare, Extremitäten, Fühler, Taster u. s. w.) derartig gebaut sind, dass eine Strukturachse festgelegt werden kann, längs deren die hintereinander folgenden Teile beim Abwandern in der einen Richtung in typisch anderer, und zwar umgekehrter Weise angeordnet erscheinen als beim Abwandern in der entgegengesetzten Richtung. Polarität besitzen alle Tiere mit ausgesprochener Längsachse, alle Pflanzen mit unterscheidbarem apikalem und basalem Pole. Polarität besitzt ebenso ein Infusor, eine Darmepithelzelle, ein Leukozyt, aber nicht die quergestreifte Muskelfaser, denn letztere verhält sich bei der Abwanderung von einem Ende bis zum anderen und umgekehrt, soweit wir bis jetzt wissen, im Prinzip durchaus gleichartig. (Dagegen besitzt die Muskelfaser mitunter eine deutliche bilaterale Symmetrie, vgl. Noniusfelder, S. 371.) Ist Polarität auf morphologischem Wege nicht direkt nachweisbar, so ist sie doch unter Umständen erkennbar an der Art der entwicklungsphysiologischen Produktionen, welche entsprechend den ungleichartigen Enden der angenommenen Richtungsachse sich typisch verschieden gestalten, was insbesondere bei den regenerativen Vorgängen leicht zutage tritt.

Was die Polarität bei den Zellen anlangt, so habe ich oben schon einige Beispiele angeführt. In dem vorliegenden Zusammenhange möchte ich weiterhin meiner Untersuchungen an den Amöben gedenken, über welche ich in dem ersten Jahrzehnte unseres Jahrhunderts weitläufige Erfahrungen aufgesammelt habe. Sie zeigen jedesmal bei geradliniger Bewegung eine ausgesprochene „Polarität“, nämlich einen verbreiterten vorderen Abschnitt, welcher sich in der Richtung nach hinten allmählich verjüngt.“

S. 116: „Da nun aber die Amöben häufig die Richtung der Bewegung wechseln, wobei die Körperform sich momentan ändert, so zeigt sich, dass diese Art der Polarität leicht regulierbar ist, womit ich einen Ausdruck wähle, welcher bei den Bearbeitern der Entwicklungsgeschichte tierischer Keime eine grosse Rolle spielt.“

S. 116: „Wir haben mithin in der Regeneration eine deut-

liche Systemfunktion, welche unter dem Bilde der Polarität einer von dem Experimentator beliebig gewählten Querschnittebene hervortritt."

S. 117: „Und somit fällt hier die Richtung der Polarität der einzelnen Zelle mit derjenigen des Systems zusammen.“ „Ramon u. Cajal zeigten zuerst, dass das Spitzenwachstum des aus dem Neuroblastem auswachsenden Axons unter amöboiden Veränderungen vor sich geht."

Polarität tritt also hier vornehmlich als „Richtungsorganisation" auf. Da aber von der Polarität zu gleicher Zeit der Bewegungsbegriff nicht zu trennen ist, so erkennen wir hier den Übergang der Bewegung in etwas Festgelegtes, Räumliches, nämlich die Richtung. Zeit und Raum, die sich ja auch polar verhalten, gehen hier gewissermassen ineinander über, lösen einander ab, indem in der Bewegung das zeitlich Veränderliche abnimmt und das Beharrende allmählich überwiegt.

Auch wieder an der Welle ist dieser Übergang des Zeitlichen in das Räumliche nachzuweisen. An der Stelle, wo Wellenberg in Wellental übergeht, ist eine Wendestelle, ein „πόλος" griech. Diese Analogie wird noch stärker, wenn man den aus der gewöhnlichen Welle entstandenen Divortex, Doppelwirbel betrachtet (Fig. 3 u. 3a). Eine gleiche „Umwendestelle" befindet sich auch auf dem Gipfel des Wellenberges oder in der Tiefe der Talsohle. An dieser Umwendestelle, diesem Pol berühren sich auch Plus und Minus (Fig. 2). Aber hier dürfen wir in Wahrheit, in der „wahren Natur" nie von einem Punkte sprechen. Zum mindestens müssen es immer zwei Punkte sein, die diese Umwendestelle begrenzen, festlegen. Es ist immer eine Strecke (mathematisch), und zwar in Form einer Kurve \frown oder Doppelkurve \sim (dreidimensional ist es eine Wölbung oder Höhlung, ein Schild) ¹⁾. Würden wir hieraus — wozu wir leicht verführt sind — einen mathematischen Punkt machen, so könnten wir daraus niemals eine Richtung im Raume eruieren, da eine solche erst durch zwei Punkte bestimmt ist, oder durch eine Strecke. Dann wäre es auch nicht erklärbar, wie die in der Welle liegende Polarität zur Richtungsorganisation führen kann. Auch der Ausweg, dass man

¹⁾ Vergl. das Symbol der „Schildkröte" in der indischen Religionsphilosophie und der griechischen antiken Mythologie (Hermes demiurgos!).

zwischen den nächsten Punkten dieser Wendestelle oder -strecke die absolute Mitte, den Mittelpunkt feststellen könnte, ist nicht gangbar, da dies wohl gedanklich möglich ist, aber nicht in Wahrheit ausführbar. Das (praktische) Interpolieren führt niemals zu einem mathematischen Punkte ohne Ausdehnung, zu einem Nullpunkt, höchstens zu einem sogen. „Massenpunkt“, oder biologisch gesprochen, zu einem „punctum saliens“. Man vergleiche hier wieder Goethe, der ja in der Polarität das Urphänomen sieht, der in „Faust“ diesen zu Mephisto sagen lässt: „In deinem „Nichts“ hoff’ ich das All zu finden!“ Auch kann nur die Annahme der Gleichheit zur absoluten Mitte, zur Null, zum Nichts führen, was wieder die absolute Unbeweglichkeit, Starrheit, das Tote zur Voraussetzung hätte. Überall, wo etwas lebt, wo sich’s bewegt, muss die Iniquitas vorhanden sein. Aber auch nicht wieder eine Ungleichheit, eine Variabilität, die zum Chaos führt. In der Polarität ist immer auch die andere Seite wirksam, wie im Wellenspiel, die im Rhythmus die Ähnlichkeit festhält, die zur Ordnung drängt, die eine gesetzmässige Ähnlichkeit, d. i. die „Harmonie“ bedingt und so das schafft, was wir „Kosmos“ nennen.

Aus der Ungleichheit („old iniquity“) als tiefste Ursache muss sich auch das Strukturprinzip, die „Dimerie“, die Aufteilung herleiten. Die Aufteilung, Zergliederung, Segmentierung tritt bei jeder Wellenbewegung, bei allen Schwingungen leicht auf, z. B. bei den schwingenden Saiten in der Physik. Die Differenz, das „differre“ bekommt das Übergewicht über das Kontinuum. Bei Flüssigkeiten ist letzterer Faktor wohl im Begriff der Viskosität enthalten. Ob man schon in der Physik festgestellt hat, unter welchen Bedingungen die Unterteilung — Dimerie — einer Welle statthat, weiss ich nicht. Ich denke mir, dass ausser dem inneren Zusammenhalt (Kontinuität, Adhäsion) des Mediums auch der Grad der wellenerzeugenden Energie eine Rolle spielen wird, aber auch vielleicht in Form der Plusminusrelation? Ausserdem dürfte aber noch ein anderer äusserer Faktor mitbestimmend sein, nämlich das Verhalten des angrenzenden, anstossenden Milieus, das z. B. bei einer gewöhnlichen Wasserfläche durch die Atmosphäre gegeben ist. In der wahren Natur gibt es keine absoluten Abgrenzungen, Absonderungen, sondern immer Kontinuitäten und Kontinuitäten mit Abstufungen, immer eine nachbarliche Abhängigkeit, eine gegenseitige Beeinflussung, welche

für den Ablauf des Geschehens und für die Gestaltung der Dinge von wesentlicher Bedeutung ist.

Diese Überlegung muss in gleicher Weise bei der Beurteilung der Ergebnisse der entwicklungsmechanischen Versuche Platz greifen. Die anstossenden Teilkörper eines sich entwickelnden, wachsenden Organismus stehen auch mehr oder weniger in einer polaren Beziehung zueinander, beeinflussen sich, „induzieren sich“. Unter einem solchen allgemeineren Gesichtswinkel betrachtet, werden m. E. die künstliche Trennung und vice versa Vereinigung von ganzen und Teilstücken sich entwickelnder Organismen, sowie auch die Regenerationsversuche leichter verständlich. Dabei muss man noch festhalten, dass der Antagonismus in der wahren Natur immer unter dem Bilde der „Ü b e r k r e u z u n g“ in Erscheinung tritt, was sich auch aus der Wellenbewegung eruieren lässt (Lit. Nr. 3a).

Beim Studium dieser grundlegenden Erscheinungen in der lebendigen Natur drängt sich unwillkürlich der Vergleich mit dem M a g n e t e n auf. Auch hier kann ich trennen und vereinen unter Erhaltung der polaren Wirkung. Nun weiss man, dass beim Magnetismus der elektrische „S t r o m“ eine Rolle spielt, also eine F l i e s s b e w e g u n g der Energie der Erscheinung zugrunde liegt, und es nur darauf ankommt, dass dabei das „G e f ä l l e“ der Energie gleichgerichtet ist. Auch H e i d e n h a i n spricht von einem „Gefälle der Entwicklung“. Überall, wo etwas f l i e s s t, muss Iniquitas vorhanden sein. Nur in der sogen. anorganischen, „leblosen“ Welt wird bei unserer materialistischen Weltauffassung, bei der uns immer das rechnerisch zu erfassende, also r a t i o n a l e Molekül oder Atom, mit G l e i c h h e i t behaftet, vorschwebt, dieses ausschlaggebende Moment meist unbeachtet gelassen. (Vergl. hierzu die Arbeiten des Anatomen R a u b e r über das Wachstum der Kristalle!) Wenn aber jetzt das Elektron nach den Untersuchungen des englischen Physikers T o m p s o n auch als eine E n e r g i e w e l l e aufzufassen ist, so ist der Boden für die atomistische Gleichheitsauffassung abgegraben. Ich stehe auf dem Standpunkte, dass die Iniquitas als ein Urprinzip durch die ganze Natur hindurchgeht. Sie ist nur in den anorganischen, toten Massen relativ weniger hervortretend. Und dort, wo sie nachzuweisen ist, verkleinern wir, abstrahieren wir von der Differenz absichtlich, um nicht auf die rechnerische Erfassung, auf die Rationalität verzichten zu müssen. Dass es sich

dabei aber immer nur um eine *A n n ä h e r u n g* an die absolute, mathematisch-logische Gleichheit handeln kann, wird namentlich von den theoretischen Physikern geflissentlich übersehen, oder es bleibt in den axiomatischen Voraussetzungen ihrer Formeln, die immer ein Gleichheitszeichen (=), meist auch eine Null (0) haben, verborgen. Aber wie stark dieser uns von unserer Erkenntnismethode aufgedrängte Hang zur Herstellung einer Gleichheit und einer Trennung wirkt, zeigt die Auffassung von *Driesch*, der von „*a e q u i p o t e n t i e l l e n*“ Teilungsprodukten und Systemen und der Entwicklung „*i n g e t r e n n t e n* Reihen“ spricht. Die „Trennung und Sonderung“ auf diesem biologischen Gebiete hat *Heidenhain* überwunden durch die Aufstellung seiner genialen Teilkörper- und Protomerentheorie, welche er jetzt noch durch die Aufstellung der „*Syntonie*“ und des „*Ideokanons*“ vertieft hat. Die „*Zellstaattheorie*“ fiel schon im Anfang durch seinen Angriff.

Was nun den Begriff der „*Potenz*“ in den „*a e q u i p o t e n t i e l l e n*“ Systemen und in der „*prospektiven Potenz*“ bei *Driesch* anbetrifft, so umschreibt ihn *Heidenhain* mit „*m ö g l i c h e s* Schicksal“. Dann sagt er darüber noch folgendes (S. 120—121): „*Zweifellos wird die P o t e n z* bestimmt durch die Stammesgeschichte des Organismus, wobei die Anerkennung der Deszendenzlehre in einem allgemeinen Rahmen vorausgesetzt wird. Die *Potenz* enthält mithin eine „*historische Reaktionsbasis*“, und in diesem Sinne ist sie „*retrospektiv*“. Aber sie trägt einen *Janus*-charakter an sich, indem sich ihr Antlitz teils nach rückwärts, teils nach vorwärts wendet.“ Und S. 121: „*Denn vererbt werden offenbar nicht die körperlichen Eigenschaften selbst, sondern die Formen der Entwicklung.*“

Hier möchte ich erinnern an meine Darstellung der Vererbung an der Hand des sogen. „*biologischen Dreiecks*“ (Fig. 5). Dabei stellen sich sowohl Wachstums- als Fortpflanzungsprodukte als „*ähnliche Dreiecke*“ des ursprünglichen Dreiecks dar. „*Ähnlichkeit*“, auch in der Mathematik, ist aber ein Festhalten der Form bei Aufgabe der Gleichheit, und wir werden auch wieder an die Ähnlichkeit der in einer Wellenfolge eingezeichneten Dreiecke erinnert (Fig. 4). Wenn wir auf das „*mögliche Schicksal*“ (= *Potenz* bei *Driesch*) eingehen, so taucht die Frage auf: „*Wer schickt?*“ Wenn wir dabei nicht anthropistisch personal denken, so drängt sich uns hierbei auch unwillkürlich wieder die Analogie mit der Fliess- und Wellenbewegung auf, namentlich

auch wegen der häufig angewendeten Vergleiche im gewöhnlichen Sprachgebrauch und auch in der Dichtkunst. „Aus des Schicksals dunkler Quelle fließt das wechselvolle Los, heute bist du stark und gross, morgen wankst du auf der Welle.“ „Das All fließt!“ Aber die retrospektive Frage des Woher? (causa) und die prospektive des Wohin? (τέλος) existiert für es, das Ganze nicht. Auch Zeit und Raum verschwinden, da diese Begriffe nur vom erkennenden Subjekt geschaffen sind. Hier sind wir bei den „Müttern“, wie sich Goethe in „Faust“ ausdrückt.

Wir allein, wir „Erkennende“ grenzen ein Teilstück des kontinuierlichen fließenden Geschehens ab, fassen nur dieses Teilstück ins Auge und kommen so zu dem Begriffe eines Ursprungs, Anfanges und eines Endes, eines Ziels. So nur können wir das Geschehen „beurteilen“, d. h. das „U“ aufteilen¹⁾, als eine abgetrennte Einzelgabe des Schicksals erkennen. Das Wort „möglich“ weist uns auf den Willensakt, auch auf einen Machtbegriff („mögen“, „vermögen“) hin. Letzteres deckt sich ja mit dem Können in dem Worte „Potenz“. Nun ist die Erreichung des Zieles immer etwas Gewolltes, Erwünschtes, was wir wieder als „gut“ nehmen, dessen Superlativ das „Optimum“ ist. An meinem Schema der Plusminusrelation (Fig. 1) zeigt sich, dass ein solches Optimum immer im Gipfelbereich einer jeden Reaktionskurve liegt inmitten des Normalbezirkes. Also durchläuft jede normale Funktion auch einmal diesen bonum- und optimum-Bezirk, was bei uns das Urteil der Zweckmässigkeit und Planmässigkeit veranlassen wird, zumal wir bei uns selbst die zum Handeln führende Energie nicht als blinden Trieb, sondern als vorausschauenden Willen und Verstand einschätzen. Auch hier also eine Beimischung des Subjektiven.

Wenn wir nun im Wellenverlauf der Zeit das Jetzt, in welchem sich das Urteil vollzieht, als festen Polpunkt annehmen — in Wahrheit gibt es kein festes Jetzt! — so teilen wir den ganzen Entwicklungsvorgang eines Organismus in einen retrospektiven, historischen Teil (= „historische Reaktionsbasis“ nach Heidenhain) und in einen nach der Zukunft gerichteten anderen „Januskopfabschnitt“, das „mögliche Schicksal“ nach Heidenhain, die „prospektive Potenz“ nach Driesch. Aber

¹⁾ Dies ist natürlich nur als Wortspiel gemeint.

beide Gesichter oder Gesichte hängen im Januskopf, der auch das Urphänomen der Polarität symbolisiert, untrennbar zusammen, wie der Fluss der Zeit, wie jede Fliess- und Wellenbewegung in einem Kontinuum, und die wahre Natur, das All ist einem solchen Kontinuum vergleichbar.

Wir Menschen sind Geschöpfe, die sich von allen anderen verwandten Tierarten besonders dadurch auszeichnen, dass wir eine übermächtig ausgebildete Grosshirnrinde besitzen. Deshalb ist auch bei uns die prospektive Fähigkeit, die providentia besonders ausgebildet. Darum ist es verständlich, dass wir dazu neigen, die prospektive Seite eines ganzen Vorganges, den wir erleben, in den Vordergrund zu drängen. In diesem Weitvoraussehenkönnen liegt auch unsere besondere Fähigkeit und Macht. Indem wir das Ende, das Ziel (*τέλος*) uns wie kein anderes Geschöpf gut vorstellen, errechnen, rationalisieren können, können wir unser Handeln möglichst z w e c k m ä s s i g einrichten. Immer entscheidet der E r f o l g und prägt auch retrospektiv das Urteil über Zweckmässigkeit und Nützlichkeit des Handelns. Nun ist es, wie wir oben sahen, ausserordentlich schwierig in der Erscheinungswelt das Subjektive vom Objektiven zu scheiden. Und dies muss bei einer Erklärung des Naturgeschehens immer wieder zutage treten. So erscheinen die „Entelechie“ von D r i e s c h und die „Planmässigkeit“ von J. v. U e x k ü l l als objektive Faktoren in der Biologie. Aber dürfen wir in der „wahren Natur“, am „Ding und Vorgang an sich“, an den „Noumena“, im fließenden Weltgeschehen Grenzen ziehen und gleichsetzen? Die wahre Natur ist ohnegleichen, irrational, grenzenlos, ein Kontinuum. „Du gleichst dem Geist, den du begreifst, nicht mir!“ lässt G o e t h e den Erdgeist in „Faust“ sprechen — das Problem der E r k e n n t n i s.

Literatur.

1. H. Richter, Die Entwicklung der Begriffe Kraft, Stoff, Raum, Zeit durch die Philosophie mit Lösung des Einstein'schen Problems. Leipzig 1921, Verlag Otto Hillmann.
2. H. Richter, Zwei Grundgesetze der lebenden Masse und der Natur überhaupt. Tierärztl. Rundschau 1922, Heft 14/15, und Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft, Bern 1922.
3. H. Richter, Zwei Grundgesetze (Funktion- und Strukturprinzip) der lebendigen Masse. Verhandl. d. Anatom. Gesellschaft, Heidelberg 1923 in Ergz. H. z. Anatom. Anzeiger, Bd. 57, S. 111 und Acta et Commentationes Universitatis Dorpatensis 1924, A VI 12.
- 3a. H. Richter, Das einfachste Funktionsprinzip und Strukturprinzip bei Lebewesen. Bericht des X. Internat. Kongresses d. Zoologie, Budapest 1927, S. 495.
4. M. Heidenhain, Formen und Kräfte in der lebendigen Natur. Entwicklungsmechanik der Organismen (W. Roux), H. XXXII, Jul. Springer, Berlin 1923.
5. M. Heidenhain, Plasma und Zelle. Im Handbuch der Anatomie des Menschen v. Bardeleben, Jena 1907 u. 1911, Verlag G. Fischer.
6. J. v. Uexküll, Theoretische Biologie, 2. Aufl., Jul. Springer, Berlin 1928.
7. H. Richter, Die grundlegenden Lebenstätigkeiten der Zelle, nach Rudolf Virchow „Nutrition, Funktion, Formation“, und ihre Auswirkung in der Tierzucht. Vortrag, gehalten auf der 88. Versammlung deutscher Naturforscher u. Ärzte, Innsbruck 1924. Tierärztl. Rundschau XXXIII, 1927, Nr. 36.

**DIE METALLOXYDE ALS PHOTOCHEMISCHE
SENSIBILATOREN BEIM BLEICHEN VON
METHYLENBLAULÖSUNG**

VON

H. ARRO

DORPAT 1929

K. Mattiesens Buchdruckerei Ant.-Ges., Tartu (Dorpat).

Die sensibilisierende Wirkung von Metalloxyden auf photochemische Reaktionen ist eben ein noch wenig geklärtes Gebiet. Diesbezüglich ist nur das Zinkoxyd genauer erforscht. A. Eibner (1) untersuchte den Einfluss von ZnO auf Maler- und Aquarellfarben und zeigte, dass der Zusatz einiger organischer Substanzen, wie Gummiarabikum, Glycerin und anderer, die sensibilisatorische Wirkung von ZnO verstärkt. Auf eine ähnliche Wirkung des Glycerins beim Ausbleichen organischer Farbstoffe hatte Fr. Limmer (2) schon früher hingewiesen. Auch bei solchen Reaktionen wie Ozonbildung hat Chr. Winther (3) einen Einfluss des Zinkoxyds festgestellt.

A. Perret (3) untersuchte die Systeme von ZnO und AgNO₃-Lösg., ZnO und HgCl₂-Lösg., ZnO und Methylenblaulösung in Gegenwart von Luft und ohne Luft, mit anodischem Depolarisator und ohne einen solchen.

Als neuere Untersuchungen über Zinkoxyd als Sensibilator wären noch die Arbeiten von C. Neuweiler (5) und J. Böhi (6) zu nennen, welche diese Untersuchungen an verschiedenen Farbstofflösungen ausgeführt haben.

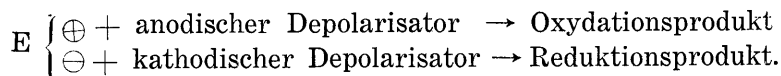
Zur Erklärung der sensibilisatorischen Wirkung kann man die E. Baur'sche Theorie anwenden. E. Baur (7) betrachtet die sensibilisierte Photolyse als eine molekulare Elektrolyse ohne Diaphragma. Unter dem Einfluss von Strahlungsenergie wird der Sensibilator polarisiert, indem er in gewissem Sinne Anode und Kathode bildet.

Eine derartige photochemische Polarisation des Sensibilators drückt E. Baur durch folgendes Schema aus:



Mit anderen Worten: eine lichtempfindliche Substanz, die ein Lichtquant $h\nu$ absorbiert hat, besitzt gleichzeitig die Eigenschaft ihre Umgebung zu oxydieren und zu reduzieren. Bei Anwendung verschiedener Depolarisatoren bietet sich die Möglich-

keit, dem Prozess die gewünschte Richtung zu geben und entweder kathodische oder anodische Reaktionsprodukte zu erhalten, wie es bei der Elektrolyse der Fall ist. Danach wäre das Schema des vollständigen Photolyseprozesses das folgende:



Als kathodische Depolarisatoren lassen sich verschiedene anorganische und organische Farbstoffe verwenden, dann noch eine Reihe anorganischer Metallsalze sowie mehr oder weniger alle reduzierenden Substanzen.

Anodische Depolarisatoren wären leicht oxydierende Substanzen, wie Glycerin, Rohr- und Rübenzucker, Benzidinwasser, Gelatin, Gummiarabikum, Oxalsäure und andere, nach R. L e v a i l l a n t (8): im allgemeineren Sinne Polyalkohole und alle OH-Gruppen enthaltenden organischen Substanzen, die reduzierend wirken können. Es ist noch zu bemerken, dass bei manchen Reaktionen die Reaktionsprodukte selbst eine depolarisatorische Wirkung haben können. Dieser Umstand kann eine Arretierung des Prozesses zur Folge haben.

Das Ausbleichen ist eine Reduzierung von Farbstoffen und hängt nach R. W. W o o d (9) von der Substanz selbst ab, wobei ein Leukofarbstoff entstehen oder eine Zersetzung des Farbstoffes stattfinden kann, wie dieses bei den Azofarbstoffen der Fall ist (10). Eine stärkere Bestrahlung während kurzer Zeit hat eine grössere Wirkung als eine schwache Bestrahlung bei längerer Zeitdauer (9).

In der vorliegenden Arbeit soll die sensibilierende Wirkung des Zinkoxyds sowie anderer Metalloxyde auf das Bleichen von Methylenblaulösung untersucht werden. Ferner soll die Wirkung von Gemischen einiger Metalloxyde auf gewisse photochemische Prozesse beobachtet und dabei festgestellt werden, eine wie grosse Rolle das Adsorptionsvermögen des Sensibilators hier spielt.

Experimenteller Teil.

Bei den Untersuchungen über die sensibilierende Wirkung verschiedener Metalloxyde wurde C. A. F. Kahlbaums wässrige Methylenblaulösung von 0,02 g pro Liter angewandt.

Einen Teil der Oxyde stellte ich im Laboratorium selbst her,

wie z. B. Zinkoxyd nach der Methode von F. Mylius und O. Fromm (11) und Eisenoxyd nach der Methode von L. Brandt (12), Wismutoxyd aus basischem Wismutnitrat (13) und Cadmiumoxyd durch Glühen aus Cadmiumnitrat. Die anderen von mir benutzten Oxyde waren reine Reaktive der chemischen Fabrik C. A. F. Kahlbaum.

Als Reaktionsgefäße dienten Reagenzgläser aus Quarz von 1,5 cm Durchmesser und 15 ccm Inhalt, in welche für jeden einzelnen Versuch zuerst das Oxyd und dann die Methylenblaulösung eingewogen wurde, worauf die Gläser mit Gummistopfen verschlossen wurden. Bei derartigem Einfüllen verblieb in jedem Reagenzglas, von der Flüssigkeitsoberfläche bis zum Stopfen gerechnet, circa 3 ccm Luft, und daher bezeichne ich diese Versuche als Versuche mit Luft oder in Gegenwart von Luft gemachte Versuche. Bei den Versuchen ohne Luft wurden die Gläser durch mit Kapillaren versehene Gummistopfen verschlossen, wobei durch vorsichtiges Kochen auf offener Flamme im Laufe von 2—3 Minuten sowie durch späteres 30 Minuten langes Einsetzen in ein kochendes Wasserbad die Luft verdrängt wurde. Darauf verschloss ich die Kapillaren mit Kolophonium und Bienenwachs.

Zu jedem Versuche wurde 0,1 g Oxyde verwendet, nur vom Mangandioxyd nahm ich seiner grossen Adsorptionsfähigkeit halber zehnmal weniger — also 0,01 g. Zu jedem Versuch wurde 10 ccm Methylenblaulösung genommen. Die Versuche wurden stets wenigstens dreimal wiederholt.

Die gefüllten Photolysengefäße befestigte ich zur Bestrahlung an einem Bestrahlungsbrettchen, auf welchem auf einmal bis 5 Gefäße Platz finden konnten; es war 11 cm vom Beleuchtungskörper entfernt. Als Beleuchtungskörper benutzte ich eine Uviollampe der Firma Schott und Gen. (Jena), deren Rohrlänge 70 cm und deren Durchmesser 2,5 cm betrug. Nachdem die Ausstrahlung der Lampe gleichmässig geworden war, wurde das Brettchen durch einen Elektromotor in Bewegung gesetzt, und zwar mit 20 Drehungen pro Minute.

Zur Bestimmung der Konzentration der Methylenblaulösung benutzte ich ein Mikrokolorimeter von A. Krüss (Hamburg).

Anfangs machte ich einige Vorversuche, um festzustellen, inwieweit Methylenblaulösung lichtempfindlich ist. Zu diesem Zweck wurde die Methylenblaulösung anfänglich ohne jeden Zusatz, dann nur in Gegenwart von 0,1 g Dextrose bestrahlt, um dadurch

feststellen zu können, ob der anodische Depolarisator auch ohne Sensibilisator eine bleichende Kraft ausübt. Nach 6-stündigem Bestrahlen machte sich noch keine Veränderung der Methylenblaulösung bemerkbar, weder mit Luft noch ohne Luft.

Versuche mit Zinkoxyd. Die Versuchsdaten über die sensibilisierende Wirkung von Zinkoxyd auf die untersuchte photochemische Reaktion sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Es wurde hierbei kein Depolarisator benutzt.

Tabelle 1.

Konzentration der Methylenblaulösung zu Beginn des Versuches in Gegenwart von $\text{ZnO} = 0,0176$ g pro Ltr. (C_0).

(Adsorbierte Farbstoffmenge bei Zinkoxyd = 12%.)

Bestrahlungsdauer in Stunden	Konzentr. der Lösg. nach der Bestrahlung (C_1)	$C_0 - C_1$	Menge d. ausgebl. Farbstoffs in % %
1	0,0142 g	0,0034 g	19,3
2	0,0128 „	0,0048 „	27,3
3	0,0117 „	0,0059 „	33,5
4	0,0105 „	0,0071 „	40,3
5	0,0099 „	0,0077 „	43,8
6	0,0091 „	0,0085 „	48,3
ung. 17	0 „	0,0176 „	100,0

Hierzu Kurve A, Fig. 1.

Der Depolarisator (Dextrose) beschleunigt den betreffenden Prozess. Es ist hier von Interesse zu bemerken, dass Methylenblaulösung, die in Gegenwart von Dextrose gebleicht worden ist, nach dem Stehen an der Luft 42% ihrer früheren Farbe zurückgewinnt, während ohne Depolarisator die gebleichte Lösung bei allen gemachten Versuchen unverändert blieb.

Versuche mit Quecksilberoxyd. Die Resultate der Versuche sind in nachfolgender Tabelle (2) wiedergegeben.

Wie aus diesen Angaben hervorgeht, unterscheidet sich das Quecksilberoxyd vom Zinkoxyd durch einen grossen Sensibilisierungseffekt. Wenn wir die vorliegende Mischung einmal lufthaltig und das andere Mal luftlos bestrahlen, jedoch beide Male in Gegenwart von 0,1 g Dextrose, so bleichen beide Lösungen in weniger als 4 Stunden bis zur Farblosigkeit aus, während dieselbe entlüftete Lösung ohne Beimischung von Dextrose erst nach 7,5

Stunden ausbleicht. Bei keiner von diesen ausgebleichenen Lösungen kehrt, wenn sie an der Luft stehen, die frühere Farbe zurück.

Tabelle 2.

Konzentration der Methylenblaulösung zu Beginn des Versuches in Gegenwart von $\text{HgO} = 0,016 \text{ g/Ltr. (C}_0\text{)}$.

(Adsorbierte Farbstoffmenge bei Quecksilberoxyd = 20%.)

Bestrahlungsdauer in Stunden	Konzentr. der Lösg. nach der Bestrahlung (C_1)	$C_0 - C_1$	Menge des ausgebl. Farbstoffs in % %
1	0,0074 g	0,0086 g	50,4
2	0,0039 „	0,0121 „	73,7
3	0,0021 „	0,0139 „	85,7
vor 4	0	0,0160 „	100,0

Hierzu Kurve C, Fig. 1.

Versuche mit anderen Oxyden. Was nun das Sensibilierungsvermögen anderer Metalloxyde, wie Wismut-, Eisen-, Cadmium-, Urano-, gelbes Blei-, Chrom-, Kobaltoxyd und Mangandi- oxyd, betrifft, so liess sich feststellen, dass ihr Sensibilierungs- vermögen dasjenige des Zinkoxyds nicht erreicht und bei einigen Oxyden praktisch sogar Null gleich kommt, ungeachtet der Ge- genwart eines anodischen Depolarisators wie Dextrose.

Um den Ausbleichungseffekt und die Grösse der Adsorption miteinander vergleichen zu können, bringe ich hier die Tabelle 3, in welcher die Daten (% %) über die Ausbleichung von Methy- lenblau nach 3-stündiger Bestrahlung in Gegenwart von Luft, sowie die Daten über die Adsorption zu finden sind.

Tabelle 3.

Oxyde	HgO	ZnO	CdO	PbO	UO ₂	MnO ₂	Cr ₂ O ₃	Bi ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Co ₂ O ₃
Menge des aus- gebl. Farbstoffs in % %	85,7	33,5	10	10	2	0	0	0	0	0
Menge des ad- sorbiert. Farbstoffs in % %	20	12	0	4	52	42	30	16,5	0	0

Wie aus diesen Daten ersichtlich, wird Methylenblau ausser durch Quecksilber- und Zinkoxyd nur noch durch Cadmium-, gelbes Blei- und Uranooxyd sensibilisiert. Nach G. T a m m a n n (14) vermögen auch Bi_2O_3 und Fe_2O_3 eine Silbernitratlösung bei Lichteinfluss zu verdunkeln, wenn auch in schwächerem Grade als das Zinkoxyd. Allem Anscheine nach besteht zwischen Ausbleichen und Adsorption kein Zusammenhang. Es scheint, dass das Sensibilisierungsvermögen bei jedem Oxyd eine individuelle Eigenschaft ist, und dass ein jedes Oxyd Photolyse in Lösungen, deren Reduktionspotential in einem gewissen Verhältnis zu seiner photochemischen Polarisierung steht, hervorrufen kann.

Versuche mit Oxydmischungen.

Die unten folgenden Daten beziehen sich auf Versuche über die sensibilisierende Wirkung verschiedener Oxyde auf das Bleichen von Methylenblau in Gegenwart von ZnO .

Auf 10 ccm Lösung wurde je 0,1 g der beiden Oxyde genommen; da Mangandioxyd ein grosses Adsorptionsvermögen besitzt, wurde davon nur 0,01 g verwendet.

Zinkoxyd und Uranooxyd. Bei Bestrahlung der Methylenblaulösung in Gegenwart dieser Oxyde, einmal lufthaltig und das andere Mal ohne Luft, bleicht im ersteren Falle die Lösung schon nach 4,5 Stunden, während sie im letzteren erst nach 5 Stunden völlig ausbleicht. Die ausgebleichene Lösung bleibt auch beim Stehen an der Luft unverändert. Dextrose als anodischer Depolarisator übte in beiden Fällen keinen Einfluss aus.

Die Menge des durch diese Oxyde adsorbierten Methylenblaus betrug 54%.

Zinkoxyd und Cadmiumoxyd. Aus den oben gegebenen Daten ist ersichtlich, dass das CdO , allein angewandt, die Methylenblaulösung nur wenig bleicht. Die Gegenwart von ZnO aber verstärkt den Bleicheffekt merklich. Das Ausbleichen ist endgültig — an der Luft macht sich kein Rückgang bemerkbar. Die quantitativen Ergebnisse lassen sich in folgender Tabelle (4) zusammenfassen.

Zinkoxyd und Wismutoxyd. Die Methylenblaulösung bleicht in Gegenwart dieser beiden Oxyde nur um 24% aus; diese Zahl ist um die Hälfte kleiner als die Summe (48,3%)

Tabelle 4.

Konzentration der Methylenblaulösung in Gegenwart der Oxyde
= 0,0176 g/Ltr. (C_0).

(Adsorption des Farbstoffs = 12%.)

Bestrahlungsdauer in Stunden	Konzentrat. der Lösung nach der Bestrahlung (C_1)	$C_0 - C_1$	Menge d. ausgebl. Farbstoffs in % %
1	0,0142 g	0,0034 g	19,3
2	0,0126 „	0,0050 „	28,4
3	0,0116 „	0,0060 „	34,1
4	0,0094 „	0,0082 „	46,6
5	0,0069 „	0,0107 „	60,8
6	0,0055 „	0,0121 „	68,8

Hierzu Kurve B, Fig. 1.

der Bleicheffekte, welche durch die beiden Oxyde, einzeln angewandt, erzeugt werden. Augenscheinlich haben wir es hier in gewissem Sinne mit einer Desensibilisation zu tun. Die Anwendung von Dextrose liefert nach negativere Resultate. W. G ü r t l e r (15) und L. M o s e r (16) bezeugen, dass die gewöhnliche gelbe Wismutoxyd-Modifikation unter dem Einfluss ultravioletter Strahlen in eine braungelbe Modifikation übergeht. Da das Wismutoxyd bei elektrischer Leitfähigkeit teilweise elektrolytischen Charakter trägt (17) und sich nach R u d g e (18) negativ ladet, so kann man bei vorliegendem Prozess einen desensibilierenden Vorgang vermuten.

Die Farbstoffadsorption beträgt im vorliegenden System 8%.

Zinkoxyd und gelbes Quecksilberoxyd. Die sensibilisierende Wirkung dieser Mischung gleicht der Wirkung des Quecksilberoxyds, welche oben beschrieben worden ist.

Adsorption des Farbstoffs = 24%.

Zinkoxyd und Mangandioxyd (0,01 g). Für sich allein wirkt das Mangandioxyd nicht auf das Methylenblau ein, in Gegenwart von Zinkoxyd ist dagegen die Wirkung eine desto grössere und verändert sich die Farbstofflösung schon nach 4- oder 5-stündigem Bestrahlen. Beim Stehen an der Luft erfolgt keine Oxydation. Dextrose wirkt hier stark hemmend.

Den lufthaltigen Photolysenvorgang gibt die Tabelle 5 und die Kurve D (Fig. 1) wieder.

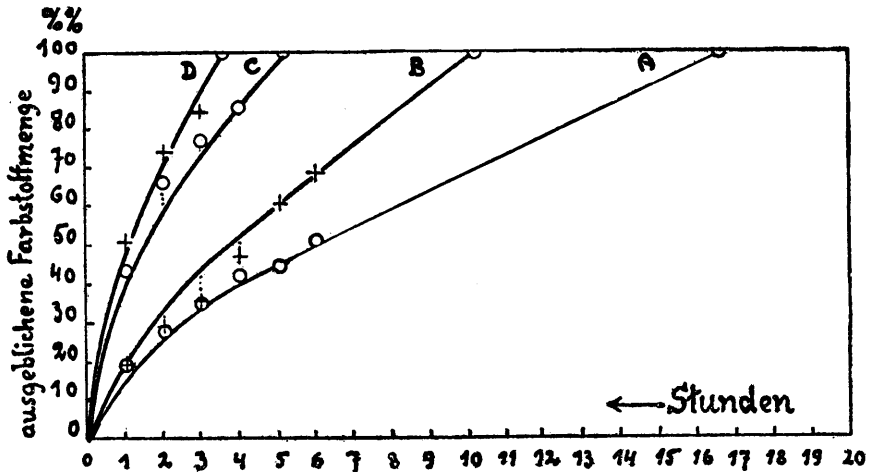


Fig. 1.5. Umsatz-Zeitkurven ZnO, HgO, ZnO und CdO, ZnO und MnO₂ → Methylenblau.

Tabelle 5.

Konzentration der Methylenblaulösung in Gegenwart der Oxyde
= 0,0104 g/Ltr. (C₀).
(Adsorption des Farbstoffs = 48%.)

Bestrahlungsdauer in Stunden	Konzentration der Lösung nach der Bestrahlung (C ₁)	C ₀ - C ₁	Menge des ausge- blichenen Farbstoffs in % %
1	0,0060 g	0,0044 g	42,3
2	0,0037 "	0,0067 "	64,4
3	0,0025 "	0,0079 "	76,0
4	0,0016 "	0,0088 "	84,6
5	0	0,0104 "	100,0

ZnO und Cr₂O₃, ZnO und Fe₂O₃, ZnO und gelbes PbO.
Die drei hier genannten Oxydmischungen bewirken beim Methylenblau einen Bleicheffekt in Gegenwart von Luft nach 6-stündigem Bestrahlen, und zwar das Chromoxyd einen von 50%, das Eisenoxyd einen von 42% und das gelbe Bleioxyd einen von 16,6%.

Die Farbstoffadsorption beträgt beim ersten Oxyd 16%, beim zweiten — 12% und beim dritten — 4%.

Aus den vorliegenden Angaben ist ersichtlich, dass die drei Mischungen sowohl den Bleicheffekt als auch die Farbstoffadsorption nicht erhöhen, sondern im Gegenteil erniedrigen.

Um eine Übersicht über die hinsichtlich des Bleich- und Adsorptionsvorganges gewonnenen Daten zu erhalten, wird hier die Tabelle 6 gegeben, in welcher die Angaben (%%) über die Ausbleichung von lufthaltiger Methylenblaulösung nach 6-stündiger Bestrahlung nebst den Angaben über die Adsorption zu finden sind.

Tabelle 6.

Oxyd- mischungen	ZnO u. HgO	ZnO u. MnO ₂	ZnO u. ÜO ₂	ZnO u. CdO	ZnO u. Cr ₂ O ₃	ZnO u. Fe ₂ O ₃	ZnO u. Bi ₂ O ₃	ZnO u. PbO
Menge des ausgebl. Farbstoffs in %%	100	100	100	68,8	50	42	24	16,6
Menge des adsor- biert. Farbstoffs in %%	24	48	54	12	16	12	8	4

Wie aus diesen Angaben ersichtlich, ist auch hier kein Zusammenhang zwischen Adsorption und Ausbleichung vorhanden, wie wir dies schon vorhin bei den einzelnen Oxyden beobachtet haben.

Um nun die Möglichkeit zu haben, sicherer über den Hergang des Prozesses der Photolyse zu urteilen, muss man die bei diesem Prozess entstehenden Produkte untersuchen. Es gelang mir jedoch nicht, letztere einzeln zu isolieren und zu identifizieren. Wenn wir voraussetzen, dass die Oxydation eine völlige Zersetzung des Farbstoffs bewirkt, so müsste in einem solchen Falle auch der im Molekül des Methylenblaus enthaltene Schwefel in das Sulfation übergehen und dieser Umstand sich analytisch nachweisen lassen. Der mit BaCl₂ erhaltene Niederschlag löst sich jedoch in verdünnten Mineralsäuren. Silbernitrat gibt einen grauen, sich schwärzenden Niederschlag, der sich schwer in Ammoniak löst und dem das Silbersulfid ähnlich sieht. Die Methylenblaulösung ergab vor dem Bestrahlen mit diesen Reagenzien keine Niederschläge.

Zusammenfassung.

1. Das Bestrahlen einer wässrigen Lösung von Methylenblau mit einer Uviollampe bewirkt ein Ausbleichen der Lösung, das Zinkoxyd wirkt hierbei auch in Gegenwart von Luft sensibilisierend. Ein Küpenfarbstoff entsteht nicht. In Gegenwart eines anodischen Depolarisators (Dextrose) steigt die Reaktionsgeschwindigkeit und ein Teil des Farbstoffs geht in Küpe über.

2. Die sensibilisierende Wirkung des gelben Quecksilberoxyds ist grösser als diejenige des Zinkoxyds. In einer luftlosen und mit anodischem Depolarisator versehenen Lösung ist die Geschwindigkeit der Photolyse geringer.

3. Die sensibilisierende Wirkung des Cadmium-, gelben Blei- und Uranooxyds ist bedeutend schwächer als diejenige des Zinkoxyds.

4. Mangandioxyd, Chrom-, Wismut-, Eisen- und Kobaltoxyd übt auf eine wässrige Methylenblaulösung keinen merklichen Einfluss aus.

5. Der Zusatz von Mangandioxyd, Urano- und auch Cadmiumoxyd begünstigt die sensibilisierende Wirkung des Zinkoxyds. Das Ausbleichen ist endgültig. Ein Küpenfarbstoff entsteht nicht.

6. Desensibilisierend wirken auf Zinkoxyd Eisen-, Wismut- und gelbes Bleioxyd.

7. Die Grösse des Ausbleicheffekts in Gegenwart von Metalloxyden hängt vom Adsorptionsvermögen nicht ab.

Dem Leiter des physikalisch-chemischen Laboratoriums, Herrn Prof. Dr. A. P a r i s, spreche ich für die Anregung zu dieser Arbeit sowie für seine Hinweise und Ratschläge meinen aufrichtigsten Dank aus.

Physikalisch-chemisches Laboratorium
der Universität Tartu.
Oktober 1929.

Literatur.

1. A. Eibner, Chem.-Ztg. 35, 753, 1911.
2. Fr. Limmer, Ztschr. f. angew. Chem. 1909, S. 1715.
3. Chr. Winther, Ztschr. f. wiss. Phot. 21, 168, 1922.
4. A. Perret, Journ. chim. phys. 23, 97, 1926.
5. C. Neuweiler, Ztschr. f. wiss. Phot. 25, 186, 1928.
6. J. Böhi, Helv. Chim. Acta 12, 121, 1929.
7. E. Baur, Helv. Chim. Acta 1, 186, 1918; Ztschr. f. Elektrochem. 29, 105, 1923 und 34, 595, 1928.
8. R. Levailant, Compt. rend. 177, 398, 1923.
9. R. W. Wood, Phil. Mag. (6) 43, 757, 1922.
10. C. Neuweiler, Ztschr. f. wiss. Phot. 25, 205, 1928.
11. F. Mylius und O. Fromm, Ztschr. f. anorg. Chem. 9, 155, 1895.
12. L. Brandt, Chem.-Ztg. 32, 843, 1908.
13. L. Vanino, Präparative Chemie, I. Bd., 225, 1925.
14. G. Tammann, Ztschr. f. anorg. Chem. 114, 151, 1920.
15. W. Gürtler, Ztschr. f. anorg. Chem. 37, 222, 1903.
16. L. Moser, Ztschr. f. anorg. Chem. 61, 384, 1909.
17. F. Horton, Phil. Mag. (6) 11, 520, 1906.
18. W. A. D. Rudge, Phil. Mag. (6) 25, 486, 1913; Proc. Royal. Soc. London, Serie A, 90, 266, 1914.

Eingegangen 28. November 1929.

W. Anderson,
Redakteur der „Acta et Commentationes“.

**ÜBER ERGEBNISSE
STRATIGRAPHISCHER UNTERSUCHUNGEN IM
GEBIETE DER SAAREMAA-(ÖSEL-)SCHICHTEN
IN EESTI**

(UNTERÖSEL UND EURYPTERUSSCHICHTEN)

VON

A. LUHA

TARTU 1930

Seit Fr. Schmidt's zusammenfassender Darstellung der Geologie von Saaremaa (Ösel) 1891 ist wenig über dieses Gebiet publiziert worden. 1914 bereiste es W. T w e n h o f e l (1916), den Westen Ösels unterzog einer Untersuchung 1924 H. B e k k e r (1925) und 1927 führte im Auftrage des estnischen Bergamtes Ing. I. R e i n w a l d t Kernbohrungen aus (I. R e i n w a l d t 1928, K a - m i n 1929). Während seiner Untersuchungen am Kaalijärv (Krater von Sall) besichtigten denselben E. K r a u s, R. M e y e r, A. W e g e n e r (1928).

Fr. Schmidt's stratigraphisches Schema der Ösel-schichten war in manchen Punkten unsicher. W. T w e n h o f e l und H. B e k k e r fixierten die eine von den Annahmen Fr. S c h m i d t's für Oberösel, wie dies in folgender Tabelle kurz zusammengefasst ist.

	Fr. Schmidt 1858—1891	W. T w e n h o f e l 1916	H. Bekker 1925
Oberösel (K) [Vielleicht nur Faziesbildungen]	Südliche graue oder rötliche Gesteine Gelbe Kalke <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> { <i>Ilionia</i>-Schichten <i>Eurypterus</i>-Schichten </div>	Oesel Formation <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> { K₂ Kaugatoma-Zone K₁ Sagariste-Zone </div>	Saaremaa-Stufe <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> { K₄ Ohesaare-Zone K₃ Kaugatoma-Zone K₂ Paadla-Zone K₁ Rootsiküla-Kaarma-Zone </div>
U n t e r ö s e l	J ₂ Kalksteine mit <i>Leperditia baltica</i> Kavernöse Dolomite J ₁ Plattendolomite Mergelige Kalksteine	St. Johannis Formation	Jaani-Stufe <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> { J₃ Tagamõisa-Zone J₂ Filsand-Panga-Zone J₁ Suuriku-Zone </div>

Nach wie vor blieb aber die Schichtenfolge J—K₁ in mancher Hinsicht wenig aufgeklärt: der Charakter und die Ausdehnung der „kavernösen“ Dolomite, das Verhältnis der J₂-Kalksteine zu denselben, insbesondere aber sowohl die horizontale als auch die

vertikale Ausbreitung der Eurypterusschichten und deren Verhältnis zum Liegenden und Hangenden.

Der Verfasser dieses Aufsatzes hat die überwiegende Mehrzahl der Aufschlüsse der Öselschichten auf Ösel, Moon und dem Festlande kennen gelernt. Ausserdem stand zu seiner Verfügung ausserordentlich wertvolles Material in der Form von Bohrungen des estnischen Bergamtes aus dem Westen (Atla, Kurevere), Norden (Metsküla) und aus dem zentralen Gebiet (Kaalijärv) Ösels. Diese Bohrungen im Verein mit den Aufschlüssen haben nun gestattet, über die Stratigraphie und Lagerung von J—K₁ im westlichen Gebiet eine genauere Vorstellung zu gewinnen, besonders aber auch die Einordnung der meisten zerstreuten Aufschlüsse der Eurypterusschichten in das Gesamtprofil vorzunehmen, was z. T. zu unerwarteten Resultaten geführt hat.

Im Osten, in der durchweg dolomitischen Fazies, konnten einige Anhaltspunkte zum Vergleich mit dem westlichen Gebiet auf Grund der Aufschlüsse gefunden werden, obwohl hier eine genauere Abgrenzung von J und K mangels Bohrmaterial vorläufig noch nicht möglich war. Auf Grund dieses Materials gestaltet sich das stratigraphische Bild wie folgt.

J₁. Die Jaani-Mergel.

An der Basis der Öselschichten stehen die von dem Vorkommen bei der Kirche Jaani (St. Johannis) auf Ösel her rühmlichst bekannten Mergel mit einer reichen Fauna. Diese Mergel sind auch auf dem Festlande sehr verbreitet und lassen sich fast in der ganzen Ausdehnung des Nordstrandes von Ösel verfolgen.

Auf dem Festlande, auf Muhu (Moon) und bis Jaani sind die Mergel dolomitisch und meist fossilarm. Westlich erscheinen sie in kalkiger und fossilreicherer Ausbildung. Eine Besonderheit bieten die Steilstufen von Panga und Ninase, wo eine teilweise Dolomitisation eingetreten ist, und wo die höheren Schichten als härtere Dolomitbänke mit reicher Fauna hervortreten.

Die Mächtigkeit dieser Zone übersteigt sicher 40 m (Jaagara-B Bohrung 39,46 m, ohne durchteuft zu sein).

Die untere Grenze ist weder in Aufschlüssen noch in Bohrungen erreicht worden, weshalb das Verhältnis zu der liegenden H-Zone unaufgeklärt bleiben muss.

In der Fauna sind neu konstatiert:

<i>Alveolites labechei</i> E. et H.	<i>Loxonema intumescens</i> Ldm.
„ cf. <i>thoroldensis</i> Parks.	<i>Murchisonia</i> cf. <i>obtusangula</i>
<i>Clathrodictyon regulare</i> (Ros:).	Ldm.
<i>Actinostromella</i> (?) sp. sp.	<i>Callonema</i> sp.
Boehnke.	<i>Pleurotomaria</i> cf. <i>claustrata</i>
<i>Dictyonema</i> aff. <i>polymorphum</i>	Ldm.
Gurley.	<i>Platyceras cornutum</i> (His.).
„ <i>crassibasale</i> Gurley.	<i>Kionoceras</i> cf. <i>strix</i> Hall et
„ <i>desmoides</i> Gurley.	Whitf.
<i>Thallograptus cervicornis</i>	<i>Cyrtoceras superbum</i> Barr.
Spencer.	„ <i>elongatum</i> Barr.
<i>Monograptus</i> cf. <i>priodon</i>	<i>Lechritrochoceras</i> sp. 1.
(Bronn).	„ sp. 2.
<i>Eunicites simplex</i> (?) Hinde.	<i>Aparchites</i> sp.
<i>Monotrypa gotlandica</i> Hng.	<i>Beyrichia buchiana</i> var. <i>nutans</i>
<i>Coenites labrosus</i> E. et H.	Kiesow.
<i>Bilobites bilobus</i> (L.).	<i>Parqechmina spinosa</i> (Hall).
<i>Camarotoechia baltica</i> (Gagel).	<i>Bythocypris symmetrica</i> Jones.
<i>Reticularia</i> (?) sp.	„ <i>botelloides</i> „
<i>Atrypa</i> (?) <i>dormitzeri</i> Barr.	„ <i>concinna</i> „
<i>Zygospira</i> (?) sp.	<i>Macrocypris</i> sp.
<i>Cucullella ovata</i> (?) Sow.	

Von Interesse ist, dass in der Bohrung Jaagarahu unten (42—46 m v. Tage) eine Anreicherung von *Sowerbyella transversalis* (Sow.) und (55—61 m v. Tage) eine von *Favosites hisingeri* E. et H. angetroffen wurde. Die letztere kommt auch höher gelegentlich vor. Die erstere scheint im Anstehenden nur als forma *lata* Jones vorzuliegen. Unmittelbar über der Zone mit *Sow. transversalis* (41,82 m v. Tage) wurde das bisher einzige Fragment eines *Monograptus* (von J. H e d e - Stockholm als zu *M. priodon* gehörig erkannt) gefunden. Die Dendroideen sind nicht sehr selten und scheinen mit den amerikanischen Niagara-Formen recht gut übereinzustimmen. Weiter ist das Vorhandensein von *Bilobites bilobus* (L.) von Interesse sowie das Fehlen von *Cyrtia exporrecta*, deren Exemplare weder in Sammlungen noch im Anstehenden gefunden werden konnten. Die *Alveolites*- sowie die *Stromatopora*-Fauna weist viel Mannigfaltigkeit auf, auch scheinbar neue Formen, von denen diejenigen, die etwa mit *Actinostromella* Boehnke verglichen werden können, massenhaft vorkommen.

Hinsichtlich der Ausbildung des Hangenden dieser Mergel muss ein östliches und ein westliches Gebiet unterschieden werden.

A. Östliche Ausbildung. J₂O.

Der Dolomitkomplex von Muhu und Kesselaid.

Im Osten — auf dem Festlande, auf Kesselaid, Muhu und im Nordosten Ösels bis etwa zur Triigi-Halbinsel (Feckerort) — ist das Hangende der J₁-Mergel durchweg dolomitisch, und zwar kann man auf dem Festlande, auf Kesselaid und auf Muhu überall zuunterst eine Zone von gutgebankten Plattendolomiten unterscheiden (J₂Oa).

Diese Plattendolomite erscheinen in guten Profilen besonders auf Kesselaid (von etwa 5 m Mächtigkeit) und lassen unten eine mehr grobe und graue, oben eine sehr feinkörnige, weisse und harte Abteilung unterscheiden. Im Festlandgebiet zeigen die Steinbrüche entweder die eine oder die andere Abart dieser Plattendolomite.

Faunistisch sind diese Schichten sehr wenig ergiebig: nur eine kleine Anzahl der gewöhnlichsten Jaani-Fossilien kann hier in Steinkernen und Gussformen konstatiert werden:

<i>Dalmanella elegantula</i> (Dalm.).	<i>Conularia cancellata</i> Sandb.
<i>Strophonella euglypha</i> (?) (His.).	<i>Armenoceras</i> sp.
<i>Schuchertella pecten</i> (?) (L.).	<i>Dawsonoceras annulatum</i>
<i>Camarotoechia</i> cf. <i>nucula</i>	(Sow.).
(Sow.).	<i>Calymmene tuberculata</i>
<i>Spirifer crispus</i> (His.).	(Brünn.).
<i>Murchisonia</i> sp.	<i>Proëtus concinnus</i> (Dalm.).
<i>Poleumita discors</i> (Sow.).	<i>Encrinurus punctatus</i> (Wahl.).

Überwiegend aber sind diese Dolomitbänke ganz taub und zeigen meistens nur Styrolithen-(Druckzapfen-)Bildungen.

Über diesen Plattendolomiten kann in einer sehr grossen Anzahl von Entblössungen (durch den ganzen Norden des Gebiets von Ost nach West) ein löcheriger („cavernöser“ bei Fr. Schmidt) Dolomit beobachtet werden, der massig oder undeutlich gebankt erscheint und nesterartig vorkommt. Meist macht er sich im Bodenrelief bemerkbar, weil die Vorkommen als Härtlinge der Erosion, insbesondere offenbar auch der Inlandeis-Erosion, widerstanden haben, da sie meist nach N, NW oder auch NO steile Abhänge aufweisen.

Ausserdem gestatten folgende Merkmale diese Gesteine als Riffdolomite aufzufassen (Riffdolomite von Muhu, J₂Ob): der Habitus dieser Dolomite, ihr Aufbau oft aus den Steinkernen und Gussformen verschiedener Fossilien, worunter Riffbildner eine bedeutende Rolle spielen, sowie die Erscheinung des Einsinkens in die Unterlage, die besonders auf Kesselaid und an der Ostküste von Muhu gut beobachtet werden kann.

Im Kontakt mit den liegenden Plattendolomiten von Kesselaid kommen manchmal Übergangsbildungen vor (Kureselja, Muhu). Diese Plattendolomite können aber (westlich) ganz fehlen, wie z. B. am Pulli (Oiu) Pank, wo die Riffdolomite in eigenartiger Ausbildung direkt den J₁-Mergeln aufliegen und einen sehr schnellen lateralen Gesteinswechsel sowie eine unregelmässige Lagerung aufweisen.

In der Fauna spielen Korallen, Stromatoporen und oft besonders Bryozoen eine grosse Rolle; sehr oft kommen auch dicke unregelmässige Bänke vor, die ganz aus Krinoidenresten bestehen. Sehr wenig lässt sich aber der Gattung oder Art nach bestimmen:

<i>Cyathophyllum articulatum</i>	<i>Leptaena rhomboidalis</i> Wilck.
His.	<i>Spirifer crispus</i> (His.).
<i>Orthis davidsoni</i> Vern.	<i>Murchisonia</i> sp.
<i>Monomerella (prisca?</i> Bill.).	<i>Platyschisma</i> (?) sp.
<i>Platystrophia biforata</i>	<i>Calymmene</i> (?) sp.
(Schloth.).	<i>Proëtus</i> sp.
<i>Dalmanella elegantula</i> (Dalm.).	<i>Lichas</i> sp.

Diesen Riffdolomiten gleichzeitige und vermutlich etwas jüngere gelagerte Bildungen können mit einiger Wahrscheinlichkeit in den südlich von den Riffdolomiten entblösten, wiederum gut gebankten Dolomiten erblickt werden, deren typische Lokalitäten bei Maasi, Rangla und in der Mitte der Insel Muhu liegen (Plattendolomite von Maasi und Rangla, J₂Oc). Diese Plattendolomite weisen nun (bei Rangla, Levalöpma, Völopä) eine Anreicherung von Kalkalgen (Spongiostromen) auf, zu denen sich vereinzelt Stromatoporen und Leperditien-Steinkerne gesellen, während andere Elemente der Fauna (Cephalopoden, Brachiopoden) stark zurücktreten. Auch treten hier nun öfters mergelige bis tonige dünn geschichtete Zwischenschichten auf. Sporadisch erscheinen Eurypterus-Reste und Konodonten.

Folgende Fossilien kommen in diesen Schichten vor:

<i>Solenopora</i> sp.	<i>Spirifer crispus</i> (His.).
<i>Spongiostroma</i> sp.	<i>Murchisonia</i> sp.
<i>Dalmanella elegantula</i> (Dalm.).	<i>Eurypterus fischeri</i> Eichw.
<i>Leptaena rhomboidalis</i> (Wilck.).	<i>Leperditia (phaseolus?)</i> His.
<i>Strophomena</i> sp.	<i>Stromatopora</i> sp.

Eine Abgrenzung dieser Schichten nach oben und unten ist vorläufig ohne Bohrangaben nicht möglich. Wahrscheinlich liegt gar keine deutliche Grenze nach oben, gegen die Eurypterus-schichten, vor, und was das Liegende betrifft, so ist es in der Natur der Dinge, dass nur dort, wo Riffbildungen vorliegen, alle drei Abteilungen (a, b und c) unterschieden werden können. Im Zwischenraum hat man es mit einheitlichen gelagerten Schichten zu tun. Also kann man von einem Dolomitkomplex (J_2O) reden, dessen Glieder alle auf Muhu beobachtet werden können, und dem die hier erscheinenden Riffbildungen das eigentliche Gepräge geben.

B. Westliche Ausbildung. J_2W .

Der Pangamägi-Jaagarahu-Kalkstein.

Fr. Schmidt hat besonders auf der Tagamöisa-Halbinsel eine Kalksteinzone ausgeschieden, worin er das Vorkommen von *Leperditia baltica (pectinata)*, *Thecia swindernana*, der letzten *Halysites*-Arten, einer eigentümlichen *Strophomena imbrex*-Form u. a. als besonders charakteristisch ansah.

Diese Kalksteine sind aber sehr dürftig aufgeschlossen. Die hier in der Umgebung niedergebrachten 5 Bohrlöcher ermöglichen eine vollständigere Vorstellung vom ganzen den J_1 -Mergeln aufliegenden Kalksteinkomplex dieser Gegend zu gewinnen. Die überwiegend kalkigen Gesteine sind auch hier in zwei Fazies ausgebildet: 1. eine überwiegend geschichtete — Pangamägi-Kalkstein, 2. eine überwiegende Rifffazies — Jaagarahu-Kalkstein.

Die erstere (s. Fig. 1) fängt unten mit Stromatoporen-Bryozoen-Korallenschichten an (4 m), mit reichlicher grün- bis braungrauer toniger Grundmasse; sie werden durch hellen Ostrakodenkalk (2 m) überlagert, auf dem sich mächtige (9—11 m) Knollenkalke aufbauen, die ihrerseits wieder durch Stromatoporen-Ko-

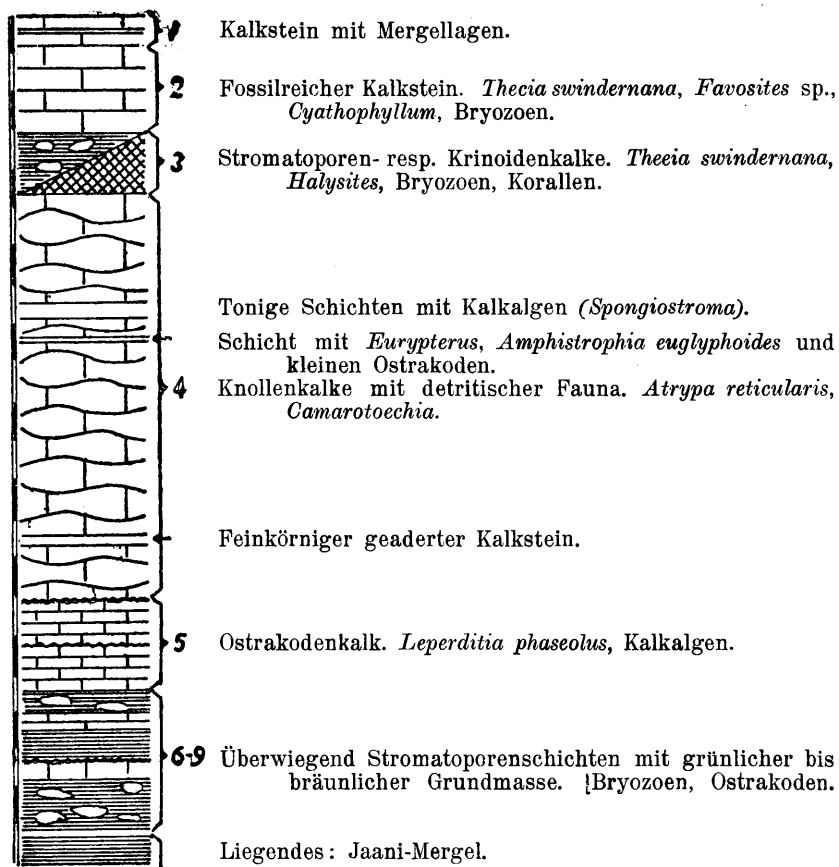


Fig. 1. Schematisches Profil des Pangamägi-Kalksteins.

rallenschichten, am Pangamägi selbst aber durch Krinoiden-Bryozoenkalke überlagert werden (1,5 bis einige m). Im Jaagara-Buhrloch dagegen liegt direkt über den J_1 -Mergeln eine 14 m mächtige Riffbildung, in der unteren Hälfte ganz dolomitisiert. Nach einer Unterbrechung durch etwa 4,5 m tonig-dolomitischer Schichten mit Konodonten und Rutschflächen folgt wieder eine starke Riffbildung, die zuoberst fast ganz aus Stromatoporen besteht (vorwiegend *Actinostroma*-Arten). In der Fauna dieser Kalke spielen Stromatoporen, Korallen (*Thecia swindernana*, *Th. n. sp.*, *Acervularia ananas*, *Cladopora?*) und Bryozoen (bes. *Coenites repens*) eine grosse Rolle. Aber auch charakteristische Brachiopoden (*Spirifer cf. interlineatus* Hedstr., *Stro-*

pheodonta cf. *semiglobosa*, *Amphistrophia euglyphoides*), Kalkalgen (*Solenopora*, *Spongiostroma* — schichtenweise stark ange-reichert) sind auffällig.

A u s s e r d e m kommen vor:

<i>Favosites forbesi</i> E. et H.	<i>Atrypa reticularis</i> (L.).
sp.	<i>Spirifer crispus</i> (His.).
<i>Cystiphyllum</i> sp.	<i>Murchisonia</i> sp.
<i>Clathrodictyon</i> cf. <i>vesiculosum</i>	<i>Poleumita discors</i> (Sow.).
Nich.	„ <i>sculptum</i> (Sow.).
„ cf. <i>crassum</i> Nich.	<i>Platyceras cornutum</i> (His.).
„ <i>alternans</i> Boehnke.	<i>Armenoceras</i> sp.
<i>Actinostromella</i> (?) sp.	<i>Leperditia baltica</i> (His.).
Boehnke.	„ <i>phaseolus</i> (His.).
<i>Thallograptus cervicornis</i>	<i>Beyrichia buchiana</i> Jones.
Spencer.	<i>Calymmene tuberculata</i>
<i>Lingula</i> sp.	(Brünn.).
<i>Leptaena rhomboidalis</i> Wilck.	<i>Proetus concinnus</i> (Dalm.).
<i>Camarotoechia borealis</i>	<i>Encrinurus punctatus</i> (Wahl.).
(Schloth.).	<i>Oncholichas ornatus</i> (Ang.).
„ cf. <i>nacula</i> (Sow.).	<i>Lichas</i> cf. <i>palifer</i> Ldm.
<i>Wilsonia wilsoni sphaer.</i>	<i>Eurypterus</i> sp.
(M' Coy.).	

Das Erscheinen von *Eurypterus* neben kleinen Ostrakoden in dünnen Zwischenschichten des knolligen Kalksteins verdient hervorgehoben werden.

Eine Zusammenstellung der Bohrkerne lässt auch auf eine leicht gestörte Lagerung in diesem Gebiet schliessen. Die Frage der Lagerung ist in einer Beziehung besonders wichtig: davon hängt z. T. die Beurteilung der am Suuriku-Pank entblösten Schichten ab, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann.

Die Eurypterus-schichten. K₁.

Das Hangende des J₂ ist aufgeschlossen im südlichen Teil der Halbinsel Tagamõisa, bei Kihelkonna, Vesiku, Kuusnõmme und Atla. Die Aufschlüsse hatten aber bisher nicht gestattet Klarheit darüber zu gewinnen, ob die verschiedenen Vorkommen weit auseinanderliegende Horizonte darstellen oder ob die sichtbaren Unterschiede auf fazieller Grundlage beruhen.

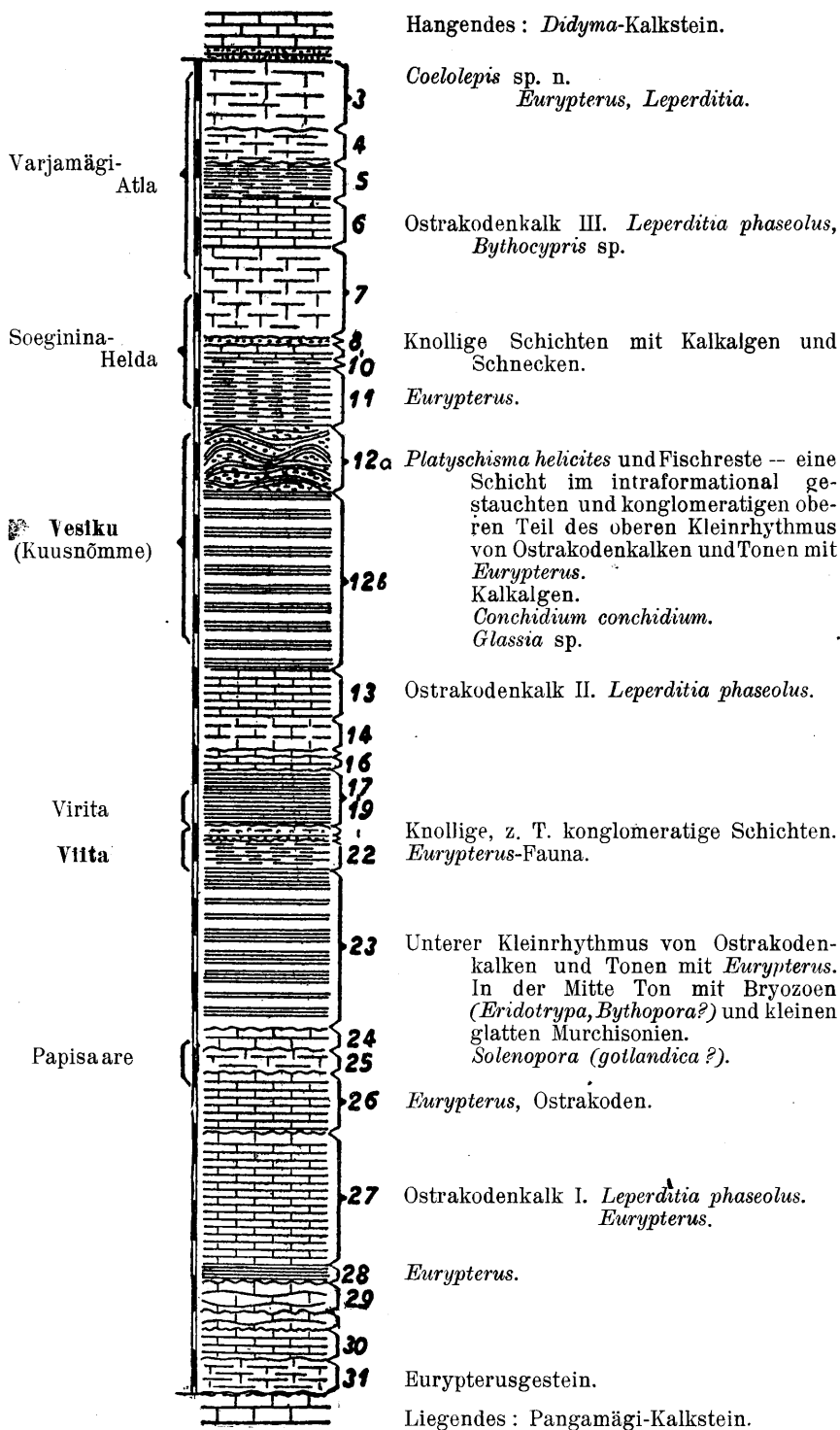


Fig. 2. Schematisches Profil der Eurypterusschichten im Vesiku-Atla-Gebiet. Links die Lage der wichtigsten Lokalitäten im Profil und Massstab in m, rechts Numeration der einzelnen Zonen und wichtigste Faunaelemente. Profilzeichen: regelmässige Kammerung — Kalkstein; unterbrochene Kammerung — Dolomit; dichte Linien — Ton, wenn unterbrochen — dolomitisch (*Eurypterus*gestein).

Die Bohrlöcher bei Vesiku und Atla ergeben nunmehr zusammen einen Durchschnitt des ganzen *Eurypterus*-Komplexes, der auch die Einzelaufschlüsse in das Gesamtprofil einzuordnen gestattet.

Die Schichten haben hier eine Mächtigkeit von rund 35 m und bestehen aus einer grossen Anzahl von Einzelschichten und -zonen, die scheinbar nicht alle die typische *Eurypterus*-Fauna führen (s. Fig. 2).

Es sind hier überwiegend Kalksteine vertreten, und zwar feinkörnig, erdig bis feinkristallig, feingeschichtet. Das Vorkommen bei Viita in Rootsiküla, das bisher bestbekannte Anstehende, ist insofern typisch, als diese Art von Feinschichtung, Toninhalt und Feinkörnigkeit öfters in der Schichtenreihe wiederkehrt und fast regelmässig mit der Häufigkeit von *Eurypterus* zusammenhängt. Oft sind diese Schichten stark tonig und gehen in direkt plastische Tone über. Mehrfach sind sie auch dolomitisch.

Besonders auffallend ist in diesen Gesteinen die Feinschichtung, die als Schieferung aufgefasst werden könnte, wenn der Zusammenhang zwischen den einzelnen Schichten loser wäre. Oft weist diese Feinschichtung Unregelmässigkeiten — Kleinwelligkeit, Kreuzschichtung — auf. Die Fossilien sind auf den Schichtflächen konzentriert, seltener kommen Nester vor, die durch mehr als eine Schieferungsfläche hindurchgehen ¹⁾. Manchmal sind die Fossilien gleichgerichtet (z. B. besonders das Problematikum *Palaeophycus acicula* Eichw.).

Dieses Eurypterusgestein (das u. a. lithologisch-chemisch mit dem amerikanischen *K o k o m o* und *B e r t i e w a t e r l i m e* gut übereinstimmt) ist wechselgelagert mit gutgebankten weissen Ostrakodenkalken (mit *Leperditia phaseolus*, aber auch mit massenhaft vorhandenen kleinen Formen, bes. *Primitia mundula*, *Bythocypris* sp. und *Kloedenia* sp.), die dreimal in mächtigeren Bildungen im Profil auftreten.

Zweimal folgen ihnen im Hangenden kleinrhythmische Tone und Kalke von verhältnismässig grosser Mächtigkeit, die nach oben durch typisches Eurypterusgestein abgeschlossen werden. (Die Viita-Schichten erscheinen als Abschluss des ersten Zyklus.)

¹⁾ In der Fauna des Vorkommens bei Viita ist als neu eine *Cephalaspis* sp. zu vermerken (erworben vom Paleontologisk Museum in Oslo, vorläufige Bestimmung), ausserdem *Orbiculoidea rugata* (Sow.), *Lingula* cf. *lewisi* (Sow.) und *Pteria* sp.

Die zweite Folge der kleinrhythmischen Tone und Kalke ist am Vesiku-Bach aufgeschlossen, wo sie die berühmte Schicht mit *Platyschisma helicites* und Fischresten einschliesst, aber auch *Eurypterus fisheri*, *Leperditia phaseolus*, *Kloedenia*, kleine Murchisonien und Bryozoen führt. Neuerdings ist hier der Fund einer Schale von *Conchidium conchidium* (L.), Schichten mit Kalkalgen, und in derselben Zone bei Kuusnõmme Konzentrationen von *Glossia* sp. (*compressa*? (Sow.)) zu vermerken.

Besonderes Interesse erwecken sedimentpetrographische Eigentümlichkeiten dieser Zone: am Vesiku-Bach erscheinen diese Schichten konglomeratisch mit sehr flachen und söhlig liegenden Geröllen eines sehr feinkörnigen und dichten Gesteins, während die Grundmasse mehr tonig ist und leichter verwittert. Daneben kommen hier auf mehreren Schichtflächen Trockenrisse und vereinzelte Steinsalzpseudomorphosen vor. Lateral gehen diese konglomeratischen Schichten bei Atla in intraformational gefaltete über mit sehr schönen Beispielen von Stauchung, die vermutlich durch subaquatische Rutschung verursacht sind.

Nach oben wird in diesem ganzen Gebiet der Eurypteruskomplex mit charakteristischen klein- bis groblöcherigen Dolomiten abgeschlossen, die in ausgesprochenen durchgehenden Zonen auftreten, also die Dolomitisation sehr frühzeitig bei oder gleich nach der Sedimentation erlitten haben¹⁾.

Die Hangendfläche der Eurypterus-schichten ist sehr scharf: es erscheinen die durchweg kalkigen K_2 -Schichten mit der *Ilionia*- und *Didyma*-Fauna, die sehr reich ist und ein deutlich marines Gepräge trägt. Ausserdem lassen sich in den unteren Lagen dieser Stufe Aufarbeitungserscheinungen feststellen. Das alles weist darauf hin, dass nach der Sedimentation der Eurypterus-schichten, die unter nicht marinen Bedingungen vor sich ging, eine Meeresüberflutung hier stattgefunden hat.

Diese Grenze K_1/K_2 , an sehr vielen Stellen aufgeschlossen, ist also sehr scharf und paläogeographisch bedeutungsvoll.

Es hat sich ferner gezeigt, dass die Eurypterus-schichten im mittleren und östlichen Teil der Insel eine sehr weite horizontale

¹⁾ In den hangendsten Schichten des Eurypterus-Komplexes unweit Pilguse ist es dem Autor geglückt bemerkenswerte Fischfossilien zu entdecken: eine Dolomitplatte mit etwa 60 meist ganzen Exemplaren eines kleinen Fisches, die von Prof. J. Kiaer-Oslo bearbeitet werden. Vorläufig hat derselbe die Art als zu den *Coelolepida* gehörend erkannt.

Verbreitung haben in der Form von dünn- bis sehr dickgebankten Dolomiten, die sehr oft eine schieferungsartige Feinschichtung aufweisen, meistens aber neben den Schichtungsstreifen klein- bis grösslöcherig sind und kaum kenntliche Fossilgussformen enthalten. Öfters erscheinen dünne und bröcklige bis tonige mergelige Zwischenlagen, in denen dann manchmal die Eurypterus- und auch die Fischfauna auftritt. An verschiedenen Stellen liefern diese Dolomite einen guten Bau-, Kamin- und Denkmalstein.

Eine Bohrung, die bei dem Kaalijärv (Krater von Sall) bis 63,14 m vom Tage niedergebracht wurde, zeigt, dass das Vertikalprofil dem an den Aufschlüssen der Eurypterusschichten gewonnenen Bilde gut entspricht.

Ausser den hangendsten 2 m sind es ausschliesslich gebankte mehr oder weniger löcherige Dolomite, die das immer wiederkehrende Euryptergestein erkennen lassen. In der unteren Hälfte weist der Bohrkern auch richtig zahlreiche Eurypterusreste auf.

Die untere Grenze dieser Zone ist offenbar nicht erreicht worden. Also weichen die Eurypterusschichten im östlichen Gebiet ausser durch die dolomitische Ausbildung auch durch eine bedeutendere Mächtigkeit vom westlichen Gebiet ab. Die erkennbaren Steinkerne der Bohrung gehören überwiegend Ostrakoden an, es fehlen aber auch nicht Schnecken, Muscheln, Brachiopoden und Bryozoen, stellenweise Konodonten. Alle diese Faunaelemente treten in deutlichen Konzentrationen auf und bieten das Bild einer wechsellvollen Sedimentation, die sich aber in gewissen Grenzen bewegte, in welche die rein marinen Bedingungen nicht eingeschlossen waren.

Eine deutliche Parallelisierung mit dem Vesiku-Atla-Gebiet ist vorläufig nicht möglich. Es darf aber vermerkt werden, dass auch hier eine mächtige Zone von kleinrhythmischen Dolomiten und tonigen Dolomiten auftritt, die intraformationale Korrugation, eine Konglomeratschicht mit darunter liegenden Trockenrissen und eine sehr feine Löcherung in den reineren Dolomitschichten aufweist, welche letztere höchstwahrscheinlich von kleinen Ostrakoden herrührt — alles Erscheinungen, die wir auch in den kalkig-tonig ausgebildeten Vesiku-Schichten sahen.

Dass die Ausbildung der Eurypterusschichten sich von Westen und Norden nach Osten (vielleicht auch nach Süden) im Sinne einer stärkeren Dolomitisation verändert, beweist ausserdem noch

das Bohrloch Kurevere bei Jaagarahu auf der Tagamöisa-Halbinsel. Hier ist das unmittelbar Hangende der Pangamägi-Kalksteine durchteuft. Es sind das fast 13 m mächtige, etwas knollige Kalksteine, mit reichlichem Ton und mit starken, mehrfach schwarz-bituminösen Korrosions- oder Emersionsflächen (ähnlich wie im unteren Teil der Kaalijärv-Bohrung).

Da nur der Bohrkern vorliegt, kann eine genügende Differentiation der Fauna in den verschiedenen Schichten nicht gegeben werden.

Eine genauere Betrachtung ermöglicht wenige Zonen eines feinkörnigen, feinkonkretionären tonigen Kalksteins mit eigentümlicher Fauna (Eurypterus-Fragmente, Ostrakoden, Schnecken, Konodonten) auszusondern, die zwischen härteren kristallinknolligen Schichten liegen.

In den letzteren ist eine reichere Fauna vorhanden: *Spirifer crispus*, *Spir.* sp., *Camarotoechia* sp., *Cephalopoda* (vereinzelt), *Poleumita globosum*, kleine Murchisonien, Lamellibranchiaten (*Cucullella ovata?*). Ausser *Leperditia phaseolus* und *Lep. eichwaldi* kommen kleine Formen von Ostrakoden in grosser Anhäufung vor.

Aus einer Vergleichung dieses Bohrkerns mit denen von Vesiku und Atla muss geschlossen werden, dass dieser Kurevere-Kalkstein (K₁a), der von den gewöhnlichen löcherigen Dolomiten der oberen Eurypterus-schichten überlagert wird, einem unteren Abschnitt derselben Schichten entspricht.

Das allgemeine Bild der Eurypterus-schichten auf Ösel gestattet Betrachtungen über die Fazies derselben anzustellen. Vorläufig darf bemerkt werden, dass verschiedene Züge in diesem Bilde für eine *E i n s c h w e m m u n g* der Eurypterusfauna zu sprechen scheinen.

Korrelation.

Auf Grund des neugewonnenen stratigraphischen Bildes kann eine eingehendere Korrelation mit den Nachbargebieten auf Gotland und im Oslo-Feld versucht werden.

Gotland.

Die unteren Visby-Mergel können wegen der fremdartigen Leitfauna kaum mit dem *A n s t e h e n d e n* auf Ösel verglichen werden. Es ist aber wahrscheinlich, dass sie ihr Gegenstück in

den tieferen Schichten der mächtigen J_1 -Mergel haben, wo *Sowerbyella transversalis* (nach J. H e d e's mündlicher Mitteilung ganz mit derjenigen aus dem Undre Visby-märgelsten übereinstimmend) vorliegt.

Der Övre Visby-märgelsten hat schon eine Fauna, die derjenigen von J_1 mehr ähnelt. Wo aber die obere Grenze von J_1 zu ziehen ist, ist schwieriger festzustellen.

Einen Anhaltspunkt beim Vergleich hat man in dem den Höglint-kalksten abschliessenden *Pterygotus*-Lager, das von einem Konglomerat überlagert wird.

Diese Tatsache ist weniger faunistisch als faziell auszuwerten: auf Ösel erscheint die Eurypterusfazies in den Pangamägi-Schichten als dünne Lager, die sich zwischen die knolligen Schichten einkeilen. Eine weitere Ähnlichkeit besteht in dem erstmaligen Erscheinen von *Spongiostroma* im Tofta-Kalk und im Pangamägi-Kalkstein, auch im Rangla-Dolomit.

Es stimmt auch gut mit den Öseler Verhältnissen überein, wenn nun in der mächtigen Slite-gruppen *Leperditia baltica* erscheint und die Riffazies sich überhaupt stark ausbreitet.

J. H e d e setzt nun den Mulde-märgelsten an die Basis des Ludlow und zugleich auch der Öseler Schichten K. Jetzt kann mit ziemlicher Sicherheit geschlossen werden, dass diese Schichten — Mulde-märgelsten, Klinteberg-kalksten und z. T. auch Hemse-gruppen — den Eurypterusschichten entsprechen.

Ausser der K_2 -Fauna von Ösel, die in der Hemse-gruppen vorliegt (*Ilionia prisca*, *Whitfieldella didyma*, *Armenoceras imbricatum*, *Megalomus gotlandicus*, *Murchisonia compressa*), ist u n t e r derselben jetzt auch die Eurypterusfazies mit *Eurypterus fischeri* (pers. Mitteilung von J. H e d e) aufgefunden worden. Es passt auch gut zu dieser Korrelation, dass das *Conchidium conchidium* des Klinteberg-kalkstens und der untersten Hemse-gruppen sich auf Ösel in der Vesiku-Zone vorfindet.

O s l o - G e b i e t.

Eine kurze Begehung des Obersilurs auf Ringerike hat es sehr wahrscheinlich gemacht, dass 8a-b den Öseler J_1 Mergeln, 8c-d dem Öseler J_2 entspricht. Ausser der ganz ähnlichen Faunaentwicklung, die auf Ösel den Ausführungen von J. K i a e r

1908 entspricht, ist das Einsetzen der Riffazies in 8c von grossem Interesse.

Über der Riffazies befinden sich dann die knolligen Kalke von 8d und die gelagerten fossilreichen Schichten von 9a (mit dem Erscheinen von *Leperditia phaseolus*), die die Stelle der bei uns im Osten noch etwas unsicheren Grenze zwischen J und K einnehmen.

9b-c sind aber ganz sicher den Eurypterusschichten gleichzustellen: die Entwicklung der *Leperditia phaseolus*-Konzentrationen (allerdings scheinbar nicht in so grosser Mächtigkeit wie auf Ösel) und die mächtige Entwicklung der feinen Schiefer, die sichtlich dem Eurypterusgestein entsprechen, passen sehr gut zu K₁ auf Ösel. Wegen des übereinstimmenden Schichtenverbandes und der Faunaelemente sind auch Seichtwassermerkmale, wie öfters vorkommende Wellenfurchen in 9b-c, auch sehr ähnlich wie am Vesiku-Bach ausgebildete Trockenrisse in 9b, in Betracht zu ziehen.

Hinzuzufügen ist, dass in 9d Elemente der K₂-Fauna auftreten (*Armenoceras imbricatum*), zu denen sich in 9e *Chonetes striatella* gesellt.

Für weitere Ausführungen über diese Korrelation reichen die vorliegenden Fossilverzeichnisse nicht aus. Es müssen eingehende faunistische Bearbeitungen einzelner Fossilgruppen vorgenommen werden.

Zum Schluss sei eine tabellarische Zusammenstellung gegeben.

Ö s e l	G o t l a n d	O s l o - F e l d
K ₂ <i>Ilionia</i> -Stufe		9d
K ₁ <i>Eurypterus</i> -Komplex	Hemsegruppen	
	Klinteberg-kalksten	9c
	Mulde-märgelsten	9b
W Pangamägi-Jaagarahu-Kalkstein.	Halla-kalksten	9a
	Slite-gruppen	
J ₂ O Dolomitkomplex von Mulu (Moon)		8d
	Tofta-kalksten	8c
J ₁ Jaani-Mergel	Högklint-kalksten	
	Ovre Visby-märgelsten	8b
	Undre Visby-märgelsten	8a

Wichtigste Literatur.

1. H. Bekker, Lühike ülevaade Eesti geoloogias 1925.
2. J. E. Hede, Gotlands silurstratigrafi 1921. Sv. G. U. Ser. C. Nr. 305.
3. KA-MIN (Kaubandus-tööstusministeeriumi Mäeosakond), Saaremaa lubjakivide uurimine 1927. aastal. Tallinn 1929.
4. E. Kraus, R. Meyer, A. Wegener, Untersuchungen über den Krater von Sall. Gerlands Beitr., Bd. XX, 1928.
5. J. Kiaer, Das Obersilur im Kristiania-Gebiet 1908.
6. I. Reinwaldt, Bericht über geologische Untersuchungen am Kaali-järv 1928. Sitz.-Ber. Naturf. Tartu XXXV, 1—2.
7. R. Ruedemann, Recent Publ. on the Origin and Habitat of the Eurypterida. Am. J. Sc., V. Ser., Vol. VII, Nr. 39, 1924.
8. Fr. Schmidt, zahlreiche Schriften 1855—1904 (Verz. siehe Изв. Геол. Ком-а 1908).
9. A. Schrenk, Übersicht des oberen silurischen Schichtensystems Liv- und Estlands. Dorpat 1852.
10. W. H. Twenhofel, The Silurian and High Ordovician Strata of Esthonia etc. Bull. Mus. Comp. Zool. Harvard Coll., Vol. 56, 1916.

Eingegangen 28. November 1929.

W. Anderson,

Redakteur der „Acta et Commentationes“.

ZUR FRAGE DER ZYKLONEN- VERTIEFUNG

VON

K. FRISCH

TARTU 1930

K. Mattiesens Buchdruckerei Ant.-Ges., Tartu.

In folgenden Zeilen werden einige Bemerkungen zur Frage über die Vertiefung der Zyklonen gegeben. Bevor wir zur Betrachtung der betreffenden Wetterkarten schreiten, wollen wir einige Erörterungen über die hydrodynamischen Bewegungsgleichungen vorausschicken.

In allgemeiner Form lassen sich die hydrodynamischen Bewegungsgleichungen in folgender Weise darstellen ¹⁾:

$$\begin{aligned} \rho \left[\frac{d^2x}{dt^2} - 2\omega \sin\varphi \frac{dy}{dt} + 2\omega \cos\varphi \frac{dz}{dt} \right] &= -\frac{\partial p}{\partial x} + X \\ \rho \left[\frac{d^2y}{dt^2} + 2\omega \sin\varphi \frac{dx}{dt} \right] &= -\frac{\partial p}{\partial y} + Y \\ \rho \left[\frac{d^2z}{dt^2} - 2\omega \cos\varphi \frac{dx}{dt} + g \right] &= -\frac{\partial p}{\partial z} + Z \end{aligned}$$

wo p — den Luftdruck, ρ — die Luftdichte, ω — die Winkelgeschwindigkeit der Erde, φ — die geographische Breite, X , Y , Z — die Komponenten der Reibungskraft, g — die Schwerebeschleunigung bedeutet. Bei Vernachlässigung der Reibung und der verhältnismässig kleinen Glieder $\frac{dz}{dt}$ sowie $2\omega \cos\varphi \frac{dx}{dt}$ in der dritten Gleichung ²⁾, erhalten wir im Falle des Gleichgewichtes:

$$\begin{aligned} -\rho 2\omega \sin\varphi \frac{dy}{dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho 2\omega \sin\varphi \frac{dx}{dt} &= -\frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho g &= -\frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned}$$

Demnach halten sich die horizontalen Komponenten der Druckkraft mit den Komponenten der Ablenkungskraft und die

1) Vergleiche zum Beispiel V. H. Ryd, Travelling Cyclones, S. 7.

2) Th. Hesselberg und A. Friedmann, Die Grössenordnung der meteorologischen Elemente und ihrer räumlichen und zeitlichen Ableitungen, S. 162 f.

vertikale Komponente der Druckkraft mit der Schwerebeschleunigung im Gleichgewicht. Eine Zyklone, für die die angegebenen Beziehungen in allen Punkten gelten, würde, ohne sich zu vertiefen oder zu verflachen, eine andauernde konstante Druckverteilung beibehalten.

Wenn nun in irgendeinem Teile der Zyklone die Luftdichte ρ sich verändern sollte, würden sich die Produkte $\rho \omega \sin \varphi \frac{dy}{dt}$ und $-\rho \omega \sin \varphi \frac{dx}{dt}$ bei der Zunahme von ρ vergrößern, bei der Abnahme von ρ verkleinern, wodurch im ersteren Falle die Luftpartikeln sich vom Zyklonenzentrum zu entfernen, im letzteren dagegen sich ihm zu nähern beginnen. Bei der Erhöhung der Luftdichte würde demnach am betreffenden Teil der Zyklone eine Schiebung der Luft nach aussen hin stattfinden und infolgedessen eine Abnahme des Luftdruckes vor sich gehen. Eine Dichtezunahme ist vorauszusetzen bei der Annäherung kalter Luftmassen, wodurch sich die Zyklone plötzlich vertieft, eine Erscheinung, die sich öfters an synoptischen Wetterkarten verfolgen lässt¹⁾. Leider ist es nicht immer möglich, eine solche Vertiefung der Zyklone frühzeitig genug auf Grund der Wetterkarten vorauszusehen, wodurch manchmal Fehlprognosen, besonders über die kommende Windstärke, entstehen.

Die Vertiefung der Zyklone würde demnach in folgender Weise vor sich gehen. Bei einer Vergrößerung der Dichte bzw. Erniedrigung der Temperatur wird auch der Druckgradient sich vergrößern, um wieder mit der Ablenkungskraft ins Gleichgewicht zu kommen. Wenn nun aber das Fallen der Temperatur eine Zeitlang andauert, wird das Gleichgewicht erst nach Aufhören des Fallens der Temperatur erreicht werden. Dank der Zunahme der Ablenkungskraft der Erdrotation werden daher die erkalteten Luftmassen vom Zyklonenzentrum fortgeschoben, so dass die höher liegenden Luftschichten infolgedessen kontinuierlich niedersinken.

Fig. 1 stellt einen Querschnitt durch eine Zyklone dar, wobei A ein dem Zyklonenzentrum näher liegender Punkt ist, B aber ein entfernterer. Wenn nun das Fallen der Temperatur von der Erdoberfläche CB bis etwa CD stattfindet, so werden die erkalteten Luftmassen in einer Zeit Δt um die Strecke Δl

1) Bergeron und Swoboda, Veröff. d. Geophys. Inst. d. Univ. Leipzig 1924 S. 69.

nach rechts verschoben, wodurch die darübergelagerten Luftmassen um $\Delta h = \Delta l \sin \alpha$ niedersinken, wobei α die Neigung von CD zur Erdoberfläche ist. Durch dieses Niedersinken wird aber die potentielle Energie fortlaufend in kinetische übergehen, weshalb die Windstärke v die ganze Zeit über etwa nach der Formel $v = \sqrt{2g \Delta h}$ zunimmt.

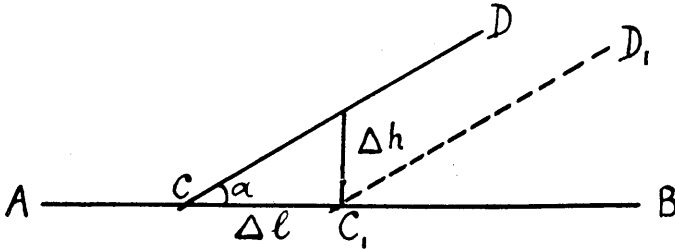


Fig. 1.

Hierdurch wächst infolge der Zunahme der Windstärke die Ablenkungskraft der Erdrotation, was andererseits ein weiteres Fallen des Luftdruckes mit sich führt.

Durch den beschriebenen Vorgang wird das Fallgebiet der Zyklone sich hauptsächlich auf dem Gebiete der Temperaturniedrigung ausbilden, wodurch die Zyklone gleichzeitig sich vertieft und an Ausdehnung abnimmt, eine Erscheinung, die sich oft aus den Wetterkarten ersehen lässt.

Unsere weitere Aufgabe wird es sein, einige solche Fälle näher zu besprechen, wo die verflachten und im Absterben begriffenen Zyklonen wieder lebendig wurden und durch plötzliche Vertiefung stürmische Winde erzeugten. Zu diesem Zweck wurden die Wetterkarten der Deutschen Seewarte ausgebeutet und aus den Jahren 1927, 1928 und 1929 solche markante Fälle ausgesucht, wo die verflachten Zyklonen mit bereits verschwindendem warmem Sektor sich am folgenden Tage wenigstens um 10—15 mm vertieft hatten.

Als ersten Fall betrachten wir die Vertiefung der Zyklone, die vom 12. bis zum 13. XI 1927 sich vom Balkan in nordöstlicher Richtung fortbewegend, bis zu Sturmstärke anwachsende Winde mit sich gebracht hat (s. Fig. 2 und 3).

Was die Luftdruckverteilung am 12. XI anbelangt, so sehen wir über Skandinavien eine Antizyklone, von der ein Hochdruckkeil sich über die Ostsee bis Südrussland erstreckte. Über dem

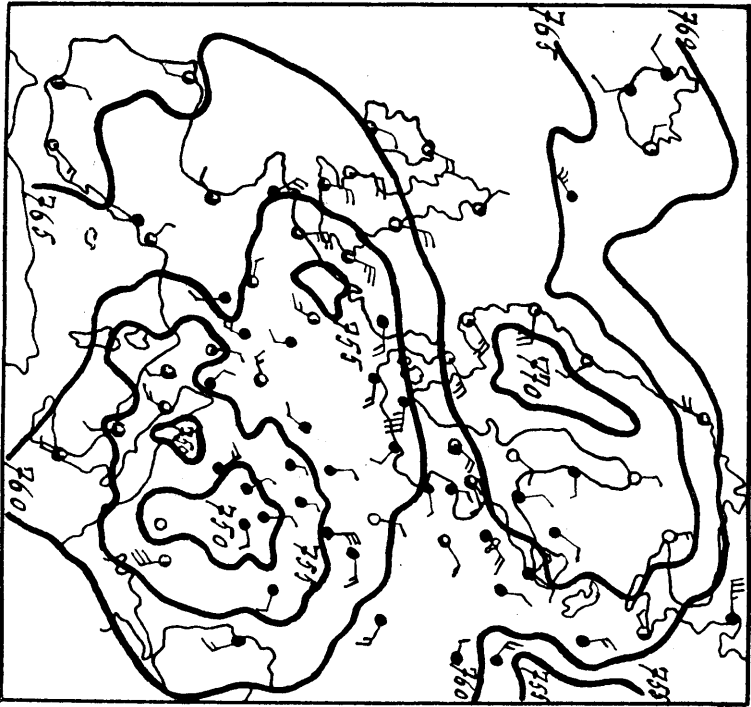


Fig. 2. Die Luftdruckverteilung am 12. XI 1927. 8h.

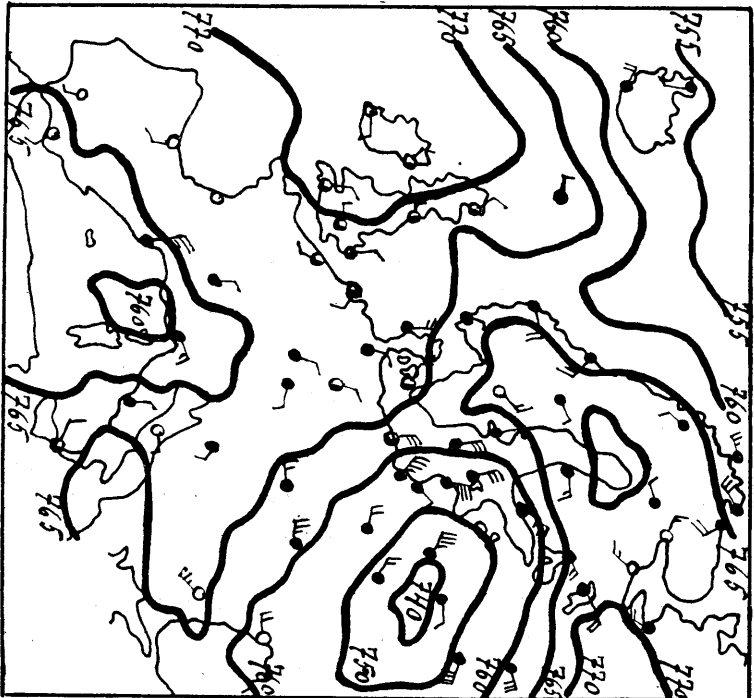


Fig. 3. Die Luftdruckverteilung am 13. XI 1927. 8h.

nördlichen Ural befand sich ein flaches Tiefdruckgebiet, wodurch in Nordeuropa die Isobaren eine beinahe nördliche Richtung erhielten und einen breiten Kaltluftstrom bis in das Gebiet der über dem Balkan sich befindenden Zyklone verursachten. Über die Höhe dieses Kaltluftstromes können wir keine genauen Daten geben; wohl aber zeigen die Pilotballonaufstiege in Lindenberg (12. XI, 15^h) und Stockholm (12. XI, 8^h) einen N- bis NE-Strom bis 3 km bzw. 2 km Höhe. In Helsingfors war um 8^h bis 1 km Höhe ein NE-Strom, höher aber ein schwacher SE-Wind vorhanden. Die Temperaturabnahme an der Erdoberfläche war nicht besonders gross (s. Tab. 1), da die unteren Luftschichten sich bei der Berührung mit der warmen Erdoberfläche erwärmt hatten.

Tabelle 1.

Lufttemperatur in C° vom 11. bis zum 13. November 1927.

	11,19 ^h	12,8 ^h	12,14 ^h	12,19	13,8 ^h
Tartu	—3	—3	—2	—5	—6
Narva-Jõesuu	—4	—3	—2	—5	—6
Leningrad	—2	—2	—4	—5	—6
Luga	—4	—4	—4	—6	—7
Podany	—5	—11	—10	—17	—16

Weiter können wir aus den Wolkenbeobachtungen schliessen, dass der vertikale Temperaturgradient in den höheren Luftschichten ziemlich gross war, da trotz einer breiten Schichtwolkendecke, die sich gewöhnlich im Herbst zu bilden pflegt, an vielen Stellen von den Beobachtern Cu-Wolken notiert wurden. Leider sind uns die Wolkenarten nur aus den Wettertelegrammen von Westeuropa und nur für die Beobachtungen von 8^h bekannt. Jedoch werden in den Morgentelegrammen des 12. XI an einer Reihe von Orten Cu-Wolken erwähnt (Haustholm, Skagen, Hernösand, Turku). Gleicherweise finden wir um 14^h, wo wir Notizen über die Wolkenarten nur aus Estland haben, an 4 Stationen Cu-Wolken (Vilsandi, Polli, Haapsalu, Jöhvi). Da diese Cu-Wolken alle als dynamisch zu betrachten sind, ersehen wir daraus, dass in den höheren Luftschichten eine starke Temperaturerniedrigung vor sich ging. Über die Temperaturverhältnisse in der Höhe können wir auch aus den berechneten Potentialtemperaturen an der Erdoberfläche einige Schlüsse ziehen. Wenn wir

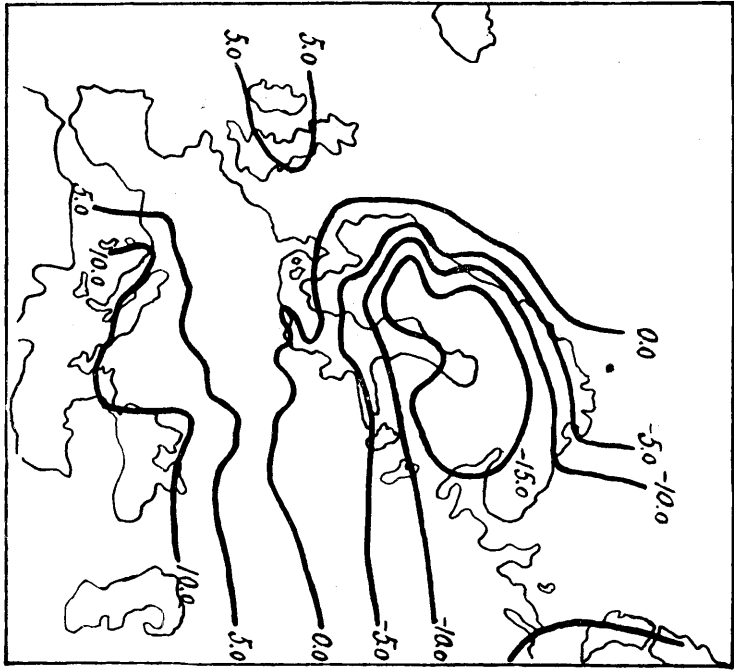


Fig. 4. Linien gleicher Potentialtemperatur am 12. XI 1927. 8h.

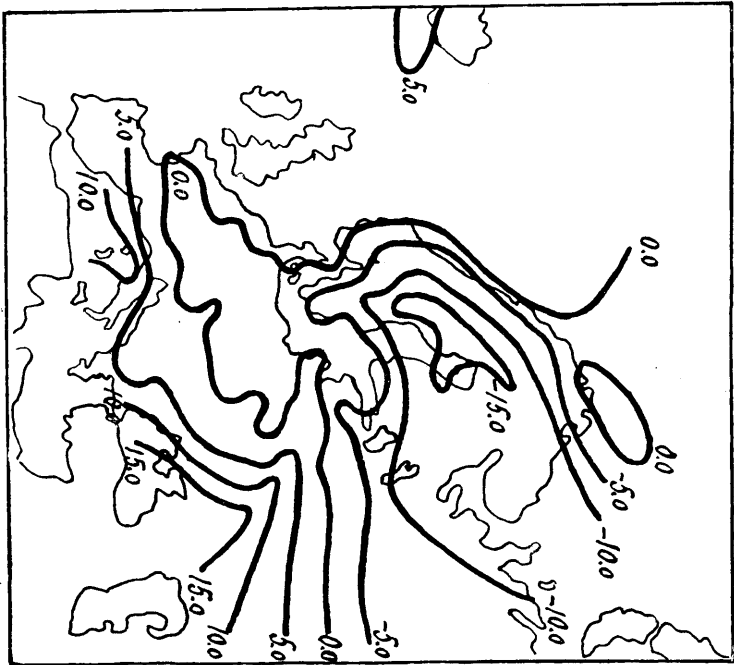


Fig. 5. Linien gleicher Potentialtemperatur am 13. XI 1927. 8h.

die Isopotential-Temperaturlinien am 12. und 13. XI aus den Morgenbeobachtungen miteinander vergleichen, ergibt sich, dass besonders in Russland die erwähnten Linien (s. Fig. 4 und 5) sich stark einander genähert hatten (vgl. z. B. die — 5.0- und 5.0-Linien). Daraus geht hervor, dass die räumlichen Isothermflächen vom 12. bis zum 13. XI stark zusammengeschrumpft waren und eine viel steilere Lage eingenommen hatten. Das alles zwingt uns zu der Annahme, dass der auf Seite 5 beschriebene Effekt in diesem Falle besonders stark zur Wirkung kam. Und wirklich ersehen wir aus der Isobarenkarte vom 13. XI, dass die Zyklone sich stark vertieft und in der Richtung nach Norden dem Kältegebiet genähert hatte.

Als zweites Beispiel sehen wir uns die Vertiefung einer Zyklone vom 7. bis zum 8. Juli 1929 an (s. Fig. 6 und 7). Am Morgen des 7. Juli hatten wir ein flaches Tiefdruckgebiet mit dem Zentrum von 750 mm über Polen, während ein zweites Tiefdruckgebiet von 745 mm über Nordostrussland lag. Über Südrussland, Spanien und Skandinavien befanden sich Antizyklonen. Zwischen den beiden Zyklonen hatten infolgedessen die Isobaren eine sattelförmige Gestalt angenommen.

Was die Temperaturverhältnisse betrifft, so herrschten über Südosteuropa hohe Temperaturen von 18° bis 24°. Auch die über Polen befindliche Zyklone wies in ihrem Zentrum Temperaturen bis 19° auf. Nördlich von der Zyklone war es dank den Winden aus nördlichen Richtungen bedeutend kühler: so waren in Südschweden und stellenweise in Estland und Lettland nur 12°—13°. Auch in Westeuropa herrschte eine kühle Witterung. Die 15°-Isotherme verlief, beinahe parallel der Meridianlinie, vom Balkan zur Ostsee. Auch hier dürfen wir voraussetzen, dass die Vertiefung der Zyklone durch das Fallen der Temperatur bzw. die Zunahme der Luftdichte bedingt war.

Tabelle 2.

Lufttemperatur in C° vom 6. bis zum 8. Juli 1929.

	6,19 ^h	7,8 ^h	7,14 ^h	7,19 ^h	8,8 ^h
Stettin	16	14	18	15	13
Danzig	—	15	14	12	—
Königsberg	17	14	17	13	13
Memel	—	—	16	14	12
Stockholm	17	16	16	14	12
Wisby	18	14	11	11	9
Kalmar	16	14	12	12	—

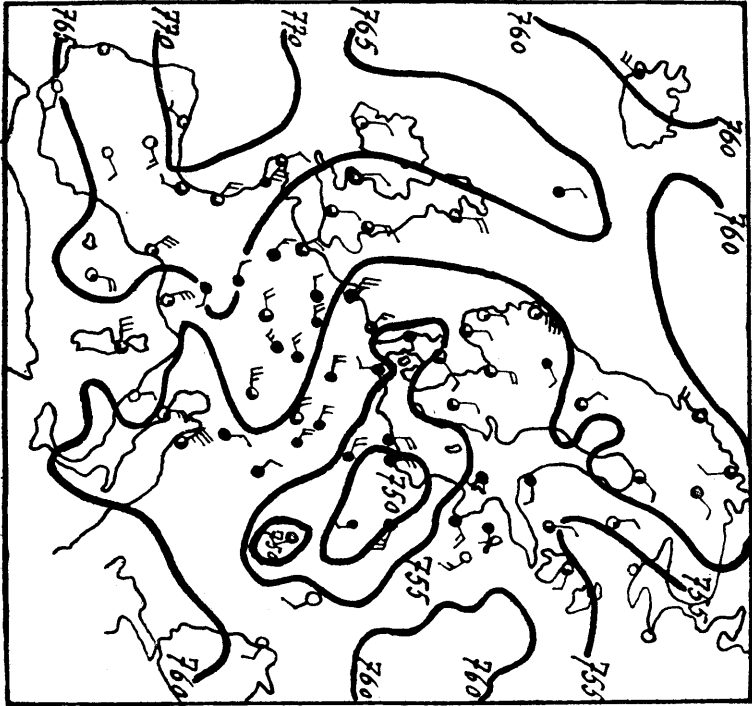


Fig. 6. Die Luftdruckverteilung am 7. VII 1929, 8h.



Fig. 7. Die Luftdruckverteilung am 8. VII 1929, 8h.

Die Erniedrigung der Temperatur an der Erdoberfläche erreichte stellenweise bis 10° (vgl. die Tabelle 2).

Am folgenden Tage hatte sich die Zyklone bis zu 740 mm vertieft und sich in der Richtung der Temperaturenniedrigung bis über die Ostsee bewegt (s. Fig. 7). Gleichzeitig herrschten im Gebiet der Temperaturabnahme starke bis stürmische Winde.

In gleicher Weise zeigen noch 9 weitere Fälle mit starker Luftdruckabnahme, dass das Fortschreiten einer sich vertiefenden Zyklone stets in der Richtung eines Temperaturfallgebietes vor sich ging, wodurch in oben beschriebener Weise ein starker Luftdruckfall und eine starke Windzunahme hervorgerufen wurde.

Die untersuchten Fälle sind folgende: 13.—14. IV 1927, 26.—27. V 1927, 16.—17. IV 1928, 8.—9. V 1928, 18.—19. VI 1928, 8.—9. VIII 1928, 6.—7. IX 1928, 12.—13. I 1929, 1.—2. III 1929.

Was die Frage anbelangt, auf welche Weise ein solches Fallen der Temperatur hervorgerufen wird, so zeigen die Wetterkarten, dass hier als Hauptursache eine vorhergehende Zyklone anzusehen ist, an deren Westseite die von Norden wehenden Winde eine Abkühlung in der Richtung der darauf folgenden und sich später vertiefenden Zyklone herbeiführen, — eine Erscheinung, auf die bereits Bergeron und Swoboda sowie Schröder¹⁾ hingewiesen haben.

1) Richard Schröder, Veröff. d. Geophys. Inst. d. Univ. Leipzig 1929, S. 51.

NATURKOMPLEXE VON ALATSKIVI

VON

E. MARKUS

TARTU (DORPAT) 1930

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a title or header.

Faint, illegible text in the middle of the page.

In der Arbeit „Die Grenzverschiebung des Waldes und des Moores in Alatskivi“¹⁾ behandelte ich die Beziehungen zwischen Wald und Moor auf Grund der Untersuchung kleinster Alatskivischer Naturkomplexe. Die vorliegende Arbeit versucht eine Klassifikation der erwähnten Komplexe aufzustellen und die aus den letzteren gebildeten landschaftlichen Komplexe zu beschreiben. Sie hat dabei Landkomplexe im Auge.

I. Komplexarten.

Mit dem Wort *Komplexindividuum* bezeichne ich einen realen²⁾ Naturkomplex, der in der Natur mehr oder weniger deutlich abgrenzbar ist und aus mehr oder weniger homogenen Elementen besteht: ein Abschnitt der Erdoberfläche wird als *Komplexindividuum* betrachtet, wenn seine Vegetation durch ein und dieselbe Siedlung im Sinne Cajanders³⁾ vertreten, sein Boden homogen ist u. s. w. Ein solches *Komplexindividuum* — ein echt versumpftes niederes Bruchwaldmoor — befindet sich im westlichen Teil des Moorisoo⁴⁾; sein Durchmesser beträgt 10—15 m, seine Bodenfläche ist sogar im Sommer mit Wasser bedeckt, seine Vegetation besteht aus einem Birkenwald mit Schwarzerle und Kiefer und der Boden aus Sphagnumtorf, Bruchwaldtorf, dem dunklen und dem Gleyhorizont.

Die Grösse der *Komplexindividuen* weist bedeutende Schwankungen auf. Es gibt einerseits Individuen, die nur 1—5 m im Durchmesser haben, wie z. B. einige *Komplexindividuen* des Podsolmoores im südöstlichen Teil des Selgussoo. Andererseits kann der

1) Markus, E. Die Grenzverschiebung des Waldes und des Moores in Alatskivi. Acta et Comment. Univers. Tartuensis (Dorpatensis). A XIV, 3. 1929.

2) Markus, E. Naturkomplexe. Sitzungsber. d. Naturf.-Ges. bei d. Univ. Tartu (Dorpat). Bd. XXXII, 3—4. 1925. S. 91.

3) Cajander, A. K. Zur Begriffsbestimmung im Gebiet der Pflanzentopographie. Helsingfors, 1922.

4) Markus, E. Die Grenzverschiebung u. s. w. S. 73—75.

Durchmesser solcher Komplexindividuen, wie ein sandiger hügeliger Wald u. ä., 1 km und sogar 3—5 km erreichen. Bei der Abgrenzung der Komplexindividuen kommt ihre Homogenität und nicht ihre Grösse in Betracht.

Die Komplexart¹⁾ — unsere kleinste Klassifikationseinheit — ist ein dem Komplexindividuum entsprechender idealer Naturkomplex und stellt eine ideelle Zusammenfassung solcher Individuen dar, die nach ihren Elementen im Wesentlichsten übereinstimmen. Um eine Komplexart zu untersuchen, beschreibt man alle ihr entsprechenden Individuen, stellt deren gemeinsame Eigenschaften fest und gruppiert letztere als Elemente der Komplexart. In ähnlicher Weise wird in Kap. III, 6A der erwähnten Arbeit²⁾ auf Grund der Untersuchung von gegen 20 Komplexindividuen die Art „höheres Bruchwaldmoor“ aufgestellt. Diese Art wird charakterisiert durch *Alnus glutinosa*, *Picea excelsa*, *Filipendula ulmaria* und *Galium palustre* (biologisches Element), die in den entsprechenden Individuen niemals fehlen. Ihr Bruchwaldmoorboden enthält immer sechs Horizonte — Bruchwaldtorf, Spuren des Podsolhorizonts, den dunklen, weisslichen, rostbraunen und Gleyhorizont (pedologisches Element). Das höhere Bruchwaldmoor nimmt Erdflächen ein, die schwach geneigt sind (Gefälle $\frac{1}{200}$), und kommt besonders oft in muldenförmigen Vertiefungen mit einer geneigten Achse vor (topographisches Element). Die Unterlage der Vertiefungen bildet eine Grundmoräne, die gewöhnlich mit einer wenig mächtigen Sandschicht bedeckt ist (lithologisches Element). Das höhere Bruchwaldmoor wird im Frühling und bei Regen mit Wasser überschwemmt, das aber hier nicht stagniert. Das Grundwasserniveau ist bedeutenden Schwankungen unterworfen: es steigt stark bei Regen und fällt schnell nach dem Aufhören der Regenzeit (hydrologisches Element). Das Alatskivische höhere Bruchwaldmoor entwickelt sich in einem Klima, das durch eine Jahrestemperatur von $4\frac{1}{2}^{\circ}$, eine Sommer- (Juli-) Temperatur von 17° und eine jährliche Niederschlagsmenge von 50—55 cm charakterisiert wird (klimatisches Element).

Die Arten der Alatskivischen Naturkomplexe sind in der Tabelle XXV aufgezählt³⁾.

1) Markus, E. Naturkomplexe u. s. w. S. 92.

2) Markus, E. Die Grenzverschiebung u. s. w. S. 62—66, 105—107 u. a.

3) Markus, E. Die Grenzverschiebung u. s. w. S. 140—141.

II. Komplexgattungen.

Komplexarten, die nach ihren Grundelementen übereinstimmen, vereinige ich zu einer Komplexgattung. Die Grundelemente der zu behandelnden Naturkomplexe sind das Klima, das Relief, der petrographisch-geologische Bau und das anthropologische Element, die den Charakter anderer Elemente — der Vegetation, der Böden, des Grundwassers — bedingen und dabei von den letzteren gar nicht oder nur wenig abhängen.

Die Abflussverhältnisse eines Gebietes hängen von dem Gefälle der Erdfläche ab. Geneigte Erdflächen mit einem Gefälle von über $\frac{1}{100}$ sind trocken und werden von einem echten Walde eingenommen. Auf einer fast horizontalen und dabei genügend grossen Erdfläche mit einem Gefälle von unter $\frac{1}{400}$ stagniert das Wasser, und hier entsteht ein echtes Moor: die grossen estländischen echten Moore bedecken kaum geneigte Erdflächen nördlich vom Peipsi (Peipus), solche in der Umgebung von Pärnu (Pernau) und solche nordöstlich vom Virtsjärv. Das Vorhandensein eines echten Moores in Selgus erklärt sich durch Konkavität seines mineralischen Untergrundes.

Erdflächen mit einem Gefälle von $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{400}$ sind ziemlich nass und werden vom Gleywald eingenommen, der Eigenschaften besitzt, die ihm teils mit dem Walde und teils mit dem Moor gemeinsam sind.

Das lithologische Element erscheint im echten Walde als Moränenlehm oder Sand, im Gleywalde und im echten Moore als eine den Moränenlehm bedeckende Sandschicht. Infolgedessen gliedern wir den echten Wald in zwei Gattungen — den „sandigen“ und den „lehmigen echten Wald“. Im echten Moore verlangt das homogene lithologische Element keine Unterscheidung mehrerer Komplexgattungen. In ähnlicher Weise ist der Gleywald als eine einzige Gattung zu betrachten, obgleich der Sand im Podsolmoor ein wenig mächtiger ist als im Bruchwaldmoor.

Die Tätigkeit des Menschen äussert sich in der Vernichtung der natürlichen Vegetation oder in der Umgestaltung der Böden der Naturkomplexe. Durch Mähen entsteht im Gleywalde eine Gleywiese. Als Resultat der Beackerung des sandigen echten Waldes bildet sich hier sandiges Ackerland. Wenn die Tätigkeit

der Menschen aufhört, so bedeckt sich das Ackerland mit sandigem Walde, der einen dunklen Bodenhorizont hat.

Das Klima aller zu untersuchenden Naturkomplexe kann man als ein gleiches ansehen, und es verlangt keine Unterscheidung neuer Komplexgattungen ausser den aufgestellten.

Die Gattungen der Alatskivischen Naturkomplexe sind in der hier folgenden Tabelle aufgezählt.

Tabelle. Gattungen der Naturkomplexe.

Grundelemente	Lehmiger echter Wald	Sandiger echter Wald	Sandiger Wald mit dunklem Bodenhorizont	Sandiges Ackerland	Gleywald	Gleywiese	Echtes Moor
Topographisches	G e f ä l l e ü b e r $\frac{1}{100}$				$\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{400}$		unter $\frac{1}{400}$
Lithologisches	Moränen- lehm	S a n d			Sand auf Moränenlehm		
Anthropologisches			Frühere B e a c k e r u n g	Gegenwärtige		Mähen	

Die Arten einer bestimmten Komplexgattung unterscheiden sich voneinander durch kleinere Variationen der Grundelemente, oder sie sind verschiedene Entwicklungsstadien eines Naturkomplexes.

So hat der sandige flache Wald ein Gefälle von $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{25}$, während der sandige hügelige Wald Erdflächen einnimmt, deren Gefälle grösser als $\frac{1}{25}$ ist. Die Heide bedeckt höhere Teile der Selguschen Kameslandschaft. Der schwach versumpfte sandige flache Wald ist ein Entwicklungsstadium des sandigen flachen Waldes.

Arten, die Entwicklungsstadien ein und desselben Naturkomplexes sind, können zu einer Untergattung vereinigt werden: alle höheren Podsolmoore z. B. bilden die Untergattung „höheres Podsolmoor“.

Beschreiben wir jetzt kurz die aufgestellten Komplexgattungen.

Die Gattung „sandiger echter Wald“ enthält vier Komplexarten: „Heide“, „sandiger hügeliger Wald¹⁾“, „sandiger flacher Wald“ und „schwach versumpfter flacher Wald“. Alle diese Arten enthalten Sand, der geneigte Erdflächen mit einem Gefälle von über $\frac{1}{100}$ bedeckt. Infolge der genannten Grundbedingungen liegt das Grundwasserniveau im sandigen echten Walde tief, und hier kommen podsolierte Sandböden mit *Pinus silvestris* vor.

Sandiges Ackerland und sandiger Wald mit dunklem Bodenhorizont entsprechen nach ihrem topographischen, lithologischen und hydrologischen Element dem sandigen echten Walde. Nur ist die natürliche Vegetation im sandigen Ackerland vernichtet, und der Boden hat hier einen rostbraunen Horizont und eine Kulturschicht. Die Gattung „sandiges Ackerland“ enthält zwei Komplexarten — „sandiges hügeliges“ und „sandiges flaches Ackerland“.

Sandiger Wald mit dunklem Bodenhorizont entsteht aus dem sandigen Ackerland nach dem Aufhören der Beackerung und enthält Erdflächen, die ein Gefälle $> \frac{1}{25}$ haben und von Sand eingenommen sind; er wird charakterisiert durch tiefes Grundwasserniveau, durch podsolierte Sandböden mit dunklem Horizont, durch Kiefer, Fichte und einige aus dem lehmigen flachen Walde ins Gebiet des verlassenen Ackerlandes eingedrungene Pflanzenarten (*Rubus saxatilis*, *Oxalis acetosella* u. a.). Der sandige Wald mit dunklem Bodenhorizont enthält zwei Komplexarten — ein schon lange und ein seit kurzem mit Wald bewachsenes Ackerland²⁾. Sandiger Wald mit dunklem Bodenhorizont kommt in Alatskivi nur im Gebiet des hügeligen Waldes vor³⁾.

Lehmiger echter Wald ist nach seinem Gefälle ($> \frac{1}{100}$) dem sandigen echten Walde ähnlich, die Grundmoräne aber, die er bedeckt, verlangt die Aufstellung einer speziellen Gattung. Lehmiger echter Wald wird charakterisiert durch podsolierten Lehmboden und beherbergt *Picea excelsa*, *Betula verrucosa*, *Rubus saxatilis*, *Fragaria vesca* u. a. Die genannte Gattung wird in

1) *Calamagrostis arundinacea*-Wald.

2) *Rubus saxatilis*-*Oxalis acetosella*-Wald, *Calamagrostis arundinacea*-*Rubus saxatilis*-Wald.

3) Markus, E. Die Grenzverschiebung u. s. w. S. 139. Karte VI.

Alatskivi durch eine einzige Komplexart — den „lehmigen flachen Wald“ — vertreten.

Im Gleywalde beträgt das Gefälle $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{400}$, und der mehr oder weniger mächtigen Sandschicht ist Moränenlehm unterlagert. Entsprechend der unbedeutenden Neigung der Erdoberfläche ist der Gleywald ziemlich nass, und das Grundwasserniveau fällt hier niemals unter 1 m. Da aber bei dem Übergang von dem Gefälle $\frac{1}{100}$ zum Gefälle $\frac{1}{400}$ das Grundwasserniveau sich der Bodenoberfläche nähert und die Vegetation und die Böden sehr empfindlich gegen die Tiefendifferenzen des nicht tief liegenden Grundwassers sind, so zerfällt die Gattung „Gleywald“ in eine Reihe von Untergattungen — „höheres Podsolmoor“, „niederer Podsolmoor“, „höheres Bruchwaldmoor“, „niederer Bruchwaldmoor“ und „junges Moor“, von denen die erste am meisten und die letzte am wenigsten geneigte Erdoberflächen einnimmt und die sich voneinander durch eigenartige Böden und Vegetation unterscheiden.

Der Untergattung „höheres Podsolmoor“ entspricht ein Gefälle von $\frac{1}{100}$ und ein im Sommer bis 1 m tief fallendes Grundwasserniveau. Diese Untergattung wird durch einen Podsolmoorboden mit schwarzbraunem Horizont charakterisiert. Ihre vier Komplexarten — „ruhendes“, „schwach versumpftes“, „echt versumpftes“ und „stark versumpftes Podsolmoor“ — bilden die Entwicklungsreihe des höheren Podsolmoores.

Die Untergattung „niederer Podsolmoor“ umfasst ebenfalls vier Arten, die Untergattung „höheres Bruchwaldmoor“ — zwei Arten. Das ruhende, die versumpften und die drainierten niederen Bruchwaldmoore sind Komplexarten der Untergattung „niederer Bruchwaldmoor“.

Arten des jungen Moores sind: das ebene junge Moor¹⁾ und das Moor mit Bulten²⁾.

Die Gattung „echtes Moor“ charakterisiert sich durch eine konkave Oberfläche der ihm unterlagerten Grundmoräne. Dies bewirkt das Emporsteigen des Grundwasserniveaus, die Bildung mächtigen Torfes, das Vorherrschen des Sphagnums und das Fehlen von Bäumen im echten Moore. Das echte Moor umfasst in Alatskivi nur eine Art³⁾.

1) *Eriophorum vaginatum*-Moor.

2) *Ledum palustre-Vaccinium oxycoccus*-Moor.

3) *Andromeda polifolia*-Moor.

Die Gattung „Gleywiese“ umfasst hauptsächlich die Art „Bruchwiese“.

III. Landschaftliche Komplexe.

Eine Gruppe von Naturkomplexen, die gemeinschaftlich auftreten, heisst landschaftlicher Komplex. Landschaftliche Komplexe, wie Naturkomplexe überhaupt, können real oder ideal¹⁾ sein. Einen interessanten landschaftlichen Komplex stellt der Gleywald von Moorisoo dar. Wie aus der betreffenden Karte²⁾ zu ersehen ist, besteht die Komplexgruppe von Moorisoo aus ruhenden und versumpften Podsol- und Bruchwaldmooren, aus zwei Arten jungen Moores, aus Wiesen und enthält sogar ein Stück flachen Waldes. Alle genannten Naturkomplexe treten gemeinschaftlich auf, machen ein deutlich abgrenzbares Ganzes aus und bilden so den realen landschaftlichen Komplex des Gleywaldes.

Es gibt in Alatskivi 25 landschaftliche Komplexe des Gleywaldes, die die Aufstellung ihres Typus ermöglichen.

Der landschaftliche Komplex des Gleywaldes nimmt gewöhnlich eine ebene flache Vertiefung ein, deren Ränder schwach zum Zentrum der Vertiefung geneigt sind. Im zentralen Teil der Komplexgruppe des Gleywaldes befindet sich oft ein junges Moor, das von Bruchwaldmooren und Podsolmooren — entsprechend dem Reihenprinzip³⁾ — umgeben ist. Die Liniertaxierungen in Alatskivi zeigen⁴⁾, dass unter den den Gleywald bildenden Komplexarten das ruhende höhere Bruchwaldmoor am meisten vertreten ist: es erreicht im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes sogar 38,8%. Eine wichtige Rolle im landschaftlichen Komplex des Gleywaldes spielen ferner das ruhende und das schwach versumpfte höhere Podsolmoor, das junge Moor und die Gleywiesen. Wie die Tabelle XVI⁴⁾ zeigt, besteht der landschaftliche Komplex des Gleywaldes hauptsächlich aus Arten der Komplexgattung Gleywald, zwischen denen Arten anderer Gattungen (sandiger flacher Wald, lehmiger flacher Wald u. a.) eine unbedeutende Rolle spielen. Es gibt sogar landschaftliche Komplexe,

1) Markus, E. Naturkomplexe u. s. w. S. 91.

2) Markus, E. Die Grenzverschiebung u. s. w. S. 148. Karte VII.

3) Markus, E. Naturkomplexe u. s. w. S. 85.

4) Markus, E. Die Grenzverschiebung u. s. w. S. 145.

die nur Arten der Gattung „Gleywald“ enthalten (Rajasoo, Maie-mäesoo, Väikesoo, Saaresoo u. a.).

Einen anderen, ebenfalls deutlich abgrenzbaren landschaftlichen Komplex stellt die Komplexgruppe der Kameslandschaft dar. Die letztere ist nach ihrem Bau komplizierter als der Gleywald. Der landschaftliche Komplex des Gleywaldes besteht aus einzelnen Komplexarten, der der Kameslandschaft stellt sich aus landschaftlichen Komplexen geringster Grössenordnung zusammen. Der grösste Teil der Kameslandschaft, nämlich alle ihre Kuppen, ist von der Komplexgruppe des sandigen hügeligen Waldes (sandiger hügeliger Wald, Heide, sandiges Ackerland, Arten des sandigen Waldes mit dunklem Bodenhorizont) besetzt, die nach den Linientaxierungen fast $\frac{3}{4}$ der ganzen Linienlänge in Alatskivi einnimmt¹⁾. In ihren verschiedenen Teilen sind kleinere landschaftliche Komplexe verstreut, die in Schüsseln und anderen Hohlformen der Kameslandschaft auftreten. Das sind die landschaftlichen Komplexe des Gleywaldes (Karten IV und VI²⁾), des Teiches (vgl. Ilutiik, Karte I), des versumpften Sees (von Järvepera, Karte I). Auch die landschaftlichen Komplexe der an der Grenzlinie der Kameslandschaft liegenden Quelle (kleiner Teich, unterirdischer Bach, unmittelbar von der Quelle bewässertes Bruchwaldmoor u. a.) und des echten Moores (echtes *Andromeda polifolia*-Moor, stark versumpftes höheres Podsolmoor u. a.) (Karten I, IV u. VI) müssen zur Komplexgruppe der Kameslandschaft gerechnet werden.

Abgesehen von Alatskivi befinden sich in der östlichen Hälfte von Estland über 20 Kameslandschaften³⁾, die alle aus bestimmten gemeinschaftlich auftretenden Naturkomplexen bestehen und also reale landschaftliche Komplexe sind. Die Aufstellung des ihnen entsprechenden idealen landschaftlichen Komplexes ist nicht die Aufgabe der vorliegenden Arbeit. Es sei hier nur erwähnt, dass in allen Kameslandschaften sandiger hügeliger Wald vorhanden ist, der also ein konstantes Glied ihres landschaftlichen Komplexes darstellt.

Die dritte Komplexgruppe — der landschaftliche Komplex des flachen Waldes — bedeckt das Gebiet einer Grundmoräne, d. h. Erdflächen mit einem Gefälle von $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{25}$,

1) Markus, E. Die Grenzverschiebung u. s. w. S. 143.

2) Markus, E. Die Grenzverschiebung u. s. w.

3) Markus, E. Kameslandschaften Estlands. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft. Bd. 82, Heft 1. 1930.

die das Vorherrschen des lehmigen flachen Waldes im genannten landschaftlichen Komplex erklären. Das Erscheinen anderer Naturkomplexe wird durch auf eine Grundmoräne abgelagerten, wenig mächtigen Sand (sandiger flacher Wald) hervorgerufen, durch in der Umgebung der Kameslandschaft verstreute Kameskuppen (sandiger hügeliger Wald), durch Konkavität der Erdoberfläche (Gleywald) und durch Tätigkeit des Menschen (Wiesen). Es war nur möglich einen Teil des landschaftlichen Komplexes des flachen Waldes zu untersuchen, denn dieser landschaftliche Komplex reicht weit über die Grenzen des Untersuchungsgebietes hinaus und enthält auf solche Weise Naturkomplexe (lehmiges flaches Ackerland u. a.), die in der Umgebung von Selgus nicht vorhanden sind.

Die Verbreitungsgebiete der drei wichtigsten Alatskivischen landschaftlichen Komplexe sind auf der Karte VI¹⁾ angegeben.

Der Begriff „landschaftlicher Komplex“ ist nicht identisch mit den Begriffen des Individuums, der Art und der Gattung der eigentlichen Naturkomplexe und ihrer Verbreitungsgebiete, denn diesen Begriffen werden verschiedenartige Prinzipien zugrunde gelegt. Jede Komplexgattung enthält bestimmte Arten, die nur ein und derselben Gattung angehören können. In ähnlicher Weise gruppiert man bestimmte Gattungen zu Familien, Familien zu Ordnungen u. s. w. Komplexarten ein und derselben Gattung treten gruppenweise auf, oder sie sind in verschiedenen Teilen des Untersuchungsgebietes verstreut. Die Gattung „sandiger echter Wald“ z. B. enthält die vier oben erwähnten Komplexarten (sandiger hügeliger Wald u. s. w.), die keiner anderen Gattung angehören können.

Bei der Aufstellung von landschaftlichen Komplexen rückt man das gemeinschaftliche Vorkommen der Naturkomplexe in den Vordergrund. Ein landschaftlicher Komplex kann Arten sowohl ein und derselben, als auch verschiedener Gattungen enthalten; ein und dieselbe Komplexart kann an der Zusammensetzung verschiedener landschaftlicher Komplexe teilnehmen. In ähnlicher Weise bilden kleinere landschaftliche Komplexe Einheiten höherer Grössenordnung. Der landschaftliche Komplex der Kameslandschaft z. B. besteht aus Komplexarten, die den Gattungen „sandiger echter Wald“, „sandiges Ackerland“, „lehmiger echter Wald“ u. a. angehören, wobei die Art „ruhendes höheres Bruchwaldmoor“ ausser der genannten Einheit auch in den landschaftlichen Komplexen des flachen Waldes und des Gleywaldes auftritt.

1) Markus, E. Die Grenzverschiebung u. s. w.

Die Komplexgattungen entsprechen demnach den Assoziationsverbänden¹⁾, die landschaftlichen Komplexe den Assoziationskomplexen²⁾ der Pflanzengeographen.

Ich habe früher gezeigt, dass die geographischen Landschaften Naturkomplexe sind³⁾. Um das Verhältnis zwischen Landschaften und Naturkomplexen zu bestimmen, analysieren wir einige grössere Landschaften, die deutlich in der Natur abgrenzbar sind und deshalb von allen Geographen als bestimmte landschaftliche Einheiten behandelt werden.

Die Tundra zerfällt in die Kümmertundra, Heidetundra, Flechtentundra, Sumpftundra u. s. w. Die genannten Naturkomplexe bilden grössere Einheiten — glazial ausgeräumte Tundrenflachländer, Tundrenbergländer und Tundrengebirge, glazial aufgeschüttete Tundren-Moränenflachländer und Tundren-Sandflachländer, nicht vereist gewesene Tundrenflachländer und Tundrenbergländer, wobei die Heidetundra z. B. in allen diesen Ländern vorkommt⁴⁾. Aus letzteren setzt sich die Tundra zusammen. Die Tundra ist demnach ein landschaftlicher Komplex. Die Wüste besitzt ebenfalls keine homogene Vegetation, keinen homogenen Boden u. s. w., sondern bildet eine Gruppe von Naturkomplexen — Oasen, Dünen, Schuttkomplexen (Hammada) u. a. Landschaftliche Komplexe sind des weiteren die Steppen, die tropischen Regenwälder u. s. w.

Kleinere Landschaften lassen sich nicht mit genügender Genauigkeit beurteilen, denn es gibt keine genauen Methoden ihrer Abgrenzung, und die landschaftlichen Einteilungen verschiedener Autoren weichen sehr stark voneinander ab. Mir scheint es, dass es richtiger wäre, das Wort „Landschaft“ nur auf diejenigen Objekte anzuwenden, die Komplexgruppen darstellen. So erscheint der landschaftliche Komplex der eurasischen

1) Braun-Blanquet, J. Zur Wertung der Gesellschaftstreue in der Pflanzensoziologie. Vierteljahrsschr. d. Naturf.-Ges. Zürich, LXX. 1925.

Koch, W. Die Vegetationseinheiten der Linthebene. Jahrb. d. St. Galischen Naturwiss. Ges. Bd. 61. T. II. 1925. S. 14.

2) Osvald, H. Die Vegetation des Hochmoores Komosse. Svenska Växtsoc. Sällsk. Handl. I. 1928. S. 266—310.

Bogdanowskaya-Guihéneuf, J. Die Vegetation der Hochmoore des russischen Ostbaltikums. Travaux de l'Institut des sciences naturelles de Peterhof. 1928. S. 327—357 und 372—376.

3) Markus, E. Naturkomplexe u. s. w. S. 93.

4) Passarge, S. Kältewüsten und Kältesteppen. Berlin. 1921. S. 57—58 u. 66—69.

Tundra z. B. als Landschaftsgürtel¹⁾, Landschaftszone²⁾ oder Naturzone³⁾. In ähnlicher Weise scheint es mir, dass die realen landschaftlichen Komplexe niederster Grössenordnung (des Gleywaldes von Kurgesoo, des echten Moores von Selgus, des Teiches von Ilutiik, der Quelle von Pikkmägi u. a.) der kleinsten landschaftlichen Einheit — dem Landschaftsteil, der landschaftliche Komplex nächstfolgender Grösse aber (die Kameslandschaft von Selgus) der Teillandschaft von Passarge⁴⁾ entspricht.

1) Passarge, S. Vergleichende Landschaftskunde. Heft I. Berlin. 1921. S. 59.

2) Berg, L. Zona tundr. Izv. Leningradsk. Universit. I. 1928. S. 192.

3) Dokučajev, V. K učeniju o zonach prirody. Petersburg. 1899.

4) Passarge, S. Vergleichende Landschaftskunde u. s. w. S. 7—10.

Derselbe. Aufgaben und Methoden der Landschaftskunde. Geograph. Anzeiger. Jg. 1927. H. 2. S. 45.

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 ultramaximum-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 аммонійныхъ солей для питанія 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 Esthonian 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 taimemasma 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. Lüü s. Ergebnisse der Krüppelkinder-Statistik in Eesti. — 3. C. Sch l o s s m a n n. Culture in vitro des protozoaires de l'intestin humain. — 4. H. K a h o. Über die physiologische Wirkung der Neutralsalze auf das Pflanzenplasma. — 5. Y. K a u k o. Beiträge zur Kenntnis der Torfzersetzung und Vertorfung. — 6. A. T a m m e k a n n. Eesti diktüoneema-kihi uurimine tema tekkimise, vanaduse ja levimise kohta. (Untersuchung des Dictyonema-Schiefers in Estland nach Entstehung, Alter und Verbreitung.) — 7. Y. K a u k o. Zur Bestimmung des Vertorfungsgrades. — 8. N. W e i d e r p a s s. Eesti piparmündi-öli (*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. Letzm ann. 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. K a u k o. Über die Vertorfungswärme. — 7. Y. K a u k o. 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 mõneste suguste glükogeeni vähendavate 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) möödunud 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 Verschmelzungsprodukten. — 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. Ruma. Die Heimatforschung in Eesti. — 5. M. Haltenberger. Der Stand des Aufnahme- und Kartenwesens in Eesti. — 6. M. Haltenberger. Landeskunde von Eesti. I. — 7. A. Tamme kann. Die Oberflächengestaltung des nordostländischen 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. Spohr. Über das Vorkommen von *Stum 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 Niederschläge von PbJ₂, Ag₂CrO₄ und AgCl im kapillaren Raume. — 7. P. N. Kogerman and J. Kranig. Physical constants of some alkyl carbonates. — 8. E. Spohr. Über brunsterzeugende Stoffe im Pflanzenreich. Vorläufige Mitteilung.

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 Pilzinjektion verursachte Anthocyaninbildung. — 5. A. Laur. Die Titration des Ammoniumhydrosulfides mit Ferricyankalium. — 6. N. King. Über die rhythmischen Niederschläge von PbJ₂, Ag₂CrO₄ und AgCl im kapillaren Raume. — 7. P. N. Kogerman and J. Kranig. Physical constants of some alkyl carbonates. — 8. E. Spohr. Über brunsterzeugende Stoffe im Pflanzenreich. Vorläufige Mitteilung.

A XIII (1928). 1. J. Sarv. Zum Beweis des Vierfarbensatzes. — 2. H. Scupin. Die stratigraphische Stellung der Devonschichten im Südosten Estlands. — 3. H. 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. K. Frisch. Zur Frage der Luftdruckperioden. — 5. J. Port. Untersuchungen über die Plasmakoagulation von *Paramaecium caudatum*. — 6. J. Sarw. Direkte Herleitung der Lichtgeschwindigkeitsformeln. — 7. K. Frisch. Zur Frage des Temperaturanstiegens im Winter. — 8. E. Spöhr. Über die Verbreitung einiger bemerkenswerter und schutzbedürftiger Pflanzen im Ostbaltischen Gebiet. — 9. N. Rägo. 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.

A XIV (1929). 1. J. Rives. Über die histopathologischen Veränderungen im Zentralnervensystem bei experimenteller Nebenniereninsuffizienz. — 2. W. Wadi. Kopsutuberkuloosi areng ja kliinilised vormid. (Der Entwicklungsgang und die klinischen Formen der Lungentuberkulose.) — 3. E. Markus. Die Grenzverschiebung des Waldes und des Moores in Alatskivi. — 4. K. Frisch. Zur Frage über die Beziehung zwischen der Getreideernte und einigen meteorologischen Faktoren in Eesti.

A XV (1929). 1. A. Nõmmik. The influence of ground limestone on acid soils and on the availability of nitrogen from several mineral nitrogenous fertilizers. — 2. A. Öpik. Studien über das estnische Unterkambrium (Estonium). I—IV. — 3. J. Nuut. Über die Anzahl der Lösungen der Vierfarbenaufgabe. — 4. J. Nuut. Über die Vierfarbenformel. — 5. J. Nuut. Topologische Grundlagen des Zahlbegriffs. — 6. Th. Lippmaa. Pflanzenökologische Untersuchungen aus Norwegisch- und Finnisch-Lappland unter besonderer Berücksichtigung der Lichtfrage.

A XVI (1930). 1. A. Paris. Über die Hydratation der Terpene des Terpinöls zu Terpinhydrat durch Einwirkung von Mineralsäuren. — 2. A. Laur. Die Anwendung der Umschlagselektroden bei der potentiometrischen Massanalyse. Die potentiometrische Bestimmung des Kaliums. — 3. A. Paris. Zur Theorie der Strömungsdoppelbrechung. — 4. O. Kuriks. Pisarate toimest silma mikrofloorasse. (Über die Wirkung der Tränen auf die Mikroflora des Auges.) — 5. K. Orviku. Keskdevoni põhikihid Eestis. (Die untersten Schichten des Mitteldevons in Eesti.) — 6. J. Kopwille. Über die thermale Zersetzung von estländischem Ölschiefer Kukersit.

A XVII (1930). 1. A. Öpik. Brachiopoda Protremata der estländischen ordovizischen Kukruse-Stufe. — 2. P. W. Thomson. Die regionale Entwicklungsgeschichte der Wälder Estlands.

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. Quaestiunculæ Horatianæ.

B II (1922). 1. J. Bergman. Aurelius Prudentius Clemens, der grösste christliche Dichter des Altertums. I. — 2. L. Kettunen. Lõunavepsa häälik-ajalugu. I. Konsonandid. (Südweptische Lautgeschichte. I. Konsonantismus.) — 3. W. Wiget. Altgermanische Lautuntersuchungen.

B III (1922). 1. A. v. Bulmerincq. Einleitung in das Buch des Propheten Maleachi. 2. — 2. M. A. 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. (Südweptische 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. M. A. Курчинский (M. A. Kurtshinsky). Европейский хаосъ. Экономическiя послѣдствiя 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 restauratsioonial (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).

B XIII (1928). 1. G. Suess. Petronii imitatio sermonis plebei qua necessitate coniungatur cum grammatica illius aetatis doctrina. — 2. С. Штейн (S. v. Stein). Пушкин и Гофман. (Puschkin und E. T. A. Hoffmann.) — 3. A. V. Kõrv. Värsimõõt Veske „Eesti rahvalauludes“. (Le mètre des „Chansons populaires estoniennes“ de Veske.)

B XIV (1929). 1. Н. Майм (N. Maim). Парламентаризм и суверенное государство. (Der Parlamentarismus und der souveräne Staat.) — 2. S. v. Csekey. Die Quellen des estnischen Verwaltungsrechts. II. Teil (S. 103—134). — 3. E. Virányi. Thalès Bernard, littérateur français, et ses relations avec la poésie populaire estonienne et finnoise.

B XV (1929). 1. A. v. Bulmerincq. Kommentar zum Buche des Propheten Maleachi. 1 (1, 2—11). — 2. W. E. Peters. Benito Mussolini und Leo Tolstoi. Eine Studie über europäische Menschheitstypen. — 3. W. E. Peters. Die stimmanalytische Methode. — 4. W. Freymann. Platons Suchen nach einer Grundlegung aller Philosophie.

B XVI (1929). 1. O. Loorits. Liivi rahva usund. (Der Volksglaube der Liven.) III. — 2. W. Süß. Karl Morgenstern (1770—1852). I. Teil (S. 1—160).

C I—III (1929). **I 1.** Ettelugemiste kava 1921. aasta I poolaastal. — **I 2.** Ettelugemiste kava 1921 aasta II poolaastal. — **I 3.** Dante pidu 14. IX. 1921. (Dantefeier 14. IX. 1921.) R. Gutmann. Dante Alighieri. W. Schmied-Kowarzik. Dantes Weltanschauung. — **II 1.** Ettelugemiste kava 1922. aasta I poolaastal. — **II 2.** Ettelugemiste kava 1922. aasta II poolaastal. — **III 1.** Ettelugemiste kava 1923. aasta I poolaastal. — **III 2.** Ettelugemiste kava 1923. aasta II poolaastal.

C IV—VI (1929). **IV 1.** Ettelugemiste kava 1924. aasta I poolaastal. — **IV 2.** Ettelugemiste kava 1924. aasta II poolaastal. — **V 1.** Ettelugemiste kava 1925. aasta I poolaastal. — **V 2.** Ettelugemiste kava 1925. aasta II. poolaastal. — **VI 1.** Ettelugemiste kava 1926. aasta I poolaastal. — **VI 2.** Ettelugemiste kava 1926. aasta II poolaastal.

C VII—IX (1929). **VII 1.** Ettelugemiste kava 1927. aasta I poolaastal. — **VII 2.** Ettelugemiste kava 1927. aasta II poolaastal. — **VIII 1.** Ettelugemiste kava 1928. aasta I poolaastal. — **VIII 2.** Ettelugemiste kava 1928. aasta II poolaastal. — **IX 1.** Ettelugemiste kava 1929. aasta I poolaastal. — **IX 2.** Ettelugemiste kava 1929. aasta II poolaastal. — **IX 3.** Eesti Vabariigi Tartu Ülikooli isiklik koosseis 1. detsembril 1929.

C X (1929). Eesti Vabariigi Tartu Ülikool 1919—1929.

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. (Aastaruanded.)

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.
