EESTI VABARIIGI TARTU ÜLIKOOLI

TOIMETUSED

ACTA ET COMMENTATIONES

UNIVERSITATIS DORPATENSIS

A

MATHEMATICA, PHYSICA, MEDICA

V

TARTU 1924

Eelmiste köidete sisu. — Contenu des volumes précédents.

A I (1921). **1.** A. Paldrock. Ein Beitrag zur Statistik der Geschlechtskrankheiten in Dorpat während der Jahre 1909—1918. — **2.** K. Väisälä. Verallgemeinerung des Begriffes der Dirichletschen Reihen. — **3.** C. Schlossmann. Hapete mõju kolloiidide peale ja selle tähtsus patoloogias. (L'action des acides sur les colloïdes et son rôle dans la pathologie.) — **4.** K. Regel. Statistische und physiognomische Studien an Wiesen. Ein Beitrag zur Methodik der Wiesenuntersuchung. — **5.** H. Reichenbach. Notes sur les microorganismes trouvés dans les pêches planctoniques des environs de Covda (gouv. d'Archangel) en été 1917. — **Misc.** F. Bucholtz. Der gegenwärtige Zustand des Botanischen Gartens zu Dorpat und Richtlinien für die Zukunft.

A II (1921). **1.** H. Bekker. The Kuckers Stage of the Ordovician Rocks of NE Estonia. — **2.** C. Schlossmann. Über die Darmspirochäten beim Menschen. — **3.** J. Letzmann. Die Höhe der Schneedecke im Ostbaltischen Gebiet. — **4.** H. Kaho. Neutraalsoolade mõjust ultramaksimum-temperatuuri peale *Tradescantia zebrina* juures. (Über den Einfluss der Neutralsalze auf die Temperatur des Ultramaximums bei *Tradescantia zebrina*.)

A III (1922). **1.** J. Narbutt. Von den Kurven für die freie und die innere Energie bei Schmelz- und Umwandlungsvorgängen. — **2.** А. Томсонъ (A. Thomson). Значеніе аммонійныхъ солей для питанія высшихъ культурныхъ растеній. (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 Kukkersit. — **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 vermindernden Faktoren auf das Glykogen des spezifi-

EESTI VABARIIGI TARTU ÜLIKOOLI

TOIMETUSED

ACTA ET COMMENTATIONES

UNIVERSITATIS DORPATENSIS

A

MATHEMATICA, PHYSICA, MEDICA

V

TARTU 1924

Sisukord. — Contenta.

1. **E. Öpik.** Photographic observations of the brightness of Neptune. Method and preliminary results.
2. **A. Lüüs.** Ergebnisse der Krüppelkinder-Statistik in Eesti.
3. **C. Schlossmann.** Culture in vitro des protozoaires de l'intestin humain.
4. **Hugo Kaho** (K a h h o). Über die physiologische Wirkung der Neutralsalze auf das Pflanzenplasma.
5. **Yrjö Kauko.** Beiträge zur Kenntnis der Torfzersetzung und Vertorfung.
6. **A. Tammekann.** Eesti diktüoneema-kihi uurimine tema tekkimise, vanaduse ja levimise kohta.

   R e f e r a t: Untersuchung des Dictyonema-Schiefers in Estland nach Entstehung, Alter und Verbreitung.
7. **Yrjö Kauko.** Zur Bestimmung des Vertorfungsgrades.
8. **N. Weiderpass.** Eesti piparmündi-õli (Oleum menthae esthicum).

   R e f e r a t: Das estnische Pfefferminzöl.

PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS OF THE BRIGHTNESS OF NEPTUNE. METHOD AND PRELIMINARY RESULTS

BY

E. ÖPIK

TARTU 1923

K. Mattiesen, Tartus.

1. Introduction.

These measurements were undertaken on the Tartu (Dorpat) observatory with the chief purpose to detect any variation in the brightness of the planet, if such a variation exist at all; in the case of a positive result a clue for the determination of the period of rotation of Neptune would be put into our hands. The idea is not new: after the announcement of Maxwell Hall[1]) the question of the variability of Neptune was discussed many times, but no decisive results were obtained[2]). As the main result of the numerous observations of E. C. Pickering, G. Müller and J. M. Baldwin appeared the conclusion, that if any variability exist, its amplitude must be small — say, of the order of $0^{mg}.1$ or even less; if so, the method of visual photometry is unable to solve the problem, and more refined methods are required. Since Neptune, according to P. Guthnick, seems to be beyond the reach of the photoelectric cell, the best method fit for our purpose is the method of extrafocal photographs.

Variations in the light of a planet depending on rotation can be expected à priori; in the case of Mars variations of the order of $0^{mg}.1$—$0^{mg}.15$ were observed since 1914 by P. Guthnick[3]) and, independently, by the writer[4]); for Jupiter and Saturn were found by Guthnick irregular variations, which generally could not be made to agree with the period of rotation and had probably their source in certain disturbances occurring in the atmospheres of these planets; in 1920, however, Jupiter manifested a variability of $0^{mg}.14$ of a period equal to the period of rotation[5]). From these observations variations in the brightness

1) Monthly Notices 44, p. 257; see also M. N. 75, p. 626.

2) For reference see Photometric Measurements of Neptune, January to April 1908, by J. M. Baldwin. Monthly Notices 68, p. 614.

3) P. Guthnick und R. Prager. Photoelektrische Untersuchungen an spektroskopischen Doppelsternen und an Planeten. Veröffentlichungen d. Kgl. Sternw. Berlin-Babelsberg. B. I, H. 1 (1914) and B. II, H. 3 (1918).

4) Zum Lichtwechsel des Planeten Mars. Astronomische Nachrichten 5162.

5) P. Guthnick. Veränderlichkeit der Helligkeit des Jupiter in der Opposition 1920. Astronomische Nachrichten 5067, p. 39.

of the planets seem to be a general rule; the success of the measurements of Mars made by the writer indicates that the approaching of the problem with the method of extrafocal photographic photometry is not a hopeless task, though in the case of Neptune, owing to the faintness of this planet, the difficulties are greater than for Mars.

The present paper deals chiefly with the method of investigation; as a preliminary result a variability in the photographic brightness within a range not surpassing $0^{mg}15$ has been found; the material is, however, too scant to allow of any reliable derivation of the period of variation; the relatively small number of plates obtained is due to the unusually bad weather conditions during the period of observation — spring 1922.

On the contrary, the average photographic brightness of Neptune during the period of observation can be determined with high precision; a definitive result, however, cannot be given here, for the magnitudes of the comparison stars on an absolute scale are known with a smaller degree of precision than the result of our measurements; our preliminary scale of magnitudes is based on 2 stars of the Göttingen Actinometry [1]); for the definitive result a special determination of the magnitudes of all comparison stars on an absolute scale is needed.

The observations of the photographic brightness of Neptune will be systematically continued here; since definitive results cannot be expected in a very short interval of time, it has been thought that the publication of our preliminary results must not be delayed; the aim was, besides, that more attention may be drawn to the determination of the photographic brightness of Neptune [2]), and that other investigators may use the experience gained from our observations and avoid certain sources of error discussed below.

2. Arrangement of observations and sources of error.

The result of extrafocal photometry is liable to be influenced by the following sources of error:

a) variations in the transparency of the terrestrial atmo-

1) They are found, too, in Harvard Annals 71, 2, Standard Region C_5.

2) The only determination of the photographic brightness of Neptune known to the writer is the determination made by K. Schütte in 1920 (Astr. Nachrichten 5130 pp. 357—360).

sphere; b) systematic differences in the sensitiveness of different parts of the photographic plate; c) accidental errors of the measures (or estimations) of density of the photographic image; d) accidental variations in the sensitiveness of the plate near a given point; e) inequality of the distance from the focus for different images; f) influence of the background of the sky and overlapping images of the brighter stars; g) influence of the background (veil) of the plate; h) non-homogeneousness of the extrafocal image; i) errors in the plate constants needed to transform density into stellar magnitude.

The relative importance of these sources of error depends upon the instrument and the brightness of the object under investigation; e. g. for bright objects source f) is negligeable, sources e) and h) can be practically eliminated by making the distance from the focus great enough, and source b) can be reduced to a minimum by placing the images to be compared as near as possible on the plate; the short exposure allows of obtaining a great number of images during a narrow space of time, so that the influence of the sources c) and d) is reduced considerably. The satisfactory results obtained for Mars by the writer [1]) are due chiefly to these favourable circumstances; as the most serious factor affecting the extrafocal photometry of bright objects remains only source a), for the comparison stars are from necessity chosen at an appreciable distance from the object under investigation.

In the case of a faint object like Neptune the latter source of error can be reduced practically to zero, for the comparison stars can be chosen at a small distance from the planet and can be photographed at the same time with the latter. But for a short-focused camera like the camera used in the present investigation sources e) and f) cannot be neglected; source e) — because it is necessary to reduce the distance from the focus to a minimum, lest the time of exposure be increased unreasonably (which means at the same time an increased effect of the background of the sky); and source f) puts a limit to the number of neighbouring images that may be obtained on the same plate. Besides, the effect of the general background of the sky for Neptune proved to be small for the exposures

1) Loc. cit.

(about 10^m) and aperture (F:D = 10) used, so that 6 or more consecutive images could be obtained upon the same plate without impairing the negative; but the effect of overlapping images of stars proved to be a most troublesome source of error, stars of the 10^{th} and 11^{th} magnitude affecting the measured brightness of Neptune in a sensible degree.

Bearing in mind the possible sources of error, the arrangement of the observations was made as follows.

The photographs were obtained with the aid of the 160 mm Petzval camera (focal distance 79,2 cm [1]), scale of focal images 1 mm = 260″.5), at a distance 5—3 mm behind the focus; the latter distance proved to be more convenient, giving fairly uniform extrafocal images measurable on a microphotometer, and with an exposure of 10 minutes producing images of Neptune dense enough for precise determination of its brightness. To control the distance from the focus, an arrangement was adopted analogous to the method of Hartmann for testing objectives. A diaphragm was placed before the objective, having a central aperture of 80 mm and four side-holes, denoted on fig. 1 by a_1, a_2, b_1, b_2; the directions a_1, a_2 and b_1, b_2 were perpendicular, the distances of the centers $a_1\ a_2 = 129{,}9$ mm and $b_1\ b_2 = 130{,}0$ mm; $a_1\ a_2$ was approximatively parallel to the declination circle; the diameters of the side-holes were equal to 20 mm. Thus each extrafocal image of a star reproduced the figure of the diaphragm, having a central disk C and four „satellites“ a_1, a_2, b_1, b_2, as represented on fig. 1. The distance between the „satellites“, measured on a Repsold machine, determines the distance from the focus and, consequently, the intensity of illumination which acted upon the central image C. Since the reduced aperture does not affect the intensity of an extrafocal image, the latter depending solely upon the ratio $\frac{\triangle f}{F}$, where $\triangle f$ is the distance of the plate from the focus, F — the focal length of the objective, the effect of

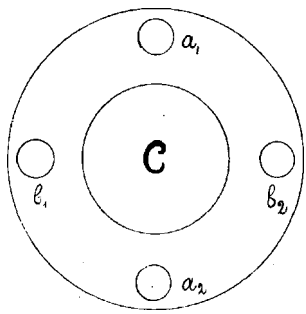


Fig 1.

1) Not 78 cm, as given in Tome XXIV, № 1 of these Publications.

the diaphragm was only an improvement of the photographs, for it reduced the intensity of the background of the sky and the probability of overlapping stellar images about four times. The diameter of the central image C was about 0,30—0,35 mm on the majority of the plates.

The photographs were obtained with the aid of the rotating plate-holder, which was constructed by Mr Messer specially for the eclipse expedition of 1914; a description of this plate-holder will be given elsewhere. Here it will be sufficient to say that this arrangement allowed to obtain on a 9×12 cm plate two independent photographs of a circular area of 52 mm diameter: a circular window of this diameter, with its centre on the optical axis, was placed before the plate; the latter could be rotated about an axis 107 mm distant from the optical axis and placed in two positions, so that the images of the window fell upon two different places on the plate. The opportunity of obtaining a double number of independent exposures on the same plate was of no little importance, for it allowed of a more precise determination of the plate constants and reduced in this manner the errors originating from the source i). The two positions were denoted as position I and II respectively.

The 200 mm Zeiss refractor was used as guiding telescope[1]); the star (Neptune in all cases except negative № 3 and 4) was placed on the intersection of a horizontal and a vertical thread of the micrometer; 3 vertical and 2 horizontal threads gave six intersection points; their denotations and relative coordinates in minutes of arc are given below:

Intersection Point	Coordinates $\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
1	—0′.2	+3′.1
2	0.0	0.0
3	+4.7	+0.2
4	+4.5	+3.3
5	+9.2	+3.6
6	+9.4	+0.5

1) The description of the new Zeiss refractor with the photographic camera is given in Tome XXIV № 1 of the Dorpat Publications, 1914. During the war the refractor was dismounted and taken away to Russia, and the observatory succeeded to get it back only in 1921.

As a rule, 3—6 exposures were obtained for the same position using different points of the micrometer network, and the single exposures were denoted by the number of the plate, the position and the number of the intersection-point; e. g. $6\,II_4$ denotes the exposure on plate № 6, position II, intersection-point of the guiding telescope № 4.

Several exposures were obtained with a background illuminated by the moon; in these cases only one exposure in each position was made.

The plates used were Agfa Extra-Rapides, Emulsion 7813, ordinary glass, and in two cases (plates 3 and 4) Agfa-Isolar, Em. 7137; plate 4 was not measured at all; as to plate 3, any systematical difference in the colour sensitiveness between this plate and the bulk of all remaining is not probable, and, moreover, since the plate № 3 enters in our reductions with a small weight, we resolved not to reject altogether this plate.

The plates were developed in a solution of Methol-Hydrochinon during 5 minutes, at a temperature of about 15° C. Before the development they were soaked in distilled water for 10 minutes.

It was impossible to obtain fresh plates here during the observations; a noticeable veil appears on all photographs; if satisfactory results are, nevertheless, obtained, it may be explained partly by the method of reduction: instead of the absolute density the difference between the density of the stellar image and the background was used; with fresh plates even much better results may be expected. On the contrary, the use of plate-glass plates will probably give no sensible improvement, since the method described above eliminates the effect of inequal distance from the focus, produced by the irregular surface of an ordinary plate.

Table 1 contains the data for all exposures of Neptune obtained during spring 1922.

These 13 plates, containing 23 independent photographs with 65 exposures, may be classified as follows: 1) plates or photographs entirely rejected (not measured); such are $3\,I_{(1.2)}$, $4\,II_{(1,2)}$, 15 I, II; the reason for rejecting was the extreme weakness of the images, which rendered any accuracy of the measurements impossible; Neg. 14 must be listed to the same cathegory; it was measured with the chief purpose to obtain data for the

Table 1.

Plate, Pos., Guiding Point	Date, Sidereal Time (Middle of Exposure)	Exposure Seconds	Guiding Star	Plate Sort	$\triangle f$ mm	General Remarks
	1922					
3 I 1	March 18, 9h.2	722.5	BD 16°1901	Agfa-	5.1	Very
2	„ 9.5	280.0	17°2018	Isolar		weak
3 II 6	March 20, 9.1	722.5	16°1901			
5	9.3	725.0	17°2007			
4	9.7	731.0	17°2018			weak
3	10.0	720.5	16°1901		4.9	negative
2	10.4	720.5	„			
1	10.7	730.0	„			
(7)	11.0	210.0	„			
4 II 1	March 20, 12.5	721.5	BD 16°1901	Agfa-	4.9	very
2	12.8	720.5	„	Isol.		weak
5 I 1	March 21, 8.4	600.5	Neptune	Agfa-		
2	8.7	480.5	„	Extra-		
3	9.0	723.0	„	Rapid.	5.3	
4	9.3	595.0	„			
5	9.7	602.0	„			
6	10.3	610.5	„			weak
5 II 1	10.7	600.0	„			negative
2	11.0	599.5	„			
3	11.2	601.0	„		4.9	
4	11.5	590.5	„			
5	11.8	602.0	„			
6	12.1	609.0	„			
6 I 1	March 22, 8.5	606.0	„	„		
2	9.0	600.5	„			
3	9.2	603.0	„		3.4	
4	9.5	602.0	„			
5	9.8	1200.0	„			
6	10.2	599.5	„			
6 II 1	10.6	599.0	„			good
2	10.8	388.0	„			
3	11.1	594.0	„		3.2	
4	11.5	599.5	„			
5	11.7	600.5	„			
6	12.0	600.5	„			
7 I 1	March 23, 8.6	600.0	„		3.4	
2	8.8	650.0	„			

Table 1. Continued.

Plate Pos., Guiding Point	Date, Sidereal Time	Exposure Seconds	Guiding Star	Plate Sort	$\triangle f$ mm	General Remarks
	1922					
7 I 5	March 23, 11h.0	600.5	Neptune	Agfa		
6	11.3	601.0		Extra-	3.4	
3	11.6	630.0		Rap.		
4	11.8	599.5		7813		good
7 II 1	12.1	601.5				
2	12.4	600.5			3.0	
3	12.7	600.5				
8 I 2	March 24, 8.8	600.5	„	„		
4	9.1	600.5				good; after the end of the exposures clouds.
6	9.3	600.0				
8 II 1	9.6	600.0			3.5	
4	9.9	600.0				
5	10.1	600.0				
10 I 3	April 8, 11.5	455.0	„	„	3.4	After the end of the exposure clouds. Weak negative; moonlit background
11 I 3	April 12, 10.8	600.0	„	„	3.5	
II 3	„ 11.0	601.5			3.1	moonlit background (1 day after full moon); weak negatives
12 II 3	„ 11.4	600.0			3.3	
I 3	„ 11.6	600.5			3.5	
13 I 3	„ 11.9	600.5			3.4	
II 3	„ 12.4	599.5			3.1	
14 I 1	April 17, 11.6	599.5	„	„		
4	„ 11.8	600.5			3.5	
II 4	„ 12.1	600.0				strong atmospherical absorption; very weak negatives.
3	„ 12.3	599.5				
15 II 3	„ 12.7	600.5			3.5	
I 3	„ 12.9	600.0				
16 I 1	April, 23, 12.5	759.5	„	„	3.6	
4	12.8	759.5				

derivation of the relation between density and magnitude at the lowest values of the density; 2) weak negatives: 3 II; 5 I. II; 10, 11, 12, 13, 16; the density of the images upon these photographs being great enough to allow of a determination of the mean brightness of the comparison stars, but too low for the derivation of the individual values of the brightness of Neptune (probable error of one exposure $\pm$ 0.08 st. mg.); the

faintness of the images upon these negatives has two causes: for plates 3 and 5 — the relatively short exposure for the somewhat great distance from the focus; for plates 10, 11, 12, 13 — the intense moonlit background (near full moon); for pl. 16, as well as for 14 and 15, — an abnormally large atmospherical absorption, which reduced the photographic brightness by about 1 magnitude; 3) good negatives, of normal density; these are: pl. 6 I, II; 7 I, II; 8 I, II; their probable error of one determination of the brightness of Neptune did not surpass $\pm$ $0^{mg}03$, as will be shown later on; for the purpose of testing the variability of Neptune only these plates could be used; they contain 26 measured exposures of the planet (exposure 7 I 6 was rejected because of the superposition of the images of Neptune and the comparison-star B. D. $17^{0}2018$). A favourable circumstance is that all these exposures refer to 3 consecutive nights.

Table 2 contains the list of the comparison stars used together with their rectilinear coordinates x and y on the photographs in mm, the y-axis being taken towards the north pole, and the position of Neptune March 24 at transit at Greenwich (it nearly coïncides with the middle of the observations at Dorpat) being taken as the origin.

Table 2.

Comparison Star	B. D.	mg.	x mm	y mm
a	$16^{0}1901$	7.5	— 6.0	— 10.3
b	17 2007	7.5	— 6.0	+ 7.0
b'	17 2004	8.0	— 7.7	+ 10.8
c	17 2018	8.0	+ 1.7	+ 1.4
k	15 1981	8.1	— 4.1	— 19.2
g	17 2032	7.7	+ 15.3	— 0.9

The denotations of the comparison stars given in the first column of this table will be used further.

The stars *a* and *b* are contained in Harvard Annals vol. 71, 2, p. 35 (Standard Region C_5) and in the Göttingen Actinometrie, Teil B, p. 59, as well as in the Potsdam Durchmusterung, whence the following data are taken:

Star	Spectrum Harvard	Photogr. Magnitude Harvard	Photogr. Magnitude Göttingen Actinom.	Visual Magn. Harvard	Visual Magn. Potsdam
a	F_5	7.78	7.22	7.27	7.59
b	K	8.74	8.33	7.57	7.58

The difference in the photographic magnitude of these stars is: according to Harvard $b-a=0.96$ st. mg.
„ Göttingen Actinometrie $b-a=1.11$ „

A rough determination with the aid of the Petzval camera, based on an approximate value of Schwarzschild's exponent p, gave $b-a=1{,}2\pm0{,}1$ st. mg.; taking into account that the Harvard values are not direct determinations, but were derived from the visual magnitudes by applying mean colour-indices, and that the value of the Göttingen Actinometrie is much more near to our own estimate, we shall adopt further as the basis of our magnitude scale according to Schwarzschild:

$$b-a=+1{,}11 \text{ st. mg.}$$

The magnitude of the comparison stars on an absolute scale is of no importance in our present investigation; we shall assume $a=0.00$ and $b=+1.11$; the magnitudes of the remaining 4 comparison stars will be derived from the photographs by interpolation between b and a, and the magnitude of Neptune will be determined relatively to the mean magnitude of the bulk of the comparison stars, their greater number reducing the accidental error of one individual determination of the brightness and serving at the same time as a guarantee against occasional variability.

3. Measurement of the plates.

The density of the photographs was measured on a microphotometer of Hartmann, constructed by Mr. Messer at Dorpat (the prism of Lummer-Brodhun being from C. Zeiss); the area measured was a circle of a diameter corresponding to 0.113 mm on the plate. The circle was always placed on the centre of the extrafocal image, and the negative as well as the wedge were observed a little out of focus to make the grains of silver disappear; the degree of diffuseness thus produced was about 0.03 mm, so that no trouble could arise in measuring surfaces

of 0.3 mm diameter and more. A number of measures of the background near the stellar image was taken, chiefly in the two opposite sectors b_1 a_1 or a_2 b_2 (Fig. 1), the number of these measures being equal to the number of the measures of the central image; but whereas the latter measures referred always to the same point — the centre of the image C —, every measure of the background was made on a new point, the points being equally distributed between the two sectors, but within the limits of the latter chosen by chance. The distance of the points of the background from the edge of the central image C was about 0,15—0,20 mm.

The number of readings on the microphotomer was as a rule: for Neptune 4, for the comparison-stars 2; if the measures differed by more than 0,10—0,13 units of the scale (for normal exposures the unit was about 1 st. mg.), a double number of readings was taken; in computing the mean value the discordant measures were not rejected. For each pair of measures the two readings were obtained in moving the scale in two opposite directions.

The distance between the side-images b_1 b_2 and a_1 a_2 (fig. 1) was measured with the x-micrometer of the Repsold machine; to save time the micrometer-screw was used instead of the scale; errors from the inclination of the plate, affecting the scale of the image within the field of the microscope, proved to be negligeable for the distances measured (0.5—0.8 mm); the unit is one revolution of the micrometer-screw, practically equal to 1 mm. To obtain both distances (b_1 b_2 and a_1 a_2) with the same micrometer, the plate was placed consecutively into two positions, differing by 90^0. Only one measure of each diameter of a given image was taken, the accuracy of these measures surpassing the accuracy required for photometric purposes.

Table 3 gives a sample of the measures; the comparison stars are denoted by the letters given in the first column of table 2; Neptune is denoted by n; the guiding point is indicated by the number accompanying the letter of the star.

4. Effect of the varying distance from the focus.

As a measure of the distance from the focus we will take the mean of the measured distances a_1 a_2 and b_1 b_2, and call it

Table 3.
Negative 8, I.

Star and Image	Microphotometer Readings: Star	Mean	Background	Mean	Distances mm: b_1 b_2	a_1 a_2
n_2	4.59 4.58 4.58 4.58	4.58	3.72 3.74 3.68 3.72	3.72	0.574*)	0.585*)
n_4	4.63 4.52 4.59 4.60	4.59	3.73 3.66 3.70 3.77	3.72	.568*)	.579*)
n_6	4.68 4.62 4.70 4.63	4.66	3.76 3.65 3.73 3.74	3.72	.568*)	.574*)
Mean				3.72	0.577	
c_2	4.23 4.18	4.21	3.70 3.66	3.68	.565	.593
c_4	4.34 4.34	4.34	3.73 3.65	3.69	.575	.578
c_6	4.38 4.36	4.37	3.70 3.72	3.71	.572	.586
Mean				3.69	0.578	
b_2	4.36 4.25 4.22 4.29	4.28	3.78 3.74	3.76	.584	—**)
b_4	4.29 4.27	4.28	3.67 3.67	3.67	.572	.564
b_6	4.30 4.25	4.28	3.69 3.71	3.70	.588	.565
Mean				3.71	0.575	
b'_2	4.69 4.67	4.68	3.67 3.66	3.67	.577	.584
b'_4	4.83 4.80	4.82	3.73 3.70	3.72	.580	.581
b'_6	4.83 4.82	4.83	3.74 3.70	3.72	.571	.567
Mean				3.70	0.575	
a_2	5.54 5.51	5.53	3.54 3.66	3.60	.569	.558
a_4	5.54 5.56	5.55	3.59 3.57	3.58	.558	.559
a_6	5.65 5.65	5.65	3.73 3.65	3.69	.553	.553
Mean				3.62	0.559	
g_2	5.14 5.14	5.14	3.74 3.77	3.76	—	.582
g_4	5.17 5.23	5.20	3.74 3.77	3.76	—	.584
g_6	5.28 5.26	5.27	3.75 3.78	3.77	—	.587
Mean				3.76		0.584
k_2	4.64 4.66	4.65	3.60 3.66	3.63	.561	—
k_4	4.70 4.76	4.73	3.62 3.64	3.63	.562	—
k_6	4.76 4.76	4.76	3.69 3.67	3.68	.560	—
Mean				3.65	0.561	

*) Mean of two measures.
**) Images defective.

simply the diameter (d) of the image[1]); for an objective without spherical aberration the intensity of illumination of an extrafocal image varies as $\frac{1}{d^2}$; in the actual case many sources of error affecting the diameter or the intensity arise, but for small differences the following differential formula may be safely applied:

$$\triangle i = -\frac{2\triangle d}{d} = -\frac{2\triangle f}{f} \quad (1) \text{ or}$$

$$\triangle m = +\frac{2{,}1\triangle d}{d} = +\frac{2{,}1\triangle f}{f} \quad (2),$$

where $\triangle i$ and $\triangle m$ are the deviations of the brightness and stellar magnitude respectively, produced by a variation of the diameter or the focal distance equal to $\triangle d$ or $\triangle f$ respectively (f is the distance from the focus).

The Petzval objective was investigated according to the method of Hartmann by Mr. V. Berg, formerly assistant of the observatory; his unpublished results for the spherical aberration are contained in table 4; r denotes here the radius of the zone, $\triangle f$ — the deviation of the focus from the focus of the zone $r = 65$ mm (corresponding to our side-images b_1 b_2, a_1 a_2);

Table 4.

r mm	$\triangle f$ mm	r mm	$\triangle f$ mm
7	— 0.17	47	— 0.04
12	+ 0.06	52	— 0.06
17	+ 0.03	57	— 0.05
22	+ 0.05	60	— 0.01
27	+ 0.03	62	— 0.03
32	+ 0.03	67	+ 0.03
37	+ 0.01	72	+ 0.01
42	— 0.01	75	+ 0.03
45	— 0.01		

A positive deviation corresponds to a greater distance from the objective. As may be inferred from the table, the spherical aberration is small enough to allow of the application of the differential formulae (1) or (2), f being of the order of 3—5 mm.

The astigmatism of the objective is small too; according to the investigation of V. Berg, its dependence on the position-angle may be represented by a sinusoide with an amplitude of 0.02 mm.

---

[1]) Multiplying the diameter by 6,1 we obtain the true distance from the focus.

A supposed interaction (attraction or repulsion) of the photographic images must be too small to affect formulae (1) or (2); a photographic test made specially for this purpose indicated a repulsion of about 0.005 mm for a diameter 0.66 mm; for a diameter of 0,50 mm the effect must thus be smaller than 0,01 mm.

A more serious danger arose from the position of the diaphragm: this was placed 35 cm in front of the objective on the protecting-tube, the arrangement for attaching the diaphragm directly on the objective being not ready at the time of observation. The consequence was that the light from different comparison stars passing the side-holes did not meet exactly the same points on the objective; but 1) since the optical quality of the objective is uniform enough and 2) since the comparison stars preserved during the period of observation approximately the same position with respect to the centre of the field, i. e. Neptune, — the inconvenient position of the diaphragm caused but little trouble[1]); the only consequence was that for the more distant comparison stars g and k one diameter could not be measured, one of the corresponding side-holes falling partly without the objective; the diameter not measured was: for g — b_1 b_2, and for k — a_1 a_2 (compare table 3).

Systematical differences between the diameters b_1 b_2 and a_1 a_2 occurred; these differences as determined from plates 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, are given in table 5. The 3d line of this

Table 5.

Star	n	c	a	b	b'	Mean
Syst. Difference $b_1 b_2 - a_1 a_2$ mm	− 0.007	− 0.007	+ 0.003	+ 0.003	+ 0.008	0.000
P.E. of 1 Distance	± 0.0045	0.0051	0.0030	0.0075	0.0046	

table contains the probable error of 1 measure of a distance a_1 a_2 or b_1 b_2; the accuracy of the diameter depends upon the brightness: for the fainter stars less accurate measures were obtained. This probable error of one measure of the diameter

1) It may be easily conceived that for differential measures only the constancy, not the equality of the focus of the side-holes is required.

corresponds to the following probable error in the photometric magnitude, computed for $d = 0.5$ mm and 0.8 mm respectively:

Table 6.

P. E. of 1 Diameter. St. mg.	n	c	a	b	b'	g, k	Average
($d = 0.500$ mm)	± 0.018	0.020	0.012	0.030	0.019	(0.020)	± 0.020
($d = 0.800$ mm)	± 0.012	0.013	0.008	0.019	0.012	(0.013)	

For a group of neighbouring images of the same star the average diameter was computed; since one image gives usually 2 measures (a_1 a_2 and b_1 b_2), the accuracy of the average diameter of a group containing 3—6 images is great in comparison with the photometric estimations. In cases when only one distance of a certain image was measured[1]), a correction equal to one half of the systematical difference given in table 5 was applied; for the stars g and k the measures of the single distance were adopted without any systematical correction. In this way the mean diameters of tables 3 and 7 were computed.

5. Influence of the background.

The microphotometer readings can be used for interpolation of the brightness in the following three ways: 1) using the density of the stellar image directly, without taking into consideration the background; 2) taking the difference of density between the stellar image and the background immediately surrounding, or the so-called individual background; 3) taking the difference of density between the stellar image and the average background surrounding the entire group of neighbouring images.

The choice between these alternatives could be made only on the basis of the observational data.

For the 3 best negatives (№ 6, 7 and 8) the magnitudes of the stars b', c, g and k were provisionally determined by a linear interpolation of the microphotometer readings, the stars a and b being taken as the basis.

1) The other distance being rejected because of the defectiveness of the images.

The correction for diameter according to formula (2) was applied; the single measures were combined in groups according to the two positions on the plate, and the 6 groups (6 I. II; 7 I. II; 8 I. II) for each of the 4 stars gave together 24 magnitude-determinations, whence the following values of the probable error of one group (containing on the average 4 images[1])) were found:

Using the directly measured density .... p. e. $= \pm 0{,}045$ st. mg.

„ „ difference of density between image and average background .. p. e. $= \pm 0{,}031$ st. mg.

The advantage of taking into account the background is obvious. The relative magnitudes of the comparison stars found thus as a first approximation were:

Star	*a*	*b*	*b'*	*c*	*g*	*k*
Magnitude	0.00	1.11	0.70	1.16	0.38	0.75.

These magnitudes may be compared with the definitive magnitudes given later on.

The following question must be answered next: in taking the difference of photographic density, which background is to be preferred — the individual or the average one? To answer this question, the differences $\triangle$ and $\triangle_0$ were formed for 60 groups of the 7 stars (including Neptune) with the number of images $\geqslant 3$ on the negatives 3 II, 5 I. II, 6 I. II, 7 I. II, 8 I. II, $\triangle$ denoting the difference between the stellar image and the individual background, $\triangle_0$ — the difference with respect to the average background.

The differences between the extreme values within each group were tabulated; the following result was obtained:

Mean square of the difference of the extreme values

of $\triangle$ . . . $\pm 0{,}115$
of $\triangle_0$ . . . ± 0.097 } Units of the microphotometer scale.

These data are decidedly in favour of the average background. Thus further we shall use only the differences $\triangle_0$ as argument of interpolation.

6. Result of the measurement of the plates.

Table 7 contains the result of all measures of the plates. The first column contains the denotation of the star and of the

1) Only exposures near 600^s were used.

Table 7.

Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$	Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$	Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$
			Negative 3, II								
n_1	0.28		0.	c_1	0.16		−0.002	b_1	0.23		+0.051
n_2	0.25		"	c_2	0.13		"	b_2	0.21		"
n_3	0.31		"	c_3	—			b_3	0.15		.050
n_4	0.19	0.801 (9)	"	c_4	0.21	—	−0.001	b_4	0.16	—	.051
n_5	0.25		"	c_5	0.17		"	b_5	0.13		"
n_6	0.19		"	c_6	—			b_6	0.20		"
n_7	0.18	—	0.	c_7	0.16		−0.002	b_7	—	—	
b_1'	0.43		+0.048	a_1	0.87		0.000	g_1	0.58		−0.015
b_2'	0.38		"	a_2	0.98		"	g_2	0.61		−0.013
b_3'	0.36		"	a_3	0.95		−0.001	g_3	0.64		−0.013
b_4'	0.35	0.821 (7)	"	a_4	1.00	0.797 (9)	−0.002	g_4	0.70	0.797 (3)	−0.012
b_5'	0.32		"	a_5	0.99		−0.003	g_5	0.63		−0.011
b_6'	0.28		"	a_6	0.83		"	g_6	0.55		−0.010
b_7'	0.25		+0.049	a_7	0.71	0,546	0.000	g_7	0.39	—	−0.016
k_1	0.39	0.782	−0.035	k_3	0.37	0.782	−0.038	k_5	—	0.782	
k_2	0.26	(4)	−0.036	k_4	0.37		"	k_6	0.31		−0.039
								k_7	—		
			Negative 5, I								
n_1	0.26		0.	c_1	0.09		+0.028	b_1	0.15		+0.034
n_2	0.22		"	c_2	0.07		"	b_2	0.13		"
n_3	0.34	0.830	"	c_3	0.11	0.841	"	b_3	0.18		"
n_4	0.28	(7)	"	c_4	0.16	(1)	"	b_4	0.15	0.845 (1)	"
n_5	0.18		"	c_5	0.13		"	b_5	0.15		"
n_6	0.17		0.	c_6	0.10		+0.027	b_6	0.14		+0.035
b_1'	0.27		+0,012	a_1	0.75		+0.001	g_1	0.46		−0.027
b_2'	0.27		.012	a_2	0.65		"	g_2	0.39		.028
b_3'	0.36		.013	a_3	0.91		"	g_3	0·59		.029
b_4'	0.32	0.838 (8)	.014	a_4	0.74	0.827 (9)	"	g_4	0.52	0.819 (4)	.030
b_5'	0.27		.014	a_5	0.83		"	g_5	0.53		.031
b_6'	0.27		+0.015	a_6	0.80		+0.002	g_6	0.52		−0.032
k_1	0.29	0.830	+0.015	k_3	—	0.830	+0.015	k_5	0.31	0.830	+0.015
k_2	—	(5)	"	k_4	0.33		"	k_6	0.27		"
			Negative 5, II								
n_1	0.31		0.	c_1	0.19		−0.002	b_1	0.16		+0.002
n_2	0.30		"	c_2	0.17		−0.002	b_2	0.26		"
n_3	0.26	0.808	"	c_3	0.14	0.808	−0.003	b_3	0.23	0.811 (7)	+0.003
n_4	0.26	(8)	"	c_4	—	(4)	"	b_4	0.25		"
n_5	0.31		"	c_5	0.15		−0.004	b_5	0.12		+0.002
n_6	0.34		"	c_6	0.14		−0.005	b_6	0.13		"

Table 7. Continued.

Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$	Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$	Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$
			Negative 5, II								
b_1'	0.37		+0.003	a_1	1.00		−0.024	g_1	0.59		−0.041
b_2'	0.34		+0.004	a_2	0.96		„	g_2	0.56		−0.042
b_3'	0.42	0.812	„	a_3	0.91	0.795	−0.023	g_3	0.62	0.794	−0.044
b_4'	0.32	(8)	„	a_4	0.95	(12)	−0.022	g_4	0.57	(6)	−0.045
b_5'	0.31		+0.003	a_5	0.90		−0.021	g_5	0.63		−0.045
b_6'	0.35		+0 002	a_6	0.91		−0.019	g_6	0.58		−0.047
k_1	0.31	0.795	−0.016	k_3	0.35	0.795	−0.016	k_5	0.41	0.795	−0.013
k_2	0.37	(6)	„	k_4	0.39		−0.014	k_6	0.34		−0.010
			Negative 6, I								
n_1	0.74		0.	c_1	0.40		+0.003	b_1	0.56		+0.006
n_2	0.73		„	c_2	0.45		„	b_2	0.61		„
n_3	0.74		„	c_3	0·49		„	b_3	0.57		„
n_4	0.81	0.554	„	c_4	0.46	0.555	„	b_4	0.55	0.557	„
n_5	1.36	(12)	„	c_5	0.89	(12)	„	b_5	1.03	(10)	„
n_6	0.79		„	c_6	0.46		+0.002	b_6	—		
b_1'	0.90		−0.022	a_1	1.70		−0.027	g_1	1.20		−0.009
b_2'	0.90		−0.021	a_2	1.76		„	g_2	1.37		−0.011
b_3'	0.94		−0.021	a_3	1.72		„	g_3	1.23		−0.012
b_4'	1.01	0.551	−0.020	a_4	1.75	0.545	„	g_4	1.29	0.551	−0.012
b_5'	1.51	(12)	−0.020	a_5	2.14	(12)	„	g_5	1.75	(6)	−0.013
b_6'	1.01		−0.019	a_6	1.70		−0.026	g_6	1.30		−0.014
k_1	0.83	0.554	+0.015	k_3	0.93	0.554	+0.015	k_5	1.47	0.554	+0.015
k_2	—	(5)	„	k_4	0.91		„	k_6	0.91		„
			Negative 6, II								
n_1	1.06		0.	c_1	0.63		−0.019	b_1	0.67		+0.024
n_2	0.78		„	c_2	0.46		„	b_2	0.45		+0.023
n_3	1.00	0.523	„	c_3	0.63	0.519	„	b_3	0.66	0.530	„
n_4	1.01	(12)	„	c_4	0.61	(12)	−0.020	b_4	0.67	(11)	+0.024
n_5	0.93		„	c_5	0.59		−0.021	b_5	0.66		+0.023
n_6	0.92		„	c_6	0.51		„	b_6	0.64		+0.022
b_1'	1.12		+0.017	a_1	1.96		−0.058	g_1	1.55		−0.068
b_2'	0.75		+0.018	a_2	1.65		„	g_2	1.19		−0.069
b_3'	1.10	0 529	„	a_3	1.96	0.509	„	g_3	1.57	0.510	−0.070
b_4'	1.17	(12)	„	a_4	1.99	(11)	−0.056	g_4	1.56	(6)	−0.072
b_5'	1.10		+0.017	a_5	1.87		−0.054	g_5	1.48		−0.073
b_6'	1.11		+0.016	a_6	1.94		−0.053	g_6	1.49		−0.073
k_1	1.12	0.507	−0.059	k_3	1.21	0.507	−0.058	k_5	1.19	0.507	−0.054
k_2	0.89	(3)	−0.058	k_4	1.12		−0.056	k_6	1.11		−0.052

Table 7. Continued.

Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$	Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$	Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$
					Negative 7, I						
n_1	0.68		0.	c_1	—			b_1	0.47		−0.021
n_2	0.80		"	c_2	0.48		−0.001	b_2	0.54		"
n_3	0.84	0.559	"	c_3	0.46	0.559	−0.003	b_3	0.56	0.555	"
n_4	0.77	(12)	"	c_4	—	(11)		b_4	0.49	(12)	−0.022
n_5	0.71		"	c_5	0.44		−0.002	b_5	0.50		"
n_6	—			c_6	0.42		−0.003	b_6	0.49		−0.021
b_1'	0.90		−0.040	a_1	1.49		+0.008	g_1	1.10		−0.017
b_2'	0.91		"	a_2	1.69		"	g_2	1.19		−0.018
b_3'	0.91	0.551	−0.038	a_3	1.59	0.559	+0.013	g_3	1.24	0.554	−0.027
b_4'	0.84	(12)	−0.039	a_4	1.55	(12)	+0.015	g_4	1.16	(6)	−0.027
b_5'	0.91		−0.038	a_5	1.59		+0.011	g_5	1.20		−0.025
b_6'	0.93		"	a_6	1.59		+0.013	g_6	1.23		−0.026
k_1	0.81	0.576	+0.080	k_3	0.83	0.576	+0.087	k_5	0.80	0.576	+0.085
k_2	0.93	(5)	+0.080	k_4	0.82		+0.089	k_6	0.75		+0.087
					Negative 7, II						
n_1	1.02		0.	c_1	0.67		+0.004	b_1	0.66		+0.030
n_2	0.95	0.491	"	c_2	0.59	0.493	"	b_2	0.67	0.499	+0.029
n_3	0.92	(6)	"	c_3	0.55	(6)	+0.003	b_3	0.59	(6)	"
b_1'	—			a_1	1.79		+0.003	g_1	1.55		−0.081
b_2'	1.08	0.492	−0.003	a_2	1.71	0.488	+0.004	g_2	1.54	0.475	−0.083
b_3'	1.05	(6)	−0.005	a_3	1.79	(6)	+0.008	g_3	1.53	(3)	−0.085
k_1	1.01	0.497 (3)	+0.053	k_2	1.06	0.497	+0.056	k_3	0.99	0.497	+0.060
					Negative 8, I						
n_2	0.86		0.	c_2	0.52		+0.003	b_2	0.57		−0.013
n_4	0.87	0.577	"	c_4	0.65	0.578	"	b_4	0.57	0.575	"
n_6	0.94	(6)	"	c_6	0.68	(6)	"	b_6	0.57	(5)	"
b_2'	0.98		−0.016	a_2	1.91		−0.060	g_2	1.38		+0.028
b_4'	1.12	0.575	"	a_4	1.93	0.559	"	g_4	1.44	0.584	"
b_6'	1.13	(6)	"	a_6	2.03	(6)	"	g_6	1.51	(3)	"
k_2	1.00	0.561 (3)	−0.047	k_4	1.08	0.561	−0.047	k_6	1.11	0.561	−0.047
					Negative 8, II						
n_1	1.04		0.	c_1	0.66		+0.014	b_1	0.67		+0.009
n_4	1.07	0.569	"	c_4	0.60	0.573	+0.015	b_4	0.72	0.573	"
n_5	1.01	(6)	"	c_5	0.62	(6)	+0.014	b_6	0.69	(5)	+0.010

Table 7. Continued.

Star, Image	Δ_0	d	Δm	Star, Image	Δ_0	d	Δm	Star, Image	Δ_0	d	Δm
					Negative 8, II						
b_1'	1.17	0.577 (6)	+0.022	a_1	2.15	0.555 (6)	—0.044	g_1	1.55	0.563 (3)	—0.024
b_4'	1.18		"	a_4	2.02		—0.044	g_4	1.50		"
b_5'	1.14		+0.023	a_5	2.00		—0.043	g_5	1.50		—0.025
k_1	1.17	0.554 (3)	—0.042	k_4	1.12	0.554	—0.042	k_5	1.16	0.554	—0.042
	Negative 10				Negative 11, I				Negative 11, II		
n	0.46	0.567 (2)	0.	n	0.45	0.578 (2)	0.	n	0.66	0.513 (2)	0.
c	0.32	0.554 (2)	—0.052	c	0.29	0.565 (2)	—0.052	c	0.49	0.509 (2)	—0.019
b	0.34	0.564 (2)	—0.016	b	0.34	0.584 (2)	+0.018	b	0.49	0.524 (2)	+0.041
b'	0.66	0.557 (2)	—0.045	b'	0.47	0.573 (2)	—0.027	b'	0.77	0.506 (2)	—0.037
a	1.00	0.548 (2)	—0.059	a	1.08	0.572 (2)	—0.012	a	1.28	0.505 (2)	—0.024
g	0.77	0.577 (1)	+0.030	g	0.72	0.582 (1)	+0.011	g	1.04	0.516 (1)	+0.008
k	0.56	0.561 (1)	—0.002	k	0.55	0.578 (1)	+0.018	k	0.70	0.524 (1)	+0.066
	Negative 12, I				Negative 12, II				Negative 13, I		
n	0.52	0.565 (2)	0.	n	0.58	0.551 (2)	0.	n	0.58	0.557 (2)	0.
c	0.34	0.572 (2)	+0.023	c	0.35	0.535 (2)	—0.067	c	0.35	0.566 (2)	+0.032
b	0.37	0.567 (2)	+0.001	b	0.38	0.544 (2)	—0.033	b	0.34	0.567 (2)	+0.033
b'	0.57	0.566 (2)	—0.006	b'	0.57	0.544 (2)	—0.035	b'	0.52	0.556 (2)	—0.012
a	1.04	0.562 (2)	+0.003	a	1.12	0.527 (2)	—0.083	a	1.17	0.553 (2)	0.000
g	0.78	0.576 (1)	+0.035	g	0.89	0.534 (1)	—0.074	g	0.84	0.554 (1)	—0.020
k	0.50	0.584 (1)	+0.097	k	0.54	0.534 (1)	—0.047	k	0.66	0.589 (1)	+0.148
	Negative 13, II								Negative 14, I		
n	0.60	0.520 (2)	0.	n_1	0.15	—	0.	b_4'	0.22	—	—0.017
c	0.37	0.507 (2)	—0.060	n_4	0.18			a_1	0.53	0.568 (3)	—0.012
b	0.41	0.517 (2)	—0.020	c_1	0.07	—	(-0.010)	a_4	0.46		—0.010
b'	0.54	0.519 (2)	—0.013	c_4	0.06			g_1	0.40	0.562 (1)	—0.038
a	1.18	0.508 (2)	—0.031	b_1	0.13	—	(0.000)	g_4	0.40		—0.040
g	0.88	0.500 (1)	—0.094	b_4	0.17			k_1	0.17	—	(+0.036)
k	0.68	0.518 (1)	+0.021	b_1'	0.22	—	(-0.017)	k_4	0.20		
	Negative 14, II				Negative 16.						
n_3	0.24	0.540 (4)	0.	n_1	0.21	0.605 (2)	0.				
n_4	0.22		0.	n_4	0.29		0.				
c_3	—			c_1	0.13	—	(-0.010)				
c_4	—			c_4	0.13		(-0.013)				
b_3	0.12	—	(0.000)	b_1	0.21	—	(-0.014)				
b_4	0.14			b_4	0.17		(-0.015)				
b_3'	0.26	0.552 (2)	+0.033	b_1'	0.34	0.591 (4)	—0.071				
b_4'	0.23			b_4'	0.32		—0.073				

NB. The values of the correction Δm given in parantheses are found on the assumption of a zero correction for the distance from the focus, the diameter in these cases being not measu-

Table 7. Continued.

Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$	Star, Image	$\triangle_0$	d	$\triangle m$
Negative 14, II				Negative 16.			
a_3	0.63	0.524	−0.031	a_1	0.74	0.590	−0.017
a_4	0.69	(4)		a_4	0.82	(4)	−0.011
g_3	0.48	0.536	−0.036	g_1	0.51	0.578	−0.122
g_4	0.45	(2)		g_4	0.57	(2)	−0.127
k_3	0.33	—	(+0.045)	k_1	0.31	—	+0.059
k_4	0.30			k_4	0.29		+0.068

exposure; the second column gives the difference $\triangle_0$ of the microphotometer readings between the image of the star and the average background of the corresponding group of images; the third column contains the mean value of the diameter, the number of measured distances being given in parentheses; the fourth column ($\triangle m$) contains the deviation of the brightness from a normal value, expressed in stellar magnitudes; this quantity will be explained later on. For several images the density or the diameter was not measured either because of some defects of the images (superposition etc.) or their extreme faintness (as for Neg. 14, where many diameters were not measured because the side-images were not seen).

The value of $\triangle m$ was obtained in the following way. Let us call the normal intensity of the image of a certain star its intensity when at the same zenithal distance and distance from the focus as Neptune; then $\triangle m$ represents the deviation from this normal value, the effect of the distance from the focus being given by (2), and the differential absorption being given by

$$\triangle m' = \gamma (\mathrm{Sec}\, Z_s - \mathrm{Sec}\, Z_n) \quad . \quad . \quad . \quad (3),$$

Z_s and Z_n denoting the zenith distances of the star and Neptune, and γ being the photographic coefficient of absorption expressed in stellar magnitudes. For the days of normal transparency (all days except April 17 and 23) γ was assumed equal to $0^{mg}48$, which is the value found by the writer for Moscow in 1914[1]); for the abnormal days of April 17 and 23 (Plates 14 and 16) a double value of γ was assumed, which does not seem to be exaggerated, since the actinic effect was on these days reduced

red; the probable error of such a value of $\triangle m$ is about ± 0.03 st. mg.

1) Astr. Nachr. 5162 p. 19; $\gamma = -2{,}5 \log a = +0{,}48$.

by about 1 st. magnitude. Besides, the accurate value of the coefficient of absorption is of no importance, the reductions being small (only for two stars they were greater than $0^{mg}01$), and the stars being placed symmetrically enough around Neptune.

The $\triangle m$ of table 7 represent deviations; the correction of a magnitude measured on the plate will be then equal to $-\triangle m$.

7. The formula of interpolation and the plate constants.

The differential brightness of Neptune is to be found with the aid of interpolation between stars with a given magnitude interval. We may write generally

$$m_1 - m_2 = f(\triangle_1, \triangle_2) \ldots \quad (4),$$

where m_1 and m_2 are the stellar magnitudes, $\triangle_1$ and $\triangle_2$ — the measured densities of the two stars.

The function (4) will be generally represented by a curve, the density-function of the photometric wedge and of the measured plate being not identical. The form of the curve must be found empirically. As a good first approximation for normal exposures a linear interpolation can be used; and if all our negatives were of uniform density, the form of the interpolation curve would be of no importance for differential observations, the curvature affecting equally all measures. But in our case plates of a different quality were obtained; and it was estimated that a simple linear interpolation would lead to a systematical error of about 0.1 stellar magnitudes for the faintest images of Neptune; thus the curvature of the density-function of the plates could not be neglected. The form of the function $f(\triangle_1, \triangle_2)$ was found in the following way. The exposures were grouped according to the density of the images and mean values of $\triangle_0$ for each star were found; the result is given in table 8; N denotes the number of exposures.

The mean $\triangle_0$ were plotted as ordinates with the provisional magnitudes as abscissae (no corrections for varying diameter and absorption were applied); thus seven curves representing the preliminary form of the function $f(\triangle_0)$ for different values of $\triangle_0$ were found; for a given $\triangle_0$ these curves are shifted along the x-axis by a certain amount which can be expressed in stellar magnitudes; the shifts were read from the

Table 8.

Group	Exposures used	N	Mean $\triangle_0$					
			c	*b*	*k*	*b'*	*g*	*a*
A	14 I.II; 15 I_2	5	0.07	0.14	0.25	0.24	0.43	0.65
B	16 I; 5 $I_{1.4-6}$	6	0.12	0.16	0.30	0.30	0.52	0.78
C	5 II; 5 I_3	7	0.15	0.19	0.36	0.35	0.59	0.94
D	10; 11; 12; 13	7	0.36	0.38	0.60	0.58	0.85	1.13
E	7 $I_{1.4-6}$	4	0.43	0.49	0.80	0.90	1.17	1.56
F	6 $I_{1-4.7}II_{1-3}$	7	0.54	0.61	0.96	1.01	1.42	1.75
G	6 $II_{1-3.6}$ 8 I.II	11	0.61	0.65	1.19	1.12	1.51	1.98
Provisional Magnitudes			1.16	1.11	0.75	0.70	0.38	0.00

curves for the points corresponding to the star *a* (these points being more trustworthy as having the greatest $\triangle_0$), and were found as follows:

Groups	*A*—*B*	*B*—*C*	*C*—*D*	*D*—*E*	*E*—*F*	*F*—*G*
Shift (Stellar Magn.)	+0.16	+0.15	+0.25	+0.42	+.0.19	+0.18.

Interpreting the shifts as variations in the intensity of illumination (which is a pure formal interpretation), we can express the brightness, or rather the photographic effect of each star on each plate in a uniform system of magnitudes — say, in the system of group *A*; the result is given in table 9 for the stars *a* and *b*; the remaining stars cannot be used, for their provisional magnitudes were found on the assumption of a certain form of the curve of interpolation for a part of the plates (represented by groups *E*, *F* and *G*).

Table 9.

Group	Star *a*		Star *b*	
	Photogr. Effect St. magn. (*m*)	$\triangle_0$	Photogr. Effect St. magn. (*m*)	$\triangle_0$
A	0.00	0.65	+1.11	0.14
B	−0.16	0.78	+0.95	0.16
C	−0.31	0.94	+0.80	0.19
D	−0.56	1.13	+0.55	0.38
E	−0.98	1.56	+0.13	0.49
F	−1.17	1.75	−0.06	0.61
G	−1.35	1.98	−0.24	0.65

The form of the relation between m and $\triangle_0$ representing satisfactorily the values of table 9 is to be found. A parabolic function $m = a + b\triangle_0 + c\triangle_0^2$ and the formula $m = a + b \log (i + i_0)$[1]) (i denotes the brightness, $m = -2{,}5 \log i$), proved to be unsatisfactory. The best result gave a hyperbola

$$m = a + b\triangle_0 + \frac{c}{\triangle_0} \quad (5)$$

with the constants $a = +0.422$; $b = -0{,}923$; $c = +0{,}094$. This formula was assumed in the reductions with a slight alteration to account for the different magnitude-density gradient of the different plates. Thus the final form of the interpolation formula used was:

$$m_1 - m_2 = K\left[0{,}923\,(\triangle_2 - \triangle_1) + 0{,}094\left(\frac{1}{\triangle_1} - \frac{1}{\triangle_2}\right)\right] =$$
$$= K[F(\triangle_1) - F(\triangle_2)] \quad . \quad . \quad . \quad (6).$$

$\triangle_1$ and $\triangle_2$ are the values of $\triangle_0$ for two stars, whose magnitude difference $m_1 - m_2$ is to be determined. To facilitate the computation, a table of the function $F(\triangle_0) = -0{,}923\,\triangle_0 + \frac{0{,}094}{\triangle_0}$ was constructed, an abbreviated sample of which is given in table 10.

Table 10.

$\triangle_0$	$F(\triangle_0)$	$\triangle_0$	$F(\triangle_0)$
0.10	+0.848	1.0	−0.829
0.12	.672	1.1	0.930
0.14	.549	1.2	1.030
0.16	.442	1.3	1.128
0.18	.359	1.4	1.225
0.20	.285	1.5	1.322
0.25	.145	1.6	1.418
0.30	+0.036	1.7	1.514
0.40	−0.134	1.8	1.609
0.50	.274	1.9	1.705
0.60	.397	2.0	1.799
0.70	.512	2.1	1.893
0.80	.620	2.2	−1.988
0.90	−0.727		

As to the factor K, this was determined separately for each plate from the average values of $\triangle_0$ for the stars a and b, assuming the magnitude difference of these stars equal to $m_b - m_a = 1.11 + \overline{\triangle m_b} - \overline{\triangle m_a}$, $\overline{\triangle m_b}$ and $\overline{\triangle m_a}$ denoting the average deviations due to inequality of diameter and absorption; these quantities, as well as the values of $\triangle_0$ were taken from table 7. Table 11 contains the result.

1) This formula is based on the assumption of an additive effect of the brightness of the background i_0 and the brightness of the star i.

Table 11.

Negative, Exposures used	$m_b - m_a$	$\overline{\triangle b}$	$\overline{\triangle a}$	K	Average $K \pm$ p. e.	D_0 (Zero Point)
3 II_{1-6}	1.162	0.180	0.937	1.034	1.034±0.040	0.936
5 I_{1-6}	1.143	0.150	0.780	1.053	1.050±0.031	0.781
5 II_{1-6}	1.134	0.192	0.938	1.049		0.916
6 I_{1-4}.6 II_2	1.152	0·548	1.716	0.962	0.957±0.022	1.683
6 I_5.6 $II_{1.3-6}$	1.182	0.722	1.977	0.952		1.914
7 I_{1-6}	1.077	0.508	1.583	0.961	0.982± 0.022	1.583
7 II_{1-3}	1.134	0.640	1.763	1.003		1.780
8 I	1.097	0.570	1.957	0.785	0.798±0.018	1.955
8 II	1.095	0.693	2.057	0.812		2.081
10	1.153	0.340	1.000	1.447	1.447±0.080	0.960
11 I, II	1.158	0.415	1.180	1.260	1.295±0.038	1.126
12 I, II	1.134	0.375	1.080	1.385		
13 I, II	1.132	0.375	1.175	1.239		
16	1.110	0.190	0.780	1.207	1.207±0.069	0.769

The last column gives the zero point for the negatives (or groups of negatives), i. e. the value of the density $\triangle_0 = D_0$ for which the magnitude would be equal to the normal[1]) magnitude of the star a, assumed as zero. The probable error of the value of K was computed à priori from the probable error of the measured difference of magnitudes m_b—m_a; the method of determining the probable error will be discussed later on.

8. Magnitudes of the comparison stars.

For the same grouping of the exposures the definitive magnitudes of the comparison stars were determined. If the average value of $\triangle_0$ for a certain star is $\overline{\triangle_s}$, and if $\overline{\triangle m_s}$ represents the average deviation from the normal value, then the normal magnitude of the star will be given by equation (6) as

$$m_s = K[F(\overline{\triangle_s}) - F(D_0)] - \overline{\triangle m_s} \quad \ldots \quad (7),$$

K and D_0 being taken from the 6th and 7th columns of table 11 respectively. In this way table 12 was obtained. The weight was chosen somewhat arbitrarily, taking into account chiefly the number of independent photographs groups) and in a

1) Corrected for the effect of diameter and absorption.

Table 12.
Magnitudes of Comparison Stars.

Negative, Exposures used	Star b' $\overline{\triangle_0}$	Star b' $-\overline{\triangle m}$	Star b' m	Star b' Weight	Star c $\overline{\triangle_0}$	Star c $-\overline{\triangle m}$	Star c m	Star c Weight
3 II_{1-6}	0.353	—0.048	0.686	1	0.168	+0.002	1.211	1
5 I_{1-6}	0.293	—0.013	0.669	1	0.110	—0.028	1.399	1
5 II_{1-6}	0.352	—0.003	0.723	1	0.158	+0.003	1.257	1
6 I_{1-4}. II_2	0.900	+0.013	0.751	2	0.452	+0.001	1.236	4
6 $II_{1,3-6}$. I_5	1.185	—0.013	0.665	2	0.643	+0.016	1.237	4
7 I_{1-6}	0.900	+0.039	0.703	2	0.450	+0.002	1.178	4
7 II_{1-3}	1.065	+0.004	0.686	2	0.603	0.000	1.168	4
8 I_{1-3}	1.077	+0.016	0.694	2	0.617	—0.003	1.066	4
8 II_{1-3}	1.163	—0.022	0.682	2	0.627	—0.014	1.140	4
10	0.660	+0.045	0.511	1	0.320	+0.052	1.195	1
11. 12. 13	0.567	+0.022	0.803	2	0.365	+0.024	1.165	2
16	0.330	+0.072	0.762	1	0.130	+0.012	1.457	1
Weighted Mean (All)			0.696				1.192	
P. Error			± 0.012				± 0.011	
Mean of Plates 6, 7, 8.			0.697				1.171	
P. E.			± 0.008				± 0.017	

Negative, Exposures used	Star g $\overline{\triangle_0}$	Star g $-\overline{\triangle m}$	Star g m	Star g Weight	Star k $\overline{\triangle_0}$	Star k $-\overline{\triangle m}$	Star k m	Star k Weight
3 II_{1-6}	0.618	+0.012	0.370	2	0.340	+0.037	0.794	1
5 I_{1-6}	0.502	+0.030	0.368	2	0.300	—0.015	0.652	1
5 II_{1-6}	0.592	+0.044	0.415	2	0.362	+0.014	0.722	1
6 I_{1-4}. II_2	1.256	+0.022	0.417	2	0.865	+0.003	0.776	2
6 $II_{1,3-6}$. I_5	1.567	+0.061	0.384	2	1.203	+0.044	0.704	2
7 I_{1-6}	1.187	+0.023	0.401	2	0.823	—0.085	0.660	2
7 II_{1-3}	1.540	+0.083	0.307	2	1.020	—0.056	0.672	2
8 I_{1-3}	1.443	—0.028	0.362	2	1.063	+0.047	0.736	2
8 II_{1-3}	1.517	+0.024	0.453	2	1.150	+0.042	0.756	2
10	0.770	—0.030	0.259	1	0.560	+0.002	0.639	1
11. 12. 13	0.858	+0.022	0.377	2	0.605	—0.044	0.672	2
16	0.540	+0.125	0.444	1	0.300	—0.064	0.688	1
Weighted Mean (All)			0.382				0.704	
P. Error			± 0.009				± 0.009	
Mean of Plates 6, 7, 8.			0.387				0.717	
P. E.			± 0.014				± 0.011	

smaller degree — the number of exposures and accuracy of measurement within each group; the latter depends in a high degree

upon the value of $\triangle_0$, as may be inferred from formula (6) or table 10; thus the measures for *c*, the faintest comparison star, are of a very low degree of accuracy for the negatives 3, 5 and 16; for the brighter stars, e. g. for *g*, the accuracy is greater and more uniform.

The weighted mean magnitudes, computed from all plates and given at the foot of table 12, were adopted finally; they differ little from the provisional magnitudes of the comparison stars, adopted in section 5. For comparison the average for the six best negatives (6 I.II; 7 I.II; 8 I.II) is given in the same table; no systematic difference between both systems of magnitudes can be perceived; this indicates that the formula of interpolation adopted well fits its purpose for a rather wide range of the photographic density difference $\triangle_0$.

9. Probable Errors.

It seemed advisable to estimate the size of the probable error to be expected from various sources; since the method of reduction does not depend upon the accuracy of this estimate, we shall only briefly state the result. Table 13 gives a summary of the various probable errors.

Table 13. Probable Errors.

1) Microphotometer Readings. In Units of the Wedge.

P. E. of one measure of density of a stellar image	± 0.031 [1]
„ „ „ „ „ of the background	± 0.033
„ of the value of $\triangle_0$ for a single exposure of Neptune (4 measures of one image), if the number of exposures of a group is equal to 1 . . .	± 0.020
2 . . .	± 0.016
3 . . .	± 0.015
6 . . .	± 0.013
„ of $\triangle_0$ for a single exposure of the comp. stars (2 measures), if the number of exposures is 1 . . .	± 0.027
2 . . .	± 0.022
3 . . .	± 0.020
6 . . .	± 0.018

1) Somewhat overestimated, since the systematic difference between the two readings was not taken into account.

Table 13. Continued.

2) Probable error of the sensitiveness of the plate. Stellar magnitudes [1])		±0.024
3) Probable error of the deviation $\triangle m$, depending upon 1 distance	(Average for all stars; for individual values see table 6) ($d = 0.5$ mm)	±0.020
2 distances		±0.014
4 „		±0.010
12 „		±0.006
4) Probable error of the magnitude of Neptune, arising from the error in the constant K (scale-error); stellar magnitudes [2]):		
Plate 3; 10		±0.013
5		±0.009
6; 7; 8		±0.004
11; 12; 13		±0.006
16		±0.018

All these errors are expressed in stellar magnitudes except those of the photometric measures; to convert the units of the wedge into stellar magnitudes, we shall differentiate formula (6); we obtain

$$\delta m = K\delta \triangle_0 \left[0{,}923 + \frac{0{,}094}{\triangle_0^2}\right] \ldots (8);$$

table 14 contains the values $\frac{\delta m}{K\delta\triangle_0}$, with the aid of which and of the given values of K it is easy to find the equivalent of the photometric errors expressed in stellar magnitudes.

Table 14.

$\triangle_0 =$	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.60	0.80	1.00	2.00
$\frac{\delta m}{K\delta\triangle_0} =$	10,3	5,0	3,2	2,0	1,5	1,2	1,1	1,0	0,95.

The rapid increase of the uncertainty of the measures with decreasing $\triangle_0$ is clearly shown by the table.

1) A systematic influence upon the whole group of neighbouring images is included.

2) Were the average magnitude of the comparison stars equal to the magnitude of Neptune, this error would be zero. For different plates the actually adopted values differ, because the fainter comparison stars received on the different plates not equal weight.

With the aid of the tables 13 and 14 the probable error of a magnitude determination can be computed à priori; as will be shown later on, for Neptune the result is not far from the directly determined probable error.

10. Derivation of the photographic brightness of Neptune and discussion of the results.

Let $\triangle_n$ and $\triangle_s$ denote the values of the differential density $\triangle_0$ for Neptune and for a comparison star ($s = a; b; b'; c; g; k$), m_s the normal magnitude [1]), $\triangle m_s$ the deviation of the magnitude of the star and p_s the weight of one magnitude determination of the star; $\triangle_n$, $\triangle_s$ and $\triangle m_s$ must refer to the same exposure; then the magnitude of Neptune will be determined by the following expression:

$$m_n = K\left[F(\triangle_n) - \overline{F(\triangle_s)}\right] + \overline{m_s} + \overline{\triangle m_s} \quad \ldots \quad (9),$$

where

$$\left.\begin{aligned} \overline{m_s} &= \frac{\Sigma m_s p_s}{\Sigma p_s}, \\ \overline{\triangle m_s} &= \frac{\Sigma \triangle m_s p_s}{\Sigma p_s} \text{ and} \\ \overline{F(\triangle_s)} &= \frac{\Sigma F(\triangle_s) \cdot p_s}{\Sigma p_s} \end{aligned}\right\} s = a,\ b,\ b',\ \ldots\ k.$$

The weight p_s must depend upon the probable error of the

Table 15.

A Priori Probable Errors of the Measure of One Image.

Star	n	c	b	b'	a	g	k
	Stellar Magnitudes						
Negative							
3 II	±0.048	±0.10	±0.073	±0.041	±0.031	±0.032	±0.043
5 I	0.041	0.094	0.086	0.043	0.031	0.035	0.046
5 II	0.041	0.090	0.061	0.040	0.030	0.032	0.038
6 I.II; 7 I.II; 8 I.II	0.029	0.035	0.036	0.035	0.031	0.032	0.032
10; 11; 12; 13	0.040	0.055	0.057	0.043	0.037	0.043	0.050
16	0.050	0.14	0.07	0.050	0.030	0.035	0.050

1) Given in table 12 as the weighted mean, and adopted for b and a: $m_b = 1.110$ and $m_a = 0.000$ respectively.

magnitude of the star. In table 15 the p. e. found a priori from tables 13 and 14 [1]) are given.

On the basis of this table the following weights for the comparison stars were adopted (for all stars with a smaller probable error than for Neptune equal weights were assumed):

Table 16.
Weights of Comparison Stars.

Negative	c	b	b'	a	g	k
3	0.2	0.3	1	1	1	1
5 I	0.2	0.3	1	1	1	1
5 II	0.3	0.5	1	1	1	1
6, 7, 8	1	1	1	1	1	1
10, 11, 12, 13	0.5	0.5	1	1	1	0.5
16	0.2	0.5	1	1	1	1

These quantities together with tables 13 and 14 enabled to compute the total probable error, including the scale-error; for the latter error a preliminary value of Neptune's magnitude was needed; it was assumed equal to $+0{,}84$ ($a = 0.00$). The result is given in the following table.

Table 17.
A priori computed Probable Error of the Magnitude of Neptune, determined from one exposure according to formula (9).

Negative	P. E. St. Mg.	Weight
3 II	± 0.055	2
5 I.II	± 0.048	2
6 I.II	± 0.030	5
7 I.II	$\pm 0\,031$	5
8 I.II	± 0.025	8
10	± 0.067	1
11—13	± 0.053	2
16	± 0.069	1

The final result for the magnitude of Neptune is contained in table 18; the table is subdivided into two parts, the first containing the results of the best plates — № 6, 7 and 8, and the second — the result of the remaining plates. The column m_n gives the magnitude of Neptune reduced to a distance from the earth corresponding to March 22, when $\log \varrho$ was equal to 1.4683; the reduction for varying distance was sensible only for the observations of April 8—23. The probable error of the first set of negatives is considerably smaller than of the second set; assuming for the first set a weight 7, for the second the weight 1, we obtain the following

1) Since relative probable errors were desired, the scale-error was not taken into account, and for the data of table 14 K was assumed equal to unity.

average value of the magnitude of Neptune as determined from all plates:

$$m_n = +0.824 \pm 0.006$$

(System of magnitudes indicated at the head of table 18).

Table 18.

Differential Magnitudes of Neptune.

$a = B.\,D.\,16^{0}1901$ assumed equal to $0^{mg}000$ } According to the Göt-
$b = B.\,D.\,17^{0}2007$ „ „ „ $+1.\,110$ } tingen Actinometrie.

First Series.

Negative, Date, Sidereal Time	$\overline{\Delta m_s}$ St. Mg.	Comparison Stars [1]	Correction for Superposed Images. St. Mg.	m_n St. Mg.	Deviation. St. Mg. $\times 1000$
1922				+	
6 I 1 March 22, $8^h.5$	−0.006	c, b, b', a, g, k	+0.002	0.848	+24
2 9.0	„	c, b, b', a, g	+0.002	.936	+112
3 9.2	„	c, b, b', a, g, k	+0.002	.902	+78
4 9.5	„	„	+0.013	.852	+28
5 9.8	„	„	−0.009	.758	− 66
6 10.2	„	$c, \quad b', a, g, k$	−0.009	.846	+22
6 II 1 10.6	−0.027	c, b, b', a, g, k	+0.002	.752	−72
2 10.8	„	„	+0.008	.758	−66
3 11.1	„	„	+0.002	.822	− 2
4 11.5	„	„	+0.002	.811	−13
5 11.7	„	„	−0.009	.841	+17
6 12.0	„	„	−0.009	.833	+ 9
7 I 1 March 23, 8.6	+0.002	b, b', a, g, k	0.	.852	+28
2 8.8	„	c, b, b', a, g, k	„	.825	+ 1
3 11.6	„	„	„	.758	−66
4 11.8	„	b, b', a, g, k	„	.773	−51
5 11.0	„	c, b, b', a, g, k	„	.867	+43
7 II 1 12.1	+0.002	$c, b, \quad a, g, k$	„	.780	−44
2 12.4	„	c, b, b', a, g, k	„	.827	+ 3
3 12.7	„	„	„	.831	+ 7
8 I 2 March 24, 8.8	−0.017	„	„	.813	−11
4 9.1	„	„	„	.864	+40
6 9.3	„	„	„	.837	+13
8 II 1 9.6	−0.011	„	„	.809	−15
4 9.9	„	„	„	.754	−70
5 10.1	„	„	„	+0.799	−25
			Average	+0.821	± 0.006 (p.e.)

1) Of equal weight.

Table 18. Continued.
Second Series.

Negative, Date, Sidereal Time	$\overline{\Delta m_s}$ St. Mg.	Comparison Stars and their Weights, indicated by Coefficients	m_n[1]	Deviation. St. Mg. ×1000
1922			+	
3 II 1 March 20, 10h.7	+0.003	0,2c; 0,3b; b′, a, g, k	0.887	+ 63
2 10.4	+0.003	„	0.904	+ 80
3 10.0	+0.003	0,3b; b′, a, g, k	0.809	— 15
4 9.7	+0.003	0,2c; 0,3b; b′, a, g, k	1.154	+330
5 9.3	+0.015	0,2c; 0,3b; b′, a, g	0.927	+103
6 9.1	+0.003	0,3b; b′, a, g, k	1.021	+197
7 11.0	+0.015	0,2c; b′, a, g	0.928	+104
5 I 1 March 21, 8.4	+0.004	0,2c; 0,3b; b′, a, g, k	0.724	—100
2 8.7	0.000	0,3b; b′, a, g	0.750	— 74
3 9.0	„	0,2c; 0,3b; b′, a, g	0.716	—108
4 9.3	+0.004	0,2c; 0,3b; b′, a, g, k	0.759	— 65
5 9.7	„	„	1.038	+212
6 10.3	„	„	1.027	+203
5 II 1 10.7	—0.015	0,3c; 0,5b; b′, a, g, k	0.776	— 48
2 11.0	„	„	0.818	— 6
3 11.2	„	„	0.918	+ 94
4 11.5	„	0,5b; b′, a, g, k	0.909	+ 85
5 11.8	„	0,3c; 0,5b; b′, a, g, k	0.752	— 72
6 12.1	„	„	0.670	—154
10. April 8, 11.5	—0.024	0,5c; 0,5b; b′, a, g; 0,5k	0.882	+ 58
11 I April 12, 10.8	—0.008	„	0.807	— 17
11 II 11.0	—0.002	„	0.834	+ 10
12 I 11.6	+0.021	„	0.767	— 57
12 II 11.3	—0.059	„	0.662	—162
13 I 11.9	+0.017	„	0.731	— 93
13 II 12.3	—0.037	„	0.691	—133
16, 1 April 23, 12.5	—0.033	0,2c; 0,5b; b′, a, g, k	0.945	+121
4 12.8	„	„	0.709	—115
		Average	0.840	± 0.016 (p.e.)

The deviations of the single observations from this average value are given in the last column of table 18 and are expressed in thousandths of a stellar magnitude.

1) Reduced to $\log \varrho = 1.4683$, ϱ being the distance from the earth.

The „correction for superposed images" deserves some explanation. The crowding of several exposures upon the same plate increases the probability of the fainter stars being superposed on the extrafocal images of Neptune[1]). The number of the different points of the background of the sky superposed upon a certain image k is equal to the number of exposures, and the coordinates of these points are found by subtracting from the coordinates of Neptune the differences $a_i - a_k$ and $\delta_i - \delta_k$ (or the differential right ascension and declination of all exposures, the exposure k being taken as origin). The image i whose effect upon k must be determined we shall call the „active image". It may be remarked, that the effect of i upon k is not equal to the effect of k upon i.

All stars in the neighbourhood of Neptune, found on the Carte du Ciel, Bordeaux, 16° № 69, were examined for superposition in the case of the negatives 6, 7 and 8; the diameter of the central image upon these negatives was on the average 0,33 mm and the diameter of the circle measured on the microphotometer 0,11 mm; in the scale of the Carte du Ciel these values must be increased 8.7-fold. It was found that a superposition took place only for the negative 6, when a star of the estimated magnitude 10.5, coordinates $x = -25.95$, $y = +59.45$, covered upon several images $^1/_4{}^{\text{th}}$ of the field of the microphotometer. From the stars a and k the systematic difference of the magnitudes of the Carte du Ciel and our adopted system was found equal to 6.5 and 6.8 respectively, and a mean of 6.6 was adopted; this gives the difference of magnitudes between the said star and Neptune equal to 3.1, which corresponds to 0.058 of the brightness of Neptune; $^1/_4{}^{\text{th}}$ of this quantity was taken and was multiplied by a provisional value of Schwarzschild's exponent $p = 0.75$[2]); finally the effect of superposition was adopted equal to $0.011\,\tau$, τ being the ratio of the exposures of the active and the given image. The following table was obtained:

1) For the comparison stars the same danger exists, but it has not been taken into account because its effect is generally small and the effect will be lost in forming the average magnitude of all six stars.

2) Determined for the same plate.

Image	Deviation of Brightness due to Superposition	Correction for Superposition. St. Mg.
6 I 1, 2, 3 6 II 1, 3, 4	+0.011	+0.002
6 I 4	+0.022	+0.013
6 II 2	+0.017	+0.008
6 I.II 5, 6	0.000	−0.009
Average	+0.009	0.000

Since the background was affected by the same star, the correction was applied so that its average value would be equal to zero.

The sign and numerical value of the correction expressed in stellar magnitudes is equal to the deviation in units of the brightness of Neptune. The entire process of finding the correction for superposed images is of a somewhat inconvenient character, and precise results for this correction cannot be expected; but owing to the smallness of the correction in the actual case the indeterminateness of the problem has no consequences. The chief result of the examination of the effect of overlapping images is that this effect was practically negligeable for the negatives 6, 7 and 8. Owing to the low accuracy of the measures of the remaining negatives, they were considered not to be worth of the labour of applying such a minute correction.

The probable errors computed from the deviations in the last column of table 18, were:

for the plates 6; 7; 8 . . . . . p. e. = ± 0.032 st. mg.
„ „ „ 3; 5; 10—13; 16 . . . p. e. = ± 0.081 st. mg.

These probable errors may be called the „observed p. e.“; the probable errors to be expected in both cases were, according to table 17, equal to ± 0.029 and ± 0.053 st. mg. respectively. For the first set of measures the agreement between the observed and the a priori computed probable errors is good; but for the second set the observed probable error is considerably greater than the expected one; a better agreement would be obtained if it were assumed that the error due to the variation of the sensitiveness of the plate increased with decreasing density of the images.

The question of the variability of Neptune can be discussed only on the basis of the first set of measures comprising negatives 6, 7 and 8. The close agreement of the observed and

expected p. e. seems to be a test against any variability; however, the a priori expected p. e. may be somewhat exaggerated, as indicates the first footnote of table 13; and a small amplitude of variation can exist without affecting in a sensible manner the probable deviation from the mean.

The deviations from the mean magnitude of the individual observations of March 22, 23 and 24 are plotted on fig. 2. The first glance at this figure reveals a systematical variation in the magnitude of Neptune during these three consecutive nights; the broken line indicates the hypothetical form of the curve of

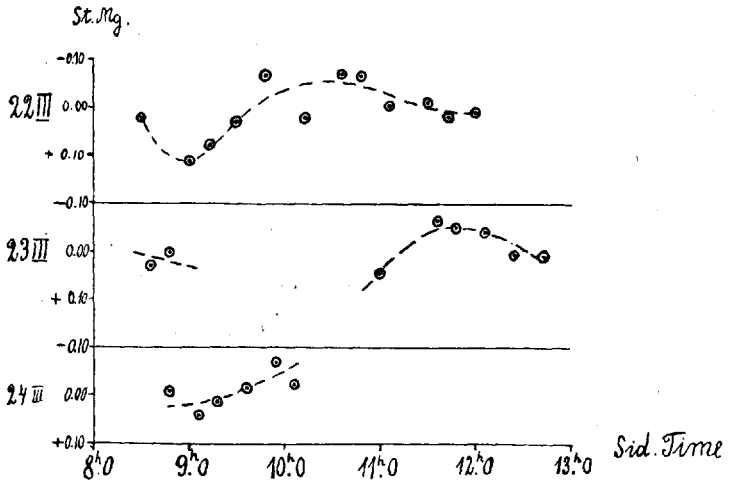


Fig. 2.

Photographic Magnitude of Neptune.

variation; all three curves can be made to agree with a certain adopted short period; but the material is too scant to obtain any reliable result as to the form and period of the variation. The probable deviation of one observation from the hypothetical curves is only ± 0.016 st. mg.; this may be explained by the small number of points, which caused the somewhat arbitrarily drawn curves pass nearer to the individual points: curves of the same amplitude and representing the observations equally well may be drawn, so that the probable deviation would be increased up to ± 0.020 or even more. In any case a variation of the photographic brightness of Neptune

of an amplitude of 0.08—0.15 st. mg. and of a short period is indicated by the present observations with a considerable degree of probability.

As to the arrangement of future observations, from the probable errors due to the different sources (see table 13) the conclusion may be drawn that a number of exposures on the same negative greater than 2 increases the accuracy of the observations but little; if the danger of overlapping stellar images and the inconvenience of eliminating it is taken into account, it must be inferred that a number of 2—3 exposures upon the same negative of a star of the brightness of Neptune gives the optimal result; a greater or a smaller number will affect the accuracy of the observations.

October 1922.

ERGEBNISSE DER KRÜPPELKINDER-STATISTIK IN EESTI

VON

Dr. med. A. LÜÜS

DOZENT DER KINDERHEILKUNDE UND VORSTAND DER UNIVERSITÄTS-KINDERKLINIK ZU DORPAT

DORPAT 1923

Druck von C. Mattiesen, Dorpat.

I. Vorbereitung der Statistik.

Mit verschiedenen anderen Fürsorgefragen stieg auch die Frage der Krüppelkinder-Fürsorge auf. Diese Frage ist uns noch gänzlich neu, da bisher die Möglichkeit sich mit ihr zu beschäftigen fehlte.

Bevor man an die praktische Ausübung der Krüppelkinder-Fürsorge gehen kann, war es unumgänglich ihre Zahl und die Art der Verkrüppelung festzustellen.

Die Anregung dazu ging vom Wohlfahrtsministerium aus. Das Wohlfahrtsministerium schlug dem Statistischen Zentralbureau vor, eine Krüppelkinder-Enquete zu veranstalten. Das Statistische Zentralbureau kam diesem Vorschlag bereitwillig entgegen und verfasste gemeinsam mit dem Wohlfahrtsministerium den Fragebogen (Zählkarte), welcher an die städtischen Wohlfahrtsämter und die Gemeindeverwaltungen der Kreise gesandt wurde.

Diese Institutionen führten die Enquete aus und sandten die ausgefüllten Fragebogen an das Statistische Zentralbureau zurück. Es liefen insgesamt 1465 ausgefüllte Fragebogen ein.

Das Statistische Zentralbureau wandte sich mit dem Vorschlag, die wissenschaftliche Bearbeitung des Materials zu übernehmen, an mich. Bei näherer Durchsicht des Enquetematerials stellte sich heraus, dass es, da durch Laien gesammelt, besonders vom ärztlichen Standpunkt, nicht genügend zuverlässige Daten enthielt. Deshalb schlug ich dem Statistischen Zentralbureau vor, einen neuen Fragebogen auszuarbeiten und die Enquete mit Hülfe von Aerzten neu zu veranstalten.

Das Statistische Zentralbureau war dazu bereit und ich arbeitete den neuen Fragebogen aus. Dabei legte ich besonders Gewicht auf die Fragen, welche die Ursachen der Verkrüppelung betreffen, während die Fragen über materielle und Familienverhältnisse fast unverändert blieben.

Dieser Fragebogen muss ausgefüllt zum 20. März dem Kreis- oder Stadtarzte zurückgesandt werden.

Krüppelkinder-Fragebogen.

1. Dieser Fragebogen muss in Bezug auf jedes Krüppelkind bis zum 18. Lebensjahr (incl.) ausgefüllt werden.

2. Blinde, Taubstumme und Idioten, wenn sie sonst kein körperliches Gebrechen aufweisen, werden nicht registriert.

3. Das bezügliche Wort wird unterstrichen und hinzugefügt, was nicht erwähnt ist.

1. Familien- und Vorname des Krüppelkindes .....
2. Wohnort ..... Stadt ..... Strasse ..... №.....
   Kreis ..... Gemeinde .....
   Flecken ..... Gesinde .....
3. Alter (Jahre oder Geburtsdatum) .....
4. Geschlecht .....
5. Staatsangehörigkeit .....
6. Nationalität .....
7. Konfession .....
8. Gebrechen des Kindes:
   - I. Tuberkulose: Wirbelsäule .....
     Knochen ..... Gelenk .....
     In welchem Körperteil .....
   - II. Rachitis: Brustkasten, Wirbelsäule, Arme, Beine, O-Beine, X-Beine, allgemeine Rachitis, rachitischer Zwergwuchs .....
   - III. Lähmungen (paralysis): a) schlaffe Kinderlähmung (poliomyelitis): Arm, Bein, oder beide Arme, Beine; b) spastische Kinderlähmung (cerebral): Arm, Bein oder beide Arme, Beine .....
     Lähmungen aus Ursachen ausser der genannten .....
     Fortwährende krampfartige Muskel- oder Gliederunruhe (Tic, Chorea) ..... Progressive Muskelatrophie ..... Wasserkopf .....
   - IV. Überzählige Glieder: Finger ..... Zehen .....
     verwachsene Finger ..... Zehen .....

V. Fehlende Glieder: Fehlende Hand ..... Fuss .....
Finger ..... Zehen ..... oder Fehlen ihrer Teile .....
welches Glied .....

VI. Verrenkungen (luxationes) .....
Welches Gelenk .....
Schlottergelenk .....

VII. Unentwickelte, beschädigte oder verwachsene Glieder wie: pes varus, valgus, genu recurvatum, hernia cerebri, labium leporinum, palatum fissum, spina bifida, struma, acromegalia, micromelia, fehlende oder unentwickelte Keimdrüsen (testiculi) .....

VIII. Nicht genannte Gebrechen: welche und in welchem Körperteil .....

IX. Welche Gebrechen sind noch vorhanden: blind, taub, stumm, imbecill, Idiot, Epilepsia, Blutarmut, Tuberkulose der inneren Organe .....

X. Sind in der Familie obengenannte Gebrechen vorgekommen .....

9. Ist das Gebrechen schwer, mittelschwer, leicht .....
10. Ist das Gebrechen angeboren oder erworben, in welchem Alter .....
11. Angabe der Eltern als Ursache des Gebrechens: angeboren, Unfall, Krieg, Gewalt, Tuberkulose, Lähmung, Erkältung, Blutvergiftung, Rheumatismus, Osteomyelitis, verbrannt, erfroren, Alkohol, unbekannt .....
12. Ärztlich behandelt, wie lange und wo .....
13. Ist Heilung möglich und wodurch: chirurgische, orthopädische, helio-, hydro-, elektro-, mechanotherapeutische Behandlung .....
14. Heimbedürftig, wünscht selbst ins Heim aufgenommen zu werden .....
15. Kann sich selbst behelfen oder bedarf fremder Hilfe.....
16. Hat Schulunterricht erhalten und wie lange .....
17. Ist bildungsfähig: in der Schule ..... im Gewerbe .....
18. Womit gegenwärtig beschäftigt .....
19. Von wem unterhalten: a) verdient sich selbst seinen Lebensunterhalt, wird von Eltern, von Verwandten unterhalten ..... b) erhält monatliche oder jährliche Unterstützung: vom Staate, von der Kommunalverwaltung, von Vereinen, von Privatpersonen.....

20. Materielle Verhältnisse des Kindes, der Eltern oder Erzieher: unbemittelt, kümmerlich, ausreichend, wohlhabend .....
21. Haben die Eltern noch Kinder, wie alte und wie viele .....
22. Beruf oder Beschäftigung der Eltern oder Erzieher .....

Datum

Unterschrift der Eltern oder Erzieher:

Unterschrift des Arztes:

Da beabsichtigt war die Enquete durch Aerzte ausführen zu lassen, wurde die Haupt-Sanitätsverwaltung gebeten die Leitung der praktischen Ausführung der Enquete zu übernehmen. Dieses geschah auch in entgegenkommender Weise.

Die Zählung wurde überall im März 1922 durchgeführt und bald liefen auch die ausgefüllten Fragebogen ein.

Die Enquete ist in den Städten, wo sie durch die Sanitäts-, Armen- und Stadtärzte ausgeführt wurde, sehr gut ausgefallen. Man hat überall reges Interesse dafür bezeugt.

In den Kreisen ist sie nicht so gut ausgefallen. Ungünstiger Witterungsverhältnisse halber haben die Eltern nicht überall ihre Kinder zu den Distriktsärzten, welche in den Kreisen die Enquete ausführten, bringen können.

Es sind aus den Städten 368 und aus den Kreisen 874 Fragebogen eingelaufen, insgesamt 1242. Diese Summe wurde durch 18 später eingelaufene Fragebogen ergänzt.

II. Die Bearbeitung des Materials.

Die Bearbeitung der Fragebogen geschah im Statistischen Zentralbureau. Es waren mir dabei die ältere Statistikerin des Zentralbureaus und vier Statistikerinnen behülflich, welche die langwierige technische Arbeit mit vielem Fleiss und Ausdauer zu vollenden halfen.

Bei der Einteilung der Fragen in Gruppen und Rubriken habe ich mich in grossen Zügen nach Dr. Konrad Biesalski gerichtet, wie er es in seinem grossen Werk[1]) durchgeführt hat, denn beide Arbeiten verfolgen ein und dasselbe Ziel: Feststellung des Krüppeltums und seiner verschiedenen Formen bei Kindern. Wie daraus ersichtlich, soll diese Arbeit neben der wissenschaft-

1) Dr. Konrad Biesalski, Umfang und Art des jugendlichen Krüppeltums und der Krüppelfürsorge in Deutschland. Hamburg und Leipzig 1909.

lichen Aufgabe auch praktische Anforderungen des sozialen Lebens berücksichtigen.

Den Begriff der Verkrüppelung bestimmt nicht nur die Schwere des Gebrechens, sondern es müssen, inbezug auf die Fürsorgebedürftigkeit, auch andere mitwirkende Faktoren wie Komplikationen, materielle und Familienverhältnisse u. s. w. berücksichtigt werden.

Die Krüppelkinder wurden in vier Gruppen geteilt:

I. Die Gruppe der Heim- und Behandlungsbedürftigen.

Mit bestem Erfolge können Krüppel in einem Krüppelheim behandelt werden, welches eine vollständige chirurgisch-orthopädische Einrichtung hat und in welchem Naturheilmethoden angewandt werden können — das heisst, kurz zusammengefasst, alle modernen Heilmethoden möglich sind.

Zu dieser Gruppe gehört ein grosser Teil der gezählten Krüppelkinder, denn im Heim ist es möglich neben der ärztlichen Behandlung ihnen verschiedene Handwerke zu lehren.

II. Die Gruppe der heimbedürftigen unheilbaren Krüppelkinder. Diese Gruppe zerfällt in zwei Unterabteilungen:

Zur ersten Unterabteilung gehören solche, die an einem unheilbaren Gebrechen leiden, die dabei aber doch zur Ausbildung in einem Handwerk fähig sind, was ausserhalb des Heimes sehr schwierig, wenn nicht gar unmöglich wäre. Zur zweiten Unterabteilung zählen solche, die an einem unheilbaren Gebrechen leiden und arbeitsunfähig sind, die aber der sozialen Verhältnisse halber der Pflege im Heim bedürfen.

III. Die Gruppe der Nichtheimbedürftigen, welche ambulatorisch behandelt werden können.

IV. Die Gruppe der Nichtheimbedürftigen, welche keiner Behandlung und auch nicht der Ausbildung in einem Handwerk bedürfen, weil sie entweder selber arbeitsfähig sind, oder aber ihre Eltern für sie schon in genügendem Masse zu sorgen imstande und sie somit keiner Fürsorge bedürftig sind.

Ferner wurden die Krüppelkinder noch in zwei grosse Sondergruppen geteilt: vorschulpflichtiges Alter von 0—8 Jahren und schulpflichtiges Alter von 8—19 Jahren. Die Schulpflichtigkeit schliesst wohl mit dem 16. Lebensjahre ab, jedoch war es nicht möglich für das Alter von 16—19 Jahren noch eine Sondergruppe zu schaffen.

Alle Krüppelkinder, welche zum 1. VII. 1922 19 Jahre alt waren, wurden aus dieser Statistik ausgeschlossen.

Die Gebrechen sind nach folgendem Schema rubriziert:

1. Knochen- und Gelenktuberkulose
   - davon: Wirbelsäule
   - obere Extremitäten
   - untere Extremitäten
   - Kombination mehrerer
   - Insgesamt.
2. Rachitis
   - davon: Allgemeine Rachitis
   - rachitischer Zwergwuchs
   - Rachitis einzelner Glieder
   - Insgesamt
   - O-Beine
   - X-Beine
   - Insgesamt O- und X-Beine
   - Rachitis insgesamt.
3. Lähmungen.
   - A. Schlaffe Kinderlähmung
     - davon: halbseitig
     - doppelseitig
     - der oberen Extremitäten
     - der unteren Extremitäten
     - Kombination mehrerer
     - Insgesamt.
   - B. Spastische Kinderlähmung
     - davon: halbseitig
     - doppelseitig
     - der oberen Extremitäten
     - der unteren Extremitäten
     - Kombination mehrerer
     - Insgesamt
     - A + B insgesamt.
   - C. Lähmungen aus anderen Ursachen.
     - Insgesamt A + B + C.
4. Muskelunruhe.
5. Progressive Muskelatrophie.
6. Wasserkopf.
7. Ueberzählige Finger und Zehen.

8. Verwachsungen von Fingern und Zehen
   davon: angeboren
   erworben
   Insgesamt.
9. Fehlende Extremitäten.
   A. Angeboren
   davon: obere Extremitäten
   untere Extremitäten
   Kombination mehrerer
   Insgesamt.
   B. Erworben
   davon: obere Extremitäten
   untere Extremitäten
   Kombination mehrerer
   Insgesamt
   A + B insgesamt.
10. Fehlende Teile der Extremitäten.
   A. Angeboren
   davon: Hand
   Finger
   Fuss
   Kombination mehrerer
   Insgesamt.
   B. Erworben
   davon: Hand
   Finger
   Fuss
   Kombination mehrerer
   Insgesamt
   A + B insgesamt.
11. Verrenkungen.
   A. Angeborene
   davon: Schulter
   Hüfte
   Knie
   Kombination mehrerer
   Insgesamt.
   B. Erworbene
   davon: Schulter
   Hüfte

Knie
Kombination mehrerer
Insgesamt
A + B insgesamt.

12. Unentwickelte, beschädigte und verwachsene Glieder.
A. Unentwickelt (angeboren)
davon: obere Extremitäten
untere Extremitäten
Kombination mehrerer
Insgesamt.
B. Beschädigt oder verwachsen (infolge von Entzündungen)
davon: obere Extremitäten
untere Extremitäten
Kombination mehrerer
Insgesamt.
C. Beschädigt oder verwachsen (infolge von Beschädigungen)
davon: obere Extremitäten
untere Extremitäten
Kombination mehrerer
Insgesamt.
13. Bisher noch nicht genannte Gebrechen
davon: Angeboren
Erworben

Nach diesem Schema wurde auch der Tabellenkopf angefertigt. Dabei wurden auch alle sich auf Familien- und materielle Verhältnisse beziehenden Fragen aufgenommen, soweit es nach den Fragebogen möglich war.

Die Gebrechen gesondert nach ihren verschiedenen Formen zu gruppieren ist schwer, wenn nicht gar unmöglich.

Auch hätte das keinen praktischen Wert, da diese Arbeit sich vorderhand die Lösung der Krüppelkinderfürsorge-Frage zur Aufgabe stellt. Details wären vom wissenschaftlichen Standpunkt aus notwendig, doch eignet sich das vorhandene Material nicht zu solcher Ausarbeitung, denn die Fragebogen sind von vielen praktischen Aerzten, deren Ansichten vielfach sehr von einander abweichen, ausgefüllt. Daher war es notwendig einige Formen zusammen zu ziehen, um dadurch ein klareres Bild zu gewinnen, wenn schon die Exaktheit dabei gelitten haben sollte.

III. Erläuterung der statistischen Daten.

I.

Als Ursache von Gebrechen steht an erster Stelle die Knochen- und Gelenktuberkulose. An ihr leiden von 1242 Krüppelkindern 471 oder 38%.

Von den Städten fällt auf Haapsalu die grösste Zahl der an Knochen- und Gelenktuberkulose leidenden Kinder (auf 1000 Einwohner gerechnet) und zwar 1,54, während die Durchschnittzahl der Städte 0,56‰ ist.

Von den Kreisen steht Saaremaa (Oesel) an erster Stelle mit 0,74‰. Die Durchschnittzahl der Kreise ist 0,37‰.

Auf 1000 Einwohner Eestis fallen 0,42 an Knochen- und Gelenktuberkulose leidende Kinder, während das auf 1000 Krüppelkinder gerechnet 379 ausmacht.

Am häufigsten begegnet uns die Tuberkulose der unteren Extremitäten und zwar 22%, dann Tuberkulose der Wirbelsäule — 14%, weiter Tuberkulose der oberen Extremitäten — $^1/_2$% und Kombination mehrerer — 1%.

Als Ursache der Verkrüppelung stehen der Häufigkeit nach an zweiter Stelle die Lähmungen.

Insgesamt sind 236 oder 19% Lähmungsfälle registriert. Davon schlaffe Lähmungen 148 oder 12%, spastische Lähmungen 64 oder 5%, peripherische Lähmungen 24 oder 2%.

Daraus folgt, dass schlaffe Lähmungen fast zweimal so oft vorkommen, als beide letzteren zusammen. Dieses Verhältnis dürfte auch mehr oder weniger der Wirklichkeit entsprechen, denn ausser schlaffer Lähmung kommen andere Formen von Lähmungen selten vor.

Im Durchschnitt kommen auf 1000 Einwohner der Städte 0,2 Lähmungen, in den Kreisen 0,21 und in ganz Eesti 0,21. Auf 1000 Krüppelkinder kommen in Eesti 190 an Lähmungen leidende Kinder.

Lähmungen kommen in Eesti überall gleichmässig vor, nirgends aber in dem Masse angehäuft, dass von einer Epidemie die Rede sein könnte.

Die unteren Extremitäten sind von der schlaffen Lähmung 6 Mal öfter betroffen als die oberen Extremitäten.

Als Ursache von Krüppelgebrechen sind Lähmungen in Eesti um die Hälfte seltener als Tuberkulose (19% u. 38%).

Die Rachitis steht an dritter Stelle. An dieser Krankheit

leiden die Kinder in Eesti recht oft während des ersten Lebensjahres: nach den Daten der Universitätskinderklinik zu Tartu (Dorpat) ungefähr 30—75% aller Kinder im ersten Lebensjahr, je nachdem in welcher Jahreszeit die Daten gesammelt wurden.

Die Entwicklung der Krankheit schreitet jedoch nicht weit vor, sondern sie bleibt meist auf das Anfangsstadium beschränkt. Deshalb kommen schwere Formen, welche die körperliche und geistige Entwicklung der Kinder beeinflussen, verhältnismässig selten vor. Das dürfte wohl ein Verdienst der estnischen Mütter sein, die ihre Kinder grösstenteils selbst stillen.

An schweren Formen von Rachitis sind 80 Fälle oder 6% registriert. Von ihnen sind 67 Fälle oder 5% allgemeine Rachitis und rachitischer Zwergwuchs und nur 1% fällt auf andere Formen.

In den Städten sind insgesamt 21 Fälle von Verkrüppelung durch Rachitis registriert, das macht im Durchschnitt 0,07 auf 1000 Einwohner der Städte gerechnet, während in den Städten von 1000 gezählten Krüppelkindern im Durchschnitt 57 an Rachitis leiden.

Verhältnismässig wenig Rachitis kommt auch in den Kreisen vor und die Verteilung übers Land ist recht gleichmässig. Eine Ausnahme bilden die Kreise Petseri mit 17 Fällen oder 0,27‰ und Saaremaa mit 11 Fällen oder 0,22‰.

Insgesamt sind in den Kreisen 59 Fälle von Rachitis registriert, das gibt 0,07 Fälle auf 1000 Einwohner, oder in den Kreisen leiden 68 von 1000 Krüppelkindern an Rachitis.

Die Durchschnittzahl der Gesamtsumme des ganzen Staats ist 0,07‰.

Kurz zusammengefasst geben die Gesamtsummen der drei wichtigsten Krankheiten nachstehende kleine Tabelle.

	Zahl aller Krüppel	Auf 1000 Einwohner	%
Knochen- u. Gelenktuberkulose . . .	471	0.42	37.92
Lähmungen	236	0.21	19.01
Rachitis	80	0.07	6.44
Gesamtsumme . . .	787	0.70	63.37

Ein sehr grosser Teil von krüppelhaften Gebrechen wird durch verschiedene Entzündungen hervorgerufen, wie durch

osteomyelitis, diverse Arten von Artritiden u. s. w. Solcher Fälle sind 60 oder 5% registriert.

Im täglichen Leben spielen die drei folgenden Krankheiten, welche ebenfalls krüppelhafte Gebrechen verursachen, eine weit kleinere Rolle. Es sind: Muskelunruhe, progressive Muskelatrophie und Wasserkopf mit insgesamt 26 Fällen oder 2% aller gezählten Krüppelkinder.

Die sieben obengenannten Krankheiten bilden bei $^2/_3$ von allen in Rede stehenden Fällen die Ursache des Krüppeltums. Infolge von Krankheiten sind 873 oder 70% Krüppel geworden.

II.

Die zweite kleinere Gruppe von Krüppelkindern bilden solche, die an angeborenen und durch Unfall erworbenen krüppelhaften Gebrechen leiden. Ihrer sind 369 oder 30%.

Selbstredend ist diese Einteilung nicht exakt. Es ist nicht immer möglich festzustellen, infolge welcher Ursache das krüppelhafte Gebrechen entstanden ist, ob es nämlich durch eine Beschädigung oder durch eine Entzündung hervorgerufen ist.

Bei dieser Gruppe müssen wir angeborene und erworbene Gebrechen unterscheiden.

Angeborene Krüppelhaftigkeit ist 123 Mal oder mit 10% verzeichnet, erworbene 246 Mal oder 20%. Somit erworbene Gebrechen zweimal mehr als angeborene.

Ursache der angeborenen Krüppelhaftigkeit sind zumeist unentwickelte Glieder; bei uns sind solcher Fälle 62 registriert. Demnächst folgt Fehlen eines Gliedabschnittes mit 30 Fällen. Die Gesamtsumme dieser beiden Rubriken bildet $^2/_3$ von allen registrierten angeborenen krüppelhaften Gebrechen überhaupt.

Die meisten von den erworbenen Gebrechen sind im späteren Kindesalter erworben. Besonders oft kommt Fehlen von Gliedabschnitten vor und zwar 118 Mal. Diese hohe Zahl lenkt unsere besondere Aufmerksamkeit auf die Häufigkeit von Unfällen im Kindesalter und betont die Notwendigkeit der Beseitigung solcher Ursachen.

Beschädigung der Extremitäten kommt 307 Mal vor, was ca 25% ausmacht. Davon angeboren 104 oder 8%, während 203 oder 16% erworben sind. So gibt es durch Beschädigung der Extremitäten erworbene krüppelhafte Gebrechen zweimal mehr als angeborene.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass angeborene und erworbene Gebrechen in 369 Fällen oder 30% registriert worden sind, durch Krankheiten verursachte Gebrechen in 873 Fällen oder 70%, angeborene in 123 Fällen oder 10%, durch Beschädigung verursachte 246 Fälle oder 20%. Beschädigungen der oberen Extremitäten 12%, der unteren Extremitäten 10%, während Kombinationen mehrerer Beschädigungen 3% und vorher ungenannte Gebrechen 5% ausmachen.

Beim Registrieren der Krüppelkinder in Tartu fiel eine verhältnismässig grosse Zahl von Knaben auf, welchen die linke Hand oder deren Finger fehlten. Es erwies sich, dass sie durch Patronen- oder Granatenexplosionen beschädigt waren. Dieses gab Veranlassung das ganze Material daraufhin zu untersuchen, um zu erfahren, ob auch sonst viel derartige Beschädigungen vorgekommen sind.

In den Städten sind 28 Fälle von Verkrüppelung durch Patronen- oder Granatenexplosion und in den Kreisen 41 solcher Fälle verzeichnet, somit insgesamt 69 Fälle, was 5,5% aller gezählten Krüppelkinder in Eesti ausmacht.

Solche Unfälle mit nachfolgender Verkrüppelung kommen bei Kindern am häufigsten im 10., 11. und 12. Lebensjahr vor; der Kulminationspunkt fällt auf das 12. Jahr. Im allgemeinen kommen derartige Unfälle vom 7.—14. Jahre vor. Früher und später begegnen sie nur vereinzelt.

Der grösste Teil von Unfällen durch Patronen- und Granatenexplosionen und Verkrüppelungen fällt infolgedessen auf die Jahre 1918 und 1919, danach kommt das Jahr 1917.

Gehen wir nun von den Rubriken zu den Gruppen über, deren wir, wie oben bemerkt, vier haben.

Die erste ist die wichtigste und grösste von ihnen, dahin gehören alle heim- und behandlungsbedürftigen Krüppelkinder, und ihrer sind 513 oder 41%.

Zur zweiten Gruppe zählen 298 oder 24% der gezählten Krüppelkinder, welche unheilbar sind. Von ihnen bedürfen 260 oder 21% der Aufnahme in ein Heim um dort ein Gewerbe erlernen zu können, während 38 oder 3% als gänzlich arbeitsunfähig bezeichnet sind.

Diese beiden Gruppen sind heimbedürftig und machen zusammen den grössten Teil der gezählten Krüppelkinder aus. Inbezug auf die Fürsorge-Frage bilden sie den wichtigsten Teil

des Materials. Hierher gehören 811 oder 65% der gezählten Krüppelkinder.

Nicht heimbedürftig sind 431 oder 35%. Von ihnen müssen 105 oder 9% offen, d. h. ambulatorisch behandelt werden, während 326 oder 26% der öffentlichen Fürsorge aus verschiedenen Gründen nicht bedürfen.

Fügen wir zu der Zahl der Heim- und Behandlungsbedürftigen die Zahl der ambulatorisch zu Behandelnden, so erhalten wir die Summe der Krüppelkinder, deren Krüppelhaftigkeit wir durch ärztliche Behandlung zu bessern und zu lindern imstande sind. Es sind ihrer 618 oder 50%, d. h. die Hälfte aller registrierter Krüppelkinder. Der anderen Hälfte können wir noch gar nicht oder nur zufällig durch Behandlung helfen.

Darum ist die erste und wichtigste Aufgabe der Krüppelkinder-Fürsorge die Behandlung der heimbedürftigen Krüppelkinder. Solcher gibt es in Eesti 811 oder 65%, davon in den Städten 245 oder 31% und in den Kreisen 566 oder 69% von der Gesamtzahl der Heimbedürftigen.

Die Durchschnittzahl aller Heimbedürftigen im ganzen Staate auf 1000 Einwohner gerechnet ist 0,72.

Von den Heimbedürftigen wünschen 151 selbst in ein Heim aufgenommen zu werden.

Die Zahl der Krüppelkinder ist nicht gleichmässig über das Land verteilt, obschon die Bevölkerung sich doch in der Mehrzahl fast ausschliesslich mit Ackerbau beschäftigt und die Städte sich noch nicht zu grossen Industriezentren entwickelt haben, weshalb sie wenig von der Gesamtsumme der Kreise abweichen.

Es wäre sogar zu bemerken, dass die kleineren Städte eine grössere Anzahl von Krüppelkindern aufweisen als die grösseren Städte, deren Zahlen denen der Kreise näher stehen.

An erster Stelle mit seiner Zahl von Krüppelkindern steht in der Reihe der Städte — Haapsalu mit 2,64‰, an zweiter Petseri mit 2,52‰, an dritter Kuresaar mit 2,38‰, an vierter Narva mit 2,33‰, an fünfter Tartu und Pärnu mit 1,75‰ und an sechster Stelle Võru mit 1,63‰.

Die Durchschnittzahl der Städte auf 1000 Einwohner berechnet ist 1,29. Sieben Städte geben höhere als die Durchschnittzahl, während fünf niedrigere aufweisen.

Die Durchschnittzahl der Kreise ist 1,04‰. Höhere als die

Durchschnittzahl weisen 6 Kreise auf, 5 dagegen geben niedrigere Zahlen. An erster Stelle unter den Kreisen steht Saaremaa mit 2,12‰, an zweiter Läänemaa mit 1,53‰, an dritter Võrumaa mit 1,42‰.

Die Durchschnittzahl der Gesamtsumme des ganzen Staats ist 1,10‰.

III.

Ausser dem Kardinalfehler sind viele Kinder noch mit anderen Defekten und Krankheiten behaftet, welche wir kurz als Komplikationen bezeichnen wollen. An ihnen leiden 197 oder 16% aller gezählter Krüppelkinder. Diese Zahl müsste der Wirklichkeit entsprechend noch viel grösser sein. Insbesondere müsste Tuberkulose der inneren Organe viel öfter vorkommen in Anbetracht der hohen Zahl von Knochen- und Gelenktuberkulose, an welcher 38% aller registrierten Krüppelkinder leiden.

Idioten gibt es 56 oder 5%, geistig zurückgeblieben sind 19 oder 2%, somit insgesamt nur 7% geistig anormaler Krüppelkinder, was wohl eine niedrige Zahl sein dürfte.

Dieselben Krüppelgebrechen sind in der Familie des Krüppels früher schon in 64 Fällen oder bei 5% vorgekommen, während andere Krüppelleiden 23 Mal oder bei 2% vorgekommen sind. Somit sind insgesamt 87 Mal oder bei 7% Verkrüppelungen in der Familie mehrmals vorhanden gewesen.

Bei 37 Kindern, welche an Knochen- oder Gelenktuberkulose leiden, ist der Vater, die Mutter, die Schwester oder der Bruder an Lungentuberkulose erkrankt gewesen. Schlaffe Kinder Lähmung ist 3 Mal mehr als bei einem Familiengliede vorgekommen.

Schwere und mittelschwere Verkrüppelungen sind beinahe gleichviel registriert. Schwere Fälle sind 39%, mittelschwere 40% verzeichnet, während leichte dagegen nur 11% angegeben sind.

Von den gezählten Krüppelkindern sind 859 oder 69% ärztlich behandelt worden, 344 oder 28% dagegen sind gar nicht behandelt. Von den Behandelten sind 30% in Krankenhäusern ärztlich versorgt worden, während 39% ambulatorisch behandelt sind. Wie hieraus folgt, sind $^2/_3$ aller Krüppelkinder mehr oder weniger ärztlich versorgt gewesen, während $^1/_3$ gänzlich unbehandelt geblieben ist.

Von den gezählten Krüppelkindern bedürfen 76% verschie-

dener ärztlicher Behandlung, 24% dagegen sind von den Aerzten als unheilbar bezeichnet.

Bei 660 Kindern oder 53% halten die Aerzte die Aufnahme in das Krüppelheim für erforderlich und 151 oder 12% wünschen selbst in ein Heim aufgenommen zu werden. Insgesamt somit heimbedürftig 811 Krüppelkinder oder 65%.

Nichtheimbedürftig sind 431 Krüppelkinder oder 35%; von ihnen müssen 105 oder 9% ambulatorisch behandelt werden, während 326 oder 26% der Fürsorge nicht bedürfen.

In 295 Fällen oder 24% können sich die Krüppel nicht selbst behelfen, sondern bedürfen dem Gebrechen nach zu urteilen fremder Hilfe.

Von 1059 oder 85% schulpflichtigen Krüppelkindern im Alter von 8—19 Jahren haben 252 oder 20% keinen Unterricht erhalten.

Geistig normal sind 92%, während 8% geistig anormal sind.

V.

Die Zahl der Krüppelkinder steigt mit den Lebensjahren und erreicht ihren Höhepunkt mit 133 Verkrüppelten zwischen dem 14. und 15. Lebensjahre. Der Aufstieg ist vom 3. Jahre an gleichmässig, das Sinken dagegen bis zum 18. Jahr schneller und vom 18. Jahre aufwärts recht steil.

In den Städten fällt die höchste Zahl ebenfalls auf das 14. und 15. Jahr, in den Kreisen fällt sie aber schon auf das 13.—14. Lebensjahr.

Das ist eine bemerkenswerte Erscheinung und fällt uns als etwas paradoxal auf. Auf Grund des vorhandenen Materials ist es aber nicht möglich dafür eine Erklärung zu finden.

Von den heimbedürftigen Krüppelkindern sind die meisten 14—15 Jahr alt, während bei den Nichtheimbedürftigen die höchste Zahl auf das 13.—14. Lebensjahr fällt.

Von den gezählten Krüppelkindern sind 2 unter einem Jahr alt, von 0—6 Jahren sind 95 oder 8%, von 6—15 J. sind 818 oder 66%, von 15—19 J. sind 329 oder 26%, von 0—15 J. sind 913 oder 74%.

Im vorschulpflichtigen Alter sind 183 oder 15% und im schulpflichtigen Alter 1059 oder 85% aller gezählten Krüppelkinder.

In den Städten kommen auf 1000 Krüppelkinder 136 vor-

schulpflichtige Kinder, in den Kreisen 152 und von der Gesamtsumme sind im Durchschnitt 147 vorschulpflichtig.

In 13 Städten Eestis gab es zum 1. I. 22. insgesamt 55.660 Kinder unter 14 Jahren; Krüppelkinder unter 14 Jahren sind 226 gezählt: daraus folgt, dass auf 1000 gesunde Kinder von 0—14 Jahren in den Städten 4 Krüppelkinder vorkommen.

Von der Krüppelkinder-Fürsorge müssen in erster Linie die Vorschulpflichtigen berücksichtigt werden. Sie sollten so früh als möglich in Behandlung genommen werden, denn nur bei rechtzeitiger Behandlung können die besten Erfolge erzielt werden.

Von den gezählten Krüppelkindern sind 754 oder 61% männlichen und 488 oder 39% weiblichen Geschlechts.

Überall, so in den Kreisen, wie in den Städten, sind unter den krüppelhaften Kindern die Knaben in der Zahl vorwiegend. In den Städten ist die Differenz weniger auffallend (16%), während sie in den Kreisen bedeutend höher ist (24%), insgesamt 22%. Es mag das mit der grösseren Unternehmungslust der Knaben in Verbindung stehen, auch dürfte das kleine Uebergewicht der Knaben in der Zahl von Bedeutung sein.

Von den registrierten Krüppelkindern sind 1219 Untertanen der Republik Eesti, nur 2% sind russischer oder anderer Staatsangehörigkeit.

Estnischer Nationalität sind 1117 oder 90%, Russen 97 oder 8%, Deutsche — 8, Letten — 7, anderer Nationalität oder unbekannt — 13. Insgesamt Nichtesten 10%.

VI.

Der grösste Teil von den gezählten Krüppelkindern ward von den Eltern unterhalten — 1135 oder 91%, von Verwandten — 68 oder 6%.

Eine Unterstützung vom Staate erhalten 27 Kinder oder 2%, von den Kommunalverwaltungen 41 oder 3%, von wohltätigen Organisationen — 14 oder 1% und von Privatpersonen ein Kind. Somit erhalten Unterstützungen 6%, während 55% ohne jegliche Unterstützung geblieben sind und bei den übrigen die Frage nicht beantwortet ist.

Die materiellen Verhältnisse der gezählten Krüppelkinder sind in den meisten Fällen schlecht. Es leben 852 oder 69% von ihnen in sehr notdürftigen Verhältnissen, 326 oder 26% sind besser gestellt und nur 19 oder $1^1/_2$% sind wohlhabend.

Mehr als $^2/_3$ aller krüppelhaften Kinder sind arm, während nur $^1/_3$ besser gestellt ist.

Von Beruf sind 45% der Eltern Arbeiter, 40% Ackerbesitzer und Landarbeiter und 6% gehören zum Mittelstande.

Beachtenswert ist auch die Zahl der Kinder in den Familien der verschiedenen Volksschichten.

Freilich ist diese Frage nur von 6 Städten auf dem Fragebogen beantwortet. Es sind Daten über 157 Familien mit 451 Kindern vorhanden.

Meist sind in den Familien ein, zwei oder 3 Kinder. Solcher Familien sind 102 oder 65% gezählt, somit beinahe $^2/_3$.

Vier Kinder haben 19 Familien, 5 haben 14 Familien, 6 haben 11 Familien, 7 haben 4 Familien und mehr als sieben Kinder hat nur eine Familie.

Von den 157 Familien sind 105 Arbeiter-Familien, das ist nahezu zweimal mehr als andere Familien insgesamt. Diese 105 Familien haben 298 Kinder oder 2,8 Kinder im Durchschnitt auf die Familie.

Zum Mittelstande der Städte gehören 31 Familien mit 96 Kindern oder 3,1 Kinder im Durchschnitt auf die Familie.

Der Rest von 8 Familien beschäftigt sich mit Landwirtschaft, deren es in den Städten aber wenig gibt, mit 28 Kindern oder 3,5 Kinder im Durchschnitt auf die Familie.

So sehen wir an den vorhandenen kleinen Zahlen, dass die sich mit Landwirtschaft Beschäftigenden mit dem Kinderreichtum an erster Stelle stehen, ihnen folgt an zweiter Stelle der Mittelstand. An letzter Stelle stehen die Arbeiter-Familien.

Bedauerlicherweise fehlen uns die Daten über die Familien der Ackerbesitzer und Landarbeiter auf dem Lande, welche vielleicht noch erfreulichere Zahlen ergeben hätten. Wenigstens scheinen die 8 in den Städten lebenden Familien von Ackerbesitzern diese Voraussetzung zu berechtigen.

Man könnte auch annehmen, dass die Verkrüppelung eines Kindes den weiteren Familienzuwachs beschränkt hat. Wenigstens habe ich beim Registrieren der Kinder und beim Bearbeiten der Fragebogen den Eindruck gewonnen, dass einem Krüppelkinde, sei es mit angeborenen oder erworbenen Krüppelleiden behaftet, meist keine weiteren Kinder zu folgen pflegen.

Es könnten dabei auch noch andere Fragen in Betracht kommen, darum kann man, besonders in dieser Frage, aus den vorhandenen kleinen Zahlen nur ungefähr der Wirklichkeit entsprechende Schlüsse ziehen.

IV. Zusammenfassung.

Das wichtigste Ergebnis dieser Statistik ist, dass wir nun über die Zahl der Krüppelkinder verschiedene zuverlässige Daten haben, auf welche sich die Fürsorge fernerhin stützen kann.

Nachstehend die wichtigsten Zahlen kurz zusammengefasst:

I. 1. In Eesti gibt es 1242 Krüppelkinder
davon: vorschulpflichtig (0—8 J.) 183 oder 15%
„ schulpflichtig (8—19 J.) . 1059 „ 85%
0—6 „ . 95 „ 8%
6—15 „ . 818 „ 66%
0—15 „ . 913 „ 74%
15—19 „ . 329 „ 26%

2. In den Kreisen insgesamt . . . . 874 „ 70%
davon: vorschulpflichtig . . . . 133 „ 10%
„ schulpflichtig . . . . . 714 „ 60%

3. In den Städten insgesamt . . . . 368 „ 30%
davon: vorschulpflichtig . . . . 50 „ 4%
„ schulpflichtig . . . . . 318 „ 26%

4. Die Zahl der Krüppelkinder steigt mit den Lebensjahren an und gelangt zu ihrem Höhepunkt mit dem 14. und 15. Lebensjahre.

In den Kreisen fällt der Höhepunkt auf das 13. und 14. Lebensjahr, in den Städten aber auf das 14. und 15. Jahr.

5. In den Kreisen gibt es auf 1000 Einwohner gerechnet . . . . . 0,04 Krüppelkinder
in den Städten . . . . . 1,29 „
in Eesti insgesamt . . . . . 1,10 „

II. Heimbedürftige Krüppelkinder.

1. Der Behandlung im Heim bedürfen, denn sie sind orthopädisch krank . 513 oder 41%

2. Der Ausbildung im Gewerbe bedürfen im Heim, denn sie sind unheilbar . . . . . 260 „ 21%

3.	Nur der Fürsorge im Heim bedürfen, denn sie sind arbeitsunfähig . . .	38	oder	3%
	Somit sind insgesamt heimbedürftig	811	„	65%
	davon: vorschulpftichtig	127	„	10%
	schulpflichtig	684	„	55%
4.	Selbst wünschen in ein Heim aufgenommen zu werden	151	„	12%
	davon: vorschulpflichtig	14	„	1%
	schulpflichtig	137	„	11%
III.	Nichtheimbedürftige.			
1.	Ambulatorischer Behandlung bedürfen	105	„	9%
2.	Der öffentlichen Fürsorge nicht bedürftig	326	„	26%
	Somit Nichtbedürftige insgesamt . .	431	„	35%
	davon: vorschulpflichtig	56	„	5%
	schulpflichtig	375	„	30%
IV.	Infolge von Krankheiten krüppelhaft geworden:			
1.	Knochen- und Gelenktuberkulose . .	471	„	38%
2.	Lähmungen	236	„	19%
3.	Rachitis	80	„	6%
4.	Entzündungen	60	„	5%
5.	Muskelunruhe 9			
6.	Progressive Muskelatrophie 11 . . .	26	„	2%
7.	Wasserkopf 6			
	Somit insgesamt durch Krankheiten krüppelhaft geworden	873	„	70%
V.	Angeborene oder durch Unfall erworbene Krüppelhaftigkeit.			
1.	Ueberzählige Finger und Zehen . .	0	„	0%
2.	Verwachsene Finger und Zehen . .	8	„	0.64%
3.	Fehlende Extremitäten	3	„	0.24%
4.	Fehlen eines Teiles der Extremitäten	148	„	12%
5.	Verrenkungen	42	„	3%
6.	Unentwickelt u. s. w.	114	„	9%
7.	Vorher nicht genannt	54	„	5%
	Insgesamt angeboren und infolge von Unfällen verkrüppelt	369	„	30%
	davon: angeborene Verkrüppelungen	123	„	10%

	durch Unfälle verkrüppelt	246	oder	20%
	Beschädigungen d. oberen Extremitäten	153	„	12%
	Beschädigungen der unteren Extremitäten	117	„	10%
	Kombination mehrerer	37	„	3%
	Vorher ungenannte Beschädigungen	54	„	5%
	Beschädigungen durch Patronen und Granaten-Explosionen	69	„	5,5%
VI.	An Verkrüppelungs-Komplikationen leiden	197	„	16%
VII.	In der Familie sind Verkrüppelungen vorgekommen	87	„	7%
VIII.	Behandelt sind	859	„	69%
	davon: in Krankenhäusern	375	„	30%
	ambulatorisch	484	„	39%
	unbehandelt sind geblieben	344	„	28%
IX.	Schulunterricht erhalten	795	„	64%
	Ohne Schulunterricht geblieben	435	„	35%
	davon: vorschulpflichtig	183	„	15%
	Insgesamt im schulpflichtigen Alter ohne Schulunterricht geblieben	252	„	20%
X.	Geistig normal sind	1045	„	84%
	Geistig anormal sind	83	„	7%
XI.	Von den Eltern werden unterhalten	1135	„	91%
	Von Verwandten werden unterhalten	68	„	5%
	Vom Staate erhalten eine Unterstützung	27	„	2%
	Von Kommunalverwaltungen erhalten eine Unterstützung	41	„	3%
	Von wohltätigen Organisationen erhalten eine Unterstützung	14	„	1%
	Unbemittelt sind	852	„	69%
	Ausreichend versorgt sind	326	„	26%
	Wohlhabend sind	19	„	1,5%
XII.	Arbeiterkinder sind	556	„	45%
	Ackerbesitzer- und Landarbeiterkinder	501	„	40%
	Kinder des Mittelstandes sind	68	„	6%
XIII.	Männlichen Geschlechtes sind	754	„	61%
	Weiblichen „ „	488	„	39%
	In den Kreisen sind männlichen Geschlechts	542	„	62%

	In den Kreisen sind weiblichen Geschlechts	332	oder	38%
	In den Städten sind männlichen Geschlechts	212	„	58%
	In den Städten sind weiblichen Geschlechts	156	„	42%
XIV.	Estnischer Staatsangehörigkeit sind . . .	1219	„	98%
	Ausländer und Staatsangehörigkeit unbekannt	23	„	2%
XV.	Estnischer Nationalität sind	1117	„	90%
	Russischer Nationalität sind	97	„	8%
	Deutsche (8), Letten (7), anderer Nationalität und unbekannter Nationalität (13)	28	„	2%

V. Folgerungen.

In Eesti muss eine weitgehende Fürsorgeorganisation für Krüppelkinder und erwachsene Krüppel geschaffen werden.

Es sind bei uns 1260 Krüppelkinder registriert. Nach Prof. Biesalski kommen unter Erwachsenen wenigstens zweimal mehr Krüppel vor, das wäre 2520. Ausserdem sind noch 1300 Kriegsinvaliden registriert, somit hätten wir in Eesti insgesamt wenigstens 5080 Krüppel.

I. In Eesti müssen Krüppelheime gegründet werden, denn

1. haben wir 811 Krüppelkinder, welche nur im Heim erfolgreich behandelt und ausgebildet werden können;

2. wünschen die Eltern von 151 Krüppelkindern selbst ihre Kinder im Heim unterzubringen;

3. haben wir kein orthopädisches Institut[1]), während die chirurgischen Kliniken und die chirurgischen Abteilungen der Krankenhäuser mit insgesamt 400 Betten für chirurgische Kranke durch letztere besetzt sind.

Das erste Krüppelheim mit 150—200 Betten muss in Tartu eröffnet werden, denn erstens ist Tartu Universitätsstadt, wo das Krüppelheim als Lehr- und Wissenschaftsinstitut notwendig ist, und zweitens leben in Süd-Eesti 385 Krüppelkinder, welche heimbedürftig sind.

1) Das orthopädische Institut des Estnischen Roten Kreuzes in Tallinn (Reval) ist kürzlich gegründet und seine Tätigkeit besteht hauptsächlich in Massage und Heilgymnastik.

Ein zweites Krüppelheim muss in Tallinn mit 150—200 Betten eröffnet werden. Dieses Heim wäre die Zentral-Fürsorgestelle für Krüppelkinder in Nord-Eesti.

II. Zur Behandlung leichterer Verkrüppelung und ihrer Verhütung müssen bei allen Kreis- und Stadtkrankenhäusern gemeinsame, mit orthopädischer Einrichtung ausgestattete und von einem Chirurgen-Orthopäden geleitete Ambulanzen eröffnet werden.

III. Für die im Krüppelheim Behandelten und auch sonst an langwierigen Gebrechen leidenden Kinder muss ein Seehospiz gegründet werden, wo die Kinder sich erholen und völlig genesen können.

IV. Die meisten Kinder sind bei uns infolge von Tuberkulose verkrüppelt und zwar 471 oder 38%, das ist mehr als $^1/_3$ aller gezählten Krüppelkinder, darum muss die Tuberkulose überall und mit allen Mitteln bekämpft werden.

V. In Eesti muss, dem diesbezüglichen preussischen Gesetze entsprechend, ein Sondergesetz zur Regulierung der Krüppelkinder-Fürsorge herausgegeben werden.

VI. Arbeitsunfähige und vernachlässigte Krüppelkinder sind dem Staate und Volke nachteilig.

Es sind bei uns 1260 Krüppelkinder gezählt, davon 330 solcher, für welche die Eltern oder Erzieher genügend zu sorgen vermögen. Für den Rest von 930 müssen staatliche, kommunale oder private Fürsorgeinstitute geschaffen werden.

Nehmen wir an, dass die Verpflegung eines Krüppelkindes EMk. 1000 im Monat kostet, mit einer geringeren Summe kommt eben wohl kaum jemand aus, so macht das EMk. 11.160.000 im Jahre aus.

Arbeitsfähig geworden verdient jeder Krüppel wenigstens sich selbst den Lebensunterhalt und somit steht eine Summe von mehr als 11 Millionen zu anderen Aufgaben frei [1]).

1) Ein Auszug aus meiner Arbeit „Materialien zur Krüppelkinder-Statistik in Eesti", der medicinischen Fakultät zu Dorpat zur Erlangung eines Grades des Dr. med. vorgelegt. Die ganze Arbeit erscheint im Drucke im Jahre 1923 (estnisch).

CULTURE IN VITRO DES PROTOZOAIRES DE L'INTESTIN HUMAIN

PAR

C. SCHLOSSMANN

LABORATOIRE DE BACTÉRIOLOGIE DE L'UNIVERSITÉ
DE TARTU (DORPAT)

TARTU 1923

Imprimerie C. Mattiesen, Dorpat.

Introduction.

Les Protozoaires de l'intestin humain ont été de tout temps un objet de vive curiosité pour les médecins coloniaux. Même le médecin européen n'a plus le droit d'ignorer aujourd'hui la pathologie tropicale, pouvant à chaque instant se trouver en présence d'une maladie protozoaire. D'une façon générale, on peut dire que les protozoaires sont des animaux cosmopolites qui ont accompagné l'homme partout. Quand les parasites trouvent des conditions favorables à leur multiplication ils peuvent engendrer une maladie aiguë ou chronique ; au contraire, quand ils trouvent des conditions défavorables, il se produit un état de parasitisme occulte.

Le diagnostic clinique d'une maladie protozoaire de l'intestin humain est souvent très difficile et devra être toujours confirmé par la découverte de l'agent de la maladie. Ce serait possible par l'examen microscopique des selles fraîches ou en utilisant une méthode d'enrichissement. Si les parasites sont susceptibles de se développer dans le milieu extérieur, on propose la méthode de cultures des selles sur un milieu artificiel approprié (Coprocultures). Mais, grâce à nos connaissances insuffisantes des procédés de culture, on ne peut pas encore envisager cette méthode comme pratique pour les recherches cliniques. On utilise aussi pour le diagnostic des maladies protozoaires diverses réactions de l'organisme infecté. Malgré tout l'intérêt général et pratique que présentent ces méthodes indirectes, elles sont, cependant, loin de valoir celles qui permettent de démontrer directement l'existence des parasites dans les matières fécales.

Ce mémoire a pour objet l'exposé de nos résultats concernant les cultures in vitro des parasites de l'intestin humain. Il nous a été possible de cultiver sur les milieux artificiels les parasites suivants: Trichomonas intestinalis, Balantidium coli et Tetramitus Mesnili. Cette question pouvant offrir un intérêt théori-

que et pratique, nous l'avons étudiée avec soin. On ne peut pas encore, bien entendu, considérer la question comme épuisée, mais nous espérons que nos recherches pourront l'éclairer quelque peu et c'est pourquoi nous nous sommes décidés à publier nos résultats dés maintenant.

I. Culture du Trichomonas intestinalis.

La culture impure du Trichomonas a été déjà obtenue par divers savants. Lynch (1915) a cultivé Trichomonas vaginalis trouvé chez une jeune femme noire à la fois dans la bouche et dans le vagin. Pendant 3 jours il y a eu une multiplication de ces parasites dans un bouillon acide et au bout de ce temps les parasites s'étaient décuplés. Cette culture a pu être repiquée une fois, elle s'éteignit au deuxième passage, étouffé par les impuretés bactériennes. Le contenu d'un des tubes, injecté dans le rectum d'un lapin, a déterminé chez cet animal une infection intestinale persistante, sous forme de diarrhée.

Ohira et Noguchi ont cultivé un Trichomonas de la bouche. Ces savants ont obtenu un effet satisfaisant en employant un mélange à parties égales d'un liquide d'ascite et d'une solution de Ringer, ne modifiant pas l'alcalinité naturelle du milieu. Si l'on rend le liquide neutre au tournesol, les résultats sont moins bons. A 37° C on peut faire des transferts de tube à tube tous les jours en prenant un peu du sédiment où sont accumulés les parasites et les bactéries. Le développement est plus lent à une température de 23 à 27° C., et il ne faut effectuer les passages que tous les deux jours.

La multiplication se fait généralement par division binaire, mais on a pu observer aussi une division multiple par une sorte de bourgeonnement successif de 4 à 8 éléments. La division du blépharoplaste semble être mitosique alors que celle du noyau pourrait être promitosique. Les deux savants comparent le Trichomonas de la bouche, du reste, à l'espèce intestinale.

Pringault a obtenu sur le milieu de Ohira et Noguchi un développement du Trichomonas intestinalis.

Barret a obtenu des cultures du Trichomonas intestinalis dans un mélange de sérum humain et d'eau physiologique à 0,5 pour 100.

Boyd (1918) a obtenu une multiplication notable du Tri-

chomonas des selles humaines, prélevées à l'autopsie, en ensemençant d'une parcelle de ces matières fécales une certaine portion d'eau salée physiologique. L'ensemencement d'un bouillon ordinaire ne réussit pas. Des kystes n'ont jamais été observés.

Les résultats de Boyd n'ont pas été confirmés par Dobell et O'Connor (1921).

Chatton (1920) cultiva le Trichomonas du cobaye dans du bouillon de viande en ajoutant aux tubes du sang de lapin à raison de 1 c. c. par 10 c. c. du bouillon. A une partie des tubes on avait ajouté de l'huile de vaseline. Un seul tube de la série neutre et sans vaseline donna une culture du Trichomonas très mobile. Dans le milieu sous de la vaseline le parasite se cultiva à la surface, tandis qu'il se cultiva dans la profondeur dans les tubes sans vaseline.

De ces faits on peut conclure que les Trichomonas sont des flagellés alcalinophiles. Le fait qu'ils poussent mieux sans vaseline que sous de la vaseline, ne permet pas de conclure qu'ils soient anaérobies. La culture bactérienne détermine en effet un degré d'anaérobiose qui peut être égal ou supérieur à celui que contient la couche de vaseline. C'est dans du bouillon ordinaire additionné de sang et sans vaseline que l'auteur a entretenu pendant un an la culture du Trichomonas par passages mensuels.

Toutes les tentatives faites pour éliminer les parasites de la culture bactérienne sont restées infructueuses.

Hogue (1921) a obtenu des cultures du Trichomonas de l'intestin humain en se servant d'un milieu au blanc d'oeuf et à la solution de Locke. En ajoutant au milieu quelques gouttes de sérum ovin on humain, on accélère la multiplication du Trichomonas, mais au détriment de la durée de la culture. L'auteur avait obtenu aussi des „lignées pures" de Trichomonas intestinalis.

On sait que les Trichomonas présentent de grandes variations de taille; les mêmes variations existent pour la „lignée pure". Jamais de kystes n'ont été observés.

Il ressort de ce qui précède que maints travaux ont déjà été consacrés à l'étude de la culture du Trichomonas intestinalis sur des milieux artificiels, mais si l'on compare les résultats obtenus par les divers savants, on est en mesure de constater qu'il manque actuellement encore une méthode incontestable et pratique.

Les recherches dont nous allons donner l'exposé ci-dessous avaient pour but l'étude des facteurs qui favorisent la croissance du Trichomonas intestinalis in vitro.

L'espèce Trichomonas intestinalis qui nous servait pour les recherches avait été recueillie chez une malade à Dorpat. Celle qui en était porteuse, était une jeune fille âgée de 7 ans. Cette malade présentait les symptômes pulmonaires de la tuberculose, souffrant d'une diarrhée tenace, considérée et traitée comme symptôme de la tuberculose intestinale. La malade maigrissait progressivement, tombait dans un véritable état de marasme et décéda le 10 avril 1923. L'autopsie n'a pas été faite.

Les matières fécales recueillies le 20 mars ont été examinées au microscope entre lame et lamelle. Notre attention s'était portée sur les parasites très mobiles qui nous paraissaient bien répondre à la description du Trichomonas. Les recherches à l'ultramicroscope nous ont permi de définir la structure de ces parasites. Les matières fécales ont été conservées à 37° C. pendant 6 jours. Dans ces conditions les parasites ont conservé sa mobilité pendant 4 jours. A partir du quatrième jour on constatait une diminution rapide du degré de mobilité, et le 6-e jour les parasites ont disparu des matières fécales.

Dans les selles maintenues à la température du laboratoire le Trichomonas ne se conserve pas vivant au delà de 2 jours; la dessiccation lui est fatale. On voit donc que la vitalité du Trichomonas intestinalis diminue rapidement dans des milieux extérieurs. Il semble aussi que, dans des conditions naturelles, la survie du Trichomonas soit assez limitée.

De ces matières fécales fraîches, nous avons, à l'aide d'une pipette, introduit de 2 à 3 grosses gouttes dans divers milieux usuels, mais les essais de culture furent absolument négatifs.

Notre première série d'expériences nous montra que le Trichomonas intestinalis ne se cultive dans aucun des milieux usuels.

Après diverses tentatives nous avons obtenu une multiplication de ces parasites dans un mélange à parties égales de liquide d'ascite et de solution physiologique. En vingt-quatre heures de séjour à l'étuve à 37° C. , apparaissait une culture du Trichomonas intestinalis, associée à des cocci et des bâtonnets. Le développement nous en a paru plus lent à la température du laboratoire. Repiquée dans le même milieu, cette culture nous a

donné une nouvelle génération. En faisant les repiquages tous les deux jours, nous avons obtenu plusieurs passages. Enfin la culture s'éteignit étouffée par les impuretés bactériennes.

De multiples passages ne permettent pas un acclimatement capable de faire obtenir une culture dans des milieux usuels.

La culture du Trichomonas intestinalis ne réussit pas dans le liquide d'ascite employé tout pur ni dans un mélange à parties égales de liquide d'ascite et d'eau distillée.

La conclusion qui s'impose, d'après ces expériences, c'est que l'influence du chlorure de sodium peut être favorable à la nutrition du Trichomonas intestinalis.

Le Trichomonas intestinalis ne pousse pas dans les milieux légèrement acides et préfère ceux à qui l'on confère une réaction neutre ou légèrement alcaline. C'est pourquoi ce parasite ne pousse pas dans tous les milieux additionnés de glucose ou de lactose, parce que la fermentation des sucres donne naissance à des acides.

Dans le but d'étudier de plus près les diverses conditions de la culture de Trichomonas intestinalis, il nous a paru utile de chercher à comparer l'influence de divers sels minéraux sur la multiplication de ce parasite in vitro. En premier lieu nous avons choisi le citrate de soude et le sel marin. En ce qui concerne le citrate de soude, nos essais permettent de conclure que la présence de ce sel dans un milieu de culture a une influence stimulante sur la multiplication du Trichomonas intestinalis.

Des essais exécutés avec du sel marin nous ont montré que ce sel favorise le développement du Trichomonas intestinalis, mais il semble, cependant, que l'effet soit assez limité.

A la suite de ces recherches préliminaires, nous avons préparé plusieurs mélanges qui conviennent au Trichomonas intestinalis. Nous envisagerons tout d'abord les mélanges suivants:

Milieu A. Liquide d'ascite — 7,0 c. c.
Sol. de sel marin 1% — 2,5 c. c.
Sol. de citrate de soude 2% — 0,5 c. c.
Sol. de chlorure de sodium 0,85% — 0,5 c. c.

Milieu B. Liquide d'ascite — 7,0 c. c.
Sol. de sel marin 1% — 0,5 c. c.
Sol. de citrate de soude 2% — 0,5 c. c.
Sol de chlorure de sodium 0,85% — 2,5 c. c.

Les solutions de ces sels ont été préparées séparément et stérilisées à + 115° pendant vingt minutes. On ajoute au liquide d'ascite les doses nécessaires de ces solutions. Le mélange fut réparti en tubes à 10 c. c.; puis on versa dans une partie des tubes de 15 à 20 millimètres de l'huile de vaseline. Dans une série de recherches, j'ai employé ces deux milieux qui convenaient parfaitement au Trichomonas intestinalis. Le parasite poussait rapidement à 37° C., tandis qu'à 24° C. le développement fut plus lent. Dans le milieu sous une couche d'huile de vaseline et dans le milieu sans couche de vaseline le Trichomonas se cultive principalement dans les profondeurs du liquide; ce fait nous a suggéré l'idée d'envisager le Trichomonas comme anaérobie.

C'est dans le milieu B que nous avons entretenu le Trichomonas intestinalis pendant 40 jours, en faisant des repiquages tous les deux jours. Le milieu A nous a paru moins favorable.

Au 20-me passage le développement était devenu faible, ce qui nous force à admettre que le milieu B n'est pas assez favorable à la nutrition du Trichomonas intestinalis.

Forcés de chercher d'autres méthodes de culture, nous avons, à différentes reprises, modifié la composition du milieu dans les recherches suivantes.

En remplaçant dans le milieu B le liquide d'ascite par le sérum sanguin de l'homme ou de différents animaux, les résultats de culture sont entièrement négatifs. Le sérum sanguin semble être un mauvais aliment pour le Trichomonas intestinalis. Nous avons constaté que tous les liquides d'ascite ne doivent pas être envisagés comme nutritifs au même degré pour ce parasite.

De nombreuses expériences nous ont amené à la conclusion que le chlorure de magnésie a une influence stimulante sur le développement du Trichomonas. C'est pourquoi nous avons recommencé systématiquement les cultures de Trichomonas dans le milieu suivant:

Milieu C. Liquide d'ascite 5,0 c. c.
Sol. de chlorure de sodium 0,85%—3,5 c. c.
Sol.de chlorure de magnésie 1,21%—0,5 c. c.
Sol. de citrate de soude 2% — 0,5 c. c.

Les résultats obtenus avec le milieu C ont été remarquables. Après 24 heures de séjour à l'étuve à 37° C., on obtient un bon

développement de Trichomonas intestinalis. La multiplication est plus lente à la température du laboratoire. C'est dans ce milieu C que nous avons déjà obtenu 105 passages en faisant des repiquages tous les jours. Les parasites sont très mobiles et présentent de grandes variations de taille. Dans les cultures de 24 heures, on voyait un nombre de sujets en état de division binaire (Fig. № 2 et 6, pl. I). Toutes les tentatives faites par nous pour éliminer les parasites des impuretés bactériennes sont restées infructueuses.

Le mélange de sels minéraux du milieu C, employé dans une solution sans liquide d'ascite, ne peut pas servir à la nutrition de Trichomonas. Un faible développement des parasites, constaté dans cette solution et seulement après un premier repiquage, semble dû à des parcelles de substances albumineuses, apportées par les 4—5 gouttes de culture ayant servi à l'ensemencement.

Dans les cultures obtenues avec le milieu C nous avons constaté une grande quantité de kystes. L'enkystement se produit particulièrement vite dans les tubes sans vaseline.

Pour étudier les étapes de l'enkystement il faut examiner au microscope une goutte de culture, entre lame et lamelle. Quand le liquide vient à s'évaporer lentement, le parasite s'enkyste, à la façon d'une Amibe.

Ce résultat semble être en contradiction avec les résultats obtenus par Brumpt, Hogue, Chatton, Dobell et O'Connor. Nous avons vu, dans les pages précédentes, que jamais de kystes de Trichomonas intestinalis n'ont été observés dans les cultures obtenues par les savants mentionnés plus haut. Brumpt écrit sur cette question: „Trichomonas intestinalis ne semble pas s'enkyster dans le corps de l'Homme. Les prétendus kystes de Trichomonas, considérés par beaucoup de savants comme l'aboutissant de phénomènes autogamiques, n'ont rien à faire avec ces Flagellés. L'enkystement de Trichomonas est encore inconnu. Si ces parasites de l'Homme s'enkystent, le fait doit se produire rarement."

En tous cas, mes recherches me forcent à admettre que le Trichomonas intestinalis s'enkyste dans certaines circonstances, surtout dans les cultures obtenues dans le milieu C. Bien entendu, nous ne considérons pas la question comme épuisée et nous continuerons nos travaux.

Les recherches relatées ci-dessus démontrent que le milieu C, proposé par nous, peut être considéré comme assez favorable au développement de Trichomonas intestinalis. Nous avons la conviction qu'il peut servir au diagnostic des maladies protozoaires de l'intestin humain. Nous en avons la preuve en ce que nous allons signaler.

Un jeune enfant présenta une diarrhée tenace, considérée comme un symptôme suspect de la tuberculose intestinale. On constata dans les matières fécales examinées au microscope des parasites peu mobiles, dont la nature nous semblait douteuse. A l'aide d'une pipette nous avons mis 3 grosses gouttes de matières fécales fraîches dans le milieu C. En vingt-quatre heures de séjour à l'étuve à 37° C. apparaissait une culture de parasites très mobiles et caractéristiques. On a pu y constater une espèce de Trichomonas intestinalis. De ces parasites nous avons déjà obtenu 35 passages, en employant le milieu C pour les repiquages.

II. Coloration de Trichomonas intestinalis sur frottis et à l'état frais.

Le Trichomonas intestinalis est assez difficile à fixer et à colorer. Les procédés ordinaires ne donnent que de mauvaises préparations où les parasites sont extrêmement déformés. Pour la coloration sur frottis conviennent uniquement des procédés spéciaux qui nous permettent de conserver les détails de leur structure. La méthode de Giemsa nous a donné, cependant, de bons résultats. Pour atteindre ce but il faut: fixer les frottis préparés de culture, avant dessiccation successivement dans des vapeurs de l'acide osmique et dans de l'alcool absolu. Colorer pendant 2-3 heures dans un bain obtenu par le mélange de dix gouttes de solution Giemsa dans 10 centimètres cubes d'eau distillée, puis laver à l'eau distillée et sécher.

Par cette méthode le cytoplasme se colore en bleu plus ou moins vif, le noyau se teint en violet vif, la vésicule nutritive reste incolore. Les flagelles sont difficiles à colorer. Le parasite coloré conserve sa forme assez typique.

La coloration à l'état frais permet d'étudier facilement les parasites vivants. Pour cette méthode on emploie des solutions colorantes aqueuses très faibles. Pour la coloration du Tricho-

monas intestinalis en culture nous avons employé les solutions suivantes: rouge neutre à 1 p. 2000, bleu de méthylène à 1 p. 5000, éosine à 1 p. 1000. Dans ce but il faut: porter sur la lame une goutte de culture du Trichomonas intestinalis, à côté de la culture placer une goutte de solution colorante, mélanger, couvrir d'une lamelle et examiner au microscope pendant 10 - 20 minutes.

Les parasites vivants, colorés par le rouge neutre se montrent sous l'aspect suivant: le cytoplasme, la membrane ondulante et le noyau restent incolores. Dans le cytoplasme on note la présence de granules de dimensions diverses qui sont teintés en rose vif ou en brun. Ces granules, dont l'aspect et le nombre varient, sont situés presque exclusivement entre le noyau et la partie postérieure du parasite.

Le rouge neutre passe généralement pour un colorant peu nocif pour les parasites, c'est pourquoi le Trichomonas intestinalis reste de 20 à 30 minutes mobile dans cette solution colorante.

La coloration vitale par le bleu de méthylène nous a donné des résultats moins intéressants. Le cytoplasme du parasite vivant se colore en bleu plus ou moins vif. Les vacuoles (2 - 3) restent incolores. Le protoplasme de kystes se teinte en bleu vif et montre de vacuoles incolores. Le bleu de méthylène est nocif pour le Trichomonas intestinalis.

Par l'éosine à 1 p. 1000 le cytoplasme du parasite vivant se colore en rose pâle, tandis que celui de kystes se teinte en rose vif. Les parasites conservent leur mobilité pendant 20 - 30 minutes dans cette solution colorante.

Les figures № 5, 6, 7, 8 et 9 pl. I. donnent une idée de ces parasites colorés à l'état frais.

III. Culture du Balantidium coli.

Le Balantidium coli est un parasite de gros intestin et semble ne pouvoir vivre que dans un milieu alcalin ou neutre. Ces infusoires sont rapidement tués par le suc gastrique ou celui de l'intestin grêle. La survie de Balantidium coli est assez limitée en dehors du corps. Dans les matières fécales ces parasites ne conservent pas leur mobilité au delà de 4 - 6 heures.

Au contraire, le Balantidium coli est très résistant dans l'organisme, et il y semble avoir une grande longévité. Chez le

porc l'infection dure plusieurs années. Belfrague a signalé chez l'Homme une infection contractée au moins vingt ans plus tôt. Ce parasite se développe avec une grande rapidité dans les infections expérimentales comme l'ont montré Brumpt et Walker.

Strong, Musgrave, Solowiew, Klimenko et Askanazy ont démontré la facilité avec laquelle ce parasite pénètre dans la paroi du gros intestin.

Les données précédentes nous expliquent, surtout, pourquoi les tentatives, faites par divers savants, pour obtenir une culture du Balantidium coli dans un milieu artificiel, sont restées infructueuses.

On sait, cependant, que la culture des infusoires a été déjà réalisée par Sangiorgi. En cultivant des selles humaines dans de l'eau peptonée il a obtenu une multiplication du Balantidium minutum et du Nyctotherus faba.

Le Balantidium coli hominis a été cultivé par Barret et Jarbrough (1921), en utilsant un milieu composé d'une partie de sérum humain inactivé et de seize parties d'eau physiologique à 0,5 pour 100. Ces savants ont obtenu onze passages en trente-deux jours en présence de bactéries diverses. Dans ces cultures ils ont observé des formes en voie de division transversale et des parasites enkystés. Nous avons tenté la vérification de ces données, sans réussir.

De nouvelles recherches sur la culture du Balantidium coli dans le milieu C, dont la composition a été donnée dans le premier chapitre, nous ont permis d'étudier le développement du Balantidium coli en dehors de l'organisme.

Le parasite qui nous servait dans nos recherches avait été recueilli chez un malade âgé de 26 ans. Celui qui en était porteur présentait une diarrhée persistante. Les matières fécales fraîches examinées au microscope nous montrèrent une grande quantité de Balantidium coli très mobiles. De ces matières fécales nous avons à l'aide d'une pipette introduit 3 grosses gouttes dans le milieu C, réparti en tubes.

Après vingt-quatre heures de séjour à l'étuve nous avons trouvé une multiplication abondante de Balantidium coli et de diverses bactéries. Cette culture examinée au microscope nous montra des infusoires très mobiles et de dimensions diverses. En ais ant des repiquages de tube à tube tous les jours, nous avons

obtenu six passages en sept jours. La culture du Balantidium coli s'éteignit étouffée par les impuretés bactériennes. Une deuxième culture faite de matières fécales recueillies chez le même malade nous a donné 5 passages en 6 jours. L'ensemencement du milieu de Barret et Jarbrough par des matières fécales fraîches nous a donné seulement deux passages.

Balantidium coli se conserve vivant dans les cultures à 37° C. pendant 3 jours. A partir du troisième jour on a pu noter une disparition rapide des infusoires mobiles et on a trouvé dans le sédiment une grande quantité de kystes. On a pu observer dans les cultures âgées de 24 heures une active reproduction transversale des infusoires donnant lieu à de petites formes. Dans les cultures de 3-e et 4-e passages il nous a été possible de trouver des procédés de la conjugaison du Balantidium coli (Fig. № 14, pl II).

L'enkystement prend naissance dans des conditions qui résultent de l'inanition, du changement d'alimentation et de la température. Le parasite s'arrondit et s'entoure d'une enveloppe résistante. Ces kystes ont des dimensions diverses et mesurent de 30 à 80 μ de diamètre.

Il est intéressant de rappeler que plusieurs bactériologues (Ekecrantz, Ortmann, Roos, Shegalow et Bode) ont observé un bourgeonnement chez les Balantidium coli. Brumpt et Walker n'ont jamais vu le bourgeonnement signalé par les bactériologues précédemment nommés. Nous avons vu dans nos cultures de 5-e et 6-e passages des formes très intéressantes qui rappellent bien un procédé de bourgeonnement (Fig. № 16, 17 et 18, pl. II). Ce sont évidemment les formes observées par les bactériologues nommés et décrites comme étant une reproduction par bourgeonnement. On ne peut pas encore considérer cette question comme résolue et nous trouvons l'explication ci-dessus hypothétique.

La seule interprétation qu'on puisse donner à ce phénomène, c'est que le parasite dégénère dans des conditions défavorables en donnant des formes profondément modifiées.

Il résulte de ces recherches que le Balantidium coli peut garder sa vitalité au dehors de l'organisme. Ce parasite est susceptible de se développer dans les milieux artificiels; il suffit qu'un milieu favorable à la nutrition du Balantidium coli soit trouvé. Nous considérons, pour le moment, le milieu C comme le plus favorable au développement de ces infusoires.

IV. Culture du Tetramitus Mesnili.

Le flagellé est très difficile à distinguer du genre Trichomonas intestinalis avec lequel il était très souvent confondu à l'état vivant. La vitalité de ce parasite étant, en général, de peu de durée diminue rapidement dans les milieux extérieurs. Quand le liquide dans lequel il vit vient à s'évaporer lentement, le parasite au lieu de mourir, s'enkyste.

Il se nourrit de bactéries et de déchets alimentaires divers.

La culture de ce parasite a été obtenue par Boeck, en utilisant un milieu artificiel composé d'une partie de sérum sanguin humain et quatre parties de solution de Locke légèrement dextrosée.

Tetramitus Mesnili se multiplie par division longitudinale dans l'intestin et dans les cultures. Boeck a observé dans les cultures des divisions en quatre. D'après certains savants il y aurait une division à l'intérieur du kyste; d'après d'autres cette division n'existerait pas (Kofoïd, Swezy etc.). Les kystes de ce parasite peuvent vivre 232 jours; ils meurent rapidement à une température de 72° C. (Boeck).

Les malades porteurs de Tetramitus Mesnili sont toujours anachlorhydriques, ce qui doit favoriser la multiplication des parasites dans l'intestin.

Nous avons trouvé ce parasite dans les matières fécales d'un malade anémique et anachlorhydrique qui présenta une diarrhée persistante, parfois sanguinolente. Les selles fraîches, examinées au microscope, montrèrent une grande quantité de parasites très mobiles. Il nous a paru presque impossible de définir au microscope la nature de ces parasites. A la température du laboratoire ils ne se conservent pas mobiles au delà de 24 heures.

De ces matières fécales nous avons à l'aide d'une pipette introduit 3 grosses gouttes dans le milieu C. On constatait dans les tubes maintenus 24 heures à 37° C. un bon développement du parasite et des diverses bactéries. C'était dans cette culture impure que nous avons pu bien définir la structure de ce parasite et constater le genre Tetramitus Mesnili. Cette culture associée à des bactéries diverses, repiquée dans le milieu C a donné une nouvelle génération. Ainsi nous avons obtenu déjà 32 passages en 64 jours, en faisant des repiquages tous les deux jours. Les

parasites sont très mobiles et se conservent vivants à 37° C. pendant 3-4 jours. On trouve dans les cultures âgées de 2-3 jours une grande quantité de kystes, piriformes et réfringents.

Le parasite ne pousse pas dans un milieu légérement acide. La dessiccation est fatale au Tetramitus.

En somme, on peut dire que le milieu C, proposé par nous, peut être considéré comme assez favorable à la nutrition et au développement de Tetramitus Mesnili.

Résumé.

En résumé, les recherches exposées dans ce mémoire ont donné les résultats suivants:

1. La présence de divers sels minéraux augmente d'une façon considérable le pouvoir nutritif d'un milieu artificiel employé pour la culture des Protozoaires.

2. Le milieu C, proposé par nous, est particulièrement favorable à la nutrition et au développement du Trichomonas intestinalis et Tetramitus Mesnili, il est moins favorable à la nutrition du Balantidium coli.

3. Il nous semble qu'un milieu artificiel, qui est assez favorable à la nutrition des flagellés de l'intestin humain, ne l'est pas au même degré pour des infusoires.

4. Le milieu C peut servir au diagnostic clinique des maladies protozoaires de l'intestin humain.

5. Les recherches sur la culture des protozoaires pourront avoir, outre leur intérêt théorique, une utilité pratique.

Bibliographie.

1. Askanazy. Pathog. Bedtg. d. Balantidium coli. Wien. med. Woch. 1903.
2. Bode. Ueber das Balantidium coli hominis etc. Centralbl. f. Bakter. I Abt. Orig. Bd. 89, 1923.
3. Boyd. A Note on the cultivation of Trichomonas intestinalis. Journ. of Paras. t. IV, 1918.
4. Brumpt. Démonstration du rôle pathogène du Balantidium coli. C. R. Soc. Biol. 1909.
5. Brumpt. Précis de Parasitologie. Paris 1922.
6. Castellani. Diarrhoea from flagellates. Brit. med. journ. 1905 p. 1285.
7. Chatton. Culture indéfinie d'un Trichomonas intestinalis du cobaye etc. C. R. Soc. de Biol. 83, 1920.
8. Ekecrantz. Ref. von Conheim in Virchow-Hirschs Jahresber. 1869, I, S. 202.

9. Escomel. Dysenterie à Trichomonas à Arequipa. Bull. Soc. path. exot. VI, 1913, p. 120.
10. Guiart. Précis de Parasitologie. Paris 1922.
11. Hogue. The cultivation of Trichomonas hominis. Amer. Journ. of Trop. Med. 1921.
12. Klimenko. Beitr. z. Pathol. d. Balantidium coli. Beitr. z. pathol. Anat. u. allg. Path. XXXIII, 1903.
13. Lynch. Trichomonas of the Vagina and the Mouth etc. Amer. Journ. of Trop. Dis. 1915.
14. Ohira et Noguchi. The cultivation of Trichomonas of the human mouth. Journ. of exper. Med. t. XXV, 1917.
15. Roos. Die Bedeutung der Flagellaten im Magen und Darm des Menschen. Deutsch. Arch. für klin. Med. Bd. 51.
16. Sangiorgi. Sulla cultura in vitro dei Protozoi dell' intestino umano. Pathologica 1918.
17. Schegalow. Ein Fall von Balantidium coli etc. Jahresb. f. Kinderheilk. XLIX, 1899.
18. Solowiew. Balantidium coli als Erreger chron. Durchfälle. Centralbl. f. Bakt. I Abt. Bd. 29, 1901.
19. Strong and Musgrave. The clinical and pathological signification of Balantidium coli. Manille 1904.
20. Walker. Sporolation in the paras. ciliata. Arch. f. Prot. Kde. XVII, 1909.
21. Wieting. Ueber Flagellaten (Trichomonas) in den Lungen etc. Centralbl. f. Bakt. Bd. XXI.

Explication des planches.

Pl. I. Trichomonas intestinalis.

Fig. 1. Forme habituelle.
Fig. 2. Un parasite en voie de division.
Fig. 3. Deux kystes.
Fig. 4. Un parasite coloré par le procédé de Giemsa.
Fig. 5, 6. Coloration à l'état frais par le rouge neutre.
Fig. 7. Coloration vitale par le bleu du méthylène.
Fig. 8. Coloration vitale par l'éosine.
Fig. 9. Deux kystes colorés par le bleu de méthylène.

Pl. II.

Fig. 10. Tetramitus Mesnili, forme habituelle.
Fig. 11. 12. Deux kystes.
Fig. 13. Balantidium coli.
Fig. 14. Conjugaison du Balantidium coli.
Fig. 15, 16, 17 et 18. Formes de dégénérescence (le bourgeonnement des auteurs) du Balantidium coli.

Planche

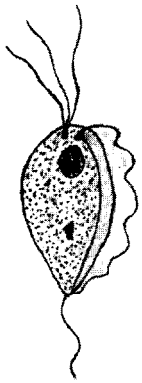


Fig. 1.

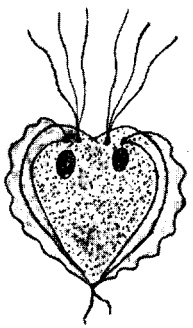


Fig. 2.

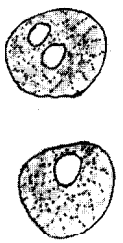


Fig. 3.



Fig. 4.

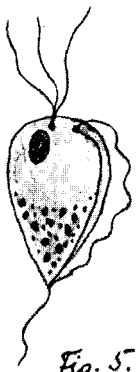


Fig. 5.

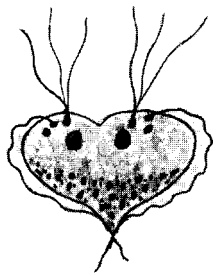


Fig. 6.



Fig. 7.



Fig. 8.

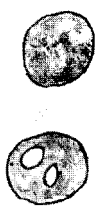


Fig. 9.

Planche II

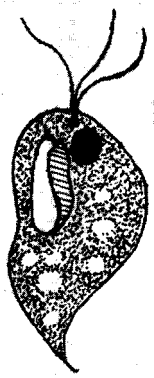


Fig. 10.



Fig. 11.

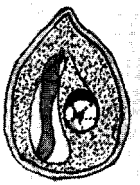


Fig. 12.

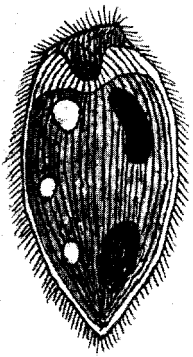


Fig. 13.

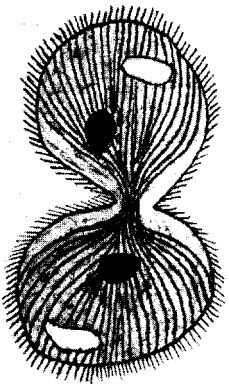


Fig. 14.

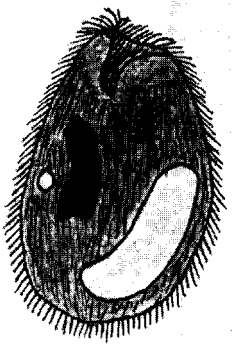


Fig. 15.

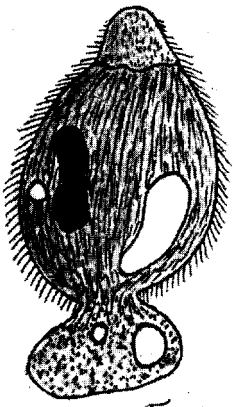


Fig. 16.

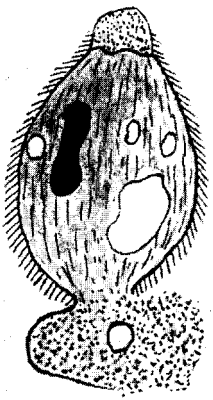


Fig. 17.

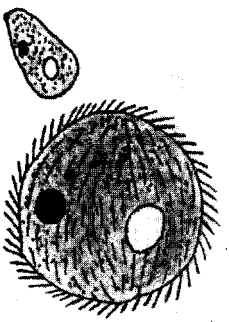


Fig. 18.

C. Mattiesen, Dorpat

TARTU ÜLIKOOLI BOTAANIKA INSTITUUDI TÖÖD

UNIVERSITATIS DORPATENSIS INSTITUTI BOTANICI OPERA

№ 18

ÜBER DIE PHYSIOLOGISCHE WIRKUNG DER NEUTRALSALZE AUF DAS PFLANZENPLASMA

VON

HUGO KAHO (KAHHO)

DORPAT 1923

C. Mattiesen, Dorpat.

„Les colloïdes possèdent les deux propriétés fondamentales de la matière vivante: la transformation continuelle et l'irréversibilité de cette transformation."

Jacques Duclaux.

Einleitende Bemerkungen.

Die vorliegenden Versuche erstreben eine Erweiterung unserer Kenntnisse über diejenigen physiologischen Vorgänge, die sich bei den Neutralsalzwirkungen auf das Pflanzenplasma abspielen.

Nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen stellt die lebendige Substanz der Organismen ein kompliziertes kolloides System dar („Mischkolloid"), das aus organischen und anorganischen Stoffen zusammengesetzt ist. Von diesen Stoffen geben die Eiweissstoffe und die Lipoide [„primäre Biokolloide" (Pauli)] den Ausschlag. Die Neutralsalze werden bei der Einwirkung auf das Plasma den kolloiden Zustand der Plasmakolloide ebenso beeinflussen, wie diese Salze bei den toten, nicht organisierten Kolloiden gewisse Zustandsänderungen hervorrufen.

Wenn die Plasmahaut aus den Eiweisskörpern aufgebaut sein sollte, wie das einige Forscher vermuten, oder wenn das Plasma mit lipoiden Stoffen umhüllt sein sollte, wie dieses andere voraussetzen, so müssten in diesem und jenem Falle die Salze, die in Wechselwirkung mit dem Plasma treten, ihrer Kolloidaktivität gemäss, in erster Linie die Biokolloide der Plasmaoberfläche angreifen, und dieses müsste sich auch entsprechender Weise in den physiologischen Funktionen der lebendigen Substanz abspielen.

Auf diese Weise stellt die Wirkung der Neutralsalze auf das Plasma vor allem ein kolloidchemisches Phänomen dar, und es müssen sich bei jeder physiologischen Wirkung der Salze dieselben Gesetzmässigkeiten ergeben, die bei der Einwirkung der

Salze auf die primären Biokolloide (Eiweiss, Lipoide) in vitro stattfinden.

Aus dem Gesagten folgt, dass die physiologischen Wirkungen der Neutralsalze parallel der Kolloidaktivität dieser Salze vor sich gehen müssen. Diese Folgerung sind wir bestrebt in den folgenden Versuchen experimentell zu beweisen.

Die unten beschriebenen Versuche zerfallen in zwei Teile. Der erste Teil der Arbeit enthält die sog. „Koagulationsversuche des Plasmas". Hier wird die koagulierende (tötliche) Wirkung der Neutralsalze auf das Pflanzenplasma vom Standpunkte seiner kolloiden Beschaffenheit aus untersucht. Dabei dient als Ausgangspunkt die Tatsache, dass eine jede tötliche Wirkung der Salze auch die Koagulation der lebendigen Substanz hervorruft[1]).

Im zweiten Teil der Arbeit werden die Permeabilitätsverhältnisse des Pflanzenplasmas für Neutralsalze untersucht, sowie auch die antagonistischen Wirkungen der Salze in Gemischen.

---

1) Czapek, Biochemie der Pflanzen. 1913. I. S. 37. u. 38.
W. W. Lepeschkin, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 30, 1912. S. 553.
Gaidukov, Ultramikroskopische Untersuchungen. Abhandl. d. St. Petersburger Ges. d. Naturforsch. Bd. 43, Abt. Bot. 1912. S. 110 (russisch).

Erster Teil.

Methodisches.

Die Methodik der Versuche mit Rotkrautschnitten.

Für die Versuche dienten uns Flächenschnitte von Rotkohl- und *Zebrina pendula*-Blättern.

Die Rotkrautschnitte wurden in folgender Weise hergestellt. Die Blätter aus dem oberen Teil des Kohlkopfes wurden in eine feuchte Kammer auf 24 Stunden untergebracht zwecks Herstellung einer guten Turgeszenz. Hierauf wurden aus den mittleren Teilen eines jeden Blattes in ca. 1 cm. Entfernung von der Mittelrippe, zwischen zwei grösseren Seitenrippen, ungef. 3—5 cm. lange Plättchen ausgeschnitten. Von der morphologischen Unterseite des Blattes wurden die Plättchen vorsichtig bei wiederholter Befeuchtung mit Wasser mit dem Rasiermesser abgeschabt, wobei das Mesophyll bis zu den roten Hypodermalzellen der Oberseite entfernt wurde. Hierauf wurden die Plättchen in kleine viereckige Schnitte von ungef. 1 mm.^{2} Flächengrösse zerlegt. Nach dem Auswaschen wurden die Schnitte unter dem Mikroskop kontrolliert und die besten davon ausgewählt. Zur nachherigen Beobachtung dienten nur die Epidermiszellen der Blattoberseite.

Die auf solche Weise erhaltenen Schnitte waren wohl ziemlich dick, doch konnte man verhältnismässig gut die nötigen Beobachtungen ausführen und diese Herstellungsmethode garantierte die Intaktheit der Epidermiszellen.

Solche Schnitte haben den Vorzug, dass bei ihrer unbeträchtlichen Grösse: 1) von einer kleinen Fläche des Blattes eine genügende Menge des gleichen und vergleichbaren Materials gewonnen werden kann, 2) das Mikroskopieren dadurch erleichtert wird, dass bei den entsprechenden Vergrösserungen die Schnitte ganz im Gesichtsfelde liegen.

Die ausgewählten Schnitte kamen in die zu untersuchenden Lösungen. — Die angewandten Lösungen waren äquivalent-normal. Das Kristallwasser in den Salzen wurde stets berücksichtigt. Die zu den Koagulationsversuchen benutzten Salze stammten teilweise von Kahlbaum, teilweise von anderen ausländischen Firmen. Die bei den Permeabilitätsversuchen angewandten Salze stammten von Merck („zur Analyse"). Für den ersten Teil der Versuche wurde gewöhnliches destilliertes Wasser angewandt, für die Permeabilitätsversuche doppelt destilliertes.

Die erste Serie der Versuche wurde in diffusem Tageslicht angestellt, die übrigen Serien im Dunkeln. Die Temperatur während der Versuchszeit schwankte zwischen 15—20° C.

In jede zu untersuchende Lösung kamen bis 150 Schnitte, von denen in gleichen Zeitabschnitten (im ganzen 10—15) je 10 Schnitte herausgenommen, auf 15 Min. in destilliertes Wasser gebracht und nachher in Rohrzuckerlösung auf dem Objektglas plasmolysiert wurden.

Je nach der Salzlösung und der Zeit des Aufenthalts der Schnitte in denselben, war ein Teil der Zellen in den Schnitten, bisweilen auch ganze Schnitte, mehr oder weniger geschädigt; die Zellen waren entweder plasmolyseunfähig oder meistenteils leer.

Um die Wirkung einer jeden Lösung genauer zu bestimmen, wurden alle untersuchten Schnitte nach der Grösse ihrer plasmolysefähigen Fläche in Rohrzuckerlösung in folgende fünf Kategorien geteilt.

I	Kategorie	ganze Fläche der Schnitte plasmolysiert.
II	„	weniger als $^4/_4$ bis $^3/_4$ der Fläche plasmolysiert.
III	„	. . . . . $^3/_4$ „ $^1/_2$ „ „
IV	„	. . . . . $^1/_2$ „ $^1/_4$ „ . . „
V	„	. . . . . $^1/_4$ „ 0 „ „

In den Tabellen (s. unten) sind diese fünf Kategorien durch $^4/_4$, $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$ und 0 bezeichnet und somit sind, ausser der I Kategorie, für die übrigen die unteren Grenzen der plasmolysefähigen Fläche angegeben. Die plasmolysefähige Fläche der Schnitte, nach der Einwirkung der Salze, ist in den Tabellen zwecks Übersichtlichkeit auch in Prozenten angegeben. Die angeführten Zahlen haben nur einen qualitativen Wert. Die Gesamtfläche von je 10 Schnitten, die gleichzeitig aus der Lösung herausgenommen wurden, ist gleich 100%. Wenn z. B. nach

dem Aufenthalt im Laufe von 20 Min. in der NH_4-Lösung von 10 Schnitten bei 6 Schnitten $^4/_4$ der Fläche plasmolysefähig war, bei 3 Schn. $< {}^4/_4$ bis $^3/_4$ und bei 1 Schn. $< {}^3/_4$ bis $^1/_2$, so ist der Prozentsatz der plasmolysefähigen resp. lebenden Zellen $(6.{}^4/_4 + 3.{}^3/_4 + {}^1/_2) \cdot 10 = 87{,}5\,\%$. Beim Ausrechnen der Prozente kam die fünfte Kategorie nicht in Betracht.

Als Beispiel sind unten zwei Tabellen angeführt.

Tabelle 1. $MgSO_4$ 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		$^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	
1 Stde		10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn		10	—	—	—	—	100,0
3 „		10	—	—	—	—	100,0
4 „		8	2	—	—	—	95,0
5 „		5	5	—	—	—	87,5
6 „		8	2	—	—	—	95,0
7 „		8	2	—	—	—	95,0
8 „		9	1	—	—	—	97,5
9 „		3	6	1	—	—	80,0
10 „		4	6	—	—	—	85,0

Tabelle 2. NaF 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		$^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	
30 Min.		9	1	—	—	—	97,5
1 Stde		1	5	2	2	—	62,5
1 St. 30 M.		—	6	3	1	—	62,5
2 Stdn		—	—	6	4	—	40,0
3 „		—	1	1*	7	1	30,0
4 „		—	—	1	1	2;6*	7,5
5 „		—	—	1	4	5*	15,0
6 „		—	—	—	—	3;7*	0
7 „		—	—	—	—	10*	0

* — leere Zellen.

Aus dem oben Angeführten ist es ersichtlich, dass uns als Kriterium für den Schädigungsgrad der Schnitte in den Lösungen die Menge der plasmolysefähigen Zellen dient. Je mehr von den letzteren sich in den Schnitten befindet, desto schwächer ist die Wirkung der Lösung. Es fragt sich nun, inwiefern die beschriebene Methode dafür Gewähr leistet, dass die erhaltenen Resultate auf die unmittelbare physiologische Wirkung der Salze zu beziehen sind und die Ergebnisse nicht durch Nebenfaktoren geändert werden können, insbesondere durch das Plasmolysieren und Deplasmolysieren der Zellen. Bei den Versuchen mit den Rotkrautzellen wurden ziemlich starke Lösungen angewandt (0,35 *n*; 0,5 *n* und stärkere), da schwächere Lösungen zu langsam wirkten. So zum Beisp. wiesen die Schnitte nach 12-stündigem Verweilen in Lösungen von 0,35 norm. (die niedrigste Konzentration bei den Versuchen mit den Rotkrautschnitten) folgenden Prozentsatz der plasmolysefähigen Fläche auf: in $NaBr$—95%; in $NaNo_3$—92,5%; in KCl—100%; nach 24 Stunden in den Lösungen

von Na_2SO_4, K-tartrat, $MgCl_2$, $CaCl_2$ — alle 100 %; in $SrCl_2$ und in $BaCl_2$ — je 95 %; d. h. die Wirkungsunterschiede bei allen Lösungen sind unbeträchtlich und liegen innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers. Infolgedessen wurden bei den Versuchen mit den Rotkrautzellen solche Konzentrationen der Lösungen gewählt, die bei den Zellen gleichzeitig auch eine mehr oder minder grosse Plasmolyse hervorriefen. Nach der Übertragung der Schnitte aus den Lösungen in destilliertes Wasser ging eine ziemlich vollständige Deplasmolyse vor sich und nachher wurden sie zwecks der Bestimmung der koagulierten Zellen in Rohrzuckerlösung unter dem Mikroskop plasmolysiert.

Andererseits ist es bekannt, dass eine schnell vor sich gegangene Plasmolyse und insbesondere die darauf folgende Deplasmolyse in einigen Fällen als Ursache des Protoplasmatodes anzusehen sind. Dieser Umstand hängt, nach der Meinung von Lepeschkin[1]), von der schnellen Deformation des Protoplasten ab, wobei eine Art der mechanischen Koagulation der Plasmamembran zustande kommt.

Es hat sich aber herausgestellt, dass die Zellen verschiedener Pflanzen in bezug auf die Plasmolyse eine grosse Individualität aufweisen, die in weiten Grenzen schwankt. So koaguliert nach den Versuchen von Lepeschkin das Plasma von *Spirogyra* bei der Plasmolyse schon in relativ schwachen Kochsalz- und Salpeterlösungen, die Epidermiszellen von *Tradescantia discolor* dagegen ertragen die Plasmolyse in stärkeren Lösungen derselben Stoffe gut.

Wie verhalten sich die Rotkrautzellen zum oben beschriebenen Deformieren der Protoplasten bei der Plasmolyse resp. Deplasmolyse?

Nach unseren einschlägigen Erfahrungen gehört diese Pflanze zu den wenigen, die einen sehr grossen Widerstand gegen die genannten schädlichen Einflüsse besitzt. Als Beweis des Gesagten dient uns folgender Versuch. Es wurden 60 Schnitte in 1 Mol Rohrzuckerlösung gebracht, in den in Tab. 3 angegebenen Zeiten herausgenommen und im Laufe von einer halben Stunde in Wasser deplasmolysiert, wobei eine vollständige Deplasmolyse zustande kommt; nachdem wurden sie noch einmal in derselben Zuckerlösung plasmolysiert. Bei solcher Behandlung

1) W. W. Lepeschkin. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 28, S. 385.

wiesen die Schnitte keine toten Zellen auf, sondern zeigten alle eine gute Plasmolyse, ungeachtet dessen, dass einige Schnitte bis 23 Stunden in den Lösungen gelegen hatten.

Wir erhalten aber ein ganz anderes Bild, wenn wir statt Saccharose halbnormale Lösungen einiger Alkalisalze nehmen, z. B. *KBr*, KNO_3, *KCl* und K_2SO_4.

Tabelle 3. Saccharose 1,0 mol.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Die Zahl der Schnitte.	Der plasmolysierte Teil der Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Std.	10	—	—	—	—		100,0
4 „	10	—	—	—	—		100,0
6 „	10	—	—	—	—		100,0
12 „	10	—	—	—	—		100,0
17 „	10	—	—	—	—		100,0
23 „	10	—	—	—	—		100,0

In den Lösungen von Bromid und Nitrat haben je 110 Schnitte nach dem Verweilen in den Lösungen im Laufe von 1 St. 50 Min. durchschnittlich, in KBr — 17%, in KNO_3 — 35% der plasmolysefähigen Fläche, wobei die Schnitte nach je 10 Min. in 11 Zeitabschnitten herausgenommen wurden. Dagegen war die plasmolysefähige Fläche im Laufe von 4 Stunden in Lösungen von Chlorid und Sulfat in KCl — 47%, in K_2SO_4 — 99% (Mittelwerte aus je 40 Schnitten). Somit sind in der Lösung von KBr in zwei Stunden etwa $^5/_6$, in der von KNO_3 $^2/_3$ aller Zellen koaguliert, während in der K_2SO_4-Lösung in zweimal längerer Zeit beinahe alle Zellen intakt waren.

Solch eine Verschiedenheit in der Wirkung der Salze kann nicht durch das Plasmolysieren und Deplasmolysieren verursacht sein, aus dem Grunde weil: 1) die Lösungen ungefähr isotonisch sind und die Plasmolyse überall beinahe dieselbe Grösse erreicht; 2) in der Lösung von Rohrzucker, bei gleichen übrigen Bedingungen, bei einer viel grösseren Plasmolyse und im Laufe längerer Zeit keine Schädigungen in den Schnitten zu beobachten sind.

Deswegen ist hier die Wirkung der Salze als eine spezifische, die einem jeden Salz in verschiedenem Grade eigen ist.

Diese Meinung wird dadurch gestützt, dass die Ergebnisse mit den Rotkrautschnitten mit solchen mit den Schnitten von *Zebrina pendula* vollständig übereinstimmen, wobei schwächere Lösungen angewandt wurden und das Deplasmolysieren ausfiel. Ausserdem haben wir die gleichen Resultate auch bei der An-

wendung hoher Temperatur in Kombination mit den Salzwirkungen auf die Plasmakoagulation erhalten[1]).

Aus dem Obengesagten folgt nicht, dass wir den schädlichen Einfluss der Plasmolyse und Deplasmolyse im Sinne der mechanischen Einwirkung auf das Plasma nicht anerkennen, doch wegen des Mangels an einer besseren Methode für das schnelle Bestimmen der koagulierten Zellen konnten wir nicht auf das Plasmolysieren verzichten, da es wohl das einzige sichere Unterscheidungsmerkmal der toten Zellen von lebenden darstellt[2]). Dabei müssen wir in Betracht ziehen die grosse Widerstandsfähigkeit der Rotkrautzellen und den Umstand, dass durch das Plasmolysieren die physiologischen Wirkungen der Salze nicht geändert werden. Es sei hier hinzugefügt, dass diese Methode ganz speziell für den Rotkohl angepasst ist und kaum ohne Veränderung für eine andere Pflanze anzuwenden wäre.

Im allgemeinen bestand der mechanische Einfluss des Deplasmolysierens bei unseren Versuchen darin, dass dadurch die schon mehr oder minder fortgeschrittene Koagulation einiger Zellen in den Schnitten zu Ende geführt wurde. Bei der ersten Besichtigung unter dem Mikroskop der in den Lösungen behandelten Schnitte sieht man in der Regel unter den plasmolysierten Zellen auch solche, bei denen die Plasmolyse teilweise oder gänzlich zurückgegangen ist. Nach der Farbe sind solche Zellen etwas blasser, bisweilen haben sie aber auch eine normale Färbung. Das sind geschädigte Zellen, deren Plasmamembran bereits koaguliert ist und die demgemäss auch ihre selektiven Eigenschaften in bezug auf die molekulardisperse Stoffe verloren hat und das kolloidgelöste Pigment des Zellsaftes noch zurückhält. Mit der Übertragung solcher Schnitte ins Wasser bekommt die Plasmamembran Risse und lässt das Pigment heraustreten und die Zellen entfärben sich. Die beschriebene Förderung der Koagulation durch die Deplasmolyse verändert nicht wesentlich die Beziehung zwischen den Aktivitäten einzelner Salze, denn einerseits ist der Einfluss des Deplasmolysierens in allen Versuchen der gleiche, andererseits wird dadurch das Erzielen siche-

1) H. Kaho, Acta et Commentationes Univ. Dorpatensis A II_4 1921 (estnisch).

2) Vgl. Widar Brenner, Uber die Wirkung von Neutralsalzen auf die Säureresistenz, Permeabilität und Lebensdauer der Protoplasten. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 38. 1920 S. 277.

rer Resultate gefördert und das Bestimmen der koagulierten Zellen erleichtert.

Weiter entsteht die Frage: wie verhalten sich die Schnitte zum endgültigen Plasmolysieren in Zuckerlösung, nachdem sie aus den Salzlösungen ins Wasser gebracht worden waren und dort gelegen hatten; werden nicht durch diese Plasmolyse weitere Schädigungen in den Schnitten hervorgerufen? Die Schnitte wurden, in der Regel, aus dem Wasser auf ein Objektglas in 25 % Zuckerlösung übertragen und sogleich die Beobachtungen unter dem Mikroskop über die beginnende Plasmolyse angestellt, um damit alle Veränderungen, die in den Zellen bis zur Herstellung des osmotischen Gleichgewichts stattgefunden haben, beobachten zu können. Dabei erwies es sich, dass alle Zellen, die nach der Deplasmolyse in Wasser ein normales Aussehen beibehalten hatten, in der Regel ziemlich schnell plasmolysierten und keine weiteren Veränderungen aufwiesen[1]). Die Bestimmung der Grösse der plasmolysefähigen Fläche der Schnitte bezieht sich auf die ersten 10—20 Min. der Plasmolyse in Zuckerlösung.

Die Zeiten des Verweilens der Schnitte in den Lösungen wurden für alle Fälle so gewählt, dass 1) im Laufe der Zeit, wo die Schnitte in den Lösungen blieben, die Wirkung der Salze möglichst gut zur Geltung kam und dass 2) die Ergebnisse der Versuche in verschiedenen Lösungen für die gleichen Zeitabschnitte miteinander stets verglichen werden konnten.

Bei der Vergleichung der Wirkungen verschiedener Salzlösungen müssen wir bei den übrigen gleichen Bedingungen folgende vier Grössen in Betracht ziehen: 1) die physiologische Wirkung der betreffenden Salzlösung, die durch die plasmolysefähige Fläche der Schnitte ausgedrückt werden kann, 2) die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in der Lösung, 3) die Konzentration der Lösung des zu untersuchenden Stoffes und 4) die Individualität der Zellen. Es leuchtet ein, dass es unmöglich ist, die Wechselbeziehungen dieser vier Grössen in einer Formel auszudrücken, insbesondere deswegen, weil es schwierig ist, für die vierte Grösse, die Individualität der Zellen, eine Messungsmethode zu finden. Die obengenannte Individualität der Zellen bestand

1) Alle nicht plasmolysefähigen Zellen waren ausnahmslos leer und das Plasma bereits koaguliert und entfärbt.

darin, dass Schnitte, die von verschiedenen Stellen des Blattes gewonnen worden waren (Zellen verschiedenen Alters), sich ziemlich verschieden zu ein und derselben Salzlösung verhielten. Darum bemühten wir uns, zuerst diese Grösse auszuschliessen. Dieses erreichten wir bis zum gewissen Grade mit folgenden Massnahmen: 1) die zu den Versuchen angewandten Schnitte wurden entweder von den einander naheliegenden Blattpartien oder von symmetrisch gelegenen Teilen desselben Blattes hergestellt; 2) es wurde gleichzeitig eine genügende Menge der Schnitte hergestellt (3000—4000), die zur Anstellung einer ganzen Serie von Versuchen mit den Lösungen von derselben Konzentration nötig waren, und vor der Einteilung der Schnitte in Portionen wurden sie sorgfältig durchgemischt; 3) es wurden die Ergebnisse der Salzwirkungen nur in den Grenzen derselben Serie verglichen und dabei auf denselben Versuchsfehler Rücksicht genommen.

Somit wird für die Untersuchung feinerer Wirkungsunterschiede der Lösungen noch eine Grösse ausgeschlossen — die Konzentration der Lösungen, d. h. es werden die Wirkungen von Lösungen nur ein u. derselben Konzentration verglichen. Dieses ist dadurch bedingt, dass es unmöglich ist, von einem Blatt die nötige Menge gleicher Schnitte für mehrere Versuchsserien zu gewinnen, ausserdem ist es schwierig, während der Versuchszeit der ersten Serien die übrigen vorbereiteten Schnitte intakt zu erhalten.

Somit haben wir jetzt nur zwei Grössen: das Prozent der plasmolysefähigen Fläche der Schnitte und die Zeit des Verweilens der letzteren in der Lösung.

Den funktionalen Zusammenhang zwischen diesen Grössen könnte man leicht graphisch in Gestalt von Kurven darstellen; das Vergleichen der letzteren wäre auch nicht schwierig in dem Falle, wenn sie einen ungefähr gleichartigen Verlauf nehmen würden. Leider ist das nicht immer der Fall, da es häufig vorkommt, dass die Kurven sich gegenseitig mehrmals schneiden und das Vergleichen derselben schwierig und bisweilen sogar unmöglich wird. In solchen Fällen war es erforderlich, für den Vergleich der Salzwirkungen ein anderes, zuverlässigeres Kriterium zu finden. Ein solches Kriterium haben wir in den Mittelprozenten der plasmolysefähigen Fläche der Schnitte, die für die gleichen Zeitabschnitte berechnet werden. Diese Vergleichungsmethode hat den Vorzug, dass beim Experimentieren

mit verschiedenen Lösungen (d. h. wenn man die Wirkungen derselben auf mikroskopischem Wege schätzt) die erhaltenen Mittelprozente sich leicht miteinander parallel vergleichen lassen.

Somit haben wir für den Vergleich der koagulierenden Wirkung der Salze auf das Plasma zwei Kriterien: die Mittelprozente der plasmolysefähigen Fläche der Schnitte und die Kurven, die den Zusammenhang zwischen diesen Prozenten und der Wirkungsdauer der Salze ausdrücken. In den unten beschriebenen Vergleichungen werden wir hauptsächlich das erste Kriterium benutzen und nach Möglichkeit die Ergebnisse auch durch die Kurven illustrieren. Als Beispiel seien hier zwei Tabellen angeführt.

Tabelle 4. NH_4CNS 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche (Die Zahl der Schnitte)						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		4	6	—	—	—	85,0
2 Stdn		1	7	2	—	—	72,5
3 „		—	8	2	—	—	70,0
4 „		—	7	3	—	—	67,5
5 „		—	5	5	—	—	62,5
6 „		—	5	5	—	—	62,5
7 „		—	2	4	2	2	40,0
8 „		—	4	3	3	—	52,5
9 „		—	3	5	2	—	52,5
10 „		—	2	3	3	2	37,5
11 „		—	—	2	6	2	25,0
12 „		—	—	3	4	3	25,0

Tabelle 5. NH_4Br 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche (Die Zahl der Schnitte)						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn		8	2	—	—	—	95,0
3 „		8	2	—	—	—	95,0
4 „		7	3	—	—	—	92,5
5 „		6	4	—	—	—	90,0
6 „		1	6	3	—	—	70,0
7 „		5	5	—	—	—	87,5
8 „		6	2	2	—	—	85,0
9 „		4	5	1	—	—	82,5
10 „		—	8	2	—	—	70,0
12 „		4	4	2	—	—	80,0
14 „		5	4	1	—	—	85,0

Um die Resultate in den angeführten Tabellen (№ 4 und № 5) miteinander zu vergleichen, sind die Mittelprozente aus je 11 Daten der letzten Spalten der Tabellen genommen (für 1—10 Stunden und für 12 Stunden.) Wir erhalten somit für NH_4CNS——57 %, für NH_4Br—86,1 %.

Es fragt sich nun, wie gross muss die minimale Differenz zwischen den zu vergleichenden Mittelprozenten sein, wenn wir annehmen können, dass zwei Lösungen eine verschieden starke Wirkung haben. Diese Frage war am leichtesten auf praktischem Wege zu lösen und zwar bei einer grösseren Zahl der Versuche mit ziemlich gleich wirkenden Lösungen. Nach Been-

digung der Versuche mit solchen Lösungen konnten wir auf Grund der noch eben angestellten Beobachtungen deutlich den Wirkungsunterschied zweier Lösungen wahrnehmen, wenn die für gleiche Zeitabschnitte (8—10 Zeitabschnitte) berechneten Mittelprozente nicht mehr als um 10 % differierten. Diese Grösse werden wir im weiteren Vergleich in Betracht ziehen.

Die Methodik der Versuche mit Schnitten von *Zebrina pendula.*

Für die Versuche dienten uns zehn Pflanzen, die auf dem vegetativen Wege aus einer Pflanze gezogen wurden. Die Schnitte wurden aus den mittleren Partien der stark gefärbten Blattunterseite hergestellt. Es wurden von den Blättern die Spitze, die Basis und schmale Streifen der Seiten abgeschnitten und das nachgebliebene viereckige Stück der Blattspreite längs der Mittelrippe in zwei Teile zerlegt. Die auf solchem Wege erhaltenen Streifen wurden vorsichtig und leicht von der Oberseite mit dem Rasiermesser abgeschabt, so dass das Wassergewebe entfernt wurde, das hier ungefähr die Hälfte der Blattdicke betrug und das sich leicht von dem unter ihm liegenden chlorophyllführenden Gewebe abtrennen liess. Die Streifen wurden mit destilliertem Wasser abgewaschen und in viereckige Stücke von ungefähr 2—4 mm^2 Flächengrösse zerlegt. Nach wiederholtem Waschen wurden die Schnitte unter dem Mikroskop kontrolliert und die beschädigten und sonst untauglichen entfernt. Für die Beobachtungen wurden die Epidermiszellen der Blattunterseite bestimmt.

Wegen der grösseren Empfindlichkeit des Objektes war die Konzentration der angewandten Lösungen bedeutend niedriger, als bei den Versuchen mit Rotkrautschnitten. Für die meisten Fälle wurde die Konzentration empirisch auf 0,2 norm. festgelegt.

In jede zu untersuchende Lösung kamen 100—150 Schnitte, die ebenso wie beim Rotkohl in gewissen Zeitabschnitten zu je 10 herausgenommen wurden. Darauf wurden die Schnitte in eine hypertonische Rohrzuckerlösung gebracht (0,5 Mol), die die bereits vorhandene schwache Plasmolyse vergrösserte und das Bestimmen der koagulierten Zellen ermöglichte.

Zwecks grösserer Genauigkeit beim Vergleichen der Salzwirkungen wurde die Zählmethode der Zellen angewandt, was

auch bei der beträchtlichen Grösse der letzteren möglich war. Da das Zählen in der Regel schnell ausgeführt werden musste, so wurde die Gesamtmenge der Zellen in den Schnitten mit einer Genauigkeit bis 10% bestimmt. Die Menge der koagulierten Zellen konnte gewöhnlich ganz genau bestimmt werden. Infolge des Gesagten haben die Versuchsergebnisse mit *Zebrina pendula* ebenso wie die mit den Rotkrautschnitten nur einen qualitativen Wert.

Versuche.

I Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 6. Na_2SO_4 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn		5	4	1	—	—	85,0
3 „		6	4	—	—	—	90,0
4 „		6	3	1	—	—	87,5
5 „		—	6	4	—	—	65,0
6 „		4	3	1	2	—	72,5
7 „		—	5	3	2	—	57,5
8 „		—	5	2	3	—	55,0
9 „		—	7	3	—	—	67,5
10 „		—	6	3	1	—	62,5

Tabelle 7. $(NH_4)_2SO_4$ 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		10					100,0
2 Stdn		7	2	1	—	—	90,0
3 „		4	5	1	—	—	82,5
4 „		—	9	1	—	—	72,5
5 „		—	7	3	—	—	67,5
6 „		—	7	3	—	—	67,5
7 „		—	6	4	—	—	65,0
8 „		—	7	3	—	—	67,5
9 „		—	8	2	—	—	70,0
10 „		—	7	3	—	—	67.5

Tabelle 8. K_2SO_4 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn		10	—	—	—	—	100,0
3 „		9	1	—	—	—	97,5
4 „		9	1	—	—	—	97,5
5 „		7	3	—	—	—	92,5
6 „		7	2	1	—	—	90,0
7 „		6	3	1	—	—	87,5
8 „		—	8	1	1	—	67,5
9 „		1	7	2	—	—	72,5
10 „		4	3	3	—	—	77,5

Tabelle 9. *Na-Zitrat* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn		9	1	—	—	—	97,5
3 „		9	1	—	—	—	97,5
4 „		2	8	—	—	—	80,0
5 „		3	7	—	—	—	82,5
6 „		—	8	2	—	—	70,0
7 „		2	6	2	—	—	75,0
8 „		—	5	4	1	—	60,0
9 „		—	6	2	2	—	60,0
10 „		—	5	3	2	—	57,5

Tabelle 10. *NH_4-Zitrat* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	4	4	2	—	—	80,0
3 „	4	3	2	1	—	75,0
4 „	2	—	3	2	*3	40,0
5 „	—	—	2	—	*8	10,0
6 „	—	1	—	2	7	10,0
7 „	—	—	2	5	3	22,5
8 „	—	—	—	1	9	2,5
9 „	—	—	—	—	*10	0
10 „	—	—	—	—	*10	0

Tabelle 11. *K-Zitrat* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	7	3	—	—	—	92,5
3 „	8	2	—	—	—	95,0
4 „	3	6	1	—	—	80,0
5 „	5	5	—	—	—	87,5
6 „	—	5	4	1	—	60,0
7 „	2	6	2	—	—	75,0
8 „	2	4	2	2	—	65,0
9 „	2	3	4	1	—	65,0
10 „	—	4	2	1	*2,1	45,0

Tabelle 12. *Na-Tartrat* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
3 „	7	3	—	—	—	92,5
4 „	3	5	1	1	—	75,0
5 „	2	6	2	—	—	75,0
6 „	—	7	2	1	—	65,0
7 „	1	8	1	—	—	75,0
9 „	—	7	3	—	—	67,0
10 „	—	6	2	2	—	60,0

Tabelle 13. *NH_4-Tartrat* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	5	2	3	—	—	80,0
3 „	1	3	4	2	—	57,5
4 „	1	6	2	1	—	62,5
5 „	1	4	4	2	—	65,0
6 „	—	4	4	2	—	55,0
7 „	—	4	3	3	—	52,5
8 „	1	4	2	3	—	57,5
9 „	—	3	2	4	*1	42,5
10 „	—	1	4	2	*3	32,5

Tabelle 14. *K-Tartrat* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	3	4	2	1	—	72,5
3 „	3	4	2	1	—	72,5
4 „	1	4	1	4	—	55,0
5 „	—	6	4	—	—	65,0
6 „	—	3	1	2	1;*3	32,5
7 „	—	3	4	3	—	50,0
8 „	—	2	3	3	*2	37,5
9 „	—	3	3	3	*1	45,0
10 „	—	4	5	—	*1	55,0

Tabelle 15. *NaF* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	10	—	—	—	—	100,0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
3 „	9	1	—	—	—	97,5
4 „	4	5	—	1	—	80,0
5 „	2	5	2	1	—	75,0
6 „	—	7	3	—	—	67,5
8 „	1	6	1	2	—	65,0
9 „	—	4	4	2	—	55,0
10 „	—	—	3	5	*2	27,5

Tabelle 16. *NaCl* 0,5*n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	1	—	5	4	—	45,0
1 Stde	—	2	—	2	3;* 3	20,0
1St. 20M.	—	4	1	2	* 3	40,0
1St. 40M.	—	6	2	—	* 2	55,0
2 Stdn	—	3	1	2	4	32,5
2St. 20M.	—	4	1	3	* 2	42,5
2St. 40M.	—	1	1	4	* 4	22,5
3 Stdn	—	2	2	—	3;* 3	25,0
3St. 20M.	—	—	2	3	3;2	17,5
3St. 40M	—	4	3	2	* 1	50,0

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 17. NH_4Cl 0,5*n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	—	3	4	1	2	45,0
1 Stde	—	2	2	4	1;* 1	35,0
1St. 20M.	—	3	2	2	* 3	37,5
1St. 40M.	2	7	1	—	—	77,5
2Stdn	—	5	3	2	—	57,5
2St. 20M.	—	5	1	2	1;* 1	47,5
2St. 40M.	—	3	4	3	—	50,0
3Stdn	—	2	3	3	2	37,5
3St. 20M.	—	1	3	1	1;* 4	25,0
3St. 40M.	—	1	4	2	* 3	32,5

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 18. *KCl* 0,5*n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	7	3	—	—	—	92,5
1 Stde	6	4	—	—	—	90,0
1St. 20M.	5	4	1	—	—	85,0
1 „ 40 „	3	3	—	1	3	55,0
2 Stdn	—	3	2	2	3	37,5
2St. 20M.	—	2	—	3	* 4,1	22,5
2 „ 40 „	—	—	3	4	3	25,0
3 Stdn	—	—	2	2	* 4,2	15,0
3St. 20M.	—	—	4	4	2	30,0
3 „ 40 „	—	4	2	2	2	45,0

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 19. *LiCl* 0,5*n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	—	2	3	3	2	37,5
1 Stde	—	—	2	5	3	22,5
1St. 20M.	—	2	1	4	* 3	30,0
1St. 40M.	—	4	2	2	2	45,0
2 Stdn	—	1	1	4	4	22,5
2St. 20M.	—	3	1	2	4	37,5
2St. 40M.	—	2	2	2	4	30,0
3 Stdn	—	1	1	1	* 3,4	15,0
3St. 20M.	—	—	1	1	* 3	7,5
3St. 40M.	—	3	1	1	* 2;3	30,0

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 20. $NaC_2H_3O_2$ 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.		2	5	2	1	—	70,0
20 „		—	1	5	3	1	40,0
30 „		1	3	3	2	1	52,5
40 „			6	3	1	—	62,5
50 „		—	2	3	4	1	40,0
1 Stde		—	4	—	1	4,1*	32,5
1St. 10M.		—	4	2	3	1	52,5
1St. 20M.		—	1	2	1	4;2	20,0
1St. 40M.		—	3	2	1	4	35,0
2 Stdn		—	2	3	—	2;3*	30,0
3 Stdn		—	—	2	3	5	17,5
3St. 40M.		—	—	1	2	4;3*	10,0

Tabelle 21. $NH_4C_2H_3O_2$ 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.		—	10				75,0
20 „		—	4	3	3	—	52,5
30 „		1	9	—	—	—	77,5
40 „		—	3	3	3	1	55,0
50 „		—	2	2	4	2*	35,0
1 Stde		—	1	5	3	1	40,0
1St. 10M.		—	—	1	5	4	17,5
1St. 20M.		—	3	2	3	2	40,0
1St. 40M.		2	4	—	2	2	55,0
2 Stdn		—	2	1	4	3	30,0
2St. 20M.		—	—	3	4	3*	25,0
3St. 40M.		—	—	1	2	4;3*	10,0

Tabelle 22. $KC_2H_3O_2$ 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.		—	3	1	3	2;1*	35,0
20 „		—	2	3	3	2	37,5
30 „		—	4	3	3	—	52,5
40 „		—	5	2	2	1	52,5
50 „		—	3	2	3	1;1*	40,0
1 Stde		—	2	3	1	2;2*	32,5
1St. 10M.		—	7	1	1	1	60,0
1St. 20M.		—	3	3	3	1	55,0
1St. 40M.		—	—	4	4	2	30,0
2 Stdn		—	—	—	4	4;2*	10,0
2St. 20M.		—	—	—	1	3;6*	2,5
3St. 40M.		—	—	—	—	10*	0

Tabelle 23. $NaNO_3$ 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.		1	4	4	1	—	62,5
20 „		1	6	3	—	—	70,0
30 „		—	6	4	—	—	65,0
40 „		—	6	3	1	—	62,5
50 „		—	3	4	2	1*	47,5
60 „		—	1	1	4	4*	22,5
1St. 10M.		—	1	4	5	—	40,0
1St. 20M.		—	2	4	3	1*	42,5
1St. 30M.		—	2	2	2	1;3*	30,0
1St. 40M.		—	1	4	3	1;1*	32,5
1St. 50M.		—	2	3	3	2	37.5
2 Stdn		—	—	4	1	2;3*	22,5

Tabelle 24. NH_4NO_3 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	2/4	1/4	0	
10 Min.	—	1	2	4	2;1*	27,5
20 „	—	2	1	1	3;3*	27,5
30 „	—	2	3	1	4	37,5
40 „	—	1	3	4	2	32,5
50 „	—	—	2	4	4	20,0
1 Stde	—	—	3	3	2;2*	22,5
1 St. 10 M.	—	—	4	2	2;2*	25,0
1 „ 20 „	—	—	3	2	4;1*	20,0
1 „ 30 „	—	—	2	2	1;5*	15,0
1 „ 40 „	—	—	2	2	6*	15,0
1 „ 50 „	—	—	—	1	9*	2,5

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 25. KNO_3 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	1	5	3	1	—	65,0
20 „	3	7	—	—	—	82,5
30 „	—	2	3	2	1;2*	52,0
40 „	—	2	3	4	1*	40,0
50 „	—	4	1	2	2;1*	37,5
1 Stde	—	3	3	—	2;2*	37,5
1 St. 10 M.	—	—	2	3	1;4*	17,5
1 „ 20 „	—	—	2	1	1;6*	17,5
1 „ 30 „	—	—	2	4	1;3*	20,0
1 „ 40 „	—	—	4	3	3	27,5
1 „ 50 „	—	—	4	3	3	27,5

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 26. *NaBr* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	7	3	—	—	—	92,5
20 „	3	2	4	—	1	65,0
30 „	—	3	5	1	1	50,0
40 „	—	—	3	4	2;1*	25,0
50 „	—	4	2	1	2;1*	42,5
1 Stde	—	2	2	3	1;2*	37,5
1 St. 10 M.	—	1	1	1	5;2*	15,0
1 „ 20 „	—	1	1	1	3;4*	15,0
1 „ 30 „	—	—	5	2	3*	30,0
1 „ 40 „	—	—	4	2	1;3*	25,0
1 „ 50 „	—	—	2	3	2;3	17,5

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 27. NH_4Br 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	3	5	2	—	—	77,5
20 „	6	3	1	—	—	87,5
30 „	—	2	2	2	4	30,0
40 „	—	2	3	3	1;1*	37,5
50 „	—	—	3	2	1;4*	20,0
1 Stde,	—	—	2	2	1;5*	15,0
1 St. 10 M.	—	—	1	3	3;3*	12,5
1 „ 20 „	—	—	1	—	9*	5,0
1 „ 30 „	—	—	1	1	8*	7,5
1 „ 40 „	—	—	—	2	8*	5,0
1 „ 50 „	—	—	—	—	10*	0

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 28. *KBr* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	1	3	2	4	—	52,5
20 „	1	2	4	—	3	45,0
30 „	—	2	—	2	1;5*	20,0
40 „	—	—	3	2	2;3*	20,0
50 „	—	2	2	2	2;2*	30,0
1 Stde	—	—	1	1	8	7,5
1 St. 10 M.	—	—	—	1	8;1*	2,5
1 „ 20 „	—	—	—	2	8	5,0
1 „ 30 „	—	—	—	1	8;1*	2,5
1 „ 40 „	—	—	—	1	9*	2,5
1 „ 50 „	—	—	—	—	10*	0

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 29. *NaJ* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	3	2	2	1;2*	37,5
10 „	—	3	3	2	2	42,5
15 „	—	4	1	1	2;2*	37,5
20 „	—	5	2	2	1*	52,5
30 „	—	1	2	2	3;2*	22,5
40 „	—	—	2	3	5	17,5
50 „	—	—	5	2	2;1*	30,0
60 „	—	—	1	3	6	12,5

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 30. NH_4J 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	2	2	3	3	32,5
10 „	—	—	4	5	1	32,5
15 „	—	2	2	3	3	32,5
20 „	—	4	5	1	—	57,5
30 „	—	1	4	2	2;1*	32,5
40 „	—	—	4	4	2*	30,0
50 „	—	—	1	1	2;6*	7,5
60 „	—	—	1	3	4;2*	12,5

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 31. *KJ* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	2	3	2	3	32,5
10 „	—	1	2	4	3	27,5
15 „	—	2	1	4	3	35,0
20 „	—	—	2	3	4;1*	17,5
30 „	—	—	2	4	3;1*	20,0
40 „	—	—	2	6	1;1*	25,0
50 „	—	—	2	3	2;3*	17,5
60 „	—	—	2	3	5*	17,5

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 32. *NaCNS* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	1	2	5	1;1*	30,0
10 „	—	—	2	6	2	25,0
15 „	—	2	1	3	2;2*	27,5
20 „	—	—	1	3	3;3*	12,5
30 „	—	—	1	4	3;2*	15,0
40 „	—	—	—	2	6;2*	5,0
50 „	—	—	—	—	7;3*	0
60 „	—	—	—	—	10*	0

Die Zahl der Schnitte

Tabelle 33. NH_4CNS 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	—	1	1	3;5*	7,5
10 „	—	2	—	4	2;2*	25,0
15 „	—	—	2	2	2;4*	15,0
20 „	—	—	—	2	7;1*	5,0
30 „	—	—	—	—	1;9*	0
40 „	—	—	—	—	10*	0
50 „	—	—	—	—	10*	0

Die Zahl d. Schnitte

Tabelle 34. *KCNS* 0,5*n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl d. Schnitte	4/4	3/4	1/2	1/4	0
5 Min.		—	2	—	2	3;3*	20,0
10 „		—	—	2	2	4;2*	15,0
15 „		—	—	4	3	3	27,5
20 „		—	—	1	1	3;5*	7,5
30 „		—	—	—	2	3;5*	5,0
40 „		—	—	—	—	3;7*	0
50 „		—	—	—	—	10*	0

Aus den beschriebenen Versuchen ist es ersichtlich, dass die Plasmakoagulation durch Neutralsalze nicht von den sog. kolligativen Eigenschaften dieser Verbindungen abhängig ist, da die äquimolekularen Lösungen sehr ungleich wirken. So kann man an den Schnitten ein und dasselbe Bild beobachten, in einigen Lösungen nach einigen Minuten, in anderen Lösungen erst nach einigen Stunden.

Zwecks besserer Übersichtlichkeit der Resultate, sind in der folgenden Tabelle (№ 35) alle ungefähr gleich stark wirkenden Salze (d. h. deren Wirkung in engeren Grenzen differiert) in Gruppen vereinigt (horizontale Reihen) und für jede Gruppe ist das Mittelprozent zwei Mal berechnet: 1) für alle gleichen Zeitabschnitte, zum Vergleich der Salzwirkungen derselben Gruppe, 2) für solche Zeitabschnitte, die mit denen einer nach der Wirkung nahestehenden Salzgruppe übereinstimmen, zum Vergleich der Ergebnisse zweier Nachbargruppen.

In der Tabelle 35 erhalten wir somit die Salzgruppen stufenweise mit abnehmender Aktivität angeordnet.

Übersichtstabelle der Resultate der I Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,5 norm.
Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 35.

Die Zeitabschnitte, f. welche d. Mittelprozent d. plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl der Schnitte für d. Mittelproz.	Anion → / Kation ↓	*CNS*	*J*	*Br*	NO_3	$C_6H_5O_7$	*Cl*	Tartrat	Zitrat	SO_4	*F*
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M. . .	70	Natrium	16,4	34,3								
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 60 Min. . . .	60	Natrium	9,5	28,0	52,1	55,0						
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde., 1 St. 10 M., 1St. 20 M., 1St. 30 M., 1 St. 40 M., 1 St. 50 Min .	110	Natrium			37,7	46,6	38,5					
30 Min., 1 Stde, 1 St. 20 M., 1St. 40M, 2Stdn, 2St. 20M., 2 St. 40 M., 3 Stdn, 3 St. 20 M., 3 St. 40 Min. .	100	Natrium					23,5	35,0				

Tabelle 35. (Fortsetzung).

Die Zeitabschnitte, f. welche d.Mittelprozent d. plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl der Schnitte für d.Mittelproz.	Kation \ Anion	*CNS*	*J*	*Br*	NO_3	$C_2H_3O_2$	*Cl*	Tartrat	Zitrat	SO_4	F
1 Stde, 2 Stdn, 3 Stdn, (oder 3 Stdn 40 Min.) . . .	40	Natrium						31,9	91,2	93,7	90,6	99,0
1 Stde, 2 Stdn, 3 Stdn, 4 Stdn, 5 Stdn, 6 Stdn, 7 Stdn, 8 Stdn, 9 Stdn, 10 Stdn.	100	Natrium							78,6	78,0	74,2	76,5
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M. .	70	Ammonium	7,5	32,1								
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 60 M.	60	Ammonium	5,0	28,8	44,5	27,1						
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde. 1 St. 10 M., 1 St. 20 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M., 1 St. 50 M.	110	Ammonium			27,0	22,2	47,7					
30 Min. 1 Stde, 1 St. 20 M., 1 St. 40 M., 2 Stdn, 2 St. 20 M., 2 St. 40 M., 3 St., 3 St. 20 M., 3 St. 40 M.	100	Ammonium					29,2	44,5				
1 Stde, 2 Stdn, 3 St., 4 St. (oder 3 Stdn 40 Min.).	40	Ammonium						40,6	74,7	72,0	86,2	
1 Stde, 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 Stdn. . . .	100	Ammonium							60,5	32,0	75,0	
5 Min., 10 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M.	70	Kalium	10,7	25,0								
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 60 M.	60	Kalium	4,9	20,8	29,2	49,6						
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde, 1 St. 10 M., 1 St 20 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M., 1 St. 50 M.	110	Kalium			17,0	35,2	40,3					
30 Min., 1 Stde, 1 St. 20 M., 1 St. 40 M., 2 Stdn, 2 St. 20 M., 2 St. 40 M.. 3 St., 3 St. 20 M., 3 St. 40 M.	100	Kalium					19,0	49,7				
1 Stde, 2 Stdn, 3 Stdn, 4 Stdn (oder 3 Stdn 40 M.). .	40	Kalium						46,9	75,0	91,9	99,0	
1 Stde, 2 Stdn, 3 Stdn, 4 Stdn, 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 Stdn. . . .	100	Kalium							58,5	76,5	88,2	
1 Stde, 2 Stdn, 3St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 Stdn. . . .	100	Mg.									93,5	

Wenn wir auf Grund der Daten der obenstehenden Tabelle die Anionen der Salze nach der abnehmenden Wirkungsenergie in Reihen anordnen, so erhält man folgende Reihenfolgen[1]):

1) Mit dem Zeichen $>$ sind die Ionen dort getrennt, wo die Differenz zwischen den Mittelprozenten der plasmolysefähigen Fläche nicht weniger als 10 beträgt. In den übrigen Fällen sind sie durch Kommas getrennt.

↓ Kation Anion →

Na — $CNS > I > Br$, $C_2H_3O_2$, NO_3, $Cl > SO_4$, F, Zitrat, Tartrat.

NH_4 — $CNS > I$, NO_3, $Br > C_2H_3O_2 > Cl >$ Zitrat, Tartrat $> SO_4$.

K — $CNS > I$, $Br > NO_3$, $C_2H_3O_2 > Cl >$ Tartrat $>$ Zitrat $> SO_4$.

Bei ein und demselben Anion wird die Wirkung der Kationen durch die untenstehenden Reihenfolgen charakterisiert:

↓ Anion	Kation →	↓ Anion	Kation →	↓ Anion	Kation →
CNS	NH_4, K, Na	NO_3	$NH_4 > K > Na$	Tartrat	$K, NH_4 > Na$
J	K, NH_4, Na	$C_2H_3O_2$	K, Na, NH_4	Zitrat	$NH_4 > K, Na$
Br	$K > NH_4 > Na$	Cl	Na, NH_4, K	SO_4	$Na, NH_4 > K, Mg$.

Der Unterschied zwischen der koagulierenden Wirkung der Kationen ist kleiner als der der Anionen. In der Hälfte der Fälle sind die Glieder der Reihen durch Kommas getrennt, d. h. der Wirkungsunterschied liegt hier in den Grenzen des Versuchsfehlers. In den Tabellen, wo der Unterschied grösser war (bei Bromiden, Nitraten, Tartraten und Zitraten), tritt die schwächere Wirkung des Natriums im Vergleich mit der des Ammoniums und Kaliums deutlich hervor.

Die koagulierende Wirkung der Kaliumsalze.[1]

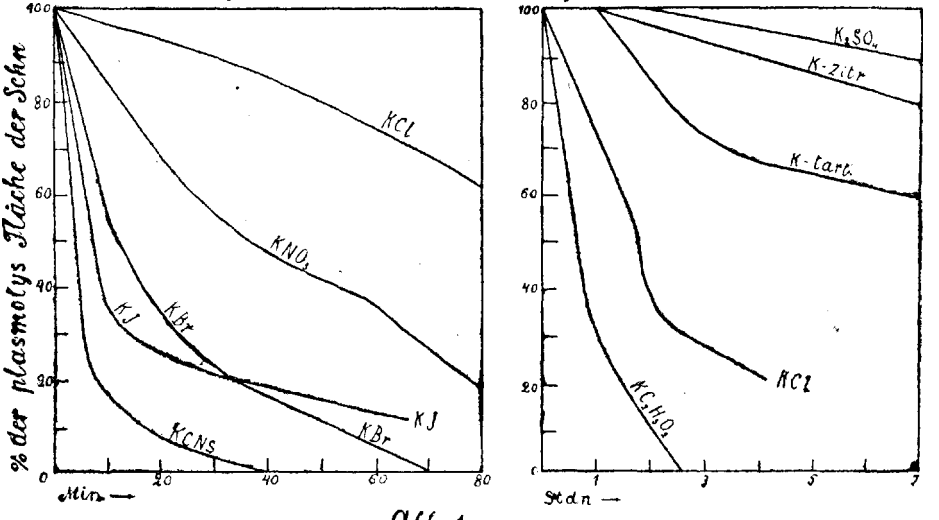


Abb. 1.

1) Alle Kurven im Text sind schematisiert.

II Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 36. Na_2SO_4 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
12 „		10	—	—	—	—	100,0
18 „		10	—	—	—	—	100,0
24 „		10	—	—	—	—	100,0
30 „		10	—	—	—	—	100,0
36 „		8	2	—	—	—	95,0
42 „		9	1	—	—	—	97,5
48 „		7	3	—	—	—	92,5

Tabelle 37. K_2SO_4 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
12 „		10	—	—	—	—	100,0
18 „		10	—	—	—	—	100,0
24 „		10	—	—	—	—	100,0
30 „		9	1	—	—	—	97,5
36 „		10	—	—	—	—	100,0
42 „		10	—	—	—	—	100,0
48 „		10	—	—	—	—	100,0

Tabelle 38. $(NH_4)_2SO_4$ 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
12 „		10	—	—	—	—	100,0
18 „		10	—	—	—	—	100,0
24 „		8	2	—	—	—	95,0
30 „		9	1	—	—	—	97,5
36 „		5	3	2	—	—	82,5
42 „		2	2	2	2	2	50,0
48 „		—	—	—	3	2;5*	7,5

Tabelle 39. *K*-Tartrat 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
12 „		10	—	—	—	—	100,0
18 „		10	—	—	—	—	100,0
24 „		10	—	—	—	—	100,0
30 „		10	—	—	—	—	100,0
36 „		10	—	—	—	—	100,0
42 „		10	—	—	—	—	100,0
48 „		9	1	—	—	—	97,5

Tabelle 40. *Na*-Tartrat 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
12 „		8	2	—	—	—	95,0
18 „		6	4	—	—	—	90,0
24 „		5	4	1	—	—	85,0
30 „		6	2	2	—	—	85,0
36 „		3	5	2	—	—	77,5
42 „		5	4	1	—	—	85,0
48 „		2	5	3	—	—	72,5

Tabelle 41. NH_4-Tartrat 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
12 „		9	1	—	—	—	97,5
18 „		9	1	—	—	—	97,5
24 „		6	3	1	—	—	87,5
30 „		6	3	1	—	—	87,5
36 „		—	2	2	2	4	30,0
42 „		—	1	1	2	6*	17,5
48 „		—	—	1	1	8*	7,5

Tabelle 42. *KCl* 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn		10	—	—	—	—	100,0
4 „		9	1	—	—	—	97,5
8 „		9	1	—	—	—	97,5
12 „		8	2	—	—	—	95,0
16 „		9	1	—	—	—	97,5
20 „		10	—	—	—	—	100,0
24 „		9	1	—	—	—	97,5
28 „		7	3	—	—	—	92,5
36 „		9	1	—	—	—	97,5
44 „		8	2	—	—	—	95,0

Tabelle 43. *NaCl* 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn		10	—	—	—	—	100,0
4 „		9	1	—	—	—	97,5
6 „		10	—	—	—	—	100,0
8 „		8	2	—	—	—	95,0
10 „		6	4	—	—	—	90,0
12 „		7	3	—	—	—	92,5
16 „		4	5	1	—	—	82,5
20 „		3	6	1	—	—	80,0
24 „		5	3	2	—	—	82,5
28 „		4	5	1	—	—	82,5
36 „		—	3	1	6	—	42,5
44 „		—	—	1	4	5	15,0

Tabelle 44. *NH_4Cl* 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn		10	—	—	—	—	100,0
4 „		7	3	—	—	—	92,5
6 „		10	—	—	—	—	100,0
8 „		5	5	—	—	—	82,5
10 „		6	3	1	—	—	87,5
12 „		5	3	1	1	—	80,0
16 „		4	4	1	1	—	77,5
20 „		4	4	2	—	—	80,0
24 „		2	5	2	1	—	70,0
28 „		—	4	4	2	—	55,0
36 „		—	6	2	2	—	60,0
44 „		2	2	4	2	—	60,0

Tabelle 45. *LiCl* 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn		10	—	—	—	—	100,0
4 „		8	2	—	—	—	95,0
8 „		9	1	—	—	—	97,5
12 „		9	1	—	—	—	97,5
16 „		5	5	—	—	—	87,5
20 „		7	3	—	—	—	92,5
24 „		6	4	—	—	—	90,0
28 „		5	5	—	—	—	87,5
36 „		—	7	2	1	—	65,0
44 „		1	5	2	2	—	62,5

Tabelle 46. $SrCl_2$ 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
4 „		10	—	—	—	—	100,0
8 „		10	—	—	—	—	100,0
12 „		10	—	—	—	—	100,0
16 „		9	1	—	—	—	97,5
20 „		10	—	—	—	—	100,0
24 „		10	—	—	—	—	100,0
28 „		9	1	—	—	—	97,5
36 „		10	—	—	—	—	100,0
44 „		9	1	—	—	—	97,5

Tabelle 47. $BaCl_2$ 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
4 „		9	1	—	—	—	97,5
8 „		9	1	—	—	—	97,5
12 „		9	1	—	—	—	97,5
16 „		9	1	—	—	—	97,5
20 „		9	1	—	—	—	97,5
24 „		8	2	—	—	—	95,0
28 „		7	2	1	—	—	90,0
36 „		4	5	1	—	—	82,5
44 „		1	5	3	1	—	65,0

Tabelle 48. $MyCl_2$ 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
4 „		10	—	—	—	—	100,0
8 „		9	1	—	—	—	97,5
12 „		10	—	—	—	—	100,0
16 „		8	2	—	—	—	95,0
20 „		9	1	—	—	—	97,5
24 „		8	2	—	—	—	95,0
28 „		10	—	—	—	—	100,0
36 „		7	3	—	—	—	92,5
44 „		7	3	—	—	—	92,5

Tabelle 49. $CaCl_2$ 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
4 „		10	—	—	—	—	100,0
8 „		10	—	—	—	—	100,0
12 „		10	—	—	—	—	100,0
16 „		10	—	—	—	—	100,0
20 „		10	—	—	—	—	100,0
24 „		10	—	—	—	—	100,0
28 „		8	2	—	—	—	95,0
36 „		9	1	—	—	—	97,5
44 „		9	1	—	—	—	97,5

Tabelle 50. KNO_3 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	Die Zahl der Schnitte	8	2	—	—	—	95,0
2 Stdn		10	—	—	—	—	100,0
3 „		8	2	—	—	—	95,0
4 „		7	3	—	—	—	92,5
5 „		6	4	—	—	—	90,0
6 „		7	3	—	—	—	92,5
7 „		9	1	—	—	—	97,5
8 „		7	3	—	—	—	92,5
9 „		5	4	1	—	—	85,0
10 „		8	2	—	—	—	95,0
12 „		8	2	—	—	—	95,0
16 „		7	3	—	—	—	92,5
18 „		9	1	—	—	—	97,5
20 „		9	1	—	—	—	97,5
24 „		5	4	1	—	—	85,0

Tabelle 51. $NaNO_3$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	Die Zahl der Schnitte	8	2	—	—	—	95,0
2 Stdn		9	1	—	—	—	97,5
3 „		8	2	—	—	—	95,0
4 „		8	2	—	—	—	95,0
5 „		7	3	—	—	—	92,5
6 „		8	2	—	—	—	95,0
7 „		8	2	—	—	—	95,0
8 „		8	2	—	—	—	95,0
9 „		6	4	—	—	—	90,0
10 „		7	3	—	—	—	92,5
12 „		7	3	—	—	—	92,5
16 „		6	4	—	—	—	90,0
20 „		9	1	—	—	—	97,5

Tabelle 52. NH_4NO_3 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	Die Zahl der Schnitte	8	2	—	—	—	95,0
2 Stdn		7	3	—	—	—	92,5
3 „		6	4	—	—	—	90,0
4 „		5	5	—	—	—	87,5
5 „		3	6	1	—	—	80,0
6 „		4	6	—	—	—	85,0
7 „		4	6	—	—	—	85,0
8 „		3	6	1	—	—	80,0
9 „		1	8	1	—	—	75,0
10 „		2	8	—	—	—	80.0
12 „		4	5	1	—	—	82,5
16 „		3	5	2	—	—	77,5
18 „		1	5	3	1	—	65,0
20 „		5	5	—	—	—	87,5
24 „		—	7	3	—	—	67,5

Tabelle 53. $KC_2H_3O_2$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	10	—	—	—	—	100,0
4 „		10	—	—	—	—	100,0
6 „		9	1	—	—	—	97,5
8 „		6	4	—	—	—	90,0
10 „		5	4	1	—	—	85,0
12 „		4	5	1	—	—	82,5
16 „		5	4	1	—	—	85,0
18 „		6	4	—	—	—	90,0
20 „		6	4	—	—	—	90,0
24 „		6	3	1	—	—	87,5

Tabelle 54. $NaC_2H_3O_2$ 0,35*n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte						
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
2 Stdn	10	—	–	—	—		100,0
4 „	10	—	—	—	—		100,0
6 „	7	3	—	—	—		92,5
8 „	6	4	--	—	—		90,0
10 „	6	4	—	—	—		90,0
12 „	5	5	—	—	—		87,5
16 „	4	6	—	—	—		85,0
18 „	4	6	—	—	—		90,0
20 „	5	5	—	—	—		87,5
24 „	2	3	1	4	—		57,5

Tab. 55. $NH_4C_2H_3O_2$ 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte						
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
2 Stdn	10	—	—	—	—		100,0
4 „	10	—	—	—	—		100,0
6 „	9	1	—	—	—		97,5
8 „	9	1	—	—	—		97,5
10 „	7	3	—	—	—		92,5
12 „	6	3	1	—	—		87,5
16 „	—	3	3	2	2		42,5
18 „	—	1	2	4	3		27,5
20 „	—	1	3	3	3		30,0
24 „	—	—	—	2	*8		5,0

Tabelle 56. NH_4Br 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte						
	4/4	3/4	1/2	1/4	9		
1 Stde	10	—	—	—	—		100,0
2 Stdn	8	2	—	—	—		95,0
3 „	8	2	—	—	—		95,0
4 „	7	3	—	—	—		92,5
5 „	6	4	—	—	—		90,0
6 „	1	6	3	—	—		70,0
7 „	5	5	—	—	—		87,5
8 „	6	2	2	—	—		85,0
9 „	4	5	1	—	—		82,5
10 „	—	8	2	—	—		70,0
12 „	4	4	2	—	—		80,0
16 „	6	3	1	—	—		87,5
18 „	1	3	4	—	—		57,5
20 „	1	6	2	1	—		67,5
24 „	—	7	2	1	—		65,0

Tabelle 57. KBr 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl d. Schnitte						
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
1 Stde	2	7	1	—	—		77,5
2 „	—	1	2	3	4		25,0
3 „	—	—	—	3	7		7,5
4 „	—	—	1	1	*2;6		7,5
5 „	—	—	1	1	8		7,5
6 „	—	—	—	—	*10		0
7 „	—	—	—	—	*10		0

Tabelle 58. *KJ* 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte						
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		4	6	—	—	—	85,0
2 „		2	7	1	—	—	77,5
3 „		5	5	—	—	—	87,5
4 „		5	5	—	—	—	87,5
5 „		5	5	—	—	—	87,5
6 „		3	6	1	—	—	80,0
7 „		4	4	2	—	—	80,0
8 „		1	5	1	2	—	57,5
9 „		1	5	4	—	—	67,5
10 „		—	5	2	3	—	55,0
12 „		—	6	3	1	—	62,5

Tabelle 59. *NaJ* 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte						
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		3	7	—	—	—	82,5
2 „		5	5	—	—	—	87,5
3 „		5	5	—	—	—	87,5
4 „		7	3	—	—	—	92.5
5 „		4	5	1	—	—	82,5
6 „		4	5	1	—	—	82,5
7 „		—	3	3	2	2	42,5
8 „		—	2	2	3	3	32,5
9 „		—	3	4	2	1	47,5
10 „		—	2	2	4	2	35,0
12 „		—	1	3	4	2	32,5

Tabelle 60. NH_4J 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte						
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		1	7	2	—	—	72,5
2 „		—	7	3	—	—	67,5
3 „		—	6	4	—	—	65,0
4 „		—	5	5	—	—	62,5
5 „		—	4	5	1	—	57,5
6 „		—	5	5	—	—	62,5
7 „		—	2	2	2	4	30,0
8 „		—	1	3	4	2	32,5
9 „		—	—	2	5	3	25,0
10 „		—	—	—	3	5;2 ※	7,5
12 „		—	—	—	2	3;5 ※	5,0
16 „		—	—	—	—	※ 10	0

Tabelle 61. *KCNS* 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte						
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde		5	5	—	—	—	87,5
2 „		2	8	—	—	—	80,0
3 „		2	8	—	—	—	80,0
4 „		3	5	2	—	—	77,5
5 „		4	6	—	—	—	85,0
6 „		2	8	—	—	—	80,0
7 „		1	5	3	1	—	65,0
8 „		3	4	2	1	—	72,5
9 „		1	3	5	1	—	60,0
10 „		—	3	4	3	—	50,0
12 „		—	3	4	3	—	50,0

Tabelle 62. *NaCNS* 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
1 Stde	6	4	—	—	—		90,0
2 Stdn	3	7	—	—	—		82,5
3 „	6	4	—	—	—		90,0
4 „	3	6	1	—	—		80,0
5 „	4	5	1	—	—		82,5
6 „	4	5	1	—	—		82,5
7 „	—	1	3	3	2;1*		30,0
8 „	—	2	2	3	2;1*		32,5
9 „	—	2	4	2	2		40,0
10 „	—	—	1	4	4;1*		15,0
12 „	—	—	1	3	6		12,5

Übersichtstabelle der Resultate der II Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,35 norm.
Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 63.

Die Zeitabschnitte für welche das Mittelprozent der plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl d. Schnitte für d. Mittelpr.	Kation / Anion →	*CNS*	*J*	*Br*	$C_3H_3N_2$	NO_3	*Cl*	*Tartrat*	SO_4
1 Stde, 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St., 12 St.	110	Natrium	59,6	61,4		93,3	94,1			
2 St., 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St., 16 St., 20 St.	80					91,6	94,4	92,2		
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St.	40					81,9		88,7	92,5	100
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St., 30 St., 42 St., 48 St.	70								87,5	98,6
1 Stde, 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St., 12 St.	110	Kalium	76,3	70,7	11,4		92,7			
2 Stdn, 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St., 16 St., 20 St.	80				4,1	91,4	94,7	97,5		
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St.	40					89,4	92,6	97,5	100	100
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St., 30 St., 42 St., 48 St.	70								99,6	99,6
1 Stde, 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St., 12 St.	110	Ammonium	57,0	44,3	86,1		84,8			
2 Stdn, 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St., 16 St., 20 St.	80			29,7	80,9	80,9	84,1	87,5		
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St.	40			16,9	68,1	54,4	75,0	82,5	95,6	99,0
6 Stdn, 10 St., 18 St., 24 St., 30 St., 42 St., 48 St.	70								70,7	78,6

Wenn man die Anionen und Kationen nach ihrer abnehmenden Wirkungsenergie anordnet (Tab. 63), so erhält man folgende Reihenfolgen:

Kation Anion →

↓ K — $Br > I$, $CNS > C_2H_3O_2$, NO_3, Cl, Tartrat, SO_4

Na — CNS, $I > C_2H_3O_2$, Cl, NO_3, Tartrat, SO_4

NH_4— $I > CNS > C_2H_3O_2$, Br, NO_3, $Cl >$ Tartrat, SO_4

↓ Anion	Kation	↓ Anion	Kation →	↓ Anion	Kation →
CNS	$NH_4, Na > K$	$C_2N_3O_2$	$NH_4 > Na, K$	Tartrat	$NH > Na > K$
I	$NH_2 > Na, K$	NO_3	$NH_4 > K, Na$	SO_4	$NH_4 > Na, K$
Br	$K > NH_4$	Cl	$NH_4 Na, K$		

Die koagulierende Wirkung der Salze bei der Konzentration 0,35 norm. ist ziemlich schwach, ungeachtet der langen Wirkungsdauer. Der Unterschied zwischen den Wirkungen der Anionen tritt nur bei den voneinander entfernten Gliedern der Reihenfolgen deutlich hervor. Bei den Kationen ist hier das Ammonium aktiver als das Natrium und Kalium.

III Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 64. $(NH_4)_2SO_4$ 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
30 Min.	7	3	—	—	—		92,5
1 Stde	—	6	3	1	—		62,5
1 St. 30 M.	—	7	3	—	—		67,5
2 Stdn	—	6	1	3	—		57,5
3 „	—	5	4	1	—		60,0
4 „	—	5	4	1	—		60,0
5 „	—	6	3	1	—		62,5
6 „	—	5	3	2	—		57,5
7 „	—	4	3	3	—		52,5
8 „	—	5	3	2	—		57,5
9 „	—	2	5	2	—		45,0
10 „	—	4	3	3	—		52,5

Tabelle 65. Na_2SO_4 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
30 Min.	2	5	2	1	—		70,0
1 Stde	—	3	4	3	—		50,0
1 St. 30 M.	—	6	3	1	—		62,5
2 Stdn	—	7	2	1	—		65,0
3 „	—	3	5	2	—		52,5
4 „	—	5	3	2	—		57,5
5 „	—	2	3	5	—		42,5
6 „	—	2	3	4	—		47,5
7 „	—	1	3	5	1		35,0
8 „	—	4	4	2	—		55,0
9 „	—	3	3	3	1		45,0
10 „	—	3	5	2	—		52,5

Tabelle 66. K_2SO_4 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.		2	4	3	1	1	67,5
1 Stde		—	5	2	2	—	52,5
1 St. 30 M.		—	7	3	—	—	67,6
2 Stdn		—	5	5	—	—	62,5
3 „		—	1	6	3	—	45,0
4 „		—	5	3	2	—	57,5
5 „		—	5	5	—	—	62,5
6 „		—	2	5	3	—	47,5
7 „		—	3	5	2	—	52,5
8 „		—	5	3	2	—	57,5
9 „		—	5	2	3	—	55,0
10 „		—	4	3	3	—	52,5

Tabelle 67. *Na*-Zitrat 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.		2	7	1	—	—	77,5
1 Stde		6	4	—	—	—	90,0
1 St. 30 M.		—	9	1	—	—	77,5
2 Stdn		—	7	3	—	—	67,5
3 „		—	7	3	—	—	67,5
4 „		—	7	3	—	—	67,5
5 „		—	5	5	—	—	62,5
6 „		—	5	5	—	—	62,5
7 „		—	5	3	2	—	57,5
8 „		—	4	4	2	—	55,0
9 „		—	2	4	3	1	42,5
10 „		—	5	4	1	—	60,0

Tabelle 68. *K*-Zitrat 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.		—	7	1	2	—	62,5
1 Stde		—	7	3	—	—	67,5
1 St. 30 M.		—	6	4	—	—	65,0
2 Stdn		—	8	2	—	—	70,0
3 „		—	6	2	2	—	57,5
4 „		—	3	5	2	—	52,5
5 „		—	6	3	1	—	62,5
6 „		—	5	3	2	—	67,5
7 „		—	4	4	1	1	52,5
8 „		—	2	1	5	2	32,5
9 „		—	1	6	3	—	45,0
10 „		—	3	3	3	1	45,0

Tabelle 69. *Na*-Tartrat 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.		—	7	3	—	—	67,5
1 Stde		4	4	2	—	—	80,0
1 St. 30 M.		—	8	1	1	—	67,5
2 Stdn		—	4	6	—	—	60,0
3 „		—	4	4	2	—	55,0
4 „		—	5	3	2	—	57,5
5 „		—	6	3	1	—	62,5
6 „		—	7	3	—	—	67,5
7 „		—	5	3	2	—	57,5
8 „		—	6	4	—	—	65,0
9 „		—	2	4	3	—	42,5
10 „		—	5	5	—	—	62,5

Tabelle 70. *K-Tartrat* 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	—	4	5	1	—	57,5
1 Stde	—	2	4	3	1	42,5
1St. 30M.	—	3	4	3		50,0
2 Stdn	—	2	4	3	1	42,5
3 „	—	1	3	1	5	25,0
4 „	—	1	4	4	1	37,5
5 „	—	2	1	3	* 3;1	27,5
6 „	—	2	4	2	2	40,0
7 „	—	1	2	5	* 1;1	30,0
8 „	—	2	4	2	2	30,0
9 „	—	1	2	5	2	30,0
10 „	—	1	2	4	3	27,5

Tabelle 71. NH_4NO_3 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	3	3	4	—	47,5
20 „	—	—	5	3	2	32,5
30 „	—	2	1	4	3	30,0
40 „	—	2	5	2	1	45,0
50 „	—	2	3	3	* 1;1	37,5
1 Stde	—	2	4	2	* 1;1	40,0
1 St. 10 M.	—	3	2	2	* 1;2	37,5
1 „ 20 „	—	3	4	1	2	45,0
1 „ 30 „	—	3	5	2	—	52,5
1 „ 40 „	—	2	6	1	1	47,5

Tabelle 72. $NaNO_3$ 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	5	2	3	—	55,0
20 „	—	1	5	4	—	42,5
30 „	—	2	4	4	—	45,0
30 „	—	1	3	4	* 1;1	32,5
50 „	—	1	2	6	1	32,5
1 Stde	—	2	3	1	* 2;2	32,5
1 St. 10 M.	—	3	4	1	2	45,0
1 St. 20 M.	—	1	5	3	1	40,0
1 St. 30 M.	—	2	4	2	* 1;1	40,0
1 St. 40 M.	—	2	3	4	1	40,0

Tabelle 73. NH_4Cl 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte					
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	6	2	2	—	60,0
20 „	—	3	2	3	2	40,0
30 „	—	4	1	3	2	42,5
40 „	—	3	3	—	* 2;2	37,5
50 „	—	2	—	2	* 1;5	20,0
60 „	—	3	3	1	* 2;1	40,0
1 St. 10 M.	—	3	3	3	1	45,0
1 St. 20 M.	—	3	1	3	3	30,0
1 St. 30 M.	—	5	1	1	* 1;2	45,0
1 St. 40 M.	—	2	2	4	2	35,0

Tabelle 74. *NaCl* 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
10 Min.	—	3	3	2	2		42,5
20 „	—	2	2	4	2		35,0
30 „	—	1	2	4	1	2	27,5
40 „	—	2	2	4	2		35,0
50 „	—	—	3	4	1	2	25,0
1 Stde	—	—	2	3	3	2	17,5
1 St. 10 M.	—	1	2	5	2		30,0
1 St. 20 M.	—	1	3	3	2	1	30,0
1 St. 30 M.	—	—	2	2	2	4	15,0
1 St. 40 M.	—	—	1	3	4	2	12,5

Tabelle 75. *KCl* 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/1	3/4	1/2	1/1	0		
10 Min.	—	2	2	2	3	1	30,0
20 „	—	2	2	4	1	1	35,0
30 „	—	2	—	1	3	4	20,0
40 „	—	2	2	1	1	4	27,5
50 „	—	1	1	2	1	5	17,5
1 Stde	—	—	3	4	1	2	25,0
1 St. 10 M.	—	1	2	4	2	1	27,5
1 St. 20 M.	—	—	3	1	1	5	17,5
1 St. 30 M.	—	—	3	2	2	3	20,0
1 St. 40 M.	—	—	3	2	3	3	15,0

Tabelle 76. *LiCl* 0,5 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/1	0		
10 Min.	—	3	5	—	1	1	47,5
20 „	—	—	3	4	3		25,0
30 „	—	—	2	1	3	4	12,5
40 „	—	—	1	2	3	1	10,0
50 „	—	1	1	1	3	1	15,0
1 Stde	—	—	3	1	1	5	17,5
1 St. 10 M.	—	—	—	2	2	6	5,0
1 St. 20 M.	—	—	1	2	2	5	10,0
1 St. 30 M.	—	—	—	2	3	5	5,0
1 St. 40 M.	—	—	—	5	2	3	12,5

Tabelle 77. $NaC_2H_3O_2$ 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/1	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	3	4	3	—	—	75,0
20 „	—	3	4	3	—	50,0
30 „	—	3	4	3	—	50,0
40 „	—	4	4	2	—	55,0
50 „	—	3	2	5	—	45,0
1 Stde	—	2	3	5	—	42,5
1 St. 10 M.	—	3	3	4	—	47,5
1 St. 20 M.	—	1	3	4	2	32,5
1 St. 30 M.	—	1	2	5	2	30,0
1 St. 40 M.	—	1	4	4	1	37,5

Tabelle 78. $SrCl_2$ 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
30 Min.	4	2	4	—	—		75,0
1 Stde	7	1	2	—	—		87,5
1 St. 30 M.	7	1	2	—	—		87,5
2 Stdn	8	1	1	—	—		92,5
3 „	7	1	2	—	—		87,5
4 „	8	2	—	—	—		95,0
5 „	5	1	2	2			72,5
6 „	4	5	1	—	—		82,5
18 „	4	5	1	—	—		82,5
20 „	3	3	2	1	1		65,0
22 „	2	4	—	2	2		55,0
24 „	2	4	2	1	1		62,5
26 „	—	5	2	—	3		47,5

Tabelle 79. $BaCl_2$ 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
30 Min.	10	—	—	—	—		100,0
1 Stde	10	—	—	—	—		100,0
1 St. 30 M.	8	2	—	—	—		92,5
2 Stdn.	7	3	—	—	—		92,5
3 „	9	1	—	—	—		97,5
4 „	4	4	2	—	—		80,0
5 „	8	2	—	—	—		95,0
6 „	4	4	2	—	—		80,0
18 „	4	5	1	—	—		82,5
20 „	1	4	5	—	—		65,0
22 „	1	4	1	2	2		50,0
24 „	2	5	2	1	—		70,0
26 „	3	3	2	2	—		67,5

Tabelle 80. $MgCl_2$ 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
30 Min.	10	—	—	—	—		100,0
1 Stde	10	—	—	—	—		100,0
1 St. 30 M.	9	1	—	—	—		97,5
2 Stdn	7	3	—	—	—		92,5
3 „	9	1	—	—	—		97,5
4 „	7	3	—	—	—		92,5
5 „	6	4	—	—	—		90,0
6 „	6	3	1	—	—		87,5
18 „	5	4	1	—	—		85,0
20 „	6	3	1	—	—		87,5
22 „	5	3	1	1	—		80,0
24 „	4	6	—	—	—		85,0
26 „	5	4	1	—	—		85,0

Tabelle 81. $CaCl_2$ 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
30 Min.	10	—	—	—	—		100,0
1 Stde	9	1	—	—	—		97,5
1 St. 30 M.	10	—	—	—	—		100,0
2 Stdn	9	1	—	—	—		97,5
3 „	10	—	—	—	—		100,0
4 „	8	2	—	—	—		95,0
5 „	9	1	—	—	—		97,5
6 „	9	1	—	—	—		97,5
18 „	8	2	—	—	—		95,0
20 „	6	4	—	—	—		90,0
22 „	6	1	3	—	—		82,5
24 „	8	2	—	—	—		95,0
26 „	9	1	—	—	—		97,5

Tabelle 82. NH_4Br 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	Die Zahl der Schnitte	—	7	1	2	—	62,5
10 „		—	5	4	1	—	60,0
15 „		—	7	2	1	—	65,0
20 „		—	2	1	1	2;4*	22,5
30 „		—	1	3	1	5	25,0
40 „		—	2	2	1	1;4*	27,5
50 „		—	2	2	1	1;4*	27,5
60 „		—	4	1	2	1;2*	40,0
70 „		—	4	1	2	1;2*	40,0
80 „		—	3	1	1	3;2*	30,0
90 „		—	3	1	3	2;1*	35,0
100 „		—	2	2	2	3;1*	30,0

Tabelle 83. $NaBr$ 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	Die Zahl der Schnitte	—	7	3	—	—	67,5
10 „		—	3	4	2	1	47,5
15 „		—	3	2	2	3	37,5
20 „		—	1	3	1	1;4*	25,0
30 „		—	2	1	—	5;2*	20,0
40 „		—	—	2	3	3;2*	17,5
50 „		—	—	1	1	4;4*	7,5
60 „		—	—	2	3	5	17,5
70 „		—	—	—	2	2;6*	5,0
80 „		—	—	—	4	6	10,0
90 „		—	—	—	2	8*	5,0
100 „		—	—	—	2	8*	5,0

Tabelle 84. KI 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	Die Zahl der Schnitte	—	1	3	2	2;2*	27,5
10 „		—	4	2	2	1;1*	45,0
15 „		—	2	2	2	2;3*	30,0
20 „		—		1	3	2;1*	12,5
30 „		—	1	1	2	3;3*	17,5
40 „		—	1	3	2	1;3*	27,5
50 „		—		1	3	5;1*	12,5
60 „		—		1	4	4;1*	15,0
70 „		—	1	1	1	2;5*	15,0
80 „		—		1	2	7*	10,0
90 „		—		1	2	1;6*	10,0
100 „		—		1	1	3;5*	7,5

Tabelle 85. NaI 0,75 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	Die Zahl der Schnitte	—	1	2	6	1	32,5
10 „		—	2	3	4	1	40,0
15 „		—	1	2	2	2;3*	22,5
20 „		—	2	2	2	3;1*	30,0
30 „		—	1	—	4	3;2*	17,5
40 „		—	—	—	3	6;1*	7,5
50 „		—	—	2	2	3;3*	15,0

Tabelle 86. *NH_4CNS* 0,75 *n.*

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	Die Zahl der Schnitte	—	1	4	4	* 1	37,5
10 „		—	—	1	2	* 7	10,0
15 „		—	—	—	3	* 7	7,5
20 „		—	—	1	2	* 7	10,0
30 „		—	—	—	2	* * 8	5,0
40 „		—	—	—	1	* * 9	2,5
50 „		—	—	—	—	* 10	0

Tabelle 87. *NaCNS* 0,75 *n.*

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	Die Zahl d. Schnitte	—	3	1	4	2	37,5
10 „		—	1	3	4	2	32,5
15 „		—	—	3	3	3;1 *	22,5
20 „		—	—	1	1	7;1 *	7,5
30 „		—	—	—	2	4;4 *	5,0
40 „		—	—	—	—	4;6 * *	0
50 „		—	—	—	—	* 10	0

Tabelle 88. *KCNS* 0,75*n.*

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
3 Min.	D. Zahl d. Schn.	—	—	1	2	7	7,5
5 „		—	—	—	1	9	2,5
7 „		—	—	—	—	3;7 *	0
10 „		—	—	—	—	* 10	0
15 „		—	—	—	—	* 10	0

Übersichtstabelle der Resultate der III Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,75 norm.

Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 89.

Die Zeitabschnitte, f. welche d. Mittelprozent d. plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl der Schnitte für d. Mittelpr.	Kation \ Anion →	*CNS*	*J*	*Br*	*NO₃*	*Cl*	*$C_2H_3O_2$*	*SO_4*	Tartrat	Zitrat
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M. . .	70	↓ Kalium	1,4	24,6							
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde, 1 St. 10 M., 1St. 20 M., 1St. 30 M., 1 St. 40 M.	100			17,2			23,5				
30 Min., 60 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40M. (oder 2 Stdn.).	40						20,0		62,5	48,1	66,2
30 Min., 1 Stde, 1 St. 30 M., 2 St, 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St.	120								56,7	36,7	55,0

Tabelle 89. (Fortsetzung).

Die Zeitabschnitte, f. welche d. Mittelprozent d. plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl der Schnitte für d. Mittelproz.	Kation ↓ / Anion →	*CNS*	*J*	*Br*	NO_3	*Cl*	$C_2H_3O_2$	SO_4	Tartrat	Zitrat
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M. .	70	Natrium	15,0	23,6	31,8	38,6					
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde, 1 St. 10 M., 1 St. 20 M. 1 St. 30 M., 1 St. 40 M. . . .	100				16,0	37,7	27,0	46,5			
30 Min., 60 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M. (oder 2 Stdn).	40						22,5	40,0	61,9	68,8	78,1
30 Min., 1 Stde, 1 St. 30 M., 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St.	120								52,9	62,1	65,6
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M. 50 M. . .	70	Ammonium	10,3		41,7						
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde, 1 St. 10 M., 1 St. 20 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M., ...	100				37,7	41,7	39,5				
30 Min., 60 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M. (od. 2 Stdn).	40					42,5	40,6		70,0		
30 Min., 1 Stde, 1 St. 30 M., 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 Stdn.	120								60,6		

Auf Grund der Ergebnisse der Tabelle 89 erhält man, wenn die Ionen mit grösster Aktivität an erste Stelle gestellt werden, folgende Ionenreihen:

Kation Anion →

↓ NH_4 — $CNS > Br$, Cl, $NO_3 > SO_4$

Na — CNS, I, $Br > Cl > NO_3$, $C_2H_3O_2 > SO_4$ Tartrat, Zitrat,

K — $CNS > I$, $Cl >$ Tartrat $>$ Zitrat, SO_4.

↓ Anion	Kation →
CNS	K, NH_4, Na
Cl	K, $Na > NH_4$
NO_3	Na, NH_4

↓ Anion	Kation →
Tartrat	$K > Na$
Zitrat	$K > Na$
SO_4	Na, K, NH_4

Bei der Konzentration der Lösungen 0,75 norm. tritt der Unterschied zwischen den Anionenwirkungen besser zu Tage, als der der Kationen.

Kationen der Chloride der Alkalisalze und Erdalkalien.

IV Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 90 *NaCl* 0,54 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	—	3	3	2	2	42,5
3 „	—	—	4	1	5	22,5
4 „	—	1	6	1	2	40,0
5 „	—	—	4	2	4	25,0
6 „	—	1	1	3	1:4*	20,0
7 „	—	3	1	2	2:3*	32,5
8 „	—	—	2	2	2:4*	15,0
10 „	—	—	—	1	5:4*	2,5
14 „	—	—	—	—	2:8*	0
16 „	—	—	—	—	10*	0

Tabelle 91. *LiCl* 0,54, *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	1	4	1	2	1:1*	50,0
3 „	2	5	3	—	—	72,5
4 „	3	3	1	1	2	60,0
5 „	1	5	2	—	2	57,5
6 „	1	3	2	—	3:1*	42,5
7 „	—	4	3	2	1	50,0
8 „	1	3	2	1	1:2*	45,0
10 „	—	2	1	2	4:1*	25,0
14 „	—	1	2	1	1:4*	20,0
16 „	—	1	2	3	4*	25,0

Tabelle 92. *KCl* 0,54 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	1	2	4	2	1	50,0
3 „	4	3	2	1	—	75,0
4 „	3	2	1	2	2	55,0
5 „	3	3	2	1	1	65,0
6 „	3	3	3	—	1*	67,5
7 „	3	2	3	2	—	60,0
8 „	2	2	2	—	2:2*	45,0
10 „	—	3	2	2	2:1*	37,5
14 „	1	3	2	2	1:1*	42,5
16 „	—	2	3	2	1:2*	35,0

Tabelle 93. NH_4Cl 0,54 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	7	2	1	—	—	90,0
3 „	6	2	1	1	—	82,5
4 „	4	3	1	2	—	72,5
5 „	6	1	2	1	—	80,0
6 „	3	4	1	1	1	67,5
7 „	3	3	2	1	1	65,0
8 „	2	4	2	—	1:1*	60,0
10 „	3	2	3	—	2	60,0
14 „	1	1	4	2	1:1*	42,5
16 „	2	2	2	1	3*	42,5

Tabelle 94. $SrCl_2$ 0,54 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	9	1	—	—	—	97,5
4 „		8	2	—	—	—	95,0
6 „		4	5	1	—	—	82,5
8 „		2	2	6	—	—	65,0
10 „		—	2	5	2	1	45,0
14 „		2	2	2	—	2:2*	45,0
16 „		2	3	—	—	1:4*	42,5
18 „		1	4	3	2	—	60,0
20 „		1	4	2	3	—	57,5
34 „		1	3	1	3	2	27,5

Tabelle 95. $MgCl_2$ 0,54 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	9	1	—	—	—	97,5
4 „		9	1	—	—	—	97,5
6 „		9	1	—	—	—	97,5
8 „		8	1	1	—	—	92,5
10 „		6	2	—	1	—	82,5
14 „		8	2	—	—	—	95,0
16 „		3	3	1	2	1	62,5
18 „		7	2	1	—	—	90,0
20 „		6	2	1	1	—	82,5
34 „		4	2	3	1	—	72,5

Tabelle 96. $BaCl_2$ 0,54 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	8	2	—	—	—	95,0
4 „		9	1	—	—	—	97,5
6 „		8	1	1	—	—	92,5
8 „		10	—	—	—	—	100,0
10 „		8	1	1	—	—	92,5
14 „		6	4	—	—	—	90,0
16 „		4	1	—	1	2:2*	50,0
18 „		2	3	—	—	1:4*	42,5
20 „		5	1	—	1	3	60,0
34 „		1	5	2	2	—	62,5

Tabelle 97. $CaCl_2$ 0,54 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	9	1	—	—	—	97,5
4 „		9	1	—	—	—	97,5
6 „		8	2	—	—	—	95,0
8 „		9	1	—	—	—	97,5
10 „		10	—	—	—	—	100,0
14 „		9	1	—	—	—	97,5
16 „		9	1	—	—	—	97,5
18 „		9	—	1	—	—	95,0
20 „		8	2	—	—	—	95,0
34 „		7	2	1	—	—	90,0

Übersichtstabelle der Kationenwirkungen der Chloride der Alkalimetalle und Erdalkalien*).

IV. Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 98.

Die Zeitabschnitte, für welche das Mittelprozent der plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl d. Schnit.	Salz / Konz.	*NaCl*	*LiCl*	*NH₄Cl*	*KCl*	*SrCl₂*	*BaCl₂*	*MgCl₂*	*Cl₂Ca*
2 St., 4 St., 8 St., 12 St., 16 St., 20 St., 24 St., 28 St., 36 St., 44 St.	100	0,35 n.	77,0	87,5	75,7	97,0	99,2	92,0	97,0	99,0
2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 10 St., 14 St., 16 St.	100	0,54 n.	20,0	44,7	62,0	53,2	—	—	—	—
2 Stdn, 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 14 St.	60	0,54 n.	20,0	40,4	65,4	49,6	77,0	94,6	93,7	97,5
2 Stdn, 4 St., 8 St., 12 St., 16 St., 20 St., **24** St., 28 St., 36 St., 44 St.	100	0,54 n.	—	—	—	—	60,7	78,2	87,0	96,2
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 60 M., 70 M., 80 M., 90 M., 100 M.	100	0,75 n.	27,0	16,0	39,5	23,5	—	—	—	—
30 Min., 60 M., 90 M., 120 M.	40	0,75 n.	22,5	11,9	40,6	20,2	85,6	96,2	97,5	98,7
30 Min., 1 St. 30 M., 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 18 St., 20 St., 22 St., 24 St., 26 St.	130	0,75 n.	—	—	—	—	76,3	82,5	90,8	95,8

Nach den Daten der obenangeführten Tabelle 99, lassen sich die Kationen nach abnehmender Wirkungsenergie in folgende Reihen anordnen.

$0{,}35\,n$ — NH_4, $Na > Li$, Ba, K, Mg, Ca, Sr.
$0{,}54\,n$ — $Na > Li$, $K > NH_4 > Sr > Ba$, Mg, Ca.
$0{,}77\,n$ — Li, K, $Na > NH_4 > Sr$, Ba, Mg, Ca.

Der Aktivitätsunterschied bei den Kationen tritt am besten bei den Lösungen 0,54 norm. zutage. Der Unterschied zwischen den Wirkungen der ein- und zweiwertigen Metalle vergrössert sich mit der Vergrösserung der Lösungsstärke.

*) Die Daten für die Konzentrationen 0,35 norm. und. 0,75 norm. sind aus der II und III Versuchsserie entnommen.

V Serie. Versuchspflanze-*Zebrina pendula*.

Tabelle 99. *KCNS* 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I	189	144	76
II	241	193	80
III	196	161	82
IV bis X	intakt[1])		700
Das Mittel			**93,8**
1 Stde			
I	295	233	84
II	192	155	81
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**96,5**
1 Stde 30 Min.			
I	272	203	74
II	263	200	75
III	152	71	47
1 Stde 30 Min. (Fortsetz.)			
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**89,6**
2 Stdn			
I	281	257	89
II	240	198	83
III	221	194	88
IV	195	156	80
V	263	211	81
VI	182	142	78
VII	231	209	91
VIII	350	298	85
IX	203	40	20
X	162	43	27
Das Mittel			**72,2**
2 Stdn 30 Min.			
I	203	67	33
II	225	185	82
III	197	90	45
IV	242	115	89
V	388	335	86
VI	198	163	82
VII	172	144	84
VIII bis X	intakt		300
Das Mittel			**80,1**
3 Stdn			
I	182	102	56
II	257	66	26
III	233	92	40
IV	190	66	35
3 Stdn (Fortsetz.)			
V	233	178	76
VI	176	120	68
VII	tot	—	0
VIII bis X	intakt		300
Das Mittel			**60,1**
4 Stdn			
I	233	164	70
II	196	164	84
III	193	163	85
IV	178	118	66
V	322	232	72
VI	203	58	29
VII	337	242	72
4 Stdn (Fortsetz.)			
VIII	228	60	26
IX	int.	—	100
X	tot.	—	0
Das Mittel			**60,4**
8 Stdn			
I bis X	tot		0
Das Mittel			**0**

1) Als intakt sind hier die Schnitte dann bezeichnet, wenn alle Zellen derselben sich normal plasmolysieren.

Tabelle 100. *KBr* 0.2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

NN d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	D. Zahl der plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I	264	215	85
II	233	199	86
III	207	108	70
V—X	intakt		700
Das Mittel			**94,8**
1 Stde			
I	306	248	81
II	156	112	72
III	233	163	70
IV	248	191	77
V	263	173	66
VI—X	intakt		500
Das Mittel			**86,6**
1 Stde 30 Min.			
I	233	44	19
II	224	168	75
III	208	140	67
IV	265	190	71
V	264	189	71
VI	231	173	75
VII	240	183	76
VIII bis X	intakt		300
Das Mittel			**75,4**
2 Stdn			
I	256	137	53
II	210	135	64
III	273	193	71
IV	223	173	78
V	207	60	29
VI	247	172	70
VII	194	36	19
VIII	218	158	73
IX	302	224	74
X	211	104	49
Das Mittel			**58,0**
2 Stdn 30 Min.			
I	239	85	36
II	341	232	68
III	208	140	67
IV	289	63	22
V	257	65	25
VI	352	73	21
VII	180	64	36
VIII	200	41	21
IX bis X	tot.		0
Das Mittel			**29,6**
3 Stdn			
I	182	71	39
II	218	55	25
III	182	127	70
IV	281	57	20
V	210	150	71
VI bis X	tot.		0
Das Mittel			**22,5**
4 Stdn			
I	265	41	15
II	223	25	12
III bis X	tot.		0
Das Mittel			**2,7**
8 Stdn			
I bis X	tot.		0
Das Mittel			**0**

Tabelle 101. *KI* 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen
30 Min.			
I	281	231	82
II	249	194	78
III	272	217	78
IV	212	171	81
V—X	intakt		600
Das Mittel			**91,9**
1 Stde			
I	285	240	84
II	254	235	89
III	256	190	74
IV	252	217	86
V	264	214	81
VI—X	intakt		500
Das Mittel			**91,4**
1 Stde 30 Min.			
I	265	218	83
II	256	165	64
III	226	176	78
IV	233	151	65
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**89,0**
2 Stdn			
I	210	168	80
II	180	28	16
III	182	95	52
IV	365	305	83
V	364	181	50
VI	192	127	66
VII	352	112	32
VIII	234	165	71
IX	235	171	73
X	161	54	34
Das Mittel			**55,7**
2 Stdn 30 Min.			
I	233	188	81
II	263	178	68
III	306	90	29
IV	203	55	28
V	172	128	74
VI	297	212	71
VII	272	98	40
VIII	215	80	37
IX	232	174	75
X	256	216	84
Das Mittel			**58,7**
3 Stdn			
I	224	165	74
II	182	123	68
III	204	147	61
IV	252	42	17
V	203	161	79
VI bis X	tot.		0
Das Mittel			**29,9**
4 Stdn			
I	258	70	27
II	281	33	12
III bis X	tot.		0
Das Mittel			**3,9**
8 Stdn			
I bis X	tot.		0
Das Mittel			**0**

Tabelle 102. KNO_3 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

NN d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I	225	189	84
II—X	intakt.		900
Das Mittel			**98,4**
1 Stde			
I	239	200	84
II	138	114	83
III	229	196	86
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**95,3**
1 Stde 30 Min.			
I	195	136	70
II	224	146	65
III	182	116	64
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**89,9**
2 Stdn			
I	296	54	18
II	202	179	89
III	163	133	82
IV	342	282	83
V	197	105	53
VI	167	115	68
VII	165	125	76
VIII	341	301	88
IX bis X	intakt		200
Das Mittel			**75,7**
3 Stdn 30 Min.			
I	194	164	85
II	232	177	76
III	138	115	84
IV	256	194	76
V	196	151	77
VI	183	150	82
VII	247	212	86
VIII	tot.		0
IX bis X	intakt		200
Das Mittel			**76,6**
3 Stdn			
I	279	80	29
II	248	78	32
III	204	82	40
IV	264	96	36
V	210	175	83
VI	180	59	33
VII	273	213	78
VIII bis X	intakt		300
Das Mittel			**63,1**
4 Sdtn			
I	276	48	17
II	233	67	29
III	215	63	29
IV	225	68	30
V	231	39	17
VI	256	56	22
VII	173	69	40
VIII	256	174	76
IX	203	61	30
X	tot	—	0
Das Mittel			**29,0**
8 Stdn			
Alle Schnitte tot.			

Tabelle 103. *KCl* 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde			
I	158	113	71
II	202	177	88
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**95,9**
1 Stde 30 Min.			
I	215	160	74
II	241	162	67
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**94,1**
2 Stdn			
I	332	285	85
II	315	283	90
III	129	44	34
IV	263	129	87
V	261	112	81
VI	240	200	83
VII	202	169	84
VIII bis X	intakt		300
Das Mittel			**84,4**
2 Stdn 30 Min.			
I	232	132	53
II	243	177	73
III	256	201	79
IV	288	119	76
V	182	152	84
VI	262	123	85
VII bis X	intakt		400
Das Mittel			**85,0**
3 Stdn			
I	232	79	34
II	196	82	42
III	226	156	69
IV	240	81	34
V	224	159	71
VI bis X	intakt		500
Das Mittel			**75,0**
4 Stdn			
I	289	70	24
II	156	117	74
III	249	191	77
IV	238	49	21
V	285	110	77
VI	240	190	79
VII	185	147	79
VIII	intakt		100
IX bis X	tot		0
Das Mittel			**53,1**
8 Stdn			
I	262	40	15
II	281	69	24
III	255	67	26
IV	186	61	32
V	298	102	34
VI	225	59	26
VII	204	74	36
VIII	210	85	41
IX	210	70	33
X	tot		0
Das Mittel			**29,7**
10 Stdn			
I	319	67	21
II	261	99	38
III	241	74	31
IV	218	72	33
V	280	223	80
VI	233	88	38
VII	225	77	34
VIII	282	93	33
IX	306	88	29
X	225	95	42
Das Mittel			**37,3**
12 Stdn			
I	420	85	20
II	249	50	20
III	272	187	69
IV	274	77	28
V	212	59	28
VI	342	90	26
VII	272	46	16
VIII	240	180	75
IX	169	60	36
X	258	81	31
Das Mittel			**34,9**
I	247	66	27
II	324	80	25
III	240	149	62
IV	225	68	31
V	273	228	84
VI bis X	tot		0
Das Mittel			**22,9**

Tabelle 104. $KC_2H_3O_2$ 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I bis X	Alle Schn. intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde 30 Min.			
I	182	137	75
II	224	179	80
III	248	191	77
IV	203	169	83
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**91,5**
2 Stdn			
I	248	64	26
II	248	166	67
III	162	33	21
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**81,4**
2 Stdn 30 Min.			
I	247	184	75
II	254	186	73
III	281	114	76
IV	224	171	79
V	tot		0
VI bis X	intakt		500
Das Mittel			**80,0**
3 Stdn			
I	240	60	25
II	233	184	79
III	183	140	76
IV	218	143	66
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**84,6**
4 Stdn			
I	226	156	69
II	169	101	60
III	272	105	39
IV	231	164	71
V	241	63	26
VI	208	146	70
VII	238	179	75
VIII	tot		0
IX X	intakt		100
Das Mittel			**62,0**
8 Stdn			
I	263	187	71
II	306	249	81
III	204	174	85
IV	218	179	82
V	223	166	74
VI	352	80	23
VII	210	105	50
VIII	233	110	47
IX	217	186	86
X	239	194	81
Das Mittel			**68,0**
10 Stdn			
I	252	198	79
II	216	177	81
III	280	230	82
IV	232	74	32
V	273	226	83
VI	259	181	70
VII	240	90	38
VIII	240	98	41
IX	252	24	10
X	tot		0
Das Mittel			**51,6**
12 Stdn			
I	140	91	65
II	349	292	84
III	225	168	75
IV	166	116	70
V	186	121	65
VI	196	136	69
VII	231	107	46
VIII	202	157	78
IX	182	144	79
X	190	78	41
Das Mittel			**67,2**
24 Stdn			
I	340	225	66
II	314	60	19
III	183	128	70
IV	272	206	76
V	322	93	60
VI	208	63	23
VII bis X	tot		0
Das Mittel			**31,4**

Tabelle 105. *K-Tartrat* 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

30 Min.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
I bis X	Alle Schn. intakt		
Das Mittel			**100,0**

1 Stde

I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**

1 Stde 30 Min.

I	193	138	75
II	195	128	66
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**94,1**

2 Stdn

I	224	211	84
II	226	184	82
III	306	118	39
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**90,5**

2 Stdn 30 Min.

I	233	158	68
II	204	155	76
III	290	201	69
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**91,3**

3 Stdn

I	312	227	73
II	224	77	94
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**90,7**

4 Stdn

I	226	156	69
II	169	101	60
III	272	105	39
IV	231	164	71
V	241	63	26
VI	208	146	70
VII	238	179	75
VIII	tot		0
IX X	intakt		100 100
Das Mittel			**70,7**

8 Stdn

I	202	122	61
II	264	184	70
III	247	202	82
IV	256	211	82
V	tot		0
VI bis X	intakt		500
Das Mittel			**79,5**

10 Stdn

I	224	179	80
II	380	220	76
III	248	189	76
IV	339	254	75
V	342	275	80
VI	371	295	80
VII	359	314	87
VIII bis X	intakt		300
Das Mittel			**85,4**

12 Stdn

I	233	100	43
II	380	40	11
III	230	151	66
IV	240	212	89
V	306	108	35
VI	218	70	32
VII bis X	intakt		400
Das Mittel			**67,6**

24 Stdn

I	362	128	35
II	315	58	18
III	334	129	39
IV	269	224	83
V	218	176	81
VI	189	122	64
VII	233	72	31
VIII	tot		0
IX X	intakt		100
Das Mittel			**45,1**

Tabelle 106. K_2SO_4 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
1 Stde			
I	218	182	84
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,4**
2 Stdn			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde 30 Min.			
I bis X	Alle Schnitte intakt		
Das Mittel			**100,0**
2 Stdn 30 Min.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
3 Stdn			
I	203	143	71
II	264	189	72
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**94,3**
4 Stdn			
I	264	184	70
II	389	333	86
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**95,6**
8 Stdn			
I	200	155	72
II	256	188	74
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**94,6**
10 Stdn			
I	176	170	40
II	268	198	74
III	248	198	80
IV	321	241	75
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**86,9**
12 Stdn			
I	240	193	81
II	233	178	76
III	256	203	79
IV	240	181	76
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**91,2**
24 Stdn			
I	342	105	31
II	217	45	21
III	274	196	72
IV	tot.		0
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**62,4**

Tabelle 107. *K-Zitrat* 0,2 norm.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
1 Stde			
1 Stde 30 Min.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
2 Stdn			
I	249	215	86
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,6**
2 Stdn 30 Min.			
I	255	224	88
II	249	185	73
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**96,1**
3 Stdn			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
4 Stdn			
I	168	128	76
II	340	262	77
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**95,5**
8 Stdn			
I	265	206	78
II	224	194	87
III	210	160	75
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**94,0**
10 Stdn			
I	298	223	75
II	189	144	76
III	225	148	66
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**91,7**
12 Stdn			
I	217	68	31
II	210	165	79
III	169	133	79
IV	349	308	88
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**87,7**
24 Stdn			
I	249	164	66
II	233	170	73
III	240	175	73
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**91,2**

Zur besseren Übersicht der Ergebnisse der V Versuchsserie sind alle Mittelprozente der plasmolysefähigen Zellen aus je 10 Schnitten in der folgenden Tabelle 108 angeführt.

Übersichtstabelle der V Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,2 *n*. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

Tabelle 108.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	*KBr*	*KJ*	*KNO₃*	*KCNS*	*KCl*	*KC₂H₃O₂*	*K-Tartrat*	*K₂SO₄*	*K-Zitrat.*
	Jede Zahl ist das Mittelprozent d. plasmol. Zellen in 10 Schn.								
30 Min.	94,8	91,9	98,4	93,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 Stde	86,6	91,4	95,3	96,5	95,9	100,0	100,0	100,0	100,0
1 St. 30 M.	75,4	89,0	89,9	89,6	94,1	91,5	94,1	100,0	100,0
2 Stdn	58,0	55,7	75,7	72,2	84,4	81,4	90,5	98,4	98,6
2 St. 30 M.	29.6	58, 7	76,6	80,1	85,0	80,0	91,3	100,0	96,1
3 Stdn	22,5	29,9	63,1	60,1	75,0	84,6	90,7	94,3	100,0
4 „	2,7	3,9	29,0	60,4	53,1	62,0	70,7	95,6	95,5
8 „	0	0	0	0	29,7	68,0	79,5	94,6	94,0
10 „	—	—	—	—	37,3	51,6	85,4	86,9	91,7
12 „	—	—	—	—	34,9	67,2	67,6	91,2	87,7
24 „	—	—	—	—	22,9	31,4	45,1	62,4	91,2
Das Mittel	33,6	38,2	48,0	50,2	64,7	74,3	83,2	93,0	95,8

Wie die Tabelle lehrt, nimmt die Koagulationsenergie der Anionen der Kaliumsalze in bezug auf das Zebrinaplasma in der Reihenfolge ab:

Br, $J > NO_3$, $CNS > Cl > C_2H_3O_2 >$ Tartrat $> SO_4$, Zitrat.

Die Abbildung 2 zeigt uns die Wirkung der Kaliumsalze auf das Zebrinaplasma in Gestalt von Kurven.

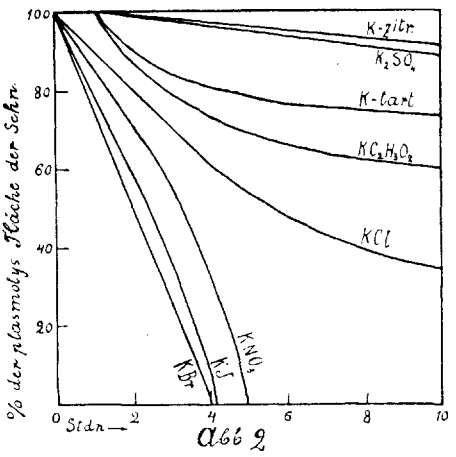


Abb 2

VI Serie. Versuchspflanze — *Zebrina pendula.*

Tabelle 109. *NaCNS* 0,2 norm.

№ d. Schn	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

30 Min.			
I bis X	Alle Schn. intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde			
I	264	221	84
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,4**
2 Stdn			
I	287	110	38
II	249	221	89
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**92,7**

3 Stdn			
I	290	207	81
II	288	144	50
III	210	148	71
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**89,2**
4 Stdn			
I	257	77	30
II	289	128	44
III	195	156	80
IV	tot		0
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**75,4**

6 Stdn			
I	215	70	33
II	240	188	78
III	257	95	37
IV	217	60	28
V	180	135	75
IV	218	171	79
VII	183	143	78
VIII bis X	tot		0
Das Mittel			**40,8**
8 Stdn			
I	218	81	37
II	263	95	35
III	414	309	75
IV bis X	tot		0
Das Mittel			**14,8**

10 Stdn			
I	218	188	86
II	170	46	27
III	218	47	22
IV	234	66	28
V	282	246	87
VI bis X	tot		0
Das Mittel			**25,0**
12 Stdn			
I	290	217	75
II bis X	tot		0
Das Mittel			**7,5**
24 Stdn			
I bis X	tot.		0
Das Mittel			**0**

Tabelle 110. *NaI* 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
1 Stde			
I bis X	Alle Schnit. intakt		
Das Mittel			**100,0**
2 Stdn			
I	204	75	37
II	273	122	45
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**88,2**
3 Stdn			
I	264	207	79
II	281	245	87
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**96,6**
4 Stdn			
I	289	61	21
II	211	154	73
III	326	73	22
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**81,6**
6 Stdn			
I	247	92	37
II	202	164	81
III	tot		0
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**81,8**
8 Stdn			
I	240	175	73
II	188	161	86
III bis VI	tot		0
VII bis X	intakt		400
Das Mittel			**55,9**
10 Stdn			
I	180	53	30
II	170	56	33
III	150	31	21
IV	tot		0
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**68,4**
12 Stdn			
I	289	61	21
II	210	164	78
III	169	38	23
V	272	39	14
IV bis X	tot		0
Das Mittel			**14,2**
24 Stdn			
I	218	53	24
II	256	85	33
III	218	79	36
IV	256	231	90
V bis X	tot.		0
Das Mittel			**18,3**

Tabelle 111. $NaNO_3$ 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I bis X	Alle Schn. intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde			
I	210	169	81
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,1**
2 Stdn			
I	312	265	85
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,5**
3 Stdn			
I	169	62	37
II	213	85	40
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**87,7**
4 Stdn			
I	182	55	31
II	223	174	78
III	231	196	85
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**89,4**
6 Sdtn			
I	226	87	39
II	208	169	81
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**92,0**
8 Stdn			
I	225	170	76
II	tot		0
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**87,6**
10 Stdn			
I	176	65	37
II	225	168	75
III	247	177	72
IV	203	113	61
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**84,5**
12 Stdn			
I	201	35	18
II	272	46	18
III	270	69	26
IV	189	39	21
V bis X	tot		0
Das Mittel			**8,3**
24 Stdn			
I	240	56	23
II	207	174	85
III	265	66	25
IV	389	128	33
V bis VII	intakt		300
VIII bis X	tot		0
Das Mittel			**46,6**

Tabelle 112. *NaBr* 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
1 Stde			
2 Stdn			
3 Stdn			
I bis X	Alle Schn. intakt		
Das Mittel			**100,0**
4 Stdn			
I	166	117	71
II	240	210	88
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**95,9**
6 Stdn			
I	246	79	32
II	276	259	90
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**92,2**
8 Stdn			
I	342	135	40
II	233	203	87
III	223	35	20
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**84,7**
10 Stdn			
I	217	52	24
II	233	178	76
III	234	181	81
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**88,1**
12 Stdn			
I	265	90	34
II	163	43	26
III	173	59	35
IV	182	38	21
V bis VII	intakt		300
VIII bis X	tot		0
Das Mittel			**41,6**
24 Stdn			
I	278	50	18
II	210	57	27
III	233	157	67
IV	252	182	72
V	233	61	26
VI	390	68	18
VII bis X	tot		0
Das Mittel			**22,8**

Tabelle 113. $NaC_2H_3O_2$ 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.; 1 Stde			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
2 Stdn			
I	289	218	75
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**97,5**
3 Stdn			
I	225	198	88
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,8**
4 Stdn			
I	261	206	79
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**97,9**
6 Stdn			
I	160	64	40
II	254	214	84
III	225	200	89
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**91,3**
8 Stdn			
I	241	100	42
II	272	105	39
III	203	166	82
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**86,3**
10 Stdn			
I	144	65	45
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**94,5**
12 Stdn			
I	247	177	72
II	272	69	25
III	297	98	33
IV	249	80	32
V	147	39	27
VI	250	70	28
VII bis X	intakt		400
Das Mittel			**61,7**
24 Stdn			
I	289	59	21
II	263	198	75
III	256	74	29
IV	264	47	18
V	tot		0
VI bis X	intakt		500
Das Mittel			**64,3**

Tabelle 114. *NaCl* 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 M., 1 St., 2 Stdn			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
3 Stdn			
I	315	266	84
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,4**
4 Stdn			
I	189	49	25
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**92,5**
6 Stdn			
I	225	184	82
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,2**
8 Stdn			
I	283	243	86
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,6**
10 Stdn			
I	232	65	28
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**92,8**
12 Stdn			
I	232	55	24
II	240	61	26
III	247	200	81
IV	231	186	81
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**81,2**
24 Stdn			
I	248	180	73
II	280	105	38
III	224	76	34
IV	252	46	18
V	264	215	82
VI	273	209	77
VII	167	48	29
VIII	tot		0
IX bis X	intakt		200
Das Mittel			**55,1**

Tabelle 115. *Na-Tartrat* 0,2 *n.* Na_2SO_4 0,2 *n.* *Na-Zitrat* 0,2 *n.*

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 M., 1 Stde, 2 Stdn			
3 Stdn, 4 Stdn, 6 Stdn, 8 Stdn			
I bis X	Alle Schn. intakt		
Das Mittel			**100,0**
10 Stdn			
I	169	42	25
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**92,5**
12 Stdn			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
24 Stdn			
I	203	61	30
II	306	238	78
III	256	81	32
IV	231	156	68
V	256	106	41
VI	260	181	70
VII bis X	intakt		400
Das Mittel			**71,9**
30 M., 1 Stde, 2 Stdn, 3 Stdn			
4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
24 Stdn			
I	197	176	59
II	212	206	76
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**93,5**
30 M., 1 Stde, 2 Stdn			
3 St., 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St., 24 St.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**

Übersichtstabelle der VI Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,2 *n*. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

Tabelle 116.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	$NaCNS$	NaJ	$NaNO_3$	$NaBr$	$NaC_2H_3O_2$	$NaCl$	Na-Tartrat	Na_2SO_4	Na-Zitrat
	Jede Zahl ist d. Mittelprozent d. plasmol. Zellen in 10 Schn.								
30 Min.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 Stde	98,4	100,0	98,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2 Stdn	92,7	88,2	98,5	100,0	97,5	100,0	100,0	100,0	100,0
3 „	89,2	96,6	87,7	100,0	98,8	98,4	100,0	100,0	100,0
4 „	75,4	81,6	89,4	95,9	97,9	92,5	100,0	100,0	100,0
6 „	40,8	81,8	92,0	92,2	91,3	98,2	100,0	100,0	100,0
8 „	14,8	55,9	87,6	84,7	86,3	98,6	100,0	100,0	100,0
10 „	25,0	68,4	84,5	88,1	94,5	92,8	92,5	100,0	100,0
12 „	7,5	14,2	8,3?	41,6	61,7	81,2	100,0	100,0	100,0
24 „	0	18,3	46,6	22,8	64,3	55,1	71,9	93,5	100,0
Das Mittel	54,4	70,5	79,3	82,5	89,2	91,7	96,4	99,3	100,0

Auf Grund der Ergebnisse der Tabelle 116 erhält man folgende Anionreihen der Natriumsalze, mit dem wirksamsten Jon an erster Stelle.

$$CNS > J > NO_3, Br, C_2H_3O_2, Cl, Tartrat, SO_4, Zitrat.$$

Die Kurven der Abbildung 3 stellen den Zusammenhang zwischen der Versuchsdauer und der koagulierenden Wirkung der Natriumsalze dar.

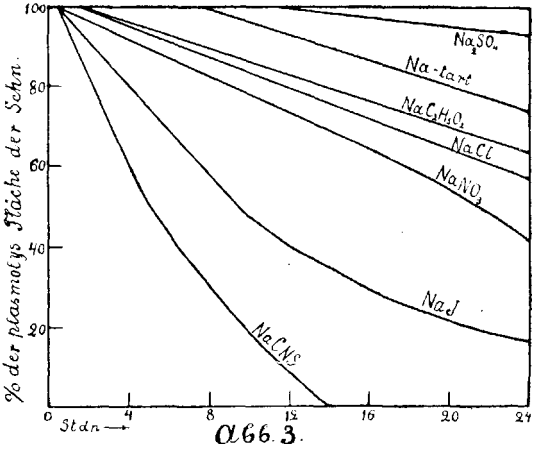


Abb. 3.

VII. Serie. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

Tabelle 117. NH_4CNS 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	D. Zahl der plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I	192	170	89
II	210	158	75
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**94,4**
1 Stde			
I	233	47	21
II	159	45	28
III	176	60	34
IV	203	52	26
V	190	50	26
VI	182	42	78
VII	203	41	21
VIII	tot		0
IX bis X	intakt		200
Das Mittel			**43,4**
1 Stde 30 Min.			
I	184	53	29
II	234	159	68
III	176	46	25
IV	232	85	37
V	240	193	81
VI	247	45	18
VII	intakt		100
VIII bis X	tot		0
Das Mittel			**35,8**
2 Stdn			
I	210	155	74
II	195	54	28
III	139	94	50
IV	210	35	14
V	217	165	76
VI bis X	tot		0
Das Mittel			**24,2**
2 Stdn 30 Min.			
I	248	173	70
II	232	126	54
III bis X	intakt		0
Das Mittel			**12,4**
3 Stdn			
I	218	171	78
II	202	87	43
III	280	63	23
IV	203	75	37
V	150	35	23
VI	169	93	55
VII bis X	tot		0
Das Mittel			**25,9**
4 Stdn			
I	164	55	34
II	152	97	64
III bis X	tot		0
Das Mittel			**8,8**
6 Stdn			
I	218	50	23
II	255	185	73
III bis X	tot		0
Das Mittel			**9,6**
8 Stdn			
I bis X	tot		0
Das Mittel			**0**

Tabelle 118. NH_4I 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	D. Zahl der plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I	203	171	84
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,4**
1 Stde; 1 Stde 30 Min.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
2 Stdn			
I	169	52	31
II	218	158	72
III	150	113	75
IV	272	192	71
V	212	147	69
VI	183	27	69
VII bis X	intakt		400
Das Mittel			**78,7**
2 Stdn 30 Min.			
I	289	223	77
II	183	106	58
III	193	90	47
IV	147	99	67
V	255	200	78
VI	230	160	700
VII bis X	intakt		400
Das Mittel			**79,7**
3 Stdn			
I	152	103	68
II	217	158	73
III	182	129	71
IV	169	120	71
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**88,3**
4 Stdn			
I	210	123	59
II	234	154	66
III	189	134	71
IV	232	173	75
V	172	134	78
VI bis X	intakt		500
Das Mittel			**84,9**
6 Stdn			
I	257	60	23
II	203	149	73
III	224	58	26
IV	225	136	61
V bis X	tot		0
Das Mittel			**18,3**
8 Stdn			
I	144	78	54
II	263	164	62
III	189	21	48
VI bis X	tot		0
Das Mittel			**16,4**
10 Stdn			
I	210	135	69
II	150	46	30
III	272	58	21
IV bis X	tot		0
Das Mittel			**12,0**
12 Stdn			
I bis X	tot		0
Das Mittel			**0**

Tabelle 119. NH_4Br. 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde			
I	203	158	78
II	217	182	84
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**96,2**
1 Stde 30 Min.			
I	182	149	82
II	196	137	70
III	156	116	74
IV	204	66	81
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**90,7**
2 Stdn			
I	189	75	40
II	169	121	72
III	190	63	33
IV	218	166	76
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**82,1**
2 Stdn 30 Min.			
I	175	125	71
II	210	135	64
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**93,5**
3 Stdn			
I	218	176	81
II	372	235	61
III	217	152	71
IV	203	155	76
V	133	80	61
VI bis X	intakt		500
Das Mittel			**85,0**
4 Stdn			
I	195	143	73
II	152	81	53
III	203	155	76
IV	233	181	78
V	218	153	70
VI bis X	intakt		500
Das Mittel			**85,0**
6 Stdn			
I	203	52	26
II	265	211	80
III	195	46	24
IV	195	158	81
V	249	99	40
VI	200	33	17
VII	226	64	78
VIII bis X	tot		0
Das Mittel			**29,6**
8 Stdn			
I	182	82	45
II	196	110	56
III	169	139	81
IV	224	115	51
V	168	121	72
VI	209	47	23
VII	218	77	35
VIII bis X	tot		0
Das Mittel			**36,4**
10 Stdn			
I	218	77	35
II	170	49	29
III	175	28	16
IV	156	32	21
V bis X	tot		0
Das Mittel			**10,1**
12 Stdn			
I bis X	tot		0
Das Mittel			**0**

Tabelle 120. NH_4NO_3 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I	189	114	61
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**96,1**
1 Stde			
I	202	176	86
II	168	138	82
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**96,8**
1 Stde 30 Min.			
I	203	173	85
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,5**
2 Stdn			
I	225	191	85
II	157	123	78
III	180	66	37
IV	162	115	71
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**87,1**
2 Stdn 30 Min.			
I	211	153	73
II	197	150	80
III	193	138	71
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**92,4**
3 Stdn			
I	169	53	31
II	150	73	49
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**88,0**
4 Stdn			
I	150	100	67
II	256	48	19
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**88,6**
6 Stdn			
I	132	43	33
II	172	63	37
III	162	88	54
IV	177	34	19
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**74,3**
8 Stdn			
I	189	32	17
II	195	75	38
III	177	37	20
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**77,5**
10 Stdn			
I	196	63	83
II	183	78	43
III	176	109	62
IV	264	205	78
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**86,4**
12 Stdn			
I	210	150	71
II	182	142	78
III	176	121	69
IV	tot		0
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**81,8**
24 Stdn			
I	226	186	82
II	226	193	86
III bis X	tot		0
Das Mittel			**16,8**

Tabelle 121. $(NH_4)_2HPO_4$ 0,2 norm.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde			
I	240	193	81
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**98,1**
1 St. 30 Min ; 2 Stdn			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
2 Stdn 30 Min.			
I	245	191	78
II	264	66	25
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**90,3**
3 Stdn			
I	182	115	63
II	157	107	68
III	210	55	26
IV	210	84	40
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**79,7**
4 Stdn			
I	217	34	16
II	152	88	58
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**87,4**
6 Stdn			
I	267	193	72
II	232	170	73
III	157	97	62
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**90,7**
8 Stdn			
I	156	102	65
II	203	143	71
III	156	119	76
IV	156	52	33
V	282	58	21
VI bis X	intakt		500
Das Mittel			**76,6**
10 Stdn			
I	203	161	21
II	248	50	20
III	216	163	75
IV	126	106	54
V	192	138	72
VI	189	126	67
VII bis X	intakt		400
Das Mittel			**70,9**
12 Stdn			
I	211	144	68
II	205	145	71
III	210	83	40
VI	233	190	82
V	182	146	81
VI bis X	intakt		500
Das Mittel			**84,2**
24 Stdn			
I	234	90	38
II	196	85	49
III	210	132	63
IV bis X	tot		0
Das Mittel			**14,4**

Tabelle 122. $NaCl$ 0,2 *n*. $(NH_4)_2SO_4$ 0,2 *n*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde			
I	169	126	75
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**97,5**
1 Stde 30 Min.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
2 Stdn			
I	149	194	70
II b is X	intakt		900
Das Mittel			**97,0**
2 Stdn 30 Min.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
3 Stdn			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
4 Stdn			
I	156	48	30
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**93,0**
6 Stdn			
I	158	114	72
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**97,0**
8 Stdn			
I	173	57	33
II	196	89	45
III	203	38	19
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**79,7**

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
10 Stdn			
I	236	171	72
II	189	149	79
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**95,1**
12 Stdn			
I	203	140	66
II	256	207	81
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**94,7**
24 Stdn			
I	176	68	39
II	163	133	82
III	184	133	72
IV	183	125	68
V bis VI	intakt		200
VII bis X	tot		0
Das Mittel			**46,1**

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
30 Min.; 1 Stde			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
1 Stde 30 Min.			
I	208	148	71
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**97,1**
2 St., 2 St. 30 Min. 3 St., 4, 6, 8 St.			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
10 Stdn			
I	183	141	77
II	281	242	86
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**96,3**

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
12 Stdn			
I	232	185	80
II	209	152	78
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**95,0**
24 Stdn			
I	188	148	78
II	240	198	83
III	intakt		100
IV bis X	tot		0
Das Mittel			**26,1**

Tabelle 123.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.

$SrCl_2$ 0,2 *n*.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
4 Stdn, 8 Stdn			
I—X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
10 Stdn			
I	194	145	74
II	182	157	86
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**96,0**
12 Stdn			
I	175	120	69
II bis X	intakt		900
Das Mittel			**96,9**
16 Stdn			
I	217	50	23
II	154	24	15
III	272	205	75
IV	280	241	86
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**79,9**
20 Stdn			
I	230	174	76
II	227	168	74
III	325	270	83
IV	168	133	79
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**91,2**

$MgCl_2$ 0,2 *n*.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
4St, 8St, 10St, 12St			
I bis X	Alle Schn. intakt		
Das Mittel			**100,0**
16 Stdn			
I	233	186	79
II	182	42	23
III	225	179	87
IV bis X	intakt		700
Das Mittel			**88,9**
20 Stdn			
I	217	40	18
II	189	78	41
III	246	193	78
IV	316	266	84
V bis X	intakt		600
Das Mittel			**82,1**

$BaCl_2$ 0,2 *n*.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
4St, 8St, 10St, 12St			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
16 Stdn			
I	215	59	27
II	264	79	30
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**85,7**
20 Stdn			
I	210	170	81
II	263	48	18
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**89,0**

$CaCl_2$ 0,2 *n*.

№ d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
4St, 8St, 10St, 12St			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**
16 Stdn			
I	281	227	81
II	357	317	89
III bis X	intakt		800
Das Mittel			**97,0**
20 Stdn			
I bis X	intakt		
Das Mittel			**100,0**

Übersichtstabelle der VII Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,2 *n*. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

Tabelle 124.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	NH_4CNS	NH_4J	NH_4Br	NH_4NO_3	$(NH_4)_2HPO_4$	NH_4Cl	$(NH_4)_2SO_4$
	Jede Zahl ist das Mittelprozent d. plasmol Zellen in 10 Schn.						
30 Min.	96,4	98,4	100,0	96,1	100,0	100,0	100,0
1 Stde	43,4	100,0	96,2	96,8	98,1	97,5	100,0
1 St. 30 M.	35,8	100,0	90,7	98,5	100,0	100,0	97,1
2 Stdn	24,2	78,7	82,1	87,1	100,0	97,0	100,0
2 St. 30 M.	12,4	79,7	93,5	92,4	90,3	100,0	100,0
3 Stdn	25,9	88,3	85,0	88,0	79,7	100,0	100,0
4 „	8,8	84,9	85,0	88,6	87,4	93,0	100,0
6 „	9,6	18,3	29,6	74,3	90,7	97,2	100,0
8 „	0	16,4	36,4	77,5	76,6	79,7	100,0
10 „	—	12,0	10,1	86,6	70,9	95,1	96,3
12 „	—	0	0	81,8	84,2	94,7	95,8
24 „	—	—	—	16,8	14,4	46,1	26,1
Das Mittel	21,4	56,4	59,0	82,0	82,7	91,7	93,0

Nach den Daten der Tabelle 124 lassen sich die Anionen nach der abnehmenden Koagulationsenergie in folgende Reihenfolge anordnen:

$$CNS > J,\ Br > NO_3,\ HPO_4 > Cl,\ SO_4$$

Die Kurven der Abbildung 4 zeigen uns den Zusammenhang zwischen der Versuchsdauer und der Koagulationsenergie der Ammoniumsalze.

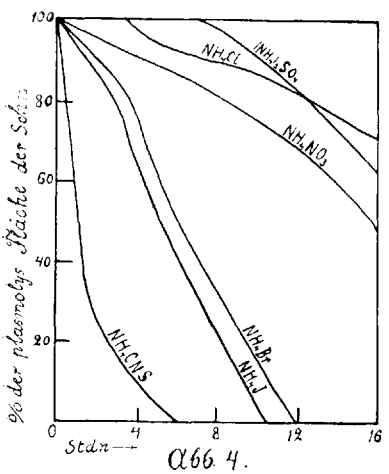


Abb. 4.

Bisher hatten wir von den Versuchsergebnissen mit *Zebrina pendula* nur die Anionenwirkungen einer Betrachtung unterworfen. Für den Vergleich der Kationenwirkungen sind in der folgenden Tabelle die Mittelprozente plasmolysierter Zellen in Schnitten aus den Tabellen 108, 116 und 124 entnommen und zwar für die Zeitabschnitte 30

Min, 1 Stde, 2 Stdn, 3 Stdn, 4 Stdn, 8 Stdn, 10 Stdn, 12 Stdn und 24 Stdn.

Kationen der Alkalimetalle und des Ammoniums.

Konzentration der Lösungen 0,2 *n*. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

Tabelle 125.

Anion→ / Kation↓	*CNS*	*J*	*Br*	*NO₃*	*Cl*	*$C_2H_3O_2$*	*Tartrat*	*SO_4*	*Zitrat*
	Jede Zahl ist d. Mittelprozent d. plasmol. Zellen in 90 Schn.								
Na	66,8	69,2	81,5	73,4	90,9	89,0	96,0	99,3	100,0
NH_4	22,1	53.2	55,0	77,7	89,2	—	—	90,9	—
K	42,6	30,5	29,4	40,1	58,2	71,8	81,1	91,5	95,4

Nach den Ergebnissen der Tabelle 125 erhalten wir folgende Kationenreihen, mit dem wirksamsten Kation an erster Stelle.

↓ Anion	Kation→	↓ Anion	Kation→	↓ Anion	Kation→
CNS	$NH_4 > K > Na$	NO_3	$K > Na, NH_4$	*Tartrat*	$K > Na$
J	$K > NH_4 > Na$	*Cl*	$K > NH_4, Na$	SO_4	NH_4, K, Na
Br	$K > MH_4 > Na$	$C_2H_3O_2$	$K > Na$	*Zitrat*	$K > Na$

Kationen der Chloride der Alkalimetalle und der Erdalkalien.

Konzentration der Lösungen 0,2 *n*.

Tabelle 126.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	*KCl*	*NH₄Cl*	*NaCl*	*$SrCl_2$*	*$MgCl_2$*	*$BaCl_2$*	*$CaCl_2$*
	Jede Zahl ist das Mittelprozent d. plasmolys. Zellen in 10 Schn.						
4 Stdn	53,1	93,0	92,5	100,0	100,0	100,0	100,0
8 „	29,7	79,7	98,6	100,0	100,0	100,0	100,0
10 „	37,3	95,1	92,8	96,0	100,0	100,0	100,0
12 „	34,9	94,7	81,2	96,9	100,0	100,0	100,0
16 „	—	—	—	79,9	88,9	85,7	97,0
20 „	—	—	—	91,2	82,1	89,9	100,0
24 „	22,9	46,1	55,1	—	—	—	—
Das Mittel	35,5	81,7	84,0	94,0	95,1	96,9	99,5

Die Ergebnisse der Tabelle 126 lassen sich durch folgende Kationenreihe veranschaulichen, wobei an erster Stelle das wirksamste Ion steht:

$$K > NH_4,\ Na > Sr,\ Mg,\ Ba,\ Ca.$$

Die Kurven der Abb. 5 illustrieren die Koagulationsenergie der Chloride der Alkalisalze und Erdkalien.

In den obenbeschriebenen Versuchen mit den Zebrinaschnitten sind Lösungen nur ein und derselben Konzentration 0,2 norm. angewandt, weil diese empirisch gefundene Konzentration sich am besten für die Untersuchungen der Plasmakoagulation eignet. Eine stärkere Konzentration ruft einerseits eine zu starke Plasmolyse hervor, und inbezug auf die letztere ist Zebrina weit mehr empfindlich als das Rotkraut. Andererseits wirken die stärkeren Lösungen zu schnell, und infolgedessen würde das Zählen der koagulierten Zellen zu schwierig sein.

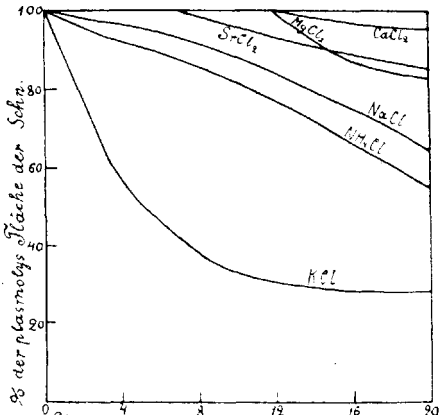


Abb. 5

Mit schwächeren, als die übliche Konzentration 0,2 norm., haben wir zwei Versuchsserien angestellt, mit Natriumsalzen — 0,1 norm. und mit Kaliumsalzen — 0,05 norm. Die Mehrheit dieser schwachen Salzlösungen hat sich im allgemeinen als ziemlich wenig aktiv erwiesen. Am wirksamsten sind die Rhodanide, Jodide und Bromide, die auch bei dieser Konzentration noch ziemlich stark das Plasma koagulieren; in den Lösungen der übrigen Salze ist ein kleiner Teil der Zellen (ungefähr 5—15%) erst nach 18—24 Stdn koaguliert.

Wegen Raumersparnis sind hier nur die Übersichtstabellen angeführt.

Übersichtstabelle der Versuchsergebnisse mit den Natriumsalzen
0,1 norm.
Versuchspflanze — *Zebrina pendula.*
Tabelle 127.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	*NaI*	*NaCNS*	*$NaC_2H_3O_2$*	*$NaNO_3$*	*Na_2SO_4*	*NaCl*	*KCl*	*LiCl*	*NH_4Cl*
	Jede Zahl ist das Mittelprozent der plasmolysierten Zellen in 10 Schnitten								
1 St. 30 M.	100,0	—	—	—	—	—	—	—	—
3 Stdn	58,2	—	—	—	—	—	—	—	—
4 St. 30 M.	48,8	—	—	—	—	—	—	—	—
6 Stdn	4,1	—	—	—	—	—	—	—	—
9 „	0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
12 „	—	51,1	100,0	96,4	100,0	93,6	98,9	93,8	100,0
18 „	—	20,8	93,6	93,6	96,1	94,5	100,0	90,6	96,5
24 „	—	2,7	85,1	92,7	88,7	97,9	96,8	96,7	100,0
36 „	—	0	71,2	86,2	88,5	90,6	98,1	87,0	14,3
Das Mittel	—	34.9	89,9	93,6	94,6	95,3	98,7	93,6	82.1

Nach den Daten der obenangeführten Tabelle nimmt die koagulierende Energie der Anionen in folgender Reihenfolge ab:

$$I > CNS > C_2H_3O_2,\ NO_3,\ SO_4,\ Cl.$$

Die Aktivität der Kationen der Chloride nimmt in dieser Reihe ab:

$$NH_4 > Li,\ Na,\ Ka.$$

Übersichtstabelle der Versuchsergebnisse mit den Kaliumsalzen
0,05 norm.
Versuchspflanze — *Zebrina pendula.*
Tabelle 128.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	*KCNS*	*KBr*	*KI*	*$KC_2H_3O_2$*	*KNO_3*	*KCl*	*K-Tartrat*	*K-Zitrat*	*K_2SO_4*
	Jede Zahl ist das Mittelprozent der plasmolysierten Zellen in 10 Schnitten.								
12 Stdn	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
24 „	85,3	85,3	89,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
36 „	9,8	47,4	93,2	95,7	96,4	96,6	100,0	100,0	100,0
Das Mittel	65,2	77,5	94,2	98,5	98,8	98,9	100,0	100,0	100,0

Aus den Daten der Tabelle 128 ist zu ersehen, dass die ersten drei Salze die grösste Wirkung aufweisen, die folgenden drei haben eine sehr schwache Wirkung und die letzten drei sind hier inaktiv. Mit dem wirksamsten Anion an erster Stelle erhält man folgende Reihenfolge:

$CNS > Br > I, \underline{C_2H_3O_2, NO_3, Cl,} \underline{Tartrat, Zitrat, SO_4.}$

Besprechung der Resultate.

Die Versuchsergebnisse mit den Alkalisalzen und Erdkalien (Tabellen № 35, 63, 89, 108, 116, 124, 126—128) zeigen, dass bei ein und demselben Kation die Anionen eine verschieden starke Koagulationsenergie haben und umgekehrt.

Daraus ist es ersichtlich, dass die Metall- und Säureanteile der Salze in den Lösungen ganz unabhängig von einander wirken und dass die Wirkung eine Summe aus zwei Summanden darstellt. Somit haben wir es also hier mit der additiven Wirkung der Salze zu tun.

Vergleichen wir mit einander alle erhaltene Anionenreihen.

Übersichtstabelle der Anionenwirkungen.

Tabelle 129.

Pflanze	Konz.	Kation	Anion →
Zebrina pendula	0.1n.	Natrium	$I > CNS > C_2H_3O_2 > NO_3, SO_4, Cl$
	0,2n.		$CNS > I > NO_3, Br > C_2H_3O_2, Cl, Tartrat, SO_4, Zitrat$
Rotkohl	0,35n.		$CNS, I > C_2H_3O_2, Cl, No_3, Tartrat, SO_4$
	0,5n.		$CNS > I > Br, C_2H_3O_2, NO_3, Cl > SO_4, Zitrat, Tartrat$
	0,75n.		$CNS, I > Br > Cl > NO_3, C_2H_3O_2 > SO_4, Tartrat, Zitrat$
Zebrina pendula	0,05n.	Kalium	$CNS > Br > I, \underline{C_2H_3O_2, NO_3, Cl,} \underline{Tartrat, Zitrat, SO_4}$
	0,2n.		$Br\ I > NO_3, CNS > Cl > C_2H_3O_2 > Tartrat, SO_4, Zitrat$
Rotkohl	0,35n.		$Br > I, CNS > C_2H_3O_2, NO_3, Cl, Tartrat, SO_4$
	0,5n.		$CNS > I, Br > NO_3, C_2H_3O_2 > Cl > Tartrat > Zitrat > SO_4$
	0,75n.		$CNS > I, Cl > Tartrat > Zitrat > SO_4$
Zebrina pendula	0,2n.	Ammonium	$CNS > I, Br > NO_3, HPO_4 > Cl, SO_4$
Rotkohl	0,35n.		$I > CNS > C_2H_3O_2. Br, NO_3, Cl > Tartrat, SO_4$
	0,5n.		$CNS > I, NO_3, Br > C_2H_3O_2 > Cl > Zitrat, Tartrat > SO_4$
	0,75n.		$CNS > Br, Cl, NO_3 > SO_4$

Alle Anionenreihen haben im allgemeinen den gleichen Charakter. In den Reihenfolgen, wo einige Abweichungen vorkommen, sind die Ionen in den meisten Fällen durch Kommata getrennt, d. h. die Wirkungsunterschiede liegen hier innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers, und infolgedessen ist es wohl kaum berechtigt, solchen ausschliesslichen Stellungen einiger Ionen in den Reihenfolgen eine wichtige Bedeutung zuzuschreiben.

Am Anfang der Reihenfolgen haben wir meistenteils Rhodanide, am Ende — Sulfate, in der Mitte — Nitrate und Chloride, an der linken Seite von den letzteren Jodide und Bromide, an der rechten Tartrate und Zitrate. Die Stellung der Azetate ist in den Reihen eine ziemlich veränderliche: in einigen kommen sie vor den Nitraten und Chloriden, in anderen zwischen denselben und hinter ihnen vor. Durchschnittlich können wir die Stellung der Azetate als eine zwischen den Nitraten und Chloriden liegende annehmen, denn in jenen Reihenfolgen, wo sie vor den Nitraten vorkommen, sind sie in der Regel von denselben durch Kommata getrennt.

Man kann aus allen Anionenreihen der Tabelle 130 eine Mittelreihe ableiten, die folgendes Aussehen hat:

$$CNS > I > Br > NO_3 > C_2H_3O_2 > Cl > Tartrat > Zitrat > SO_4$$

Schwieriger ist es eine Mittelreihe aus allen Kationen der Alkalisalze und des Ammoniums abzuleiten, da hier die Aktivitätsunterschiede viel kleiner sind als bei den Anionen. Ein Vergleich aller Kationenreihen der Alkalien zeigt uns folgendes.

Übersichtstabelle der Kationenwirkungen.

Tabelle 130.

Pflanze	Zebrina (0,2 n).	Rotkohl (0,5 n).	Rotkohl (0,75 n).
Anion	Kationen		
CNS	$NH_4 > K > Na$	NH_4, *K*, *Na*	*K*, NH_4, *Na*
I	$K > NH_4 > Na$	*K*, NH_4, *Na*	
Br	$K > NH_4 > Na$	$K > NH_4 > Na$	
NO_3	$K > NH_4 > Na$	$NH_4 > K > Na$	*Na*, NH_4
$C_2H_3O_2$	$K > Na$	*K*, *Na*, NH_4	
Cl	$K > NH_4 > Na$	*Na*, NH_4, *K*	*K*, *Na*, NH_4
Tartrat	$K > Na$	*K*, NH_4, *Na*	$K > Na$
Zitrat	$NH_4 > K$, *Na*	$NH_4 > K$, *Na*	$K > Na$
SO_4	*K*, $NH_4 > Na$	*Na*, $NH_4 > K$	*Na*, *K*, NH_4

Wie man aus dieser Gegenüberstellung sieht, sind die Kationenreihen bei den höheren Konzentrationen weniger regelmässig, als bei den niedrigeren. Dieses erklärt sich dadurch, dass bei den höheren Konzentrationen die Wirkungen der Kationen ziemlich gleich sind; in der Tabelle sind sie durch Kommata getrennt, d. h. die Wirkungsunterschiede liegen innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers. Infolgedessen war es erforderlich, für den Vergleich der koagulierenden Wirkung der Kationen nur die niedrige Konzentration 0,2 norm. in Betracht zu ziehen, wo die Aktivitätsunterschiede am besten ausgeprägt sind. In der ersten Spalte der Tabelle 130 steht von neun Fällen in sieben an erster Stelle das Kalium, von sieben Fällen in fünf an zweiter Stelle das Ammonium, und an letzter Stelle finden wir überall das Natrium. Somit ist für die Alkalisalze die Reihenfolge $K > NH_4 > Na$ am charakteristischesten. Es muss hier hervorgehoben werden, dass die Kaliumsalze die grösste Giftwirkung inbezug auf das Pflanzenplasma haben.

Im Vergleich mit den Alkalisalzen haben die Salze der alkalischen Erden und des Magnesiums eine schwächere koagulierende Wirkung. Wenn wir nicht die Kationenwirkungen der Konzentration 0,35 norm. in Betracht ziehen wollen, wo die Aktivitätsunterschiede zu klein sind, so haben wir bei 0,54 norm. und 0,75 norm. die Reihenfolge: Alkalimetalle $> Sr$, Ba, Mg, Ca, und zusammen für die Alkalikationen und die Erdalkalien: $K > NH_4 > Na > Sr$, Ba, Mg, Ca, wobei für die ersteren die Ergebnisse mit der Konzentration 0,2 norm. genommen worden sind (vgl. Seite 72). Im Ganzen differieren die Wirkungen der Erdalkalikationen von einander sehr wenig, und die Unterschiede liegen innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers. Es muss aber hervorgehoben werden, dass die Kalziumsalze im allgemeinen die geringste Giftigkeit für das Pflanzenplasma besitzen.

Die obenangeführten Anionen- und Kationenreihen bei der Plasmakoagulation sind die bekannten Reihenfolgen von Hofmeister, Pauli und Höber, die eine hervorragende Bedeutung bei vielen physikochemischen und insbesondere bei physiologischen Prozessen haben[1]), und es ist hier zweckmässig, bevor

1) R. Höber. Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe 1914. S. 308 ff.

wir zu den weiteren Besprechungen übergehen, einen kurzen Überblick über die diesbezüglichen Untersuchungen der genannten Autoren zu werfen.

Beginnend mit dem Jahre 1887 wurde von Fr. Hofmeister und von seinen Schülern eine Reihe von Untersuchungen unter dem Titel: „Zur Lehre von der Wirkung der Salze" veröffentlicht. In diesen Arbeiten wurden die Wirkungen der Salze auf Blutserum, Hühnereiweiss, Gelatine und auf andere Kolloidstoffe untersucht.

Hofmeisters Schüler S. Levith (1887) untersuchte die Wirkung der Salze auf das Blutserum[1]). Seine Versuche zeigten, dass unter dem Einflusse der Salze in erster Linie sich das Globulin ausscheidet und nachher erst das Albumin.

In seinen Schlüssen weist er auf die Tatsache hin, dass die koagulierende Wirkung der Salze nicht parallel der Löslichkeit wächst. Er fand, dass die Fällungskraft der Salze hauptsächlich von der Natur des Säureanteiles derselben abhängt. Die grösste Fällungsenergie wiesen die Sulfate und Azetate auf und nach diesen erst die Chloride und Nitrate.

Hofmeister dehnte die Versuche von Levith auf eine grössere Anzahl von Salzen aus. Statt des Blutserums wandte er Hühnereiweiss an[2]). In seinen Erwägungen weist er auf die additive Natur der Neutralsalzwirkungen hin, die im gleichen Masse wie von der Säure, so auch von der Base des Salzes abhängig sind. Das Fehlen der Fällungskraft bei einigen Salzen, wie z. B. bei KNO_3 und bei anderen, erklärt er durch die geringe Löslichkeit des Salzes. Die grösste Fällungsenergie haben nach Hofmeister, gleiche Säure vorausgesetzt, die Lithiumsalze, nach diesen folgen mit abnehmender Aktivität die Salze des Natriums, Kaliums, Ammoniums und Magnesiums. Die gleiche Base vorausgesetzt, ist die koagulierende Wirkung der Salze in abnehmender Fällungskraft folgendermassen geordnet: Sulfate, Phosphate, Azetate, Zitrate, Tartrate, Bikarbonate, Chromate, Chloride, Nitrate und Chlorate (l.c.).

Die weiteren Untersuchungen von Hofmeister erstrecken sich auf die Fällung von Gelatine, Eisenhydroxyd und ölsaurem Natrium[3]). Er fand, dass die Ergebnisse hier im allgemeinen mit denen bei der Eiweissfällung (Serum, Hühnereiweiss) übereinstimmen. Die Fällung der Gelatine geht in nachstehenden Reihenfolgen vor sich: $Li > Na > K > NH_4 > Mg$ und *Sulfate > Zitrate > Tartrate > Azetate > Chromate > Chloride > Nitrate > Chlorate.*

In seinen Erwägungen bezüglich des Wesens der Salzfällung kommt Hofmeister zum Schlusse, dass die Ursache der Salzwirkungen in der Fähigkeit der Salze das Wasser den koagulierten Stoffen zu entziehen besteht, wobei die fällenden Salze die Löslichkeit des betreffenden Stoffes in dem Lösmittel herabsetzen (l. c.). Er vergleicht diesen Prozess mit dem Ausfallen

1) S. Levith. Zur Lehre von der Wirkung der Salze. I Mitteilung. Arch. für Exper. Pathol. und Pharm. Bd. 24 (1887) S. 1.

2) Fr. Hofmeister. Zur Lehre von der Wirkung der Salze. II Mitteilung. Arch. für. Exper. Pathol. und Pharm. Bd 24. (1888) S. 247.

3) Fr. Hofmeister. Zur Lehre von der Wirkung der Salze. III Mitteilung. Arch. für Exper. Pathol. und Pharm. Bd. 25 (1889) S. 3.

der Kristalloide aus den gesättigten Lösungen, wenn zwei Salze dasselbe Kation haben, z. B. wenn in die gesättigte Lösung von Kaliumsulfat — Kaliumazetat eingeführt wird. Weiter vergleicht Hofmeister die Aktivität der Salze bei der Kolloidfällung mit der Fähigkeit derselben den Gefrierpunkt in Lösungen herabzusetzen, die innere Reibung des Wassers zu verändern, und mit verschiedenen anderen physikalischen Prozessen, wo im allgemeinen dieselben Anionenreihen vorkommen. An die Gelatinefällungsversuche schliessen sich auch Versuche über die Quellung der Gelatine in Wasser[1]), in Lösungen von Elektrolyten und von Zucker und in Alkohol[2]) an. Wenn man nach Hofmeister die Salze anordnet in der Reihenfolge ihrer Fähigkeit die Quellung der Gelatine zu fördern bzw. zu hindern, so ergeben sich folgende Reihen:

Natriumsulfat, -tartrat, -zitrat
Natriumazetat (Alkohol, Glükose, Saccharose)
(Wasser)
die Chloride des Kaliums, Natriums, Ammoniums
Natriumchlorat, -nitrat, -bromid.

Man erhält hier die bekannte Hofmeistersche Reihenfolge: $SO_4 < Tartrate < Zitrate < C_2H_3O_2 < H_2O < Cl < ClO_3 < NO_3 < Br$, in welcher die ersten vier Glieder mit abnehmender Energie die Quellung in wässrigen Lösungen verhindern, die letzten vier in zunehmender Weise fördern.

An die Untersuchungen Hofmeisters schliessen sich unmittelbar die Versuche von Wo. Pauli (Pascheles) an[2]). Er fand, dass die Elektrolyte einen bedeutenden Einfluss auf das Gelatinieren ausüben. Unter dem Einflusse der Alkalisalze u. des Magnesiums kann die Temperaturverschiebung des Gelatinierens bei 10% Gelatine 40°C erreichen, dabei haben bei den Salzen die Säureanteile die Hauptbedeutung, die Base spielt dagegen eine mehr oder minder untergeordnete Rolle. Pauli teilt die Salze nach ihrer Fähigkeit das Gelatinieren zu beeinflussen in zwei Gruppen:

I. die diesen Prozess fördern;	II. die ihn hindern.
I.	II.
Sulfat	Chlorid
Zitrat	Chlorat
Tartrat	Nitrat
Azetat	Bromid
(Wasser)	Jodid

Wenn man die Anionen der Salze in Reihenfolgen nach der abnehmenden Fähigkeit das Gelatinieren zu hindern anordnet, so erhält man die Hofmeistersche Reihenfolge: $SO_4 < Zitrat < Tartrat < C_2H_3O_2 < Cl < ClO_3 < NO_3 < Br, < I$, wo die vier ersten Glieder ein negatives Vorzeichen haben.

---

1) Fr. Hofmeister. Zur Lehre von der Wirkung der Salze. V Mitteilung. Arch. für Experim. etc. Bd 27 (1890) S. 395.

2) Fr. Hofmeister. Zur Lehre etc. VI Mitteilung. Arch. für Experim. etc. Bd 28 (1891) S. 210.

3) W. Pascheles. Versuche über Quellung. II Mitteilung. Pflügers Arch. Bd. 71 (1898) S. 333—356.

Pauli fand, dass Salze, die das Gelatinieren fördern, auch Gelatine fällen und die Quellung derselben in Wasser herabdrücken. Dagegen fördern Salze, die das Gelatinieren hindern, die Quellung und besitzen keine Fällungskraft. Er weist weiter darauf hin, dass die Beeinflussung der Gelatinierungstemperatur durch Salze nicht von der Zahl der Molekeln in der Lösung abhängig ist, wie das nach der van Hoff'schen Theorie für den osmotischen Druck und für die Fortrückung des Gefrier- und Siedepunktes Geltung hat, denn äquimolekulare Lösungen haben eine ganz verschiedene Wirkung. Dabei ist nach seiner Meinung auch die Dissoziation der Salze nicht ausschlaggebend. Deswegen erklärt Pauli die Wirkung der Salze durch die Hofmeister'sche Hydrattheorie, auf Grund welcher die obenangeführten Salze ein verschiedenes „Wasseranziehungsvermögen" besitzen.

Im Jahre 1902 tritt Pauli mit einer neuen Theorie auf, in welcher die Salzeiweissbeziehungen von einem ganz anderen Gesichtspunkte aus behandelt werden[1]).

Wie schon bereits erwähnt, wurde angenommen, dass die das Eiweiss nichtfällenden Salze eine ungenügende Löslichkeit besitzen, dabei aber meinte man, dass beide Ionen eines Salzes fällend wirken, und die Wirkung der Salze aus zwei positiven Summanden resultiert (Pauli). In den Fällen, wo keine Fällung erfolgte, wurde angenommen, dass diese Summa der Jonenwirkung nicht genügend gross ist. Jedoch zeigte Pauli bei der Anwendung von Salzkombinationen, dass das Hinzufügen eines Salzes, das keine koagulierende Wirkung hat, zu einem gutfällenden Salze die Fällungskraft des letzteren nicht steigert, sondern sogar vermindert Andererseits gibt es eine ganze Reihe von Salzen, wie z. B. Azetate, Nitrate und Chloride des Ammoniums und Magnesiums, die trotz ihrer guten Löslichkeit nicht im stande sind das Eiweiss zu fällen. Infolgedessen meint Pauli, dass die koagulierende Wirkung der Salze eine algebraische Summa zweier Summanden ist, nämlich der antagonistisch wirkenden entgegengesetzt geladenen Salzionen. Die Kationen wirken dabei fällend, die Anionen lösend. Diese Gesetzmässigkeit ist aus der nebenstehenden Tabelle ersichtlich, wo Pauli die Kationen in horizontaler Reihe vom Magnesium zum Lithium anordnet, nach ihrer steigenden Fähigkeit dass Eiweiss zu koagulieren, die Anionen in vertikaler Reihe nach zunehmendem Lösungs vermögen vom Fluorid zum Rhodanid.

Kation →	1	2	3	4	5
↓ Anion	*Mg*	NH_4	*K*	*Na*	*Li*
I. Fluorid	n.u.*)	+	+	+	n.u.
II. Sulfat	+	+	+	+	+
III. Phosphat	n.u.	+	+	+	n.u.
IV. Zitrat	n.u.	+	+	+	n.u.
V. Tartrat	n.u.	+	+	+	n.u.
VI. Azetat	—	—	+	+	n.u.
VII. Chlorid	—	—	+	+	+
VIII. Nitrat	—	—	—	+	+
IX. Chlorat	n.u.	—	—	+	n.u.
X. Bromid	—	—	—	—	+
XI. Iodid	n.u.	—	—	—	n.u.
XII. Rhodan.	—	—	—	—	n.u.

*) nicht untersucht.
\+ bedeutet fällt.
— „ fällt nicht.

Pauli zeigte, dass die schwach fällenden Kationen *Mg* und NH_4 in Verbindung mit stark lösenden Anionen $C_2H_3O_2$ und *Cl*

1) Wo. Pauli, Verhalten der Eiweisskörper gegen Elektrolyte. Beitr. zur Chem. Physiol. und Pathol. Bd. 3 (1902) S. 225—246.

nicht mehr im Stande sind das Eiweiss zu fällen; die noch energischer wirkenden Anionen NO_3 und ClO_3 sind inaktiv in Verbindung ausser mit Mg und NH_4 auch noch mit K; das sehr stark wirksame eiweisslösende Anion Br fällt das Eiweiss nur in einem Falle, und zwar in Verbindung mit Li. Bei den Iodiden und Rhodaniden ist die lösende Wirkung der Anionen im allgemeinen grösser, als die fällende der Kationen.

Später untersuchte Pauli die Beziehungen der Kalzium-, Strontium- und Bariumsalze, wie auch von deren Kombinationen mit Alkalisalzen, zu dem nativen Eiweiss[1]). Er fand, dass hier die Anionenreihe sich umgekehrt hatte! Dieses erklärt Pauli damit, dass die Erdkalien mit den Phosphaten und Karbonaten des nativen Eiweisses reagieren und hydrolytisch die schwach dissoziierten $Ca(OH)_2$, $Sr(OH)_2$, $Ba(OH)_2$ und H_3PO_4, H_2CO_3 abspalten. Dabei vermehrt sich in der Lösung die Menge der freien Wasserstoffionen im Vergleich mit der der Hydroxylionen, und die Lösung hat eine schwach saure Reaktion, was mit Phenolphtalein nachgewiesen werden kann. Zugleich verändert sich auch das Verhältnis der Salzionen zum Eiweiss: jetzt haben die Anionen die koagulierende Wirkung und die Kationen die lösende. Die ersteren wirken nach der Reihenfolge: $CNS > I > Br > NO_3 > Cl > C_2H_3O_2$; die letzteren: $Mg > > NH_4 > K > Na$. Dieselben umgekehrten Ionenreihen erhielt Pauli bei der Eiweissfällung in schwachsaurem Medium (0,03 n HCl). Schon früher als Pauli zeigte Hardy[2]) (1900), dass kleine Mengen von Säuren den anodischen Wanderungssinn des Eiweisses in den katodischen ändern, die Eiweissteilchen werden durch die Säure umgeladen. Im allgemeinen besitzen diejenigen Ionen die Koagulationsfähigkeit, die eine entgegengesetzte elektrische Ladung tragen: das positive Eiweiss wird durch Anionen, das negative durch Kationen gefällt.

Später fand Posternak[3]) (1901), dass das Eiweiss von Picea excelsa aus saurer Lösung durch Natriumsalze nach der Reihenfolge: $I > NO_3 > > Br > Cl$ gefällt wird und durch Kationen — $Na > K$, NH_4. In alkalischem Medium kehren die Reihenfolgen um.

Später zeigte R. Höber[4]), dass die Ionenreihen von Hofmeister und Pauli bei den Neutralsalzwirkungen nicht nur allein bei den Kolloidlösungen stattfinden, sondern auch für homogene Systeme Geltung haben, so z. B. ändert sich nach diesen Reihenfolgen die Geschwindigkeit der Esterverseifung, erniedrigt sich die Löslichkeit der Stoffe u. s. w. Höber untersuchte die Koagulation von Eiweiss und Lezithin durch Neutralsalze. Ferner untersuchte er auch die Beeinflussung der Verseifung von Estern durch Neutralsalze. Er fand, dass in allen untersuchten Fällen in saurem Medium die Aktivität der Ionen nach den Reihenfolgen wächst:

---

1) Wo. Pauli. Irreversible Eiweissfällungen durch Elektrolyte. Beitr. zur chem. Physiol. und Pathol. Bd. 5 (1903) S. 27—55.

2) Zit. nach Höber. Physikalische Chemie der Zelle und Gewebe I Aufl. 1902. S. 162.

3) Höber, loco cit. S. 164.

4) Höber, loco cit. VIII Kap.; Höber, Zur Kenntnis der Neutralsalzwirkungen. Beitr. zur Chem. Physiol. und Pathol. Bd. 11 (1908) S. 35—64.

$SO_4 < Cl < Br < I$ und $Cs < Rb < K < Na < Li$, in alkalischer Lösung kehren die Reihenfolgen um: $I < Br < Cl < SO_4$ und $Li < Na < K < Rb < Cs$.

Ausser den angeführten wenigen Fällen sind in der letzten Zeit noch viele physikochemische und biologische Erscheinungen entdeckt worden, bei welchen die Wirkung der Salze sich nach den Reihenfolgen von Hofmeister, Pauli und Höber ändert. Die ungleiche Wirkung der äquimolekularen Neutralsalzlösungen ist man bestrebt durch verschiedene Beeinflussung des Lösungsmittels durch Salze zu erklären, und man hat diese Erscheinung Lyotropie (H. Freundlich) genannt. Die obenbesprochenen Ionenreihen werden als lyotrope Reihenfolgen bezeichnet[1]).

Nach diesen kurzen vorläufigen Bemerkungen gehen wir zu der weiteren Besprechung unserer Resultate über. Die koagulierende Wirkung der Salze auf das Plasma wächst mit der Erhöhung der Konzentration, beginnend von einem gewissen Grenzwert, unter welchem die Lösungen schon relativ unschädlich sind (wenigstens im Laufe der ersten 24 Stunden). Dieser Grenzwert ist ziemlich wenig konstant und ist von der Individualität der Pflanze, von der Natur des Salzes und einigen anderen äusseren Bedingungen abhängig.

Für die Rotkrautschnitte galt bei Zimmertemperatur und Abwesenheit des Tageslichtes für den grösseren Teil der Lösungen, als Grenzwert 0,2 norm. mit einigen Schwankungen, bei den Schnitten der Zebrina pendula liegt der Grenzwert unter 0,05 norm. Bei den starkwirkenden Salzen wie Rhodanide, Iodide und Bromide tritt aber bisweilen die Giftigkeit auch bei diesen Konzentrationen hervor.

Die Tatsache, dass die koagulierende Energie der Salze nach der lyotropen Reihe $CNS > \ldots . SO_4$ abnimmt, weist darauf hin, dass wir es hier mit einem kolloidchemischen Phänomen zu tun haben, denn solche Anionenreihen, wie wir sie bereits gesehen haben, kommen bei vielen kolloidchemischen Prozessen vor. Am einfachsten wäre die Voraussetzung, dass wir es hier mit der Eiweisskoagulation zu tun haben, denn nach den Ansichten einiger Forscher, wie Pfeffer, Bottazzi, Lillie, Robertson und and., geben die Eiweisskörper in der Plasmamembran den Ausschlag[2]). So verhalten sich nach der Ansicht von Ro-

1) Höber, Physikalische Chemie etc. IV Aufl. (1914) S. 10 ff.
Bechhold, Die Kolloide in Biologie und Medizin. S. 73—75.
L. Kassuto, Kolloidchemie, S. 164 (russisch).

2) Höber, l. c. S. 424.

bertson sehr feine Eiweissmembranen gegen gelöste Stoffe ganz analog den Lipoidmembranen[1]). Ferner erhielten Posternak[2]) und Pauli[3]) bei ihren Versuchen bei der Eiweisskoagulation in saurem Medium (Pauli z. B. bei der Ansäuerung der Eiweisslösung mit $001\,n - 0{,}03\,n$ *HCl*) Anionenreihen, die den unsrigen vollkommen analog sind. Man könnte daraus den Schluss ziehen, dass in der Plasmamembran der höheren Pflanzen die positiven Eiweisskörper dominieren und bei der Koagulation desselben die Anionen der Salze die grösste Bedeutung haben.

Eine solche Voraussetzung wäre ja ganz wahrscheinlich, denn, wie bekannt, reagieren die Eiweisskörper leicht, wie mit Säuren, so auch mit Basen, und im Zellsaft befinden sich immer freie Säuren, mit welchen Eiweisstoffe des Plasmas ionisierte Verbindungen geben können. Die letzteren sind bekanntlich stark hydratisiert. Bei der Einwirkung von Neutralsalzen werden die Eiweissteilchen neutralisiert, was die Dehydration der Partikelchen zur Folge hat und zur Ausflockung führt[4]).

Die Voraussetzung, dass im Pflanzenplasma die positiven Eiweisskörper den Ausschlag geben, stösst von vorn herein auf die Schwierigkeit, dass bisher in den Pflanzenzellen die positivgeladenen Eiweisstoffe nicht gefunden worden sind. Verschiedene pflanzliche Objekte, wie Hefezellen[5]), Bakterien[6]) und and., zeigen im elektrischen Felde anodische Konvektion; auch für die Zellen der höheren Pflanzen haben einige Autoren gefunden, dass ihr Plasma eine negative Ladung trägt[7]).

Andererseits kann sich dass Eiweiss umladen, wobei die Aktivität der Neutralsalze sich vollständig verändert: die am stärksten fällenden Salze beim negativen Eiweiss werden die schwächsten beim positiven und umgekehrt[8]).

1) Zit. nach Czapek, Biochemie der Pflanzen I 1913 S. 59.
2) Posternak, Ann. Institut Pasteur V. 15. 1901. S. 85.
3) Pauli l. c.
4) Wo. Pauli, Pflügers Arch. Bd. 136, 1910. S. 483.
Idem Kolloidchemie der Eiweisskörper. 1920.
H. Handowsky, Leitfaden der Kolloidchemie. 1922. S. 108 ff.
5) Höber, Physikal. Chemie etc. 1914. S. 474.
6) Bechhold, Zeitschr. für physik. Chemie. Bd. 48, 1904. S. 385.
7) Szücs, Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. 119 I, 1910. S. 737.
Porodko, Abhandl. der Neuruss. Ges. der Naturforsch. Bd. 41, 1916 S. 419 (russisch).
Endler, Biochem. Zeitschr. Bd. 45. 1912. S. 359.
8) Wo. Pauli, Beitr. zur chem. Physiol. und Pathol. Bd. 5, 1903. S. 27.

Ausgehend von der Annahme, dass die Anionenreihe $CNS > > I > \ldots . SO_4$ bei der Koagulation des positiven Eiweisses auftritt, müsste sich eine umgekehrte Reihenfolge in alkalischer Lösung ergeben.

Die Versuche zeigen uns folgendes.

In der folgenden Übersichtstabelle 131 sind nur die Endresultate der Versuche mit den Schnitten von Zebrina pendula in alkalischem Medium wiedergegeben.

Die ausführlichen Protokolle sind wegen Raumersparnis nicht angeführt.

Versuche mit Schnitten von *Zebrina pendula* in alkalischem Medium.

Konzentration der Lösungen 0,2 norm. + $^n/_{2500}$ *NaOH*.

Tabelle 131.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	*KCNS*	*KI*	*KNO₃*	*KCl*	*KC₂H₃O₂*	*K-Tartrat*	*K₂SO₄*
	Jede Zahl ist das Mittelproz. der plasmolys. Zell. in 10 Schn.						
2 Stdn	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
4 „	50,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
5 „	23,9	96,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
6 „	4,2	84,7	90,0	100,0	100,0	100,0	100.0
7 „	0	73,3	87,3	100,0	100,0	100,0	100,0
8 „	—	52,2	74,0	100,0	100,0	100,0	100,0
10 „	—	59,4	77,8	90,4	100,0	100,0	100,0
12 „	—	8,5	77,1	96,1	92,3	100,0	100,0
14 „	—	2,3	58,0	97,8	82,9	100,0	100,0
16 „	—	0	48,5	90,0	79,5	100,0	100,0
24 „	—	—	6,0	33,8	80,5	90,0	100,0
30 „	—	—	0	1,9	69,0	50,0	80,0
Das Mittel	15,7	48,1	68.2	84,2	92,1	95,0	98,3

Wenn wir auf Grund der Daten der Tabelle 131 die Anionen nach der abnehmender Koagulationskraft anordnen, so ergibt sich folgende Reihe:

$$CNS > I > NO_3 > Cl > C_2H_3O_2 > Tartrat,\ SO_4.$$

Wenn wir die Resultate der Tabelle 131 mit den im neutralen Medium erhaltenen (für die gleichen Zeitabschnitte 2, 4, 8, 12 und 24 Stdn) vergleihen, so erweist sich, dass in der al-

kalischen Lösung die Wirkung der Salze schwächer ist, was sich durch folgende Gegenüberstellung näher ergibt.

Medium	CNS	I	NO_3	Cl	$C_2H_3O_2$	$Tartrat$	SO_4
Neutral	22,0[1])	10,0	17,4	43,3	60.2	73,1	93,1
Alkalisch	25,7	67,1	72,3	86,5	95,4	96,6	100,0

Versuche mit Rotkrautschnitten in alkalischem Medium.

Tab. 132. $NaCNS$ 0,6 n + $^n/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte. $^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
3 Min.	10	—	—	—	—	100,0
5 „	7	3	—	—	—	92,5
7 „	4	4	2	—	—	80,0
10 „	1	3	5	1	—	60,0
12 „	—	2	4	4	—	45,0
15 „	—	1	3	3	3	30,0
17 „	—	1	4	2	*2;1	32,0
20 „	—	1	4	4	1	37.5
22 „	—	1	3	5	1	35,0
25 „	—	—	1	4	**4;1	15,0
30 „	—	—	2	4	**3;1	20,0

Tab. 133. NaI 0,6 n + $^n/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte. $^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
3 Min.	10	—	—	—	—	100,0
5 „	9	1	—	—	—	97,5
7 „	10	—	—	—	—	100,0
10 „	7	3	—	—	—	92,5
12 „	8	2	—	—	—	95,0
15 „	5	4	1	—	—	85,0
17 „	2	4	3	1	—	70,0
20 „	2	3	3	2	—	62,5
30 „	—	1	3	3	3	30,0
40 „	—	2	2	5	1	37,5
45 „	—	2	2	4	2	35,0

Tab. 134. $NaNO_3$ 0,6 n + $^n/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte. $^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
5 Min.	8	2	—	—	—	95,0
10 „	1	8	1	—	—	75,0
15 „	2	3	4	1	—	65 0
20 „	—	5	3	2	—	57,5
25 „	2	6	2	—	—	75,0
30 „	—	1	4	5	—	40,0
35 „	—	1	4	4	1	37,5
40 „	—	1	3	3	3	30,0
45 „	—	—	4	3	3	27,5
50 „	—	—	4	3	3	27,5
60 „	—	—	3	3	4	22,5

Tab. 135. $NaCl$ 0,6 n + $^n/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte. $^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0
20 „	5	3	1	1	—	80,0
30 „	1	3	3	2	—	52,5
40 „	1	5	1	2	1	57,5
50 „	2	4	4	—	—	70,0
60 „	—	6	3	1	—	62,5
70 „	2	2	4	2	—	60,0
80 „	1	5	2	2	—	62,5
90 „	—	3	5	2	—	52,5
100 „	—	3	4	1	2	45,0
120 „	—	4	—	4	2	40,0

1) Die Zahlen bedeuten % % der plasmolysierbaren Fläche der Schnitte.

Tab. 136. *KCl* 0,6 *n* + $^{n}/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte.	$^{4}/_{4}$	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{4}$	0	
10 Min.		10	—	—	—	—	100,0
20 „		3	3	3	1	—	70,0
30 „		1	4	5	—	—	65,0
40 „		—	4	2	3	1	47,5
50 „		—	3	3	2	2	42,5
60 „		—	1	3	3	1;2*	30,0
70 „		—	1	4	3	2*	35,0
80 „		—	1	1	4	2;2*	22,5
90 „		—	—	3	2	3;2*	20,0
100 „		—	—	1	2	5;2*	10,0
120 „		—	—	1	2	3;4*	20,0

Tab. 137. *NH_4Cl* 0,6 *n* + $^{n}/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte.	$^{4}/_{4}$	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{4}$	0	
10 Min.		10	—	—	—	—	100,0
20 „		1	3	4	2	—	57,5
30 „		1	3	2	3	1	50,0
40 „		—	3	2	3	2	40,0
50 „		—	4	3	1	2	47,5
60 „		—	—	3	4	2;1*	25,0
70 „		—	—	3	4	3	25,0
80 „		—	—	—	7	3	17,5
90 „		—	—	2	3	2;3*	17,5
100 „		—	—	1	5	3;1*	17,5
120 „		—	—	2	1	3;4*	12,5

Tab. 138. *LiCl* 0,6 *n* + $^{n}/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte.	$^{4}/_{4}$	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{4}$	0	
15 Min.		10	—	—	—	—	100,0
30 „		6	4	—	—	—	90,0
45 „		—	2	4	3	1	42,5
1 Stde		—	5	3	2	—	57,5
1 St. 15 M.		2	5	2	1	—	70,0
1 St. 30 M.		3	4	2	1	—	72,5
1 St. 45 M.		—	2	4	3	1	42,5
2 Stdn		1	3	3	3	—	55,0
3 Stdn		1	4	2	2	1	55,0
14 „		—	2	4	1	3	40,0
16 „		—	4	2	1	3	52,5

Tab. 139. *$MgCl_2$* 0,6 *n* + $^{n}/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte.	$^{4}/_{4}$	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{4}$	0	
15 Min.		10	—	—	—	—	100,0
30 „		9	1	—	—	—	97,5
45 „		10	—	—	—	—	100,0
1 Stde		8	2	—	—	—	95,0
1 St. 15 M.		8	2	—	—	—	95,0
1 St. 30 M.		9	1	—	—	—	97,5
1 St. 45 M.		10	—	—	—	—	100,0
2 St. 30 M.		9	1	—	—	—	97,5
3 Stdn		8	2	—	—	—	95,0
16 „		3	5	2	—	—	77,5
23 „		6	3	1	—	—	87,5

Tab. 140. $CaCl_2$ 0,6 n + $^n/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		$^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	
30 Min.	Die Zahl der Schnitte.	10	—	—	—	—	100,0
1 Stde		10	—	—	—	—	100,0
1 St. 30 M.		10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn		10	—	—	—	—	100,0
3 „		10	—	—	—	—	100,0
14 „		8	2	—	—	—	95,0
16 „		10	—	—	—	—	100,0
20 St. 30 M.		9	1	—	—	—	97,5
25 Stdn		8	2	—	—	—	95,0
41 „		10	—	—	—	—	100,0
50 „		7	2	1	—	—	90,0

Tab. 141. $NaC_2H_3O_2$ 0,6 n + $^n/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		$^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	
15 Min.	Die Zahl der Schnitte.	9	1	—	—	—	97,5
30 „		7	2	1	—	—	90,0
45 „		4	3	3	—	—	77,5
1 Stde		2	5	3	—	—	72,5
1 St. 15 M.		6	2	2	—	—	85,0
1 St. 30 M.		4	4	2	—	—	80,0
1 St. 45 M.		4	5	1	—	—	82,5
2 Stdn		3	4	3	—	—	75,0
2 St. 15 M.		3	4	2	1	—	72,5
2 St. 30 M.		1	4	4	1	—	62,5
3 Stdn		—	4	2	4	—	50,0

Tab. 142. *Na-Zitrat* 0,6 n + $^n/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		$^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	
1 Stde	Die Zahl der Schnitte.	8	2	—	—	—	95,0
2 Stdn		6	3	1	—	—	87,5
4 „		—	7	3	—	—	67,5
5 „		—	10	—	—	—	75,0
6 „		2	7	1	—	—	77,5
7 „		—	5	3	2	—	57,5
8 „		—	6	4	—	—	65,0
9 „		—	5	3	2	—	57,5
11 „		—	4	5	1	—	57,5

Tab. 143. Na_2SO_4 0,6 n + $^n/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		$^4/_4$	$^3/_4$	$^1/_2$	$^1/_4$	0	
1 Stde	Die Zahl der Schnitte.	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn		10	—	—	—	—	100,0
4 „		4	5	1	—	—	82,5
5 „		7	3	—	—	—	92,5
6 „		7	3	—	—	—	92,5
7 „		6	3	1	—	—	87,5
9 „		4	5	1	—	—	82,5
22 „		—	2	4	3	1	47,5
25 „		—	2	3	2	3	35,0

Tab. 144. *Na-Tartrat* 0,6 *n* + $^{n}/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche. Die Zahl der Schnitte.						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$^{4}/_{4}$	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{4}$	0		
20 Min.	10	—	—	—	—		100,0
40 „	7	3	—	—	—		92,5
1 Stde	10	—	—	—	—		100,0
1 St. 30 M.	8	2	—	—	—		95,0
2 Stdn	9	1	—	—	—		97,5
3 „	10	—	—	—	—		100,0
5 „	8	2	—	—	—		95,0
7 „	9	1	—	—	—		97,5
9 „	5	5	—	—	—		87,5
24 „	—	7	2	1	—		65,0
28 „	—	3	4	3	—		50,0

Tab. 145. *$MgSO_4$* 0,6 *n* + $^{n}/_{40}$ Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche. Die Zahl der Schnitte.						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$^{4}/_{4}$	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{4}$	0		
1 Stde	10	—	—	—	—		100,0
2 Stdn	10	—	—	—	—		100,0
4 „	10	—	—	—	—		100,0
6 „	10	—	—	—	—		100,0
7 „	10	—	—	—	—		100,0
9 „	10	—	—	—	—		100,0
22 „	5	5	—	—	—		87,5
23 „	5	5	—	—	—		87,5
24 „	6	3	1	—	—		87,5
26 „	3	6	1	—	—		80,0
28 „	4	5	1	—	—		82,5

Die Tabellen 132—145 zeigen uns, dass die Koagulationsenergie der Anionen und Kationen in bezug auf das Rotkrautplasma in alkalischer Lösung nach folgenden Reihenfolgen abnimmt:

Anionen — $CNS > NO_3$, $I > Cl > C_2H_3O_2 > Zitrat > SO_4 > Tartrat$;

Kationen — NH_4, $K > Na$, $Li > Mg$, Ca.

In der Tabelle 146 sind die Endresultate der 8 Serien der Versuche dargestellt. Die Protokolle sind wegen Raumersparnis nicht angeführt.

Die Wirkung der Anionen in alkalischem Medium.

Übersichtstabelle.

Tabelle 146.

Pflanze	Kation	Konzentration d. Salzes	Konzentration d. Lauge	Anion →
Zebrina pendula	Natrium	0,3 n.	$^{n}/_{3000}$ *KOH*	$CNS > I > Br > NO_3 > Cl > Tartrat$, $SO_4 > C_2H_3O_2$
		0,45 n.	$^{n}/_{64}$ *NaOH*	$CNS > I$, NO_3, $C_2H_3O_2$, Cl, SO_4
Rotkohl		0,6 n.	$^{n}/_{40}$ Soda	$CNS > NO_3$, $I > Cl > C_2H_3O_2 > Zitrat > > SO_4 > Tartrat$
		0,8 n.	$^{n}/_{100}$ *NaOH*	$I > Cl$, NO_3, $C_2H_3O_2$, $Tartrat$, SO_4

Tabelle 146. (Fortsetzung).

Pflanze	Kation	Konzentration d. Salzes	Konzentration d. Lauge	Anion →
Zebrina pendula	Kalium	0,2 n.	$^{n}/_{2500}$ *NaOH*	*CNS* > *I* > NO_3 > *Cl* > $C_2H_3O_2$, *Tartrat* > > SO_4
Rotkohl	Kalium	0,6 n.	$^{n}/_{40}$ Soda	*CNS*, NO_3, *Br*, *I* > *Cl* > $C_2H_3O_2$ > SO_4 > > *Tartrat*
	Kalium	0,8 n.	$^{n}/_{64}$ *NaOH*	*Br* > *CNS*, *Cl*, *I* > NO_3, $C_2H_3O_2$, *Tartrat*, SO_4
Rotkohl	Ammonium	0,6 n.	$^{n}/_{40}$ Soda	*CNS* > *Br*, NO_3 > *I*, $C_2H_3O_2$ > *Cl* > > HPO_4 > *Tartrat*

Wie uns die Tabellen 132—145 und die Übersichtstabelle 147 zeigen, ist die Wirkung der Salze in alkalischem Medium im Grunde genommen dieselbe, wie in neutralem. Die Aktivität einzelner Ionen im Vergleich zueinander bleibt ungefähr dieselbe, wie auch ohne Lauge, und wir haben hier dieselbe lyotrope Reihenfolge, in welcher die Rodanide am stärksten, die Sulfate am schwächsten wirken. Man sieht hier kein Umladen des Plasmaeiweisses, ungeachtet dessen, dass verschiedene Konzentrationen der Lauge angewandt wurden. Der Einfluss der Lauge macht sich im allgemeinen dadurch geltend, dass die Koagulationsenergie der Salze in Gegenwart der *OH*-Ionen etwas abgeschwächt wird, was auch im Einklang mit den Befunden anderer Autoren steht[1]).

Andererseits ist es bekannt, dass das lebende Plasma der Blätter sich umladen lässt, wenn man die Reaktion des Aussenmediums ändert. Das folgt aus den Versuchen von Endler[2]). Dieser Autor untersuchte die Beeinflussung der Farbstoffspeicherung (Methylenblau, Neutralrot) durch Salze bei Elodea und anderen Wasserpflanzen. Er fand, dass in neutralem und alkalischem Medium die Exosmose vom Farbstoff durch Neutralsalze gefördert wird, und zwar umso mehr, je grösser die Konzentration eines Salzes ist. Die Wirkungskraft der Kationen der Chloride nimmt zu nach der Reihenfolge:

1) Vgl. Lepeschkin, Zur Kenntnis der Plasmamembran I u. II. Ber. der Deutsch. Bot. Ges. Bd. 28. 1910. S. 98 u. 383.

2) Endler, Biochem. Zeitschr. Bd. 45. 1912. S. 360.

$Na < K < Ca < Mg < Ba < Al$. Die Anionen der Kaliumsalze fördern die Exosmose nach der Reihe:

$NO_3 < Cl < SO_4 < CNS < Tartrat < Zitrat$[1]). Die angeführte Anionenreihe, in welcher die Anionen, wie man sieht, in der lyotropen Aufeinanderfolge sich anordnen, und die Kationenreihe betrachtet Endler für das negativgeladene Plasma als typisch (l. c. S. 407).

Die ausschliessliche Stellung *CNS* erklärt der Autor dadurch, dass *NaCNS* in Wechselwirkung mit dem Farbstoff tritt und deswegen seine Stellung in der Reihenfolge keine zuverlässige ist (l. c. 404, 405).

In Gegenwart der $^n/_{6400}$ Oxalsäure im Aussenmedium, kehrt die Anionenreihe um und die Exosmose wird durch die Reihe: $Tartrat < Zitrat$, $SO_4 < Cl < CNS < NO_3$ gefördert[2]). Die Kationenreihe kehrt endgültig bei $^n/_{3200}$ Oxalsäure um:

$Al < Ba < Mg < Ca < K$, Na; d. h. die ersten Kationen fördern hier den Farbstoffaustritt am wenigsten (l. c. S. 392).

Wir haben somit hier das Umladen der Plasmakolloide in saurer Lösung; die negative Ladung verändert sich in eine positive. Nach den Grenzwerten der Säure, innerhalb welcher die Umkehrung der Anionen- und Kationenreihen stattfindet, bestimmt Endler den isoelektrischen Punkt des Elodeaplasmas. Derselbe liegt nach seinen Ergebnissen zwischen $1{,}56.10^{-4}n$ und $0{,}78.10^{-4}n$ *H*-Ionen Konzentrationen.

Ferner fand Plotho[3]), dass zerkleinerte Hyphenstücke verschiedener Schimmelpilze (Aspergillus, Penicillium, Citromyces und and.) in alkalischem Medium den anodischen, in saurem den kathodischen Wanderungssinn aufweisen.

Aus der Tatsache, dass sich in der alkalischen Lösung dieselbe Anionenreihe wie in der neutralen ergibt, kann man einen zweifachen Schluss ziehen: 1) entweder befinden sich im Plasma keine ausschlaggebenden positiven Eiweisskörper, 2) oder diese oder jene koagulierende Wirkung der Salze ist ein sekun-

---

1) Ausser den obenangeführten Ionen ist bei Endler noch das NO_2-Ion genannt.

2) Endler, II Mitteilung, S. 385.

3) V. Plotho, Biochem. Zeitschr. Bd. 110. 1920. S. 49.

därer Prozess, der von einem primären physiologischen Vorgang abhängig ist.

Um diese Fragen zu entscheiden, müssen wir noch wissen, wie sich die Salzwirkung in saurem Medium verändert. Wenn unsere Voraussetzung bezüglich der positiven Eiweissstoffe im Pflanzenplasma unbegründet ist, dann müssen wir zum Schlusse kommen, dass im Plasma hauptsächlich negative Proteine vorkommen. In diesem letzteren Falle könnten wir in saurem Medium eine Veränderung der Anionenwirkungen infolge der Umladung des Plasmaeiweisses erwarten, vorausgesetzt, dass die lyotrope Anionenreihe aus der unmittelbaren und direkten Wirkung der Salze auf das Plasmaeiweiss resultiert.

Der Kürze wegen sind in der folgenden Übersichtstabelle nur die Endresultate der Versuche mit *Zebrina pendula* in saurer Lösung angeführt.

Übersichtstabelle der Versuche mit Schnitten von Zebrina pendula in saurem Medium.

Konzentration der Lösungen $0{,}2\,n + {}^{n}/_{6000}$ *COOH — COOH.*

Tabelle 147.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	*KCNS*	*KBr*	*KI*	*KNO_3*	*KCl*	*$KC_2H_5O_2$*	*K-Tartrat*	*K-Zitrat*	*K_2SO_4*
	Jede Zahl ist das Mittelprozent der plasmolysierten Zellen in 10 Schnitten.								
1 Stde	100,0	98,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2 Stdn	100,0	93,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3 „	29,8	63,9	84,7	90,0	92,9	100,0	100,0	100,0	100,0
4 „	12,7	15,2	54,9	75,8	85,4	100,0	100,0	100,0	100,0
5 „	0	19,6	38,4	86,6	90,6	100,0	100,0	100,0	100,0
6 „	—	3,7	18,1	59,6	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0
7 „	—	1,7	3,0	70,1	78,8	95,0	100,0	100,0	100,0
8 „	—	0	0	76,0	77,7	86,2	82,0	100,0	100,0
9 „	—	—	—	38,6	70,9	88,1	84,0	88,9	100,0
10 „	—	—	—	30,6	78,0	69,4	95,8	98,2	100,0
12 „	—	—	—	25,6	47,1	87,0	84,7	92,3	100,0
14 „	—	—	—	24,0	33,6	70,2	80,9	75,0	100,0
Das Mittel	17,3	24,7	33,3	64,8	78,7	91,3	93,9	96,2	100,0

Aus den Ergebnissen der Versuche in saurem Medium (Tab. 148) folgt, dass die koagulierende Wirkung der Salze in bezug auf das Protoplasma nach derselben Reihenfolge — *CNS*, *Br* > *I* > NO_3 > *Cl* > $C_2H_3O_2$, *Tartrat*, *Zitrat* > SO_4 vor sich geht, wie in alkalischem und neutralem Medium. Die Versuche mit den Rotkrautschnitten ergaben etwa dieselben Resultate.

Ohne die ausführlichen Protokolle darzustellen, führen wir in der Übersichtstabelle 148 die Endergebnisse mit den Rotkrautschnitten in saurem Medium an.

Übersichtstabelle.

Wirkung der Anionen der Salze in saurem Medium.

Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 148.

Kation	Konzentration der Salze	Konzentration der Oxalsäure	Anion →
Kalium	0,5 n.	n/2500	*CNS*, *Br* > *I* > NO_3 > $C_2H_2O_2$, *Cl*, *Tartrat*, SO_4
	0,75 n.	n/2000	*Br* > NO_3, *I*, *CNS* > *Cl* > $C_2H_3O_2$, *Tartrat*, SO_4
Natrium	0,5 n.	n/2500	*CNS* > *I*, NO_3 > $C_2H_3O_2$ > *Cl*, *Tartrat*, SO_4
	0,75 n.	n/2000	*I* > NO_3, *Cl*, *Br* > $C_2H_3O_2$, *Tartrat*, SO_4
Ammonium	0,5 n.	n/2500	*CNS* > *I* > $C_2H_3O_2$, *Br*, NO_3, *Cl*, SO_4
	0,75 n.	n/2000	*I*, *Br* > NO_3 > *Cl* > $C_2H_3O_2$ > SO_4

Aus den Versuchen in alkalischem und saurem Medium folgt unmittelbar, dass die Aktivität der Salze in keinem engeren Zusammenhang (im Sinne der Umladbarkeit des Plasmas) mit der Reaktion des Aussenmediums steht, denn wie die Wasserstoff- so auch die Hydroxylionen haben keinen tieferen Einfluss auf die Wirkung der Salze. Ausser den angeführten Konzentrationen der Säure, haben wir auch Versuche mit vielen anderen Konzentrationen mit demselben Erfolg angestellt. Wenn sich in der Plasmamembran negative Eiweisskörper befinden sollten, wie das die meisten Autoren annehmen, so müsste die Umladung schon

in einer Säurekonzentration über $^{n}/_{6400}$ erfolgen, wie das Endler[1]) zeigte. Ferner hat Czapek[2]) gefunden, dass die Exosmose von Gerbsäure, Anthokyan und and. bei einer Säurekonzentration von $^{n}/_{6400}$ beginnt, welche Erscheinung nach der Meinung von Endler[3]) mit dem Umladen des Protoplasten verbunden ist. Dass das Plasma von Pflanzenzellen bei solcher Säurekonzentration intakt bleibt, das haben die Versuche von Kahlenberg und True gezeigt[4]). In der neuesten Zeit sind interessante Untersuchungen über die Umladbarkeit des Plasmas von Tier- und Pflanzenzellen seitens der Schüler Höbers — Collander[5]) und Heesch[6]) gemacht.

Collander war bestrebt, bei der Plasmolyse elektroosmotische Vorgänge bei Pflanzenzellen (*Rhoeo discolor*) zu finden. Zu diesem Zweck wirkte er auf die Zellen mit kapillaraktiven Elektrolyten ein, und zwar mit organischen Säuren, wie Wein- und Milchsäure, und mit Aluminium- und Lantansalzen. Diese Verbindungen rufen bei der Elektroosmose bei toten Membranen verschieden starke Abweichungen hervor.

Von dieser Tatsache ausgehend, untersuchte Collander den Einfluss dieser Salze auf den Wasserdurchtritt bei der Plasmolyse bei Pflanzenzellen. Die Plasmolyse ging aber unter dem Einflusse dieser Salze ganz normal vor sich, und es liessen sich keine Abweichungen vom gewöhnlichen und typischen Prozess feststellen. Daraus schliesst der Autor, dass die Plasmamembran von Rhoeo sich unter den beschriebenen Versuchsbedingungen nicht umladet[7]).

Nichtsdestoweniger gelang es Heesch[8]) bei Anwendung einer besonderen Methodik, gewisse Pflanzenzellen, wie Hefezellen, Sporen von Lycopodium, ferner auch Leukozyten mit den Lantansalzen umzuladen. Es hat sich dabei erwiesen, dass gewisse Stoffe, wie Albumin und Gelatine, als Sensibilisatoren

1) Endler, Biochem. Zeitschr. Bd. 45. 1912. S. 359.

2) Czapek, Über eine Methode zur Bestimmung der Oberflächenspannung lebender Zellen. Jena. 1910.

3) Endler, l. c.

4) Kahlenberg und True, Zeitschr. für physikal. Chemie Bd. 22. 1897. S. 473. (Referat).

5) R. Collander, Pflügers Arch. Bd. 185. 1920. S. 224.

6) K. Heesch, Pflügers Arch. Bd. 190. 1921. S. 198.

7) Collander, l. c.

8) Heesch, l. c.

das Umladen fördern. Es verdient hervorgehoben zu werden, dass während Albumin als guter Sensibilisator dient und in eiweisshaltigen Lösungen das Umladen von Plasma bei zweimal schwächerem Lantangehalt, als ohne Eiweiss, stattfindet, — die Lipoide: Lezithin und Cholesterin das Umladen von Pflanzenplasma überhaupt nicht begünstigen.

Bezugnehmend auf die Tatsache, dass die Reaktion des Mediums keinen wesentlichen Einfluss auf die koagulierende Wirkung der Salze ausübt, gelangen wir zur zweiten Voraussetzung — und zwar, dass die Wirkung der Salze bei unseren Versuchen von einem anderen physiologischen Prozess abhängig ist, der als primärer anzusehen ist. Dieser Schluss wird auch durch das Verhalten der Kationen der Salze zum Plasma bestätigt.

Die Kationen der Alkalisalze lassen sich nach ihrer Wirkung nicht überall in derselben Reihenfolge anordnen. Die Ursache dieses Umstandes liegt, wie darauf schon früher hingewiesen wurde, darin, dass der Unterschied zwischen den Kationenwirkungen sehr wenig ausgeprägt ist und in der Mehrzahl der Fälle innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers liegt. Am besten ist der Aktivitätsunterschied der Kationen bei der Konzentration 0,2 *n* (Zebrinaschnitte) ausgeprägt, hier haben wir die Reihenfolge $K > NH_4 > Na$.

Diese Kationenreihe ist ebenso, wie die der Anionen, eine umgekehrte Koagulationsreihe des nativen (negativen) Eiweisses.

Im allgemeinen ist die Kationenreihe der Alkalisalze nicht so charakteristisch für die Wirkung dieser Salze, wie die Anionenreihe. Insbesondere ist aber die Aktivität der Kationen der Erdkalien im Vergleich mit der der Alkalikationen merkwürdig.

Wir haben oben (S. 73) gesehen, dass die koagulierende Wirkung der ein- und zweiwertigen Kationen in bezug auf das Plasma nach folgender Reihe abnimmt:

$K > NH_4 > Na > Sr$, *Ba*, *Mg*, *Ca*, wobei die zweiwertigen Kationen schwächer, als die einwertigen wirken.

Wenn die Plasmakoagulation ein primärer Prozess im Sinne der unmittelbaren Wirkung der Salze auf das Plasmaeiweiss wäre, so müsste die Koagulationskraft der Erdalkalien viel grösser sein, als die der Alkalisalze; hier ist es aber umgekehrt. Wie bekannt, sind z. B. die durch Erdkalien erzeugten Eiweissfällun-

gen irreversibel, die durch die Alkalisalze — reversibel[1]). Bei der Koagulation des Alkalieiweisses (negatives Eiweiss) wirken die Erdalkalien bedeutend stärker, als die Alkalisalze. So sagt Pauli[2]): ...„zwischen dem Einfluss von Alkaliionen und der zweiwertigen Erdalkaliionen (und *Mg.*) ...ist bei Laugeneiweiss der Unterschied sehr ausgeprochen. In Konzentrationen, in denen die Alkaliionen kaum oder gar nicht wirken, veranlasst die Gruppe der Erdalkaliionen eine vollständige grobflockige Hitzekoagulation"... Es verdient hier hervorgehoben zu werden, dass das Magnesium beim Alkalieiweiss nach seiner Wirkungsweise sich an die Gruppe der Erdalkalien anschliesst, während es beim nativen Eiweiss analog den schwächeren Alkaliionen wirkt.

Ferner hat man gefunden, dass *Mg* und die Erdalkaliionen bei der Fällung von Lezithin- und Cholesterinemulsion eine bedeutend stärkere Koagulationskraft aufweisen, als die Alkaliionen[3]). Aus dem Obengesagten ist ersichtlich, dass überall bei der Wirkung der Neutralsalze auf tote Kolloide, zweiwertige Kationen eine viel grössere Fällungskraft aufweisen, als die einwertigen, und im allgemeinen sind in der Kolloidchemie solche Fälle unbekannt, wo die koagulierende Wirkung der Neutralsalzkationen mit der Vergrösserung der Wertigkeit kleiner wird. Umgekehrt, wie das insbesondere deutlich bei den Suspensionskolloiden hervortritt, wächst die koagulierende Energie mit der Wertigkeit der koagulierenden Ionen. So verhalten sich für das Hydrosol des Arsensulfids die Konzentrationen der Salze, die einen gleichen Fällungseffekt hervorrufen, $K_1 : K_2 : K_3 = 350 : 20 : 1$, wo die Zahlen bei K die Wertigkeit der Kationen bedeuten. Wie man sieht, hat hier das zweiwertige Kation eine $17^1/_2$ mal grössere Fällungskraft als das einwertige[4]).

Bekanntlich hat bei der Koagulation von Suspensionskolloiden in Salzen nur ein Ion die Hauptbedeutung. Die Kolloide des Plasmas dürfen wohl emulsoider Natur sein und die Bedeutung der Wertigkeit des Kations bei der Koagulation tritt nicht so scharf hervor, denn hier sind die beiden Ionen von Bedeu-

1) L. Kassuto, Kolloidchemie 1915. S. 110 (russisch).
Handowsky, Leitfaden der Kolloidchemie. 1922. S. 112.
2) Pauli und Handowsky, Biochem. Zeitschr. Bd. 24. 1910. S. 241.
3) Porges und Neubauer, Biochem. Zeitschr. Bd. 7. 1907. S. 153.
4) L. Kassuto, l. c. S. 101.

tung[1]). Nichtsdestoweniger verhalten sich in einigen Fällen auch die stabilen Kolloide analog den instabilen, insbesondere wenn den Kolloidteilchen eine starke Ladung durch das Einführen von Wasserstoff-, Hydroxyl- oder polyvalenten Ionen gegeben worden ist[2]). Im Plasma sind stets verschiedene Elektrolytionen vorhanden, und aus dem Grunde können wir voraussetzen, dass die Biokolloide des Plasmas mehr oder weniger ionisiert sind[3]) und mit den Eigenschaften der stabilen Kolloide zugleich auch die der instabilen aufweisen.

Es sei hier noch hervorgehoben, dass die kolloidchemischen Beziehungen der Neutralsalze zu den Eiweisskörpern nicht ohne weiteres auf das Plasma übertragen werden können aus dem einfachen Grunde, dass bei der Einwirkung eines Salzes auf das Eiweiss die Salzteilchen in innige Berührung mit allen Eiweisspartikelchen kommen und gewisse Änderungen des kolloidalen Zustandes hervorrufen. Bei dem Plasma kommen die Salzteilchen in erster Linie nur mit der Oberflächenschicht in Kontakt, die inneren Schichten aber, deren Desorganisierung durch Neutralsalze, nach unserer Meinung, bei der Giftwirkung eines Salzes den Ausschlag gibt, sind vor der Salzwirkung in sofern geschützt, als ein Neutralsalz von der Oberflächenschicht zurückgehalten wird. Es ist dabei kaum anzunehmen, dass alle Salze gleich leicht die Plasmaoberflächenschicht passieren.

Aus dem Auseinandergesetzten folgt, dass die beiden Ionenreihen, die sich bei der Plasmakoagulation ergeben und die mit den Koagulationsreihen des negativen Eiweisses (das Plasmaeiweiss ist negativ) nicht übereinstimmen, kein Resultat der primären und direkten Koagulation von Plasmaproteinstoffen sind, sondern als Folge von einem anderen selbstständigen physiologischen Prozess anzusehen sind.

Die Untersuchungen über die Wirkung der Salze bei verschiedenen Aussenfaktoren haben ergeben, dass alle Faktoren, die das Eindringen der Salze in das Plasma fördern, wie z. B. die

---

1) Handowsky l. c. S. 112 ff.
Höber, Physikalische Chemie etc. S. 307.
2) L. Kassuto, l. c. S. 109.
3) Pauli, Kolloidchemie der Muskelkontraktion. Leipzig. 1912. S. 8.

sonst nicht schädliche Erhöhung der Temperatur und die stärkere Belichtung, gleichzeitig auch die koagulierende Wirkung der Salze steigern.

Die folgenden Versuche zeigen uns den Einfluss dieser Aussenfaktoren auf die Wirkung der Salze.

Es wurden parallel Versuche mit Rotkrautschnitten (von demselben Blatt) mit denselben Salzlösungen bei gleichen übrigen Aussenbedingungen im Dunkeln und im Hellen (in einem sonnigen Raume) angestellt. Die Temperatur war in beiden Fällen annähernd gleich: 23°—24° C [1]).

Zwecks einer grösseren Zuverlässigkeit der Resultate wurden in einigen Fällen (vgl. Tab. 120—153) gleichzeitig doppelte Serien von Versuchen angestellt.

Tabelle 149. *NaI* 0,48 *n*.
Bei Belichtung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte.						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
10 Min.	10	—	—	—	—		100,0
30 „	3	5	2	—	—		77,5
1 Stde	6	3	1	—	—		87,5
1 St. 20 M.	1	4	2	2	* 1		55,0
1 St. 40 M.	—	5	1	1	* 3		47,5
2 Stdn	—	3	2	2	* 3		37,5
2 St. 20 M.	—	1	1	2	* 6		17,5
2 St. 40 M.	—	—	1	4	* 5		15,0
3 Stdn	—	—	1	2	* 7		7,5
3 St. 20 M.	—	—	—	1	* 9		2,5
Das Mittel							44,7

Tabelle 150. *NaI* 0,48 *n*.
Bei Belichtung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte.						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
10 Min.	10	—	—	—	—		100,0
30 „	5	4	1	—	—		85,0
1 Stde	4	4	1	1	—		77,5
1 St. 20 M.	—	3	4	1	* 2		45,0
1 St. 40 M.	—	3	2	1	* 4		35,0
2 Stdn	—	1	2	2	* 5		22,5
2 St. 20 M.	—	—	3	2	* 5		20,0
2 St. 40 M.	—	1	1	3	* 5		20,0
3 Stdn	—	—	—	1	* 9		2,5
3 St. 20 M.	—	—	—	—	* 10		0
Das Mittel							40,7

Das Mittelprozent aus 2 Versuchen = 42,7 %.

1) Die Temperatur wurde hier nur einmal mit den gewöhnlichen Zimmerthermometern gemessen, und deswegen sind grössere Schwankungen als ein Grad nicht ausgeschlossen.

Tabelle 151. *NaI* 0,48 *n*.
Bei Verdunkelung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche. Die Zahl der Schnitte.						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.		10	—	—	—	—	100,0
30 „		10	—	—	—	—	100,0
1 Stde		5	3	2	—	—	82,5
1 St. 20 M.		5	4	1	—	—	85,0
1 St. 40 M.		4	2	3	1	—	72,5
2 Stdn		4	5	1	—	—	80,0
2 St. 20 M.		4	4	2	—	—	75,0
2 St. 40 M.		4	3	2	1	—	52,5
3 Stdn		2	3	1	3	* 1	55,0
3 St. 20 M.		4	3	2	1	—	55,0
Das Mittel							75,7

Tabelle 152. *NaI* 0,48 *n*.
Bei Verdunkelung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche. Die Zahl der Schnitte.						Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
		4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.		10	—	—	—	—	100,0
30 „		9	1	—	—	—	97,5
1 Stde		3	2	4	1	—	67,5
1 St. 20 M.		4	3	3	—	—	77,5
1 St. 40 M.		5	2	1	2	—	75,0
2 Stdn		2	5	2	1	—	70,0
2 St. 20 M.		2	3	2	3	—	60,0
2 St. 40 M.		1	3	2	3	1	50,0
3 Stdn		2	3	2	3	—	60,0
3 St. 20 M.		2	3	3	2	—	62,5
Das Mittel							72,0

Das Mittelprozent aus 2 Versuchen = 73,8 %.

Zweks einer besseren Übersicht der Resultate sind in der Tabelle 154 die Mittelprozente aus je zwei Versuchen (Tab. 149, 150, 151, 152) dargestellt und das Verhältnis zwischen den im Lichte und im Dunkeln koagulierten Zellen ausgerechnet.

Mittelresultate der *NaI*-wirkung (0,48 *n*) im Lichte und im Dunkeln.

Tabelle 153.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösungen.		10 Min.	30 Min.	1 Stde	1 St. 20 M.	1 St. 40 M.	2 Stdn	2 St. 20 M.	2 St. 40 M.	3 Stdn	3 St. 20 M.
Mittelproz. der koagul. Zellen.	im Lichte	0	18,8	17,8	50,0	58,8	80,0	81,3	81,3	95,0	98,8
	im Dunkeln	0	1,3	25,0	18,8	26,3	25,0	32,5	48,8	42,5	41,3
Das Verhältnis zwischen den koagul. Zellen im Lichte und im Dunkeln.		—	14,4	0.7	2,6	2,2	3,2	2,5	1,7	2,2	2,4

Wie man aus diesem Vergleich (Tabelle 153) sieht, ist während der ganzen Versuchszeit das Mittelprozent der toten Zellen im Hellen bedeutend grösser als im Dunkeln. Während im Hellen nach

3 Stdn 20 Min. beinahe alle Zellen (98,8 %) abgestorben sind, ist im Dunkeln mehr als die Hälfte der Zellen (58,7 %) noch lebend. Wenn wir nicht die erste Stunde des Versuchs in Betracht ziehen wollen, wo die Wirkung des Salzes noch nicht ganz gleichmässig ist, so sehen wir, dass in späteren Zeitabschnitten die koagulierende Wirkung des Salzes im Hellen ungefähr zweimal grösser ist, als im Dunkeln. Vergleichen wir die Mittelwerte der plasmolysierbaren Flächen der Schnitte im Hellen (42,7 % — Tab. 149, 150) und derjenigen im Dunkeln (73,8 % — Tab. 151, 152), so ergibt sich, dass bei Verdunkelung die Mittelzahl der noch plasmolysefähigen Zellen ungefähr 1,7 mal grösser ist, als bei Belichtung. Obwohl diese Daten wegen der subjektiven Schätzungsmethode keineswegs auf eine absolute Genauigkeit prätendieren, so geben sie uns doch nichtdestoweniger eine klare Vorstellung über die Wirkungsdifferenz eines Salzes bei Veränderung der Aussenfaktoren.

Diese Daten stimmen ziemlich gut mit der von Lepeschkin und Tröndle[1]) gefundenen Permeabilitätssteigerung des Plasmas für Salze bei Belichtung überein. Nach Lepeschkin steigt bei Belichtung die Durchlässigkeit bei Spirogyra für KNO_3 1,3—1,8 mal.

Wir können daher den Schluss ziehen, dass die grössere Koagulationsenergie der Salze bei Belichtung von einer grösseren Durchtrittsfähigkeit der Salze bei dieser Bedingung abhängig ist. Dieser Befund ist für das Verständnis der Neutralsalzwirkungen auf das Plasma von grosser Bedeutung.

Die Giftigkeitssteigerung des Natriumjodids bei Belichtung ist keine spezifische Eigenschaft nur dieses Salzes, sondern sie ist auch einem jeden Salze in dem einen oder anderen Grade eigen. Am besten tritt diese „Lichtgiftigkeit" bei den ersten Gliedern der lyotropen Reihe hervor (bei den Rhodaniden, Iodiden etc.), d. h. insbesondere bei den wirksamsten Salzen.

Die folgenden Ergebnisse zeigen uns die Wirkung eines anderen Salzes, nämlich des Natriumbromids, parallel bei Belichtung und Verdunkelung.

---

1) W. W. Lepeschkin, Pflanzenphysiologie. 1912. S. 88, 89 (russisch).
W. W. Lepeschkin, Beihefte zum botan. Zentralblatt Bd. 24. 1909. S. 334.
A. Tröndle, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd 27. 1909. S. 71. Jahrb. für Bot. Bd. 48. 1910. S. 171.

Tab. 154. *NaBr* 0,5 *n*. 22—23°. Bei Belichtung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte.	4/4	3/4	1/2	1/4	0
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0
30 „	8	2	—	—	—	95,0
60 „	4	3	2	1	—	75,0
1 St. 20 M.	4	1	1	2	* 2	62,5
1 St. 40 M.	—	1	2	2	* 5	22,5
2 Stdn	—	1	—	1	* 8	10,0
2 St. 20 M.	—	—	—	3	* 7	7,5
2 St. 40 M.	—	—	1	—	* 9	5,0
3 Stdn	—	—	—	—	* 10	0
Das Mittel						41,9 %

Tab. 155. *NaBr* 0,5 *n*. 20—21°. Bei Verdunkelung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	Die Zahl der Schnitte.	4/4	3/4	1/2	1/4	0
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0
30 „	10	—	—	—	—	100,0
60 „	9	1	—	—	—	97,5
1 St. 20 M.	5	3	2	—	—	82,5
1 St. 40 M.	6	2	2	—	—	85,0
2 Stdn	5	2	1	2	—	75,0
2 St. 20 M.	4	1	2	2	* 1	62,5
2 St. 40 M.	2	3	2	2	* 1	57,5
3 Stdn	1	3	1	1	* 4	40,0
Das Mittel						77,8 %

Aus den Tabellen 154 und 155 sieht man, dass die Ergebnisse der Versuche mit Natriumbromid vollständig mit den Daten der Tab. 150—154 übereinstimmen. Wie dort, so auch hier bleibt nach einer zweistündigen Verdunkelung mehr als die Hälfte der Zellen lebend, d. h. plasmolysefähig, während nach einer zweistündigen Belichtung beinahe alle Zellen abgestorben sind. Der Vergleich der Zahlen, welche die Grösse der geschädigten Schnittfläche ausdrücken, zeigt bei *NaBr* ungefähr dasselbe, wie auch bei *NaI*.

Übersichtstabelle der Wirkung des *NaBr* bei Belichtung und Verdunkelung.

Tabelle 156.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösungen.		10 Min.	30 Min.	60 Min.	1 St. 20 M.	1 St. 40 M.	2 Stdn	2 St. 20 M.	2 St. 40 M.	3 Stdn
Mittelproz. der koagul. Zellen.	im Lichte	0	5,0	25,0	37,5	77,5	90,0	92,5	95,0	100,0
	im Dunkeln	0	0	2,5	17,5	15,0	25,5	37,5	42,5	60,0
Das Verhältnis zwischen den koagul. Zellen im Lichte und im Dunkeln.		—	∞	10,0	2,1	5,1	3,5	2,4	2,2	1,6

Man sieht, dass hier, ebenso wie bei *NaI* (vgl. Tab. 153), ein gewissermassen stabiles Verhältnis zwischen den Wirkungen des Salzes. im Hellen und im Dunklen nur nach Ablauf der ersten Stunde sich einstellt. Übrigens ist die Schwankung des Verhältnisses in diesem Falle etwas grösser, als bei *NaI*, was sich dadurch erklären lässt, dass bei *NaBr* die Zahlen nur von einem Versuch herrühren, während sie bei *NaI* die Mittelwerte von je zwei Versuchen darstellen.

Im allgemeinen sieht man, dass die Ergebnisse beider Versuchsserien ziemlich gut übereinstimmen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass in beiden Fällen (insbesondere im letzteren) ein kleiner Temperaturunterschied die Giftwirkung des Salzes im Hellen förderte, denn bekanntlich steigt die Plasmapermeabilität mit der Temperatursteigerung [1]). In der neuesten Zeit hat Delf [2]) gezeigt, dass die Durchlässigkeit des Plasmas für Wasser bei einer Temperaturerhöhung um je 10°C (in den Temperaturgrenzen von 5° — 40° C) 1,5 bis 3 mal steigt; dabei erwies sich, dass bei niedrigen Temperaturen (15° — 20°) die Permeabilitätserhöhung verhältnismässig kleiner ist, als bei höheren. Andererseits haben die neuesten Untersuchungen von Blackman und Paine [3]) mit Hilfe der Leitfähigkeitsmethode (electrical conductivity method) die von Lepeschkin und Tröndle gefundene Permeabilitätssteigerung bei Belichtung in bester Weise bestätigt. Es ist somit sehr wahrscheinlich, dass die grössere Koagulationskraft von *NaBr* bei Belichtung, die als Folge eines grösseren Durchtritts des Salzes durch das Plasma anzusehen ist, bis zu gewissem Grade auch durch diese kleine Temperatursteigerung bedingt ist.

Im gegebenen Falle ist es für uns von geringerer Bedeutung, welche äussere Bedingungen den Durchtritt des Natriumbromids ins Plasma förderten: die Belichtung oder die Temperaturerhöhung. Von grosser Wichtigkeit für uns ist aber die Tatsache, dass alle diejenigen äusseren Faktoren, die die Durchlässigkeit des Plasmas für Salze erhöhen, gleichzeitig auch die Giftwirkung derselben erhöhen und umgekehrt. Daraus können wir schliessen, dass die Permeabilität des Plasmas für Salze derjenige primäre physiologische Prozess ist, von

1) van Rysselberghe, Recueil de l' Instit. bot. Univ. de Bruxelles. Vol. 5. 1902. p. 283.

2) M. Delf, Ann. of Botany. Vol. 30. 1916. p. 283.

3) Blackman and Paine, Ann. of Botany. Vol. 32. 1918. p. 69.

welchem diese oder jene koagulierende Wirkung der Salze abhängt. Die Ursache eines grösseren Durchtrittsvermögens der Salze ist nicht die „Giftigkeit" derselben, sondern umgekehrt, die Giftwirkung ist als die Folge eines zu grossen Durchtritts der Salze durch das Plasma anzusehen.

Die Permeabilität des Plasmas für Salze ist der durch die physiko-chemische Beschaffenheit der Plasmaoberflächenschichten bedingte primäre Faktor, und das Durchlässigkeitsvermögen des Plasmas für Salze ist vollständig unabhängig von der nachfolgenden Giftwirkung der eingedrungenen Salzlösungen.

Aus dem Gesagten folgt, dass das Plasma für diejenigen Salze der lyotropen Reihe, die, wie die Rhodanide, Iodide u. and., für das Plasma sehr giftig sind, auch eine grössere Permeabilität haben muss. Somit sind die Plasmakoagulationsreihen: $CNS > I > Br > NO_3 > C_2H_3O_2 > Cl > Tartrate > Zitrate > SO_4$ und $K > NH_4 > Na > Sr$, Mg, Ba, Ca auch gleichzeitig Permeabilitätsreihenfolgen, d. h. die Koagulationsenergie der Salze verändert sich parallel der Permeabilität des Plasmas für die betreffenden Salzlösungen. Folglich muss die Permeabilität des Plasmas für Rhodanide, Iodide und für andere diesen in der lyotropen Reihe nahestehende Salze eine verhältnismässig grosse, für Tartrate, Zitrate, Sulfate aber eine ziemlich kleine und für Chloride und Azetate eine mittelmässige sein.

Wenn wir von der Hypothese ausgehen, dass die Giftwirkung der Neutralsalze eine Funktion der Permeabilität ist, so wird uns auch die schwächere Wirkung der Erdalkalien verständlich, indem wir dabei voraussetzen müssen, dass das Durchtrittsvermögen dieser Salze viel kleiner als das der Alkalisalze ist.

Wir sind nun indirekterweise zum Schluss gekommen, dass beim Durchtritt der Neutralsalze durch das Plasma die lyotrope Reihenfolge massgebend ist. In dem folgenden, zweiten Teile unserer Arbeit wollen wir dieses, soweit es methodisch möglich ist, durch direkte Messungen der eingedrungenen Salzmengen beweisen[1]).

1) Die neueste Literatur der in dieser Abhandlung behandelten Fragen ist bis zum Juli 1922 berücksichtigt worden.

Zweiter Teil.

Über die Methoden der Permeabilitätsbestimmung bei Pflanzenzellen.

Alle Methoden der Permeabilitätsbestimmung bei Pflanzenzellen können in zwei Gruppen geteilt werden.

Zur ersten Gruppe gehören alle diejenigen Methoden, bei denen die in die Zellen eingedrungene Salzmenge indirekt durch subjektive Schätzung bestimmt wird. In erster Linie gehören hierher alle solchen plasmolytischen Methoden, bei welchen die Veränderung der Grösse der Plasmolyse, oder einfach der Grad der letzteren, nach Augenmass bestimmt wird.

Lepeschkin[1]) war wohl einer der ersten, der eine Methode der Permeabilitätsbestimmung des Plasmas für Salze mittels der isotonischen Koeffizienten ausarbeitete. Der mit dieser Methode erhaltene „Permeabilitätsfaktor" „μ" ist eine der Permeabilität der Plasmamembran proportionale Grösse $\mu = 1 - \frac{K_1}{K}$, wo K_1 der auf plasmolytischem Wege bestimmte isotonische Koeffizient des zu untersuchenden Salzes, K der theoretisch ausgerechnete isotonische Koeffizient ist.

Ganz analog bestimmt die Permeabilität des Plasmas auch Tröndle[2]). Nach ihm ist der Permeabilitätsfaktor $\eta = 1 - \frac{i_1}{i}$, wo i_1 und i die plasmolytisch und theoretisch bestimmten Dissoziationsfaktoren der zu untersuchenden Verbindung sind. Es fällt nicht schwer, die Identität der beiden angeführten Methoden der Permeabilitätsbestimmung zu ersehen, denn die Dissoziationsfaktoren sind den isotonischen Koeffizienten proportionale Grössen.

1) W. W. Lepeschkin, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 27. 1909. S. 129. W. W. Lepeschkin, Pflanzenphysiologie. 1912. S. 87 (russisch).
2) A. Tröndle, l. c.

In der letzten Zeit haben Fitting[1]) und Tröndle[2]) plasmolytische Methoden für eine direkte Bestimmung der Salzaufnahme in die pflanzliche Zelle ausgearbeitet. Beide Autoren nehmen als Merkmal für den Durchtritt verschiedener Salze durch das Plasma den Rückgang der Plasmolyse in diesen Salzlösungen an.

Alle beschriebenen Methoden sind gut bei der, so zu sagen, qualitativen Bestimmung der Permeabilität des Plasmas für Salze anwendbar, wenn bloss ein Konstatieren des Eindringens eines Salzes ins Plasma genügt und wenn man nicht die eingedrungene Menge festzustellen braucht. Wünscht man aber verschiedene Grade der Plasmapermeabilität für eine grössere Anzahl von Salzen zu vergleichen, so versagt häufig die plasmolytische Methode wegen der subjektiven Schätzung des Plasmolysegrades, wobei feinere Abstufungen des letzteren sich nicht immer mit Sicherheit feststellen lassen.

Einige Methoden sind an bestimmte Pflanzen angepasst, wie z. B. die „grenzplasmolytische Methode" von Fitting bei Rhoeo discolor, wo die anthokyanhaltigen Epidermiszellen sehr wenig durchlässig für Salze sind[3]), und wo daher feinere Unterschiede im Eindringen der Salze schwer festgestellt werden können.

Andererseits ist die Anwendung der plasmolytischen Methode (Tröndle und and.) bei Objekten, die für Salze gut durchlässig sind, für unsere Zwecke aus dem Grunde unbrauchbar, weil der Grad und die Zeit des Rückganges der Plasmolyse bei verschiedenen Zellen auch eines und desselben Objektes in der Regel sehr verschieden sind, und daher bei der subjektiven Schätzung des Totalbildes eines plasmolysierten Schnittes feinere Differenzen der Permeabilität für verschiedene Salze mit einer zuverlässigen Genauigkeit kaum zu bestimmen sind. In einigen Fällen macht das Fehlen von Anthokyan in den Zellen gewisse Momente für die Entscheidung der Frage sehr schwierig, ob man es mit einer echten Plasmolyse oder mit einer „falschen" (Osterhout)[5]) zu tun hat; übrigens kann man auch nicht sicher sein, ob nicht die abnorm hohen Salzkonzentrationen (bis 2-fach normal und höher), die

1) Fitting, Jahrbüch. für wiss. Bot. Bd. 56. 1915. S. 1.
2) Tröndle, Arch. des sciences phys. et nat. Vol. 45. 1918. p. 38, 117.
3) Tröndle, loco cit.
4) Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 14. 1884. S. 465.
5) Osterhout, Science. Vol. 34. 1911. p. 187.

Tröndle bei der Plasmolyse anwendet, das Plasma der Zellen beschädigen.

Zur zweiten Gruppe der Untersuchungsmethoden der Plasmapermeabilität für Salze gehören alle diejenigen Methoden, bei welchen der Grad der Permeabilität mit gewissen der letzteren proportionalen und exakt messbaren Grössen verglichen werden kann.

Eine von diesen Methoden ist von Osterhout[1]) in die Wissenschaft eingeführt und bereits von vielen Forschern, wie z. B. Stiles und Jörgensen[2]), Hind[3]) und and., angewandt worden. Diese Methode besteht darin, dass zu einem Zylinder übereinander gelegte kreisrunde Gewebestücke in der zu untersuchenden Lösung zwischen Elektroden plaziert werden und nach der Kohlrausch'schen Methode der Widerstand gemessen wird. Es hat sich erwiesen, dass in diesem Falle das Durchtrittsvermögen der Salze durch das Plasma etwa umgekehrt proportional dem Widerstand ist.

Stiles und Jörgensen[4]) haben eine quantitative Wägemethode der Bestimmung der Salzaufnahme durch das pflanzliche Gewebe aus Lösungen ausgearbeitet. Diese Methode besteht darin, dass gleiche Portionen feingeschnittener und gleicher Gewebestücke abgewogen und in die zu untersuchenden Lösungen übergeführt werden. Nach bestimmten Zeitabschnitten wird das Gewicht kontrolliert und die Zunahme desselben ausgerechnet. Die Veränderung, bzw. Zunahme, im Gewicht dient hier als Kriterium zur Beurteilung des Eindringens der Salze in die Zellen.

In der letzten Zeit ist von Höfler[5]) eine neue plasmolytische Methode, die „plasmolytisch-volumetrische Methode", erfunden worden, die ziemlich genau die in die Zelle eingedrungene Salzmenge zu messen gestattet. Diese Methode ist vorzugsweise bei den zylindrischen Zellen (den Zellen des Grundgewebes bei Tradescantia elongata, Markzellen von Gentiana Sturmiana und and.) anwendbar. Bei diesen Zellen hebt sich der Plasmaschlauch

---

1) Osterhout, Science. Vol. 35. 1912. p. 112. Vol. 36. 1912. p. 350.

2) Stiles and Jörgensen, Ann. of. Botany. Vol. 29. 1915. p. 349. Vol. 31. 1917. p. 47.

3) Hind, Ann. of Botany. Vol. 30. 1916. p. 223.

4) Stiles and Jörgensen, Ann. of Botany. Vol. 31. 1917. p. 415.

5) Höfler, Ber. der Deutsch. Bot. Ges. Bd. 35. 1917. S. 706; Bd. 36. 1918. S. 475; Bd. 37. 1919. S. 314.

in hypertonischen Lösungen von beiden zylindrischen Enden der Zellwand ab und bildet hier sphärische kugelähnliche Flächen.

Infolgedessen kann man das Volumen eines solchen Plasmaschlauches ziemlich genau ausrechnen, wenn man ihn in Gedanken in den mittleren zylindrischen Teil und in zwei sphärische Enden zerlegt. Durch von Zeit zu Zeit aufeinander folgende Messungen wird es möglich, die Zunahme des Volumens der Vakuole in verschiedenen Salzlösungen zu messen und die eingedrungene Salzmenge auszurechnen.

Vor kurzem veröffentlichte Osterhout[1]) eine neue Methode der Bestimmung des in die Zelle eingedrungenen Salzes. Die in eine Salzlösung gelegten Zellen von Nitella werden mit einer feinen Kapillare angestochen und der Zellsaft ausgesogen. Im letzteren werden die diosmierten Stoffe auf mikroanalytischem Wege nachgewiesen. Osterhout hat mit Hilfe dieser Methode gezeigt, dass andere indirekte Methoden, wie z. B. die Leitfähigkeitsmethode, zuverlässige Resultate geben. Man muss hinzufügen, dass in Fällen, wo andere Methoden versagen, die Leitfähigkeitsmethode unter gewissen Bedingungen sehr feine Veränderungen in der Plasmapermeabilität zu bestimmen gestattet. So haben in der neuesten Zeit Blackman und Paine[2]) diese Methode mit Erfolg für den Nachweis der Elektrolytexosmose aus den Blattzellen von Mimosa pudica bei seismonastischen Bewegungen angewandt. Zu diesem Zweck wird ein abgetrenntes Blatt mit dem Gelenkpolster in das Leitfähigkeitswasser (*conductivity water*) gebracht und die Veränderungen im Widerstand bei der Reizung des Blattes in Betracht gezogen.

Zu den negativen Seiten aller oben beschriebenen Methoden muss man vielleicht den Umstand zählen, dass die Bestimmungen der Permeabilität meistenteils an Schnitten und Gewebestücken ausgeführt werden, die grosse Wundflächen haben, und dass man nicht sicher sein kann, ob nicht diese Wundflächen die Permeabilität der Zellen beeinflussen. Infolgedessen bevorzugten wir für unsere Zwecke eine solche Methode der quantitativen Permeabilitätsuntersuchung, bei welcher die zu untersuchenden Pflanzenorgane nach Möglichkeit intakt bleiben und die Wundfläche bis auf ein

1) Botan. Centralblatt Bd. 1 (neue Folge). 1922. S. 231.
2) Blackman and Paine, Ann. of Botany. Vol. 32. 1918. p. 69.

Minimum reduziert wird. Zu diesem Zweck wählten wir die sog. Methode der Gewebespannung[1]).

Diese Methode besteht im Prinzip darin, dass ein turgeszentes Pflanzenorgan in eine schwachhypertonische Lösung eines Stoffes übergeführt wird. Infolge der Hypertonie wird im Laufe der Zeit eine Kontraktion des Organs stattfinden, bis das osmotische Gleichgewicht sich herstellt.

Dringt der zu untersuchende Stoff in die Zellen ein, so wird der Turgordruck allmählich wiederhergestellt und das Organ beginnt sich wieder auszudehnen. Nach dem Grade des Ausdehnens und der Geschwindigkeit dieses Vorganges kann man über das Eindringen des Stoffes in das Plasma urteilen.

Schon Wieler[2]) benutzte diese Methode zur Bestimmung der Permeabilität des Pflanzenplasmas für gelöste Stoffe. Er legte junge Pflanzen von Phaseolus multiflorus, Vicia Faba und drgl. in hypertonische Rohrzucker- und Salpeterlösungen. Die Pflanzen verloren in den Lösungen ihre Turgeszenz, doch nach einiger Zeit wurden die erschlafften Organe wieder steif und man konnte mikroanalytisch die zu untersuchenden Stoffe in den Zellen nachweisen.

Krabbe und Rysselberghe untersuchten mit Hilfe dieser Methode den Temperatureinfluss auf den Wasserdurchtritt durch das Pflanzenplasma.

Krabbe[3]) legte halbierte Markzylinderstücke von Helianthus annuus in die plasmolysierende Zuckerlösung. Die Gewebestücke wurden infolge der Entspannung der Zellwände kürzer und die maximale Verkürzung wurde bei 20° viel schneller erreicht, als bei 0—1°. Ähnliche Resultate erhielt Krabbe auch bei den Versuchen mit jungen Wurzeln von Phaseolus multiflorus und Vicia Faba. Er zog aus diesen Versuchen den Schluss, dass bei 0—10° C die Wasserfiltration durch das Plasma 5 mal langsamer geschieht, als bei 20° C.

Van Rysselberghe[4]) untersuchte auch mit Hilfe der Gewebespannungsmethode (teilweise auch mit Hilfe anderer Methoden) den Einfluss der Temperatur auf die Diosmose des Wassers,

1) Vgl. Lundegårdh, Svenska Vetenskaps akad. Handl. Bd 47 № 3. 1911. S. 24.

2) Wieler, Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 5. 1887. S. 375.

3) Krabbe, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 29. 1896. S. 441.

4) l. c.

und der Lösungen von Salpeter, Glycerin und Harnstoff bei Spirogyra und Tradescantia discolor und kam dabei zu seinen bekannten und häufig zitierten Schlüssen.

Die Gewebespannungsmethode wurde neuerdings von Lundegårdh[1]) bei der Untersuchung der Permeabilität der Wurzelspitzen von Vicia Faba für Salze angewandt.

Er legte die abgeschnittene (etwa 10 mm lange) Wurzelspitze von Vicia Faba in ein mit einem Ab- und einem Zuflussrohr versehenes Glasschälchen. In den Boden desselben wurde ein Platindraht eingeschmolzen und an letzterem ein mit Paraffin getränktes Korkstück befestigt. In einem gewissen Abstande von diesem Korkstück wurde ein Paraffinbänkchen am Boden festgeschmolzen. Das Objekt wurde mit einer dünnen Platinnadel an das Korkstück befestigt, so dass seine Spitze auf dem Paraffinbänkchen lag. Auf den Wurzeln wurden mit Russ oder mit Eisenoxyd zwei Marken angebracht, die eine unmittelbar an der Spitze, die andere in einer gewissen Entfernung vom Ende. Die Lösungen der zu untersuchenden Stoffe wurden in die Schale durch zwei besondere an ihr angeschmolzene Glasröhren ein- und ausgegossen. Die durch den Einfluss verschiedener Stoffe hervorgerufene Veränderung des Abstandes zwischen den Marken der Wurzel wurde unter dem Mikroskop (Okularmikrom. 2, Objektiv № 1 Leitz) gemessen.

In der neusten Zeit wiederholte Delf[2]) mit Hilfe der Gewebespannungsmethode (rate of tissue-shrinkage) die Versuche von Rysselberghe. Dazu benutzte er einen ziemlich komplizierten Apparat, der im Prinzip darin bestand, dass ein Stück vom turgeszenten pflanzlichen Gewebe in vertikaler Stellung in der plasmolysierenden Zuckerlösung in einem besonderen Gefäss-Thermostat befestigt wurde. Am oberen Ende des Gewebestückes war ein dünner Faden angebracht, der in Verbindung mit einem besonderen beweglichen Spiegel stand. Auf den Spiegel wurde der Lichtstrahl einer elektrischen Lampe gerichtet, der auf eine Skala geworfen wurde. Auf solchem Wege wurden am erwähnten Gewebestück die feinsten Veränderungen in der Länge sichtbar.

Für unsere Untersuchungen wandten wir Lundegårdh's Gewebespannungsmethode an, die wir etwas vereinfachten. Als

1) l. c.

2) M. Delf, Ann. of Botany. Vol. 30. 1916. p. 283.

Untersuchungsobjekt dienten junge Wurzeln von Lupinus luteus. Die von Haage und Schmidt (Erfurt) bezogenen Samen mussten in destilliertem Wasser ein- bis zweimal 24 Stunden quellen und wurden nachher in feuchten Sägespänen im Gewächshaus gezogen. Für die Versuche dienten 25—40 mm lange Hauptwurzeln. Vor dem Versuch wurden die Wurzeln zur Entwicklung einer guten Turgeszenz 30 Min. in destilliertem Wasser gehalten. Die Beobachtungen wurden an den abgeschnittenen (10—15 mm. langen) Wurzelspitzen ausgeführt.

Eine abgeschnittene Wurzelspitze wurde in einer Schale an einem Paraffinblock mit einer Glasnadel so befestigt, dass die obere Fläche der Wurzel nach Möglichkeit horizontal zu liegen kam, um so das Mikroskopieren zu ermöglichen. Zu diesem Zweck stützte sich das lose Ende der befestigten Wurzelspitze auf eine Paraffinunterlage bzw. Glasplatte von entsprechender Höhe.

An der auf solche Weise befestigten Wurzel wurden vorläufig zwei Marken mit Kienruss (bzw. Tusche) angebracht: die eine ganz an der Spitze, die andere in einem Abstand von etwa 6 mm. Die Distanz zwischen den Marken wurde wiederholt in Wasser unter dem Mikroskop gemessen (Okularmikrom. *No* 2, Objektiv *No* 1* Leitz), nachher wurde an Stelle des Wassers eine schwach hypertonische Salzlösung gebraucht.

Um mit dieser Methode durchaus vergleichbare Resultate zu erhalten, müssen zwei Bedingungen erfüllt werden. Erstens müssen die angewandten Salzlösungen schwachhypertonisch sein. Bekanntlich ist die Zellwand bei jungen Zellen stark angespannt, im turgorlosen Zustande aber wird die Zellwand entspannt und die Dimensionen der Zellen werden kleiner. Nach den Daten von Krabbe und Schwendener[1]) erreicht die Turgorspannung der Zellwand bei jungen Wurzelspitzen von Phaseolus multiflorus und Vicia Faba durchschnittlich 15 %; etwa dieselbe Grösse fand Pantanelli[2]) für die Hyphen gewisser Schimmelpilze. In einer hypertonischen Lösung kontrahiert in der ersten Zeit die Zellwand bis zur völligen Erschlaffung, wobei der Plasmaschlauch sich noch nicht von der Zellwand abhebt. Auf dieser Stufe der osmotischen Wasserbewegung entsprechen

1) Krabbe und Schwendener, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 25. 1893. S. 323.

2) Pantanelli, Jahrbücher für wiss. Botan. Bd 40. 1904. S. 303.

die Veränderungen der Zellwanddimensionen den Veränderungen in der Grösse des Plasmaschlauches. Im Weiteren wird unter dem Einflusse der osmotischen Kräfte das Plasma von der Zellwand abgerissen und die erschlaffte Zellwand ist nicht mehr im Stande zu kontrahieren, und äusserlich sind in der Länge des zu untersuchenden Organs keine Veränderungen mehr zu bemerken. Bei unseren Versuchen waren wir bestrebt, solche Konzentrationen der Lösungen zu wählen, bei welchen das Plasma mit der Zellwand im Kontakt bleibt und die Entspannung der letzteren noch nicht das Maximum erreicht.

Praktisch ist das nicht schwer zu erreichen in folgender Weise: wenn man in zunehmender Abstufung verschiedene Salzkonzentrationen erprobt, in welchen die Kontraktion der Wurzeln immer grösser wird, kommt man schliesslich zu solchen Konzentrationen, in denen keine weitere Kontraktion mehr erfolgt. Hier hat sich das Plasma von der Zellwand schon abgehoben.

Man wählt dann für die Versuche solche Konzentrationen der Lösungen, in welchen die Kontraktion der Wurzeln ihre maximale Grösse noch nicht erreicht hat; z. B. ist in den Lösungen von KNO_3 — in 0,10 Mol noch keine Kontraktion vorhanden, in 0,15 Mol — ist die Kontraktion der Wurzel etwas mehr als 4%, in 0,20 Mol — ist sie mehr als 8%, in 0,25 Mol — ist sie etwas grösser als bei 0,20 Mol; in den Lösungen von 0,25—0,30 Mol ist keine weitere Zunahme der Kontraktion zu bemerken, und 0,25 Mol ist schon solch eine Konzentration, bei welcher der Plasmaschlauch sich von der Zellwand abgehoben hat. Um nun ganz sicher zu sein, dass in den zu untersuchenden Salzkonzentrationen das Plasma in den Wurzelzellen mit der Zellwand im Kontakt bleibt, waren die Konzentrationen der Lösungen bei unseren Versuchen in den meisten Fällen niedriger, als 0,20 Mol, sie schwankten in der Regel in den Grenzen 0,15 Mol — 0,20 Mol. Es sei hier noch erwähnt, dass Lundegårdh[1]) zu gleichen Zwecken für die Wurzelspitzen von Vicia Faba die Salzkonzentrationen 0,2 norm. angewandt hat. Eine Anwendung der oben beschriebenen schwach hypertonischen Lösungen ist aus dem Grunde sehr wichtig, weil, wie die neuesten Untersuchungen über die

1) l. c. S. 120.

Zellwand gezeigt haben,[1]) die Plasmaoberflächenschichten organisch mit der Zellwand verbunden sind und daher ein jedes Aufheben dieser Verbindung die Permeabilität des Plasmas für gelöste Stoffe beeinflussen kann.

Zweitens ist es von grosser Bedeutung, solche Konzentrationen der Lösungen anzuwenden, die einen gleichen osmotischen Wert haben. Dieses erreicht man durch die Anwendung der isotonischen Lösungen. Auf die Anwendung der äquimolekularen Lösungen, wie sie Lundegårdh[2]) benutzt, mussten wir verzichten, denn solche Lösungen haben keine gleichen osmotischen Werte und man erhält bei den Untersuchungen mit solchen Lösungen keine streng vergleichbaren Resultate. Für die Mehrzahl der Salze sind die isotonischen Lösungen nach den Fitting'schen isotonischen Koeffizienten ausgerechnet worden[3]). Der isotonische Koeffizient von Natriumbromid und -jodid wurde als ein dem isotonischen Koeffizienten von Natriumnitrat gleicher angenommen.

Nach der Übertragung der Wurzel in die schwach hypertonische Salzlösung beginnt sogleich die Kontraktion der Länge derselben, bis sich das osmotische Gleichgewicht einstellt. Im Moment des Eintretens des osmotischen Gleichgewichts bleibt die Länge der Wurzel eine kurze Zeit konstant und hierauf beginnt die Wiederausdehnung derselben, vorausgesetzt dass die Salzlösung die Fähigkeit hat in das Plasma einzudringen. Es ist dabei praktisch sehr wichtig, bei der Wurzel den Übergang von der Kontraktion zur Wiederausdehnung festzustellen. Bei beständiger Beobachtung ist dieses nicht so schwierig, denn obwohl anfangs die Kontraktion der Wurzel ziemlich schnell vor sich geht, wird sie allmählich immer langsamer, bis der Wendepunkt erreicht ist und nach diesem die Ausdehnung beginnt.

Zur Erläuterung des Gesagten seien hier zwei Beispiele angeführt, wobei nur die wichtigsten Messungen angegeben sind.

Tabelle 157. KNO_3 0,20 Mol. Temperatur 20° C.

Zeit in Minuten	0	1	2	4	5	7	8	10	11	13	16	41	45	49	60
Die Länge der Wurzel in Mikrometerstrichen	123	119	116	115	114	113	**112**	**112**	113	114	115	117	118	119	119

1) Hansteen Cranner, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd 37. 1919. S. 380. Meldinger fra Norges Landbrukshöiskole. Bd 2. 1922. S. 1.

2) l. c. S. 120.

3) Fitting, Jahrb. f. wiss. Botan. Bd. 57. 1917. S. 553.

Aus diesem Beispiel ersieht man, dass die Länge der zu beobachtenden Wurzelspitze ursprünglich 123 Mikrometerstriche betrug. In der Salpeterlösung geht allmählich eine Kontraktion vor sich, und die Wurzel zieht sich im Laufe von 8 Minuten bis zu 112 Mikrometerstrichen zusammen. Hier stellt sich das osmotische Gleichgewicht ein, und die Länge der Wurzelspitze bleibt einige Zeit äusserlich unverändert. Nach 10 Minuten beginnt infolge des Eindringens des Salzes in die Vakuole die Wiederausdehnung der Wurzel, welche nach 60 Minuten 119 Mikrometerstriche erreicht.

Es war nicht wünschenswert, den Versuch über eine Stunde auszudehnen, da wir nicht gewiss waren, ob bei längerem Verweilen der Wurzeln in Lösungen, die letzteren nicht einen schädlichen Einfluss ausüben würden. Infolgedessen dauerte ein jeder Versuch mit Wurzeln eine Stunde.

Wie das aus dem obenangeführten Beispiel ersichtlich ist, haben wir es hier mit folgenden Grössen zu tun.

1) die Verkürzung der Wurzel in der Lösung; in der Tabelle 157 beträgt sie 11 Mikrometerstriche (123—112). Am besten ist diese Kontraktion in Prozenten der beobachteten Länge der Wurzelspitze auszudrücken — gegebenenfalls beträgt die Kontraktion — $K = 8{,}9\,\%$; 2) die Ausdehnung der Wurzel; in unserem Falle beträgt sie 7 Mikrometerstriche (119—112). Auch diese Grösse drückt man am besten in Prozenten der beobachteten Länge aus; gegebenenfalls ist die Ausdehnung — $A = 5{,}7\,\%$. Von diesen zwei Grössen K und A hat für uns die Grösse A, die proportional der Menge des in die Zelle eingedrungenen Salzes ist, die grössere Bedeutung. Ausser der absoluten Grösse der Ausdehnung der Wurzel in der Lösung ist es noch wichtig das Verhältnis der Ausdehnung zur vorhergehenden Kontraktion zu kennen. Am einfachsten ist das in Prozenten der Kontraktionsgrösse auszudrücken. $\frac{100\,A}{K} = B$; in unserem Falle ist diese Beziehung — $B = 63{,}6\,\%$ (Tabelle 157).

Nehmen wir noch ein anderes Beispiel, bei einer stärkeren Lösung.

Tabelle 158. KNO_3 0,30 Mol. Temperatur 20°C.

Zeit in Minuten	0	1	2	4	5	7	12	17	25	29	37	51	60
Die Länge der Wurzel in Mikrometerstrichen	131	128	123	116	**115**	115	**115**	117	118	118½	120	121	121

$K = 12{,}2\,\%$; $A = 4{,}6\,\%$; $B = 37{,}5\,\%$.

Im Vergleich mit dem ersten Versuch (Tabelle 157) ist infolge der höheren Konzentration der Lösung in diesem Falle die Kontraktion der Wurzel bedeutend grösser — bei 0,20 Mol beträgt sie — 8,9 %, bei 0,30 Mol — 12,2 %. Dieses zeigt uns, dass bei den Konzentrationen, die isotonisch mit 0,20 Mol KNO_3 sind, die Kontraktion der Wurzeln noch weit vom Maximum ist, und wir können daraus den Schluss ziehen, dass das Plasma in diesen und noch schwächeren Lösungen sich wahrscheinlich von der Zellwand noch nicht abhebt, sondern im Kontakt mit derselben bleibt. Auf die grosse Bedeutung dieses Umstandes wurde oben (vgl. S. 107) hingewiesen. Andererseits ist im gegebenen Falle die Grösse A kleiner, so ist bei 0,20 Mol $A = 5{,}7\,\%$, bei 0,30 Mol — $A = 4{,}6\,\%$. Da die beiden Versuche unter ganz identischen Bedingungen und mit gleichem Versuchsmaterial ausgeführt worden sind, so zeigt die kleinere Wiederausdehnung der Wurzel, bzw. auch die grössere Kontraktion, dass in dieser Lösung der Plasmaschlauch in den Wurzelzellen sich von der Zellwand abhebt und sich noch im Inneren der Zellwand kontrahiert. Mit dem Eindringen der Salzlösung in die Vakuole wird das Plasma wieder an die Zellwand gepresst; äusserlich ist von diesem Prozess nichts zu bemerken, der einzige Unterschied besteht nur darin, dass der Zeitabschnitt zwischen der Beendigung der Kontraktion und dem Beginn der Wiederausdehnung der Wurzel länger ist. Infolge dieses oben beschriebenen Prozesses ist die äusserliche sichtbare Wiederausdehnung der Wurzel in dieser letzten Salzkonzentration kleiner, als in der ersten.

Wenden wir uns jetzt der Untersuchung der Plasmapermeabilität für Natriumsalze zu.

Da die äusseren Bedingungen, wie die Temperatur, Belichtung und and., während der ganzen Versuchszeit nicht konstant waren, so sind in allen unten folgenden Tabellen die Daten nur innerhalb einer jeden Serie vergleichbar. Die Versuche einer jeden Serie sind unter möglichst identischen Bedingungen angestellt, das Versuchsmaterial stammt aus ein und derselben Kultur.

Die Permeabilität des Plasmas für Natriumsalze.
Anionen.

Tabelle 159.

I. Serie.		Temperatur 20°—21°C.					
Alle Lösungen isotonisch 0,15 Mol KNO_3.							
Salze.		$NaBr$ 0,15 Mol.	NaI 0,15 Mol.	$NaNO_3$ 0,15 Mol.	$NaCl$ 0,15 Mol.	Na-Tartrat 0,118 Mol.	Na_2SO_4 0,113 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 8,2	% 5,1	% 5,3	% 7,8	% 5,1	% 6,0
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,2	2,2	2,2	2,1	0	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	51,2	43,1	41,5	26,9	0	0
II. Serie.					Temperatur 20°.		
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	9,4	4,7	—	3,7	3,7	4,7
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,6	1,5	—	1,4	0,7	7
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	48,9	31,9	—	37,8	18,9	14,9

Nach den Daten der Tabelle 159 nimmt die Permeabilität des Plasmas für Natriumsalze nach folgender Reihenfolge ab: $Br > I$, $NO_3 > Cl > Tartrat$, SO_4. Die Plasmapermeabilität für Natriumsulfat und -tartrat ist im Vergleich mit derjenigen für andere Salze so klein, dass sie sich nach dieser Methode nicht gut nachweisen lässt.

Tabelle 160.

I. Serie.		Temperatur 24°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,18 Mol KNO_3.							
Salze.		NaI 0,18 Mol.	$NaBr$ 0,18 Mol.	$NaNO_3$ 0,18 Mol.	$NaCl$ 0,18 Mol.	Na-Tartrat 0,114 Mol.	Na_2SO_4 0,135 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 6,6	% 9,5	% 10,7	% 11,0	% 6,0	% 4,4
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,3	4,0	3,0	2,2	1,5	0,7
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	65,1	42,1	28,0	20,0	25,0	15,0

Tabelle 160. (Fortsetzung).

II. Serie.		Temperatur 20°–22°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,18 Mol KNO_3.							
Salze.		NaI 0,18 Mol.	$NaBr$ 0,18 Mol.	$NaNO_3$ 0,18 Mol.	$NaCl$ 0,18 Mol.	Na-Tartrat 0,141 Mol.	Na_2SO_4 0,135 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	11,9	9,2	10,8	12,4	6,2	3,7
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	5,1	6,1	5,4	3,6	1,5	0,7
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	42,9	66,3	50,0	29,0	24,2	18,9

Die erste Versuchsserie der Tab. 160 zeigt uns, dass die Permeabilität des Plasmas für die Salze nach folgender Reihenfolge abnimmt:

$$I > Br > NO_3 > Cl > Tartrat > SO_4.$$

Aus den Daten der zweiten Versuchsserie ergibt sich folgende Reihenfolge: $Br > NO_3 > I > Cl > Tartrat > SO_4$.

Tabelle 161.

I. Serie.		Temperatur 23°—25°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol KNO_3.							
Salze.		NaI 0,20 Mol.	$NaBr$ 0,20 Mol.	$NaCl$ 0,20 Mol.	$NaNO_3$ 0,20 Mol.	Na-Tartrat 0,157 Mol.	Na_2SO_4 0,150 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 12,9	% 12,0	% 10,0	% 8,4	% 5,7	% 6,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	5,8	3,6	3,3	2,1	0,8	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	44,9	30,0	33,0	25,0	14,0	0
II. Serie.					Temperatur 24°.		
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	12,0	7,1	10,0	7,0	9,6	8,4
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,7	5,0	3,0	1,9	0	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	39,1	70,4	30,0	27,1	0	0

Nach den Ergebnissen der Tabelle 161 werden die Salze nach folgenden Reihenfolgen in das Plasma aufgenommen:

I Serie — $I > Br > Cl > NO_3 > Tartrat > SO_4$,

II Serie — $Br > I > Cl > NO_3 > Tartrat,\ SO_4$.

Die drei angeführten Konzertrationen der Natriumsalze (Tab. 159—161) zeigen uns, dass die Permeabilität des Plasmas für diese Salze nach der lyotropen Reihe $I > \ldots SO_4$ abnimmt. In allen Versuchen dringen am besten in das Plasma ein die Iodide, Bromide und Nitrate, am schlechtesten — die Tartrate und Sulfate; die Chloride nehmen in den meisten Versuchen etwa eine Mittelstellung zwischen den beiden angeführten Gruppen ein, wobei sie sich mehr an die erste Gruppe anschliessen. Es sei hier darauf hingewiesen, dass verschiedene äussere Faktoren das Eindringen der Salze sehr stark beeinflussen können, und dadurch erklärt sich auch teilweise, dass die Anionenreihen nicht gänzlich übereinstimmen und hier und da Abweichungen vorkommen. Im allgemeinen sind alle angeführten Anionenreihen ebensolche Modifikationen einer gewissen Mittelreihe, wie das bei den Koagulationsreihenfolgen des Plasmas der Fall ist (vgl. S. 71). Diese Mittelreihe ist die bekannte lyotrope Reihe:

$$I > Br > NO_3 > Cl > Tartrat > SO_4.$$

Untersuchen wir ferner die Permeabilität des Plasmas für die Kaliumsalze.

Für diese Salze untersuchen wir ebenso wie für die Natriumsalze drei Konzentrationen, beginnend mit der niedrigsten, die noch eine ganz schwache Hypertonie zeigt.

Die Permeabilität des Plasmas für Kaliumsalze.

Tabelle 162.

I Serie.		Temperatur 20°—21°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,160 Mol KBr.							
Salze.		KBr 0,160 Mol.	KNO_3 0,165 Mol.	KCl 0,161 Mol.	K-Tartrat 0,127 Mol.	K_2SO_4 0,123 Mol.	K-Zitrat 0,101 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 3,1	% 3,0	% 8,6	% 3,2	% 3,1	% 2,8
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	2,3	2,0	1,8	0,8	0	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	74,2	66,6	20,9	25,0	0	0

Tabelle 162. (Fortsetzung).

II Serie.		Temperatur 20°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,160 Mol *KBr*.							
Salze.		*KBr* 0,160 Mol.	KNO_3 0,165 Mol.	*KCl* 0,161 Mol.	*K*-Tartrat 0,127 Mol.	K_2SO_4 0,123 Mol.	*K*-Zitrat 0,101 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	5,8	5,8	5,0	3,0	2,6	—
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(*A*)	3,7	3,2	2,1	0	0	—
$\frac{100\,A}{K} =$	(*B*)	63,8	55,2	42,0	0	0	—

Wie die Daten der Tabelle 162 zeigen, werden die Kaliumsalze nach diesen Reihenfolgen in die Zelle aufgenommen:

I Serie — $Br > NO_3 > Cl > Tartrat > SO_4$, *Zitrat.*

II Serie — $Br > NO_3 > Cl > Tartrat$, SO_4.

Tabelle 163.

I Serie.		Temperatur 19°—20°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,180 Mol *KBr*.							
Salze.		*KBr* 0,180 Mol.	KNO_3 0,185 Mol.	*KCl* 0,181 Mol.	*K*-Tartrat 0,143 Mol.	K_2SO_4 0,138 Mol.	*K*-Zitrat 0,114 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	% 8,4	% 6,7	% 9,4	% 5,4	% 6,1	% 6,3
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(*A*)	5,2	3,7	5,0	1,5	0	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(*B*)	61,9	55,2	53,2	27,9	0	0
II Serie.		Temperatur 18°—19°.					
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	8,7	7,1	8,9	5,0	4,1	4,3
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(*A*)	4,8	5,5	4,8	0	0	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(*B*)	55,2	77,4	53,9	0	0	0

Nach den Daten der Tabelle 163 nimmt die Permeabilität des Plasmas nach folgenden Reihenfolgen ab:

I Serie — $Br > Cl > NO_3 > Tartrat > SO_4$, *Zitrat.*

II Serie — $NO_3 > Br > Cl > Tartrat > SO_4$, *Zitrat.*

Tabelle 164.

Temperatur 19°—20°.

Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol *KBr*.

Salze.		*KBr* 0,20 Mol.	KNO_3 0,206 Mol.	*KCl* 0,201 Mol.	*K*-Tartrat 0,159 Mol.	K_2SO_4 0,153 Mol.	*K*-Zitrat 0,126 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	% 10,7	% 11,0	% 12,3	% 5,5	% 8,2	% 7,1
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(*A*)	4,6	4,4	4,3	1,1	0	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(*B*)	42,9	40,0	34,9	20,0	0	0

Nach den Ergebnissen der Tabelle 164 werden die Salze nach folgender Reihe in die Zelle aufgenommen:

$$Br > NO_3 > Cl > Tartrat > SO_4,\ Zitrat.$$

Aus den obenangeführten Ergebnissen ist ersichtlich, dass das Eindringen der Natrium- und der Kaliumsalze in das Plasma derselben Gesetzmässigkeit unterworfen ist. Im allgemeinen dringen die Natriumsalze in das Plasma weniger schnell als die Kaliumsalze ein, und infolgedessen treten die Eindringungsunterschiede zwischen den einzelnen Anionen bei den Natriumsalzen besser hervor als bei den Kaliumsalzen. Es ist möglich, dass bei denjenigen Kaliumsalzen, deren Anionen am Anfange der lyotropen Reihe stehen, wie z. B. bei den Rhodaniden und Iodiden, das zu schnelle Eindringen in das Plasma eine sehr grosse Giftwirkung verursacht, indem die Salzflut das Plasma desorganisiert bzw. seine Kolloide zur Koagulation führt. Infolgedessen gelingen die Versuche mit diesen Salzen nicht so gut, wie mit den übrigen Kaliumsalzen. Mit *KCNS* gelingt der Versuch in den meisten Fällen überhaupt nicht.

Neuerdings hat Prat[1]) gefunden, dass Rhodankalium so schnell in die Spirogyrazellen eindringt, dass eine Plasmolyse nicht stattfindet. Diese Tatsache stimmt mit dem oben Gesagten gut überein. Dabei erwies sich dieses Salz für Spirogyrazellen als sehr giftig. Im Gegensatz zu den Rhodaniden und Iodiden dringen die Sulfate, Zitrate und teilweise auch Tartrate so langsam in das Plasma ein, dass im Laufe der ersten Stunde in den meisten

1) S. Prat, Biochem. Zeitschr. Bd. 128. 1922. S. 557.

Fällen die Wurzeln in den Lösungen dieser Salze keine Wiederausdehnung zeigen.

Untersuchen wir nun weiter die Permeabilität des Plasmas für Salze in bezug auf Kationen.

Die Permeabilität des Plasmas für die Kationen.

Tabelle 165.

I Serie.				Temperatur 18°.		
Alle Lösungen isotonisch 0,190 Mol *KCl*.						
Salze.		*KCl* 0,190 Mol.	*NaCl* 0,193 Mol.	$MgCl_2$ 0,133 Mol.	$BaCl_2$ 0,138 Mol.	$CaCl_2$ 0,134 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	% 8,6	% 11,8	% 9,3	% 8,5	% 10,1
Die Wiederausdehnung der Wurzel.	(*A*)	5,7	3,9	0	0	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(*B*)	66,3	33,0	0	0	0
II Serie.				Temperatur 18°—19°.		
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	9,6	10,7	8,4	9,6	9,4
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(*A*)	5,8	4,3	0	0	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(*B*)	60,4	40,2	0	0	0

Wie die Tabelle 165 zeigt, ergibt sich aus dem Vergleich der Versuchsergebnisse der Alkalisalze mit denen der Erdalkalien, dass die Salze mit einwertigem Kation viel schneller in das Plasma eindringen, als die Salze mit zweiwertigem Kation, vorausgesetzt, dass das Anion in beiden Fällen dasselbe ist. Die Eindringungsfähigkeit der untersuchten Erdalkalien ist so gering, dass die Wurzeln sich in den Lösungen nach der Kontraktion gar nicht ausdehnen. Es ergibt sich für die Kationen folgende Permeabilitätsreihe:

$$K > Na > Mg,\ Ba,\ Ca.$$

Eine höhere Konzentration ergibt dieselben Resultate.

Tabelle 166.

I Serie.		Temperatur 20°—21°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,21 Mol *KCl*.							
Salze.		*KCl* 0,210 Mol.	*NaCl* 0,214 Mol.	*LiCl* 0,204 Mol.	$MgCl_2$ 0,148 Mol.	$BaCl_2$ 0,152 Mol.	$SrCl_2$ 0,149 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	% 7,0	% 7,5	% 5,6	% 11,2	% 8,0	% 8,3
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(*A*)	3,1	2,1	1,3	0,9	0	0
$\frac{100\,A}{K}$ =	(*B*)	44,3	28,0	23,2	8,0	0	0
II Serie.					Temperatur 21°.		
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	8,9	7,1	6,9	11,2	7,3	8,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(*A*)	3,4	1,7	0,9	0,9	0	0
$\frac{100\,A}{K}$ =	(*B*)	38,2	23,9	13,0	8,0	0	0

Die Eindringungsfähigkeit der Kationen in das Plasma nimmt nach den Daten der Tabelle 167 nach folgenden Reihen ab:

I Serie — $K > Na > Li > Mg > Ba,\ Sr.$

II Serie — $K > Na > Li,\ Mg > Ba,\ Sr.$

Besprechung der bisherigen Ergebnisse.

Die Messungen der Fähigkeit der Neutralsalze in das Plasma einzudringen haben gezeigt, dass diese Fähigkeit bei den Salzen vollständig parallel ihrer Koagulationswirkung auf das Plasma ist. Die beiden physiologischen Prozesse sind im gleichen Masse wie von den Anionen, so auch von den Kationen der Salze abhängig und stellen eine additive Wirkung der Salze dar. Vom Standpunkte der Anionenwirkungen aus nimmt die Giftigkeit der Salze, und auch die Fähigkeit derselben in das Plasma einzudringen, nach der Reihenfolge ab: $CNS > I > Br > NO_3 > Cl >$ *Tartrate* $> SO_4$, *Zitrate*, in welcher die Rodanide, Iodide und Bromide die grösste Fähigkeit haben in das Plasma einzudringen und eine hohe Giftwirkung besitzen, die Sulfate und die Zitrate dagegen haben diese Fähigkeiten in geringerem Masse.

Betrachten wir die erwähnten Fähigkeiten der Salze in ihrer

Abhängigkeit von den Kationen, so haben wir diese Reihenfolge — $K > Na > Li > Mg > Ba > Sr > Ca$.

Man sieht also, dass die Versuche der Permeabilitätsbestimmungen des Plasmas für Salze denselben Schluss, zu dem wir früher indirekt gekommen waren, in bester Weise bestätigen, und zwar, dass die Giftwirkung der Neutralsalze eine Funktion der Fähigkeit derselben in das Plasma einzudringen ist. Die Fähigkeit in grösserem oder kleinerem Masse in das Plasma einzudringen ist dabei eine primäre Eigenschaft der Salze, die ganz unabhängig von der Giftwirkung derselben ist. Beim Eindringen ist die Kolloidaktivität der Neutralsalze massgebend, während die Giftigkeit der Salze nur als Folge dieser primären Eigenschaft anzusehen ist. Man kann folglich bestätigen, dass ein Neutralsalz nicht deswegen in das Plasma eindringt, weil es sehr giftig ist, d. h. weil es auf die Plasmakolloide koagulierend wirkt, sondern umgekehrt: die Giftwirkung des Salzes ist direkt abhängig von der Eindringungsfähigkeit derselben. Je mehr und je schneller ein Neutralsalz sich im Plasma ansammelt, desto schneller desorganisiert es die lebende Substanz, desto giftiger ist es. Denn die Giftigkeit und die tödliche Wirkung ist die unvermeidbare Folge der raschen Anhäufung einer grösseren Menge eines Neutralsalzes im Plasma.

Dieses wird dadurch bewiesen, dass in bezug auf das Plasma die giftigsten (tötlich wirkenden) Salze diejenigen sind, die den toten Kolloiden gegenüber eine sehr geringe Aktivität aufweisen. So z. B. sind Iodide und Bromide nicht im Stande natives Eiweiss zu fällen, beim Plasma aber haben diese Salze eine grösste Giftwirkung aus dem Grunde, weil sie sich sehr schnell im Plasma anhäufen.

Andererseits: alle Faktoren, die die Permeabilität des Plasmas für die Salze fördern, wie z. B. bis zu einem gewissen Grade die starke Belichtung, die optimale Temperatur, steigern auch gleichzeitig beinahe proportional der Permeabilitätsvergrösserung die tötliche Wirkung der Salze. Diese Tatsache beweist völlig klar, dass die Giftwirkung der Salze die Folge des Eindringungsgrades der Salze in das Plasma ist, und nicht umgekehrt.

Untersuchen wir jetzt, inwiefern unsere Ergebnisse für die Plasmapermeabilität für Salze mit den Literaturangaben übereinstimmen.

Beginnen wir mit den Anionen der Salze.

Pantanelli[1]) fand, dass bei Aspergillus in den isoosmotischen Lösungen von KNO_3 und $NaNO_3$ die Plasmolyse nach 2—3 Stunden zurückgeht, in den Lösungen von $NaCl$ und NH_4Cl — nach 10—12 Stunden, also: $NO_3 > Cl$.

Nach den Versuchen von Lundegårdh[2]), die in der oben beschriebenen Weise (vgl. S. 104) angestellt waren, dehnen sich die Wurzelspitzen von Vicia faba um 25 % der kontrahierten Länge in den isomolekularen Lösungen von Salzen in folgenden Zeiten aus[3]):

KNO_3	— in 45 Min.	$NaBr$	— in 100 Min.
KCl	— in 159 Min.	NaI	— in 120 „
		Na_2SO_4	— in 127 „
also: $NO_3 > Cl$.		$NaCl$	— in ∞ „
		Na-Zitrat	— in ∞ „
		also:	$Br > I > SO_4 > Cl$, *Zitrat*.

Fitting[4]) kam bei seinen plasmolytischen Versuchen zu den Ergebnissen, dass die Kaliumsalze — Nitrat, Chlorid, Bromid und Chlorat — gleich schnell in die Zellen (*Tradescantia discolor*) eindringen, während das Sulfat verhältnismässig schlechter durch das Plasma dringt, also: $(NO_3\ Cl,\ Br,\ ClO_3) > SO_4$.

Tröndle[5]) fand mit Hilfe der plasmolytischen Methode, dass bei den Wurzelschnitten von *Lupinus albus*, in einem Falle, die Chloride viel langsamer in die Zellen eindrangen als die Bromide und Jodide, also: $I,\ Br > Cl$; im anderen Falle, dass Nitrat und Chlorid schneller in die Zelle eindrangen als das Sulfat, also: $NO_3 > Cl > SO_4$.

Neuerdings hat Prat[6]) beobachtet, dass die Plasmolyse bei Spirogyrazellen in Nitratlösungen schneller zurückgeht als in den Lösungen von Chlorid, und am langsamsten in denen von Sulfat, also: $NO_3 > Cl > SO_4$.

Man sieht aus dieser Gegenüberstellung, dass die in der Literatur bereits vorhandenen Ergebnisse unsere Resultate in bester

1) Patanelli, Jahrb. f. wiss. Botan. Bd. 40. 1904. S. 303.

2) Lundegårdh l. c.

3) Lundegårdh (l. c. S. 129) hat ausser den angeführten Salzen noch viele andere angewandt. Die Anordnung der Salze hier ist die unsrige.

4) Fitting, Jahrb. f. wiss. Botan. Bd. 56. 1915. S. 1.

5) Tröndle, Arch. des sciences phys. et nat. V. 45. 1918. p. 117.

6) l. c.

Weise bestätigen. Dasselbe finden wir auch bezüglich der Kationen.

Pantanelli (l. c.) fand bei der Untersuchung der Turgorregulation bei Schimmelpilzen ausser den bereits oben angeführten Tatsachen noch, dass die Erdalkalien in das Plasma bedeutend langsamer als die Alkalisalze eindringen. So geht z. B. die Plasmolyse in den Lösungen von $MgSO_4$ und $CaCl_2$ erst nach 24 Stunden zurück. Nach den Ergebnissen von Pantanelli ergibt sich für das Eindringen in das Plasma folgende Kationenreihe:

$$K > Na > Mg,\ Ca.$$

Fitting (l. c.) zeigte, dass die Permeabilität der Epidermiszellen von Rhoeo discolor für Erdalkalien und für Magnesiumsalze so gering ist, dass es ihm mit seiner plasmolytischen Methode nicht gelang sie nachzuweisen, während die Natriumsalze nach seinen Ergebnissen etwa ebenso gut wie die Kaliumsalze in das Plasma eindringen, wenn auch im allgemeinen etwas schwerer, also:

$$K > Na > (Mg,\ Ba,\ Sr,\ Ca).$$

Tröndle (l. c.) untersuchte in ausgedehnten Versuchen die Permeabilität des Plasmas für Erdalkalien und Magnesiumsalze. Seine Ergebnisse stimmen vollständig mit denen der anderen Forscher überein. Er fand, dass die Erdalkalien im allgemeinen viel langsamer als die Alkalisalze durch das Plasma gehen, wobei von ihnen am besten die Magnesiumsalze und am schlechtesten die Kalziumsalze eindringen (bei $CaCl_2$ konnte er keine Eindringungsfähigkeit nachweisen). Bei den Wurzelzellen von *Lupinus albus* stellt Tröndle folgende Permeabilitätsreihenfolge für die Kationen auf:

$$Ca < Sr < Ba < Mg < Li < Na < K < Rb.$$

Prat (l. c.) fand für Spirogyra, dass die Geschwindigkeit der Deplasmolyse in den Salzlösungen nach folgender Kationenreihe abnimmt: $K > Na > Ca,\ Mg$.

Aus dem Angeführten ist ersichtlich, dass unsere Ergebnisse mit den Literaturangaben gut übereinstimmen.

Wir sehen also, dass sich die Neutralsalze aus den Lösungen im Pflanzenplasma nicht nach dem Bedürfnis ansammeln, sondern dass das Eindringen nach einer ganz anderen Gesetzmässigkeit geschieht. Das Salzbedürfnis des Plasmas ist Hunderte von

Malen kleiner, als die eindringende Menge eines Neutralsalzes aus reinen Lösungen[1]), und es leuchtet ein, warum die reinen Lösungen insbesondere der Alkalisalze sehr giftig für das Plasma sind, auch in dem Falle, wenn die Konzentration der Salze in physiologischen Grenzen schwankt, denn aus reinen Lösungen gehen stets ins Plasma so grosse Salzmengen hinüber, dass das Plasma völlig desorganisiert wird.

Dieser Befund, dass das Eindringen der Salze ins Plasma nach der lyotropen Reihenfolge $CNS > I > \ldots SO_4$ vor sich geht, zeigt uns in klarer Weise, dass dem physiologischen Prozess der Permeabilität des Plasmas für Salze ein physikochemischer Vorgang zu Grunde liegt, denn die lyotrope Anionenreihe ergibt sich hauptsächlich bei den physikochemischen[2]) (kolloidchemischen) Prozessen.

Welcher ist nun dieser physikochemische Prozess, der sich aller Wahrscheinlichkeit nach in der Plasmaoberfläche abspielt, und dem zufolge das Plasma für einige Salze mehr, für andere aber bedeutend weniger durchlässig ist?

Eine wahrscheinliche Antwort auf diese Frage sehen wir im Folgenden.

In einer vorläufigen Mitteilung[3]) haben wir die Meinung geäussert, dass sich auf der Plasmaoberfläche der Zelle für das Eindringen der Elektrolyte eine Regulationsvorrichtung befinden muss, die darin besteht, dass diese Stoffe, gemäss ihrer Kolloidaktivität, eine Verdichtung (bzw. Entquellung) der Oberflächenkolloide des Plasmas hervorrufen und somit eine Schutzschicht (Haptogenmembran)[4]), die für den betreffenden Stoff wenig durchlässig ist, erzeugen. Diejenigen von den Neutralsalzen, die eine grosse Kolloidaktivität besitzen, verdichten die Plasmaoberflächenschicht in dem Masse, dass sie sehr wenig oder überhaupt nicht fähig sind diese Schicht zu passieren. Diese Salze sind auch infolgedessen weniger giftig für das Plasma als diejenigen, die eine geringere Kolloidfällungskraft aufweisen und eine weniger dichte

1) Höber, Physikalische Chemie der Zelle, S. 363.

2) Ibidem, S. 308.

Vgl. Bechhold. Die Kolloide in Biologie und Medizin. 4 Aufl. 1922. S. 322.

3) H. Kahho, Biochem. Zeitschr. Bd. 120. 1921. S. 125.

4) Ramsden, Pflügers Arch. 1894. S. 117; Zeitschr. für physiol. Chemie Bd. 47. 1904. S. 336.

Schutzschicht erzeugen, die sie leichter passieren können. Bekanntlich wächst bei den Neutralsalzen die Fähigkeit Kolloide (z. B. Hühnereiweiss) zu fällen nach den Reihenfolgen $CNS < < I < \ldots SO_4$ und $K < Na < Li <$ Erdalkalien, und es leuchtet ein, warum die Fähigkeit der Salze in das Plasma einzudringen, sowie die dieser Fähigkeit parallele Giftwirkung, gerade im umgekehrten Verhältnis zu der Kolloidaktivität der Neutralsalze stehen. Die ersten Glieder der lyotropen Reihe: die Rhodanide, Iodide, Bromide, teilweise auch die Nitrate besitzen keine Fähigkeit natives Eiweiss und auch Lipoide zu fällen, sie wirken im Gegenteil quellend, und demgemäss häufen sich auch diese Salze im Plasma an, worin die Hauptursache der verhältnismässig grossen Giftigkeit dieser Salze besteht. Angefangen von den Chloriden bis zu den Sulfaten wächst das Fällungsvermögen in bezug auf die toten Kolloide und demgemäss bilden diese Salze auf der Plasmaoberfläche eine mehr oder minder dichte Schutzschicht, was wohl die Ursache der schwachen Giftwirkung der Salze ist. Übrigens haben einige Chloride, z. B. *KCl*, noch keine besonders starke Kolloidaktivität und sind deswegen noch ziemlich giftig.

Die Annahme der obenerwähnten Schutzschicht macht uns auch die geringe Permeabilität des Plasmas für die Erdalkalien verständlich. Ihrer grösseren Kolloidaktivität gemäss, erzeugen diese Salze auf der Plasmaoberfläche eine dichtere Haptogenmembran und können infolgedessen nicht in das Plasmainnere gelangen, haben daher eine sehr geringe Giftwirkung.

Zu Gunsten der oben auseinandergesetzten Ansicht sprechen folgende Literaturangaben.

Wir wollen hier nicht die älteren Angaben von Schultze[1]) näher erörtern, der bei den Protoplasten eine besondere Schutzschicht, eine sog. „Kontaktmembran", unter dem Einflusse des Aussenmediums beobachtet hat. Wir wollen auch nicht auf die Ergebnisse von Provazek[2]) eingehen, der auf der Oberfläche der Plasmatropfen von Vaucheria die Bildung einer ziemlich starken Membran konstatierte. Wir wenden uns aber zu den Versuchen von Küster, dessen Beobachtungen in direktem Zusammenhang mit unseren Folgerungen stehen.

1) Schultze, Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen. Leipzig. 1863.

2) Provazek, Biol. Zentralbl. Bd 27. 1907. S. 737.

Küster[1]) beobachtete bei der Plasmolyse der Zellen von *Elodea densa* und *Allium Cepa* in Normallösungen von Kalziumnitrat in einigen Zellen die Bildung von zwei Plasmaballen, die in der ersten Zeit nach der Übertragung des Präparates in reines Wasser wieder zu einem Plasmaschlauch zusammenschmolzen, wobei eine normale Deplasmolyse stattfand. Nach einem längeren Verweilen im Plasmolytikum schwollen wohl die Plasmaballen an und legten sich dicht aneinander, wobei aber die Fusion unterblieb. Aus diesen und ähnlichen Tatsachen zieht Küster den Schluss, dass unter dem Einflusse von Kalziumnitrat sich auf der Plasmaoberfläche eine Membran (Haptogenmembran) bildet, die die Fusion der plasmolysierten Protoplasten verhindert.

Die Alkalisalze fördern infolge ihrer kleinen Kolloidaktivität nicht die Bildung einer solchen Schutzmembran und die Protoplasten sterben in den Lösungen dieser Salze leichter ab.

Wie man sieht, stützen die Befunde von Küster unsere Ansichten in bester Weise. Besonders ins Gewicht fallende Beweise zu Gunsten unserer Hypothese finden wir in den Untersuchungen von Spek[2]), die etwa gleichzeitig mit unserer vorläufigen Mitteilung veröffentlicht wurden.

Spek untersuchte den Einfluss der Neutralsalze auf die Plasmakolloide von Actinosphaerium Eichhorni. Wir erlauben uns wegen der Wichtigkeit, die die Beobachtungen dieses Autors für unsere Arbeit haben, einiges aus seiner Arbeit zu zitieren[3]).

... „Schon kleine Mengen von Salzen können eine feine Fällung der Plasma- (bzw. auch der Membran-) kolloide bewirken. Eine Fällung der Kolloide des Zellinnern (des Ecto- und Entoplasmas) ist bei den Actinosphaerien direkt optisch als Trübung nachweisbar. Die Dispersionsverminderung bleibt aber ultramikroskopisch.

Ein Salz verrät sein Eindringen in die Zelle nach kurzer Zeit direkt durch Verursachung einer solchen Trübung. Diese Trübung entsteht am leichtesten bei den auch bei anderem Zellmaterial rasch eindringenden Kaliumsalzen. In mittleren physio-

1) E. Küster, Zeitschr. f. Botan. 2 Jahrg. 1910, S. 689; Ber. d. Deutsch Bot. Ges. Bd 27. 1909. S. 589.

2) I. Spek, Der Einfluss der Salze auf die Plasmakolloide von Actinosphaerium Eichhorni. Acta Zoologica 1921. S. 153.

3) l. c. S. 191, 192.

logischen Konzentrationen dringen Natriumsalze schwerer ein als Kalisalze, Lithiumsalze schwerer als Natriumsalze und am schwersten die Kalziumsalze. Je schwerer ein Salz also eindringt, um so klarer, heller bleibt das Plasma der Actinosphaerien in seinen Lösungen.

Diesen schwer eindringenden Salzen fehlt aber das Vermögen eine Fällung (und damit Trübung) des Plasmas hervorzurufen keineswegs, ja ihr Fällungsvermögen ist noch viel stärker, wie man dann erkennt, wenn dem Salz durch Zufall oder durch geeignete Versuchsbedingungen der Eintritt in die Zelle ermöglicht wird, es ruft dann nämlich eine tief braune Trübung oft schon letaler Natur in dem Plasma hervor.

Bei genauer Berücksichtigung aller der Beobachtungstatsachen, welche einerseits das verschieden grosse Vermögen der Salze in die Zelle einzudringen, andererseits ihr Vermögen die Plasmakolloide zu fällen, dartun, ergibt sich in vorzüglichem Einklang mit meinen theoretischen Vorstellungen, dass die Salze, welche stärker fällend wirken, schwerer in die Zelle eindringen; die schwachfällenden sind die leicht eindringenden. Je nach der Intensität der Dispersitätsverminderung der Membrankolloide treten die Salzmoleküle schwerer oder leichter durch die Membranen durch. Die Fällungsreihe der Kationen lautet: $K < Na < Li < Ca$." ... (L. c. S. 173:) ... „Offenbar wird das Oberflächenhäutchen des Actinosphaerium umso zäher, je stärker die fällende Wirkung des betr. Salzes ist, und umso leichtflüssiger, je schwächer das Salz die Kolloide ausflockt." ... (L. c. S. 163:) ... „Das Resultat unserer Untersuchungen lautet also: Fällungsvermögen und Eindringungsvermögen der Salze sind zueinander umgekehrt proportional ... und dass um so höhere Konzentrationen eines Salzes vertragen werden, je schwerer das betreffende Salz eindringt."

Aus dem Ziterten ist ersichtlich, dass unsere Hypothese über die Verdichtung der Plasmaoberflächenschicht unter dem Einflusse von Neutralsalzen eine sehr gute Bestätigung in Speks Untersuchungen an Tierzellen findet. Dieselben Ergebnisse, zu denen wir auf Grund der theoretischen Auseinandersetzungen sowie auch auf Grund der koagulierenden Wirkung und des Eindringungsvermögens der Salze gekommen sind, konnte auch Spek bei den Tierzellen durch unmittelbare Beobachtung feststellen.

Schon vor den Befunden von Spek sagte Höber bei der Erklärung der Salzwirkungen auf die elektrischen Eigenschaften

der Muskeln: „ich habe die von mir beobachteten ruhestromhemmenden Fähigkeiten von *Ca*, *Sr* und *Ba* als eine Art „Gerbung" der Plasmahaut aufgefasst, bei welcher durch die Erdalkalien die Quellbarkeit der Plasmahautkolloide verringert wird" (l. c. 531).

Aus allem oben Gesagten folgt, dass beim Eindringen der Neutralsalze ins Plasma es vor allem darauf ankommt, inwiefern die Neutralsalze das Vermögen besitzen den kolloidalen Zustand der Plasmahautkolloide (Plasmaoberflächenschicht) zu verändern.

Von diesem Standpunkte aus stimmen die Versuchsergebnisse vollständig mit den theoretischen Schlüssen überein.

Wir müssen noch hinzufügen, dass ausser der Kolloidaktivität auch die Adsorptionserscheinungen einen gewissen Einfluss auf das Eindringen der Salze in das Plasma ausüben können.

Nach älteren Angaben von Röntgen, Schneider und I. Traube[1]) wächst die Adsorbierbarkeit der Anionen und Kationen nach den Reihenfolgen: $SO_4 < Cl < Br$, $NO_3 < I$ und $Na < K < Rb < Cs$ und $Ca < Sr < Ba$, wobei nach Freundlich[2]) die Adsorbierbarkeit von der Wertigkeit des Ions abhängig ist: die einwertigen Kationen werden schwächer adsorbiert als die zweiwertigen. Nach den neuesten Untersuchungen von Rona und Michaelis[3]) werden die Anionen und Kationen durch die Tierkohle nach den Reihenfolgen: $OH > CNS > I > NO_3 > Br > Cl$, $HPO_4 > SO_4$ und $H > Al > Cu > Zn > Mg$, $Ca > NH_4$, Na, K adsorbiert.

Man sieht, dass die Adsorptionsreihe der Anionen (ausser denen, die in unseren Versuchen nicht vorkommen) mit der Plasmakoagulationsreihe und Permeabilitätsreihe der Ionen (bezeichnen wir diese Reihenfolgen als „physiologische") gut übereinstimmt. Rhodanide, Iodide und andere Salze, die gut adsorbiert werden, dringen auch am besten in das Plasma ein und sind daher giftig. Diese Übereinstimmung der Adsorptionsreihen mit den physiologischen Ionenreihen trifft aber nicht überall zu. Bei Kationen haben die physiologische und die Adsorptionsreihenfolge eine entgegengesetzte Richtung. Diejenigen Kationen, die am besten adsorbiert werden, wie z. B. *Ca*, *Mg*, dringen in das Plasma, wie wir das bereits gesehen haben, weit langsa-

1) Zit. nach Höber, Physikalische Chemie der Zelle. S. 215.
2) H. Freundlich, Kolloid. Zeitschr. Jahrg. 1. 1906—7. S. 321.
3) Rona und Michaelis, Biochem. Zeitschr. Bd. 94. 1919. S. 254.

mer ein, als die viel schwächer adsorbierbaren *K* und *Na*. Daraus folgt, dass die Permeabilität des Plasmas für Salze ein physiologischer Vorgang ist, der in erster Linie nicht von der Adsorbierbarkeit der Salze abhängt, denn die am stärksten adsorbierbaren Ionen können nichtsdestoweniger sehr schwach in das Plasma eindringen. Für das Eindringen der Salze ist in erster Linie ihre Kolloidaktivität massgebend.

Aus dem Gesagten folgt nicht, dass die Adsorptionserscheinungen beim Stoffwechsel überhaupt keine Bedeutung haben. Denn in dem Falle, wenn die Ionenreihen (Adsorptions- und physiologische Reihen) eine gleiche Richtung aufweisen, wie wir das bei den Anionen gesehen haben, kann die Adsorbierbarkeit der Ionen das Eindringen auch gewissermassen fördern. Dieses findet aber unter der Bedingung statt, dass die gut adsorbierbaren Salze keine grosse Kolloidaktivität besitzen und wenn sie die Biokolloide der Plasmaoberfläche nicht verdichten. Bei unseren Versuchen ist das bei den ersten Gliedern der lyotropen Reihe (Rhodaniden, Iodiden und and.) der Fall.

Wenn aber ein gut adsorbierbares Neutralsalz gleichzeitig auch eine grosse Kolloidfällungskraft besitzt, so wird es sich nur an der Plasmaoberfläche ansammeln und die Grenzschichten dermassen verdichten, dass es nicht merklich durch das Plasma geht. Dieser Fall trifft bei den Erdalkalien zu. Die Adsorbierbarkeit der Salze kann in gewissen Fällen bei den sog. antagonistischen Ionenwirkungen eine Bedeutung haben. Darüber wird unten ausführlicher die Rede sein.

Einen guten Beweis dafür, dass beim Eindringen der Elektrolyte das Vermögen der Salze Zustandsänderungen der Plasmakolloide hervorzurufen die Hauptrolle spielt, liefern uns die Versuche von Brenner[1]).

Dieser Autor untersuchte die sog. „Säureresistenz" des Plasmas der Rotkrautzellen gegenüber der Salzsäure und auch das Eindringen der Säure in die Zelle, wobei ihm als Indikator das Anthokyan des Zellsaftes diente.

Er fand, dass die Anwesenheit der isotonischen Mengen von Neutralsalzen in einigen Fällen die Resistenz der Rotkrautzellen in bezug auf die Säure vergrössern. Entnehmen wir der Arbeit von Brenner[2]) einige sog. „kritische Konzentrationen" der Säure,

1) W. Brenner, Ber. der Dtsch. Bot. Ges. Bd 38, 1920. S. 277.
2) l. c.

d. h. solche Konzentrationen der Salzsäure, in welchen das Plasma nach Brenner im Laufe von 4 Stunden noch leben bleibt.

Alle Salze sind isotonisch 3,75 % KNO_3.

Plasmolytikum	Kritische Konzentration der HCl in Mol.
$NaCl$.	$^1/_{1000}$
KNO_3	$^1/_{800}$
KCl	$^1/_{600}$
K_2SO_4	$^1/_{400}$
$MgCl_2$	$^1/_{400}$
$CaCl_2$	$^1/_{250}$
Saccharose	$^1/_{700}$

Wenn wir hier die Anionenwirkung in Betracht ziehen, so ergibt sich bei den Kaliumsalzen die Reihenfolge $NO_3 < Cl < SO_4$, in welcher das Vermögen der Salze die Säureresistenz zu fördern von den Nitraten zu den Sulfaten zunimmt. Bei den Kationen wächst dieses Vermögen nach der Reihe $Na < K < Mg < Ca$, wobei die zweiwertigen Kationen viel stärker als die einwertigen die schädliche Wirkung der Säure vermindern. Wie man sieht, erhalten wir hier unsere bekannten physiologischen Ionenreihen.

Die beschriebene Neutralsalzwirkung lässt sich sehr leicht durch unsere Hypothese erklären, nämlich: die Endglieder der Reihen SO_4 und Ca verdichten, wie auch bei unseren Versuchen, die Oberflächenschicht des Plasmas dermassen, dass die Säure viel schwerer eindringt und die Säurekonzentration höher sein muss, um dieselbe Wirkung zu erzielen, wie ohne das Salz. Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass auch die Saccharose die Plasmaoberflächenschicht zu verändern (verdichten) vermag, wie das aus den oben besprochenen Fusionsversuchen von Küster folgt. Brenner hat durch den Farbenumschlag des blauen Anthokyans unmittelbar beobachtet, dass diejenigen Salze, die die Giftwirkung der Salzsäure vermindern, gleichzeitig auch das Eindringen der Säure in die Vakuole erschweren. Er sagt: „So ist z. B. mit K_2SO_4, $MgSO_4$ und $CaCl_2$ der Nachweis der HCl in den Zellen erst viel später und nur bei viel höheren Konzentrationen möglich, als bei Rohrzucker“ (l. c.).

Wäre die Giftigkeitsverminderung der Salzsäure bei Anwesenheit von Neutralsalzen ein Adsorptionsvorgang, wobei die einen Ionen die anderen verdrängen würden, denn bekanntlich ver-

drängt aus dem Gemisch zweier Stoffe der stärker adsorbierbare den schwächer adsorbierbaren [1]), so bleibt es hier vollständig unklar, warum die Giftigkeit der Salzsäure bei Anwesenheit von K_2SO_4 viel kleiner ist als bei $NaCl$, denn K^+ und SO_4^{--} werden weniger adsorbiert als Na^+, Cl^- und insbesondere H^+. Auf Grund des Erörterten kommen wir zur Folgerung, dass beim Eindringen der Neutralsalze in das Plasma die Adsorption keine Hauptrolle spielt, insbesondere bei hohen Salzkonzentrationen.

Um beim Eindringen der Salze in das Plasma die Bedeutung der Adsorption näher kennen zu lernen, um ferner auch die Permeabilität des Plasmas für Salze näher von allen Seiten zu erforschen, ist es notwendig, auch die gegenseitige Beeinflussung der Salze in Gemischen auf das Eindringen zu untersuchen.

Zu diesem Zweck untersuchen wir zuerst die gegenseitige Beeinflussung der Kationen. Um diese Beeinflussung deutlicher zutage treten lassen, nehmen wir aus der Permeabilitätsreihe: $K > Na > Li > Mg > Ba > Ca$ ein Salz mit dem Kation, das am leichtesten in das Plasma eindringt, und fügen kleine Mengen der Salze mit zweiwertigen Kationen hinzu. Um die gegenseitige Beeinflussung der Dissoziation zu vermeiden, sind die Salze mit verschiedenen Anionen genommen, z. B. KNO_3 und Chloride der Erdalkalien und des Magnesiums.

Die Konzentrationen des reinen Kontrollsalzes und der Gemische sind streng isotonisch.

Die Beeinflussung der Permeabilität des Plasmas durch Salzgemische. Kationen.

Tabelle 167.

1 Serie.		Temperatur 19°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,18 Mol KNO_3.					
Salze.		KNO_3 0,18 Mol (Kontroll-vers.)	KNO_3 0,15 Mol. + $+MgCl_2$ 0,020 Mol.	$+BaCl_2$ 0,021 Mol.	$+CaCl_2$ 0,020 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 9,4	% 11,5	% 8,0	% 9,1
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,4	3,6	1,6	0
$\frac{100A}{K} =$	(B)	46,8	31,2	20,2	0

1) Höber, l. c. S. 213, 214.

Tabelle 167. (Fortsetzung).

II Serie.		Temperatur 19°—20°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,18 Mol KNO_3.					
Salze.		KNO_3 0,18 Mol. (Kontroll-vers.)	KNO_3 0,15 Mol + $+ MgCl_2$ 0,020 Mol.	$+ BaCl_2$ 0,021 Mol.	$+ CaCl_2$ 0,020 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	*(K)*	5,6	7,5	11,4	8,0
Die Wiederausdehnung der Wurzel	*(A)*	4,8	4,0	0,8	0
$\frac{100\,A}{K} =$	*(B)*	85,4	53,3	7,0	0

Wie uns die Versuchsergebnisse der Tabelle 167 zeigen, verhindern die Erdalkalien und $MgCl_2$ das Eindringen des KNO_3 in die Zelle. Dieses Vermögen der zweiwertigen Kationen die Aufnahme des KNO_3 zu verhindern wächst nach den Reihenfolgen:

I Serie — $Mg < Ba < Ca$.
II Serie — $Mg < Ba < Ca$.

Besonders stark wird die Aufnahme von KNO_3 durch Kalziumchlorid herabgesetzt. Bei unseren Versuchsbedingungen wird durch $CaCl_2$ das Eindringen der Salpeterlösung überhaupt sistiert.

Das Vermögen der anderen zweiwertigen Kationen die Aufnahme der Salpeterlösung durch die Zelle zu verhindern steht im umgekehrten Verhältnis zum Eindringungsvermögen in das Plasma dieser Salze selbst: je mehr das entsprechende Kation selbst in das Plasma eindringt, desto weniger verhindert es auch das Eindringen anderer Kationen und umgekehrt. Daraus ergibt sich eine praktische Regel: je näher in der Permeabilitätsreihe $K > Na > Li > Mg > Ba > Ca$ ein zweiwertiges Kation zu den einwertigen steht, desto weniger setzt es das Eindringen der letzteren herab; mit dem Abstand in der Reihe wächst die Fähigkeit antagonistisch zu wirken.

Untersuchen wir nun die Beeinflussung der Salzaufnahme durch Erdalkalien und Magnesium in etwas stärkeren Lösungen.

Tabelle 168.

I Serie.			Temperatur 20°.		
Alle Lösungen isotonisch 0,23 Mol KNO_3.					
Salze.		KNO_3 0,23 Mol. (Kontroll-vers.)	KNO_3 0,202 Mol + $+MgCl_2$ 0,019 Mol.	$+BaCl_2$ 0,020 Mol.	$+CaCl_2$ 0,019 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 11,4	% 9,0	% 12,0	% 11,3
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,8	3,7	1,8	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	42,1	41,1	15,0	0
II Serie.			Temperatur 20°.		
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	10,8	11,0	10,6	8,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	5,6	4,4	1,9	0
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	51,8	40,0	17,9	0

Bei den in Tabelle 168 angeführten Versuchen verhindern die zweiwertigen Kationen die Salpeteraufnahme in die Zelle genau so, wie wir das aus der Tabelle 167 gesehen haben:

I Serie — $Mg < Ba < Ca$.
II Serie — $Mg < Ba < Ca$.

Wenn man aus den Ergebnissen der vier letzteren Versuchsserien (Tab. 167 und 168) die Minderung der Salpeteraufnahme in die Zelle durch die zweiwertigen Kationen prozentmässig ausrechnet, wobei diese Minderung mit dem Zeichen Minus versehen ist, so erhält man folgende Zahlen:

$$\overbrace{\qquad KNO_3 \qquad}$$
$$+Mg;\ +Ba;\ +Ca$$
$$-20\%\ -69\%\ -100\%$$

Die Zahlen zeigen uns, dass während eine kleine Menge von Kalziumchlorid (etwa $^1/_9$ der Gesamtmenge des Gemisches) die Aufnahme von KNO_3 in die Zelle vollständig sistiert, die äquivalenten Mengen von Bariumchlorid die Salzaufnahme um 69% und von Magnesiumchlorid nur um 20% herabsetzen.

Wenn wir annehmen, dass bei den zweiwertigen Kationen das Vermögen das Eindringen von einwertigen Kationen in das Plasma herabzusetzen etwa umgekehrt proportional ist der Fähigkeit der zweiwertigen Kationen selbst ins Plasma hineinzugehen, so erhalten wir die Permeabilitätsreihe für Erdalkalien: $Mg > > Ba > Ca$.

Untersuchen wir noch weiter die gegenseitige Beeinflussung der Alkalikationen beim Durchtritt durch das Plasma.

Zu diesem Zweck wählen wir aus der Permeabilitätsreihe Salze mit weit voneinander stehenden Kationen, denn in diesem Falle treten die gegenseitigen Einflüsse am schärfsten hervor.

Die Kationen der Alkalisalze.

Tabelle 169.

I Serie.				Temperatur 20°.	
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol KNO_3.					
Salze.		KNO_3 0,20 Mol. I	$LiCl$ 0,19 Mol. II	KNO_3 0,17 Mol. + $LiCl$ 0,028 Mol.	$LiCl$ 0,17 Mol. + KNO_3 0,021 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	*(K)*	% 5,3	% 8,2	% 4,5	% 6,1
Die Wiederausdehnung der Wurzel	*(A)*	4,1	1,5	1,9	1,9
$\frac{100\,A}{K} =$	*(B)*	77,3	18,3	42,2	31,1
II Serie.				Temperatur 20°.	
Die Kontraktion der Wurzel	*(K)*	5,8	6,2	5,6	—
Die Wiederausdehnung der Wurzel	*(A)*	3,9	1,0	1,8	—
$\frac{100\,A}{K} =$	*(B)*	67,2	16,1	32,1	—
III Serie.				Temperatur 19°—20°.	
Die Kontraktion der Wurzel	*(K)*	6,8	4,5	7,0	9,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel	*(A)*	3,0	0,9	2,6	1,2
$\frac{100\,A}{K} =$	*(B)*	44,1	20,0	37,1	13,0

Tabelle 169. (Fortsetzung).

IV Serie.		Temperatur 16°—18°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol KNO_3.					
Salze.		KNO_3 0,20 Mol. I	$LiCl$ 0,19 Mol. II	KNO_3 0,17 Mol. + $LiCl$ 0,028 Mol.	$LiCl$ 0,17 Mol. + KNO_3 0,021 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	7,3	5,0	5,2	5,0
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	3,2	0,4	1,1	0,7
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	43,8	8,0	21,1	14,0

Beim Vergleichen aller derjenigen Fälle in der Tabelle 169, in welchen zum KNO_3 kleine Mengen von $LiCl$ hinzugefügt worden sind, sehen wir, dass $LiCl$ das Eindringen von Salpeter in die Zelle überall gewissermassen hemmt. Ungeachtet dessen, dass die zum Salpeter hinzugefügte Lithiumchloridmenge etwa $^1/_7$ der Gesamtmenge des Gemisches ausmacht, setzt sie doch die Aufnahme von KNO_3 bis etwa auf die Hälfte herab (um 48% — das Mittel aus 4 Serien). Dagegen wird, wenn kleine Mengen von Kaliumnitrat (ungef. $^1/_9$ des Gemisches) zum Lithiumchlorid hinzugefügt werden, die Salzaufnahme durch das Plasma durchschnittlich um ein Drittel erhöht (um 33% — das Mittel aus 4 Serien).

Untersuchen wir jetzt den Fall, wenn die Alkalisalze gleiche Anionen haben.

Tabelle 170.

I Serie.		Temperatur 17°—19°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol KCl.					
Salze.		KCl 0,20 Mol. I	$LiCl$ 0,192 Mol. II	KCl 0,15 Mol. + $LiCl$ 0,048 Mol.	$LiCl$ 0,15 Mol. + KCl 0,043 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 5,4	% 3,7	% 3,3	% 3,9
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	3,5	1,4	1,6	1,9
$\frac{100\,A}{K} =$	(B)	64,8	37,8	48,5	48,7

Tabelle 170. (Fortsetzung).

II Serie.		Temperatur 18°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol *KCl*.					
Salze.		*KCl* 0,20 Mol. I	*LiCl* 0,192 Mol. II	*KCl* 0,15 Mol. + *LiCl* 0,048 Mol.	*LiCl* 0,15 Mol. + *KCl* 0,043 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	*(K)*	6,7	4,6	4,9	4,6
Die Wiederausdehnung der Wurzel	*(A)*	4,0	1,9	2,6	2,3
$\frac{100\,A}{K} =$	*(B)*	59,7	41,3	53,1	50,0

Die Ergebnisse der Tabelle 170 stimmen mit denen der vorhergehenden Tabelle gut überein. Aus der Tatsache, dass in diesem Falle die Anionen dieselben sind, können wir schliessen, dass wir es hier allein mit den Kationenwirkungen zu tun haben. Jedoch sind, wie wir das im Weiteren sehen werden, hier die beiden Ionen eines jeden Salzes von Bedeutung.

Die Hinzufügung einer kleinen Menge von Lithiumchlorid zur Kaliumchloridlösung hemmt die Aufnahme von *KCl* durchschnittlich um 44%, umgekehrt, der Zusatz derselben Mengen von *KCl* zur Lithiumchloridlösung erhöht die Aufnahme etwa um 27%.

Auf Grund der Versuche mit Salzgemischen können wir folgende Regel aufstellen: die Aufnahme eines jeden Salzes[1]) der Permeabilitätsreihe $K > Na > Li > Mg > Ba > Ca$ wird durch ein beliebiges anderes Salz gehemmt, dessen Kation in der Reihe rechts von dem ersteren steht. Diese Hemmung ist umso stärker, je grösser der Abstand zwischen den Kationen in der Reihenfolge ist. Die zweiwertigen Kationen haben ihrer grösseren Kolloidaktivität gemäss eine bedeutend grössere Hemmungskraft.

Bei den Salzen mit einwertigen Kationen wird die Aufnahme durch den Zusatz von in der Reihe links stehenden Kationen erhöht. Durch den Zusatz von Alkalisalzen zu den Erdalkalien wird die Aufnahme der letzteren infolge der grossen Kolloidaktivität nicht beeinflusst.

1) Im allgemeinen die gleiche Säure vorausgesetzt.

Untersuchen wir jetzt die Beeinflussung der Salzaufnahme in die Zelle durch die Anionen. Zu diesem Zweck nehmen wir ein Salz, dessen Anion ungefähr in der Mitte der lyotropen Reihe sich befindet, und setzen ihm kleine Mengen von Salzen hinzu, deren Anionen links und rechts von dem erwähnten Anion stehen. Alle Lösungen der Salzgemische sind streng isotonisch.

Die Beeinflussung der Plasmapermeabilität durch Anionen.

Tabelle 171.

I Serie.		Temperatur 19°—20°.				
Alle Lösungen isotonisch 0,22 Mol *KCl*.						
Salze.		*KCl* 0,20 Mol +				
		+ 0,02 Mol *KI*	+ 0,025 Mol KNO_3	+ 0,020 M. *KCl* (Kontroll-vers.)	+ 0,0153 Mol K_2SO_4	+ 0,0126 Mol *K*-Zitrat
Die Kontraktion der Wurzel	*(K)*	% 10,3	% 11,1	% 10,0	% 10,8	% 12,5
Die Wiederausdehnung der Wurzel	*(A)*	5,9	4,9	4,1	3,8	0,8
$\frac{100\,A}{K}$ =	*(B)*	57,1	44,1	41,0	35,2	6,4
II Serie.					Temperatur 20°.	
Die Kontraktion der Wurzel	*(K)*	11,0	10,7	9,5	11,1	13,4
Die Wiederausdehnung der Wurzel	*(A)*	6,0	5,6	4,4	3,9	1,4
$\frac{100\,A}{K}$ =	*(B)*	54,5	52,3	46,3	35,1	10,4

Die in der Tabelle 171 angeführten Versuchsergebnisse zeigen uns, dass die Aufnahme eines Salzes durch andere Salze mit gleichem Kation und verschiedenen Anionen in sehr merklicher Weise beeinflusst werden kann. Um dieses zu veranschaulichen, ist unten die Hemmung und die Förderung der Aufnahme des Kontrollsalzes (*KCl*) in Salzgemischen durch Prozente ausgedrückt. Das Zeichen Minus bedeutet die Hemmung und Plus die Erhöhung der Aufnahme; die Zahlen sind nach den Daten von zwei Versuchsserien ausgerechnet.

$$\overbrace{+KI;\ +KNO_3;\ +KCl;\ +K_2SO_4;\ +K\text{-}Zitrat}^{KCl}$$
$$+40\%\quad +23\%\quad 0\%\quad -9\%\quad -74\%$$

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, dass die Beeinflussung der Aufnahme des Kaliumchlorids durch verschiedene Anionen nach der lyotropen Reihe vor sich geht, wobei die ersten Glieder der Reihe die Aufnahme des *KCl* fördern, die letzten sie aber hemmen.

Im allgemeinen kann man folgende Regel aufstellen: die Aufnahme eines Salzes der lyotropen Reihe in die Zelle wird (das gleiche Kation vorausgesetzt) durch die von ihm links stehenden Anionen erhöht und durch die rechts stehenden gehemmt. Diese Erhöhung bzw. Hemmung der Aufnahme ist umso grösser, je weiter in der Reihenfolge von dem Kontrollsalz das Anion des hinzugesetzten Salzes steht.

So wird unter den Kaliumsalzen der Reihenfolge *I*, NO_3, *Cl*, SO_4, Zitrat die Aufnahme des Chlorids in die Zelle durch kleine Mengen von Jodid und Nitrat gefördert, durch Sulfat und Zitrat gehemmt.

Zwei andere Versuchsserien bestätigen die gefundene Regel.

Tabelle 172.

I Serie.		Temperatur 20°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,22 Mol *KCl*.					
Salze.		*KCl* 0,20 Mol +			
		+ 0,02 Mol *KBr*	+ 0,02 M. *KCl* (Kontroll-vers.)	+ 0,0153 Mol K_2SO_4	+ 0,0126 Mol *K*-Zitrat
Die Kontraktion der Wurzel	*(K)*	% 9,0	% 6,9	% 9,3	% 11,7
Die Wiederausdehnung der Wurzel	*(A)*	6,5	3,8	2,9	2,7
$\frac{100\,A}{K} =$	*(B)*	72,2	55,1	31,2	23,1
II Serie.				Temperatur 20°.	
Die Kontraktion der Wurzel	*(K)*	10,2	11,2	8,0	8,9
Die Wiederausdehnung der Wurzel	*(A)*	4,7	3,7	1,6	1,6
$\frac{100\,A}{K} =$	*(B)*	46,1	33,0	20,0	17,9

Die Daten der Tabelle 172 zeigen uns eine ganz analoge Beeinflussung der Salzaufnahme durch die Anionen, wie wir das in der vorhergehenden Tabelle gesehen haben. Die Versuchsergebnisse in Prozenten ausgedrückt geben uns folgende Zahlen (das Mittel aus zwei Versuchsserien):

KCl			
$+KBr$;	$+KCl$;	$+K_2SO_4$;	$+K$-*Zitrat*
+50%	0%	−42%	−45%

Das Bromid, das in der lyotropen Reihe links vom Kaliumchlorid steht, erhöht die Aufnahme des letzteren Salzes durchschnittlich um 50%, während die von ihm rechts stehenden Sulfat und Zitrat die Aufnahme stark herabsetzen.

Bisher hatten bei der Untersuchung der Anionenwirkungen die Salze dieselben Kationen und verschiedene Anionen.

Wir werden aus dem Folgenden sehen, dass sich dieselben Verhältnisse auch dann ergeben, wenn die beiden Ionen bei den Salzen verschieden sind.

Tabelle 173.

I Serie.							Temperatur 20°—22°.
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol *KBr*.							
Salze.		*KBr* 0,20 Mol.	Na_2SO_4 0,154 Mol.	Na_2SO_4 0,125 Mol. + *KBr* 0,037 Mol.	*KBr* 0,16 Mol. + Na_2SO_4 0,03 Mol.	*NaCl* 0,20 Mol.	*NaCl* 0,17 Mol. + *KBr* 0,029 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	% 10,2	% 8,4	% 10,3	% 9,3	% 7,1	% 8,0
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(*A*)	4,1	0	3,2	2,6	3,2	4,1
$\frac{100\,A}{K} =$	(*B*)	40,0	0	31,1	27,9	45,1	51,2
II Serie.						Temperatur 20°.	
Die Kontraktion der Wurzel	(*K*)	9,1	7,2	7,6	7,4	5,9	6,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(*A*)	4,1	0	1,3	1,7	2,8	3,5
$\frac{100\,A}{K} =$	(*B*)	45,1	0	17,1	22,9	47,4	56,4

Die Resultate der zwei letzten Versuchsserien (Tabelle 173) zeigen uns, wie die für die Anionen gefundene Regel auch für Salze mit verschiedenen Kationen gültig ist.

Kleine Mengen (weniger als $^1/_5$ des Gemisches) von *KBr*, einem in das Plasma gut eindringenden Salze, zum Na_2SO_4 (einem in der Versuchszeit nicht eindringenden Salze) hinzugesetzt, erhöhen merklich die Aufnahme von Glaubersalz, so dass die aufgenommene Menge des letzteren etwa die Hälfte der des reinen *KBr* beträgt.

Andererseits setzt der Zusatz von Na_2SO_4 zum *KBr* die Aufnahme des letzteren Salzes herab.

Etwa dieselben Verhältnisse finden bei *NaCl* und *KBr* statt. Geringe Mengen von Kaliumbromid (etwa $^1/_7$ des Gemisches), zum Kochsalz hinzugesetzt, erhöhen die Aufnahme des letzteren in die Zelle um ungefähr 27%.

Theoretische Folgerungen.

Wir haben gesehen, dass bei demselben Kation und verschiedenen Anionen (Tabellen 159—164) das Eindringungsvermögen der Salze in das Plasma sehr verschieden ist. Daraus kann man über die Abhängigkeit dieses Vermögens von den Anionen schliessen. Andererseits ist bei demselben Anion und verschiedenen Kationen die Aufnahme der Salze noch viel verschiedener, woraus man über die Kationenwirkungen folgern kann. Somit ist die Aufnahme der Salze in die Zelle ein Vorgang, der von den beiden Ionen des Salzes abhängt.

Es entsteht hier die Frage, welche Rolle jedes Ion eines Salzes bei diesem Vorgang spielt, ob alle beide Ionen die Aufnahme des Salzes fördern, oder ob ihre Wirkung eine entgegengesetzte ist. Die Frage findet ihre Beantwortung durch die Versuche mit Salzkombinationen.

Setzt man zum *KCl* kleine Mengen von *KI* bzw. KNO_3 hinzu, so wird die Aufnahme von *KCl* in die Zelle erhöht, bei unseren Versuchsbedingungen in dem einen Falle um 40%, im anderen um 23% (siehe Tabelle 171 auf Seite 133). Versetzt man dieselbe Kaliumchloridlösung mit kleinen Quantitäten von K_2SO_4 bzw. *K*-Zitrat, so wird die Aufnahme um 9% bzw. 74% herabgesetzt (Tabelle 171). Da hier die Salze überall dasselbe Kation haben, so ist es ganz natürlich die Beeinflussung der Aufnahme

dem Anion zuzuschreiben. Auf diese Weise kommen wir zum paradoxen Schlusse, dass die Anionen der Salze in dem einen Falle die Salzaufnahme in die Zelle fördern, in dem anderen aber hindern!

Diese ungewöhnliche Folgerung wird leicht durch die Annahme beseitigt, dass die Anionen der Neutralsalze die Aufnahme in die Zelle fördern, die Kationen aber hindern.

Wir gelangten oben zum Schlusse, dass das Vermögen der Salze in das Plasma einzudringen im umgekehrten Verhältnisse zu ihrer Kolloidaktivität steht. Diejenigen Neutralsalze, die die Oberflächenschicht des Plasmas verdichten, d. h. mehr oder weniger zur Entquellung bringen, dringen infolgedessen auch sehr langsam in die Zelle ein (vgl. S. 120).

Die Biokolloide des Plasmas haben eine negative elektrische Ladung und infolgedessen werden sie nach der Hardy'schen Regel[1]) durch die Kationen gefällt, die Anionen dagegen wirken peptisierend (lösend) auf die Plasmakolloide. Je nachdem welche Wirkung bei den Ionen eines Neutralsalzes stärker ist, die entquellende des Kations oder die lösende des Anions, wird das Salz entweder sehr langsam eindringen oder verhältnismässig schnell durch das Plasma gehen. Somit ist endgültig das Eindringen eines Neutralsalzes in das Plasma von der algebraischen Summa seiner Ionenwirkungen abhängig, wobei sich die Kationen in dieser Summa mit dem Zeichen Minus, die Anionen — mit Plus beteiligen.

Bei den Anionen nimmt die peptisierende (lösende) Wirkung gegenüber den Plasmakolloiden nach der lyotropen Reihenfolge ab: $I > Br > NO_3 > Cl > Tartrate > SO_4$, *Zitrate;* das Vermögen der Kationen die Biokolloide zu koagulieren (verdichten) wächst nach folgender Reihe: $K < Na < Li < Mg < Ba < Ca$.

Es leuchtet ein, dass, wenn ein schwachwirkendes Kation, wie z. B. K^+, mit einem energisch peptisierenden Anion wie I^-, Br^-, NO_3^- verbunden ist, in den Salzen die peptisierende (lösende) Wirkung des Anions dominiert und die Oberflächenkolloide des Plasmas unter dem Einflusse dieser Salze aufgelockert werden, und infolgedessen dringen die Jodide, Bromide und Nitrate des Kaliums verhältnismässig leicht in das Plasma ein. Infolge der

1) Zit. nach Höber, Physik. Chemie etc. S. 328.

dominierenden Wirkung des Anions fördern diese Salze, den anderen Salzen hinzugesetzt, die Aufnahme der letzteren, indem sie die fällende Wirkung der Kationen in den schwer eindringenden Salzen vermindern, bei denen die Kationenwirkung dominiert.

Bei den Chloriden der Alkalisalze, insbesondere bei *NaCl* und *LiCl*, ist die Wirkung beider Ionen noch ziemlich gleich. Dagegen tritt bei den Sulfaten und Zitraten die peptisierende Wirkung der Anionen hinter der koagulierenden Wirkung der Kationen zurück und dringen diese Salze ziemlich langsam in das Plasma ein; zu den leicht permeierenden Salzen hinzugesetzt, hemmen sie die Aufnahme der letzteren infolge der dominierenden Kationenwirkung (vgl. die Tabellen 171 und 172).

Bei den Erdalkalien ist das Koagulationsvermögen der zweiwertigen Kationen schon verhältnismässig sehr gross, und in einigen Fällen deckt es die peptisierende Wirkung des Anions völlig zu. Aus diesem Grunde hemmen die Erdalkalien, zu gut permeierenden Salzen hinzugesetzt, das Eindringen derselben beinahe vollständig.

Diese oben auseinandergesetzte antagonistische Ionenwirkung bei der Aufnahme der Salze in die Zelle stellt nichts prinzipiell Neues vor: man hat schon seit langem solchen Ionenantagonismus bei kolloidchemischen[1]) und neuerdings auch bei physiologischen Prozessen gefunden. So fand Pauli[2]) als erster, wie bereits oben beschrieben, dass bei der Fällung des nativen Hühnereiweisses die Kationen fällend, die Anionen aber lösend wirken. Dasselbe fanden auch Porges und Neubauer[3]) bei der Fällung von Lezithin- und Cholesterinsuspensionen.

M. Fischer meint, dass die Quellung von toten Kolloiden (Gelatine und and.) und die Wasseraufnahme von Muskeln unter dem Einflusse von Säuren eine Wirkung der Wasserstoffionen minus die Wirkung der betreffenden Anionen vorstellt[4]). Porodko[5]) fand, dass bei den chemotropischen Erscheinungen der

1) H. Handowsky, Leitfaden der Kolloidchemie. 1922. S. 111.

2) Pauli, Beitr. zur chem. Physiol. und Pathol. Bd. 3. 1903. S. 225.

3) Porges und Neubauer, Biochem. Zeitschr. Bd. 7. 1907. S. 167.

4) M. Fischer, Oedema. Übersetzt aus dem Englischen. Moskau 1913. S 41 ff. (russisch).

5) Porodko, Chemotropismus der Wurzeln II T. (Diss), l. c. S. 279 (russisch).

Wurzeln die Kationen als Träger der negativen, die Anionen als solche der positiven chemotropischen Eigenschaften anzusehen sind. Er sagt: „Die chemotropische Wirkung eines Stoffes, die in konkreten Fällen beobachtet wird, ist das Resultat der algebraischen Summierung der positiven chemotropischen Wirkung des Anions und der negativen chemotropischen Wirkung des Kations".

Den Antagonismus zwischen dem Kation und Anion eines Salzes hat auch Spek[1]) beim Magnesiumsulfat beobachtet. Dieses Salz dringt, zum Unterschied von Magnesiumchlorid, nach den Angaben von Spek schwer in das Plasma von Heliozoa ein.

Er sagt: ...„Wir lernen somit hier zum ersten Male in dieser Arbeit einen auffälligen starken Antagonismus zwischen zwei Ionen kennen, der bewirkt, dass keines der beiden Ionen seine charakteristischen specifischen Wirkungen entfalten kann und der dadurch verursacht wird, dass die beiden Ionen, wenn sie zusammen wirken, die Permeabilität der Zelle... verringern, so dass sie selbst nicht mehr in die Zelle hineingelangen können".

Das Erörterte über das Eindringen der Neutralsalze in die Zelle zusammenfassend, kommen wir zum Schluss: die Anionen fördern die Aufnahme eines Salzes nach der Reihenfolge:

$$I > Br > NO_3 > Cl > Tartrate > SO_4,\ Zitrate;$$

die Kationen hemmen die Aufnahme nach der Reihenfolge:

$$K < Na < Li < Mg < Ba < Sr < Ca.$$

In Abhängigkeit von den beiden antagonistischen Eigenschaften der Ionen, je nachdem, welche Glieder der beiden Reihenfolgen an der Konstruktion eines Salzes sich beteiligen, ergibt sich auch dieses oder jenes Eindringungsvermögen eines Neutralsalzes. Es ist nicht schwer zu ersehen, dass eine Kombination der ersten Glieder der beiden Ionenreihen Salze bildet, die leicht in das Plasma eindringen, eine Kombination der letzten Glieder aber schwer permeierende Salze ergibt.

Bei dieser Gelegenheit wollen wir noch kurz die Bedeutung der Adsorption in den Salzgemischen erwähnen.

Aus den Wirkungen der Salzkombinationen ist besonders klar ersichtlich, dass bei der Aufnahme der Salze in die Zelle die Adsorptionserscheinungen keine prävalierende Rolle spielen.

1) Spek, l. c. S. 177.

Die Adsorption der Neutralsalze nimmt ab nach der Reihenfolge: $I > NO_3 > Cl > SO_4$ (siehe S. 124), und wenn man eine Mischung des Chlorids mit einem anderen Salz derselben Reihe hat, so kann das Chlorid nur durch das Jodid oder Nitrat verdrängt werden, d. h. durch stärker adsorbierbare Salze als das Chlorid. Das Chlorid selbst verdrängt das Sulfat. Das Experiment zeigt uns jedoch das Gegenteil, nämlich, dass in den Gemischen gut adsorbierbare Salze (Jodid, Nitrat) das Eindringen von Chlorid fördern, und nicht von der Plasmaoberfläche dasselbe verdrängen. Dagegen setzen schwach adsorbierbare Salze, wie das Sulfat, die Aufnahme von Chlorid stark herab, ganz als ob das letztere Salz von der Plasmafläche verdrängt wäre.

Die Tatsachen stimmen wenig gut mit den Gesetzen der Adsorption überein, und daraus folgt, dass bei der Aufnahme der Salze ins Plasma die Adsorption keine dominierende Bedeutung haben kann, sondern der Durchtritt der Salze nach der oben auseinandergesetzten Gesetzmässigkeit vor sich geht.

Eine der wichtigsten Folgerungen unserer Permeabilitätsversuche mit den Salzgemischen ist die Deutung der sog. antagonistischen Ionenwirkungen der Salze.

Wegen der grossen Bedeutung dieser Frage wollen wir auf sie etwas näher eingehen.

Schon seit langem ist es bekannt, dass Pflanzen, die in reinen Salzlösungen insbesondere der Alkalisalze kultiviert werden, bald erkranken und eingehen: ihre Wurzeln verschleimen sich und quellen auf, kranke Stellen werden braun und verfaulen [1]). Dagegen entgiftet die Anwesenheit von kleinen Mengen Kalzium in der Nährlösung die schädliche Lösung, und die Pflanzen entwickeln sich mehr oder weniger normal. Diese Erscheinung wurde am Ende des vorigen Jahrhunderts seitens mehrerer Forscher untersucht, die jedoch zu keinen bestimmten und einheitlichen Schlüssen bezüglich der Ursachen der Giftigkeit der Salzlösungen gelangten.

Erst Loew [2]) war bestrebt, bestimmte theoretische Vorstellungen über die Erkrankung der Pflanzen in reinen Salzlösungen

1) Wolf, Landw. Versuchst. Bd. 6. 1864. Raumer, ibid. Bd. 29. 1883. Boehm, Sitzungsber. Wiener Ak. Wiss. Math.-nat. Kl. Bd. 71 I. 1875. Portheim, Ibid. 110 I. 1901.

2) O. Loew, Flora 1892. S. 368.

zu entwickeln. Dieser Autor bringt die Giftigkeit solcher Lösungen mit den Strukturveränderungen im Inneren der Zelle in Zusammenhang. Nach seiner Meinung wird durch die Abwesenheit von Kalzium und Magnesium in den Nährlösungen die Entwicklung des Zellkerns und der Chloroplasten zurückgehalten, was zuletzt die Zelle zum Tode führt.

Diese Meinung wurde in der neuesten Zeit durch den norwegischen Gelehrten Hansteen-Cranner[1]) einer experimentalen Kritik unterworfen. In einer Reihe von sehr gediegenen und interessanten Arbeiten zeigte er, dass die Giftigkeit der reinen Salzlösungen nicht durch die Veränderungen im Innern der Zelle bedingt wird, sondern dass die Veränderungen stets in den Oberflächenschichten der Zellen stattfinden.

Mit Hilfe scharfsinnig veranstalteter Kulturen, zu deren genauerer Kenntnisnahme hier auf die Originalarbeit hingewiesen sei, hat Hansteen-Cranner bewiesen, dass in kalkfreien reinen Lösungen „der Angriff zuerst an solchen Organen, die mit der Lösung in unmittelbarem Kontakt sind, erfolgt"... „An der Streckungszone führt der Angriff zu einer Auflösung der Zellwände, die bei den Wurzeln — wegen des unmittelbaren Kontaktes dieser Organe mit dem schädlichen Aussenmedium — allmählich von aussen nach innen, bei den Stengeln dagegen — wegen der inneren Zufuhr der schädlichen Flüssigkeit — von innen nach aussen fortschreitet"... „Der Angriff von aussen erfolgt unabhängig von dem Kalkreichtum im Innern der Wurzeln. Eine Wurzel oder ein Wurzelteil, der kalkreich ist oder eine stetige Versorgung mit Kalk von innen bekommt, geht doch in der schädlichen Lösung von aussen her zugrunde"... „In einer kalkhaltigen Lösung gedeiht die Pflanze nicht allein normal, sondern ihre Wurzeln zeigen ein energisches Längenwachstum und verästeln und behaaren sich reich"...

Auf Grund dieser und noch anderer Tatsachen kommt Hansteen-Cranner zum Schlusse, dass: „die Erkran-

---

1) Hansteen-Cranner, Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 47. 1910. S. 289; Bd. 53. 1914. S. 536; Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 37. 1919. S. 380.

kung einer Pflanze in einem kalkfreien resp. ihre normale Entwicklung in einem kalkhaltigen Medium jedenfalls hauptsächlich und in erster Linie nicht auf Innen-, sondern auf Oberflächenwirkungen beruhen"... (l. c. 1910, S. 367 ff).

Ferner sei hier auf die bekannten Fundulusversuche von Loeb[1]) hingewiesen. Die befruchteten Eier von *Fundulus heteroclitus* entwickeln sich nicht in den reinen Kochsalzlösungen, sondern für ihre normale Entwicklung ist die Anwesenheit von zweiwertigen Kationen in der Lösung unentbehrlich.

In Zusammenhang mit Loeb's Untersuchungen stehen auch die Versuche von Wo. Ostwald[2]) über die Lebensdauer des Süsswasserkrebses *Gammarus pulex de Geer* in den Lösungen der Alkalisalze und Erdalkalien. Dieser Autor zeigte, dass die Giftigkeit der Kalium- und Natriumsalze paralysiert wird, wenn sich gleichzeitig in der Lösung Magnesium- und Kalziumsalze befinden. Von den Versuchen von Loeb ausgehend, untersuchte Osterhout an einer ganzen Reihe von pflanzlichen Objekten die antagonistischen Wirkungen der Salze.

Wir wollen hier nicht auf die Einzelheiten seiner Arbeiten[3]) eingehen, die genug bekannt sind und häufig zitiert werden. Es sei nur kurz erwähnt, wie in Übereinstimmung mit anderen Autoren Osterhout fand, dass reine Salzlösungen (besonders der Alkalisalze) für die Pflanzen immer giftig sind, und dass eine Pflanze für ihre normale Entwicklung ausser den Alkalisalzen auch der Erdalkalien bedarf. In den Salzgemischen entgiften sich die schädlichen Eigenschaften der Salze, und eine günstige Salzlösung für Pflanzen nennt Osterhout „a physiologically balanced solution."

Ferner sei hier noch auf die Arbeiten von Benecke[4]) und Szücs[5]) hingewiesen.

---

1) Zit. nach Höber, Physik. Chemie etc. S. 527 ff.
2) Wo. Ostwald, Pflügers Arch. Bd. 106. 1905. S. 563.
3) Osterhout, University of California publ. Vol. 2, *No* 10 und 11. 1906.
Idem, Botanical Gazette, Vol. 42. 1906. p. 127. Vol. 44. 1907 p. 259. Vol. 47. 1909. p. 48. Vol. 48. 1909, p. 98.
Idem, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 46. 1908. S. 121.
Idem, Science, Vol. 36. 1912. p. 571.
4) Benecke, Ber. der Deutsch. Bot. Ges. Bd. 25. 1907. S. 322.
5) Szücs, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 52. 1913. S. 85.

Es lässt sich leicht experimentell nachweisen, dass die Erdalkalien in hohem Masse die für Pflanzen schädlichen Lösungen der Alkalisalze entgiften.

In den folgenden Tabellen sind Versuche mit in die Zelle leicht eindringenden und deswegen giftigen Salzen — NH_4CNS, $NaNO_3$ und KI — dargestellt. Parallel mit den Versuchen, die die Giftwirkung der reinen Lösungen zeigen, sind auch Versuche mit Salzgemischen dargestellt. Die Lösungen sind in der Weise hergestellt, dass in den Salzgemischen die Konzentration des zu untersuchenden Salzes dieselbe bleibt, wie in den Kontrollversuchen. So z. B. wenn die Kontrolllösung NH_4CNS die Konzentration 0,7 norm. hat, so hat das Gemisch NH_4CNS 0,7 norm. + $CaCl_2$ 0,3 norm., die Gesamtkonzentration 1,0 norm., wobei die Konzentration NH_4CNS im Gemisch auch 0,7 norm. bleibt.

Tab. 174. NH_4CNS 0,7 norm. Pflanze — Rotkohl. Kontrollversuch.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte.					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	2/4	1/4	0	
1 Min.	5	4	1	—	—	85,0
3 „	2	5	3	—	—	72,5
5 „	—	3	4	3	—	50,0
7 „	—	4	3	3	—	52,5
10 „	—	2	5	2	* 1	45,0
12 „	—	2	4	3	* 1	42,5
15 „	—	1	1	5	* 3	22,5
17 „	—	—	2	3	* 5	17,5
20 „	—	—	2	5	* 3	22,5
25 „	—	—	3	4	* 3	25,0
30 „	—	—	2	4	* 4	20,0
35 „	—	—	2	5	* 3	22,5
40 „	—	—	2	5	* 3	22,5
45 „	—	—	1	2	* 5	12,5
Das Mittelprozent						35,7

Tabelle 175. Salzkombination. NH_4CNS 0,7 norm. + $CaCl_2$ 0,3 norm. Gesamtkonz. 1,0 norm. Pflanze — Rotkohl.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche: Die Zahl der Schnitte.					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	2/4	1/4	0	
1 Min.	10	—	—	—	—	100,0
3 „	10	—	—	—	—	100,0
5 „	10	—	—	—	—	100,0
7 „	10	—	—	—	—	100,0
10 „	10	—	—	—	—	100,0
12 „	9	1	—	—	—	97,5
15 „	8	2	—	—	—	95,0
17 „	9	1	—	—	—	97,5
20 „	7	3	—	—	—	92,3
25 „	9	1	—	—	—	97,5
30 „	6	2	2	—	—	85,0
35 „	7	2	1	—	—	90,0
40 „	5	4	1	—	—	85,0
55 „	5	3	2	—	—	82,0
Das Mittelprozent						94,5

Die Tabellen 174 und 175 ergeben, dass ein Zusatz von Kalziumsalz zur giftigen Lösung von NH_4CNS die schädliche Wirkung des letzteren ziemlich stark entgiftet. Während in der reinen Lösung nach 45 Min. fast $^9/_{10}$ der Gesamtmenge

der Zellen abgestorben sind, sind bei Anwesenheit von Kalzium noch 82 % der Zellen lebend, ungeachtet dessen, dass die Salzgemischlösung mehr konzentriert ist, als die Kontrolllösung und infolge der stärkeren Plasmolyse der Zellen dem Plasma weniger günstig sein dürfte [1]).

Beim Vergleichen der Mittelprozente (35,7 % und 94,5 %) erweist sich, dass die reine Rhodanammoniumlösung während der ganzen Versuchszeit etwa dreimal giftiger ist, als in der Kombination mit $CaCl_2$. Diese Verhältnisse treten bei der anderen Versuchspflanze noch besser hervor (Tabelle 176).

Tabelle 176.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.		$NaNO_3$ 0,3n.	$NaNO_3$ 0,3 n. + + $MgCl_2$ 0,2 n. Gesamtkonz. 0,5 n.
4 Stdn	Proz. d. plasmolys. Zellen.	100,0	100,0
7 „		98,8	100,0
10 „		57,6	100,0
13 „		5,4	96,8
22 „		0,8	98,0
25 „		0	100,0
28 „		—	91,5
32 „		—	91,2
36 „		—	97,3
Das Mittel		37	97,3

Hier ist ein weniger giftiges Salz — $NaNO_3$ — und eine schwächere Konzentration (0,3 norm.) angewandt. Infolgedessen tritt die entgiftende Wirkung von $MgCl_2$ noch schärfer als bei dem vorhergehenden Versuch hervor, und zwar starben in der reinen Lösung alle Zellen in den Schnitten nach 24 Stunden ab, während bei Anwesenheit von $MgCl_2$ im Laufe dieser Zeit fast alle Zellen noch intakt waren.

Wenden wir uns nun zu den Ursachen des Entgiftungsvermögens der Erdalkalien.

Auf Grund der oben auseinandergesetzten Hypothese über das Eindringen der Neutralsalze in die Zelle fällt es nicht schwer, die Ursachen der antagonistischen Salzwirkungen zu deuten. Wir haben bewiesen, dass die Giftigkeit eines Neutralsalzes in erster Linie von einem abnormen Eindringungsvermögen in die Zelle abhängt. Andererseits haben wir gesehen, dass gerade die Alkalisalze besonders leicht in die Zelle eindringen, und es ist daher begreiflich, warum die Pflanzen in reinen Lösungen dieser Salze nicht gedeihen können. In dieser Beziehung sind besonders die Salze der ersten Hälfte der lyotropen Reihe, die Jodide, Bromide, Nitrate und Chloride, giftig, da sie in die Zelle schnell in solchen Mengen eindringen, die Hunderte von Malen die phy-

1) Vgl. Lepeschkin, Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 28. S. 385.

siologischen Bedürfnisse übersteigen und die die Plasmamembran desorganisieren, was den Tod zur Folge hat. Bei diesen Salzen ist in bezug auf die Plasmakolloide die peptisierende Wirkung der Anionen grösser als die dehydratisierende der Kationen, und infolgedessen werden die Plasmakolloide aufgelockert. Damit ist vielleicht auch die von Hansteen-Cranner beobachtete Tatsache zu erklären, dass bei den jungen Wurzelzellen die Zellwände in reinen Salzlösungen aufgelöst werden[1]).

Bekanntlich quillt die Gelatine nach den Untersuchungen von Hofmeister[2]) und Pauli[3]) in reinen Lösungen der Jodide, Bromide, Nitrate und Chloride von Kalium, Natrium und Ammonium bedeutend mehr auf als im Wasser, und im allgemeinen fördern diese Salze auch das Gelatinieren nicht, während die Sulfate, Zitrate und Tartrate die Quellung herabsetzen.

Ferner haben Weinland und Höber am Flimmerepithel der Rachenschleimhaut des Frosches und Lillie an den bewimperten Larven von *Arenicola* und dem Kiemenepithel von *Mytilus edulis* beobachtet, dass die Dauer des Flimmerschlages in den Sulfatlösungen am längsten und in den Jodidlösungen am kürzten ist[4]). Nach Lillie macht sich hier die lyotrope Reihenfolge geltend, wobei die ersten Glieder (Jodide, Bromide etc.) am meisten, die letzten am wenigstens schaden. Nach Lillie's Untersuchungen werden die Arenicolacilien durch die reinen Lösungen von Jodiden, Bromiden, Nitraten und Chloriden beinahe verflüssigt[5]).

Wir haben ferner gesehen, dass die Salze der Erdalkalien, insbesondere die des Kalziums, sehr schwer in die Zelle eindringen, wobei sie nach unseren Ansichten die Oberflächenschicht des Plasmas verdichten. Besonders wichtig ist die Tatsache, dass die Erdalkalien das Eindringen der anderen, dem Plasma schädlichen Salze verhindern (vgl. die Tabelle 169).

Durch dieses Verhindern der Aufnahme der „giftigen" Salze in die Zelle kann man die antitoxischen Eigenschaften der Erdalkalien in bezug auf

1) Hansteen-Cranner, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 47. 1910. S. 368.

2) Hofmeister, Arch. für exper. Physiol. und Pathol. Bd. 27. 1890. S. 395.

3) Wo. Pauli, Pflügers Arch. Bd. 71. 1898. S. 333.

4) Höber, l. c. S. 508.

5) l. c. S. 510.

das Plasma erklären. Wegen der dominierenden Wirkung des zweiwertigen Kations setzen die Erdalkalien die durch die Alkalisalze bewirkte allzu grosse Aufquellung der Plasmaoberflächenkolloide herab und infolgedessen können die Alkalisalze nur in physiologisch brauchbaren Mengen in die Zelle gelangen. Dass die Erdalkalien eine abnorme Quellung der Gewebe herabsetzen können, das hat auch Höber[1]) beobachtet. Er sagt: „Ich habe die von mir beobachteten ruhestromhemmenden Fähigkeiten von *Ca*, *Sr* und *Ba* als eine Art „Gerbung" der Plasmahaut aufgefasst, bei welcher durch die Erdalkalien die Quellbarkeit der Plasmahautkolloide verringert wird."

Einen unbedeutenden antagonistischen Einfluss können auch die Alkaliionen gegenseitig ausüben, wie dieses schon Osterhout[2]) gefunden hatte. Wir haben oben gesehen, dass in der Permeabilitätsreihe $K > Na > Li \ldots\ldots > Ca$ ein jedes Kation infolge der grösseren Kolloidaktivität das Eindringen der von ihm in der Reihe links stehenden Kationen verringert. Daraus lässt sich leicht erklären, warum z. B. die Lösungen von *KCl* giftiger als die von $KCl + NaCl$ sind.

Andererseits wird infolge des gleichen *Cl*-Ions die Dissoziation in den Gemischen von Chloriden etwas zurückgedrängt, ein Umstand, der bei den antagonistischen Ionenwirkungen nicht immer in Betracht gezogen wird, denn die Ionen sind die wirksamen Teile der Salze und jede Verminderung ihrer Zahl in der Lösung verringert auch die Aktivität des entsprechenden Salzes.

Bei den antagonistischen Wirkungen der zweiwertigen Ionen gegenüber den einwertigen kann auch die stärkere Adsorbierbarkeit der ersteren eine gewisse Rolle spielen, wobei die einwertigen Ionen, als die schwächer adsorbierbaren, durch die zweiwertigen von der Plasmaoberfläche verdrängt werden (vgl. S. 125).

Dass aber bei den antagonistischen Wirkungen die Adsorption keine prävalierende Bedeutung hat, das zeigt uns die Tatsache, dass entgiftend auch solche Salze wirken können, die, obwohl sie schwächer adsorbiert werden als das Kontrollsalz, nichtsdestoweniger eine grössere Kolloidaktivität haben. Z. B.

1) l. c. S. 531.

2) Osterhout, Botanical Gazette. Vol. 48. p. 98.

werden die Sulfate schwächer als die Jodide adsorbiert, doch wirkt ein Zusatz von Na_2SO_4 zu KI ziemlich gut entgiftend, wie dies uns die Tabelle 177 zeigt. Aus den Permeabilitätsversuchen haben wir ersehen, dass ein Zusatz von Na_2SO_4 zu KBr in gewissem Grade die Aufnahme des letzteren in die Zelle verringert.

Wie die Tabelle 177 lehrt[1]), wird die Giftwirkung von KI durch einen Zusatz von Na_2SO_4 in gewissem Grade verringert. Dieses beweist uns, dass es hier in erster Linie nicht auf die Adsorption ankommt, denn das Jodid wird im allgemeinen stärker adsorbiert und muss das Sulfat verdrängen. Daraus folgt, dass bei den antitoxischen Salzwirkungen in erster Linie das Vermögen der Salze den kolloidalen Zustand der Plasmakolloide zu verändern massgebend ist.

Tabelle 177.

Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	KI 0,1 norm. Das Mittel aus zwei Kontrollversuchen.	KI 0,1 norm. + + Na_2SO_4 0,1 n. Gesamtkonzentration 0,2 norm.
	% d. plasmol. Zell.	
2 Stdn	97,2	100,0
4 „	91,0	100,0
6 „	92,4	100,0
8 „	90,4	100,0
12 „	45,4	96,1
14 „	33,7	77,8
16 „	6,6	43,1
Das Mittelproz.	65,2	89,6

Obwohl die Bedeutung der Adsorption bei den antagonistischen Ionenwirkungen keine dominierende ist, so können wir doch im allgemeinen diese Bedeutung nicht leugnen. Die antagonistische Wirkung des Sulfats ist viel schwächer, als wir das nach seinem Eindringungsvermögen erwarten könnten, und es ist sehr wahrscheinlich, dass diese Eigentümlichkeit gegebenenfalls davon abhängt, dass obwohl das Sulfat dem KI gegenüber eine grössere Kolloidaktivität besitzt, seine Adsorbierbarkeit dagegen schwächer ist.

Die Erdalkalien haben deswegen eine grössere antagonistische Wirkung, weil hier eine grössere Kolloidaktivität mit einer grösseren Adsorbierbarkeit vereinigt ist und diese zwei Fähigkeiten in einer Richtung arbeiten.

Somit besteht nach unserer Auffassung die Ursache der antagonistischen (entgiftenden) Ionenwirkung in den Nährlösungen darin, dass unter dem Einflusse der Erdalkalien ein übermässig grosses und deswegen schädliches Ein-

1) Die Versuche sind in der oben beschriebenen Weise angestellt worden (s. Methodik S. 14).

dringen von Alkalisalzen verhindert wird. Den Erdalkalien und teilweise auch dem *Mg* kommt dieses Vermögen infolge der hohen Kolloidaktivität des zweiwertigen Kations zu, welches die Fähigkeit der Alkalianionen die Plasmakolloide aufzulockern (zu peptisieren) stark vermindert und die Plasmaoberflächenschicht gewissermassen verdichtet, wodurch auch die schädliche Salzflut zurückgehalten wird. Eine gewisse Rolle spielt hier auch die grössere Adsorbierbarkeit der zweiwertigen Kationen, die infolgedessen die weniger adsorbierbaren einwertigen Kationen von der Adsorptionsfläche verdrängen können.

In den Nährsalzlösungen haben die Kalziumsalze für die Pflanzen eine besonders wichtige Bedeutung. Wir haben gesehen, dass in den Salzgemischen die Kalziumsalze mehr als die Barium- und Magnesiumsalze das übermässige Eindringen von KNO_3 in die Zelle verringern. Während $MgCl_2$ unter unseren Versuchsbedingungen das Eindringen von KNO_3 um 20 % herabsetzt, d. h. das Eindringen zu wenig zurückhält, um dieses Salz vollständig zu entgiften, hemmt das $CaCl_2$ das Eindringen von KNO_3 in der Versuchszeit vollständig.

Das Hemmungsvermögen der Barium- und Strontiumsalze liegt zwischen dem des Magnesiums und Kalziums und näher zum letzteren. Obwohl man nach einigen Versuchen von Osterhout[1]) das $CaCl_2$ in den Weizenkulturen bis zu einem gewissen Grade durch das $SrCl_2$ oder $BaCl_2$ ersetzen kann, können wir auf Grund unserer Versuche die entgiftende Wirkung des Bariums und Strontiums in bezug auf das Pflanzenplasma der des Kalziums nicht gleich stellen, denn beim Zusatz z. B. von $BaCl_2$ zur KNO_3-Lösung dauert das Eindringen des Nitrates in die Zelle noch in zu grossen Mengen fort, was zuletzt die Entwicklung der Pflanze ungünstig beeinflussen könnte. Wenn wir aus den Versuchen von Tröndle[2]) die Salzmengen der Erdalkalien ausrechnen, die durchschnittlich im Laufe einer Minute (bei einer Versuchsdauer von 20 Min.) in die Zellen der Wurzelspitzen von *Lupinus albus* eindringen, so erhalten wir folgende Zahlen:

1) Zit. nach Höber, l. c. S. 525 und 538.
2) Tröndle, l. c. S. 119.

$MgCl_2$ — 0,03222 Mol.
$BaCl_2$ — 0,00763 „
$SrCl_2$ — 0,00396 „
$CaCl_2$ — 0

Aus diesen Daten ist ersichtlich, dass die in die Zelle eingedrungenen Salzmengen sich folgendermassen verhalten — $Mg : Ba : Sr : Ca = 3222 : 763 : 396 : 0$, oder abgerundet — $8 : 2 : 1 : 0$. Nach unseren Versuchen ist die antagonistische Wirkung dieser Salze dem Eindringungsvermögen derselben ungefähr umgekehrt proportional; nach den Ergebnissen von Tröndle würde sich dann die antagonistische Wirkung der angeführten Erdalkalien verhalten — $Mg : Ba : Sr : Ca = 1 : 4 : 8 : \infty$. Aus dieser Gegenüberstellung ist es klar, dass *Sr* und *Ba*, ihrer physiologischen Wirkung nach, dem *Ca* nicht äquivalent sind und daher in Nährlösungen die Kalziumverbindungen nicht vollständig ersetzen können. Wenn aber beim Ersetzen der Kalziumsalze durch Strontium- oder Bariumsalze eine mehr oder weniger normale Entwicklung der Pflanze beobachtet wird, so müsste das wohl vorübergehend in die erste Zeit fallen, oder man hat nur, wie das bei Osterhout der Fall ist, die Länge und überhaupt die Entwicklung der Wurzeln nach einem bestimmten Zeitabschnitt verglichen. Wenn aber zum Vergleich die Entwicklung der ganzen Pflanze in der ganzen Vegetationszeit in Betracht gezogen werden würde, dann müsste wohl die weniger günstige Wirkung der Strontium- bzw. Bariumsalze im Vergleich mit den Kalziumverbindungen deutlich zutage treten.

Fragen wir nun: welches sind die Stoffe, die sich an der Plasmaoberfläche am Prozess der Salzaufnahme beteiligen? Bekanntlich sind die Eiweissstoffe und die Lipoide[1]) die Hauptbestandteile des Plasmas.

Gegen die Möglichkeit der Beteiligung der Eiweissstoffe an diesem Prozess spricht der Umstand, dass die Oberflächenstoffe des Pflanzenplasmas ein sehr schwaches Säurebindungsvermögen besitzen. Bei der Einwirkung von Mineralsäuren verschiedener Konzentrationen auf die Zelle erfolgen keine wesentlichen Veränderungen in der Aktivität der Salze[2]). Die Eiweissstoffe haben dagegen ein starkes Säurebindungsvermögen, wobei sie

1) Vgl. Lepeschkin, Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 28. 1910. S. 101; Bd. 29. 1911. S. 255 ff.

2) Vgl. H. Kaho, Acta et Commentationes Univ. Dorpat. A II_4. 1921.

ihre Eigenschaften sehr wesentlich verändern[1]). Gegen die Beteiligung der Eiweissstoffe an der Plasmaoberfläche am Prozess der Aufnahme der Salze spricht auch das Verhalten der Erdalkaliensalze. Es genügen nämlich ganz kleine Mengen der Erdalkalien, um das Eindringen der Alkalisalze in die Zelle stark, in einigen Fällen beinahe gänzlich, zu hemmen.

Wir wissen, dass die Eiweisskörper nur durch konzentrierte Lösungen von Neutralsalzen gefällt werden, z. B. koagulieren die Kalziumsalze das Alkalieiweiss nur als 4—7-fache Normallösungen[2]). Ausgehend vom Standpunkt, dass die Salze der Erdalkalien die Plasmaoberflächenschicht verdichten, sehen wir keine genügenden Beweise für die Voraussetzung, dass an der Plasmaoberfläche gerade die Eiweissstoffe verdichtet werden.

Es spricht alles dafür, dass diese Stoffe eine einfachere Zusammensetzung als das Eiweiss haben müssen, und solche sein müssen, die 1. das Plasma mit einem kleineren Energieverlust immer wieder synthesieren können und die 2. wegen ihrer Oberflächenaktivität sich an der Plasmaoberfläche anzusammeln vermögen. Solche Eigenschaften besitzen die Lipoide.

Wenn wir voraussetzen würden, dass an der Plasmaoberfläche die Eiweissstoffe des Plasmas verdichtet werden, so bliebe es unklar, warum nur immer ausschliesslich die Oberflächenschicht verdichtet werden soll und warum diese Verdichtung sich nicht nach innen in tiefere Schichten des Plasmas weiterverbreiten könnte. Eine solche Verdichtung der inneren Schichten des Plasmas ist aber wenig wahrscheinlich, denn in solchem Falle müssten alle Lebensprozesse des Plasmas stehen bleiben.

Es ist viel wahrscheinlicher, dass an der Plasmaoberfläche solche Stoffe verdichtet werden, die vom Plasma sehr leicht für Schutzzwecke ausgearbeitet werden können. Solche Stoffe können Lipoide und den letzteren nahestehende Verbindungen sein, die später näher besprochen werden sollen.

Zu Gunsten der Lipoide spricht der Umstand, dass die Aktivität der Erdalkalien bei den Permeabilitätsversuchen viel grösser ist, als die der Alkalisalze.

Nach den Untersuchungen von Porges und Neubauer[3]) fällen $^{n}/_{100}$ Lösungen der Chloride von *Ca*, *Sr*, *Ba* und *Mg*

1) Wo. Pauli, Kolloidchemie der Eiweisskörper. 1920. S. 45.
2) Pauli und Handowsky, Biochem. Zeitschr. Bd. 24. S. 246. 1910.
3) Porges und Neubauer, l. c.

das Lezithin ebenso gut wie die $^n/_1$ Lösungen, während die koagulierende Wirkung der Alkalisalze schon bei 0,2 norm. erlischt. Bei der Fällung des Eiweisses besteht, wie schon oben erwähnt, kein Unterschied in den Konzentrationen der Erdalkalien und Alkalisalze. Beide Salzgruppen bedürfen zur Fällung grosser Salzmengen, obwohl die durch die Erdalkalien erzeugten Niederschläge, im Gegensatz zu denjenigen der Alkalisalze, irreversible sind.

In unseren Versuchen hemmen schon ganz kleine Mengen von Kalziumchlorid (0,019 Mol) das Eindringen der Alkalisalze (KNO_3) in die Zelle. Ebenso genügen kleinere Mengen von Kalziumverbindungen, um eine schädliche Lösung der Alkalisalze zu entgiften. Dieser grosse Unterschied zwischen den Wirkungen der Alkalisalze und Erdalkalien bei den Permeabilitätsvorgängen und Entgiftungsprozessen ist ein guter Beweis dafür, dass bei diesen Prozessen nicht die Eiweissstoffe des Plasmas den Ausschlag geben, sondern andere, wahrscheinlich lipoidähnliche Körper.

Wir sind zum Schlusse gekommen, dass in den Oberflächenschichten des Plasmas Lipoide oder ähnliche Stoffe (Phosphatide) sich bei der Salzaufnahme beteiligen, mit anderen Worten, wir sind zu Overstons Lipoidtheorie gelangt.

Infolgedessen müssen wir auch zu dieser Theorie Stellung nehmen. Es sei hier gleich darauf hingewiesen, dass in der Form, wie diese Theorie gewöhnlich aufgefasst wird, nämlich dass das Plasma von einer lipoiden Membran eingehüllt sei, dieselbe kaum annehmbar ist.

Allein die Mängel dieser Theorie liegen nicht darin, dass sie im Prinzip falsch ist, sondern in dem Ausbau und der Entwicklung der Theorie, denn der Parallelismus zwischen der Lipoidlöslichkeit und dem Eindringungsvermögen der Stoffe in die Zelle bleibt als Tatsache, mit welcher man immer zu rechnen hat, bestehen. Es sind bisher gegen die Overton'sche Theorie noch keine schlagenden Beweise, die sie gänzlich wiederlegen würden, aufgestellt worden.

Wenden wir uns nun den Lipoiden zu.

Als Overton bei verschiedenen Stoffen den Parallelismus zwischen der Lipoidlöslichkeit und dem Vermögen in die Zelle einzudringen entdeckte, kam er zur Annahme, dass Lezithin und Cholesterin, die in den Zellkörpern stets vorkommen, als diejenigen fettähnlichen Stoffe anzusehen seien, die eine hervorragende

Rolle bei der Stoffaufnahme spielen. Da die Lezithin- und Cholesterinpräparate diese Stoffe in festem Zustande enthalten, so musste Overton[1]) bei der Untersuchung der Löslichkeit der Anilinfarbstoffe in den Lipoiden die letzteren in Benzol, Xylol und anderen organischen Lösungsmitteln auflösen, die für Farbstoffe mehr oder minder unlöslich sind. Dabei fand er, dass alle basischen Farbstoffe, die im allgemeinen gut vital färben, auch stark von Cholesterin und Lezithin adsorbiert werden, die sauren Farbstoffe, die nicht vital färben, sich auch in den Lipoiden nicht lösen (eine Ausnahme bilden Methylorange und Tropaeoline).

Overton sagt: „Überhaupt ist ein so weitgehender Parallelismus zwischen der Schnelligkeit der Aufnahme aller vor mir untersuchten organischen Farbstoffe durch lebende Pflanzen- und Tierzellen und der Leichtigkeit, mit welcher diese Farbstoffe durch Lösungen von Cholesterin, Lezithin, Protagon und Cerebrin aufgelöst werden, resp. zwischen der Schnelligkeit der Speicherung dieser Farbstoffe aus wässerigen Lösungen durch suspendiertes Lezithin, Protagon etc., dass bei Berücksichtigung des Umstandes, dass Lezithin und Cholesterin tatsächlich in allen lebenden Pflanzen- und Tierzellen vorzukommen scheinen, dieser Parallelismus allein genügen würde, um die grosse Wahrscheinlichkeit der Abhängigkeit der osmotischen Eigenschaften der Zelle von deren Lezithin- und Cholesterin-Gehalt zu begründen“ (l. c. S. 691).

Später wies Ruhland[2]) noch auf einige andere Ausnahmen aus dieser Regel hin. Er fand einige Sulfosäurefarbstoffe (Wollviolett *S*, Echtrot *A* und and.), die trotz der Nichtaufnahme ins Plasma sich in Terpentin-Cholesterin oder in Benzol-Cholesterin bzw. in echten Fetten mehr oder minder auflösten.

Obwohl die Befunde von Ruhland von grosser Wichtigkeit sind, so können sie doch die grosse Bedeutung der Lipoide bei der Stoffaufnahme der Zelle gerade deswegen nicht vermindern, weil alle käuflichen Präparate der Lipoide

1) E. Overton, Jahrbücher für wiss. Bot. Bd. 34. 1900. S. 669.
2) W. Ruhland, Jahrbücher für wiss. Bot. Bd. 46. 1909. S. 1.

bei der chemischen Bearbeitung viele sehr wichtige Eigenschaften, die sie in dem lebenden Plasma kennzeichnen, verloren haben. Die Eigenschaften der Lipoidpräparate verhalten sich zu den Eigenschaften der nativen Lipoide ungefähr ebenso, wie die physikochemischen Eigenschaften des denaturierten Eiweisses — zu denjenigen des nativen Eiweisses.

Die Lipoide des lebenden Plasmas stellen ein sehr labiles kolloidales System vor, das durch die chemische Bearbeitung irreversibel zerstört wird und dessen Stoffe mit Verlust ihrer wichtigen Eigenschaften denaturiert werden. Ein Vergleich dieses komplizierten Systems mit der Cholesterin- oder Lezithinlösung in Benzol bzw. Terpentin ergibt nur eine sehr entfernte Annäherung an die natürlichen Bedingungen, und man könnte hier kaum eine völlige Übereinstimmung des Verhaltens der Farbstoffe zu den oben erwähnten Lösungen der denaturierten Lipoide und zum Plasma erwarten. Ja, wenn man die ganze Künstlichkeit der Bedingungen hier in Betracht zieht, muss man gerade erstaunen, dass dennoch im allgemeinen ein so guter Parallelismus im Verhalten der Farbstoffe in beiden Fällen zu beobachten ist.

Wie wenig die käuflichen Präparate des Lezithins zuverlässig sind, ist daraus ersichtlich, dass sich die beiden Präparate (von Merck und Grübler), die Overton bei seinen Untersuchungen zur Verfügung standen, sehr stark durch ihre Eigenschaften unterschieden [1]).

Vollständig neue Bahnen hat in der Untersuchung der pflanzlichen Lipoide Hansteen-Cranner [2]) gebrochen. Dieser Forscher fand die höchst wichtige Tatsache, dass pflanzliche Gewebe bzw. intakte Organe, sowie Wurzeln oder sogar ganze Pflanzen in intaktem Zustande an das Aussenmedium (Wasser) bei gewöhnlichen Temperaturen in grossen Mengen verschiedenartige Phosphatide abgeben. Dabei treten bei einer Temperatur bis 20—25° C nur wasserlösliche, bei einer Temperatur von ca. 30° C dagegen

1) l. c.

2) Hansteen-Cranner, Zur Biochemie und Physiologie der Grenzschichten lebender Pflanzenzellen. Meldinger fra Norges Landbrukshöiskole, Bd. 2. 1922. S. 1.

Ber. der. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 37. 1919. S. 380; ferner noch die zitierten Arbeiten in Jahrb. f. wiss. Bot.

ausserdem auch wasserunlösliche Phosphatide aus den pflanzlichen Geweben in das Wasser aus.

Hansteen-Cranner sagt folgendes: „...dass diese Phosphatide sich wesentlich an die Oberflächen der Plasmakörper sammeln werden und so hier, sowohl nach Aussen als nach Innen gegen die Vakuolen, die peripheren und für den Stoffaustausch verantwortlichen Grenzschichten bilden. Und dass sie hier zudem als die einzigen Baubestandteile auftreten, geht, meine ich, aus dem hervor, dass in sämmtlichen meinen vielen Versuchen traten, wie wir sahen, niemals eiweissartige Substanzen gleichzeitig mit den unlöslichen Phosphatiden heraus. Kämen eiweissartige Substanzen in den genannten Grenzschichten vor, müssten doch ihre Moleküle mit den ebenfalls unzweifelhaft sehr grossen Molekülen der unlöslichen Phosphatide zusammen haben heraustreten können.

Notwendigerweise müssen endlich nach dem Obigen die hydrophilen, wasserunlöslichen Phosphatide der plasmatischen Grenzschichten auch die anliegenden Zellwände durchdringen und so die Plasmakörper mit diesen überall, nicht bloss durch die Plasmodesmen, intim verbunden sein." (l. c. S. 104, 105).

Ferner hat Hansteen-Cranner gezeigt, dass die Permeabilität des Plasmas in völliger Abhängigkeit von den kolloidalen Zustandsänderungen der genannten Phosphatide steht. Diejenigen Salze, die diese Phosphatide gut fällen, setzen auch die Permeabilität des Plasmas infolge der Verdichtung der unlöslichen Zellphosphatide stark herab.

Wenn z. B. die Schnitte der roten Rübe mit den Normallösungen von $CaCl_2$ und KCl bearbeitet werden, so fällen diese Salze an der Plasmaoberfläche ihrer Kolloidaktivität gemäss die Phosphatide (welcher Prozess von Hansteen-Cranner experimentell nachgewiesen wurde) und setzen dementsprechend auch das Durchlässigkeitsvermögen des Plasmas für gelöste Stoffe herab. Dabei ist $CaCl_2$ aktiver als KCl, ferner $Pb(C_2H_3O_2)_2$ (0,5 %) energischer als das Kalzium, und ergibt letzteres, wie alle Schwermetallsalze, irreversible Fällungen. Bei den Versuchen mit le-

benden Epidermisstücken der Zwiebelschuppen von *Allium Cepa* erhielt Hansteen-Cranner für die wasserunlöslichen Phosphatide die Fällungsreihe $Ca > Mg > K$ (l. c. S. 95). Ferner zeigte er, dass der Aktivitätsunterschied zwischen den Alkalisalzen und den Erdalkalien in bezug auf die Phosphatide sehr gross ist: es wurden nämlich in $^n/_{100}$ Lösungen von *KCl* die Phosphatide nicht gefällt, sondern im Gegenteil: grosse Mengen dieser Stoffe gelangten aus den Betazellen ins Aussenmedium. Dieses ist ganz verständlich, denn auch nach den Versuchen von Porges und Neubauer sind die $^n/_{100}$ Alkalisalzlösungen und besonders die der Kaliumsalze nicht im Stande Lipoide zu fällen. Dagegen weisen $^n/_{100}$ $CaCl_2$-Lösungen in bezug auf die Phosphatide eine grosse Fällungskraft auf. Die unlöslichen Phosphatide werden unter dem Einflusse dieser Salze an der Plasmaoberfläche vollständig gefällt (verdichtet), wodurch auch die Permeabilität des Plasmas sehr stark herabgesetzt wird (l. c. S. 99 ff.).

Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass kleine Mengen von Kalziumchlorid auch bei unseren Versuchen die Permeabilität des Plasmas für andere Salze vollständig herabsetzen. Von sehr grosser Bedeutung ist auch der Befund von Hansteen-Cranner, dass die wasserlöslichen Phosphatide, falls sie nach dem Austreten aus dem pflanzlichen Gewebe mit Aether bearbeitet worden sind, gleich vollständig denaturiert werden: „sie verlieren ihre Löslichkeit in Wasser und sind nur in Äther bzw. Alkohol etc., wie gewöhnliche Lipoide löslich" (l. c. S. 69 ff. 135). Dasselbe gilt auch für die wasserunlöslichen Phosphatide. Die letzteren lassen sich aus dem Wasser „weder mit Äther noch Petroläther ausschütteln und sind auch in Alkohol ganz unlöslich". „Fällt man sie aber mit Bleiazetat, wäscht die Fällung mit Wasser und spaltet sie dann in kochend heissem Alkohol mittels H_2S, so ist die isolierte Fraktion nun leicht und vollkommen in Alkohol löslich — also auch denaturiert geworden" (l. c. S. 135).

Aus dem Angeführten geht vollständig klar hervor, dass man die Permeabilität des Plasmas für gelöste Stoffe durchaus nicht mit ihrem Löslichkeitsvermögen in den käuflichen Präparaten von Lezithin und Cholesterin vergleichen kann, denn diese Lipoide haben durch die chemische Bearbeitung von ihren Eigenschaften sehr viel verloren. Ja, man kann sogar nach Hansteen-Cranner die von ihm entdeckten Phosphatide der pflanz-

lichen Gewebe nicht zu den obenerwähnten Lipoiden rechnen. Er sagt: „Die Phosphatide sollten demnach wohl nach den Löslichkeitsverhältnissen, die sie in unberührtem Zustande in der lebenden Zelle besitzen, den „Lipoiden" nicht zugerechnet werden; denn nach Overton hat ja diese Stoffgruppe die physikalische Ähnlichkeit mit den Fetten, dass sie wie diese in organischen Solventien wie Äther, Alkohol, Chloroform und Benzol löslich sind. Besser würden sie wohl eine eigene hydrophilkolloide Gruppe bilden, deren physikalisch-chemische Eigenschaften (Löslichkeitsverhältnisse, Verhalten zu Metallen, Säuren und anderen Stoffen sowie Temperatur) nur auf Grundlage solcher Phosphatide beurteilt werden müssen, die direkt aus lebenden Zellen und bei Lebensbedingungen in reines Wasser ekstrahiert worden sind. Denn diese Stoffe sind unzweifelhaft äusserst labil.

Jedenfalls muss es nach dem obenangeführten ganz irreführend sein, wenn man, so wie es noch in der gesammten Physiologie geschieht, die physiologische Bedeutung der Phosphatide im lebenden Zellkörper nach solchen Löslichkeitsverhältnissen beurteilt, die diese Stoffe nach Ekstraktion aus im voraus getöteten und vollständig getrockneten Zellgeweben durch Äther, Alkohol etc. und zudem bei höheren Temperaturen zeigen. Diese Eigenschaften repräsentieren nicht die natürlichen, und doch baut u. a. die ganze Lipoidtheorie, sowohl die Lehre von dem Stoffaustausche als diejenige von den narkotischen Wirkungen, auf ihnen." (l. c. 135, 136).

Wir haben gesehen, dass die neuesten Untersuchungen auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie neue sehr wertvolle und schlagende Beweise für die Prinzipien gebracht haben, die zuerst von Overton aufgestellt und im Sinne von Hansteen-Cranner modifiziert worden sind, nämlich, dass die Grenzschichten des Plasmas nicht aus Eiweissstoffen, auch nicht aus einem Lezithin-Cholesterin-Gemisch, wie das Overton meinte, sondern aus den letzteren nahestehenden Stoffen, nämlich Phosphatiden (wasserlöslichen und unlöslichen), besteht. Man muss noch hinzufügen, dass bei den pflanzlichen Zellen infolge des Vorhanden-

seins der Zellwand bessere Bedingungen im Vergleich mit der Tierzelle dafür gegeben sind, dass an der Plasmaoberfläche die oberflächenaktiven Stoffe sich ansammeln können. Die Zellwand schützt die Plasmaoberflächenschichten vor einem zufälligen Durchmischen und macht sie somit stabil, wobei diese Schichten ganz allmählich in die Zellwand übergehen, mit welcher sie in organischer Verbindung stehen.

Wir erlauben uns hier noch die Beobachtungen von Hansteen-Cranner über den Bau der plasmatischen Grenzschichten anzuführen. Seine höchst interessanten Untersuchungen sind gegenwärtig die ausführlichsten und vollständigsten auf diesem Gebiete. Er sagt: „Alles in Allem finde ich mich auf Grundlage meiner gesammelten Beobachtungen berechtigt, folgende, noch weiter zu prüfende Schlüsse zu ziehen:

1) dass die plasmatischen Grenzschichten der Zellkörper — die Plasma- und die Vakuolenhaut — ein kolloides System darstellen, dessen halbfeste, hydrophile Dispersionsmittel aus in Wasser unlöslichen, aber kolloid schwellbaren, dessen flüssige, disperse Phase aber aus in Wasser ganz löslichen Phosphatiden bestehe,

2) dass diese Grenzschichten mit ihren sämmtlichen Phosphatiden die anliegenden Zellwände überall durchdringen und so mit diesen intim verbunden sind, und endlich,

3) dass deshalb die Zellwände aller lebenden Zellen ein kolloidales Netzwerk darstellen, dessen festes Gerüst aus Cellulose und Hemicellulosen gebildet ist, dessen Maschen aber sämmtliche Phosphatide der plasmatischen Grenzschichten enthalten." (l. c. S. 105).

Die Befunde von Hansteen-Cranner bilden den schlagensten Beweis auch für unsere Folgerungen. Seine Beobachtungen stehen in vollständiger Übereinstimmung mit den unsrigen, nach welchen die Oberflächenschichten des Plasmas der pflanzlichen Zellen keine Eiweissstoffe enthalten, sondern das Verhalten des Plasmas zu den Neutralsalzen dafür spricht, dass hier lipoidartige Stoffe anwesend sein müssen. Die letzteren

stimmen in bester Weise mit den von Hansteen-Cranner entdeckten Phosphatiden überein. Diese Phosphatide werden unter der Einwirkung von Neutralsalzen je nach der Kolloidaktivität eines Salzes in reversibler Weise verdichtet, wodurch auch dem grösseren oder kleineren Grade dieser Verdichtung entsprechend die Permeabilität des Plasmas beeinflusst wird.

Nach Hansteen-Cranner werden die Phosphatide nach der Reihenfolge $Ca > Mg > K$ gefällt, wobei das KCl nur in höheren Konzentrationen das Fällungsvermögen hat (vgl. oben S. 155). Bei unseren Versuchen hemmen die schwachen Lösungen von $CaCl_2$ und $MgCl_2$ das Eindringen anderer Alkalisalze in das Plasma, wobei die Aufnahme von KNO_3 durchschnittlich durch Ca um 100%, Mg — um 20%, K — um 0% herabgesetzt wird. Wir haben also hier genau dasselbe, was auch Hansteen-Cranner bei der Phosphatidenfällung gefunden hat, über welche er folgendes sagt: „und ferner, wie wir gleichfalls sahen, gingen durch Metallionen hervorgerufene Änderungen in dem Vermögen der genannten Phosphatiden aus den Zellen herauszutreten, bzw. Fällungen oder Nichtfällungen dieser Substanzen, auch Hand in Hand mit Permeabilitätsänderungen“ (l. c. S. 104).

Von den Beobachtungen anderer Forscher der neuesten Zeit, die in näherer Beziehung zu unseren Versuchen stehen, seien hier noch die Untersuchungen von Boas erwähnt. Dieser Autor[1]) untersuchte den Einfluss des Saponins und der demselben nahestehenden Stoffe (Saponin ist bekanntlich ein spezifisches Agens auf Lipoide) wie auch der Neutralsalze auf die alkoholische Gärung. Von den interessanten Ergebnissen von Boas seien hier einige angeführt.

Er fand folgendes: „Saponin fördert infolge der Änderung des kolloidalen Zustandes der Plasmahautlipoide im Sinne einer gesteigerten Permeabilität die Vergärung der wichtigsten Zucker durch Hefe beträchtlich.“ Ferner: „die Salze der ein- und zweiwertigen Kationen lassen in ihrer Wirkung auf die alkoholische Gärung eine Anionen- und Kationenreihe erkennen, die mit ihrer Ein-

1) Fr. Boas, Biochem. Zeitschr. Bd. 117. 1921. S. 166; Bd. 129. 1922. S. 144.

wirkung auf Lipoide — Lezithin und Cholesterin — annähernd übereinstimmt"... Und noch weiter: „...diese sämtlichen Ergebnisse deuten auf kolloidale Vorgänge in der Plasmahaut hin und erstrecken sich auf Änderung des Dispersitätsgrades der Hautlipoide. Soweit die Saponinwirkung in Betracht kommt, ist die Mitwirkung von Lipoiden an der Stoffaufnahme erwiesen, soweit die Salzwirkung zur Diskussion steht, ist die Anwesenheit von Lipoiden und ihre Mitwirkung bei der Stoffaufnahme wahrscheinlich." (1921 S. 205).

Wie man aus dem Angeführten sieht, ist Boas auf Grund seiner Ergebnisse prinzipiell zu denselben Schlüssen gekommen, wie Hansteen-Cranner und wir, und seine Versuche bilden einen guten Beweis für unsere Folgerungen, soweit die Neutralsalzwirkungen in Betracht kommen.

Es wurde oben darauf hingewiesen, dass bei der pflanzlichen Zelle das Vorhandensein der Zellwand das Ansammeln von Phosphatiden an der Plasmaoberfläche fördert. Es fragt sich nur: wie können wir das Ansammeln von lipoidartigen Stoffen an der Oberfläche des Plasmas in dem Falle erklären, wenn keine Zellwand vorhanden ist, wie z. B. bei den Schleimpilzen? oder wie ist das zu erklären, dass aus der Zelle herausgepresste Plasmatropfen genau dieselben Eigenschaften wie die intakten Zellen besitzen[1])? man muss hier ein rasches Ansammeln der Phosphatide an der nackten Plasmafläche voraussetzen.

Auch auf diese Fragen finden wir in den physiologischen Untersuchungen der neuesten Zeit die Antwort.

Biedermann[2]) und sein Schüler Walter[3]) haben gezeigt, dass bei der künstlichen Verdauung in Pepsin und Trypsin das Pflanzenplasma im Vergleich mit den Eiweissstoffen gar nicht angegriffen wird. Wenn man z. B. Plasmodien und Sklerotien von Fuligo varians (lebende oder getötete) mit Pepsin und Trypsin 24 Stunden lang behandelt, so sind keine besonderen Veränderungen wahrzunehmen. Das Plasma ist unverdaut geblieben. Bearbeitet man aber zuerst die Objekte mit Alkohol und Äther, so erfolgt eine vollständige Verdauung in Trypsin (Walter). Diese und ähnliche Versuche zeigten, dass das Plasma von

1) Vgl. Höber, l. c. S. 64.
2) W. Biedermann, Pflügers Arch. Bd. 174. 1909. S. 373.
3) H. Walter, Pflügers Arch. Bd. 181. 1920. S. 271.
Idem, Biochem. Zeitsch. Bd. 122. 1921. S. 86.

Schleimpilzen und höheren Pflanzen (Elodea, Dahlia, Mnium und and.) von den proteolytischen Enzymen überhaupt, auch nach dem Tode, nicht angegriffen wird, obgleich es zweifellos ist, dass diese Enzyme in das Plasma eindringen. Dagegen geht nach der Extraktion mit Alkohol und Äther die Verdauung von Pflanzenplasma mehr oder minder vollständig vor sich.

Aus diesen Tatsachen schliessen die genannten Autoren, dass die Ursache der Inaktivität der proteolytischen Enzyme in bezug auf das Pflanzenplasma in den Lipoiden des letzteren liegt; nach Extraktion mit Alkohol bzw. Äther werden diese Lipoide entfernt, und dann geht die Verdauung gut vonstatten. Walter, der von der Tatsache ausgeht, dass die ganze Plasmamasse mit Lipoiden so zu sagen durchtränkt sei, kommt zur Vorstellung, dass ein jedes Kolloideiweissteilchen von einem lipoiden Häutchen umgeben sein müsste, wobei das Lipoid etwa als Schutzkolloid auftritt und das unmittelbare Einwirken der Verdauungsenzyme auf das Plasmaeiweiss verhindert. Er sagt: „Die Eiweissteilchen, besonders die kleineren (da mit abnehmender Teilchengrösse die Oberflächenaktivität zunimmt), werden an der äusseren Oberfläche (Plasmahaut, Vakuolenhäute) dichter liegen, wodurch ein Gelatinieren mit teilweiser Verfestigung (Plasmamembran) stattfinden kann. Ausserdem werden um jedes Eiweissteilchen regelmässig Lipoidteilchen angeordnet sein, wodurch vielleicht eine den chemischen Verbindungen nahestehende Adsorptionsverbindung zustande kommen kann. Eine Ansammlung von Lipoidteilchen muss auch an der äusseren Oberfläche stattfinden. Da die Eigenschaften der äusseren Oberfläche sowohl vom Zustande des Plasmas, als auch von dem des Aussenmediums abhängen, so wird bei Änderung des ersten oder des letzteren die Plasmahaut sich gleichfalls verändern. Ebenso muss die Plasmahaut sofort verschwinden, wenn sie ins Innere des Plasmas gelangt, und wird sich sofort neu bilden, wenn Teile des Innenplasmas ans Aussenmedium grenzen werden“ [1]).

Mit Hilfe der angeführten Hypothese von Walter lässt sich leicht erklären, warum Plasmatropfen sich ganz analog wie das Plasma einer intakten Zelle verhalten. An einer jeden neuen Plasmaoberfläche sammeln sich die mit Lipoiden umgebenen Eiweissteilchen dicht an, eine neue Plasmahaut, und somit auch eine

1) Walter, Biochem. Zeitsch. Bd. 122. 1921. S. 96.

neue Lipoidschicht (Phosphatidenschicht) bildend. Infolge der Oberflächenaktivität sammeln sich auch die Lipoide (Phosphatide), ausser denen, die die Eiweissteilchen umgeben, auf der neuen Plasmafläche selbständig an. Gelangt die Oberflächenschicht in das innere Plasma hinein, so werden die Plasmahautteilchen peptisiert und verteilt, dagegen bildet sich auf der neuen Fläche eine neue Oberflächenschicht.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Versuche haben gezeigt, dass die physiologische Wirkung der Neutralsalze von ihrem Vermögen den kolloidalen Zustand der Plasmakolloide zu ändern abhängig ist, wobei diejenigen Salze, die ein ausgesprochenes Peptisationsvermögen besitzen, wie die Jodide, Bromide und Nitrate, verhältnismässig schnell in das Plasma in solchen Mengen eindringen, die weit über die physiologischen Grenzen hinausliegen und das Plasma vollständig desorganisieren, was rasch zum Tode führt. Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass nach den Angaben von Porges und Neubauer (l. c.) die Lezithinsuspension unter dem Einflusse der obengenannten Salze klar festgestellt ist, d. h. diese Salze wirken auf Lezithin lösend.

Da das Eindringen der Neutralsalze in das Plasma stets der kolloidchemischen Wirkung dieser Salze gemäss vor sich geht, so haben wir keinen Grund vorauszusetzen, dass die Wirkung einiger rasch eindringenden und daher giftigen Salze von irgend welchen besonderen spezifischen und in dieser Arbeit nicht auseinandergesetzten Eigenschaften dieser Salze abhängt. Alle Permeabilitätsversuche zeigen, dass überall das Eindringen der Neutralsalze nach den physikochemischen Gesetzen vor sich geht und wir nirgends eine aktive Selbstregulierung seitens des Plasmas bei diesem Prozess konstatieren konnten. So dringen ins Plasma verhältnismässig leicht solche Salze ein, die demselben keinen Nutzen bringen und durchaus nicht nötig sind, wie die Rhodanide, Jodide und Bromide, und dieses geschieht nur deshalb, weil diese Salze das Vermögen besitzen, die lipoidartigen Stoffe (Phosphatide) der plasmatischen Grenzschichten zu peptisieren (aufzulockern), und daher können die letzteren die Salzflut nicht zurückhalten. Auf diese Weise würde die Pflanzenzelle ein Spielzeug der Salzionen des Aussenmediums sein, wenn nicht in natürlichen Bedingungen stets sehr verschiedene

Salzmischungen vorkämen, während dagegen reine Lösungen eines einzigen Salzes in der Natur überhaupt nicht anzutreffen sind.

Ferner muss man noch hinzufügen, dass insbesondere von jenen Salzen, die sehr leicht das Plasma passieren, in natürlichen Bedingungen im Boden nur wenige vorkommen, wie etwa die Nitrate und Chloride, und dazu in äusserst verdünnten Lösungen. Andererseits schafft die grosse Verbreitung der Kalkverbindungen in der Natur sofort ein physiologisches Gleichgewicht in den Bodenlösungen, denn die *Ca*-Ionen verändern in reversibler Weise stärker als andere Ionen den Dispersitätsgrad der Biokolloide der plasmatischen Grenzschichten und verhindern das Eindringen der Nitrate und anderer Salze in nicht physiologischen Mengen.

Aus unseren Versuchen folgt auch eine Erklärung für die sog. antagonistischen Ionenwirkungen. Dieser Prozess ist im Prinzip mehr ein kolloidchemischer als ein Adsorptionsvorgang und besteht darin, dass die Salze mit grosser Kolloidaktivität das Peptisationsvermögen anderer Salze den Biokolloiden gegenüber herabsetzen und infolgedessen ein abnormes und schädliches Eindringen hemmen. Es ist ganz begreiflich, dass eine normale physiologische Arbeit für eine Pflanzenzelle nur dann möglich wird, wenn bei den Salzionen der Aussenlösung ein gewisses Gleichgewicht zwischen ihren entgegengesetzten kolloidchemischen Tendenzen besteht.

Somit kann eine Pflanzenzelle sich aus einem beliebigen und schwachen Nährsalzgemisch weder qualitativ nach quantitativ diejenigen Stoffe wählen, welche sie für ihre physiologischen Bedürfnisse nötig hat, sondern eine jede Nährsalzlösung muss, um ein normales Gedeihen zu ermöglichen, so zusammengesetzt sein, dass die kolloidchemische Wirkung aller Salzionen in der Summa den Dispersitätsgrad der Plasmaoberflächenkolloide nur in engeren, physiologisch möglichen Grenzen in reversibler Weise beeinflusst, wodurch eben ein normaler Stoffaustausch möglich wird.

Es sei noch hinzugefügt, dass normalerweise die Permeabilität des Plasmas für die Nährsalze sehr gering sein muss, denn die Masse des Plasmas in den erwachsenen Zellen ist verhältnismässig sehr klein, wenn wir einen dünnen Wandbelag im Auge haben, und deshalb müssen auch die nötigen Mengen eines vom Plasma aufgenommenen Nährsalzes sehr unbeträcht-

lich sein. Wenn aber irgend ein Stoff in beträchtlichen Mengen das Plasma passiert, so ist das immer schädlich, ganz abgesehen von den Ursachen eines solchen Eindringens, und führt in den meisten Fällen zum Tode.

Andererseits können die vom Plasma ausgearbeiteten Stoffe, wie verschiedene Zucker und and., kein grosses Durchdringungsvermögen besitzen, denn sonst würden diese für die Pflanze wichtigen Stoffe ebenso leicht aus der Zelle in das Aussenmedium heraustreten, wie sie hineindringen würden, denn zwischen der Ex- und Endosmose besteht kein prinzipieller Unterschied.

Es ist bekannt, dass z. B. der Rohrzucker so langsam in die Zelle permeiert, dass dies mit den üblichen Methoden überhaupt nicht nachgewiesen werden kann; bei der Wanderung wird die Saccharose invertiert, denn die Hexosen permeieren etwas leichter und werden im Speichergewebe wieder in Disaccharid kondensiert[1]). Interessant ist Küsters[2]) Befund bei seinen Fusionsversuchen, dass der Rohrzucker ebenso wie $Ca(NO_3)_2$ beim längeren Liegen des Objektes in Lösungen eine Verdichtung (wahrscheinlich Fällung) der Plasmaoberflächenschichten hervorruft. Diese Tatsache zeigt in bester Weise, dass die lipoidartigen Stoffe der plasmatischen Grenzschichten sich von den käuflichen Lezithin- und Cholesterinpräparaten nach ihren physikochemischen Eigenschaften stark unterscheiden, denn die Saccharose hat als Nichtelektrolyt nicht das Vermögen das Lezithin oder Cholesterin zu fällen[3]). Diese Tatsache liefert einen guten Beweis für die Richtigkeit der obenangeführten Ansichten von Hansteen-Cranner, nämlich, dass die physikochemischen Eigenschaften der Phosphatide mit denen der gewöhnlichen Lipoide nicht übereinstimmen.

Ferner zeigen die erwähnten Versuche von Küster, dass die Saccharose (ein häufiges Assimilationsprodukt) das Vermögen besitzt, die Phosphatide der plasmatischen Grenzschichten zu verdichten. Dieser Umstand kann auch die wahrscheinliche Ursache des langsamen Diosmierens der Zuckerlösungen sein.

Das Paradoxe an der Plasmapermeabilität für gelöste Stoffe, was von einigen Biologen hervorgehoben wird, nämlich der Umstand,

1) Vgl. Ruhland, Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 50. 1912. S. 200.
2) Küster, Zeitschr. für Bot. 10. Jahrg. 1910. S. 689.
3) Porges and Neubauer, l. c.

dass die physiologisch nötigen Stoffe, wie die Zucker, Aminosäuren und and., nicht merklich in die Zelle eindringen, während Stoffe, deren die Pflanze nicht bedarf, wie Alkohole, Äther und and., sehr schnell das Plasma passieren, ist nun eine äusserst zweckmässige physiologische Einrichtung. Denn die Zelle muss ja die nötigen Stoffe im Plasma festhalten können, und dieses wird auf physikochemischem Wege in erster Linie dadurch erreicht, dass diese Stoffe ein sehr geringes Diffusionsvermögen besitzen, d. h. dass gewisse Biokolloide der plasmatischen Grenzschichten unter dem Einflusse dieser Stoffe ihren Dispersitätsgrad in entsprechender Weise verändern (nach den Untersuchungen von Hansteen-Cranner ist die Vakuolenwand ganz analog der Plasmaoberfläche gebaut) und das leichte Durchdringen hemmen.

Bei der Wanderung werden die Stoffe bekanntlich in leichter osmierende Verbindungen verwandelt. Würde z. B. Zucker ebenso momentan wie Alkohol in die Zellen eindringen, so würde er auch gleich schnell aus der Zelle wieder heraustreten, ferner würde er wegen des raschen Diffusionsvermögens giftig für das Plasma sein. Andererseits kommen Alkohole, Äther und andere leicht eindringende Stoffe in natürlichen Bedingungen nicht vor, und das Pflanzen- wie auch das Tierplasma bedarf keiner speziellen Regulationsvorrichtungen für die Aufnahme bzw. Abwehr dieser Stoffe.

Kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

I. Das Eindringen der Neutralsalze in das Pflanzenplasma ist ein physikochemischer Prozess, der von der Kolloidaktivität der Salze abhängt, wobei die beiden Ionen eines Salzes von Bedeutung sind.

In der Abhängigkeit vom Anion nimmt das Vermögen der Neutralsalze in das Pflanzenplasma einzudringen nach der lyotropen Reihenfolge — $I > Br > NO_3 > Cl > Tartrate > SO_4$ ab, in welcher die ersten Glieder der Reihe verhältnismässig am schnellsten das Plasma passieren.

In der Abhängigkeit vom Kation nimmt das Vermögen der Neutralsalze in das Plasma einzudringen nach folgender Reihe ab: $K > Na > Li > Mg > Ba > Ca$.

II. Das Eindringen der Neutralsalze in das Pflanzenplasma ist abhängig von ihrem Vermögen den kolloidalen Zustand der Plasmaoberflächenkolloide zu verändern, wobei die Wirkung eines jeden Salzes sich additiv aus den entgegengesetzten Wirkungen seiner Ionen ergibt. Die Kationen haben dabei eine koagulierende (bzw. entquellende) Wirkung in bezug auf die Biokolloide des Plasmas, und diese Wirkung führt zur Verminderung der Permeabilität für die Salze. Diese beiden Wirkungen der Kationen (die koagulierende und die Permeabilität vermindernde) verändern sich parallel und nehmen ab nach der Reihenfolge: $Ca > Ba > Mg > Li > Na > K$.

Die Anionen der Salze wirken peptisierend (lösend) auf die Plasmakolloide, und diese Wirkung führt zur Steigerung der Permeabilität des Plasmas für Salze, die sich parallel der peptisierenden Wirkung der Salze verändert. Beide Anionenwirkungen nehmen ab nach der Reihenfolge: $I > Br > NO_3 > Cl > Tartrate > SO_4$.

Aus den in diesem Punkte angeführten Ergebnissen folgt, dass das beobachtete Vermögen eines Neutralsalzes in das Plasma einzudringen die algebraische Summa der entgegengesetzten kolloidchemischen Tendenzen der Ionen dieses Salzes darstellt.

III. Die Giftigkeit (tötliche Wirkung) der Neutralsalze ist die Folge ihres Vermögens in das Pflanzenplasma einzudringen: diejenigen Salze, die sich leicht im Plasma ansammeln, sind sehr giftig, die langsam eindringenden Salze sind verhältnissmässig unschädlich. Die Giftwirkung der Salze ist direkt proportional ihrem Vermögen das Plasma zu passieren und nimmt ab nach den im Punkt I angeführten Ionenreihen.

IV. Diese Versuche haben gezeigt, dass bei der Aufnahme der Neutralsalze in die Zelle die lipoidartigen Stoffe (nach Hansteen-Cranner: Phosphatide) der Oberflächenschichten des Plasmas eine hervorragende Rolle spielen.

Die reversiblen kolloidalen Zustandsänderungen dieser Stoffe unter dem Einflusse der Salzionen haben eine entscheidende Bedeutung für die Geschwindigkeit der Aufnahme eines jeden Neutralsalzes in die Zelle.

Januar 1923. Pflanzenphysiologisches Laboratorium der Universität Dorpat.

Inhalt.

Seite.

Einleitende Bemerkungen 3

Erster Teil.

Die Methodik der Versuche mit Rotkrautschnitten 5
Die Methodik der Versuche mit Schnitten von *Zebrina pendula* 14
I Serie der Versuche mit Rotkrautschnitten 15
Übersichtstabelle der Resultate der I Versuchsserie 21
Die Kurven der koagulierenden Wirkung der Kaliumsalze 23
II Serie der Versuche mit Rotkrautschnitten 24
Übersichtstabelle der Resultate der II Versuchsserie 30
III Serie der Versuche mit Rotkrautschnitten 31
Übersichtstabelle der Versuche der III Versuchsserie 37
IV Serie. Kationen der Chloride der Alkalisalze und Erdalkalien . . 39
Übersichtstabelle der Kationenwirkungen. IV Serie. 41
V Serie der Versuche. Versuchspflanze *Zebrina pendula* 42
Übersichtstabelle der V Versuchsserie 51
Die Kurven zur V Versuchsserie 52
VI Serie der Versuche. Versuchspflanze *Zebrina pendula* 52
Übersichtstabelle der VI Versuchsserie und die Kurven dazu . . . 59
VII Serie der Versuche. Versuchspflanze *Zebrina pendula* 60
Übersichtstabelle der VII Versuchsserie und die Kurven dazu . . . 67
Übersichtstabelle der Wirkungen der Alkali- und Erdalkalikationen . 68
Die Kurven der Kationenwirkungen 69
Versuchsergebnisse mit den Natriumsalzen 0,1 *n* und Kaliumsalzen 0,05 *n*. 70
Besprechung der Resultate 71
Übersichtstabelle der Anionenwirkungen. 71
Übersichtstabelle der Kationenwirkungen 72
Versuche mit Schnitten von *Zebrina pendula* in alkalischem Medium . 80
Versuche mit Rotkrautschnitten in alkalischem Medium 81
Übersichtstabelle der Anionenwirkungen in alkalischem Medium . . . 84
Übersichtstabelle der Versuche in saurem Medium. 87, 88
Übersichtstabellen der Salzwirkungen bei Belichtung und Verdunkelung . 94, 96

Zweiter Teil.

Über die Methoden der Permeabilitätsbestimmung 99
Die Permeabilität des Plasmas für Natriumsalze 110
Die Permeabilität für Kaliumsalze 112

Die Permeabilität für Kationen der Alkalisalze und Erdalkalien 115
Besprechung der bisherigen Ergebnisse. 116
Die Beeinflussung der Permeabilität durch Salzgemische. Kationen der Alkalisalze und Erdalkalien 127
Die Kationen der Alkalisalze 130
Die Beeinflussung der Plasmapermeabilität durch Anionen der Alkalisalze. 133
Theoretische Folgerungen. 136
Kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse. 164

BEITRÄGE
ZUR KENNTNIS DER TORFZERSETZUNG UND VERTORFUNG

VON

YRJÖ KAUKO

DORPAT 1924

K. Mattiesen, Dorpat.

Beiträge zur Kenntnis der Torfzersetzung und Vertorfung [1]).

Die Vorgänge der Vertorfungsprozesse sind bisher wenig aufgeklärt. Die Vertorfung an und für sich ist ein sehr komplizierter Prozess und die dabei entstehenden Stoffe ihrer chemischen Natur nach meist unbekannt. Die gewöhnliche Methode über sie Aufschluss zu gewinnen ist die Elementaranalyse des Torfes. Bei der Elementaranalyse werden Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff und der Aschengehalt bestimmt. Aus diesem Zahlenmaterial hat man bisher nur schliessen können, dass die Vertorfungsprozesse lediglich darin bestehen, dass der Torf mit der Zeit sauerstoffärmer und kohlenstoffreicher wird.

Die Elementaranalysen der verschiedenen Vertorfungsstufen geben uns die Möglichkeit, einen tieferen Blick in die Vertorfungsprozesse zu tun, und der Zweck dieser Arbeit ist es gerade diesen Umstand klar zu stellen.

Ueber das Wesen der Vertorfung sind bereits verschiedene Annahmen in der Literatur zu finden, so ist z. B. Potonié [2]) der Meinung, dass die Vertorfung eine Selbstzersetzung sei, die man sich so vorstellen kann, dass die chemischen Verbindungen der noch nicht absolut mineralischen organischen Zersetzungsprodukte bei ihrer Labilität unter anderem bestrebt sind, weitere Reduktionen vorzunehmen, sich also gegenseitig des Sauerstoffs zu berauben suchen, wobei Gase entstehen, und die zurückbleibenden festen und flüssigen Verbindungen sich immer mehr den Kohlenwasserstoffen und schliesslich dem reinen Kohlenstoff nähern müssen.

---

1) Eine vorläufige Mitteilung ist in finnischer Sprache im Teknillinen Aikakauslehti 1923 erschienen.

2) Potonié. Sitzungsber. d. preussisch. Akad. d. Wissensch. 1908, 48 u. 1911, 55, II.

Nach Potonié besteht die Vertorfung in verschiedenen Prozessen: zuerst kommt der Verbrennungsprozess, dann die Verwesung, dann Fäulnis und Selbstzersetzung.

Früh[1]) hat in seinen Arbeiten die gesamte Erscheinung studiert, und über die Vertorfungsprozesse eine Theorie gegeben, der man sich im allgemeinen angeschlossen hat. Nach seinen Auseinandersetzungen steht soviel fest, dass der Vertorfungsvorgang nicht in einer Fermentwirkung besteht, sondern in einem sehr langsamen, möglichst unter Abschluss des Sauerstoffs bei mässiger bis niedriger Temperatur stattfindenden Zerfall der Pflanzenstoffe. Dieser Zerfall vollzieht sich wahrscheinlich grösstenteils unter Verwertung des eigenen, in der Pflanzensubstanz enthaltenen Sauerstoffes als innere, hauptsächlich Wasserstoff betreffende Oxydation, vielleicht (nach Merker) unter fortwährender Abspaltung von Wasser aus den Molekülen der Zellulose und anderer Kohlenhydrate nach folgendem Schema:

$$H_2O \left\{ \begin{array}{l} C_6H_{10}O_5 \\ C_6H_8O_4 \\ C_6H_6O_3 \\ C_6H_4O_2 \\ C_6H_2O \end{array} \right.$$

Im Gegensatze zu Früh hat Aschan[2]) die Beobachtung gemacht, dass die Sauerstoffübertragung auf die durch Vertorfungsprozesse entstandenen Humusstoffe unter Umständen durch Mikroorganismen vermittelt wird. Dabei spricht Aschan die Vermutung aus, dass die Humusstoffe wahrscheinlich als Hydratations- und Oxydationsprozesse zu betrachten seien. Diese Aschansche Betrachtungsweise dürfte durch die Arbeit Berthelots und Andrés[3]) unterstützt werden, welche Forscher aus den sogen. Huminen durch Hydratationsprozesse Humussäuren erhielten. In der Zersetzungsstufe der Humusstoffe stehen die Humine den Kohlehydraten näher als der Humussäure. Hoering[4]) führt an, dass besonders in den Anfangsstadien die Zersetzung der Kohlehydrate durch Mikroben unter Bildung von Humusstoffen,

1) Früh. Über Torf und Dopplerit; die Moore der Schweiz.

2) Aschan, O. Bidr. t. kännedom af Finlands natur och folk 66, 1908.

3) Berthelot und André. Ann. de chimie et de physique (6) 25, 403, 1892.

4) Hoering, P. Moornutzung und Torfverwertung.

Kohlensäure und Methan vor sich geht. Für die Verwesung ist die Gegenwart von Luft und Sauerstoff nötig; sobald die Vertorfung unter Umständen stattfinden muss, wo der Luftsauerstoff keinen Zutritt hat, hört auch die Verwesung auf. Die Verwesung selbst ist eine langsame Oxydation, vollzieht sich aber doch genügend schnell, um die Gewächse sogar innerhalb eines Jahres vollkommen in Kohlendioxyd und Wasser zu zersetzen. Die Verwesung tritt bei Moorbildung unter Wasser, wie es oft der Fall ist, nicht ein.

Lang[1]) sagt aus diesem Grunde, dass die Vertorfung als Fäulnis betrachtet werden könne. Bei diesem Prozess zersetzt sich Zellulose durch Abspaltung von Wassermolekülen, wobei an Kohlenstoff reichere Stoffe entstehen. Dieser Prozess findet ausserordentlich langsam statt und soll den geologischen Vorgängen angereiht werden.

Die Untersuchungen von Fischer[2]) und Donath[3]) haben dieselben zu der Auffassung geführt, dass während der Verwesungsperiode die Kohlehydrate sich vollständig und das Lignin teilweise oxydieren, wobei von dem letztgenannten die sogenannten Humusstoffe herstammen. Da nun aber in einer beträchtlichen Tiefe noch Kohlehydrate zu finden sind, und da die Zusammensetzung des Torfes sich noch in einer Tiefe verändert, wo der Luftsauerstoff unmöglich hindiffundieren kann, so sind wohl auch die Meinungen begründet, die nach der Verwesung noch eine Verfäulnis annehmen, d. h. eine intermolekulare Zersetzung.

Wir behandeln im folgenden bloss diejenige Erscheinung, die nach der langsamen Oxydation in der Oberfläche, unter Abschluss des Sauerstoffes in den tieferen Schichten stattfindet.

Von Zailer und Wilk[4]) sind eine grosse Anzahl Elementaranalysen an verschiedenen Vertorfungsstufen und Torfarten ausgeführt worden. Wir entnehmen hier in der Tabelle I aus den Arbeiten dieser Verfasser einige Zahlenergebnisse, die wir in dem folgenden weiter verwerten werden.

Aus der Kolumne 1 ist ersichtlich, dass der Aschengehalt

---

1) Lang. Verwitterung u. Bodenbildung als Einführung i. d. Bodenkunde.

2) Fischer u. Schrader. Brennstoffchemie 3 (65) 1922. Neue Beiträge zur Entstehung u. chem. Struktur d. Kohle.

3) Donath u. Lissner. Brennstoffchemie, S. 231 vom 1. 8. 1922. Zur Frage d. Entstehung d. Kohle.

4) Zailer, V. u. Wilk, L. Ztschrft. f. Moorkultur u. Torfverwertung 5, 111, 1907.

Tabelle 1.

Torfarten und Torfbildner	In Trockensubstanzen		In Trockensubstanzen des Torfes				In organischen Substanzen des Torfes						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Organ. Subst.	Asche	C	H	N	O	C	H	N	O	O= C:O	I H:O	H=I C=H
Phragm. com.	95.80	4.20	47.74	6.22	1.46	40.38	49.83	6.49	1.53	42.15	1.18	0.15	7.68
unzersetzt	85.35	14.65	47.15	5.12	1.86	31.22	52.24	6·00	2.18	36.58	1.51	0.16	9.21
wenig zersetzt	88.20	11.80	57.37	5.07	2.29	29.46	58.25	5.75	2.60	33.40	1.74	0.17	10.13
stark zersetzt	89.54	10.46	52.04	4.58	3.07	29.86	58.11	5.12	3.43	33.34	1.74	0.15	11.35
vollständig zersetzt	87.15	12.85	52.88	4.65	1.88	27.74	60.67	5.34	2.16	31.83	1.91	0.17	11.36
Carex stricta	93.97	6.03	47.79	5.76	1.26	39.13	50.86	6.13	1.37	41.64	1.22	0.16	8.30
„ acuta	94.42	5.58	47.90	5.51	1.69	39.37	50.13	5.84	1.74	41.69	1.22	0.14	8.69
„ paludosa	96.08	3.92	48.52	5.48	0.96	41.12	50.50	5.71	0.99	42.80	1.18	0.13	8.89
Carex unzersetzt	96.16	3.84	54.58	5.56	2.19	33.83	56.77	5.78	2.28	35.17	1.61	0.16	9.82
wenig zersetzt	96.03	3.97	58.55	5.71	1.63	30.14	60.97	5.95	1.70	31.38	1.94	0.19	10.22
stark zersetzt	96.43	3.51	58.21	5.21	2.10	30.97	60.32	5.40	2.18	32.10	1.88	0.17	11.17
vollständig zersetzt	94.32	5.68	54.25	5.63	1.32	29.13	61.75	5.97	1.40	30.88	2.00	0.19	10.34
Sphagn. acutifolium	97.58	2.42	48.23	5.33	1.21	42.81	49.43	5.46	1.24	43.87	1.13	0.12	9.05
„ cumbifolium	97.13	2.87	48.62	5.31	1.08	42.12	50.05	5.47	1.11	43.37	1.15	0.13	9.15
„ cupsidatum	97.53	2.47	48.45	5.06	1.08	42.94	49.67	5.18	1.11	44.07	1.13	0.12	9.59
Sphagn. unzersetzt	98.07	1.93	48.60	5.12	0.89	43.46	49.55	5.22	0.90	44.33	1.12	0.12	9.49
wenig zersetzt	99.36	0.64	50.25	5.27	0.79	43.05	50.57	5.31	0.80	43.32	1.17	0.12	9.52
stark zersetzt	96.79	3.21	55.54	5.46	1.35	34.44	57.39	5.64	1.40	35.57	1.61	0.16	12.13
vollständig zersetzt	96.08	3.92	59.82	4.93	0.88	30.45	62.26	5.13	0.91	31.70	1.96	0.16	12.13

des Torfes sehr schwankt. Dieses dürfte wohl damit zusammenhängen, dass bei der Zersetzung von Torf die Aschenbestandteile teils lösliche Verbindungen eingehen, teils aus sekundären Gründen bei der Torfbildung in einigen Schichten zufällig aschenbildende Stoffe vorkommen. Deswegen kann man die Aschengehaltstoffe nicht zur Berechnung des Zersetzungsgrades benutzen. Ebenso sind die prozentualen Ergebnisse, die sich auf den ursprünglichen Torf beziehen, nicht massgebend, sondern nur die prozentuale Zusammensetzung der organischen Substanzen kann in Rechnung gezogen werden.

Wir nehmen mit den vorangeführten Verfassern an:

1) Die Vertorfung beruht auf der Abspaltung von Wasser.
2) Die verschiedenen Torfstufen stammen von Pflanzenarten, die wenig differierende chemische Bruttozusammensetzung haben, ab.
3) Ausser dieser Wasserabscheidung finden keine anderen nennenswerten Stoffverluste statt.

Unter diesen Voraussetzungen nehmen wir B_0 gr des unzersetzten Torfes, welcher c_0 % Kohlenstoff, h_0 % Wasserstoff und 0_0 % Sauerstoff enthält. Aus diesem Torf entstehen durch Zersetzung B gr Torf, der c % Kohlenstoff, h % Wasserstoff und 0 % Sauerstoff enthält.

Im Anfang haben wir also:

$\frac{h_0 . B_0}{100}$ gr Wasserstoff, und bei der späteren Vertorfungsstufe

$\frac{h . B}{100}$ gr Wasserstoff, es haben sich also

$$\left[\frac{h_0 . B_0}{100} - \frac{h . B}{100}\right] \text{ gr Wasserstoff entfernt,}$$

entsprechend einem Gewichtsverlust des Torfes:

$$9 . \left(\frac{h_0 . B_0}{100} - \frac{h . B}{100}\right) \text{ gr (als Wasser).}$$

Wir erhalten also:

$$B_0 - B = 9 \left(\frac{h_0 . B_0}{100} - \frac{h . B}{100}\right).$$

Es ist jetzt eine allgemein anerkannte Tatsache, dass der Wasserstoffgehalt bei verschiedenen Vertorfungsstufen ziemlich konstant bleibt, und zwar zwischen 5—6 % schwankt, wie sich auch aus der Tabelle I Kolumne 5 ergibt. Zweifelsohne können wir mit grosser Annäherung schreiben:

$$h = h_0$$

unter dieser Voraussetzung erhalten wir aus der Gleichung 3

$$h_0 = 11.$$

Dieses Ergebnis verlangt also, dass die vorhin gemachte Voraussetzung zusammen mit der Tatsache der annähernden Konstanz des Wasserstoffs bloss unter der Bedingung möglich ist, dass der Wasserstoffgehalt

11 % beibehält.

Wir finden aber bloss die Hälfte davon vor, was wohl nicht auf eine Zufälligkeit zurückzuführen ist, sondern uns den Beweis liefert, dass die angegebenen Voraussetzungen n i c h t stichhaltig sind.

Wenn wir die erwähnten Voraussetzungen betrachten, so sehen wir, dass die Unstimmigkeit im Wasserstoffgehalte nicht durch die Hinfälligkeit der Voraussetzung 2 und 3 erklärt werden kann. Es ist ja möglich, dass der Wasserstoffgehalt von 11 % bis auf 5 % dadurch fallen kann, dass die Masse des Torfes auch durch sekundäre Stoffabscheidung abnimmt, oder dass die verschiedenen Vertorfungsstufen von verschiedenen Pflanzenarten herstammen. Bei dieser Annahme bleibt wieder unbegreiflich, wieso denn der Wasserstoffgehalt doch ziemlich konstant bleibt, und während der Vertorfung höchstens zwischen 5—6 % schwankt. Man müsste den Schluss ziehen, dass die beiden Faktoren, der Zersetzungsvorgang und die chemische Zusammensetzung, ganz bestimmten Gesetzen unterworfen sind. Es kann jedoch von solcher Gesetzmässigkeit der beiden Erscheinungen gar keine Rede sein: infolgedessen ist die Erklärung der Unstimmigkeit zwischen Rechnung und Experiment einzig und allein die, dass die Zersetzung des Torfes durch Wasserabscheidung **nicht** erklärt werden kann. Es liegt hier der Gedanke nahe, dass die Vertorfung ihrer chemischen Natur nach eine intermolekulare Oxydation sei, wobei nicht nur der Wasserstoff, sondern auch der Kohlenstoff angegriffen wird, und diesem Grundge-

danken folgend, werden wir die in der Tabelle I angeführten Zahlenmaterialien bearbeiten.

Im folgenden setzen wir also voraus:

1) Die verschiedenen Vertorfungsstufen stammen von Pflanzenarten ab, die wenig differierende chemische Bruttozusammensetzungen haben.

2) Die Vertorfung besteht darin, dass sich bei der Zersetzung Kohlensäure und Wasser abscheidet.

3) Ausser Kohlensäure und Wasserabscheidungen finden keine anderen Gewichtsabnahmen statt.

Wir betrachten jetzt B gr des unzersetzten Torfes, welcher c_0 % Kohlenstoff und h_0 % Wasserstoff enthält.

Diesen Torf zersetzen wir, und bei einer Zersetzungsstufe haben wir dann B gr übrig, welches

c % Kohlenstoff und
h % Wasserstoff

enthält.

Bei der Vertorfung haben sich Y % Kohlenstoff und Z % Wasserstoff in Bezug auf B_0 entfernt.

Wir greifen jetzt zwei naheliegende Vertorfungsstufen B und B' heraus, dann ist:

$$4)\quad \begin{aligned}(c_0 - y)\,B_0 &= c\,.\,B \text{ und}\\ (c_0 - y_1)\,B_0 &= c_1 B_1, \text{ d. h.}\\ (y - y_1)\,B_0 &= cB - c_1 B_1\end{aligned}$$

oder anders geschrieben:

$$5)\quad B_0 dy = d(Bc), \text{ ebenso erhalten wir}$$
$$6)\quad B_0 dz = d(Bh).$$

Der Sauerstoff soll sich zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff im Verhältnis von $n : m$ verteilen.

Bei einer kleinen Verschiebung der Vertorfung werden:

$$7)\quad \frac{dy\,.\,B_0}{100} \text{ gr Kohlenstoff und}$$

$$\frac{8}{3}\cdot\frac{dy\,.\,B_0}{100} \text{ gr Sauerstoff mit Kohlenstoff,}$$

$$\frac{8m}{3n}\cdot\frac{dy\,.\,B_0}{100} \text{ gr Sauerstoff mit Wasserstoff und}$$

$\frac{m}{3n} \cdot \frac{dy \,.\, B_0}{100}$ gr Wasserstoff entfernt, d. h.

$\frac{9m+11n}{n} \cdot \frac{B_0}{300} \cdot dy$ gr ist die Gewichtsabnahme des Stoffes.

Also:

$$8) \quad d\,B = -\frac{9m+11n}{n} \frac{B_0}{300} dy.$$

Und ebenso:

$$9) \quad d\,B = -\frac{9m+11n}{m} \frac{B_0}{100} dz.$$

Mit Hilfe der Gleichungen 5) und 6) können wir aus den Gleichungen 8) und 9) dy und dz eliminieren.

$$10) \quad d\,B = \frac{9m+11n}{m} \frac{d(Bc)}{300}.$$

$$11) \quad d\,B = \frac{9m+11n}{m} \cdot \frac{d(Bh)}{100}.$$

Aus diesen Gleichungen erhalten wir:

$$12) \quad \frac{n}{m} = \frac{d(Bc)}{3d(Bh)}$$

diesen Wert setzen wir für $\frac{n}{m}$ in Formel 11) ein:

$$d\,B = \left[9+11 \cdot \frac{d(Bc)}{3\,.\,d(Bh)}\right] \frac{d(Bh)}{100}.$$

$$13) \quad d\,B = \frac{27\,.\,d(Bh)+11d(Bc)}{300}$$

und durch Integrieren und Umformen erhalten wir:

$$14) \quad \frac{B}{B_0} = \frac{27h_0+11c_0-300}{27h+11c-300}$$

Bezeichnen wir den Quotienten

$\frac{B}{B_0} = \eta$ als Vertorfungsgrad, so erhalten wir:

$$15) \quad \eta = \frac{27h_0+11c_0-300}{27h+11c-300}.$$

In der Tabelle II haben wir in den Kolumnen 1 und 2 die Werte für η aus den Analysendaten der Tabelle I berechnet. In Kolumne 1 sind die η-Werte auf den unzersetzten Torf, und in Kolumne 2 auf die vorangegangene Vertorfungsstufe bezogen. In den Kolumnen 3 und 4 haben wir die Produkte ηc und $\eta . h$ mit Zuhilfenahme des η-Werts aus Kolumne 1 berechnet, und in Kolumne 5 haben wir das Verhältnis $\frac{n}{m}$ zwischen der vorhergegangenen und nachfolgenden Stufe mit Hilfe der Formel 12 berechnet.

Tabelle 2.

Die Werte in den Kolumnen 2, 4, 5, bezeichnet ( ), sind zwischen vorangehenden und folgenden Torfarten berechnet. In den Kolumnen 1, 3, 6 sind die Analysendaten des unzersetzten Torfes als Ausgangspunkt benutzt worden.

Torfarten	η	(η)	ηc	$(\eta$h)	(n/m)	n/m
	1	2	3	4	5	6
Sphagnum:						
unzersetzt	1	1	49.55	5.22	—	—
wenig zersetzt	0.9961	0.9961	50.4	5.29	2.444	2.4437
stark zersetzt	0.7984	0.8264	45.8	4.5	1.613	1.7363
vollständig zersetzt	0.7315	0.9162	45.6	3.8	0.035	0.80896
Phragmites:						
unzersetzt	1	1	55.24	6	—	—
wenig zersetzt	0.9469	0.9469	55.2	5.44	—	0.13471
stark zersetzt	0.9837	1.0388	57.2	5.04	—	2.2323
vollständig zersetzt	0.9181	0.9333	55.8	4.9	—	negat.
Carex:						
unzersetzt	1	1	56.77	5.78	—	—
wenig zersetzt	0.9044	0.9044	55	5.38	—	1.3611
stark zersetzt	0.9434	1.0432	57.4	5.1	—	negat.
vollständig zersetzt	0.8891	0.9424	54.8	5.3	—	negat.

Betrachten wir jetzt die η-Werte bei Sphagnum-Torf, so können wir einen ziemlich regelmässigen Gang verfolgen, dagegen haben Phragmites nnd Carextorf eine Unregelmässigkeit, welche wir in einem höheren η-Werte bei dem starkzersetzten Torfe

beobachten. Wenn wir in Kolumne 2 die entsprechenden η-Werte betrachten, so fallen sie grösser als 1 aus, was darauf zurückzuführen wäre, dass bei der Vertorfung bei bestimmten Stufen eine starke Zunahme des Gesamtgewichtes stattfand. Um diesen Unregelmässigkeiten Rechnung zu tragen, betrachten wir die Mengen von Kohlenstoff c und Wasserstoff h, welche sich bei der Zersetzung des Torfes entfernt haben. Wenn wir mit y und z die Kohlenstoff- bezw. Wasserstoffprozente, auf den unzersetzten Torf bezogen, bezeichnen, so lässt sich zeigen, dass

$$16) \quad y = c_0 - \eta c.$$
$$17) \quad z = h_0 - \eta h.$$

Aus den Gleichungen 16 und 17 ist ersichtlich, dass die Abnahme von ηc und ηh gleichzeitig die Ausscheidung des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs bedeutet und umgekehrt.

Aus Kolumne 4 ersehen wir, dass der Wasserstoff, von einigen Ausnahmen abgesehen, ziemlich regelmässig abnimmt. Die ganze Abnahme des Wasserstoffes, bezogen auf den ursprünglichen Stoff, in % ausgedrückt, beträgt allerdings höchstens 2 %, dagegen ersehen wir in der Kolumne 3 beträchtliche Unregelmässigkeiten. Sphagnumtorf verhält sich noch ziemlich regelmässig, obgleich bei dem wenig zersetzten Torf der Kohlenstoff scheinbar zugenommen hat. Dagegen finden wir beim Phragmites und Carextorf bei der stark zersetzten Stufe eine starke Zunahme des Kohlenstoffes. Wenn die Veränderungen des Kohlen- und Wasserstoffes mit Hilfe der Verhältniszahlen $\frac{n}{m}$ beobachtet werden, so ist ersichtlich, dass Kohlenstoff im Anfang der Vertorfung verhältnismässig mehr ausgeschieden wird als Wasserstoff. Dagegen ist am Ende der Vertorfung die Abnahme des Wasserstoffes bedeutender.

Es ist zu bemerken, dass die Unregelmässigkeiten der Kohlenstoffabnahme bei dem stark zersetzten Torf sehr zum Vorschein kommen. Es ist nicht möglich, dass bei der Vertorfung tatsächlich der Kohlenstoff zugenommen hätte, sondern es muss hier ein bisher **unberücksichtigter Fall** eingetreten sein.

Ehe wir aber diesen Umstand näher untersuchen, wollen wir prüfen, inwiefern unsere jetzige Annahme über den Wasserstoffgehalt des Torfes Aufklärung gibt.

Zu diesem Zwecke nehmen wir

B' gr schon teils zersetzten Torfes, welcher
c' % Kohlenstoff,
h' % Wasserstoff,
$0'$ % Sauerstoff enthält.

Wenn die Vertorfung weiter fortschreitet, so nimmt das Gesamtgewicht ab. Wir haben auf einer späteren Vertorfungsstufe von den oben angeführten B' gr nur B'' gr Torf, welcher c'' % Kohlenstoff, h'' % Wasserstoff und $0''$ % Sauerstoff enthält.

Wenn der Torf von der Stufe B' zur Stufe B'' übergeht, sollen z % Wasserstoff, auf B' bezogen, fortgegangen sein. Der Torf hat also:

$$9 \cdot \frac{z \cdot B'}{100} \text{ gr Wasser verloren.}$$

Berücksichtigen wir das Verhältnis, in dem Sauerstoff zu Kohlenstoff und Wasserstoff steht, so erhalten wir:

$$11 \cdot \frac{n}{m} \cdot \frac{z \cdot B_1}{100} \text{ gr Kohlensäure und:}$$

$$18) \quad B'' = B' - \frac{z \cdot B'}{100} \cdot \frac{9m + 11n}{m}.$$

Wenn die entfernte Kohlenstoffmenge mit y bezeichnet wird, so erhalten wir:

$$19) \quad B'' = B' - \frac{y \cdot B'}{300} \cdot \frac{9m + 11n}{n}.$$

Wie ersichtlich, haben wir nach der Vertorfung noch an Kohlenstoff übrig

$$\frac{(c' - y)B'}{100} \text{ gr}$$

oder auch:

$$\frac{c''B''}{100} \text{ g,}$$

wodurch die Gleichung entsteht:

$$(c' - y)B' = c''B''.$$

Wenn wir jetzt den Wert von B'' aus dieser Gleichung in Gleichung 19) einsetzen, so erhalten wir:

$$20)\quad y = \frac{300\,.\,(c''-c')}{\frac{11n+9m}{n}\cdot c'' - 300}$$

ebenso erhalten wir:

$$21)\quad z = \frac{100\,.\,(h''-h')}{\frac{9m+11n}{m}\cdot h'' - 100}$$

aus der Gleichung 18) und 19) erhalten wir:

$$\frac{z\,.\,B'}{100}\cdot\frac{9m+11n}{m} = \frac{yB'}{300}\cdot\frac{11n+9m}{n}$$

wenn hier die Werte von y und z aus den Gleichungen 20) und 21) eingesetzt werden und die so entstandene Gleichung nach $\frac{n}{m}$ aufgelöst wird, so ergibt sich:

$$22)\quad \frac{n}{m} = \frac{100 - 9h'' + 9c''\;\frac{h''-h'}{c''-c'}}{11h'' - (11c''-300)\frac{h''-h'}{c''-c'}}$$

Aus Kolumne 5 ist ersichtlich, dass bei Sphagnumtorf, wo sich die Vertorfung regelmässig erhält, das Verhältnis den Mittelwert ca. 1 hat.

Wenn wir diesen Mittelwert $\frac{n}{m} = 1$ in die Gleichung 22) einsetzen, so erhalten wir:

$$h'' - 5 = (c'' - 15)\frac{h''-h'}{c''-c'}.$$

Aus dieser Gleichung sehen wir, dass, falls $h'' = 5$ ist, $h'' = h$ wird und umgekehrt. Dieses Ergebnis stimmt mit den experimentellen Daten vorzüglich überein. h'' ist ja bekanntlich = ca. 5 %, und daher kommt es, dass h so konstant bleibt. Danach zu urteilen, würde sich also durchschnittlich ebensoviel Sauerstoff in Kohlensäure, wie in Wasser entfernen.

Auch durch eine andere Methode haben wir dasselbe Endziel erreicht. In den ursprünglichen A gr Torf, welcher a gr Wasserstoff enthält und von welchem b gr Wasserstoff sich entfernen, ist, wenn Sauerstoff zwischen Wasserstoff und Kohlenstoff in einem konstanten Verhältnis steht, die Gewichtsabnahme während der Vertorfung für den Torf gleich $n.b$ gr, wobei n eine konstante Zahl ist. Bezeichnen wir den prozentualen Gehalt an Wasserstoff in der vertorften Substanz mit s, so können wir schreiben:

$$23) \quad \frac{100(a-b)}{A-n.b} = s, \quad 100a - As = b(100 - ns)$$

Aus der letzten Gleichung ist unter der Voraussetzung, dass s konst. bleibt, ersichtlich, dass der Faktor

$$(100 - ns) = 0$$

sein muss, da ja die linke Seite der Gleichung konst. und b eine variable Grösse ist, d. h. es ist $n = \frac{100}{s}$, da aber $s =$ **ca. 5 %** ist, so ist $n =$ **ca. 20 %**. Es entfernen sich also $9b$ gr Wasser und $11b$ gr Kohlensäure. Das Wasser enthält $8b$ gr Sauerstoff und die Kohlensäure ebenso $8b$ gr Sauerstoff. Also auch unter dieser Voraussetzung hat sich ebensoviel Sauerstoff in Kohlensäure, wie in Wasser entfernt.

Auch hier treffen wir Unregelmässigkeiten bei Phragmites und Carextorf, so z. B. bekommt $\frac{n}{m}$ in einigen Fällen einen negativen Wert, welcher Umstand darauf schliessen lässt, dass absolut genommen entweder Kohlenstoff oder Wasserstoff hinzugekommen ist. Dieses sehen wir z. B. aus den Kolumnen 3 und 4, wo tatsächlich die Produkte $\eta . c$ und $\eta . h$ in einigen Fällen zunehmen statt abzunehmen.

Dieser Umstand lässt sich kaum anders erklären, als dass unsere Annahme, die wir an die Spitze der theoretischen Betrachtung stellten, in diesem Falle n i c h t stichhaltig ist.

η ist zu gross geworden, wodurch die oben erwähnten Produkte auch zu gross werden; diese Erscheinung tritt in den Kolumnen 1 und 2 sehr stark hervor. Der stark zersetzte Torf bei Phragmites und Carex scheint zugenommen zu haben, weil $\eta > 1$ ist.

Wenn wir überlegen, unter welchen Umständen η zu gross werden kann, so kehren wir zu der Gleichung 15) zurück. Die Faktoren von c und h zeigen an, wie hoch die Gewichtsabnahme pro 1 gr Kohlenstoff- bezw. Wasserstoffverlust ist. Es ist möglich, dass jetzt tatsächlich bei dem starkzersetzten Torfe nicht Kohlenstoff und Wasserstoff als Kohlensäure und Wasser allein abscheiden, sondern auch Kohlenwasserstoffe, wie z. B. Methan. Dann kommt auf Kohlen- und Wasserstoff weniger Sauerstoff, so dass die oben erwähnten Faktoren zu gross sind. Dieses sollte auch darin zum Vorschein kommen, dass der Kohlenstoff prozentual weniger zunimmt oder gar abnimmt, weil sich die Kohlenstoffmenge vermindert. Dieser Fall ist aus Tabelle I ersichtlich.

Um diesen Fall klarzulegen, müssen wir annehmen, dass die Gewichtsabnahme nicht 9 . Wasserstoff bzw. $\frac{11}{3}$ Kohlenstoff, sondern b . Wasserstoff bzw. a . Kohlenstoff beträgt, wo $b < 9$ und $a < \frac{11}{3}$ ist.

Unter dieser Voraussetzung ergibt sich ähnlich wie vorher:

$$24)\quad \eta = \frac{\frac{a}{a-1}\cdot c_0 + \frac{b}{b-1} h_0 - 100}{\frac{a}{a-1}\cdot c + \frac{b}{b-1} h - 100}.$$

Wenn wir jetzt bezeichnen:

$$25)\quad A = \frac{a}{a-1}, \quad B = \frac{b}{b-1}$$

können wir die obige Gleichung schreiben:

$$26)\quad \eta = \frac{Ac_0 + Bh_0 - 100}{Ac + Bh - 100}.$$

Wenn wir also A und B zu hoch nehmen, so ist der Fehler:

$$27)\quad d\eta = \frac{B(c_0 h - c h_0) + 100(c - c_0)}{(Ac + Bh - 100)^2} dA + \\ + \frac{A(c h_0 - c_0 h) + 100(h - h_0)}{(Ac + Bh - 100)^2} dB.$$

Wenn wir jetzt mit Hilfe der Analysendaten in der Gleichung 27) die Koeffizienten von dA und dB berechnen, so finden wir, dass diese Koeffizienten im allgemeinen positiv sind, d. h. wenn A und B zu gross genommen werden, so wird der Zersetzungsgrad zu klein; bloss in den Fällen, wo wir schon Unregelmässigkeiten trafen, erhalten wir die Koeffizienten von dA negativ, aber nur unter der Voraussetzung, dass von B der grösstmögliche Wert 9 eingesetzt wird. Dieses ist aber nicht möglich, daher ist es wahrscheinlich, dass auch in diesen Fällen der Koeffizient positiv wird.

Dass tatsächlich die Koeffizienten von A und B gerade in den Fällen, wo Unregelmässigkeiten vorkommen, kleiner als $\frac{11}{3}$ bezw. 9 sein müssen, geht auch aus dem Umstand hervor, dass falls

$$A = \frac{11}{3}, \quad B = 9$$

die Koeffizienten von dA und dB der Grössenordnung nach etwa:

$$\frac{1}{100} \text{ bis } \frac{1}{1000} \text{ sind.}$$

Der Fehler ist aber wenigstens $\frac{1}{10}$, so dass A und B kleiner als $\frac{11}{2}$ bezw. 9 sein müssen.

Bei dieser Stufe können sich Kohlenstoff und Wasserstoff als Kohlenwasserstoff entfernen.

Ferner folgt aus den oben angeführten Daten, dass unter Umständen beim Sphagnumtorf die Methanausscheidung vollkommen in den Hintergrund tritt, und erst Kohlensäure und dann später beinahe ausschliesslich Wasser entweicht.

Die Zahlen, an welchen wir unsere Berechnung geprüft haben, sind nicht für diesen Zweck experimentell ermittelt worden; es müssten für weitere Schlüsse Elementaranalysen nebst botanischer Untersuchung in verschiedenen Torflagen vorgenommen werden.

Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die Versuche

von Sven Oden[1]) und Keppler[2]), welche beide experimentelle Methoden zur Bestimmung des Vertorfungsgrades vorgeschlagen haben.

Diese Methoden haben einen qualitativen Charakter, da ja kein absoluter Masstab für die Zersetzung vorhanden ist. Aber zusammen mit dem oben angeführten werden sie hoffentlich dazu beitragen, in den Vertorfungsvorgang Klarheit zu bringen.

Zusammenfassung.

1. Es wird gezeigt, dass bei der Vertorfung sich sowohl Wasser wie Kohlensäure bilden muss, und zwar zeitlich so, dass am Anfange mehr CO_2 und später mehr H_2O entsteht.
2. Es wird eine Formel aus den Ergebnissen der Elementaranalysen für den Vertorfungsgrad abgeleitet, die zum Teil eine gute Uebereinstimmung mit der Erfahrung zeigt.
3. Die vorkommenden Abweichungen werden durch Entstehung von Kohlenwasserstoffen bei der Vertorfung erklärt.

---

1) Mellin, Oden. Kalorimetr. Untersuchungen über Humus und Humifizierung. Sveriges geol. årsbok 10, 1916, № 4.

2) Keppler. Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur Berlin, Heft 1, 1920.

Berichtigungen.

Auf Seite 5 steht: Donath[3]) — es soll sein: Schrader.

„ „ 5 „ intermolekulare Zersetzung — es soll sein: intermolekulare Zersetzung[3]).

„ „ 9 „ Y % Kohlenstoff und Z % Wasserstoff — es soll sein: y % Kohlenstoff und z % Wasserstoff.

„ „ 10 „ 10) $dB = \frac{9m + 11n}{m} \frac{d(Bc)}{300}$.

— es soll sein: 10) $dB = \frac{9m + 11n}{n} \frac{d(Bc)}{300}$.

„ „ 15 „ n = ca. 20 %, — es soll sein: n = ca. 20.

EESTI DIKTÜONEEMA-KIHI UURIMINE

TEMA TEKKIMISE, VANADUSE JA LEVIMISE KOHTA

A. TAMMEKANN

DEUTSCHES REFERAT:

UNTERSUCHUNG DES DICTYONEMA-SCHIEFERS IN ESTLAND
NACH ENTSTEHUNG, ALTER UND VERBREITUNG

DORPAT 1924

K. Mattiesen, Tartus

Sissejuhatus.

Viimaste aastate jooksul on laiemalt tuttavaks saanud nn. „Kukruse põlevkivi“ kihid, mis moodustavad ühe osa Põhja-Eesti ordoviitsiumi ladestusse kuuluvast Kukruse lademest. Neid kihte on ka juba suureviisilisemalt kasutama hakatud, ning laialisis kaevikuis avanenud kunstlised paljastused on pakkunud ühtlasi häid võimalusi Kukruse lademe uurimiseks stratigraafilises ja paleontoloogilises suhtes. Hoopis vähem tuntud, uuritud ja alles kasutamata on aga geoloogilise ea poolest vanem ja sügavamal lasuv teine Eesti „põlevkivi“ kiht — nn. diktüoneema-kildkivi, mille üksikasjalisem uurimiskatse ongi käesoleva töö aineks. Sarnane katse oleks ühendavaks sidemeks meie alam-ordoviitsiumi kohta käivate uurimuste reas, sest nii diktüoneema-kihi alloleva kui peallasuva kihtide kohta on juba olemas üksikasjalised monograafiad (Mickwitz'i ja Lamanski omad), kuna puudulikumalt on käsitatud diktüoneema-kihti ennast. Põhjuseks on siin arvatavasti selle kihi vähene fossiilide sisaldus, mis ei paku mingid väljavaateid stratigraafilis-paleontoloogilise uurimise jaoks, missugust metoodi tarvitasid eelnimetatud uurijad. Siin võimaldavad otsuste ja järelduste tegemist ainult kihi petrograafiline iseloom ning vahekord naabruskihtidega.

Diktüoneema-kildkivi asub umbes kambriumi ja alam-ordoviitsiumi piiril*) ja avaneb sellepärast Eestis ainult Põhja-Eesti paekalda alumises osas, või selle kõige lähemas ümbruses. Selgeid ja head ülevaadet pakkuvaid paljastusi on paeseinas võrdlemisi vähe, iseäranis selle alumises osas, mis on enamasti rusu ja taimkatte all. Teiseks on kihi kasutamine suurte kulude ja

*) Tema geoloogilise ea küsimus tuleb eespool erilise harutuse alla.

raskustega ühendatud, sest teda katavad tüsedad lubjakivi lademed, kuna ta oma tüsedus on võrdlemisi väike. Need asjaolud on põhjuseks, et diktüoneema-kildkiviga seni nii vähe tegemist on tehtud, pealegi on meil käepärast Kukruse põlevkivi, mis suudab esialgu kõiki nõudeid rahuldada, ja alles selle lademe otsalõppemisel asutakse vahest diktüoneema-kildkivi kasutamisele.

Käesoleva kirjutuse tähtsamaks osaks on uuritava kihi üksikasjalikum stratigraafiline kirjeldus, milleks on kogutud materjali rohkearvuliste vaatluste ja uurimiste kaudu kohtadel, ning kontrollitud ja täiendatud seda materjali kirjanduses seni ilmunud vaatluste ja otsustega. Võrreldes sel teel saadud andmeid Eesti lähemas ja kaugemas naabruses olevate samalaadiliste lademeiga, püüti teha otsusi kihi tekkimise ja vanaduse kohta ning kindlaksmäärata tema levimispiire.

Selle kirjutuse ilmumist on võimaldanud peaasjalikult minu lugupeetud õpetaja, geoloogia dotsendi Dr. H. Bekker'i vastutulelikkus ja lahke kaasabi, mille eest võlgnen talle kõige tõsisemat tänu.

Kokkuseadja.

Tartus, 1923.

Kirjandus.

1. W. A. Hupel. 1774. Topographische Nachrichten von Lief- und Estland, II. Bd., p. 530—536, Riga.
2. J. B. v. Fischer. 1778. Versuch einer Naturgeschichte von Livland. I. Aufl. Leipzig 1778, 2. Aufl. Königsberg 1791.
3. J. G. Georgi. 1798. Geographisch-physikalische und naturhistorische Beschreibung des russischen Reiches. III. Theil, Königsberg.
4. В. В. Севергинъ. 1809. Опытъ минералогическаго описанія Россійскаго государства. Ч. I. и II, СПБ.
5. G. v. Helmersen. 1838. Der in Estland bei Fall und Tolks entdeckte brennbare Schiefer. Горн. Журн. 1838, III, p. 258—265.
6. — 1839. Über den bituminösen Thonschiefer und ein neuentdecktes brennbares Gestein im Übergangskalke Estlands. Bull. de l'Acad. des sc. St.-Petersburg, T. V, p. 56—73.
7. E. v. Eichwald. 1840. Fossile Reste in Übergangskalk von Estland und Odinsholm. Leonhard's und Bronn's Neues Jahrb. etc. p. 93—94.
8. —1840. Записка о геогностическихъ изслѣдованіяхъ по берегамъ и на нѣкоторыхъ островахъ Финскаго залива. Первобытный міръ Россіи, тетр. I, СПБ., p. 1—15.
9. — 1840. Über das silurische Schichtensystem in Estland, St.-Petersburg.
10. — 1842. Neuer Beitrag zur Geognosie Estlands und Finnlands und über die Obolen und den silurischen Sandstein von Estland und Schweden. Die Urwelt Russlands, II, St. Petersburg.
11. A. Osersky. 1844. Geognostischer Umriss des nordwestlichen Estlands. Verhandl. d. miner. Ges. St. Petersburg, p. 105—164.
12. R. J. Murchison, E. de Verneuil, A. v. Keyserling. 1845. Geology of Russia in Europe and the Ural Mountains. Vol. I. Geology, London. Vol. II. Paléontologie, Paris.
13. Fr. Schmidt. 1858. Untersuchungen über die silurische Formation von Estland, Nord-Livland und Oesel. Archiv f. Naturkunde Liv-, Est- u. Kurlands, Dorpat, I. Serie, II. Bd., p. 1—247. Nachträge ib., p. 465—474.
14. J. Bock. 1869. Geognostische Beschreibung des untersilurischen und devonischen Systems im Gouv. St.-Petersburg. Матеріалы для геологіи Россіи, I. p. 101—189.
15. A. Kupffer. 1870. Über die chemische Constitution der baltisch-silurischen Schichten. Archiv f. Naturk. Liv-, Est- u. Kurl., Dorpat, I. Serie, V. Bd., p. 69—194.

16. G. Linnarson. 1873. Über eine Reise nach Böhmen und den russischen Ostseeprovinzen im Sommer 1872. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 1873, p. 675—698.
17. C. Grewingk. 1879. Geognostische Karte der Ostseeprovinzen Liv-, Est- u. Kurland, 2. Aufl., 1 : 600.000. Erläuterungen dazu: Archiv f. Naturk. etc. Dorpat, I. Serie, VIII. Bd., p. 1—123.
18. Fr. Schmidt. 1879. Взглядъ на новѣйшее состояніе нашихъ познаній о силурійской системѣ СПБ. и Эстляндской губ. и о-ва Эзеля. Труды СПБ. О-ва естествоиспыт. X, p. 42—48.
19. — 1882. On the Silurian and Cambrian Strata of the Baltic provinces of Russia as compared with those of Scandinavia and the British Isles. Quart. Journ. Geol. Soc. London, p. 514
20. — 1882. Revision der ostbaltischen silurischen Trilobiten. Lief. I: Allgemeine geognostische Übersicht. Mém. de l'Acad. St. Petersburg, VII. Serie, T. XXX, № 1.
21. W. C. Brögger. 1882. Die silurischen Etagen 2 und 3 im Christiania-Gebiet. Christiania.
22. G. Holm. 1884. Сравненіе шведскихъ и восточно-балтійскихъ силурійскихъ и послѣтретичныхъ отложеній, основанное на геологическихъ экскурсіяхъ въ Эстл., Лифл. и СПБ. губ. въ 1883 и 1884 г. Изв. Геол. Ком. СПБ., III, p. 297—319.
23. — 1885. Beitrag zur Kenntnis der Quartär- und Silurbildungen der ostbaltischen Provinzen Russlands. Verh. Miner. Ges. St. Petersburg, N. S. XXII.
24. V. Rohon u. K. v. Zittel. 1886. Über Conodonten. Sitzber. d. Akad. d. Wiss. München, p. 108—136.
25. A. Karpinsky. 1887. Zur Geologie des Gouv. Pskov. Bull. de l' Acad. St. Petersb., XXXI, p. 473—484.
26. J. C. Moberg. 1890. Om en afdelning inom Ölands Dictyonemaskiffer såsom motsvarighet till Ceratopygeskiffern i Norge etc., Sveriges Geol. Undersökning, Ser. C. № 109.
27. — 1890. Om gränsen mellan Sveriges undersilur och kambrium. G. F. F. XII, p. 447—450.
28. — 1891. Om ett par synonymier. G. F. F. XIII, p. 215.
29. A. Karpinsky. 1892. Über das Vorkommen untersilurischer und cambrischer Ablagerungen im Gouv. Minsk. Bull. de l'Acad. St. Petersburg, Nouv. Série, III (XXXV) Nr. 1, p. 3.
30. B. Lundgren. 1894. Ännu en gång ett par ord om namnet Dictyonema. G. F. F. XVI.
31. A. Karnožitsky. 1895. Геологическія изслѣдованія въ юго-западной части Витебской губ. и въ сѣверныхъ частяхъ губ. Минской и Могилевской. Мат. для геол. Россіи, T. XVII, p. 113—132.
32. J. G. Andersson. 1896. Über Cambrische und Silurische phosphoritführende Gesteine aus Schweden. Bull. Geol. Inst. Upsala, II.
33. A. Mickwitz. 1896. Über die Gattung Obolus Eichw. Mém. de l' Acad. St. Petersburg, Sér. VIII, T. IV, Nr. 2.
34. J. C. Moberg. 1900. Nya bidrag till utredning af frågan om gränsen mellan undersilur och kambrium. G. F. F. XXII, p. 523—540.

35. W. W. Lamanski. 1901. Изслѣдованія въ области балтійско-ладожскаго глинта лѣтомъ 1900 г. Изв. Геол. Ком. СПБ. XX, p. 233—275.
36. — 1901. Neue Beiträge zur Vergleichung des ostbaltischen und skandinavischen Unter-Silurs. Centralbl. f. Miner., 1901.
37. — 1905. Древнѣйшіе слои силурійскихъ отложеній Россіи. Труды геол. ком. СПБ., Нов. сер., вып. 20.
38. A. H. Westergård. 1909. Studier öfver Dictyograptusskiffern. Meddel. från Lunds Geol. Fältklubb, Ser. B., nr. 4, Lund.
39. R. S. Bassler. 1911. The early palaeozoic Bryozoa of the Baltic Provinces. Smithsonian Inst. U. S. Nat. Mus., Bull. 77.
40. Br. Doss. 1912. Über die Herkunft des Naturgases auf der Insel Kokskär im Finnischen Meerbusen. Centralbl. f. Miner., 1912.
41. — 1913. Über die Herkunft des Naturgases auf der Insel Kokskär im Finnischen Meerbusen, nebst Bemerkugen über die Entstehung der Insel. Ib., 1913, p. 601—610.
42. A. v. d. Pahlen. 1913. Erwiderung auf B. Doss' Bemerkung zu den geologischen Verhältnissen auf der Insel Kokskär. Reval.
43. L. F. Fokin. 1913. О строеніи и продуктахъ распада битуминозныхъ горныхъ породъ Эстляндіи. Горн. Журн. LXXXIX, т. II, p. 137.
44. Br. Doss. 1915. Nochmals die geologische Natur der Insel Kokskär. Eine Erwiderung an Bar. v. d. Pahlen. Korr.-Bl. Naturforsch. Ver. Riga, LVII, p. 34, 96—120.
45. N. Pogrebov. 1916. О находкѣ асфальтообразнаго минерала въ нижнемъ силурѣ Эстляндской губ. Геол. Вѣстн. II, p. 143—144.
46. — 1916. Артезіанская буровая скважина близъ Гапсаля. Геол. Вѣстн. II, p. 197.
47. P. E. Raymond. 1916. The Correlation of the Ordovician Strata of the Baltic Basin with those of eastern North-America. Bull. Mus. Compar. Zool. at Harv. Coll., Vol. 56, № 3, p. 198.
48. H. v. Winkler. 1916. Объ эстляндскомъ диктіонемовомъ сланцѣ. Вѣстн. прикл. химіи, Москва, I, p. 289—290.
49. A. H. Westergård. 1917. Notiser rörande dictyograptusskiffern. G. F. F. XXXIX, p. 635.
50. S. W. Wjachirew. 1917. Къ вопросу объ использованіи горючихъ сланцевъ южнаго побережья Финскаго залива въ продуктахъ, полученныхъ при сухой ихъ перегонкѣ. Вѣстн. Инженеровъ, III, p. 202—206.
51. E. v. Koken. 1918. Estland und die Insel Oesel. Der Geologe, Nr. 22, p. 395—402.
52. F. Beyschlag u. L. v. z. Mühlen. 1918. Die Bodenschätze Estlands. Zeitschr. f. prakt. Geologie, XXVI, p. 141—150.
53. H. Rosen. 1918. Die Bodenschätze Estlands. Die Ostsee, I, p. 9—12.
54. F. M. Behr. 1919. Die Vorkommen von Erdöl, Erdölgas und Brandschiefer in den baltischen Provinzen. „Petroleum" XIV, p. 1—16.
55. N. Pogrebov. 1919. Прибалтійскіе горючіе сланцы. „Естеств. произв. силы Россіи" т. IV.
56. G. v. Doepp. 1919. Über die technische Verwendung der baltischen Brennschiefer. Zeitschr. f. Dampfkessel- u. Maschinenbetrieb, 1919, Nr. 36, p. 273—275; Nr. 37, p. 283—286.

57. H. v. Winkler. 1921. Über Umfang und Abbauwürdigkeit estländischer Bodenschätze. Mitteil. Geol. Inst. Univ. Greifswald., III.
58. C. Gäbert. 1921. Über die Oelschiefer in Estland. „Braunkohle", Halle, Nr. 48 u. 49, p. 597—625.
59. H. Bekker. 1921. The Kuckers Stage of the Ordovician Rocks of NE Estonia. Acta et Comment. Univ. Dorpat. A II, Nr 1.
60. H. v. Winkler. 1922. Eestimaa geoloogia, I. Tallinna.
61. H. Bekker. 1922. Ülevaade Eesti ordoviitsiumi ja siluuri kohta käivatest uurimistest. „Loodus" nr. 3—4, Tartu.
62. A. H. Westergård. 1922. Sveriges olenidskiffer. I. Utbredning och lagerföljd. II. Fauna. 1. Trilobita. S. G. U. Ser. Ca № 18, Stockholm.

1. Ajalooline ülevaade.

Kõige esimesi märkusi Eesti diktüoneema-kildkivi ja tema naabruskihtide kohta leiame XVIII. aastasaja lõpul ilmunud Hupeli (1), Fischer'i (2) ja Georgi (3) töist. Hupel kirjutab (1, II, p. 533): „Durch Arsenik, Eisen und Kupfer mineralisierter Schwefelkies am häufigsten bey dem baltischen Haven, sonderlich etliche Werst davon unter dem Gut Leetz, theils im Wasser, theils im Sande am Ostseestrand“, (p. 535): „bey Reval am Seestrande wird mineralischer Markasit mit kleinen Würfeln in flachen arsenikhaltigen Schwefelkiesen gefunden,“ (p. 536): „Loser schwarzer Schiefer, schwarze Kreide; sehr weich, leicht, mit Untermischungen von gelben und brandgelben Ton. Man findet ihn bey Reval“. Sedasama kordab ka Fischer ja lisab veel 737 lk.: „Sonst findet man auch im Domberge unter dem kalkartigen Flözwerk einen harten, dunkelschwarzbraunen Schiefer, der in zolldicke Tafeln zerfällt, ingleichen einen schwarzbraunen Schiefer, der ziemlich locker und mit Schwefel fein durchgeadert ist. Ingleichen am harrischen Seestrande einen lockeren aus dünnen Blättern bestehenden Schiefer.“ — Georgi (3) nimetab, arvatavasti Hupeli järele, pikkas mineraalide reas muuseas „Schwarzer und schwärzlicher mürber trockner Schiefer bey Reval am Harrischen Strande,“ ja edasi „bläulich-schwarzer Schiefer in den Revalschen Flözen.“ — Ssevergin (4) teatab juba kildkivi põlemisest: „Въ заключеніе надлежитъ мнѣ также упомянуть о дымящейся горѣ въ сей (Эстляндской) губерніи, открывшейся при концѣ 1807 года. Оная находится около 20 верстъ отъ Ревеля къ юго-западу, въ 180 саж. отъ Суропскаго маяка... Въ разженномъ или воспаленномъ состояніи находился собственно оный горючій шиферъ, загорѣвшійся, какъ сказываютъ, случайно отъ неосторожнаго раскладыванія огня пастухами въ семъ мѣстѣ.“ Ssevergin kirjeldab ka juba kihtide järjekorda paeseinas: „Съ низу начиная отъ при-

лежащаго болота состоитъ она (гора) изъ глинъ съ рѣдковкрапленнымъ колчеданомъ, потомъ слѣдуетъ песчаный камень, выше горючій шиферъ, а на вершинѣ известной камень слоистый."

1839 a. tuli Keila-Joal diktüoneema-kildkivi põlevus juhuslikult avalikuks ja mõisa omanik krahv Benkendorff saatis kildkivi proove Peterburi, tema tehnilise väärtuse järelekatsumiseks. Seal leiti ta kütteaineks kõlbmatu olevat, liig suure järelejäägi tõttu (75%) põlemisel. Helmersen sõitis Keila-Joale, et koha geoloogilist ehitust lähemalt järeleuurida ja teeb sellel puhul mõnesuguseid teraseid tähelepanekuid kildkivi kohta (5,6).

1839 a. toob Murchison nn. „Übergangsgebirge" uue liigituse, jagades neid kaheks pea ladestuks: siluuri ja devooni süsteemiks, ning kummagi veel reaks vähemaiks üksusiks. Meie uurijad püüavad nüüd teha sedasama meie paekalda lademeiga ja sarnastada neid Inglismaa omadega. Kohe peale Murchison'i töö ilmumist määrab L. v. Buch temale saadetud kivindite põhjal meie paekalda lademed siluur-ladestu hulka, ja samal ajal paralleeliseerib E. v. Eichwald (8,9) paekalda ülemist osa moodustavat lubjakivi Murchisoni Ludlow- ja Wenlock-lubjakividega, ning selle all olevat diktüoneema-kildkivi Wenlock-kildkiviga. Eichwald tarvitas siin ainult petrograafilisi ja stratigraafilisi analoogiaid, jättes tähelepanemata suuri lahkuminekuid kivindites ning jõudis sellepärast eksiotsusele. Diktüoneema-kildkivi kohta tähendab ta muu seas (8), et kildkivi on küll läbiimbunud põlevate ainetega, kuid põleb liig aeglaselt ja tekitab palju väävli aurusid, nii et teda ei saa tarvitada kivisõe asemel, nagu seda on püütud teha Tallinna-Haapsalu maantee äärses Püharistі kõrtsis. Kivindina nimetab Eichwald *Gorgonia flabelliformis*'t, mille ta esimesena Eesti kildkivis ülesleidis, ja seab selle nn. „taimloomade" (antozooide) hulka.

Osersky (11) õiendab Eichwaldi stratigraafilisi paralleele meie ja Inglismaa siluur-lademete vahel sellega, et võrdleb meie obolus-liivakivi, diktüoneema-kildkivi ja glaukoniit-liiva Inglise Caradoc-liivakividega, kuna sinisavile vastaksid Llandeiloflags. Kuid ka Osersky märkab suurt lahkuminekut kivindite sisalduses. Osersky oli ühtlasi esimene, kes pani tähele Baltiski poolsaarel konglomeraati obolus-liivakivi ja valge räni-liivakivi vahel.

1840. ja järgnevail aastail käis Murchison ühes Verneuil'i ja Keyserling'iga Venemaa geoloogiat uurimas, peatades muu seas ka Eestis. Selle töö viljana ilmusid esimesed Venemaa geoloogilised kaardid, mis olid muidugi sedavõrt üldised ja väiksemõõdulised, et neil ei tulnud esile seesugused peenused, nagu diktüoneema-kiht.

1845 a. ilmus Murlhison'i uurimisreisu saavutusena „The Geology of Russia in Europe and the Ural Mountains" (12), mille paleontoloogilise osa kirjutas Verneuil. Töö laiaulatuslise ja üldise iseloomu tõttu leiab Eesti diktüoneema-kiht selles ainult kõige pealiskaudsemat nimetamist, kuna paleontoloogilises osas puudub kihi iseloomuline kivind täiesti.

1854 a. kirjeldab Eichwald veel kord üksikasjalisemalt Eesti siluur-lademeid. Selle järele on meie maa geoloogiline uurimine jõudnud teatud lõppstaadiumi, sest kasutatud ja läbitöötatud on kõik andmed, mis saavutatud esialgseil, pealiskaudseil seni ainult paekaldal toimetatud uurimisil. Grewingk avaldas 1855 a. sellè töö lühikese kokkuvõtte. Nüüd tõusis tarvidus eriliste, üksikasjalisemate stratigraafiliste ja paleontoloogiliste uurimiste järele, et nende abil meie lademeid täies ulatuses ja võimalikult peenelt liigitada ning võrrelda teiste maade samalaadiliste moodustustega. Sarnase töö võtab esimesena käsile Fr. Schmidt, ja 1858 a. ilmunud kirjutuses (13) leiame juba pikemaid kirjeldusi iga üksiku lademe petrograafia ja kivindite kohta. Muu seas on nimetatud ka diktüoneema-kihi tähtsamad avamused, tüsedus, kivindid ja mineraal-sisaldused. Schmidt peab meie diktüoneema-kihti Rootsi samalaadilise kihi jatkuks. Kildkivi kasutamise kohta tähendab ta, et seni pole sellega mingid vastavaid katseid tehtud.

1868 a. laiendab Bock (14) Schmidt'i tööd ka Peterburi kubermangu kohta. Uudisena leiab ta diktüoneema-kihis konodonte. A. Kupffer (15) analüüsib 1870 a. meie lademete, muu seas ka diktüoneema-kildkivi keemilist koosseisu ja teeb sel puhul rea täpsaid profiilide mõõtmisi.

Sel ajal võtab iseäralist hoogu Rootsimaa geoloogiline uurimine, ja Rootsi õpetlased käivad ka meie maal, et koguda andmeid meie ja Skandinaavia lademete võrdlemiseks. G. Linnarson paralleeliseerib omas reisikirjelduses (16) meie diktüoneemakihti Rootsi Olenus-kildkiviga, millele omalt poolt vastaksid Inglise „Lingula-flags". Schmidt teeb vastu-reise Skandinaaviasse

ja avaldab selle tagajärjena Eesti siluur-ladestu uue liigituse, mis ilmus umbes ühel ajal Vene, Saksa ja Inglise keeles (18, 19, 20). Selles töös tunnistab Schmidt oma endised andmed diktüoneema-kildkivis sisalduvate graptoliitide kohta tühjaks ja nimetab *Dictyonema flabelliforme* kõrval ainult graptoliiti *Bryograptus Kjerulfi*. Diktüoneema-kihti paralleeliseerib Schmidt Rootsi ja Norra samanimelise kihiga, mis moodustab ülemise osa nn. Olenus-kildkividest. Inglismaal vastaks meie kihile Malvern Hilli Lingula-flags ülemine osa (Festiniog group).

Schmidt'i uus liigitus on läbiviidud ka teise trükina ilmunud Grewingk'i geoloogilisel kaardil (17).

Mõni aasta hiljem käis teine Rootsi geoloog G. Holm Eestis ja avaldas oma vaateid meie ja Rootsi lademete vahekorra kohta (22), mis sarnanevad üldiselt Linnarson'i ja Schmidt'i omadega. Samal ajal ilmus ka Brögger'i põhipaneva tähtsusega töö Norra kambro-siluuri kohta (21).

A. Mickwitz'i poolt sinisavis leitud alam-kambriumi fauna jäänused võimaldasid ka selle lademe sarnastamist teiste maade alam-kambriumi (Olenellus) lademeiga. Meie ja Skandinaavia geoloogide seas tõuseb elav huvi nende kõigevanemate lademete vastu, mille tagajärjena ilmub rida sellekohaseid töid (26, 27, 32, 34). Diktüoneema-kiht saab elava diskussiooni aineks, kord asetatakse ta kambriumi, kord alam-ordoviitsiumi ladestu hulka. Ilmub tendents võtta üksikut ladet või kihti põhjalikuma erilise uurimise aineks ja selgitada ta tekkimist ning vanadust. Sarnase uurimise osaliseks on saanud meie lademeist obolus-liivakivi A. Mickwitz'i (33) ja B-lade Lamanski poolt (37). Viimane diskuteerib ühtlasi pikemalt ordoviitsiumi ajastu algusel meie maal ja ümbruskonnas valitsenud füüsilis-geograafilisi tingimusi, randjoone nihkumisi, mere transgressioone ja regressioone.

Laiemat mõttetevahetust tekitab huvitav gaasi allikas Keri saarel, mida seatakse ühendusse diktüoneema-kildkiviga (40, 41, 42, 44).

Suure ilmasõja ajal tekkinud kütteainete ja õlide puudus sundis Vene valitsust pöörama tähelepanu Eesti õlikivide, muu seas ka diktüoneema-kildkivi peale, ning võeti ette rida sellekohaseid uurimisi (43, 48, 50, 55). Tööd jatkasid okkupatsiooni ajal Saksa sõjageoloogid, kes on hiljem avaldanud terve rea kirjutusi (52, 53, 54, 56, 58).

Kõige uuemaist töist Eestimaa geoloogia kohta tuleks nimtada Raymond'i (47), Bekker'i (59, 61) ja Winkler'i (57, 60) omasid. Kahe esimese autori töis on põhjendatud Eesti lademete nus otstarbekohasem liigitus. Diktüoneema-kihti on neis puudutatud ainult möödaminnes.

2. Põhja-Eesti paekalda moodustavate kambriumi ja alam-ordoviitsiumi lademete ülevaade.

Põhjapoolse osa Eestist moodustav madal, kergesti lainjas lausmaa, mille relieefis on tooniandjad aluspõhjaks olevad tasased siluuri ja ordoviitsiumi paelademed, kuna kvartäär-moodustusil on ainult kõrvaline tähtsus — lõpeb põhjas, Soome lahe rannikul, järsu astanguga, mida nimetatakse paekaldaks ehk klindiks, ja mis on arvatavasti pärit osalt postglatsiaalsest Ancyluse ja Litorina transgressiooni ajast, osalt aga moodustatud retsentsest abrasioonist. Nagu teada, ulatas postglatsiaalne meri praeguse Soome lahe piiridest hoopis kaugemale idasse ja selle tõttu jatkub ka paekallas, ehk küll ebaselgemal kujul, üle Narva edasi Peterburi kubermangu, Laadoka järve lõunakaldast mööda umbes kuni Äänisjärveni. Et see paekallas on kogu omal ulatusel ühtlase ehitusega ja arvatavasti ka ühtlase geneesiga, siis pani Lamanski 1901 a. ette (35) nimetada teda Balti-Laadoka paekaldaks (klindiks). Seda nimetust soovitab Lamanski tarvitada nii morfoloogilise kui stratigraafilise terminina, sest paekalda moodustamisest võtab osa enamasti üks ja sama kindel lademete kompleks. Nende lademete üldine lang on edelasse, sellepärast asuvad nad idas kõige kõrgemal tasemel, ning kaovad läänes pikkamööda Läänemere pinna alla. Kõige täielikuma läbilõike lademeist saame järjelikult paekalda idaosas, näiteks Lamanski poolt detailselt uuritud Volhovi jõe orus, kuna äärmises lääneosas (Osmussaarel) ulatuvad üle merepinna ainult kõige ülemised lademed. Ka on häid ja täielikka läbilõikeid Kirde-Eestis, Alutaguse rannikul — Aseril, Ontikal, Päitel.

a) Kambrium.

Paekalda läbilõikeis näeme selle jalal nn. „sinisavi“ (Schmidti A, lade), mis oma ülemises osas sisaldab

rohkesti liivaseid vahekihte ning läheb viimati üle muutliku petrograafilise iseloomuga savikaks liivakiviks. Kogu kompleks on vahelduvat rohekas-sinist või halli värvi ja ilmub läänes nähtavale üle merepinna umbes Tiskri ja Kakumäe kohal, kuid siin on näha ainult ülemisi liivaseid kihte. Samuti on lugu ka Tallinnas, Suhkrumäel. Päris sinisave klassiliseks leiukohaks on Kunda, kus ta tõuseb umbes 20 m üle merepinna ja kus teda kaevatakse tsemendi tööstuse jaoks. Peterburi kubermangus moodustab ta paekalda jalal alluviaal-kuhjatisiga kaetud laiema tasase ala ja ulatub tõenäoliselt kuni Karjala poolsaareni.[1])

Sinisave kogupaksus arvatakse 90 — 100 m olevat, ja ta omab ka alumises osas rohkeid liivaseid vahekihte ning läheb lõpuks üle valgeks räni-liivakiviks, mille all on konglomeraadid ning viimati gneiss-alusrüngas. Nii tuleb sinisavi lugeda primäärseks kambriumi lademeks.

Väheseid orgaanilisi jäänuseid on leitud ainult ülemisis liivakais kihtides, ja need annavad põhjust võrrelda meie sinisavi (vähemalt tema ülemisi kihte) teiste analoogiliste alade alam-kambriumi või olenellus-kihtidega (Rootsi eofüüton-liivakivi).

Sinisavi ülemised liivased kihid lähevad ilma järsu piirijooneta üle helekollaseks, paiguti valgeks puhtaks räni-liivakiviks (Schmidti A_2 alumine osa), mis ei sisalda mingid kivindeid, ja mida tuleb pidada selletõttu rannaäärseks või mandrimoodustuseks (luited!). Teda paralleeliseeritakse Rootsi fukoidliivakiviga, mis on samalaadilise petrograafilise iseloomuga ja lasub eofüüton-liivakivil.

b) Alam-ordoviitsium.

Valge räni-liivakivi pealispind on erodeeritud ja kuivamispragudest lõhestatud, ning kaetud sama liivakivi munakaist konglomeraadiga, mille ühendusaineseks on peallasuv obolusliivakivi, brahiopoodi *Obolus apollinis* Eichw. rohkearvuliste jäänustega, mis enamasti purustatud ja segipaisatud. Kõik see on uueks meretransgressiooni tundemärgiks peale kauakestnud mandri-ajajärku ning siit tuleks õieti ordoviitsiumi algust lugeda[2]). Kõige vanemaks ordoviitsiumi lademeks oleks sel korral obolus-

1) W. Ramsay, Om ett sannolikt fynd af kambrisk lera i Viborgs län. Fennia 19, nr. 3, 1903.

2) Võrdle Moberg'i (34), Lamanski (37) ja Bekkeri (61) töid.

liivakivi (Schmidti A_2 ülemine osa), mis algab eelnimetatud konglomeraadiga ja kujutab enesest punakas- või kollakas-pruuni, paiguti kõva, paiguti kergesti pudenevat räni-liivakivi, mis näitab kohati põimjat kihilisust (Luuga jõe kaldal Jamburi lähedal) ja sisaldab rohkeid õhukesi diktüoneema-kildkivi vahekihte. Obolus-karpe on iseäranis rohkesti lademe ülemises osas, moodustades siin paiguti vosvoririkkaid obolus-lasusid (Iru, Ülgase).

Õhuke kiht püriidi- või markasiidiga tihedasti läbiimbunud liivakivi eraldab obolus-ladet järgnevast diktüoneema-kildkivist (Schmidti A_3), mille üksikasjalisem kirjeldus ongi käesoleva töö peaaineks.

Diktüoneema-kihil lasub esiteks õhem kiht rohelisi glaukoniit-teri sisaldavat savikat liiva, mis muutub ülevalpool mergliks ja viimati kõvaks paksupangaliseks lubjakiviks. See sisaldab samuti glaukoniit-teri, allpool õige rohkesti, ülevalpool ikka harvem ja harvem, kuni need viimati täiesti kaovad. Selgeks piiriks selle glaukoniit-lubjakivi ja järgneva vaginaat-lubjakivi vahel on õhuke kiht savikat konglomeraatset lubjakivi, peaaegu merglit, mis on tihedasti täidetud rohkete pruunide läätsekujuliste raua-oksüüdi terakestega ja kannab sellepärast alumise läätskihi[1]) nime. See on jällegi madalmere või rannaäärne moodustus, mida tõendab kihi enese liivakas koosseis, siis Lamanski poolt leitud erosiooni jäljed allolevas glaukoniit-lubjakivis ning paiguti alumise läätskihi aset täitev konglomeraat glaukoniit-lubjakivi munakaiga.

Paekalda ülemise osa moodustavad nimetatud vaginaat-lubjakivi ja sellel lasuv-ehinosfäriit-lubjakivi. Nende vaheliseks piiriks on ülemine läätskiht.

Diktüoneema-kildkivi katvate lademete liigituse ja rühmitamise asjus on geoloogide vaated lahku läinud. Schmidt nimetab 1858 a. (13) ainult kolme ladet: glaukoniit-liiv (Grünsand), glaukoniit-lubjakivi (Chloritkalk) ja vaginaat-lubjakivi (Vaginatenkalk). 1881 a. jagab ta (18) vaginaat-kihi päris vaginaat-lubjakiviks ja ehinosfäriit-lubjakiviks, ning võtab lademete tähendamiseks tähtede süsteemi tarvitusele (A — kambrium, B_1 — glaukoniit-liiv, B_2 — glaukoniit-lubjakivi, B_3 — vaginaat-lubjakivi,

1) Läätskihte on paekaldas kaks: alumine — glaukoniit-lubjakivi ja vaginaat-lubjakivi vahel, ning ülemine — viimase ja ehinosfäriit-lubjakivi vahel.

C_1 — ehinosfäriit-lubjakivi). Hiljem jaotab ta kivindite põhjal glaukoniit-lubjakivi veel kaheks ala-lademeks: B_2a — Planilimbata — ja B_2b — Expansus-lubjakivi, ning eraldab alumise ja ülemise läätskihi iseseisvaiks lademeiks (B_3a, C_1a), Lamanski detailsed stratigraafilised ja paleontoloogilised uurimised (37) tõid esile B-lademe uue liigituse, mis on läbiviidud peaasjalikult kivindite vertikaalse levimise seisukohalt. Kõige uuem, Raymondi ja Bekkeri liigitus põhjeneb jällegi enam petrograafilisel alusel, kuna nimetatud autorid ühendavad glaukoniit-liiva ja lubjakivi Baltiski lademeks, ning alumise läätskihi ühes vaginaat-lubjakiviga Kunda lademeks. Ülemine läätskiht ühes alumise osaga ehinosfäriit-lubjakivist kannavad Bekker'il Aseri lademe nime (Raymond'i Dubowiki-formatsioon).

3. Diktüoneema-kihi üksikasjalisem stratigraafiline kirjeldus.

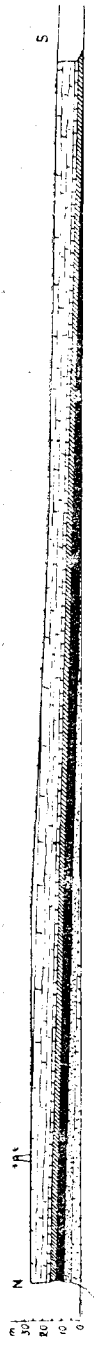
Nagu eelnevast lühikesest ülevaatest selgub, on diktüoneema-kiht maetud tüsedate liiva- ja lubjakivi-lademete alla ja tuleb päevavalgele ainult läbilõikeina paekaldas ning sellesse uuristunud jõeorgude veerudes. Kus mannerjää tegevuse või postglatsiaalse mere abrasiooni või jõgede uuristuse tagajärjel paekallas on langenud üksikuiks maadalamaiks astanguiks, või sellest on eraldunud saarelaadilised osad (Tallinna Toompea, Viimsi, Aseri), seal ilmub diktüoneema-kiht paiguti maapinna lähemale või moodustab vähemal ulatusel koguni astangu pealispinna.

Diktüoneema-kihi esimesed jäljed ilmuvad läänes Osmussaare ja Hiiu-Ristna nina rannal, laineist kaldale heidetud tükkide ja kildude näol. Kiht ise asub siin 4—6 m merepinnast madalamal ja moodustab tõenäoliselt merepõhja. Ka Suure- ja Väike-Pakri saarte põhjapoolsel pankrannikul on kiht merepinna all ja ilmub nähtavale alles vastasoleva Baltiski poolsaare rannikul. See koht on diktüoneema-kihi klassiliseks vaatluskohaks ja annab kihi väljanägemisest ning lasumissuhteist kõige selgema kujutuse. Sellepärast on ka diktüoneema-kiht ühes alloleva obolus-liivakiviga Raymond-Bekkeri liigituses nimetatud Pakerorti lademeks.

Baltiski linna kohal asub merepinnal glaukoniit-liiva kiht, mis siin küll kusagil otsekohe nähtavale ei tule, kuid mida võib järeldada üldisest kihtide langust. Vanast rannakindlustusest põhja poole seganeb randa paksu korrana katvate paeste veerkivide hulka rohkesti diktüoneema-kildkivi tükke, mis näitab kihi enese lähedust. Randa mööda põhja poole liikudes näeme peagi kildkivi ladet päevavalgele tulevat, ja tume-pruuni kihilise, koorduva põrandana madalat rannariba moodustavat. Sellel kohal tuli toime ka 1909 aastal tuntud kildkivi enesesütitus ja põlemine. Veel edasi põhja poole kaob maapinnalt diktüoneema-kildkivi ja rannariba moodustavad hallid konarlised markasiidiga läbiimbunud liivakivi pangad, mis ulatuvad madalikkude ning saarekestena veel tüki maad rannast eemale merde. Siit peale hakkab diktüoneema-kiht esinema ranna-astangus, esialgu selle alumises osas, kus ta on maetud paerusu ja allauhutud pudeva glaukoniit-liiva alla. Umbes Baltiski linna ja Pakerorti tuletorni vahekohal ilmub ühes värskelt-moodustatud paljastuses kildkivi ühes oma naaberkihtidega täies ulatuses nähtavale ja pakub häid võimalusi lähemaks vaatlemiseks. Rannariba ja kõige alumise osa astangust moodustab siin tõenäoliselt obolus-liivakivi, ehk seda küll näha pole. Nähtavale tuleb alles liivakivi keskosa, läbistatud rohkearvulisist õhukesist 0,5—2,0 cm paksusist diktüoneema-kildkivi kihtidest. Sellele järgneb umbes 70 cm puhtamat roostepruuni liivakivi, mis sisaldab kokkukuhjatud hulkadena obolus-karpe ja siis räni-liivaga segatud rauapüriidi-lasu, kus esineb ka sama kivind. Holm'i (22) ja Mickwitz'i (33) tõenduse järele näitab obolus-kihi pealispind siin lainete uhtumise jälgi, ja selle põhjal seab H. v. Winkler (60) siia kambriumi ja ordoviitsiumi piiri, pidades seda sedimentatsiooni katkestuse tundemärgiks.

Rauapüriidi kihist eraldub selgesti järgnev päris diktüoneema-kildkivi lade, mis oma alumises osas sisaldab veel rohkeid, lühemal või pikemal ulatusel suiduvaid 1—2 cm paksusi rauapüriidi vahekihte, ülevalpool aga avaneb puhas ühtlane kildkivi. Kihi paksus on siin 4,5 m ja ta alumine pind asub umbes 4 m merepinnast kõrgemal.

Diktüoneema-kihile järgneb korrapäraselt esiteks glaukoniitliiv, mis omandab siin samuti maksimaalse tüseduse (ligi 4 m), ja siis, peale mergliseid vahekihte, paksud täpilised glaukoniitlubjakivi pangad. Nende tüsedus on siin vastuoksa võrdlemis



1. joonis. Baltiski poolsaar, pikkuste mõõt 1 : 20.000, kõrguste mõõt 1 : 4000. Halbinsel Baltischport.

väike — umbes 1,5 m ja kasvab ida poole suuremaks, kuna glaukoniit-liiv ühes diktüoneema-kihiga ida-pool ikka õhemaks muutub ja suidub viimati Narva kohal, ilmudes siiski uuesti Peterburi kubermangus. Diktüoneema-kihil lasuvate lademete kogupaksus kuni rannaastangu ülemise ääreni on siin ligikaudu 12 m.

Edasi Pakerorti tuletorni poole aheneb rannariba ikka enam ja kaob viimati poolsaare otsa lähedal täiesti ning lained uhuvad otsekohe 21 m kõrgust vertikaalset paeseina. Murenemine ja rusu allavarisemine sünnib siin vahetpidamata, moodustades paekaldas alaliselt värske ja ülevaatliku suurepärase paljastuse. Kahjuks on sinna võimalik ainult paadiga ligipääseda ja kõrgemal asuvad kihid, nagu diktüoneema-kildkivi, on täiesti kättesaamatud. Kui usaldada Mickwitz'i (33) poolt siin tehtud mõõtmisi, mida toob ka Winkler (60), ja mis lähevad kaunis hästi ühte Holm'i (22) andmeiga, siis asub diktüoneema-kihi aluspind siin 7,8 m üle merepinna, kuna kihi oma tüsedus on 4,5 m. See annab meile võimalust kihi langu väljaarvata, sest meil on teada koht, kus kiht merepinnani langeb (põhjapool vanu Baltiski rannakindlustusi, kus ranna moodustab püriidi kiht). Otsekohene kaugus nende punktide vahel on 2100 m, kõrguste vahe 7,8 m, järjelikult on lang 12'45", ehk ümmarguselt $\frac{1}{4}^0$ (1. joonis[1])).

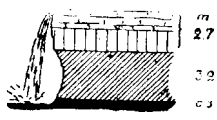
Järsk, laineist uhutud paekallas jatkub ligi kilomeetri ka poolsaare idaküljel. Väike oja, mis veerikkam ainult kevadeti, jõuab siin paekalda äärele ja langeb ilusate kaskaadidena alla, uhtudes pudeva glaukoniit-liiva kohta sügava tüheme, ning paljastades selle all olevat diktüoneema-kildkivi. Selle koha profiil on kujutatud Gäbert'il (58, lk. 601), ta

1) Kõigis profiilides on tähendatud lainelise viirutusega sinisavi, rõhtsa viirutusega — selle ülemised liivakad kihid, täpiline on valge räni-liivakivi ja obolus-liivakivi, must — diktüoneema-kiht, viltune tihe viirustus — glaukoniit-liiv, hõre püstviirutus — glaukoniit-lubjakivi, sellest kõrgemal muud lubjakivi lademed ja lahtine pinnakate.

näitab siin kihi paksuse 4,0 m ja kõrguse üle merepinna 5,75 m. Viimane arv on, võrreldes eelmise profiiliga, pisut väike ja arvatavasti ebatäpne, sest rusukuhjatiste tõttu pole nii kerge profiili merepinnalt mõõta. Siin saaks tarvitada ainult nivelleerimist.

Edasi kagu poole langeb paekallas kaheks astanguks, milledest alumine, madalam kerkib umbes 5 m üle merepinna ja on moodustatud kambriumi räni-liivakivist ning obolus-kihi alumisest osast. Nende vaheline põhi-konglomeraat esineb astangu jalal, umbes praeguse abrasioonijoone kohal. Ülemine astang on kõrgem, kuid enamasti taimkatte all ja näitab harva paljastusi. Diktüoneema-kihti võib jälgida kogu aeg selle astangu alumises osas.

Seesugusena esineb paekallas kuni Leetse mõisani, kus mõlemad astangud ühinevad jällegi kõrgeks järsakuks. Diktüoneema-kiht asub siin õige merepinna ligi, lõunapool isegi merepinna all, ja ei tule rusu alt nähtavale.



2. joonis. Keila juga. Kõrguste mõõt 1 : 500.
Fig. 2. Wasserfall des Keila-Flusses.

Lahepere lahe lõunasoppis astub paekallas lauge veeruna tagasi sisemaa poole ja on maetud liiva kuhjatiste alla, mis katavad siin ka ranniku. Selgema kuju omandab ta alles lahe idakaldal, Laulasmaa kohal, muutudes põhja poole ikka järsumaks. Kuid ka siin ei tule diktüoneema-kihti madala asendi tõttu veel hästi nähtavale ja esineb kõrgemal tasemel alles Laulasmaa — Joa vahelises, mere äärde ulatuvas kõrges paekaldas. Kuid siin pole ta tüseduse ja asendi kohta mõõtmisi tehtud.

Nüüd järgneb koht, mis on jällegi teatud määral klassiline diktüoneema-kildkivi uurimise ajaloos, — nimelt Keila-Joa oma ilusa kosega. Siin toimetas G. v. Helmersen 1838 a. esimesi täpsamaid diktüoneema-kihi uurimisi (5,6). Keila jõe suus on paekaldasse uuristunud ligi 2 km sisemaa poole ulatuv sopp, mis on nüüd täidetud alluviaalsete liivakuhjatistega. Paekalda joon jookseb üle jõe umbes km kaugusel jõe suust, mida võib otsustada jõe veerudes avanevate paljastuste järele. Jõeorg ulatub pisut maad paekalda sisse ja teeb siin järsu astangu, moodustades joa, mis selle vahe võrra oma esialgest asendist taganenud. Joa kohal avaneb 2. joonisel kujutatud profiil. Diktüoneema-kildkivi ulatub pisut üle jõe pinna. Jõge mööda allapoole astub oru veerudes aluspõhja kihtide asemele lahtine liiv, kuna veeru kõige alu-

mises osas, jõepinna ligi, võib veel jälgida tüki maad obolus liivakivi (ja edasi räni-liivakivi), mis näib alluviaalseile kuhjatisile põhjaks olevat. Diktüoneema-kiht jookseb siit liivakuhjatiste alla maetuna umbes E — W sihis kuni Laulasmaa pankrannikuni.

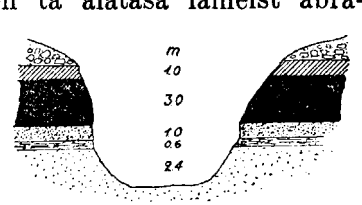
Keila jõest idas on paekallas esiteks jällegi maetud liiva alla ja tuleb alles Türisalu kohal selgemalt esile. Diktüoneema-kiht ei tule siin aga rusu ja taimkatte alt nähtavale. Edasi on paekaldasse Vihterpalu jõe kohal moodustunud lai orund, mis läänest selge paeseinaga piiratud. Siin avanevad hästi ülemised Kunda lademe kihid, kuna alumised on varjatud. Orundi põhi kerkib pikkamööda kagu sihis ja jõuab viimati kuni paseina tasemeni, nii et siin peaks kusagil laiem diktüoneema-vöö avanema. Kahjuks on ta aga taimkattest varjatud.

Vihterpalu jõest idapool oleval Suuropi poolsaarel moodustab paekallas jällegi kaks astangut, milledest ülemine asub Vihterpalu mõisa ja Suuropi tuletorni joonel ning pöörab sealt ida sihis Mäeranna küla poole. Alumine astang jookseb pea mere rannal ja on, nagu harilikult, kambriumi kihtidest moodustatud. Diktüoneema-kiht asub arvatavasti ülemise astangu jalal. Ida poole muutub alumine astang ikka kõrgemaks, sellele tulevad pikkamööda ülemise astangu kihid lisaks ja Tiskri rannal asub ta otse mere ääres ning näitab oma lael lubjakivi-kihte. Mereranna ja Harku järve vahel sulavad mõlemad astangud ühiseks laugeks nõlvaks, mis kaob peagi tüsedate liivakuhjatiste alla. Kakumäe poolsaarena esineval madalamal alal tulevad astangu lähemal maapinnale diktüoneema-kildkivi, obolus-liivakivi ja kambriumi räni-liivakivi, kuna poolsaare merepoolne osa on moodustatud sinisavi ülemisist liivakaist kihtidest. Samasugune koosseis on ka Kopli poolsaarel.

Tallinna linn asub madalas mereäärses lohus, kus paekalda lademed on äraerodeeritud kuni sinisavini. Erosiooni jäänusena esineb ainult Toompea, mille pealispinna moodustab Tallinna lade. Kõrgem künnis ühendab Toompead liiva alla maetud paekaldaga Pärnu maantee ja Tõnismäe kohal. Sellel künnisel on kaevamisil tulnud avalikuks pealiskihina püriidi-lasu, mille all obolus-liivakivi. Paekallas tuleb jälle selgesti nähtavale Tartu maanteest alates ja kannab siin Ülemiste mäe nime. Siit on ta selgesti jälgitav kirde poole, Kadrioru takka üle Narva maantee kuni Suhkrumäeni, kus ta omandab maksimaalse kõrguse ja pöörab idasse, moodustades Piirita jõe orundi lõunaveeru. Paekalda

pealispinnaks on kogu sellel ulatusel Tallinna lade. Diktüoneema-kiht asub astangu keskosas, ja paljastub seal, kus Narva maantee, tõustes astangule, lõikub paekaldasse, ja veel paremini maantest pisut lõunas, kevadisist vetest uhutud „Hundikuristikus“ (3. joonis). Siin on astangu äärelt ülemised kihid äraerodeeritud ja 2,8 m paksusel diktüoneema-kihil lasub ainult 1 m glaukoniitliiva ning sellel kord mulda ja paerähka. Diktüoneema-kihi all on 0,25 m paksune püriidi-kiht, siis 1 m tihedat, obolus-rikast liivakivi ja 0.6 m liiva vaheldamisi diktüoneema-kihikestega, kuna profiili alumise osa moodustab 2,4 m valget räni-liivakivi. Selle ja eelmise kihi vahelist iseloomulist põhikonglomeraati pole siin märgata.

Kadriorus eraldub paekaldast madalam astang ja jookseb sellega paralleelselt, lossi kohalt „Russalka“ mälestussamba takka üle Piirita tee mere äärde, moodustades siin nn. „Suhkrumäe“. Sealt kuni Weissi mõisani on ta alatasa laineist abradeeritav ja siit selgub, et astangu lae moodustavad räni-liivakivi kõige alumised kihid. Diktüoneema-kildkivi peaks avanema järjelikult ülemise astangu alumises või keskosas. Weissi mõisa kohal pöörab merepoolne astang samuti idasse ja läheb liivaga kaetud lauge nõlvana Kose ja Lükati vahel üle Piirita jõe, lähenedes Viimsi poolsaarel Miduranna küla kohal uuesti merele ja moodustades siin paiguti kaunis järske kaldaid. Viimsi poolsaare kõrgema keskosa moodustab paekaldast Piirita jõe orundiga eraldatud saarelaadiline osa, mis langeb järsult lääne ja põhja poole (kõrgemat nukka nimetatakse „Tornimäeks“) ja madaldub pikkamööda teistes sihtides. Poolsaare põhjapoolne madalam ots on paksude alluviaal-kuhjatiste all, kuna nende aluspõhja moodustab kahtlemata sinisavi.

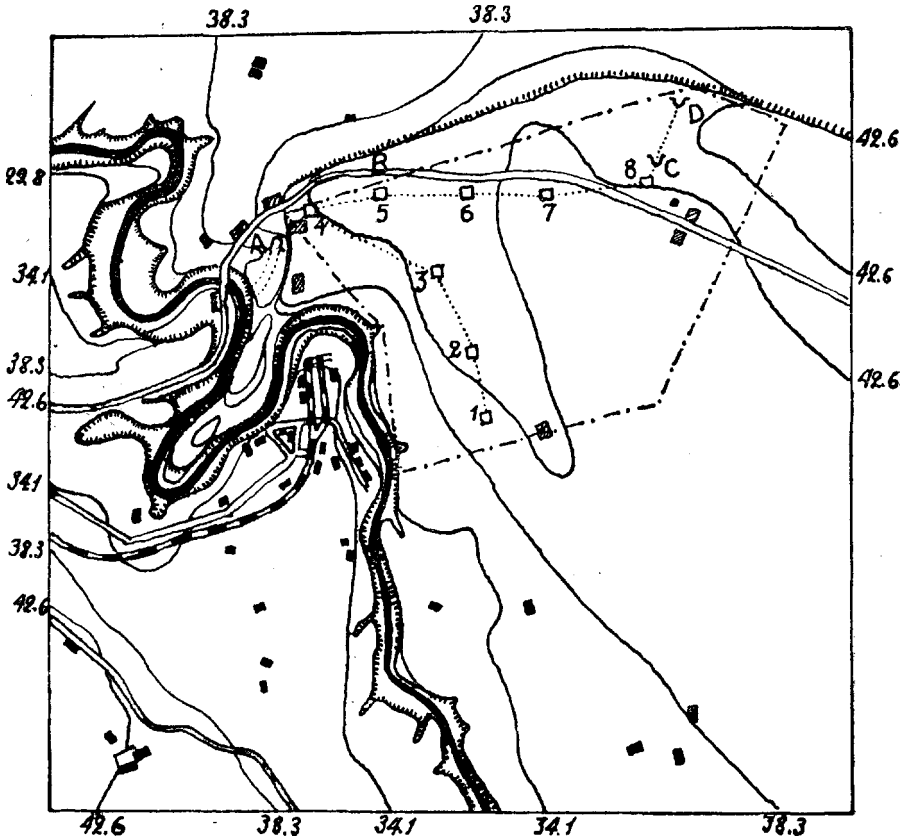


3. joonis. Hundikuristik, Tallinnas. Kõrguste mõõt 1 : 500.
Fig. 3. „Wolfsschlucht“ bei Reval.

Huvitavad paljastused avanevad Irul, 10 km Tallinnast idas, kus Narva maantee läheb üle Piirita jõe (4. joon.). Siin tehti Vene valitsuse poolt suurejoonelisi kindlustuse töid ja kaheksa suurt, keskmiselt 20 m sügavat kaeviku (1—8) ulatuvad läbi pae ja diktüoneema-kildkivi kuni kambriumi liivakivini, olles isekeskis ühendatud maa-aluste käikudega. Vee ärajuhtimise otstarbeks on tehtud neli käiku ja sügavat kaeviku *(A, B, C, D)*.

Diktüoneema-kildkivi tüsedus on siin 4—5 m (5. joonis), peallasuvate liiva ja pae kihtide oma 6—9 m.

Irust idas võib jällegi jälgida kahte astangut, mis omandavad iseäranis selge kuju Rootsikalavere küla ja Ülgase mõisa kohal. Viimases kohas tuleb läbilõikes ka diktüoneema-kiht umbes

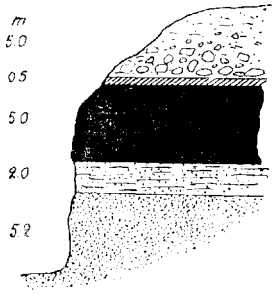


4. joonis. Iru ümbrus, 1 : 25.000. (G ä b e r t 'i järele).
— · — · — Diktüoneema-kildkivi kaevamiseks kohane ala.
Fig. 4. Umgegend von Hirro. (Nach G ä b e r t).
— · — · — Zum Schieferabbau geeignete Fläche.

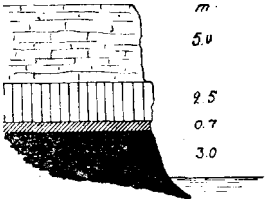
3 m tüsedusena nähtavale, kaetud 6—8 m tüseduselt Baltiski ja Kunda lademega. Paekallas jatkub siit pea järsuma pea laugema astanguna kuni Jägala jõeni, kus ta kaob alluviaalsete kuhjatiste ja luidete alla. Selgeid läbilõikeid pakuvad siiski järsud jõeoru veerud. 6. joonis kujutab parempoolse oruveeru läbilõiget pisut all-

pool juga. Diktüoneema-kiht on siin otse jõepinnal ja tõuseb üle selle 3 m. Kihti võib jälgida ka mere poole mitmeis kaldajärsakuis.

Siit edasi idasse on paekallas lausk ja varjatud, tuleb korraks selgemalt esile Kaberla küla kohal, kus profiili moodustamisest võtavad arvatavasti osa lademed obolus-liivakivist kuni Kunda lademeni, ja omandab kõige selgema kuju Tsitri kohal, kus ta on umbes 1,5 km rannast eemal ja 28 m kõrge. Kõige ülemise osa astangust moodustab siin Aseri lade, kuna jalal on räni-liivakivi, mis ulatub mereni. Tsitrist idapool asub paekalda ees rida kaugele põhja poole ulatuvaid madalaid poolsaari, mis on koos nooremaist moodustusist ja ei näita kusagil aluspõhja. Arvatavasti on viimane sügavamal. Paekallas jookseb nende poolsaarte kohal merest eemal oleva lauge astanguna, mis enamasti



5. joonis. Kaevik Irus. Kõrguste mõõt 1 : 500.
Fig. 5. Grabung in Hirro.



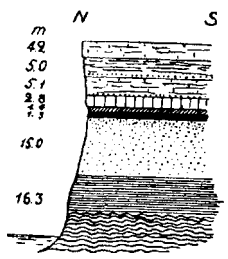
6. joonis. Jägala jõe pahempoolne kallas, pisut allpool juga. Kõrguste mõõt 1 : 500.
Fig. 6. Linkes Ufer des Jaggowal-Flusses, nördlich vom Wasserfall.

metsaga kaetud ja kus puuduvad head paljastused. Siiski on ta tervel sellel ulatusel, Tsitrist Kundani, topograafiliselt selgesti markeeritud kahekordse astangu näol, milledest alumine on moodustatud kambriumi lademeist (sinisavi ja räni-liivakivi), ülemises esinevad aga kõrgemad lademed.

Laiema kuulsuse on omandanud Kunda ümbrus, kus avanevad suurepärased paljastused merest pisut eemal olevas ranna astangus ja järskudes jõeveerudes. Siin on näha siiski ainult paekalda kõige alumisi lademeid, kuna diktüoneema-kildkivi esineb alles kaugemal lõunapool, teises astangus, mis jatkub siit edasi Malla mõisa ja Aseri poole.

Aseri kohal ühinevad mõlemad astangud jälle ühiseks 51 m kõrguseks paekaldaks (7. joonis). Huvitav on, et see kõrge paekalda osa esineb siin nagu saarena, sest ümberringi

on maapind tunduvalt madalam, ja vanemaist kihtidest moodustatud. Mere ääres Aseri ja osalt Tallinna lademeist koosseisev paepind madaldub lõuna poole kuni diktüoneema-kildkivi ja obolusliivani (otsustades mereäärse profiili ja kihtide üldise langu järele, sest maa on siin üleni metsade, võsastikkude ja niitude all ning paljastused puuduvad). Narva-Tallinna maantee kohal näeme maapinda uuesti astangu näol tõusvat ja selle jalal avaneb paiguti glaukoniit-lubjakivi, ülevalpool järgneb aga Kunda lade. Nii on siin diktüoneema-kildkivi laiemal ulatusel kas otse maapinnal või sellele õige lähedal.



7. joonis. Aseri pankrannik, kõrguste mõõt 1 : 2000.
Fig. 7. Kliffküste von Asserin.

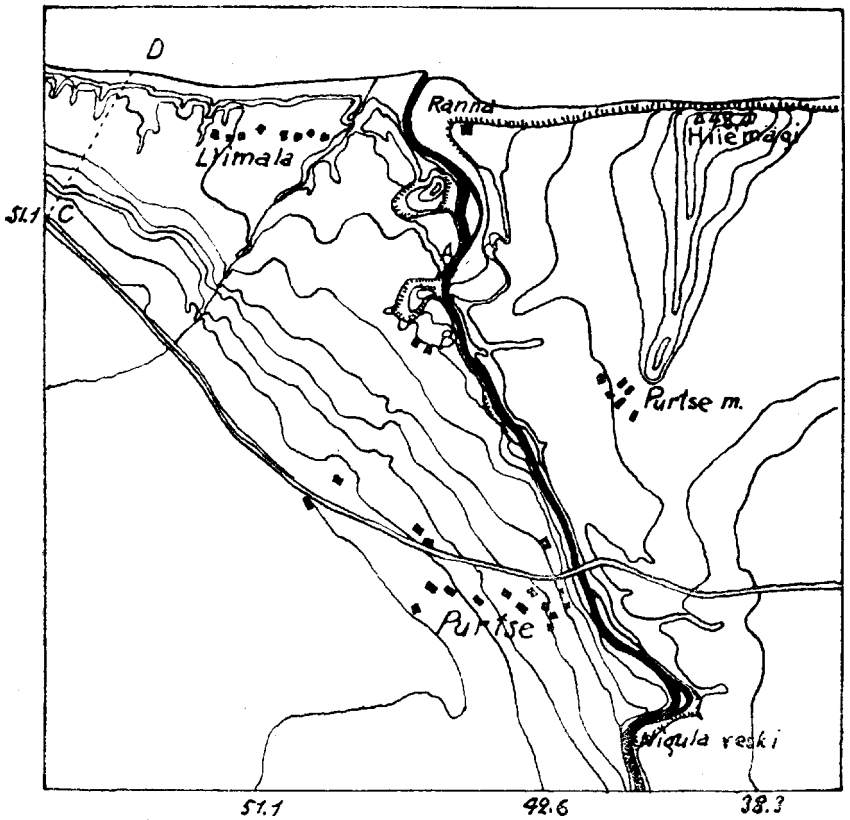
Aseri Meriküla kohal eraldub merepoolsest kõrgemast astangust madalam umbes 11 m kõrgune järk, mis on moodustatud sinisavist ja räni-liivakivist ning mis astangute liitudes peagi jälle kaob. Ühtlasi läheneb maantee kohal olev astang merele ja jõuab Suur-Kõrgküla kohal talle kõige lähemale, kust ida poole hakkab sellest uuesti eemalduma. Siit on pärit nivelleeritud profiil 8.



8. joonis. Kahe-astanguline rannik Aseri ja Purtse vahel, Kõrgküla kohal (*CD*, 9. joon.). Kõrguste mõõt 1 : 2000, pikkuste mõõt 1 : 8000.
Fig. 8. Zweistufige Küste bei Kõrgküla, zwischen Asserin und Alt-Isenhof.

Ülemine astang, eemaldudes rannast, moodustab Purtse jõe suus paekaldasse jällegi sopi, täidetud endise jõedelta liivaga, mida võib jälgida kolmnurksel alal praeguse jõe suu, Moldova küla ja Lüganuse kiriku vahel. Keset seda liivakuhjatist kerkib mere ääres üksik kõrgem, aluspõhjast koosseisev seljakukujuline kõrgendik, -- nn. „Hiiemägi," nähtavasti endise delta harude vahele jäänud saar. Selle ülemises, pinnapoolses osas esineb Kunda lademe paas, kuna mujal, delta-liivaga täidetud alal on aluspõhja kihid kuni valge räni-liivakivini äraerodeeritud. Prae-

gune jõesäng asub vana delta lääneserval, nii et jõeoru pahemas veerus on näha igalpool ainult aluspõhja paljastusi, kuna paremas veerus on lahtine delta-liiv ja ainult veeru kõige alumises osas kambriumi liivakivi. Maantee sillast lõunapool, Nigula veski kohal, hakkab esinema ka paremas veerus paas ja siit jõge mööda ülespoole on mõlemad veerud paesed. Mere poolt tulles näeme



9. joonis. Purtse jõe suu, 1 : 42.000.
Fig. 9. Mündung des Ise-Flusses.

diktüoneema-kildkivi kõige pealt ühes värskelt uhutud järsakus A (9. joon.) mis näitab päevapildil (10. joon.) kujutatud keerulist profiili. Peamass on moodustatud viltuvajunud ja segipaisatud räni-liivakivi pankadest, milles selgesti eralduvad roostepunased vahekihid, selle peal ja kõrval lasuvad ilma mingi korrapärasuseta diktüoneema-kildkivi, glaukoniit-liiva ja-lubjakivi üksikud pangad, asudes paiguti vertikaalselt või koguni ümberpöördud järjekorras.

Profiili parempoolses osas asub jõepinnal, hoopis madalamal tasemel kui ta tõeliselt peaks olema, nähtavasti allavarisenud suurem kihtide kompleks, mida kujutab teine päevapilt (11. joon.). Alumise tumedama osa moodustab diktüoneema-kildkivi, mille pealispind on selgesti erodeeritud ja laineline, sellele järgneb neid lohke täitev glaukoniit-liiv ja viimati paksud glaukoniit-lubjakivi pangad. Pisut maad jõge mööda ülespoole esineb teine



10. joonis. Paljastus Purtse jõe pahemas kaldas (9. joon., A).
Fig. 10. Aufschluss am linken Ufer des Ise-Flusses (A, Fig. 9).

järsk uhteveer B, kus kihid on omas loomulikus horisontaalses asendis:

1)	glaukoniit-lubjakivi (murenenud)	1 m
2)	glaukoniit-liiv	0,5 —
3)	diktüoneema-kildkivi	2,0 —
4)	obolus-liiv vaheldamisi diktüoneema-kildkiviga	0,5 —
5)	puhas obolus-liiv	1,5 —
6)	põhikonglomeraat	0,2 —
7)	valge räni-liivakivi	3,0 —

Kihtide langule vastavalt asub diktüoneema-kildkivi lõunapool ikka madalamal tasemel, jõudes eelnimetatud Nigula veski kohal jõepinnani. Edasi on oru veerudes näha ainult kõrgemaid kihte. Jõest ida poole ulatuv madalam ala, täidetud deltaliivaga, näib olevat moodustatud glaukoniit-kihtidest ja enam mere poole diktüoneema-kildkivist ning obolus-ja valgest liivakivist. Viimane paljastub Moldova küla kohal oleval merepoolsel astangul,



11. joonis. Glaukoniit-liiva diskordantne lasumine diktüoneema-kihil eelmises paljastuses (10. joon.): *a* — glaukoniit-lubjakivi, *b* — glaukoniit-liiv, *c* — diktüoneema-kildkivi.

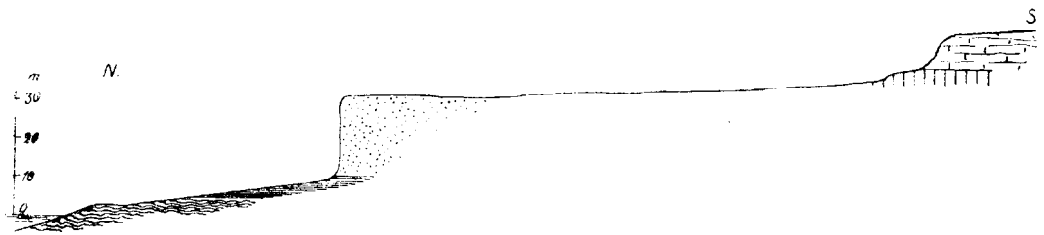
Fig. 11. Diskordante Lagerungen des Glaukonit-Sandes auf dem Dictyonema-schiefer im vorigen Aufschlusse (Fig. 10): *a* — Glaukonit-Kalk, *b* — Glaukonit-Sand, *c* — Dictyonema-Schiefer.

kuna ülemise astangu serval on näha Kunda ladet (12. joonis). Et maapind nende astangute vahel madaldub ühtlaselt ja aegamööda, siis peaks diktüoneema-kildkivi võrdlemisi laia vööna maapinnal esinema. Hilisemate kuhjatiste ja taimkatte alt ei tule ta aga kusagil nähtavale.

Saka mõisa kohal ühinevad mõlemad astangud jälle ja jatkuvad ühtlase kõrge paekaldana üle Ontika ja Valaste kuni Toila

ja Oruni, Pühajõe suus. Ontika kohal on paekalda kõrgus maksimaalne — 55,6 m. Siin avanevat kaldapaljastust on mitmelt poolt mõõdetud ja kirjeldatud, nii et ma ei hakka seda enam kordama. Nimetan ainult, et diktüoneema-kihi paksus on siin 2,5 — 3,0 m ja ta aluspind asub umbes 35 m üle merepinna. Ei saa jätta tähelepanu pööramata nende suurte lahkuminekute peale, mis osutuvad mitmesuguste autorite mõõtmistes. Esiteks on andmed üksikute kihtide tüseduse kohta lahkuminevad ja teiseks ei täida need andmed kunagi tervet 55 m:i kõrgust profiili. Mõõtmised on muidugi raskendatud alumisi kihte katva rusukalde tõttu, ja sellel põhjusel on arvatavasti just alumiste kihtide tüsedused liig väikseina näidatud.

Pühajõe suus on moodustunud paekaldasse harilikul viisil sopp, mis ulatub kuni Konju külani. Toila ja Oru vahel langeb

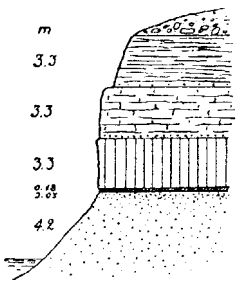


12. joonis. Rannik Moldova küla kohal, Purtse jõest idas. Kõrguste mõõt 1:2000, pikkuste mõõt 1:800
Fig. 12. Küste beim Dorfe Moldowa, östlich von Alt-Isenhof.

paekallas jõe poole kahe astanguna, milledest ülemine on moodustatud Kunda ja Baltiski lademeist, alumine aga räni-liivakivist. Vahepealne diktüoneema-kiht ei tule kusagil nähtavale, esineb aga arvatavasti ülemise astangu jalal. Samuti on lugu jõest idapool. Oru lossi juures on jõe paremas kaldas suurepärased räni-liivakivi ja obolus-liivakivi paljastused, samast lademest on ka Voka-Konju vaheline madalam rannikuosa. Konjust ida poole kerkib paekallas uuesti kõrgemaks ja omab Päite kohal jälle oma täie profiili — Kunda lademest kuni sinisavini. Paljastatud on aga ainult ülemised kihid, kuni glaukoniit-lubjakivini. Nüüd järgneb teine sopp — Sillamäe ja Kannuka kohal, Sõttküla jõe suus, kus võib samuti tähele panna kahte astangut, mille vahepiiriks on umbes obolus-liiv ja diktüoneema-kildkivi. Viimane hakkab siin pikkamööda suiduma. Paekallas omandab veel Vaivara, Utria (kus diktüoneema-kiht on veel umbes 1 m tüsedune) ja Meriküla kohal järsu seina kuju, kuid on siin võrdlemisi madal. Merikülast

idapool eemaldub ta rannast ja jatkub liivakuhjatiste alla maetud lauge nõlvana kuni Narvani, kus paekaldasse on Narva jõe taganev juga uuristanud sügava kanjonilaadilise oru. Nagu teada, on siin diktüoneema-kildkivi ühes glaukoniit-liivaga täiesti suidunud ja ta aset täidab ainult õhuke kiht pruuni savi, mis Holm'i (22) järele sisaldab ka fossiili *Dictyonema flabelliforme*. Glaukoniit-lubjakivi on sellevastu õige tüse — 3,3 m (13. joonis).

Paekallas jatkub edasi Narvast ida poole Peterburi kubermangus kuni Laadoka ja Äänis-järveni, nagu selgub Strangways'i, Pander'i, Eichwald'i, Murchison'i, Bock'i ja Lamanski töist, ning tuleb siin ka diktüoneema-kiht uuesti nähtavale, omades Koporjes isegi maksimaalse tüseduse — 6 m. Ida poole väheneb see aga uuesti ja on Sakljuka jõe ääres ainult 0,8 m ning Volhovi ääres 0,4 m (35).



13. joonis. Narva jõe parem kallas, raudtee silla kohal, kõrguste mõõt 1 : 500.
Fig. 13. Rechtes Ufer der Narowa, bei der Eisenbahnbrücke.

Diktüoneema-kihi ulatust Eestist lääne poole vaatleme allpool, Rootsi, Norra ja Inglise lademeiga võrdlemise puhul. Kui kaugele lõunasse ta teiste kihtide all ulatub, pole tarviliste sügavpuurimiste puudumisel kindlasti teada. Üksikute eraldi seisvate avamustena tuleb diktüoneema-kiht nähtavale paiguti veel õige kaugel kagus ja lõunas. 1876 a. leidis Karpinsky (25) Pihkva kubermangus Lovati jõe oruveerudes, Kunitsõ küla kohal kambriumi ja kõige alumiste ordoviitsiumi lademete saarekese, keset ümbritsevaid ülem-devooni lademeid. Umbes 4 m tüsedune diktüoneema-kiht lasub siin otsekohe sinisavi ülemisil liivakail kihtidel, milles leidub obolus-diktüoneema lademele iseloomuliste brahiopoodide jäänuseid (mitmesugused obolus-liigid). Vahepealsed liivakivid puuduvad aga täiesti. Diktüoneema-kiht erineb meie omast alauni sisalduse ja *Dictyonema flabelliforme* puudumise läbi. Diktüoneema-kihti katavad reeglipäraselt 0,7 m glaukoniit-liiva ja 0,9 m glaukoniit-lubjakivi, mis on siin ülemiseks lademeks. Kõrgemaist lubjakivi lademeist on leitud ümbrusest ainult mõned lahtised munakad. Lademed näitavad üldist langu loodesse ja selle tõttu peab Karpinsky seda kohta kambro-ordoviitsiumi lademeist moodustatud nõo lõunaservaks, millise nõo täidavad devooni lademed.

Hiljem (1891 a.) leidis Karpinsky (29) samalaadilise kambro-ordoviitsiumi sarekese Minski kubermangus Ravanitschi mõisa lähedal. Täiendavalt uuris seda kohta Karnožitsky (31), kes tegi ümbruses veel mõned sellelaadilised leidused. Diktüoneema-kiht, üldiselt 4,25 m tüsedune, on siin tublisti liivakas ja sisaldab isegi 2,35 m tüseduse liivakivi vahekihi. *Dictyonema flabelliforme* tuleb ette ainult kildkivi kõige alumises osas. Kihtide kompleks lasub obolus-liivakivil ning näitab kühmalaadiliselt langu iga ilmakaare poole.

1916 a. suvel leiti (46) Rohukülas, Haapsalu lähedal, kaevu puurimisel 160 m sügavusel 2,5 m tüsedune diktüoneema-kiht, millele järgnes 1,5 m kildkivi vaheldamisi liivaga ning siis puhas liivakivi.

4. Kihi petrograafia ja kemism.

Petrograafiliselt kujutab diktüoneema-kiht tuhmi tumepruuni värviga, niiskelt pea musta, kuivanult halkjas-pruuni, õhukesekihilist, ühtlase koosseisu ja struktuuriga bituminoosset savikildkivi, mis lasub puhta kihina ilma lubjaste või saviste vahekihtideta. Lademes on ta rohkeist püstlõhedest läbistatud ning langeb selletõttu kergesti suuremaiks ja vähemaiks korrapäratu kujuga teravanurgalisiks tükkideks, mis pudenevad omakord üksikuiks lamedaiks 0,5—2,0 cm paksuseiks tahvlikesiks. Sarnasena on teda harilikult leida maast, murenenud olekus. Niiskelt on ta õige pehme (kõvadus 2) ja tuletab enam kildsavi meelde, kuivanult muutub aga tuntavalt kõvemaks (kõvadus kuni 3). Erikaal oleneb püriidi sisaldusest ja kõigub 2—3 vahel. Bituumi sisaldus (16—22 %) oleneb rohkeist organismide kõdunemisjäänusist, milledest äratuntavaina ja määratavaina on püsinud ainult mõned üksikud liigid (vaata järgmine peatükk). Bituumi võrdlemisi suur lämmastiku sisaldus (2—2,5 %) näib tõendavat, et need organismid on olnud pärit peaasjalikult loomariigist (näiteks *Dictyonema*). Kuid tõenäoliselt ei puudu seal ka taimede, nimelt vetikate jäänused, nagu see selgub Bekker'i poolt (59, Pl. I, 5) toodud Baltiski diktüoneema-kildkivi lihvlesta kujutusest: ühtlases kollakas-pruunis põhimassis esinevad rohkearvulised peened mineraal-osakesed ja nende vahel suuremad ümmargused või piklikud kehakesed, mida võib pidada *Chroococcaceae* või teiste sellelaadiliste üherakuliste vetikate jää-

nuseiks. Sarnasus Shoti bituumsete kildkividega ja meie Kukruse põlevkiviga on õige suur (59, Pl. I, 6).

Bituumi sisaldub annab diktüoneema-kildkivile ka põlevuse, mis on küll hoopis nõrgem kui Kukruse põlevkivil. Tulitikuga pole võimalik teda põlema süüdata, vaid selleks on tarvis suuremat leeki. Kord põlema süüdatud põleb ta ilma välise kuumuselisanduseta, ajab paksu suitsu ja haisevaid veevli aure ning kustub kergesti. Suuremas kuumuses (ääsitules, suuremais tugeva tõmbega ahjudes) lõhkeb ta praksudes, viskab tükke laiali ning jätab peale põlemist rohke, mahu poolest pea vähenematu, telliskivipunase jäänuse.

Kõrvaliste ollustena leidub diktüoneema-kildkivis kõige pealt markasiidi ja püriidi suiduvaid vahekihte, triipe ja mugalaid, milledes peamassi moodustavate hall-kollaste rombiliste markasiidi kristallide seas on ka läikiv-kollaseid regulaarseid püriidi kristalle. Peale selle on markasiiti ja püriiti ülipeenete terakestena seganenud ka igale poole päris kildkivi põhimassi hulka. Kirde-Eestis näivad kildkivi tekkimis- või pärastised tingimused pisut teistsugused olnud olevat, sest markasiit sisaldub siin peaasjalikult mugalaina, mis sagedasti porsumise tagajärjel juba ümbermoodustunud roheliseks läbipaistvaks rauavitrioliks. Pealolevaist lubjarikkaist kihtidest läbitungiva põhiveega kokkupuutudes tekitab see kenu peeneid gipsikristalle ja kõrvalsaadusena raua oksüüd-hüdraati. Üksikute kivikildude pinnal võib näha ka üliõhukese rohelise kirmetesena mitmesuguseid sulfaate, mis samuti kivis sisalduva markasiidi porsumisel tekkinud. Kirde-Eestis leitava kildkivi teiseks iseärasuseks on temas sisalduvad ümmargused, okasõunte kujulised lubjapaost tekkinud dolomiit-pseudomorfooside kogud (varem antrakoniit-mugalaiks nimetatud), millede keskuses võib veel selgesti näha primäärset lubjapao tuuma. Paiguti esinevad pseudomorfoosid pikkade püstkristallide reana. Need pseudomorfooside kogud on nähtavasti kildkivi enesega ühtlasi tekkinud, sest kristallid on terved ja kuni peenusteni väljakujunenud, ning kildkivi bituum täidab neis kõiki peeneid pilusid ja vahesid, ulatadus kuni kristallide keskuseni.

Kupffer'i (15) poolt 1874 a. toimetatud kildkivi analüüside järele otsustades, näitab see omas koosseisus suurt sarnasust sügavamas lasuva sinisaviga ja on samuti mõne põllupao-rikka ürgkiviliigi (Soome gneisside ja graniitide?) murenemissaadus.

Nagu juba nimetatud, põhjenevad bituumisisaldus ja sellega ühenduses olev põlevus rohkeil organismide kõdunemisjäänuseil. Kupffer avaldab arvamist (15 p. 116), et nende jäänuste kõdunemisel rikkalikult eraldunud süsihape on lubjapao kristallidest kaltsium-karbonaadi osaliselt lahutanud ja selle asemele võtnud kildkivi mineraal-massist magneesiumi- ja kaaliumi-oksüüdi, — vilgukivi ja ortoklaasi murenemissaaduseid.

Sattudes hiljem pealesettunud kihtide rõhumise alla ja, võib olla, metamorfoseerivate jõudude mõjukonda, tulid kildkivis kahtlemata mõnesugused muutused ja keemilised ümbermoodustumised toime. Bituumne aine destilleerus, tungides gaaside näol lõhede ja pragude kaudu peallasuvaisse kihtidesse, kus ta kondenseerus uuesti vedelikkeks või kindlaiks ollusiks. Kunda paemurdudes, kui ka mujal leitud asfaldi pesakesed (42), ning kõige viimasel ajal suurt huvi äratanud naftataoliste õlide leidmine Hiiumaalt ja mujalt tulevad kahtlemata seada ühendusse all sügavas lasuva diktüoneema-kildkivi lademega. Sama iseloomuga on ka 10—15 a. tagasi palju kõne all olnud loomulik gaasiallikas Keri saarel, Soome lahes (40, 41, 42, 44).

Maapinnale ulatuv diktüoneema-kildkivi lade on olnud mitmel korral suuremate „maapõlemiste“ põhjuseks. Seesuguseid põlemisi on ajalooliselt kindlakstehtud: 1807 a. Suuropi tuletorni lähedal Ssevergini poolt (4), 1837 a. Keila-Joal Helmersen'i poolt (5,6), 1840 a. L. v. Buch'i poolt Tallinna juures, 1864 a. F. Schmidti poolt Väike-Pakri saarel, siis kõigil veel meeles olev kildkivi põlemine Baltiskis 1909 a., ja Harku järve lähedal 1917 a. Kas on siin tegemist kildkivi isesütitusega, või on põlemist tekitanud juhuslikud tuletegemised maapinnani ulatuval kildkivil, on raske otsustada. Igatahes pole ka isesütitus võimata, nagu seda selgitab Winkler (60 p. 45).

5. Fauna.

Coelenterata.

Class. Hydrozoa.

Graptolithina.

Dendroidea.

Genus **Dictyonema** Hall (Dictyograptus Hopk.) Hall, 1857, Palaeontology of New-York, II, p. 174.

Dictyonema flabelliforme Eichw.

1840. *Impressio plantae monocotyledonae?* Hisinger, Lethaea suecica, Suppl. II, Holmia, p. 5, t. XXVIII. f. 9.
1840. *Gorgonia flabelliformis*, Eichwald, Первобытный міръ Россіи, I, p. 6.
1854. *Fenestella flabelliformis*, Eichwald, Bull. de la Soc. de natur. Moscou, 1854, p. 6.
1854. *Phyllograpta* sp., Angelin, Pal. suec. Pars I, P. IV,
1857. *Graptopora socialis*, Salter, Proc. Amer. Assoc. XI, p. 65.
1857. *Fenestella socialis*, Kjerulf, Geol. d. südl. Norw. p. 282
1858. *Dictyonema flabelliformis*, Schmidt, Untersuchungen über die Silurformation etc. p. 44, 224.
1859. *Dictyonema sociale*, Salter, Murchison Siluria, ed. 3, p. 562.
1859. *Dictyonema Hisingeri*, Göppert, Acta Leopold., Vol. XXVII, p. 31, t. XXXVI, f. 2 c, 4—11, t. XLV, f. 3—4.
1860. *Rhabdinopora flabelliformis*, Eichwald, Lethaea rossica, p. 369.
1865. *Dictyonema norwegicum*, Kjerulf, Veiviser etc., p. 1—2, fig. 1—3.
1865. *Dictyonema Graptolithinum*, Kjerulf, ib. p. 1—3, fig. 4, 5.
1882. *Dictyograptus flabelliformis*, Brögger, Sil. Etagen 2. u. 3., Christiania, p. 30.

See on ainuke Eesti diktüoneema-kihi jaoks täiesti kindlakstehtud fossiil. Eestis leidis teda esimesena Eichwald 1839 a. Baltiski lähedalt ja sarnastas Lonsdale'i poolt kirjeldatud polüübiga *Gorgonia assimilis*. Lehvikulaadilise kuju tõttu esitas ta kivindi *Gorgonia flabelliformis* nime all. Hiljem (1854 a.) seadis ta selle sammalloomakeste *Fenestella* hulka. Hisinger nimetab fosiili koguni üheidulehise taime jäljendiks. Fossiili on kirjeldatud hiljem veel mitmesuguste nimede all, kuni viimati leidis

enam-vähem üldist tunnustamist Hall'i poolt seatud liiginimetus *Dictyonema*, millega võistleb osalt veel praegugi Hopkinson'i *Dictyograptus*. Esimesel nimetusel on igatahes selge prioriteet.

Fossiil kuulub nn. graptoliitide hulka, ja nimelt nende *Dendroidea* gruppi. Rabdosoom esineb kildkivi pinnal laialilaotatud lehvikukujulise võrguna ja algab, nagu harilikult graptoliitidel, teravaotsalise *sicula*'ga. Sellest jooksevad välja üksikud rabdosoomi harud, mis jagunevad dihotoomiliselt, ja on isekeskis seotud ülipeenete põikharukestega. Selle läbi tekkinud silmused on pikliku püstküliku kujulised. Rabdosoom on olnud omas loomulikus olekus lehtri- või mõrrakujuline, ja fossiilses seisukorras on ta kas kildkivi pinnale kokkusurutud või üksikuiks lamedaiks osadeks lahutatud. Seda on tõendanud mõned hästi alalhoidunud fossiilide leiud, kus on näha, et rabdosoomi harud asuvad tihedamini servadel ja harvemini keskel, ning äärmised harud on näha külje pealt (karikad selgesti näha), keskmised aga takka (antitekaalselt küljelt). Lõpuliku otsuse selles asjas andis üks Brögger'i poolt nimetatud (21 p. 32, tab. XII, f. 18) huvitav leid, kus rabdosoomi kaks poolt asusid kumbki isesugusel kildkivi pinnal, ja seisid siiski pidevas ühenduses äärmiste harude kaudu.

Karikad (*thecae*) katavad rabdosoomi harude sisemisi külgi nende tervel ulatusel, nii et kõrvalt vaadatult need harud näivad saelehe laadiliselt peenhambulisina. Seda on näha siiski ainult äärepoolseil harudel, sest keskmised harud, olles isekeskis põikharukesiga seotud, asuvad alati tekaalse küljega vastu kivi. Lahtimurdunud osad heituvad aga harilikult küljeli ja näitavad hambulist tekaalset külge profiilis. See asjaolu andis põhjust eksiarvamisele, et karikaiga on varustatud ainult rabdosoomi kõige ülemisest põikharust üleulatavad vabad otsad, nagu, näiteks, W. Dames'i[1]) skemaatiliselt kujutuselt näha.

Peale hambulise reana esinevate karikate võtavad rabdosoomi moodustamisest osa veel antitekaalsel küljel näha olevad umbsete torukeste laadilised rakud (vast pungamis- või sigimisrakud?). Varem (Brögger, p. 35) peeti neid lihtsalt kokkulitsutud ja deformunud rabdosoomi voltideks. Et rabdosoom on siiski koos mitmeliigilisist rakkudest, selgub ka Wiman'i[2]) poolt val-

1) W. Dames, Beitrag zur Kenntnis der Gattung Dictyonema Hall, Zeitschr. d. deutsch. Geol. Ges. 1873, p. 383.

2) C. Wiman, Über die Graptolithen. Bull. Geol. Inst. Upsala, Vol. II.

mistatud läbilõikest (tab. X, fig. 14). Siin on ühtlasi näha ka isesugused peridermi paksendused rabdosoomi kahel pool külgedel.

Põikharukesed on peaharude külge kinnitamise kohtadel kolmnurkselt laiakspaisunud. Peenete keskosade katkemisel moodustavad need karikakujulisi jäänuseid, mis on tekitanud eksiarvamisi, et rabdosoomi harud kannavad ka külgedel karikate rida.

Massiivne tugitelg (*virgula*) puudub.

Dictyonema flabelliforme on küll iseloomustavaks fossiiliks kogu kihile, kuid leidub siiski hästi alalhoidunud eksemplaridena ainult üksikuis kohtades. Kõige paremad eksemplarid leiduda Schmidti järele (13 p. 15) alumisis, obolus-liivaga vahelduvais kihtides Valgejõe kaldais Nõmmeveski kohal, ning Baltiski poolsaarel. Mul läks korda leida mõnda head eksemplari ka Iru kaevikuist ning Purtse jõe äärest vastu Nigula veskit.

Väljaspool Eestit tuleb fossiil ette ka Rootsi (Östergötland, Skåne ja mujal), Norra, Bornholmi saare ja Inglise vastavais kihtides.

Genus **Bryograptus**, Lapworth.

Bryograptus Kjerulfi, Lapw. Tab. XII, f. 20 a.

1851. *Graptolithus Murchisoni*, Boeck, Bemerkn. ang. Graptolitherne, P. 10, Tab. II, fig. 30.

1865. *Graptolithus tenuis*, Kjerulf, Veiviser etc. p. 1—3, fig. 6 a, A, B.

1880. *Bryograptus Kjerulfi*, Lapworth, On new British graptolites, Ann. and Mag. of. Nat. Hist. V. Ser. B. V, p. 164, Tab. V, fig. 22 a, b.

1882. *Bryograptus Kjerulfi*, Schmidt, Revision etc. I.

Peale *Dictyonema flabelliforme* on leitud kildkivist veel mõningaid muid fossiile, millised leiud aga seni lõpulikult kindlakstegemata.

Schmidt nimetab omas esimeses uurimises (13) terve rea graptoliite, kuid tunnistab hiljem ise need määramised tühjaks (20). Ta oletab küll kildkivis mitmesuguseid graptoliite, kuid täpsaks määramiseks puududa tarvilised hästi alalhoidunud eksemplarid. Üht, Purtse jõe kaldalt leitud liiki arvab ta siiski sarnanevat graptoliidiga *Bryograptus Kjerulfi* Lapw., mis tuleb ette Norra diktüoneema-kildkivi ja Inglise Lingula-flags ülemisis kihtides, *Dictyonema*'st kõrgemal. Pole muidugi võimatu, et meie

kildkivi lade sisaldab ka analoogilise ülemise kihi, ja tuleb oodata suure huviga *Bryograptus*'e uusi leide ning kindlaksmääramist. Kuna Norra diktüoneema-kildkivi läheb ilma järsu piirijooneta üle järgnevaks Ceratopyge-kildkiviks, on meie diktüoneema-kihi pealispind erodeeritud ja kaetud diskordantselt glaukoniit-liivaga. Võib olla on meil Bryograptus-vöö enamal ulatusel ära-erodeeritud, ning sellepärast fossiil nii haruldane.

Varia.

Konodontid.

Peterburi kubermangu kambriumi ja siluuri lademete uurimisel leidis Bock (14) 1868 a. sealses diktüoneema-kihis nn. „konodonte", mis juba varem (1830 a.) Panderi poolt Peterburi ümbruse sinisavist leitud ja kirjeldatud. Hiljem leidis neid sealtsamast veel Rohon, ja Osmussaarelt ning Baltiski poolsaarelt A. Mickwitz (33). Konodontidele pole seni veel leitud kindlat aset paleontoloogilises süsteemis. Pander pidas neid kõrgemate kalade hammasteks, mõned teised autorid haikalade või tsüklostoomide omadeks, või koguni trilobiitide kattekilbi äramurdunud okkaiks, kuni viimati Rohon ja Zittel näitasid üksikasjaliste mikroskoobilis-histoloogileste ja anatoomiliste uurimiste varal (24), et konodontidel on kõige enam sarnasust anneliidide ja gefureede suuosadega. Kui lugu nii, siis on arusaadavam diktüoneema-kildkivi rohke lämmastiku sisaldus, kuna ainuüksi väheste graptoliitide jäänuseiga on raske seda seletada.

Obolus sp. (?)

Diktüoneema-kildkivi alumised, obolusliivaga vahelduvad kihid sisaldavad Mickwitzi järele (33) ka üksikuid obolus-lestade kilde. Arvatavasti on siin tegemist *Obolus apollinis*'ega, ja see oleks uueks tõenduseks, et diktüoneema-kildkivi moodustab obolus-liivakiviga ühise lahutamatu lademe. On siiski väga kahtlane, kas oboluse kilde on leitud päris kildkivi seest, tõenäolisemalt asuvad need vast ainult kildkivi pinnal, vastu liivakivi. Igatahes peab arvama, et selles basseinis, kus settus diktüoneema-kildkivi, obolust ebakohaste ökoloogiliste tingimuste tõttu ei elanud, ja kildkivisse võisid sattuda mingil põhjusel ainult killud basseini põhjas lamavaist surnud lestadest.

Viimati nimetab Mickwitz (33) kildkivi fossiilina veel üht *Lingula* liiki, mida aga tervete eksemplaride puudumisel polla

võimalik lähemalt määrata. Võib olla on siin lõpuks tegemist ka ainult mõne obolus-killuga.

6. Diktüoneema-kihi võrdlemine naabrusalade vastavate kihtidega.

Eesti kaugemas ja lähemas naabruses on rida kambriumi ja ordoviitsiumi alasid, mis näitavad suuremat või vähemat sarnasust meie lademeiga fossiilide sisalduse suhtes ja osalt ka petrograafiliselt. Ei pruugi, muidugi, nimetada idapoolset naabrusala, Venemaad, mis moodustab meie alaga õieti ühise suure basseini, vaid ka üle Läänemere oleva Rootsi, Norra ja isegi veel kaugemal asuva Inglise ning Ameerika lademeil on meie omadega palju sarnasust. Nähtavasti on kogu see lai ala Põhja-Atlantika ümbruses moodustanud kambro-siluuri ajal ühise suure settumis-basseini, enam-vähem ühelaadilise faunaga, kus randjoone nihkumisist ja sellega kaasaskäivaist meresügavuse ning muude füüsilis-geograafiliste tingimuste muutusist on tingitud lademete kohalised lahkuminekud petrograafilise iseloomu ja tüseduse poolest, kuna fauna koosseisu määramises mängib tähtist osa ka liikide arenemine ja migratsioon. Kõige üldisemais joonis näib viimane toimetulnud olevat Ameerikast Euroopasse, sest nimelt Ameerikas on rohkem ürgseid liike, kuna migratsiooni teeks on olnud tõenäoliselt põhja-jäämeri (39 p. 40—45).

Rootsi- ja Norramaal[1]) näeme kambriumi ja ordoviitsiumi lademeid üksikuil vähemail aladel, mis piiratud ümberringi ürg-kiviliikidest ning suurel määral dislotseeritud, purskkividest lõhutud, läbistatud ja metamorfoseeritud (iseäranis Norras). Kõige täielikum on lademete seeria Västergötlandis (Kinnekulle, Falbygden). Gneissil lasuvaile eofüüton- ja fukoid-liivakividele järgnevad esiteks Paradoxides- ja siis Olenus-kildkivid, mis petrograafiliselt sarnanevad suurel määral meie diktüoneema-kildkiviga, kuid sisaldavad iseärasusena bituumse lubjakivi läätsi ja vahekihte. Kildkivi ülemised kihid moodustavad iseäralise vöö trilobiitidega *Peltura* ja *Sphaerophthalmus*, ning sellele järgneb

1) Rootsi ja Norra kambro-siluuri alade kohta üldse vaata:

A. G. Högbom, Fennoskandia. Handbuch der regionalen Geologie, IV. Bd., 3. Abt., Heidelberg 1913.

J. C. Moberg, Historical-stratigraphical review of the Silurian of Sweden. S. G. U. Årsbok 4 (1900) № 1, Stockholm.

ilma kindla piirijooneta diktüoneema-kiht, mis paiguti puudub (Kinnekulle, Wåmb). Edasi järgnevad glaukoniiti sisaldavad Ceratopyge-kildkivi ja lubjakivi (iseloomulisiks fossiilideks *Ceratopyge*, *Symphysurus*, *Niobe* j. t.) ning alumine (*Phyllograptus*) kildkivi ja viimati rida lubjakivi lademeid, mis kannavad üldist nime „Orthocerenkalk".

Üldjoontes sama on lademete järjekord ka Östergötlandis. Seeria algab kvartsiidi ja fossiilitu liivakiviga, mida Linnarson ja Tullberg võrdlevad Vestergötlandi fukoid-liivakiviga. Sellele järgneb rohekas-hall kild- ja lubjakivi, mis kivindite järele otsustades moodustab ülemineku kihi kesk-kambriumi *Paradoxides oelandicus* ja *Paradoxides Tessini* vööde vahel. Siit peale algab rida kildkivi-kihte (alunskiffer med orsten), mis esitavad kesk-kambriumi ülemist osa ja ülem-kambriumi (*Paradoxides Forchhammeri* vööst kuni *Peltura*-vööni). Kildkivide seeriat katkestab korraks 0,02 — 0,08 m tüsedune lulbjakas liivakivi, milles leidub brahiopoodide tükke. Nüüd järgneb jälle kildkivi väheste lubjakivi-läätsedega, mille ainsa kivindina esineb *Dictyonema flabelliforme* Eichw. Seda katavad vahelduva iseloomuga lubja-, liiva- ja kildkivid ning viimati tüübiline „Orthocerenkalk". Iseäranis huvitav on kirjeldatud lademete seas liivakivi esinemine diktüoneema-kihi all[1]).

Lähemal siluuri-alal, Närke's, näitab ülem-kambriumi Peltura-vöö erodeerimise märke ja on kaetud fosforiiti sisaldava glaukoniit-lubjakiviga, mida võiks vahest paralleeliseerida teiste alade Ceratopyge-lubjakiviga. Sellel lasub roheline Schumardia-kildkivi ja Planilimbata-lubjakivi. Viimased täidavad siin Phyllograptus-kildkivi aset, diktüoneema-kiht puudub aga täiesti.

Samuti on lugu kõige põhjapoolsemal, Rootsi-Norra piiril asuval laiaulatuslisel Jämtlandi siluur-alal. Ka siin pole diktüoneema-kiht esitatud.

Jämtlandi ja Närke vahel asuv Dalarne siluur-ala erineb selle poolest, et siin puuduvad kõik kambriumi lademed, ja prekambrilistel liivakividel lasub otsekohe konglomeraat ja lubjakivi, mis sisaldab brahiopoodi *Obolus'e* jäänuseid, ja millele järgneb glaukoniit-lubjakivi ning Phyllograptus-kildkivi.

Ölandi saare põhjaosas ja vastasoleval mandri rannikul

1) Hiljem (1903 a.) leidis C. Wiman sama liivakivi ka suuremas tüseduses (2,08 m) Västanå kivimurrus, Östergötlandis (C. Wiman, Et nytt fund af Obolussandstein i Östergötland. G. F. F. XXV, 1903, p. 335—338).

(J. G. Andersson'i „Lääne-Balti siluuri-ala") järgneb kesk-kambriumi Paradoxides-kihtidele (*Oelandicus* ja *Tessini* vööd) konglomeraat, alloleva Tessini-ja Oelandicus- lubjakivi munakaiga, millede ühendavas aineses tulevad ette *Obolus* ja *Agnostus pisiformis*. Konglomeraati katab õhuke kiht diktüoneema-kildkivi, mille hulka seganevad ülemises osas glaukoniidirikkad vahekihid, ning mis läheb viimati üle glaukoniiti sisaldavaks Ceratopyge-kildkiviks. Sellel lasuvad Ceratopyge- ja Orthoceras-lubjakivid. See andis Moberg'ile põhjust pidada diktüoneema- ning järgnevat Ceratopyge-kildkivi ühiseks lahutamatuks lademeks, ning seada sellepärast kambriumi-ordoviitsiumi piiriks diktüoneema-kihi all olevat obolus-konglomeraati. Gotlandi saarel puuduvad, nagu uuemail puurimisil selgunud, alaun-kildkivid täiesti, ja siinne kihtide järjekord sarnaneb Ida-Balti omaga.

Peale kirjeldatud siluuri-alade on Rootsis, Baltimere lääneranniku rändkivide abil kindlaks tehtud veel kaks siluuri-ala, mis moodustavad praegu mere põhja — üks Ahvenamaa saarte ja Gefle linna vahel (Põhja-Balti siluuri-ala), teine Gotlandi saarest põhjapool (Kesk-Balti siluuri-ala). Viimases tuleb avalikuks õige pikaajaline katkestus settumises, sest ülem-kambriumi *Peltura*-vööl lasub otsekohe nn. *Strophomena Jentzschi* konglomeraat, mis oma ea poolest kuulub Orthoceras-lubjakivi ülemisse ossa ja vastab umbes meie vaginaat-lubjakivi (B_3) ülemisile kihtele või koguni ülemisele läätskihile (C_1a).

Põhja-Balti siluuri-alal on C. Wiman'i poolt seni järgmised lademed kindlakstehtud:

Planilimbata-lubjakivi jne.
Ceratopyge-lubjakivi
Ceratopyge-kildkivi.
Obolus-liivakivi — *Obolus apollinis'*ega
Kesk- ja ülem-kambrium puuduvad.
Olenellus- liivakivi.

Mis puutub diktüoneema-kildkivisse, siis pole selle olemasolu või puudumise kohta lõpulikku otsust antud. Kildkivi *Dictyonema flabelliforme*'ga pole küll leitud, kuid väga võimalik, et see moodustab siiski vahelademe Obolus- ja Ceratopyge-lademete vahel. Wiman arvab siiski, et kihtide järjekord sarnaneb siin vast Dalarne omaga.

Kuna eelpool kirjeldatud siluuri-aladel etendavad peaosa mitmesugused lubjakivid, mis rikkad trilobiitide, cephalopoodide

ja brahiopoodide poolest, on Rootsi kõige lõunapoolsema osa, Skåne, ordoviitsiumi lademed moodustatud peaasjalikult graptoliite sisaldavaist kildkividest. Olenellus-liivakivile järgneb siin kesk- ja ülem-kambriumi kildkivide seeria, mille kõige ülemise osa moodustavad Dictyonema- ja Bryograptus-vööd. Nüüd järgneb Ceratopyge-lubjakivi, alumise graptoliit-kildkivi aset täitev Tetragraptus-kildkivi ja selle peal Orthoceras-lubjakivi.

Umbes samasugune on kihtide järjekord ka Bornholmi saarel. Ka siin esineb diktüoneema-kiht[1]).

Norramaal moodustavad lubjakivi läätsi sisaldavad mustad bituumsed kildkivid pideva rea, algades kesk-kambriumi *Paradoxides Tessini* vööga ja ulatades pea läbi kogu ordoviitsiumi. Piiri kambriumi ja ordoviitsiumi vahel seab Brögger (21 p. 7) pealepoole *Bryograptus't* ja *Dictyonema't* sisaldavat kildkivi vööd, mis lasub omakord Olenus-kildkivi Peltura-vööl. Ordoviitsiumi kõige vanema lademe moodustaksid selle liigituse järele Symphysurus- ning Ceratopyge-kildkivid ja Ceratopyge-lubjakivi, millele järgneb Phyllograptus-kildkivi.

Võrreldes kõiki neid Skandinaavia siluuri-alasid isekeskis näeme, et lademete petrograafiline iseloom ja järjekord pole igalpool ühesugune, vaid mõni lade puudub paiguti, või on iselaadiliselt arenenud, kuid üldine sarnasus on siiski suur ja meie võime kokkuseada järgmise tüübilise rea:

4. Ordoviitsium:
b) Orthoceras-lubjakivi (Planilimbata-, Limbata-, Lituit- jne. lubjakivid).
a) alumine graptoliit-kildkivi (Phyllograptus-kildkivi).

3. Ülemineku ladestu kambriumi ja ordoviitsiumi vahel:
c) Ceratopyge-lubjakivi
b) Ceratopyge-kildkivi
a) Dictyonema- ja Bryograptus-kildkivid

2. Kambriumi kildkivid:
b) Olenus-kildkivid (ülem-kambrium)
a) Paradoxides-kildkivid (kesk-kambrium)

1. Alam-kambriumi liivakivid (nn. eofüüton- ja fukoid-liivakivid).

Prekambriline ürgmägi.

1) Chr. Poulsen, Om Dictyograptusskiferen paa Bornholm. Medd. Dansk geol. For. Bd. 6, Nr. 8, 1922.

Selles tabelis on lademed täiesti vabalt liigitatud, ilma ühe või teise autori poolt tarvitatud süsteemist kinnipidamata, sest ainsaks põhimõtteks oli — leida selles ladestikus meie diktüoneema-kihile õige ja vastav koht. Lademed 3a, b ja c on eraldatud, võib olla formatsiooni-õpetuse seisukohalt lubamata, iseäraliseks ülemineku ladestuks, sest just neis lademeis tuleb ette kõige suuremaid lahkuminekuid ja muutusi üksikute siluuri-alade vahel. Sellepärast lähevad ka kambriumi ja ordoviitsiumi vahelise piiri asjus autorite arvamised lahku. Allolevad kild- ja liivakivid on aga kindlasti ja üksmeelselt arvatud kambriumi, samuti pealolevad — ordoviitsiumi.

Võrreldes eelmist kokkuvõtet meie lademete järjekorraga näeme üldiselt täielist vastavust. Ka meil moodustavad ladestu aluse alam-kambriumi savid ja liivakivid, mis sarnanevad Skandinaavia omadega ka fossiilide poolest. Kesk- ja ülem-kambriumi kihid *Paradoxides*'e ja *Olenus*'ega puuduvad meil küll täiesti, kuid kambriumi ja ordoviitsiumi piiril on jällegi vastavalt diktüoneema-kildkivi (võib olla ka Bryograptus-vöö?). Varem ülemkambriumi ealiseks arvatud, diktüoneema-kihi all lasuv, obolus-liivakivi moodustab õieti diktüoneema-kihiga ühise lademe, ja on lihtsalt algava meretransgressiooni tundemärgiks, peale kauakestnud mandri-ajajärku. Loomulikult puudub see kiht neil Skandinaavia aladel, kus kogu kambriumi ajastu vältusel oli meri, ja kus Olenus-kildkivile järgneb pidevalt diktüoneema-kiht (Norra, Skåne, Västergötland, Ölandi lõunaosa). Samuti puudub ta ühes diktüoneema-kihiga seal, kus ülem-kambriumi ajastu lõpul algas mandri ajajärk ja Peltura-vööle järgneb otsekohe mõni noorem lade (Jämtland, Närke, Kesk-Balti siluuri-ala ja Wâmb Västergötlandis). Paiguti leiame aga diktüoneema- ja Peltura-kihtide vahel liivakivi või konglomeraadi, mida võiks sarnastada meie obolus-liivakiviga. Seesugustena esinevad Ölandi põhjaosas obolus-konglomeraat, mis lasub otsekohe kesk-kambriumi kihtidel, Põhja-Balti siluuri-alal obolus-liivakivi, mis järgneb alam-kambriumi Olenellus-liivakivile ja Östergötlandis liivakivi brahiopoodide jäänustega. Dalarne obolus-konglomeraat on aga arvatavasti noorem, kui meie Pakerorti-lade, sest temale järgneb otsekohe glaukoniit-lubjakivi või Phyllograptus- kildkivi, ning ta oleks moodustunud umbes sellel transgressioonil, mil meie diktüoneema-kildkivi erodeeritud pind hakkas kattuma glaukoniit-liivaga. Selle transgressiooni jälgi pole aga Skandinaavias mujal kusagil kirjeldatud. Östergötlandis

Ladestu	Lade	Eesti (Ida-Balti)	Põhja-Balti	Kesk-Balti	Jämtland	Närke	Dalarne	Östergötland
						Skandi-		
Ordoviitsium	Alam-ordoviitsium	Glaukonitkalk	Limbatakalk		Limbatakalk	Planilimbatakalk	Undre röd	Rödlett-kalk (Limbatakalk?)
			Planilimbatakalk		Phyllograptus-Schiefer		Grönkalk och Phyllograptus-skiffer	Planilimbatakalk
		Glaukonitsand	Ton mit Kalkellipsoiden und Glaukonit-Schiefer			Schumardia-Schiefer		Grönsand och Phyllograptus-skiffer
						Phosphoritführender Glaukonitkalk	Obolus gruskalk	
			Ceratopygekalk		Kalkstein (Ceratopygekalk?)		Obolus konglomerat	Ceratopygekalk?
			Ceratopyge-Schiefer					
		Bryograptus-zone? Dictyonema-Schiefer	Dictyonema-Schiefer?					Dictyonema-skiffer
		Obolus-Sand	Obolus-Sandstein					Kalkhaltig sandsten med brachiopoder
Kambrium	Ülem-			Peltura-zone	Peltura-zone Eurycare-„ Parabolina-z. Olenus gibb.	Peltura-zone		Peltura-zone Eurycare-„ Parabolina-z. Olenus gibbosus-zone
	Kesk-				Paradoxides Forchh. Paradoxides Tessini Paradoxides Oelandicus			Forchhammeri-zone Oelandicus-Tessini-zone
	Alam-	Quarz-Sandstein Blauer Ton	Olenellus-Sandstein		Lager mit Olenellus			Fucoid-Sandstein
Arhaikum					Urgebirge		Urberg	

n a a v i a				Inglise		Põhja-Ameerika	
Öland	Västergötland	Skåne	Norra				
Limbata-kalk	Limbatakalk	Orthocerenkalk	Megalaspiskalk 3cα	Arenig		Chazy-limestone	Quebec group of Canada
Planilim-batakalk	Undre Graptolitskiffer	Tetragraptus-skiffer	Phyllograptus-skiffer (3b)		Skiddaw-slates		
Grönsand						Beekmantown limestone	
Ceratopyge-kalk	Ceratopyge-kalk	Ceratopyge-kalk	Ceratopyge-kalk (3aγ)	Tremadoc	Shine-tone-shales		
Ceratopyge-skiffer	Ceratopyge-skiffer		Ceratopyge-skiffer (3aβ) Symphysurus-skiffer (3aα)				
Dictyo-nema-skiffer	Dictyonema-skiffer	Bryograptus-zone Dictyonema-zone	Bryograptus-zone Dictyonema-z. } 2e		Dictyo-nema-shale		
Obolus-konglomerat							
	Peltura-zone Olenus gibbosus-zone	Acerocare - zone Cyclognathus-„ Peltura- „ Eurycare- „ Parabolina- „ Olenus gibbosus-zone	Peltura-zone 2d Eurycare-„ 2c Parabolina-z. 2b Olenus, Agnostus-zone 2a	Lingula flags		Podstam sandstone (Saratogian)	
Tessini-zone Oelandicus-zone	Forchhammeri-zone Tessini-zone Oelandicus-zone	Forchhammeri-zone Tessini-zone	Forchhammeri-zone 1d Tessini-zone 1c	Menevian		St.-John or Acadian	
	Fucoid-Sandst. Eophyton-Sandstein	Olenellus-Sandstein	Konglomerat 1b	Harlech Grit		Georgian	
			Urberg 1a				

järgneb diktüoneema-kihile harilikult roheline glaukoniit-liiv, kuid mingist diskordantsist nende vahel pole seni seal juttu olnud. Ölandil läheb diktüoneema-kildkivi pikkamööda ja ilma kindla piirita üle Ceratopyge-kildkiviks. Tõenäoliselt on olnud katkestus settumises ainult seal, kus puudub nn. Euloma-Niobe fauna (Ida-Balti, Kesk-Balti, Jämtland, Närke, Östergötland). Sellepärast paralleeliseerib Lamanski (37) täie õigusega meie glaukoniit-ladet (liiv ja lubjakivi) alles Phyllograptus-kildkivi ning Planilimbata ja Limbata- lubjakividega.

Inglismaa ja Põhja-Ameerika lademeiga võrdlemisel lepime ainult kõige üldisemate paralleelidega. Inglismaal läheb ordoviitsiumi lademe järjekord ja välimus juba tublisti Skandinaavia omadest lahku. Kõnealusel ajastul on Inglismaa olnud intensiivse vulkaanilise tegevuse alaks, ja kambriumi ning ordoviitsiumi lademeis moodustavad tähtsa osa vulkaanilise tuha ja laava kihid ning vahe-lademed. Kambriumi ja ordoviitsiumi ladestu jagatakse siin järgmisisse rühmadesse (kõrval on vastavad Skandinaavia lademed):

	Inglise:		Skandinaavia:
Ordovicium	Arenig		Orthocerenkalk
	Skiddaw-slates		Phyllograptus-skiffer
	Tremadoc		Ceratopygekalk
		Shinetone-shales	Ceratopygeskiffer
		Dictyonema-shale	Dictyonemaskiffer
Cambrium	Lingula flags		Olenidskiffer
	Menevian		Paradoxidesskiffer
	Harlech-Grit		Alam-kambriumi liivakivid

Meie diktüoneema-kildkivile vastav kiht moodustab siin alam-ordoviitsiumi Tremadoc-lademe alumise osa.

Põhja-Ameerika kambriumi lademed lahknevad Euroopa omadest sellega, et siin puudub lade iseloomulise trilobiidiga *Olenus*. Selle aset täidab aga trilobiit *Dicellocephalus*, mis esineb nn. Potsdam sandstone lademes. Viimast katab alam-ordoviitsiumi Quebec group ehk Canadian, mille alumist osa, Beekmantown limestone, tuleb paralleeliseerida meie Pakerorti lademega.

Tabelil lk. 42—43 on kokkuvõtlikult kujutatud eelpool kõne all olnud Põhja-Atlantika kambro-ordoviitsiumi settumisbasseini mitmesuguste alade (Ida-Balti, Skandinaavia, Inglise, Põhja-Ameerika) lademete järjekord ja võrdlus.

7. Diktüoneema-kihi tekkimine ja vanadus.

Graptoliit-kildkiva, nende seas ka diktüoneema-kildkivi, on peetud seni süvamere moodustusiks. Selle põhjenduseks on toodud kivi peeneteralist koosseisu, fossiilide vähesust ja ühetaolisust ning ühe ja sama liigi levimist äärmiselt laiadel aladel. Lamanski otsustab isegi sellelt vaatepunktilt Ida-Balti ja Skandinaavia siluuri-aladel toimetulnud transgressioonide ja regressioonide üle (37, p. 134, 135). Ka Eesti geoloogid näisid kõige hiljema ajani sellel arvamisel olnud olevat, — ja nii seisiski kogu aeg tähelepanemata õieti silmatorkav asjaolu, et diktüoneema-kildkivi on meil tihedas ühenduses obolus-liivakiviga, mille rannalähedase tekkimise üle ei või olla mingit kahtlust. Diktüoneema-kihid vahelduvad lademe alumises osas mitmekordselt obolus-liivaga, ja oletada sama mitmekordset süva- ja madalmere vaheldust oleks vaevalt võimalik.

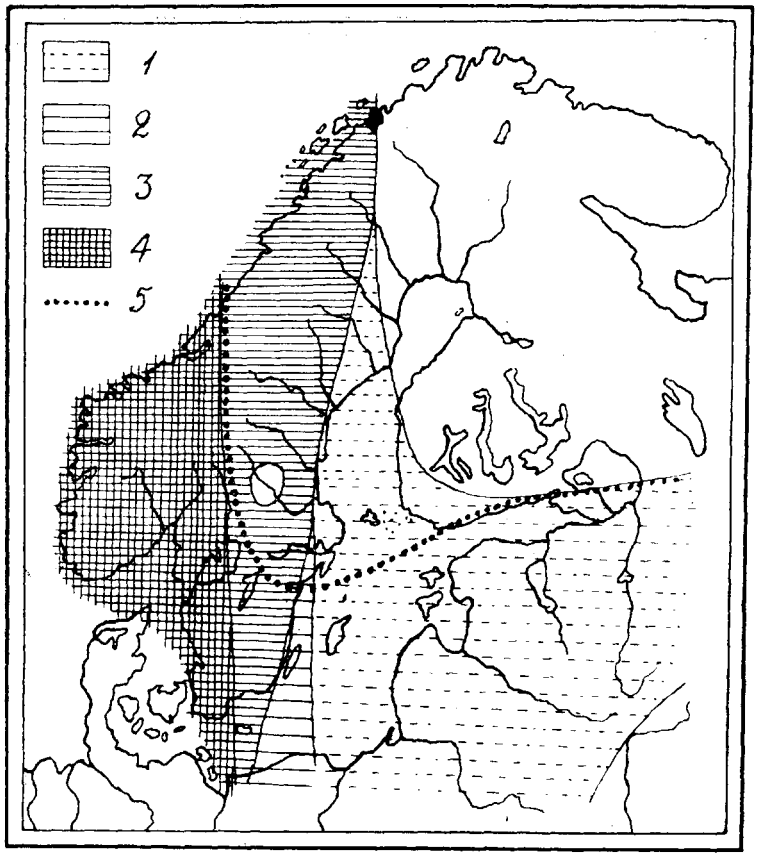
1921 a. ilmus H. Bekker'i dissertatsioon (59), kus diktüoneema-kildkivi on nimetatud juba madalmere setteks (p. 12). Umbes samal ajal avaldas seda arvamist ka prof. H. Scupin Tartu Loodusuurijate Seltsi koosolekul 27. oktoobril 1921 a. peetud kõnes: „Ist der Dictyonema-Schiefer eine Tiefseeablagerung?“ [1])

Sellega pole muidugi otsust antud kõikide graptoliit-kildkivide kohta. Suurem jagu neist on kahtlemata süvamere (õigemini sügavama litoraalse ala) moodustused, sest läbi kogu kambriumi ja osalt ka ordoviitsiumi ajastu kestnud meri, kus settusid üksteiseks pidevalt üleminevad kildkivi lademed (Norras, Skånes) ja kus valitses imeväärne fauna ühtlus laiadel aladel, võis olla ainult süvameri. Ida-Balti ala oli aga diktüoneema-kihi settumisel isesuguseis tingimusis. Kõige tõenäolisem on, ja seda arvab ka prof. Scupin, et settumise basseiniks olid siin süvamerest leetseljakuiga eraldatud madalad laguunid, mille stagnee-

1) Sitzungsber. Dorpat. Naturforsch. Ges. XXVIII, 1921, p. XIX.

rivas vees elutses ainult rikkalik *Dictyonema flabelliforme* fauna ja vahest ka vetikad. Settuvaks materjaliks olid mõne ortoklaasirikka ürgkiviliigi (Soome kaljualuspõhjast?) peened murenemissaadused, mis tihedasti seganesid põhjavajuvate orgaaniliste jäänustega. Merepinna kõikumiste tagajärjel astusid need laguunid vahetevahel lahtise merega ühendusse, ja siis kattis orgaanilisist jäänuseist tekkinud õhukest sapropeliidilist diktüoneemakihti rannaliiv. Sarnane merest eraldumine ja sellega uuesti ühinemine sündis mitmekordselt, kuni viimaks bassein muutus kauemaks ajaks sügavamaks laguuniks, milles tekkis diktüoneemakihi ülemine, ilma liivaste vahekihtideta peamass.

Katsume nüüd lähemalt määrata meie diktüoneema-kihi settumis-basseini ligikaudsed piirid ja vahekorra Skandinaavia basseiniga (14. joon.). Alam-kambriumi meri, milles settus sinisavi ja hiljem, mere taganemisel lääne poole, vastavad liivakivid Skandinaavias, ja milles Dalarne esines saarena, taganes kõige varem Ida- ja Põhja-Balti aladelt, nimelt alam-kambriumi lõpul, kuna muil aladel tekkisid samal ajal isesugused settumise tingimused. Nimelt hakkas basseinis seniste savide ja liivakivide asemel moodustuma kildkivi, mis ulatub pea ilma petrograafiliste muutusteta kuni ülem-kambriumi lõpuni. Kogu see aeg püsis Eesti mandrina. Kesk-kambriumi lõpul jõudis regressioon Ölandi saareni, ja ülem-kambriumi lõpuks oli meri taganenud ka Kesk-Balti, Närke, Jämtlandi, Östergötlandi (?) ja osalt ka Västergötlandi aladelt, ning meri püsis veel ainult Västergötlandis, Skånes, Norras ja kaugemal läänes. Järjekorralise lademena esinevad obolus-liivakivid ja -konglomeraadid on uue, ida sihis liikuva transgressiooni tundemärgiks. Merest jäid siiski katmata Kesk-Balti siluuri-ala, Närke, Jämtland, osalt Västergötland ja, muidugi, ka Dalarne, sest siin puuduvad obolus-diktüoneema ja Ceratopyge-lademed. Ühtlasi tuli basseinis toime teistkordne settumistingimuste muutumine, sest ilmuvad esimest korda graptoliidid ja nimelt *Dictyonema*. Võiks oletada, et see oli ühenduses basseini üldise madaldumisega, millele pakuvad vahest kõige paremat tõendust Eesti diktüoneema-kihi iseärasused, mis on seletatavad ainult madalmerega. Nüüd tõuseb huvitav küsimus, kui kaugele ulatus meie alal obolus-diktüoneema-transgressioon. Kindel on, et meri lähenes läänest ja täitis kõige pealt praeguse Soome lahe aseme, mida arvatakse juba prekambriumis moodustunud olevat. Siit tungis ta aega-



14. joonis. Balti kambro-ordoviitsiumi settumisbassein:
1 — alam-kambriumi regressiooni ala.
2 — kesk- „ „ „
3 — ülem- „ „ „
4 — ordoviitsiumi meri enne obolus-diktüoneema transgressiooni.
5 — obolus-diktüoneema transgressiooni kirdepiir.

Fig. 14. Sedimentationsbassin des Baltischen Kambro-Ordovicium:
1 — Unterkambrisches Regressionsgebiet.
2 — Mittelkambrisches „
3 — Oberkambrisches „
4 — Das Ordovicium-Meer vor der Obolus-Dictyonema-Transgression.
5 — Nordostgrenze der Obolus-Dictyonema-Transgression.

mööda ümbruskonda edasi, ja kattis esiteks kambriumi räni-liivakivi ning kaugemal kagus (Pihkva kub.) otsekohe sinisavi. Transgressiooni ulatust selles sihis on raske määrata, kindlad on ainult kaks punkti — Pihkva kub. Kunitsõ küla ja Minski kub. Rava-

nitschi küla. Viimases on diktüoneema-kiht juba tublisti liivakas mis näitab vahest randjoone lähedust. Karpinsky[1]) jatkab ordoviitsiumi mere piire idas kuni Uurali mägedeni, kuid vaevalt ulatas see nii kaugele ajastu algul, kui settus diktüoneema-kiht. Settumise tingimused kogu selles laias basseinis polnud mitte ühtlased, nagu seda näitab kihi vahelduv tüsedus ja petrograafiline iseloom ning kohati suidumine (Narwa, Jamburi).

Obolus-liivakivi ja diktüoneema-kildkivi tekkimise ajal valitsenud olukordadest oli jutt juba eespool. Kauemat aega püsinud suuremas laguunilaadilises basseinis moodustus meie diktüoneema-kihi peamass, mis muutus viimati kas mandriks või sai eraldatud läänepoolsest pea-basseinist, ja viibis seesuguseis tingimusis kogu see aeg, mil läänepool moodustusid nn. *Euloma-Niobe* faunat sisaldavad lademed (Ceratopyge-lademed). Selle järele hakkas meri uuesti laienema, ujutas üle seni mandrina (või saartena) esinenud Jämtlandi, Dalarne, Närke, Östergötlandi ja Ida-Balti ala. Dalarnes oli see üldse esimeseks transgressiooniks. Neil uutel transgressiooni aladel esinevad setteina igalpool glaukoniidi-rikkad liiva või lubjakivi lademed, mis annavad jällegi tunnistust settete litoraalsest iseloomust. Eestis ei ulatunud transgressiooni piir esialgu endisest palju kaugemale, sest glaukoniit-liiva tüsedus vastab diktüoneema-kihi omale ja suidub ühes sellega Narva ja Jamburi kohal. Diktüoneema-kihi pealispind on paiguti erodeeritud (11. joon.), nähtavasti oli kiht neis kohtades ulatunud üle merepinna. See nähtus esineb peaasjalikult Kirde-Eestis, kus diktüoneema-ja glaukoniit-liiva kihid on õhemad. Alles järgneva glaukoniit-lubjakivi moodustumisel paisutas meri oma piirid laiemale ja kõigil Skandinaavia aladel hakkasid esinema sarnanevad tingimused, mis ühtlustusid täiesti järgneva Orthoceras-lubjakivi settumisel.

Võtame viimati kõne alla diktüoneema-kihi vanaduse (geoloogilise ea) küsimuse, ehk teisiti öeldes, püüame selgitada, kuhu tuleks seada kambriumi — ordoviitsiumi piir.

Diktüoneema-kiht on ühenduses kahe suurema transgressiooniga ning fauna muutusega. Esimese tähiseks on obolus-konglomeraat ja graptoliitide ilmumine, teist tunnistavad samuti

1) A. Karpinsky, Übersicht der physico-geograph. Verhältnisse des Europäischen Russlands während der verflossenen geologischen Perioden. Beitr. z. Kenntn. d. Russ. Reiches, III. Folge, IV. Bd., St. Petersburg 1888.

erosiooni jäljed ning trilobiidi *Megalaspis*'e esile tulek. Vahepealne *Euloma-Niobe* fauna (kus ta esineb) on aga tihedas ühenduses diktüoneema-kildkiviga (26) ja tuleb lugeda sellega ühiseks lademeks. Kambriumi — ordoviitsiumi piiri võiks seada järjelikult kas Peltura-vöö ja diktüoneema-kihi vahele või *Euloma-Niobe* (Ceratopyge) lademest kõrgemale. Kus aga kihtide seeria on pidev ja katkestamatu (Norra, Skåne, Västergötland), seal on piiri määramisel mõõduandvad ainult fauna vaheldused.

Ma ühinen täiesti Mobergi (27,34) Lamanski (37), Bekker'i (61) j. t. arvamisega ja pean kõige kohasemaks lugeda ordoviitsiumi algust suurest transgressionist, mil tekkis obolus-konglomeraat ja -liivakivi, nii et diktüoneema-kiht moodustaks ühes obolus-liivakiviga Baltikumi alal ordoviitsiumi kõige vanema (alumise) lademe. See piir on iseäranis tähendusrikas just meie (Ida-Balti) ala kohta, sest sellega algas siin mere valitsus ja uus sedimentatsioon peale kauakestnud mandri ajajärku. Teine, hilisem transgressioon (glaukoniit-liiva moodustumine) tõi aga esile ainult vähemaid kohalisi randjoone nihkumisi, ega pole ka mingi silmatorkava fauna muutusega ühenduses.

Untersuchung des Dictyonemaschiefers in Estland nach Entstehung, Alter und Verbreitung.

(Referat.)

Die vorliegende Arbeit enthält eine eingehendere Untersuchung des in Nord-Estland auftretenden und zum Kambro-Ordovicium gehörigen Dictyonemaschiefers. Nach einer Einleitung und einem entsprechenden Literaturverzeichnis folgt im 1. Kapitel ein historischer Überblick der bis jetzt erschienenen Angaben und Untersuchungen über diese Schicht, angefangen von den ersten am Ende des XVIII. Jahrhunderts erschienenen Arbeiten bis zur Gegenwart. Hieraus ersehen wir, dass die ersten Daten über die Brennbarkeit des Dictyonemaschiefers aus dem Jahre 1809 stammen (4)[1]). Im Jahre 1838 (5, 6) werden mit ihm die ersten Versuche einer technischen Ausnutzung angestellt, die aber ein negatives Resultat ergeben.

Im Jahre 1840 findet Eichwald (7) das charakteristische Fossil *Dictyonema flabelliforme*, und vergleicht die Schicht mit dem englischen Wenlock-Schiefer. Im J. 1844 parallelisiert Obersky (11) sie mit den Caradoc-Schichten Englands. Im J. 1858 beschreibt F. Schmidt in seiner grundlegenden Arbeit (13) genauer die Ausbreitung und Mächtigkeit des Dictyonemaschiefers an verschiedenen Stellen und rechnet ihn zum Kambrium. Zum Ordovicium rechnet ihn als erster Moberg (26, 27), dem sich später Lamansky (37) und Bekker (59, 61) anschliessen.

Der Dictyonemaschiefer tritt in Estland nur am nord-estländischen Glint und den in ihn erodierten Tälern und Schluchten zum Vorschein. Der Glint, der wahrscheinlich eine Abrasionsterrasse des postglazialen Meeres ist, erstreckt sich kontinuierlich in west-östlicher Richtung von Baltischport bis Narwa und von dort weiter, undeutlicher ausgedrückt, über Jamburg, vorbei am Ladoga-See, ungefähr bis zum Onega-See.

---

1) Die entsprechende Nummer des Literaturverzeichnisses, S. 5.

Den Glint bilden folgende Schichten (ihre nähere Beschreibung steht im 4. Kapitel):

Formation	Benennungen nach Raymond-Bekker.	Zeichen	Benennungen nach Schmidt.
Unteres Ordovicium	Revaler Stufe . . .	C_1 b.	Echinosphäriten-Kalk.
	Asserinsche Stufe .	C_1 a.	Obere Linsenschicht.
	Kundasche Stufe . .	B_3 b. B_3 a.	Vaginatenkalk. Untere Linsenschicht.
	Baltischporter Stufe	B_2 b. B_2 a. B_1	Expansus-Kalk. Planilimbata-Kalk. Glaukonit-Sand.
	Packerorter Stufe. .	A_3	**Dictyonema-Schiefer.**
Kambrium	Quarz-Sandstein . .	A_2	Unguliten-Sandstein.
	Mesonacis-Zone . . Blauer Ton . . .	A_1	Blauer Ton.

Das 3. Kapitel enthält eine eingehendere stratigraphische Beschreibung des Dictyonemaschiefers, erläutert durch eine geologische Übersichtskarte des Glintes sowie Profile. Die ersten Spuren des Dictyonemaschiefers treten im Westen am Strande von Odinsholm und Dagerort in Form von vom Meere ausgeworfenen Scherben und Plättchen auf. Die Schicht selbst liegt hier unter dem Meeresspiegel und tritt erst auf der Halbinsel Baltischport zum Vorschein. Hier bildet sie zuerst einen schmalen Strandstreifen zwischen dem Meer und der Strandterrasse, um nördlicher schon als unterste Schicht dieser Terrasse aufzutreten. An der Spitze der Halbinsel, wo der ungefähr 21 m hohe Glint als steile Wand ins Meer hinabfällt, ist der Dictyonemaschiefer 4,5 m mächtig und liegt 7,8 m über dem Meeresspiegel. Danach können wir das allgemeine Fallen der Schicht berechnen, denn wir kennen den Ort, wo sie in der Höhe des Meeresspiegels liegt. Die Entfernung dieser beiden Punkte beträgt ungefähr 2100 m, der Höhenunterschied 7,8 m, folglich ist das Fallen 12′45″, rund $^1/_4{}^0$ (Fig. 1 S. 18).

Der steile von den Wellen unterspülte Glint setzt sich auch auf der Ostseite der Halbinsel fort, hier flacher und zweistufig

werdend. Die untere am Meere gelegene Terrasse besteht aus kambrischem Quarzsandstein und dem unteren Teil der Obolusschicht. Das sich zwischen ihnen befindende Grundkonglomerat liegt am Fusse der Terrasse, ungefähr in der Höhe der rezenten Abrasionslinie. Den Dictyonemaschiefer findet man stellenweise am Fusse der oberen Terrasse. Am Südeinschnitt der Lahepere-Bucht tritt der Glint als flacher Hang ins Land zurück und liegt unter Sandanhäufungen, die hier auch die Küste bedecken. Erst am Ostufer der Bucht, bei Laulasmaa, tritt er wieder deutlicher hervor, nach Norden zu immer steiler werdend. An der Mündung des Keila-Flusses ist ein ungefähr 2 km langer Einschnitt in den Glint erodiert, der jetzt mit alluvialen Sandanhäufungen gefüllt ist (Fig. 2 S. 19).

Beim Wichterpalu-Fluss hat sich eine breite Talung im Glint gebildet, die im Westen von einer deutlichen Terrasse begrenzt wird. Der Boden der Talung steigt allmählich in südöstlicher Richtung an und erreicht das Niveau des Glintes, so dass hier irgendwo der Dictyonemaschiefer in breiterer Ausdehnung zum Vorschein kommen müsste. Leider ist er aber durch die Vegetation verdeckt. An der steilen Kliffküste von Tischer, ungefähr 10 km westlich von Reval, kommt der Dictyonemaschiefer wieder zum Vorschein und bildet hier den oberen Teil des Kliffes, bedeckt von jüngeren losen Bildungen.

Die Stadt Reval liegt in einem niedrigen am Meere gelegenen Becken, wo die Schichten des Glintes bis auf den blauen Ton erodiert sind. Verschont von der Erosion ist nur der Domberg geblieben, dessen Oberfläche die Revaler Stufe bildet. Eine höhere Schwelle vereinigt den Domberg mit dem sandbedeckten Glint bei der Pernauschen Strasse. Angefangen von der Dörptschen Strasse tritt der Glint wieder deutlich zu Tage. Von hier aus kann man ihn in NE-Richtung bis hinter Kathrinental, über die Narwsche Strasse bis Marienberg verfolgen, wo er seine maximale Höhe erreicht und nach Osten abbiegt, den Südabhang der Brigittenflusstalung bildend. Der Dictyonemaschiefer liegt im mittleren Teil der Terrasse und schliesst sich bei der Narwschen Landstrasse und etwas südlicher in der sogenannten Wolfsschlucht auf (Fig. 3 S. 21). Auf der Halbinsel Wiems sehen wir wieder einen isoliert stehenden, inselartigen Teil des Glintes, den die Talung des Brigitten-Flusses vom übrigen Glint abtrennt.

Interessante Aufschlüsse des Dictyonemaschiefers eröffnen sich bei Hirro (10 km östlich von Reval), wo die Narwsche Landstrasse über den Brigitten-Fluss führt (Fig. 4 S. 22). Hier sind von der russischen Regierung grossartige Befestigungsarbeiten unternommen worden, und acht grosse, durchschnittlich 20 m tiefe Gräben (1—8) reichen durch den Kalkstein und Dictyonemaschiefer bis zum kambrischen Sandstein und sind miteinander durch unterirdische Gänge vereinigt. Fig. 5 S. 23 zeigt die Lagerung des Dictyonemaschiefers.

Östlich von Hirro können wir wieder zwei Terrassen verfolgen, die besonders deutlich beim Gute Ilgast zu Tage treten. Hier finden wir den Dictyonemaschiefer ungefähr 3 m mächtig, etwa 6—8 m hoch von der Baltischporter und Kundaer Stufe bedeckt. Von hier setzt sich der Glint bald als steilere, bald als flachere Stufe bis zum Jaggowal-Flusse fort, wo er sich unter den alluvialen Anhäufungen und Dünen verliert. Deutliche Profile kann man dennoch an den steilen Uferabhängen des Flusses sehen (Fig. 6 S. 23).

Weiter östlich ist der Glint flach und verdeckt. Beim Dorfe Kaberla tritt er noch einmal deutlicher hervor, wahrscheinlich von einem Teil des Obolussandsteins und den darauffolgenden Schichten bis zur Kundaschen gebildet, und wird am deutlichsten bei Zitter, wo er die Höhe von 28 m erreicht und 1,5 km vom Strande entfernt liegt. Östlich von Zitter liegt vor dem Glint eine Reihe von flachen weit nach Norden reichenden Halbinseln, deren Oberfläche aus jüngerem Material besteht und nirgends den Untergrund zeigt. Der Glint läuft hier als flache vom Meere abseits liegende Stufe fort, meist bewaldet und keine deutlichen Aufschlüsse aufweisend.

Eine weite Berühmtheit hat die Umgegend von Kunda durch die grossartigen Aufschlüsse an der vom Meere etwas abseits liegenden Strandterrasse und den steilen Flussufern erworben. Hier sind allerdings nur die alleruntersten Schichten des Glintes sichtbar, während der Dictyonemaschiefer erst südlicher in der zweiten Terrasse auftritt, die von hier weiter nach Malla und Asserin zu fortläuft. Bei Asserin vereinigen sich die beiden Strandterrassen wieder zu einem einheitlichen Glint (Fig. 7 S. 24). Die am Meeresufer an der Oberfläche gelegene Asserinsche und teilweise Revaler Stufe verflachen sich südlich bis zum Dictyonemaschiefer und Obolussandstein. An der Narwa-Revaler Landstrasse steigt die Oberfläche wieder in Form von

einer Stufe an, an deren Fuss stellenweise der Glaukonitkalkstein zum Vorschein kommt; auf ihn folgt die Kundasche Stufe. So liegt hier der Dictyonemaschiefer in weiterer Ausdehnung entweder gerade an der Oberfläche oder sehr nah davon entfernt.

Die erwähnte Terrasse bildet an der Mündung des Ise-Flusses wieder einen Einschnitt in den Glint, der mit dem Sande des früheren Flussdeltas angefüllt ist (Fig. 9 S. 25). Am Meeresufer, mitten in dieser Sandanhäufung, erhebt sich die einzige höhere und aus dem anstehenden Gestein bestehende rückenartige Erhebung, der sogenannte Hiiemägi, dessen Oberfläche die Kundasche Stufe bildet, während rund herum der Boden bis auf den Quarzsandstein erodiert ist. An den Flussufern treten vom Meere her kommend nacheinander der kambrische Sandstein, die zwischenliegenden Schiefer- und Glaukonitschichten und schliesslich die Kalksteine zum Vorschein. Die Dictyonemaschicht sehen wir an einem frischen Aufschluss, der auf den beigefügten Photographien (Fig. 10, 11 S. 26, 27) ein kompliziertes Profil aufweist. Unter anderem ist hier deutlich die diskordante Lagerung des Glaukonitsandes auf der Dictyonemaschicht zu sehen (Fig. 11).

Entsprechend dem Fallen der Schichten liegt der Dictyonemaschiefer an den Hängen des Flusstales nach Süden zu immer niedriger und niedriger und erreicht schliesslich bei der Nigula-Mühle den Wasserspiegel des Flusses. Der Untergrund der östlich vom Flusse gelegenen flacheren und von Deltasand angefüllten Niederung scheint von Glaukonitschichten und zum Meere zu vom Dictyonemaschiefer, sowie dem Obolus- und kambrischen Sandstein gebildet zu sein. Letzterer ist an der beim Dorf Moldowa befindlichen Terrasse sichtbar (Fig. 12 S. 28), während man am Rande der oberen Terrasse die Kundasche Schicht findet. Da die Oberfläche zwischen diesen beiden Stufen sich allmählich verflacht, so müsste der Dictyonemaschiefer hier als verhältnismässig breiter Gürtel auftreten. Er kommt aber unter den losen Anhäufungen und der Pflanzendecke nirgends zum Vorschein.

Beim Gute Sackhof vereinigen sich die beiden Terrassen wieder und setzen sich als höherer Glint über Ontika und Walaste bis Toila und Oru, die in der Mündung des Heiligen-Flusses liegen, fort. Bei Ontika erreicht der Glint seine maximale Höhe — 55,6 m, und die Mächtigkeit des Dictyonemaschiefers beträgt hier 2,5—3 m in einer Höhe von

35 m über dem Meeresspiegel. An der Mündung des Heiligen-Flusses hat sich wie gewöhnlich ein Einschnitt in den Glint gebildet, der bis zum Dorfe Raustfer reicht. Zwischen Toila und Oru fällt der Glint in 2 Stufen zum Flusse ab, von welchen die obere aus Kalken der Kundaschen und Baltischportschen Stufe, die untere aber aus dem Quarzsandstein gebildet sind. Der dazwischenliegende Dictyonemaschiefer tritt nirgends zum Vorschein, liegt aber wahrscheinlich am Fusse der oberen Stufe. Östlich von Raustfer hebt sich der Glint wieder und erreicht bei Peuthof wieder sein vollständiges Profil. Nun folgt ein zweiter Einschnitt bei Sillamägi und Kannuka an der Mündung des Sottküla-Flusses, wo man wiederum zwei Stufen findet, deren Zwischengrenze ungefähr der Obolussandstein und der Dictyonemaschiefer sind. Bei Waiwara, Utria und Merekülll nimmt der Glint noch einmal die Gestalt einer steilen Wand an, die Dictyonemaschicht wird jedoch immer dünner und dünner und beginnt allmählich auszukeilen. Östlich von Merekülll tritt der Glint vom Meere zurück und setzt sich, von Sandanhäufungen bedeckt, als flacher Hang bis Narwa fort, wo der Dictyonemaschiefer vollständig verschwunden ist (Fig. 13 S. 29). An seiner Stelle liegt bloss eine dünne Schicht bräunlichen Tons, der nach Holm auch *Dictyonema flabelliforme* enthält.

Von Narwa reicht der Glint weiter nach Osten ins Petersburger Gouvernement bis zu dem Ladoga- und Onega-See. Hier kommt der Dictyonemaschiefer wieder zum Vorschein und erreicht bei Koporje sogar seine maximale Mächtigkeit — 6 m.

Die Ausbreitung des Dictyonemaschiefers westlich von Estland ist im 6. Kapitel erörtert. Wie weit in den Süden er unter den anderen Schichten reicht, ist nicht festgestellt. Jedenfalls ist er bei Hapsal noch vorhanden, wo er bei Bohrungen in einer Mächtigkeit von 2,5 m gefunden worden ist (46). Im Pleskauschen und Minsker Gouvernement hat Karpinsky (25, 29) einzelne Aufschlüsse entdeckt.

Das 4. und 5. Kapitel enthalten eine eingehendere Beschreibung der Petrographie und der chemischen Zusammensetzung des Dictyonemaschiefers, sowie der in ihm gefundenen Fauna. Der Verfasser meint, dass der von F. Schmidt genannte *Bryograptus Kjerulfi* in Estland nur an einzelnen Stellen in den obersten Lagen des Dictyonemaschiefers vorkomme, während

eine kontinuierliche Bryograptus-Zone wahrscheinlich zum grössten Teil wegerodiert sei.

Im 6. Kapitel wird die Aufeinanderfolge und der Charakter der Schichten der Silurgebiete Skandinaviens, Englands und N.-Amerikas behandelt, was in der beigefügten Tabelle (S. 42—43) zusammengefasst ist. Um den Vergleich mit den Kambro-Ordovicium-Schichten Estlands zu erleichtern, sind die entsprechenden skandinavischen Schichten folgendermassen gruppiert:

4. Ordovicium.
   - b) Orthoceras-Kalk (Planilimbata-, Limbata-, Lituit- u. s. w. Kalk).
   - a) Der untere Graptolithen-Schiefer (Phyllograptusschiefer).

3. Die Übergangsschichten zwischen Kambrium und Ordovicium.
   - c) Ceratopyge-Kalk.
   - b) Ceratopyge-Schiefer.
   - a) Dictyonema- und Bryograptus-Schiefer.

2. Kambrische Schiefer.
   - b) Olenus-Schiefer (Oberes Kambrium).
   - a) Paradoxides-Schiefer (Mittleres Kambrium).

1. Unter-kambrische Sandsteine.
   Die sogen. Eophyton- und Fucoiden-Sandsteine oder Olenellus-Schichten.

Urberg.

Die Schichten 3a, b und c sind zu einer besonderen Gruppe vereinigt worden, weil gerade in diesen Schichten die grössten Unterschiede zwischen den einzelnen Silurgebieten vorkommen. Deshalb gehen auch die Meinungen verschiedener Autore in betreff der Grenze zwischen Kambrium und Ordovicium auseinander. Die darunterliegenden Schiefer werden mit Bestimmtheit und einstimmig zum Kambrium, und die darüberliegenden zum Ordovicium gerechnet.

Die obige Tabelle mit der Reihenfolge der Schichten in Estland vergleichend, finden wir im allgemeinen eine völlige Übereinstimmung. Auch in Estland bilden die unterkambrischen Tone und Sandsteine die Unterlage der Formation, auch was die Fossilien anbetrifft denjenigen von Skandinavien gleichend. Die mittel- und oberkambrischen Schichten mit Para-

doxides und Olenus fehlen in Estland vollständig, während auf der Grenze von Kambrium und Ordovicium wieder in entsprechender Weise der Dictyonemaschiefer liegt. (Vielleicht auch die Bryograptus-Zone?)

Der unter dem Dictyonemaschiefer liegende und früher zum oberen Kambrium gezählte Obolussandstein bildet eigentlich mit dem Dictyonemaschiefer eine gemeinsame Zone und ist nur das Kennzeichen des Anfangs einer Transgression nach einer langdauernden Festlandsperiode. Natürlich fehlt diese Ablagerung in den skandinavischen Gebieten, wo während der ganzen kambrischen Periode Meer war und der Olenusschiefer direkt in den Dictyonemaschiefer übergeht (Norwegen, Schonen, Vestergötland). Ebenso fehlen der Obolussandstein und der Dictyonemaschiefer da, wo am Ende des oberen Kambriums eine Festlandsperiode einsetzte, und der Peltura-Zone direkt eine jüngere Schicht folgt (Jemtland, Nerike, Mittel-Baltisches Silurgebiet und Wåmb in Vestergötland). Stellenweise finden wir aber zwischen dem Dictyonemaschiefer und der Peltura-Zone Sandsteine oder Konglomerate, die man mit dem Obolussandstein Estlands vergleichen kann. Als solche treten auf in Öland das Oboluskonglomerat, sich direkt auf den mittelkambrischen Schichten ausbreitend, im Nord-Baltischen Silurgebiet der Obolussandstein, der dem unterkambrischen Olenellus-Sandstein folgt, und in Östergötland Sandsteine mit Brachiopodenresten (vielleicht Obolus). Das Oboluskonglomerat von Dalarne ist wahrscheinlich jünger, als die Pakerorter Stufe in Estland, denn ihm folgt unmittelbar der Glaukonitkalkstein und der Phyllograptusschiefer. Es scheint zur Zeit der Transgression entstanden zu sein, als die erodierte Oberfläche des estländischen Dictyonemaschiefers sich mit Glaukonitsand zu bedecken begann. Von dieser Transgression sind aber in Skandinavien bis jetzt keine Spuren beschrieben worden. In Östergötland folgt, wie gewöhnlich, der grüne Glaukonitsand auf den Dictyonemaschiefer: eine Diskordanz dieser Schichten wird in der Literatur nicht erwähnt. In Öland geht der Dictyonemaschiefer allmählich ohne scharfe Grenze in den Ceratopyge-Schiefer über. Scheinbar ist eine Unterbrechung der Sedimentation nur dort aufgetreten, wo die sogenannte Euloma-Niobe-Fauna fehlt (Ost- und Mittel-Baltisches Silurgebiet, Jemtland, Nerike, Östergötland). Deshalb parallelisiert Lamansky (37) mit vollem Recht unsere

Glaukonitschichten (Sand und Kalkstein) erst mit dem skandinavischen Phyllograptus-Schiefer und Planilimbata- sowie Limbata-Kalk.

Das 7. Kapitel behandelt die Entstehung und das Alter des Dictyonemaschiefers. Er, wie überhaupt die Graptolithenschiefer, ist bis jetzt für Tiefseeablagerungen gehalten worden, ungeachtet der auffallenden Tatsache, dass der Dictyonemaschiefer in Estland in enger Verbindung mit dem Obolussandstein steht, über dessen Entstehung als Küstenablagerung kein Zweifel sein kann. Erst im Jahre 1921 erklärten H. Scupin[1]) und H. Bekker (59) den estländischen Dictyonemaschiefer für eine Flachwasserablagerung. Am wahrscheinlichsten ist, dass das Ablagerungsbassin von der Tiefsee durch Sandbänke abgetrennte flache Lagunen waren, in deren stagnierendem Wasser sich eine reiche Fauna von *Dictyonema flabelliforme* und vielleicht auch einige Algen entwickelt hatten, während das Ablagerungsmaterial von einigen orthoklasreichen Gesteinsarten (Finnlands Felsgerüst) geliefert wurde, deren feine Verwitterungsprodukte sich dicht mit den zu Boden sinkenden organischen Resten vermengten. Infolge von Schwankungen des Meeresspiegels traten diese Lagunen von Zeit zu Zeit mit dem offenen Meer in Verbindung und dann wurde die dünne aus organischen Resten entstandene' sapropelitische Dictyonemaschicht von Sand bedeckt. Solch ein Wechsel zwischen Trennung und neuer Vereinigung mit dem Meer ist mehrere mal vor sich gegangen, bis schliesslich das Bassin auf längere Zeit zur tieferen Lagune wurde, und sich die Hauptmasse des Dictyonemaschiefers, ohne Sandzwischenlagen, ablagerte.

Der Entwicklungsgang dieses Ablagerungsgebietes wäre in allgemeinen Zügen folgendes (Fig. 14 S. 47). Das unterkambrische Meer, in dem sich in Estland der blaue Ton und die ihm entsprechenden Sandsteine Skandinaviens ablagerten, und in dem Dalarne eine Insel darstellte, zog sich zuallererst aus dem Nord- und Ost-Baltischen Gebiet zurück, und zwar am Ausgang des unteren Kambrium, während in den anderen Gebieten andere Ablagerungsbedingungen entstanden (Schiefer an Stelle von Sandsteinen). Diese ganze Zeit über war Estland Festland. Am Ende des Mittelkambriums erreichte die Regression Öland, und am Ende des oberen Kambriums war das Meer schon aus dem

1) Sitzungsber. Dorp. Naturforsch. Ges. XXVIII, 1921, p. XIX.

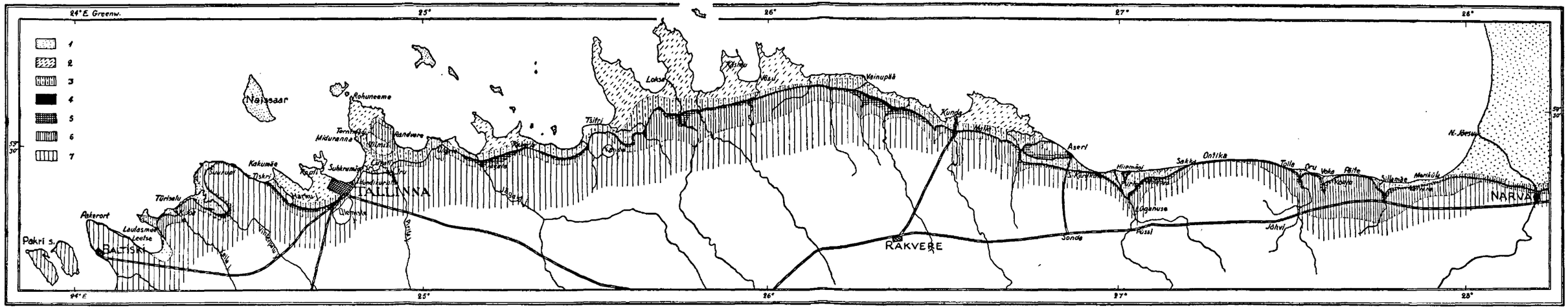
Mittel-Baltischen Gebiet, Nerike, Jemtland, Östergötland (?) und teilweise auch Vestergötland zurückgetreten und bedeckte nur noch einen Teil von Vestergötland, Schonen, Skandinavien, Norwegen und den weiteren Westen. Die folgenden Schichten von Obolussandstein und Konglomeraten sind die Kennzeichen einer neuen Transgression. Das Mittel-Baltische Gebiet, Nerike, Jemtland, Teile von Vestergötland (Wâmb) und Dalarne blieben auch dann Festland. Zugleich trat auch eine zweite Veränderung der Ablagerungsbedingungen im Bassin ein: es erschienen zum ersten mal Graptolithen und zwar *Dictyonema*. Das Meer näherte sich Estland von Westen her und füllte vielleicht zuerst das Becken des Finnischen Meerbusens, das sich, wie man annimmt, schon im Prekambrium gebildet hat. Von hier aus drang es allmählich weiter nach Osten und Südosten ein. Die Ausdehnung der Transgression in dieser Richtung ist schwer zu bestimmen. Sicher sind nur zwei Punkte: das Dorf Kunitzy im Pleskauschen Gouvernement und das Dorf Ravanitschi im Minskschen. In letzterem ist der Dictyonemaschiefer stark sandig, was vielleicht auf die Nähe der Strandlinie deutet. Dass die Ablagerungsbedingungen in diesem ganzen weiten Gebiet nicht die gleichen waren, beweisen die Verschiedenheit der Mächtigkeit, des petrographischen Charakters und das stellenweise Auskeilen der Schicht (Narwa).

Das Bassin war vom westlichen Hauptbassin die ganze Zeit über getrennt, wo sich im Westen die die sogenannte Euloma-Niobe-Fauna enthaltenden Schichten (Ceratopyge-Schichten) bildeten. Danach erweiterte sich das Meer von neuem und überflutete die bis jetzt Festland (oder Inseln) gewesenen Jemtland, Dalarne, Nerike, Ostergötland und das Ost-Baltische Gebiet. Für Dalarne war das die erste Transgression überhaupt. In Estland reichte die neue Transgressionsgrenze nicht viel weiter, als die frühere, denn die Mächtigkeitsverhältnisse des Glaukonitsandes entsprechen denjenigen des Dictyonemaschiefers, und sie keilen beide bei Narwa und Jamburg aus. Die Oberfläche des Dictyonemaschiefers ist stellenweise erodiert, wahrscheinlich hat sie hier über den Meeresspiegel hinaus gereicht. Erst während der darauffolgenden Bildung des Glaukonitkalkes erweiterte sich das Meer stärker, und in allen skandinavischen Gebieten setzten ähnliche Bedingungen ein, die sich bei der Ablagerung des Orthocerenkalkes vollständig ausgeglichen hatten.

Was das geologische Alter des Dictyonemaschiefers anlangt, so schliesst sich der Verfasser vollständig der Ansicht von Moberg (27, 34), Lamansky (37), Bekker (61) u. a. an, die die grosse Transgression, während der sich das Oboluskonglomerat und der Sandstein bildeten, für den Anfang des Ordoviciums halten, so dass der Dictyonemaschiefer im Verein mit dem Obolussand die älteste Stufe des baltischen Ordoviciums bildet. Diese Grenze ist gerade für's Ost-Baltische Gebiet besonders bedeutungsvoll, denn damit begann hier das Herrschen des Meeres und eine neue Sedimentation nach einer langen Festlandsperiode. Die zweite, spätere Transgression verursachte dagegen nur kleine Verschiebungen der Strandlinie und hatte auch keine auffallende Faunaveränderung zur Folge.

Põhja-Eesti paekalda geoloogiline ülevaate-kaart. — Geologische Übersichtskarte des nordestländischen Glints.

1 : 600 000



Kambrium
1 — Kvartäär.
2 — sinisavi (aluspõhjana).
3 — valge rändliivakivi ja obolusliivakivi.

Alam-ordoviitsium
4 — **diktüoneema-kiht.**
5 — Baltiski lade (glaukoniit-liiv ja lubjakivi).
6 — Kunda lade.
7 — Aseri ja kõrgemad lademed.

Kambrium
1 — Quartär.
2 — Blauer Ton (als Untergrund).
3 — Quarz-Sandstein und Obolus-Sandstein.

Unteres Ordovicium
4 — **Dictyonema-Schiefer.**
5 — Baltischportsche Stufe (Glaukonitsand und -kalk).
6 — Kundasche Stufe.
7 — Asserinsche und hangende Stufen.

K. Mattiesen'i trükk, Tartus.

Sisu.

		Lhk
	Sissejuhatus	3
	Kirjandus	5
1.	Ajalooline ülevaade	9
2.	Põhja-Eesti paekalda moodustavate kambriumi ja alam-ordoviitsiumi lademete ülevaade	13
3.	Diktüoneema-kihi üksikasjalisem stratigraafiline kirjeldus	16
4.	Kihi petrograafia ja kemism	30
5.	Fauna	33
6.	Diktüoneema-kihi võrdlus naabrusalade vastavate kihtidega	37
7.	Diktüoneema-kihi tekkimine ja vanadus	45
	Deutsches Referat	50

14 joonist, 1 kaart.

ZUR BESTIMMUNG DES VERTORFUNGS-GRADES

VON

YRJÖ KAUKO

DORPAT 1924

C. Mattiesen, Dorpat.

Nach unserer jetzigen Auffassung besteht die Vertorfung darin, dass die organischen Bestandteile des Torfes, wie Kohlehydrate, Lignin, Eiweisstoffe und Aetherextrakte sich zersetzen. Es entstehen dabei bis jetzt unbekannte Zersetzungsprodukte, die sogen. Humusstoffe. Allerdings wird im allgemeinen angenommen, dass die Eiweisstoffe sowie Aetherextrakte sich verhältnismässig wenig zersetzen, und hauptsächlich die Kohlehydrate die Humusstoffbildung veranlassen.

Noch in der allerletzten Zeit ist von Fischer und Schrader[1]) die Auffassung vertreten worden, dass die Kohlehydrate sehr schnell von dem Luftsauerstoff oxydiert werden, und dass die Humusstoffe hauptsächlich durch die Oxydation von Lignin entstehen.

Die Humusstoffe sind braun gefärbt und lösen sich in H_2O bis zu einem gewissen Grade auf.

Sven Oden[2]), der viele eingehende Untersuchungen über verschiedene Humusarten ausgeführt hat, hat auch eine Bestimmung des Vertorfungsgrades vorgeschlagen. Nach ihm werden die relativen Mengen des Humusstoffes nach der Farbentiefe der aus Torf hergestellten Humuslösungen geschätzt. Als Mass wird eine Lösung angewandt, welche aus reinen Humussäuren nach bestimmten Vorschriften hergestellt wird; dabei wird natürlich vorausgesetzt, dass die Menge der Humusstoffe den Masstab des Vertorfungsgrades bilden.

Vor kurzem ist ein Vorschlag von Keppeler[3]) erschienen, nach welchem nicht die bei der Vertorfung entstehenden, sondern die verzuckerbaren Bestandteile als Masstab für den Vertorfungsgrad benutzt werden. Da die Zersetzung der Kohlehydrate massgebend für die ganze Vertorfung sein soll, so schlägt er vor, dass der Kohlehydratgehalt des Torfes im Vergleich zu dem im unzersetzten Torf vorhandenen auch das Mass des Vertorfungsgrades bilden soll.

---

1) Fischer u. Schrader, Brennstoffchemie 3 (65) 1922. Neue Beitr. z. Entstehung u. chem. Struktur der Kohle.

2) Odén Mellin, Kolorimetr. Untersuchg. über Humus u. Humifizierung.

3) Keppeler, Mitteilung. d. Ver. z. Förderung d. Moorkultur, Berlin, Heft I, 1920.

Keppeler führt seine Bestimmung des Vertorfungsgrades folgenderweise aus: der zu untersuchende Torf wird zuerst mit konzentrierter Schwefelsäure behandelt, nachher wird die Lösung verdünnt und im Autoklav angekocht. In der so entstandenen Lösung wird die Zuckerbestimmung ausgeführt. Nach den Veröffentlichungen Keppelers zu schliessen, nimmt er einen Zuckergehalt von 68 % im unzersetzten Torf an und vergleicht den prozentualen Zuckergehalt des Torfes mit demjenigen des unzersetzten Torfes, wobei die Abnahme des Zuckergehalts auch den Zersetzungsgrad des Torfes angeben soll. Auf diese Art hat Keppeler eine grosse Serie von Untersuchungen veröffentlicht, wobei tatsächlich der so berechnete Zersetzungsgrad mit dem wirklichen Zersetzungsgrad des Torfes ziemlich übereinstimmt. Dieses steht in einem gewissen Widerspruch mit den Annahmen von Fischer [1]).

Man kann Keppelers Ansicht so darstellen, dass sich in erster Linie die Kohlehydrate abbauen, die Zersetzung anderer Torfsubstanzen tritt daneben zurück, oder sie ist derjenigen von Kohlehydraten evtl. proportional zu setzen, so dass der Vertorfungsgrad durch den Zersetzungsgrad der Kohlehydrate gegeben wird. Inwiefern diese Auffassung sich als richtig erweist, ist aus der vorläufigen Mitteilung Keppelers nicht ersichtlich. Nach unserem Ermessen dürfte kaum eine mathematische Abhängigkeit zwischen der Zersetzung der Kohlehydrate, des Lignins und der Humusstoffe bestehen. Diese sind alle von der Zeit abhängig, aber wahrscheinlich voneinander unabhängig. Es dürfte zu erwarten sein, dass schon entstandene Humusstoffe und noch evtl. vorhandenes Lignin sich auch dann weiter zersetzen, wenn die Kohlehydrate schon alle oder beinahe alle verschwunden sind Es ist ja bekannt, dass Torfarten, welche nur Spuren von Kohlehydraten enthalten, prozentual noch sehr reich an Sauerstoff sind. Andrerseits ist der Sauerstoffgehalt auch bei den sozusagen vollkommen zersetzten Torfarten verschieden hoch, welcher Umstand so erklärt werden kann, dass die Humusstoffe, selbst unabhängig vom Kohlehydratgehalt, sich weiter zersetzen. Dessenungeachtet kann man für die erste Orientierung die oben angeführte Annahme von Keppeler gelten lassen.

Die Berechnung des Vertorfungsgrades nach Keppelers Ver-

1) Fischer loc. cit.

suchsdaten setzt voraus, dass der Bestandteil im Torf, welcher Fehlingsche Lösung reduziert, von Kohlehydraten herstammt. Kauko und Lange[1]) haben gezeigt, dass auch die Humusstoffe des Torfes bei der Behandlung mit konzentrierten Säuren reduzierende Stoffe geben.

Es ist in der Arbeit der obengenannten Verfasser bewiesen worden, dass die Humusstoffe bis zu 65 %, als Glucose berechnet und auf Torftrockensubstanz bezogen, Fehlingsche Lösung reduzierende Stoffe ergeben. Gleichzeitig entsprach der Kohlehydratgehalt des Torfes nur 45 % reduzierender Stoffe als Glucose berechnet. Es ist einleuchtend, dass eine auf diese Weise ausgeführte Kohlehydratbestimmung nicht einwandfreie Resultate ergibt, sondern u. U. zu vollkommen falschen Werten führen kann.

Allerdings geht aus den Untersuchungen von Kauko und Lange nicht hervor, wie sich der Torf bei der Behandlung nach Keppeler verhalten würde, weil die genannten Verfasser den Torf mit Chlorwasserstoff hydrolysiert hatten. Aber die in dem Laboratorium des Technischen Instituts zu Tammerfors später ausgeführten Versuche haben ergeben, dass auch nach der Arbeitsweise von Keppeler u. U. erheblich mehr reduzierende Stoffe entstehen, als nach dem Kohlehydratgehalt des Torfes zu erwarten wäre.

Dass die Analysenergebnisse von Zufälligkeiten bei der Ausführung der Analysen abhängig sind, dürfte damit zusammenhängen, dass die reduzierenden Verbindungen, welche von Humusstoffen herstammen, keine Zucker-, sondern bis jetzt unbekannte, dem Zucker ähnliche, stark Fehlingsche Lösung reduzierende Stoffe sind, die sich wahrscheinlich an der Luft sehr leicht oxydieren, oder sich in allen Fällen sehr leicht zersetzen.

Obgleich die Kohlehydratbestimmung durch die oben erwähnte Zuckerbestimmung auf Schwierigkeiten stösst, so könnte man sich doch denken, dass die relative Kohlehydratmenge des Torfes proportional der entstandenen scheinbaren Zuckermenge ist. Diese Annahme liegt umso näher, als wahrscheinlich die Humusstoffe, welche sich am wenigsten zersetzt haben, reduzierende Stoffe geben. Diese Frage ist aber noch nicht aufgeklärt, und in allen Fällen ist es bedenklich, diese Proportionalität ohne

1) Kauko und Lange, Beiträge zur Kenntnis der Torfhydrolyse, Annalen der Finnischen Akademie d. Wissensch. 1923.

weitere Begründung anzunehmen. Es könnte ja vorkommen, dass ein wenig zersetzter Torf mehr reduzierende Stoffe gäbe, als der ursprünglich unzersetzte Torf. Dieses kann man sich sehr leicht denken, wenn man berücksichtigt, dass die Humusstoffe evtl. stärker Fehlingsche Lösung reduzierende Stoffe ergeben, als es der Zucker ist. Unter dieser Voraussetzung kann nämlich ein bestimmter aus Kohlehydraten entstandener Torf mehr Fehlingsche Lösung nach der Hydrolyse reduzieren, als die ursprünglichen Kohlehydrate. Dieses ist umso mehr der Fall, als bei der Zersetzung das Gewicht der Trockensubstanz abgenommen hat, so dass hierdurch eine scheinbare prozentuelle Erhöhung des Zuckergehalts veranlasst wird. Wir müssen ausserdem bedenken, dass wir gewöhnlich die Reduktionskraft auf Glucose umrechnen, und dadurch den Fehler evtl. vergrössern.

Einige Versuchsergebnisse von Kauko und Lange machen es jedoch wahrscheinlich, dass bei richtiger Wahl der Hydrolysenverhältnisse, der Behandlungszeit und Temperatur die Kohlehydratbestimmung im Torfe als Zucker durchführbar ist. Dieser Umstand muss jedoch erst genau experimentell geprüft werden.

Keppeler berechnet den Vertorfungsgrad direkt aus der Zuckeranalyse. Dieses Verfahren hat bei uns Bedenken erweckt, und wir haben es rechnerisch verfolgt. Wir nehmen für unsere Betrachtungen A_o gr des unzersetzten Torfes an, welcher A gr teilweise zersetzten und A_v gr vollkommen zersetzten Torf ergibt. Nach Keppeler verstehen wir unter dem vollkommen zersetzten Torf ein Produkt, welches kein Kohlehydrat enthält. Wenn man diese drei verschiedenen Vertorfungsstufen hydrolysiert, so erhält man an reduzierenden Stoffen als Glucose berechnet a_o, a und o gr, also auf 1 gr Torftrockensubstanz in der ersten Stufe $\frac{a_o}{A_o}$, in der zweiten Stufe $\frac{a}{A}$ und in der dritten Stufe o gr Zucker.

Keppeler nimmt nun an, dass für die Zersetzung der prozentuale Zuckergehalt $100\ a/A$ des Torfes massgebend sei. Da im Anfang der Zuckergehalt $100\ \frac{a_o}{A_o}\ \%$ war, so ist die Zersetzung:

$$\frac{a}{A} : \frac{a_o}{A_o}$$

falls der unzersetzte Torf in Bezug seines Zuckergehaltes mit 1 bezeichnet wird, oder

$$100 \cdot \frac{a}{A} \frac{A_o}{a_o}$$

falls derselbe mit 100 bezeichnet wird, der Rest

$$G = 100 - 100 \frac{a}{A} \cdot \frac{A_o}{a_o}$$

gibt also die Zersetzung in einer Skala an, wo 0 die unzersetzte und 100 die vollständig zersetzte Stufe bedeutet.

Der Vertorfungsgrad ist allerdings kein genau definierter Begriff. Da es sich aber bei der Zersetzung um gleichzeitige Gewichtsabnahme des Torfes handelt, so wäre es eindeutig und in den meisten Fällen zweckmässig, den Bruch: $\frac{A}{A_o}$ als Zersetzungsgrad zu bezeichnen. Es kommen zwar Fälle vor, wo die Vertorfung bei bestimmten Stufen unter Gewichtszunahme stattfinden kann [1]), aber abgesehen von diesen seltenen Fällen dürften die Zersetzung und die Gewichtsabnahme des Torfes zusammengehen.

Wenn der Zersetzungsgrad im obigen Sinne jetzt durch die Zersetzung der Kohlenwasserstoffe bedingt wird, dann müsste folgendes Verhältnis bestehen:

$$\frac{A - A_v}{A_o - A_v} = \frac{a}{a_o - o}$$

Der Einfachheit wegen bezeichnen wir jetzt mit

$$x = \frac{a}{a_o} \cdot \frac{A_o}{A} \quad \text{und} \quad z = \frac{A}{A_o} \quad \text{bezw.} \quad Z = \frac{A_v}{A_o}$$

Unter dieser Annahme ergibt sich:

$$z \,.\, x(Z - 1) + x = Z.$$

Offensichtlich ist die nach Keppeler bestimmte Zahl x dem richtigen Zersetzungsgrad z nicht proportional. Dessenungeachtet gibt die Keppelersche Zahl, wie aus der analytischen Beziehung ersichtlich ist, ein Bild von der Zersetzung des Torfes.

Der Verfasser [2]) hat jetzt an einer anderen Stelle gezeigt,

1) Berthelot u. André, Recherches calorimetriques 1 — acide humique dérivé du sucre. Ann. d. chim. et de physique (6) 25, 403, 1892.

2) Kauko, Beiträge zur Kenntnis der Torfzersetzung und Vertorfung. Act. et Comment. Univers. Dorpat. A V. 5 S. 1, 1924.

dass die Annahme, die Zersetzung des Torfes bestehe in Wasserabspaltung, nicht richtig sein kann, sondern dass man weiter annehmen muss, dass neben dem Wasser auch Kohlensäure bei der Zersetzung erscheint.

Der Verfasser bekennt sich weiter zu der Annahme, dass ausser Kohlensäure und Wasserabspaltung keine weitere Gewichtsabnahme der organischen Substanz stattfindet, ebenso wie die verschiedenen Stufen des Torfes alle solchen Pflanzenarten entstammen, deren chemische Bruttozusammensetzungen nahezu gleich sind. Unter diesen Voraussetzungen leitet der Verfasser eine Formel ab, durch welche man den Zersetzungsgrad des Torfes aus den Ergebnissen der Elementaranalyse bestimmen kann [1]).

Bezeichnet man den Zersetzungsgrad mit x, so ist

$$x = \frac{9h_o + {}^{11}/_3\, c_o - 100}{9h + {}^{11}/_3\, c - 100}$$

wo h_o und c_o den Prozentgehalt an Wasserstoff bezw. Kohlenstoff im Anfang und h und c dieselben in der entsprechenden Vertorfungsstufe bedeuten.

Der Verfasser hat die Richtigkeit dieser Formel an der Hand einiger Analysendaten geprüft und gefunden, dass der Vertorfungsgrad bis auf einige Ausnahmen dem Alter des Torfes entspricht.

Offensichtlich basieren die hier angeführten Bestimmungsmethoden auf ganz verschiedenen Annahmen. Es wäre deswegen erwünscht, dass in einigen Versuchen die Ergebnisse der verschiedenen Methoden miteinander verglichen würden. Dadurch gelangten wir vielleicht zu einer Methode, durch die sich mit Sicherheit der Vertorfungsgrad bestimmen liesse; aber auf alle Fälle dürfte man auf diesem Wege über die Vorgänge, welche sich bei der Vertorfung abspielen, Aufschluss erhalten.

1) Kauko, loc. cit.

Tammerfors, Technisches Institut,
den 11. Dezember 1920.

TARTU ÜLIKOOLI ROHUTEADUSE-INSTITUUT, KEEMIALABORATOORIUM
Direktor: Dots. H. PARTS

EESTI PIPARMÜNDI-ÕLI

(OLEUM MENTHAE ESTHICUM)

Dr. pharm. N. WEIDERPASS

MIT EINEM REFERAT:

DAS ESTNISCHE PFEFFERMINZÖL

TARTU 1924

K. Mattiesen'i trükk, Tartus.

Piparmündi-õli tarvitamine farmaatsias on kaunis laialdane. Et aga tema koosseis väga mitmesugune on, siis on tema väärtuse ja koosseisu kindlakstegemine väga tähtis.

Eestis on ainult A./S. „Helios'e" poolt piparmünti kultiveeritud, nimelt „Mentha piperita var. alba et nigra". Käesoleva töö juures on uurimiseks tarvitatud A./S.„Helios'e" laboratooriumis destilleeritud ja puhastatud õli. Piparmündi-õli tähtsamad osised on mentool ja mentoon. Esimene on suuremalt jaolt vabalt ja osalt estrina, nimelt palderjan- ja äädikhappega ühendatult.

Kvalitatiivsetel katsetel andis uuritav õli järgmised tagajärjed:

1) Broomi juurdelisamisel tekkis lilla värv.

2) 20 tilka õli ühe tilga suitseva salpeeterhappega loksutamisel andis rohekas-sinise värvi, vaskpunase fluorestsentsiga.

3) Segu, mis koos seisis 2 tilgast õlist, 10 tilgast alkoholist, 0,1 suhkrupulbrist ja 2 tilgast soolhappest, andis soendamisel lilla värvi, mis kiiresti tumesiniseks läks.

4) Segu, mis koos seisis ühesugusest ruumosast õlist ja soolhappest, andis kloraalhüdraadi juurdelisamisel roosa värvi.

5) Uuritav õli andis ka Utz'i värvireaktsioonid:

a) Segu: 1 gr piparmündi-õlist, 5 sm^3 absoluutsest alkoholist, ühest tilgast furfuroolist ja 1 sm^3 soolhappest (1,19) muutus soendamisel tumesinikas-roheliseks. b) Segu: 1 sm^3 õli, 5 sm^3 absoluutset alkoholi ja $Sncl_2$ lahust tekitas soendamisel punase värvi.

6) Üks tilk õli 5 sm^3 formaldehüüdiga segatult andis soendamisel roosa värvi, mis äädikhappe juurdelisamisel intensiivsemaks muutus.

7) Õli lahustus 5 osas 70° alkoholis ja õli nõrga hapu reaktsiooniga.

Uuritava õli füüsikalised ja optilised omadused on $d20^0 = 0{,}9086$; ${}^{\alpha}D = -17{,}63$; ${}^{n}D20^0 = 1{,}4584$.

Piparmündi-õli väärtuse määramisel on väga tähtis mentoolisisaldis. Seda näitab meile nn. atsetüüli-arv (reaktsioon hüdroksüülrühmade peale); mentool estrina laguneb leheliste mõjul; selle hulka näitab meile nn. eetriarv. Heas õlis ei tohi mitte vabu happeid olla, mis tekivad õlis estri lagunemisel hüdrolüüsi või muul teel; vabade hapete sisaldist näitab meile nn. happesusearv. Need kolm arvu on eeskätt väärtuse määramisel tähtsamaist. Kui arvesse võtta, et alkoholide ja nende estrite määramine eetrilistes õlides sünnib mitte otsekohesel, vaid kaudsel teel, siis ei ütle see meile veel, missuguse alkoholiga või estriga meil tegemist on. Nagu teada, lisatakse õlidele tihti üht või teist ainet juurde, mille eetri- ja atsetüüliarv võib uuritava õliga väga sarnane olla. Tähendab, üksi eetri- ja atsetüüli-arv ei ole veel küllalt mõõduandev õli väärtuse määramisel. Me peame õli veel keemilise analüüsi alla võtma, ta fraktsioonideks jagama ja üksikuid fraktsioone nende omaduste suhtes uurima.

Kvantitatiivsel määramisel võeti happesuse määramiseks 3,512 gr piparmündi-õli ja lahustati 20 sm^3 neutraalses alkoholis*). Saadud lahuse neutraliseerimiseks läks 0,1 sm^3 $^1/_2 N.KOH$ alkoholilahust, mis järgmise happesusearvu annab:

$$\frac{0{,}1 \times 28{,}055}{3{,}512} = 0{,}808.$$

Eetriarvu määramiseks võeti 3,512 gr neutraliseeritud õli, mis soendatud $^1/_2$ tundi 20 sm^3 $^1/_2 N.KOH$ lahusega auruvannil, mille juures seebistamiseks ära tarvitati 1,3 sm^3, mis järgmise eetriarvu annab:

$$\frac{1{,}3 \times 28{,}055}{3{,}512} = 10{,}384.$$

Mentooli, mentooni ja mentüülestri määramiseks tarvitasin Kleber'i, Pover'i ja Helveetsia farmakopöametoode.

Atsetüleerimiseks võeti 10 sm^3 õli 10 sm^3 äädikhapu anhüdriidi ja 2 gr veeta äädikhapu naatriumi soola. Saadud segu soendati kolbis liivavannil, püstjahutit tarvitades, ühe tunni jooksul. Peale jahutamist lisati 20 sm^3 vett juurde ja soendati veel $^1/_4$ tundi 50° C. temperatuuris, et ülejäänud äädikhaput anhüdriidi lagundada. Saadud segu jahutati ja eraldati jagamislehtris õli veest.

*) Halvasti puhastatud alkoholil on tihti hapu reaktsioon.

Saadud õli pesti 20 sm^3 (1 : 20) naatriumkarbonaadi lahusega, siis destilleeritud veega, et õli naatriumkarbonaadist täiesti vabastada. Õli kuivatati teralise $Cacl_2$-ga, loksutati mitu korda, iga kord $^1/_4$ tundi. Kuiv õli kurnati läbi kuiva filtri, mille läbimõõt oli 4 sm. Saadud kuivast atsetüleeritud õlist mahutati 3 gr 200 sm^3 Erlenmeyeri kolbi ja seebistati kuumendamisel 25 sm^3 $^1/_2N.KOH$ alkoholilahusega auruvannil, püstjahutit tarvitades, $^3/_4$ tundi. Peale jahutamist lisati 100 sm^3 destilleeritud vett ning mõni tilk fenoolftaleiinilahust juurde ja titreeriti $^1/_2N.H_2SO_4$ lahusega. Seebistamiseks läks 17 sm^3 $^1/_2N.KOH$ lahust.

Maha arvates $CH_3—CO$ (42) rühma, mis ühines mentooliga, sain järgmise atsetüüliarvu:

$$1\ sm^3 = \frac{0{,}042}{2} = 0{,}021\ gr.$$

$$17\ sm^3 \times 0{,}021 = 0{,}357\ gr.$$

$$\frac{17 \times 28{,}055}{3 - 0{,}357(CH_3 — CO)} = 180{,}41.$$

Nii et üldine mentooliarv järgmine on:

$$\underbrace{KOH}_{56{,}11} : \overbrace{\underbrace{C_{10}H_{20}O}_{156{,}16}}^{mentool} = 180{,}41 : x.$$

$$x = \frac{156{,}16 \times 180{,}41}{56{,}11} = 502{,}09\ \text{milligrammi}$$

mentooli ühes grammis õlis, mis vastab 50,21% mentoolile.

Seotud mentool arvutati eetriarvust järgmiselt:

$$56{,}11 : 156{,}16 = (0{,}010384 \times 100) : x = 2{,}89\ \%.$$

50,31 üldine mentooli protsent,
— 2,89 seotud „ „
47,32 vaba mentooli protsent.

Mentooni määrasin järgmiselt: 15 sm^3 piparmündi-õlile lisasin 4 osa absoluutset alkoholi juurde, kuumendasin kolbi, püstjahutit tarvitades, kuni keemiseni, siis lisasin 6 gr metallnaatriumi väikeste osadena vähehaaval juurde. Selle järele jahutasin segu kuni 15° C., hapustasin äädikhappega ja pesin alkoholi kõrvaldamiseks destilleeritud veega. Siis kuivatasin veeta Na_2SO_4 abil ja filtreerisin kuiva filtri läbi. Taandatud õli atsetüleerimine sündis, nagu see mentooli juures on kirjeldatud. Seebistamiseks

võeti 3,07 gr atsetüleeritud õli, mille seebistamiseks ära tarvitati 22,5 sm³ $^1/_2N.KOH$ alkoholilahust, mis siis järgmise seebistamisarvu annab:

$$\frac{22{,}5 \times 28{,}055}{3{,}07 - 0{,}4956(CH_3 - CO)} = 243{,}01.$$

Mentooli ühes grammis õlis:

$$x = \frac{156{,}16 \times 243{,}01}{56{,}11} = 676{,}3 \text{ milligrammi,}$$

mis vastab 67,63 % mentoolile.

Mentooni arvutati järgmiselt:

$$\frac{(67{,}63 - 50{,}21) \times 154{,}16(\text{mentoon})}{156{,}16} = 17{,}20\%,$$

mis vastab mentoonile.

Järgnevas tabelis on toodud saadud andmed.

Tabel I.

Happe-arv	Eetri-arv	Seebist. arv	Üldmentooli sisaldis	Seotud mentooli sisaldis eetrina	Vaba mentooli	Mentooni
0,808	10,348	180,41	50,21%	2,89%	47,32%	17,20%

Joodiarvu määrates Hübli metoodi järele võtsin 0,5—0,8 gr õli klaasist korgiga Erlenmeyer'i kolbi, mis 15 sm³ absoluutses alkoholis lahustati. Saadud lahusele lisasin 25 sm³ Hübli joodi lahust juurde. Vaba jood titreerus mitmesuguse aja järele $^1/_{10}N.Na_2S_2O_3$ lahusega, mis järgmised tagajärjed andis:

Tabel II.

2 tunni jooksul	4 tunni jooksul	8 tunni jooksul	12 tunni jooksul	24 tunni jooksul
38,79	46,49	53,53	60,95	69,42

Joodiarv annab kaudse pildi teatavate lisa-ainete sisaldisest piparmündi-õlis. 100 gr uuritavat õli, millest mentool külmetamise teel eraldatud, fraktsioneeriti 2 korda viie kraadi piirides. Saadud fraktsioonide hulk ning füüsikalised omadused on järgnevas tabelis tähendatud.

Tabel III.

Fraktsioon	$^{d}15°$	$^{n}D20°$	$^{\alpha}D$	Saak
Kuni 200°	0,8982	1,4601	—11°,9′	9,20 gr.
200—205°	0,8986	1,4573	—11°,53′	10,30 „
205—210°	0,9012	1,4575	—13°,25′	12,60 „
210—215°	0,9016	1,4576	—13°,26′	14,40 „
215—220°	0,9036	1,4582	—13°,87′	27,00 „
220—225°	0,9069	1,4594	—	7,30 „

Fraktsioonid kuni 220° olid värvita, kuna fraktsioon 220—225° kollakat värvi omas.

Jääk oli pruuni siirupi sarnane. Et uuritav õli enne puhastatud oli, siis puudusid temas madalamad fraktsioonid kuni 170° C. Fraktsioonist 170—178° C. määrasin limoneeni, teda nitroosokloriidiks muutes, järgmiselt: 10 sm^3 fraktsiooni 22 sm^3 värskelt valmistatud etüülnitriidi ja 24 sm^3 jää-äädikhapet segati ning jahutati külmetamissegus. Saadud segule lisati vähehaaval juurde segu, mis koos seisis 12 sm^3 toorest soolhappest ja 12 sm^3 jää-äädikhappest. Viimaks lisati veel juurde 10 sm^3 alkoholi.

Saadud nitroosokloriidi pesin külma alkoholiga ja kuivatasin savi kuivatustaldrikul. Peale kuivatamist sain valge pulbri, mis alkoholilahuses optiliselt inaktiivne oli. Kuiv toores aine valati kolmekordse ruumala külma kloroformiga üle ja filtreeriti mõne minuti seismise järel ning filter pesti veel vähese kloroformiga. Filtraadile lisati juurde mitmekordne ruumala metüülalkoholi. Mõne aja pärast tekkis kristalliline sade. Saadud sade eraldati filtreerimisel ja kuivatati savi kuivatustaldrikul. Kuivad kristallid ekstraheeriti kolbis mõni minut külmalt kolmekordse ruumala kuiva eetriga. Eetrilahus eraldati ja mahutati kristalliseerimiseks klaasist kausikesse. Peale eetri ära-auramist järelejäänud kristallid pesti külma metüülalkoholiga ja lahustati veel kord eetris.

Niiviisi puhastatud nitroosokloriidi kristallid olid värvita, sulamispunkt 103,4° C. Lahustusid ühesuguses ruumalas kloroformis ja kahekordses ruumalas külmas eetris. Nad sisaldasid enam 1 ja vähem *d*-limoneeni. Nende analüüs andis Carius'e järele järgmised andmed:

I. Ainet võetud 0,2546 gr.
Saadud *Agcl* 0,1793 gr = 0,0442 *cl* = 17,36% *cl.*
II. Ainet võetud 0,2725 gr.
Saadud *Agcl* 0,1903 gr = 0,0469 *cl* = 17,21% *cl.*
Keskmine *cl* protsent 17,28% *cl.*
C 10 *H* 16 *NOCl* peale arvatult 17,41% *cl.*

Peale nitroosokloriidi sain ka tetrabroomlimoneeni, sulamispunktiga 104,5° C. Fraktsioonist 175—178° C. määrasin sineooli jodooli abil, mida järgmiselt toimetasin: 20 tilgale õlile lisasin 1,0 gr jodooli juurde ja loksutasin, kuni jodool lahustus (kui lahustamine ei sünni, võib mõne tilga õli juurde lisada). 24 tunni järele tekkinud kristallid eraldati, pesti petrooleetriga ja kristalliseeriti bensooli varal ümber. Nende sulamispunkt oli 112,5° C. *KOH* juurdelisamisel ja soendamisel kuni keemiseni eraldus sineooli lõhn.

Sineooli tegin ka resortsiini abil järgmiselt kindlaks: 10 sm^3 õlile lisasin 20 sm^3 50% resortsiinilahust juurde. Saadud segu hõõrusin uhmris, kuni tekkis kristallmass, mis siis filterpaberi vahel ära pressisin ja *KOH* lagundasin. Vabanenud sineooli keemispunkt oli 176° C. d_{20}^{0} 0,9292 ^{n}D 1,45881.

Fraktsioonist 208—210° C. mentoon-oksiimi saamiseks lisasin 23 osale piparmündi-õlile kolmekordse ruumosa alkoholi, 15 osa hüdroksülamiinkloorhüdraati ja 24 osa naatriumkarbonaati juurde. Saadud segu soendati auruvannil 15 minutit ja ekstraheeriti siis eetriga. Niiviisi saadud oksiim oli paksvedel (siirupisarnane) ja ei kristalliseerunud külmetamislahuses.

Lämmastiku määrasin Dumas-Zulkovsky aparaati tarvitades:
Ainet võetud 0,2092 gr.
Lämmastikugaasi saadud 15,37 sm^3 18,2° C. ja 748 mm rõhu all, mis vastab 8,38% lämmastikule.

C 10 *H* 18 *NOH* peale arvatult 8,28% *N.*

Molekulaarrefraktsiooni

leitud 50,31% *C*10 *H*18 *NOH* peale arvatult 50,11%.

Saadud oksiim lahjendati väävelhappe abil ja viidi ketooniks üle, mille keemispunkt oli 206,5—207,6° C.

Nagu teada, on *l*-mentoon kristalliline keha, sulamispunkt 60°—61° C. ja optiliselt pahempoolne [*a*] D = 40,76°, 41,97° ja 42,51°, kuna aga saadud aine vedel on ja vähese optilise pöörduvusega. Et teda enam karakteriseerida, muutsin teda semi-

karbatsooniks, mille sulamispunkt peale ümberkristalliseerimist 178,5° C. ja optiline pöörduvus $[\alpha]D = 2{,}18°$ C. Fraktsioonist 208—220° C., mis harilikult koos seisavad mentoolist, mentoonist ja mentüülestrist, taandati mentoon alkoholilahuses soendamisel metallnaatriumi abil mentooliks, mille juures ka estrid lagunesid. Saadud segu kuumendati siis veel tund aega veevannil, mentool ja alkohol destilleeriti veeauruga üle. Eraldatud mentooli keemispunkt oli 213° C., sulamispunkt 42,8° C. ja 20% alkoholilahuses pööras $[\alpha]D = -59°$C.

Lahus, millest alkohol ja mentool olid eraldatud, vabastati filtreerimisel vaik-ainetest, küllastati filtraat süsihappe-gaasiga ja aurutati välja. Jäänusest ekstraheeriti orgaaniliste hapete soolad absoluutse alkoholiga. Peale alkoholi kõrvaldamist lagundati järelejäänud soolad nõrga väävelhappega ja destilleeriti vabanenud orgaanilised happed veeauruga üle. Saadud nõrga hapu reaktsiooniga destillaat neutraliseeriti naatriumhüdroksüüdi-lahusega ja destilleeriti vaakuumis, jäänus kuivatati 100° C. temperatuuris ja ekstraheeriti soojalt seguga, mis koos seisis 99,5% atsetoonist ja 0,5% veest. Siis filtreeriti, mille juures palderjanhapu naatrium lahusesse läheb, kuna naatriumiatsetaat pärasse jääb. Atsetoon aurutati ära ja jäänus lagundati nõrga väävelhappega ning destilleeriti veeauruga üle. Destillaat, mis oli nõrga hapu reaktsiooniga, neutraliseeriti ammoniaagiga ja sadestati hõbedanitraadiga.

Tabel IV.

Õli nimetus	Üldine mentoolisisaldis	Vaba mentooli	Mentüül estrina	Mentooni	$d15°$	αD	$^{n}D_{20°}$
Eesti piparmündi õli	50,21%	47,32%	10,38%	17,20%	0,9086	—17,63°	1,4584
Vene õli	44—50%	38—46,8%	3,4—8,7%	14,32—18,69%	0,905—0,910	—17—28,8°	1,4572—1,4577
* Inglise õli	55—68,3%	50—60%	3—14%	9—12%	0,900—0,910	—22—33°	—
Ameerika õli	48—60%	40—55%	3—14%	*Ca*—12%	0,900	—18°	—
Jaapani õli	70—91%	65—85%	3—7,79%	—	0,890—0,910 (24°)	—30—42°	—

Sademe analüseerimisel sain järgnevad andmed:

I. Ainet võetud 0,3256 gr. Hõbedat leitud 0,1712 gr, mis vastab 51,55% *Ag*. Keskmine hõbeda protsent 51,49%.

C4 H9 COO Ag. peale arvatult 51,63%. Pära, mis järele jäi, lagundati atsetaadi määramiseks nõrga väävelhappega ja destilleeriti veeauruga. Saadud destillaat neutraliseeriti ammoniaagiga ja sadestati hõbedanitraadiga.

Sademe analüseerimisel sain järgnevad andmed:

I. Ainet võetud 0,3456 gr. Hõbedat leitud 0,2225 gr, mis vastab 64,38% *Ag*.

II. Ainet võetud 0,3125 gr. Hõbedat leitud 0,2017 gr, mis vastab 64,54% *Ag*.

Keskmine hõbeda protsent 64,46%. CH_3COOAg peale arvatult 64,64% *Ag*.

Saadud andmete põhjal sisaldab siis uuritav õli vaba mentooli, mentooni *l* ja *d* limoneeni, millest esimene ülekaalus, sineooli, palderjan- ja äädikhapet mentüülestrina.

Selgema ülevaate saamiseks ja võrdlemiseks teiste õlidega toon võrdlevad andmed eelolevas IV tabelis.

Nii kui tabelist selgub, kuulub Eestis kultiveeritavast piparmündist saadud õli oma koosseisu poolest paremate õlide hulka (sisaldab kuivas taimes 0,5% õli), ja seega oleks Eestis piparmündi kultiveerimine väga soovitav.

Referat.

Das estnische Pfefferminzöl.

Die vorgenommene Untersuchung hat erwiesen, dass das von der A./G. „Helios“ aus in Eesti kultivierter Pfefferminze (Mentha piperita var. alba et nigra) gewonnene Öl folgende Eigenschaften besitzt: $d^{20°} = 0{,}9086$; $^{\alpha}D = -17{,}63^{0}$; $^{n}D^{20°} = 1{,}4584$; S. Z. 0,808; E. Z. 10,384; V. Z 180,41; es enthält: Gesamtmenthol 50,21%, Menthon 17,21%, *l* und *d* Limonen, Cineol, sowie auch Baldrian- und Essigsäure als Menthylestern.

Obiges in Betracht nehmend, besitzt das Öl aus in Eesti kultivierter Pfefferminze die besten Qualitäten (die trockene Droge enthält bis 0,5% Öl), und infolgedessen ist die Kultivierung der Pfefferminze in Eesti sehr zu empfehlen.

Literatuur.

1) Deutsche Parf. Ztg. 6 (1920) 208.
2) Archiv Pharmac. 232, 655.
3) Ullmann, Enzyklopäd. der techn. Chem.
4) Schimmel & Co, Bericht. Okt. 1907. 31. April 1908. 24.
5) Chem. Ztg. 32. 109. 1908.
6) Berl. Ber. 25, 609 (1892).
7) Berichte Schimmel & Co (1880), 35. April (1896), 50.
8) Berl. Ber. 25, 142, 151, 686.
9) Berl. Ber. 26, 2561 (1893).
10) Ann. Chem. 289. 367.
11) Ann. Chem. 289. 362.
12) Gaz. chm. 30. I. 600.
13) Berl. Ber. 28. 1955 (1895).
14) Apothek. Ztg. 1911.
15) „ „ 1913.
16) Gildemeister und Hoffmann, Die aetherischen Oele 1899.
17) Handbuch der Pharmak. A. Tschirch II. Abt. 1917.
18) H. Zörnig, Arzneidrogen I. 1909.

schen Muskelsystems des Herzens.) — **3.** E. Öpik. Notes on stellar statistics and stellar evolution. — **4.** H. Kaho. Raskemetallsoolade kihvtisusest taimeplasma kohta. (Über die Schwermetallgiftwirkung in bezug auf das Pflanzenplasma.) — **5.** J. Piiper und M. Härms. Der Kiefernkreuzschnabel der Insel Ösel *Loxia pityopsittacus estiae* subsp. nov. — **6.** L. Poska-Teiss. Zur Frage über die vielkernigen Zellen des einschichtigen Plattenepithels.

B I (1921). **1.** M. Vasmer. Studien zur albanesischen Wortforschung. I. — **2.** A. v. Bulmerincq. Einleitung in das Buch des Propheten Maleachi. 1. — **3.** M. Vasmer. Osteuropäische Ortsnamen. — **4.** W. Anderson. Der Schwank von Kaiser und Abt bei den Minsker Juden. — **5.** J. Bergman. Quaestiunculae Horatianae.

B II (1922). **1.** J. Bergman. Aurelius Prudentius Clemens, der grösste christliche Dichter des Altertums. I. — **2.** L. Kettunen. Lõunavepsa häälik-ajalugu. I. Konsonandid. (Südwepsische Lautgeschichte. I. Konsonantismus.) — **3.** W. Wiget. Altgermanische Lautuntersuchungen.

B III (1922). **1.** A. v. Bulmerincq. Einleitung in das Buch des Propheten Maleachi. 2. — **2.** M. A. Курчинскій (M. A. Kurtschinsky). Соціальный законъ, случай и свобода. (Das soziale Gesetz, Zufall und Freiheit.) — **3.** A. R. Cederberg. Die Erstlinge der estländischen Zeitungsliteratur. — **4.** L. Kettunen. Lõunavepsa häälik-ajalugu. II. Vokaalid. (Südwepsische Lautgeschichte. II. Vokalismus.) — **5.** E. Kieckers. Sprachwissenschaftliche Miscellen. [I.] — **6.** A. M. Tallgren. Zur Archäologie Eestis. I.

B IV (1923). **1.** E. Kieckers. Sprachwissenschaftliche Miscellen. II. — **2.** A. v. Bulmerincq. Einleitung in das Buch des Propheten Maleachi. 3. — **3.** W. Anderson. Nordasiatische Flutsagen. — **4.** A. M. Tallgren. L'ethnographie préhistorique de la Russie du nord et des États Baltiques du nord. — **5.** R. Gutmann. Eine unklare Stelle in der Oxforder Handschrift des Rolandliedes.

TARTU ÜLIKOOLI TOIMETUSED ilmuvad kolmes seerias:

A: Mathematica, physica, medica. (Matemaatika-loodusteaduskonna, arstiteaduskonna, põllumajandusteaduskonna ja loomaarstiteaduskonna tööd.)

B: Humaniora. (Usuteaduskonna, filosoofiateaduskonna ja õigusteaduskonna tööd.)

C: Annales. (Aastaaruanded.)

Ladu: Ülikooli Raamatukogus, Tartus.

LES PUBLICATIONS DE L'UNIVERSITÉ DE TARTU (DORPAT) se feront en trois séries:

A: Mathematica, physica, medica. (Mathématiques, sciences naturelles, médicine, agronomie, sciences vétérinaires.)

B: Humaniora. (Théologie, philosophie, linguistique, histoire, jurisprudence.)

C: Annales.

Dépôt: La Bibliothèque de l'Université de Tartu, Esthonie.
