

fördernde Wirkung auch weiter aus. Zu neuen Niederschlagsbildungen kann es aber nicht mehr kommen.

Jetzt werden die anderen Salze des Meerwassers nicht mehr schwerer als normalerweise in und durch die Zellen eindringen. Ja durch die gequollenen Zellkolloide werden sie sogar leichter durchdiffundieren, so wie auch im Reagenzglas gelöste Stoffe um so rascher durch eine Gallerte diffundieren, je wasserhaltiger diese ist. C. Herbst fand auch wirklich in den ins Seewasser zurückgebrachten Li-Larven häufig ein ganz bedeutend entwickeltes Kalkgerüst. Jetzt war also sogar mehr Kalk als normalerweise in die Mesenchymzellen gelangt!

Eine Verminderung der Permeabilität der Blastulazellen kann unter Umständen auch bewirken, daß osmotisch wirksame Substanzen des Blastocoels aus diesem schwerer entweichen können und somit der osmotische Druck im Blastocoel noch höher wird. Andererseits wird dann eine Permeabilitätssteigerung zu einer Verminderung des osmotischen Druckes des Blastocoels führen. Bei Entfernung des stark fällend wirkenden Sulfations aus dem Meerwasser ist im Sinne der obigen Ausführungen eine solche Steigerung der Permeabilität und damit eine Verminderung des osmotischen Druckes zu erwarten, und wir sehen auch, daß in den SO_4 -freien Zuchten von *Asterias*-Larven mehr oder weniger auffallend faltige, schlaffe Larven entstehen. Magnesiummangel hingegen bewirkt durch die allgemeine Fällungssteigerung eine Erhöhung des osmotischen Druckes im Blastocoel, so daß die Blastulae stets eine straff gespannte Wandung haben.

Experimentelle Beiträge zur Physiologie der Zellteilung.

Vorläufiger Bericht.

Von Dr. Josef Spek.

(Aus dem zoologischen Institut der Universität Heidelberg.)

In der Literatur ist schon wiederholt — freilich nur ganz nebenbei und mit nicht gerade sehr präzisen Begründungen — die Vermutung ausgesprochen worden, daß eine gesteigerte Aufnahme von Wasser in die Zellen diese zu regeren Zellteilungen veranlaßt. Es hat dann aber auch an Vertretern der entgegengesetzten Ansicht nicht gefehlt, die sagten, daß gerade eine Wasserentziehung bei den meisten Anregungen von Zellteilungen der ausschlaggebende Faktor sei.

In meiner im vorhergehenden Aufsatz zitierten Arbeit über die Ursachen der Gastrulainvagination hatte ich auch schon Gelegenheit dieses Problem theoretisch zu erörtern¹⁾ und ich zählte dort die

1) Josef Spek, Kolloidchem. Beihefte, 9, S. 316ff. (1918).

experimentellen Befunde anderer Autoren auf, die meiner Ansicht nach dafür sprachen, daß eine Steigerung der Wasserabsorption, eine gesteigerte Aufquellung der Zellkolloide, Zellteilungen eintreten lasse, und daß auch normalerweise die Zellteilung von diesen Veränderungen der Plasmakolloide begleitet sei. Was mir hiefür sprach, war — kurz rekapituliert — folgendes:

1. Nach der Befruchtung und bei jedem Teilungsschritt bei der Furchung findet eine beträchtliche Steigerung der Durchlässigkeit der Zellen statt, die sich bei Berücksichtigung aller Nebenumstände am einfachsten durch eine in diesen Stadien gesteigerte Wasserabsorption der Zellen erklären ließe²⁾. 2. Bei der Zellteilung findet bisweilen (leicht nachweisbar bei beschalteten Rhizopoden; große Volumensunterschiede auch bei gewissen Endothelzellen) eine ganz beträchtliche Volumvergrößerung der Zellen statt, die so rasch erfolgt, daß sie nicht durch Vermehrung organischer Substanz verursacht worden sein kann. Auch für Furchungszellen liegen Beobachtungen vor, die für einen während der Zellteilung vorübergehend erhöhten Innendruck (Quellungsdruck) sprechen und 3. fällt es auf, eine wie große Rolle unter den parthenogenetisch wirkenden Substanzen Stoffe spielen, welche die Quellung der Kolloide mächtig zu fördern vermögen. Besonders wichtig ist diesbezüglich eine Arbeit von R. Lillie³⁾, die beweist, daß auch eine Parthenogenese mit reinen Salzlösungen (Natrium- und Kaliumsalzen), um so besser und leichter gelingt, je stärker diese Salze die Quellung begünstigen⁴⁾.

Absolut beweisend und ganz eindeutig waren diese Beobachtungen noch nicht, und ich versuchte daher durch eingehende experimentelle Untersuchungen, die Beweisführung auf eine sichere Basis zu stellen. Über die Hauptergebnisse meiner Untersuchungen will ich hier in aller Kürze berichten. Die Hauptarbeit wird in den kolloidchemischen Beiheften Prof. Wolf g. Ostwald's erscheinen.

Der leitende Grundgedanke bei meinen Arbeiten war folgender: Wie wir in der vorigen Publikation S. 18 u. 19 schon sahen, läßt sich die Quellung der Kolloide in hohem Grade sowohl fördernd, als auch hemmend durch Salze beeinflussen. Die Wirkung der Salze auf die Quellung addiert sich aus den Einzelwirkungen ihrer Ionen. Sowohl die Kationen als auch die Anionen ordnen sich ganz gesetzmäßig in bestimmte „Quellungsreihen“ ein (s. o. das Genauere). Diese Reihen lauten: $Li > K > Na > Ca$ und $Rhodanid > Jodid > Bromid > Chlorid > Sulfat$. Am vorderen Ende der Reihe stehen die stark quellungsfördernden Ionen, am hinteren die entquellend wirkenden. Es ließ sich nun erwarten, daß sich auch die Zellteilungen nach diesen

2) Literatur auch über die folgenden Punkte siehe in der zit. Gastrulararbeit.

3) R. Lillie, Amer. Journ. of Physiol. 26, 106 (1910).

4) Diese Deutung wurde diesen Befunden von R. Lillie selbst noch nicht gegeben. Siehe J. Spek, l. c. S. 320.

Ionenreihen durch Salzzusätze zum natürlichen Medium der Zellen beeinflussen lassen, wenn wirklich eine gesteigerte Wasserabsorption der Zellen Zellteilungen anregte. Diese Erwartung hat sich in überzeugender Weise bestätigt.

Die Versuche wurden mit Kulturen von *Paramecium caudatum* ausgeführt. Das Kulturmedium waren Heuinfusionen, die durch 10 Minuten langes Aufkochen alten Heues erhalten wurden. Die Kulturen wurden stets mit einzelnen Schwestertieren angesetzt, d. h. ein Schwestertier wurde in Heuinfusion + Salzzusatz gesetzt und ein zweites zur Kontrolle in reine Infusion. Die Kulturen wurden mindestens jeden zweiten Tag, oft aber auch jeden Tag gewechselt und dabei mit Hilfe langer feiner Glaskapillaren unter der Präparierlupe gezählt. Es wurden immer alle Tiere weitergeführt und die Kulturen, je nach dem, wie rasch sie sich entwickelten, am vierten bis siebenten Tag abgebrochen. Ich legte größeres Gewicht darauf die Versuche auch mit möglichst verschiedenem Material auszuführen und damit die gewonnenen Resultate auf ihre Allgemeingültigkeit zu prüfen, als eine oder wenige Linien monatelang zu züchten und etwaige periodische Schwankungen in ihrem physiologischem Verhalten festzustellen, so wie das einige amerikanische Forscher (Woodruff, Calkins u. a.) gemacht haben, die auch schon einige Salze auf ihre Einwirkung auf die Teilungsgeschwindigkeit von Infusorien (besonders *Paramecium* und *Gastrostyla*) untersuchten. Solche periodische oder „rythmische“ Schwankungen, die dann physiologischen Gesetzmäßigkeiten der Versuchszellen zugeschrieben werden, könnten nach meinen Erfahrungen unter Umständen doch nur (wenigstens zum Teil) durch allmähliche, wenn auch noch so geringfügige Änderungen in der Beschaffenheit der verwendeten Kulturmedien, die auch bei noch so genau eingehaltener Gleichheit der Herstellungsmethode eben doch nicht immer gleich ausfallen können, hervorgerufen werden.

Auch gegen die Methode der genannten Forscher, die Salze in ihren reinen Lösungen kurze Zeit auf die Infusorien einwirken zu lassen (eine längere Einwirkungsdauer vertragen die Tiere meist nicht), und sie dann in reine Infusion zu übertragen, habe ich meine Bedenken. Zwar ist ja natürlich auch das von Interesse, zu wissen, wie ein solcher kurzer Aufenthalt in Salzlösungen nachwirkt, aber einfache Versuchsbedingungen werden durch diese Versuchsanordnung nicht geschaffen. 1. Kann nämlich das Fehlen der Salze der normalen Umgebung des Infusors in der betreffenden reinen Salzlösung schon allein eventuell einen ebenso großen Einfluß auf die Zellteilung ausüben wie das Hinzukommen neuer Ionen. 2. Kann das betreffende Salz, wenn es in reiner Lösung wirkt, in der nach vielseitigen Erfahrungen die Durchlässigkeit der Zellen eine viel höhere ist als in Lösungen mehrerer Salze, auch viel stärkere Zustandsänderungen in

den Zellen hervorrufen, die leicht die Grenze des physiologisch Normalen überschreiten und hiedurch schon zu negativen Resultaten führen können. Es ist somit kein Wunder, daß Woodruff⁵⁾ bei öfters wiederholter kurzer Einwirkung seiner Lösungen von Kaliumphosphat Kaliumchlorid, Kaliumbromid, Natriumchlorid und Kaliumsulfat überall negative Teilungszahlen gegenüber der Kontrolle (Versuchstier: *Gastrostyla*) erhielt, während er bei einmaliger Behandlung der Tiere mit diesen Salzen bei bestimmten Konzentrationen als Nachwirkung einen schwachen positiven Ausschlag bekam. Auch schon die Übertragung der Tiere aus der reinen Salzlösung in die Infusion könnte übrigens irgendwie als „Reiz“ auf die Teilungsgeschwindigkeit einwirken. — Schließlich muß bedacht werden, daß schwer eindringende Salze bei kurzer Einwirkung vielleicht überhaupt nicht in die Zellen gelangen.

In meinen Versuchen ließ ich die zur Infusion zugefügten Salze dauernd einwirken. Sie wurden in einer Menge von 0,6—1,5 ccm (in den meisten Versuchen 1,0 ccm) einer 0,3 m Lösung zu 19 ccm Heuinfusion zugefügt. Da eine Heuinfusion (nach Angaben von Estabrook⁶⁾; wenn nach dessen Methode hergestellt) einen osmotischen Druck von 0,44 Atmosph. hat, waren alle meine Salzinfusionen gegenüber der Kontrolle schwach hypertonisch.

Salze, die wie Phosphate auch chemisch auf den Stoffwechsel der Zellen einwirken dürften, habe ich in meine Versuchsreihen nicht einbezogen. —

Wenden wir uns nun der Besprechung der Hauptresultate der Versuche zu! Nach meiner oben besprochenen Arbeitshypothese waren die stärksten und entscheidendsten Resultate von Salzen zu erwarten, deren Ionen (oder doch wenigstens ein Ion) am einen oder am anderen Ende der Quellungsreihe stehen. Für eine starke Teilungsförderung kamen also in erster Linie in Betracht Lithiumsalze einerseits und Rhodanide andererseits. Ich begann meine Versuche mit Lithiumchlorid.

Tabelle 1 gibt die Zählungsergebnisse von fünf Lithiumchloridversuchen wieder, die beliebig aus einer Serie von 23 Versuchen mit diesem Salze, die alle im Winter 1917 ausgeführt wurden, ausgewählt sind. In allen Tabellen werden die Zahlen der ersten, zweiten, dritten u. s. w. Rubrik (von links nach rechts) die Zahl der Tiere in den Kulturen am 1., 2., 3., u. s. w. Tag bedeuten. A bedeutet stets die behandelte, a die unbehandelte Kultur. Werden unter der gleichen Nummer, also z. B. KSCN 7 A und a, B und b, C und c angeführt, so heißt das, daß alle diese Versuche mit Schwestertieren ausgeführt wurden. Die Zahl unter der Versuchsnummer gibt an, wie viele ccm einer 0,3 m Salzlösung zu 19 ccm Heuinfusion zugesetzt wurden.

5) L. L. Woodruff, Journ. exp. Zoology, 2, 585 (1905).

6) A. H. Estabrook, Ibidem, 8, 489 (1910).

Tab. 1. Lithiumchlorid.

| | | | | | | |
|--------|-------|----|-----|-----|-----|-----|
| LiCl 1 | A | 5 | 18 | 72 | 897 | |
| | 1,0 a | 4 | 12 | 23 | 78 | |
| LiCl 2 | A | 4 | 8 | 24 | | 745 |
| | 1,0 a | 4 | 8 | 45 | | 158 |
| LiCl 3 | A | 16 | 240 | 785 | | |
| | 1,0 a | 12 | 29 | 49 | | |
| LiCl 4 | A | 16 | 257 | 833 | | |
| | 0,8 a | 8 | 37 | 47 | | |
| LiCl 5 | A | 1 | 9 | 36 | 265 | |
| | 1,0 a | 4 | 16 | 30 | 95 | |

Wir ersehen aus den angeführten Zahlen, daß sich für Lithiumchlorid in sehr überzeugender Weise eine starke Förderung der Zellteilungen ergab, die öfters das Zwanzigfache der Kontrolle erreichte. Alle die erwähnten 23 Winterversuche mit LiCl stimmten in ihrem Endresultat ohne Ausnahme überein, alle waren stark positiv. Alle Tiere der Lithiumkulturen sahen vollständig normal aus, unterschieden sich aber in den meisten Kulturen dadurch von den Kontrolltieren, daß sie vom zweiten oder dritten Tag an deutlich dicker waren.

Da die Salzkulturen nicht mehr Bakterien enthielten als die Kontrollen, kann der erwähnte Volumunterschied nur auf die von der Theorie erwartete stärkere Wasseraufnahme der Lithiumtiere zurückgeführt werden. Sie erfolgt also auch in den schwach hypertonischen Salzlösungen, ein Beweis dafür, daß sie nicht oder doch nicht ausschließlich durch osmotische Verhältnisse bedingt wird, sondern durch die Gesetze der Quellung der Kolloide.

Nach Erfahrungen, die an anderem Material gemacht wurden, dringt das Lithiumion ziemlich schwer in die Zellen ein. Ich habe das vor allem auch auf seine stark fällende Wirkung zurückgeführt⁷⁾. Eine oberflächliche Ausfällung der Zellkolloide muß ein weiteres Eindringen der Salzionen natürlich erschweren und das Bestehenbleiben des stärkeren osmotischen Druckes im Außenmedium begünstigen, bis schließlich die in so schwachen Konzentrationen etwas langsam erfolgende Quellungsförderung durch die Lithiumionen alle anderen Wirkungen an Stärke absolut übertrifft. Ich erwähne nochmals, daß die bedeutende Volumzunahme meist erst am zweiten oder gar dritten Tag eintrat, und, wie auch Versuch 2 und 5 zeigen, trat öfters in den ersten Tagen sogar eine Verminderung der Teilungszahl gegenüber der Kontrolle ein, was sich auch aus den erwähnten physikalischen Eigenschaften des Lithiums erklärt.

7) J. Spek, Kolloidchem. Beihefte 9, 259 (1918).

Es erscheint mir zweckmäßig hier gleich einige Versuche mit Rhodankalium anzuschließen, um zu zeigen, daß ein Salz, das dieselben oder doch sehr ähnliche physikalische Eigenschaften hat wie LiCl, auch dieselben physiologischen Wirkungen ausübt.

Tab. 2. A. Rhodankalium.

| | | | | | | |
|--------|-----------|---|----|-----|------|------|
| KSCN 1 | A | 4 | 67 | 373 | 958 | |
| | 1,0 a | 3 | 30 | 41 | 89 | |
| KSCN 2 | A | 5 | 63 | 307 | 1830 | |
| | 0,9 a | 4 | 33 | 58 | 399 | |
| KSCN 3 | A | 8 | 68 | 83 | 512 | 1012 |
| | 0,65 a | 4 | 22 | 25 | 70 | 128 |
| KSCN 4 | A | 4 | 54 | 342 | 1315 | |
| | 1,0 a | 6 | 81 | 125 | 133 | |
| KSCN 5 | A | | 46 | 407 | 600 | |
| | 0,8 a | | 64 | 125 | 198 | |

Dasselbe Resultat, wie die mitgeteilten fünf Rhodankaliumversuche, hatten noch 17 weitere, die im Winter 1917/18 angesetzt wurden. Überhaupt kein einziger Versuch mit Tieren aus den damaligen Stammkulturen, die aus Tümpelwasser mit Algen bestanden, und in die Stückchen von Steckrüben als Nährstoff für Bakterien eingelegt wurden, ergab ein negatives Resultat, alle waren absolut positiv. Auch die Rhodankali-Tiere zeichneten sich durch größere Dicke vor den Kontrolltieren aus, ohne daß die Salzkulturen bakterienreicher gewesen wären. Interessanterweise waren auch die Rhodankali-Kulturen oft, so wie das Versuch 4 und 5 zeigen, bis zum zweiten Tag negativ, um dann eine rapide Vermehrung einzugehen, genau so, wie wir das für das Lithiumchlorid feststellten und theoretisch erwarteten, hat doch auch Rhodankalium ein starkes Fällungsvermögen (bei Gegenwart von Kalksalzen) einerseits und übt andererseits einen starken fördernden Einfluß auf die Quellung aus, wobei, wie wir sehen werden, das SCN-Ion den Ausschlag gibt.

Bei einer Nachprüfung dieser Befunde über die Wirkung der Lithiumsalze und Rhodanide im Frühjahr 1918 mit Tieren aus neu-angesetzten Steckrüben-Stammkulturen ergab sich, daß nur ca. 40 % der zahlreichen neuen KSCN-Kulturen die starke Vermehrung im KSCN zeigten. War das der Fall, so war auch immer die Aufquellung der Tiere wahrnehmbar. Ein hoher Prozentsatz zeigte aber nichts von einer solchen Aufquellung und Volumzunahme und die Versuche fielen dann meist sogar schwach negativ aus und blieben auch negativ. Tiere einer Linie verhielten sich, so oft auch neue Versuche mit ihnen angesetzt wurden, immer gleich, d. h. immer stark positiv oder

immer negativ; es liegt also nicht etwa bloß eine Vortäuschung falscher Tatsachen durch zufällige Verschiedenheiten der Ausgangstiere vor. Einige Stichproben mit LiCl ergaben immer dasselbe Resultat wie die KSCN-Versuche, waren also zum Teil auch negativ. Eingehende Untersuchungen ergaben, daß nicht äußere Bedingungen die Ursache der negativen Resultate waren. Es scheint vielmehr ein verschieden hoher Gehalt der Zellen oder vielleicht auch nur der Zellmembranen an nicht quellbaren Substanzen lipoider (fettähnlicher) Natur die verschiedene Empfindlichkeit der Paramaecien quellend wirkenden Salzen gegenüber zu bedingen. Sind sie in größerer Menge vorhanden, so verhindern oder erschweren sie eine stärkere Wasseraufnahme über ein gewisses Maß hinaus, außerdem aber wohl auch das Eindringen des betreffenden Salzes, so daß es dann in der hyper-tonischen Lösung sogar teilungshemmend wirkt. Durch eine Vorbehandlung mit Äther, durch den dann offenbar jene Lipide teilweise herausgelöst werden (die Tiere werden glashell), gelang es mir in vielen (aber nicht allen) Fällen auch mit Tieren negativer Linien positive Rhodankali-Resultate zu erhalten.

Die Beschaffenheit des Paramaecienplasmas und damit auch dessen physikalische Eigenschaften scheinen mit den Jahreszeiten zu variieren*). Im Sommer (Juli) erwiesen sich nämlich die Paramaecien noch viel weniger quellbar als im Frühjahr, während aus Anfang September angesetzten Stammkulturen wieder 100% der Tiere in Lithium- und Rhodankalium-Kulturen positive Versuchsergebnisse lieferten. Übrigens ist auch die Nahrung in dieser Hinsicht nicht ohne Einfluß. Aufquellung und Vermehrung dieser Herbsttiere war dabei zum Teil noch nicht besonders stark (aber doch stets positiv), zum Teil aber ganz außerordentlich. Kleine, unter der Lupe leicht übersehbare Rassen wuchsen im LiCl zu den stattlichsten Exemplaren heran. Auch wurden bei neuen LiCl- sowie auch KSCN-Versuchen wiederholt in den ersten 48 Stunden aus 1 Ausgangstier 230—260 erhalten, während die Kontrolle gerade in diesen Fällen sehr wenige, nämlich 16—25 Tiere enthielt. — Bei dieser Gelegenheit soll noch erwähnt werden, daß sehr bakterienreiche Infusionen kein günstiges Medium für Lithiumversuche sind. —

Von anderen Lithiumsalzen wurden bis jetzt Lithiumbromid und Lithiumsulfat untersucht. Das Bromid wirkt — ebenfalls in 0,015 m Konzentration (auf das Gesamtvolum bezogen) zugesetzt — bisweilen auf die Tiere etwas schädigend. Man findet hie und da anormale Formen in den Kulturen. In der Regel sind aber keine solche Anzeichen einer Schädigung vorhanden und dann erfolgt auch in den LiBr-Kulturen eine starke Wasserabsorption (Größenunter-

*) Zusatz bei der Korrektur; Diese Vermutung wurde durch spätere Erfahrungen nicht bestätigt.

schied!) und Steigerung der Teilungsgeschwindigkeit wie in LiCl-Kulturen, bisweilen werden diese sogar übertroffen. Die Versuche wurden am Septembermaterial ausgeführt.

Lithiumsulfat ist nun ein Lithiumsalz, das in höheren Konzentrationen auf Kolloide entquellend wirken kann. Es übertrifft dann die Wirkung des Anions die des stark quellungsfördernden Kations. In geringen Konzentrationen aber ist (auch bei anderen Sulfaten) noch gar keine entquellende Wirkung des SO_4 -Ions (z. B. auch in Gelatineversuchen) zu konstatieren und beim Lithiumsulfat kann dann sogar der fördernde Einfluß des Li-Ions auf die Quellung deutlich zum Vorschein kommen. Meine Versuche mit Lithiumsulfat, zu denen immer auch eine Kontrolle mit LiCl angesetzt wurde, ergaben für Sulfatkulturen ohne Ausnahme eine geringere Zahl als für die Chloridkulturen. Die Sulfatkulturen waren oft auch gegen die Kontrollen ohne Salzzusatz stark negativ. Waren aber die Paramaecien im LiCl besonders stark quellbar, so trat auch im Li_2SO_4 eine beträchtliche Teilungssteigerung und Aufquellung ein. Ich lasse in Tabelle 3 einige Zählungsergebnisse folgen.

Tab. 3. Lithiumsulfat.

| | | | | |
|----------------------------|---|----|-----|------|
| Li_2SO_4 1 | A | 10 | 26 | |
| 1,0 | a | 32 | 256 | |
| Li_2SO_4 1 | B | 16 | 46 | |
| 1,0 | b | 30 | 233 | |
| LiCl 1 | C | 66 | 484 | |
| 1,0 | c | 30 | 155 | |
| Li_4SO_4 2 | A | 31 | | 197 |
| 1,2 | a | 42 | | 286 |
| Li_2SO_4 2 | B | 22 | | 190 |
| 1,2 | b | 27 | | 180 |
| LiCl 2 | C | 63 | | 1460 |
| 1,2 | c | 20 | | 125 |

Tab. 3a. Lithiumsulfat.

| | | | | |
|----------------------------|---|-----|--|------|
| Li_2SO_4 3 | A | 101 | | 1797 |
| 1,2 | a | 67 | | 577 |
| Li_2SO_4 3 | B | 113 | | 1600 |
| 1,2 | b | 64 | | 320 |
| LiCl 3 | C | 130 | | 2205 |
| 1,2 | c | 62 | | 344 |

Zu diesen Tabellen muß noch ein besonderer Kommentar gegeben werden. Die Versuche Li_2SO_4 1—3 waren nämlich mit Tieren angestellt, die eine stufenweise zunehmende Empfindlichkeit gegen die

Lithium-Ionen zeigten. Die des ersten Versuches zeigten im LiCl kaum einen Volumunterschied gegenüber der Kontrolle und auch die Zahlenunterschiede zwischen LiCl C und c sind noch nicht sehr groß. Wesentlich größer waren sie in LiCl₂, und schließlich LiCl₃ C zeigte sowohl eine starke Vermehrung als auch eine ganz bedeutende Dickenzunahme. Diesem Verhalten der Chloridkulturen läuft das der Sulfatkulturen vollständig parallel: Li₂SO₄ 1 war absolut negativ, LiSO₄ 2 ungefähr gleich mit seiner Kontrolle und LiSO₄ 3 positiv. In diesem letzten Versuch waren am 4. Tag die LiCl C-Kultur und die Kontrollen in den reinen Heuinfusionen fast ganz bakterienleer, die Bakterien hatten sich am Boden abgesetzt. In den Sulfatkulturen hingegen erfolgte dieses Absetzen erst einen Tag später, so daß ihre starke Vermehrung zum Teil auch hiedurch gefördert wurde. So hohe Zahlen erreichten aber die Li₂SO₄-Kulturen anderer Versuche überhaupt nie. —

Ich wende mich nun zur Besprechung der Versuche mit den Chloriden der übrigen Alkalimetalle, also Kaliumchlorid und Natriumchlorid. Um die Resultate dieser Versuche richtig zu verstehen, müssen wir meiner Ansicht nach außer der Quellungsbeeinflussung durch diese Salze hauptsächlich noch einen Faktor in Betracht ziehen, das Fällungsvermögen. Lithiumsalze und Rhodanide besitzen eine ganz beträchtliche Fällungswirkung. Diese bedingt meiner Ansicht nach⁸⁾, daß diese Salze nur schwer in die Zellen eindringen und mehr oder weniger in den oberflächlichen Partien des Plasmas verbleiben. NaCl wirkt schon wesentlich schwächer fällend als LiCl, und KCl noch viel weniger; um so ungehinderter werden also diese Salze in das Zellinnere gelangen. Dies aber dürfte kaum ohne Folgen für die Beschaffenheit der Zellkolloide und auf Lebensäußerungen der Zelle wie z. B. die Zellteilung bleiben. Manches spricht mir jetzt schon dafür (soll aber später noch experimentell geprüft werden), daß die Zellteilungen um so mehr erschwert werden, je höher der Gehalt des Plasmas und vor allem auch des Zellinnern an Salzen wird. So könnte denn auch in unseren Salzversuchen dieser Faktor die Oberhand gewinnen, den Ausschlag geben, wenn die Quellungsbeeinflussung nicht allzu groß ist. Kalium wirkt auf die meisten toten und lebenden Kolloide ziemlich quellungsfördernd ein. Es fehlt aber auch nicht an Angaben, wonach in gewissen Fällen die Quellungsbegünstigung durch Kalisalze die durch Natriumsalze kaum übertrifft. Die des Natriumchlorids ist recht gering.

Das Resultat meiner KCl- und NaCl-Versuche war nun folgendes: Eine Volumzunahme (durch stärkere Wasserabsorption) wie an den Tieren der Lithium-Kulturen war an KCl-Tieren nie zu beobachten. Eine stärkere (aber nie bedeutende) Vermehrung der KCl-Kulturen

8) J. Spek, l. c.

als in ihren reinen Kontrollen fand überhaupt nur in ganz wenigen Fällen einer größeren Reihe von Versuchen statt. Die weitaus überwiegende Mehrzahl der KCl-Versuche fiel negativ aus.

NaCl ist ziemlich indifferent. Die Zahlen der behandelten und unbehandelten Kulturen schwanken in den ersten Tagen ohne wesentliche Abweichung um die Durchschnittszahl. Früher oder später werden dann aber fast sämtliche NaCl-Versuche schwach negativ. Der negative Ausschlag der KCl-Kulturen war im Durchschnitt größer als der der NaCl-Kulturen. Ob die selten erhaltenen positiven KCl- und NaCl-Kulturen durch eine Begünstigung der Wasseraufnahme des in diesen Fällen besser quellbaren Paramaecienplasmas herbeigeführt wurden, oder ob in diesen Fällen bloß zufällig die Tiere der Salzkulturen in besseren inneren Bedingungen waren, ließ sich nicht entscheiden. Tabelle 4 gibt einige Zählungsergebnisse von KCl- und NaCl-Kulturen wieder.

Tab. 4. Kaliumchlorid und Natriumchlorid.

| | | | | | | | | | | | |
|-------|---|----|----|-----|---------|--------|---|--|----|------|-----|
| KCl 1 | A | | 16 | 40 | 102 | NaCl 1 | A | | 20 | 108 | 300 |
| 0,8 | a | | 16 | 114 | 335 | 1,2 | a | | 32 | 180 | 686 |
| KCl 2 | A | 8 | 12 | 40 | 122 | NaCl 2 | A | | 17 | 101 | 443 |
| 1,2 | a | 6 | 40 | 200 | 520 | 1,2 | a | | 29 | 120 | 580 |
| KCl 3 | A | 8 | 14 | 90 | ca. 180 | NaCl 3 | A | | 16 | 90 | 198 |
| 1,2 | a | 8 | 51 | 375 | ca. 600 | 1,0 | a | | 32 | 112 | 340 |
| KCl 4 | A | 8 | 22 | 75 | | NaCl 4 | A | | 91 | 1695 | |
| 1,0 | a | 14 | 57 | 330 | | 1,0 | a | | 60 | 1010 | |

Das negative Ausfallen der KCl- und NaCl-Versuche führe ich, wie erwähnt, auf eine allmähliche Anreicherung der Salze im Innern der Infusorienzelle zurück. Diese dürfte nach allen diesbezüglichen Erfahrungen beim KCl größer sein als beim NaCl.

Den Kochsalzversuchen schließe ich noch einige Mitteilungen über Natriumsulfatversuche an. Wir haben da ein Salz vor uns mit ziemlich indifferentem Kation und entquellend wirkendem Anion. Es soll hier nochmals wiederholt werden, daß Sulfate auf viele tote Kolloide in ganz geringen Konzentrationen schwach quellungsfördernd wirken können, und daß dann erst bei steigender Konzentration sich eine starke entquellende Wirkung einstellt. Genau dieselbe, d. h. gleichsinnige Wirkung, übte das Natriumsulfat auch auf die Teilung der Paramaecien aus. Wenige Versuche wurden mit einem Zusatz von 1,0 ccm einer 0,3 m Lösung von Na_2SO_4 zu 19 ccm Heuinfusion ausgeführt. Sie fielen schwach positiv oder mit der Kontrolle gleich aus. Dann wurden eine große Anzahl von Versuchen mit etwas höherer Konzentration (1,2 ccm der gleichen Lösung) angesetzt (LiCl wirkt in dieser Konzentration noch stark teilungsfördernd). 16 von

18 dieser Versuche fielen stark negativ aus, 2 positiv. Tabelle 5 gibt den Zahlenbeleg für das Gesagte.

In älteren Infusionen, denen Sulfat zugesetzt ist, setzen sich bisweilen die Bakterien rascher auf den Boden ab, als in den reinen Kontrollen. Versuche mit einem solchen Bakterienunterschied wurden ausgeschieden. In Na_2SO_4 3 war die Kontrolle sogar bakterienärmer.

Zum Schluß führe ich hier noch einige Chlorcalciumversuche an. Die Vermehrung des Gehaltes der Infusionen an den stark

Tab. 5. Natriumsulfat.

| | | | | | | |
|----------------------------|-------|---|----|-----|------|------|
| Na_2SO_4 1 | A | 5 | 90 | 502 | | |
| | 1,0 a | 7 | 61 | 230 | | |
| Na_2SO_4 2 | A | | 7 | 42 | 182 | |
| | 1,2 a | | 27 | 158 | 1700 | |
| Na_2SO_4 3 | A | | 16 | | 167 | 675 |
| | 1,2 a | | 16 | | 282 | 1505 |
| Na_2SO_4 4 | A | | 8 | | 110 | 398 |
| | 1,2 a | | 9 | | 257 | 1920 |
| Na_2SO_4 5 | A | | 16 | | 650 | |
| | 1,2 a | | 33 | | 1847 | |

dehydrierend wirkenden Calciumionen hatte in 100 % der Versuche eine bedeutende Verzögerung der Teilungen zur Folge. Ein Umstand muß aber bei den Versuchen berücksichtigt werden. Das Chlorcalcium fällt die Bakterien der Infusion oft (aber nicht immer, oder doch häufig nur unwesentlich) aus. Es kann sich ein dicker Bakterienniederschlag am Grunde des Gefäßes sammeln; die Paramaecien kriechen mit Vorliebe in diesen hinein und können sich hier ganz besonders gut herausfüttern. Auf diese Weise wird dann der Versuch inexakt, denn so wohlgenährte Tiere teilen sich ja rascher. Kulturen mit stark agglutinierten Bakterien wurden ausgeschieden.

Die hemmende Wirkung des CaCl_2 macht sich schon bei sehr geringen Zusätzen (0,3 ccm einer 0,3 m Lösung zu 19 ccm Infusion) geltend. Die in der letzten Reihe angeführte Kaliumrhodanidkontrolle läßt den kolossalen, diametral entgegengesetzten Einfluß des quellungsfördernden und des entquellend wirkenden Salzes schön zutage treten.

Die Hauptergebnisse der beschriebenen Versuche lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen: Die Teilungsgeschwindigkeit der Paramaecien läßt sich in hohem Grade durch Salze, die in ziemlich geringen Mengen dem normalen Medium zugesetzt werden, beeinflussen. Diese Beeinflussung erfolgt im Sinne der Quellungsreihe der Ionen. Den stärksten Einfluß üben solche Salze entweder im einen oder im anderen Sinne aus, welche ein Ion besitzen, das an einem

Ende der Quellungsreihe steht, also stark quellungsfördernd oder stark quellungshemmend wirkt, und deren zweites Ion nicht entgegengesetzte Eigenschaften hat. Es wirkt also z. B. LiCl stark begünstigend auf die Teilung der Paramaccien infolge der stark quellungsfördernden Wirkung des Li-Ions, KSCN wegen der gleichen Wirkung des SCN-Ions. Andererseits sind z. B. CaCl_2 und Na_2SO_4 Salze, die stark teilungshemmend wirken, da beim ersten Salz das Kation, beim zweiten

Tab. 6. Calciumchlorid.

| | | | | | | |
|-------------------|-------|---|----|------|-----|------|
| CaCl_2 1 | A | | 21 | | 23 | 34 |
| | 0,7 a | | 30 | | 59 | 389 |
| CaCl_2 2 | A | | 31 | | 45 | 359 |
| | 0,7 a | | 60 | | 290 | 1227 |
| CaCl_2 3 | A | | 33 | 139 | | |
| | 0,8 a | | 65 | 859 | | |
| CaCl_2 4 | A | | 20 | 86 | | 736 |
| | 0,9 a | | 65 | 487 | | 2520 |
| CaCl_2 5 | A | 4 | 51 | 57 | | |
| | 0,3 a | | | | | |
| KSCN 5 | B | 4 | 40 | 1000 | | |
| | 1,0 b | 2 | 31 | 169 | | |

das Anion am negativen Ende der Quellungsreihen der Ionen steht.

Salze, deren Ionen auf die Quellung keinen großen Einfluß ausüben, sind auch in ihrer Wirkung auf die Zahl der Teilungen ziemlich indifferent. Zum Teil dürften auch andere Faktoren von größerem Einfluß werden als die in diesem Falle schwache Veränderung der Wasserabsorption. — Eine gesteigerte Wasserabsorption macht sich auch in einer Volumzunahme geltend. Trotz der wesentlich rascher aufeinanderfolgenden Teilungen kann ein bedeutender Dickenunterschied erhalten bleiben. In den dehydrierend wirkenden Salzinfusionen sind die Tiere nur in dem Fall dünner als die Kontrollen, wenn sehr bakterienarme Infusionen verwendet werden. Sind die Infusionen bakterienreich, so wird die Volumabnahme bei der ständigen Nahrungsaufnahme durch die geringere Zahl der Teilungen ausgeglichen. — Bezüglich der Beeinflussung der Zellteilungen ließ sich in vollständiger Parallelität mit den Quellungsreihen die Kationenreihe $\text{Li} > \text{Na} > \text{Ca}$ und die Anionenreihe $\text{SCN} > \text{Cl} > \text{SO}_4$ ermitteln. Bromide dürfen wir nicht ohne weiteres mit den übrigen Anionen vergleichen, weil sie schädigend wirken können, dieser Faktor also der Quellungsförderung entgegenarbeitet. Die Stellung des Kaliums in der Kationenreihe soll noch durch weitere Versuche genauer ermittelt werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1919

Band/Volume: [39](#)

Autor(en)/Author(s): Spek Josef

Artikel/Article: [Experimentelle Beiträge zur Physiologie der Zellteilung.
23-34](#)