Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern
Band: - (1915)

Artikel: Der Einfluss des Aussenmediums auf den Turgordruck einiger Algen
Autor: Buchheim, Alexander
Kapitel: Orientierungsversuche
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-319257

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Im weiteren wird die Konzentration als Grenzkonzentration bezeichnet, bei welcher 50% der beobachteten Algen deutlich plasmolysiert waren. Bei Fadenalgen bezeichne ich die Konzentration als Grenzkonzentration, bei welcher 50% der Zellen in jedem Faden plasmolysiert wurden. Um die individuellen Schwankungen auszuschalten, habe ich in jeder Konzentration etwa 100 Algen beobachtet und dann die Prozentzahl der plasmolysierten Zellen bestimmt.

Orientierungsversuche.

Im Oktober 1912 habe ich meine Untersuchungen über Turgordruck bei den Algen begonnen. Es war *Cylindrocystis Brebissonii*, dem meine ersten Versuche galten. Diese Alge fand sich in reichlichen Mengen in den Tümpeln der Hochmoore bei Hinterzarten.

Um den Turgordruck von *Cylindrocystis* nach der plasmolytischen Methode festzustellen, verwendete ich Lösungen von Saccharose. Die Wahl von Saccharose für die plasmolytischen Versuche beruhte darauf, dass bei dem grossen Molekulargewicht derselben es leicht war, verschiedene Konzentrationen herzustellen ohne mit sehr kleinen Gewichtsmengen operieren zu müssen: hauptsächlich aber kam es hier darauf an, dass man als plasmolysierenden Stoff einen Nichtelektrolyten verwendete, der sich durch seine minime Permeabilität auszeichnete. Durch Ausprobieren verschiedener Konzentrationen konnte ich ziemlich genau feststellen, dass der Turgordruck zwischen 8 und 9% Saccharose lag. Ich will das Protokoll dieses Versuches anführen. Man kann daraus entnehmen, dass die Dauer der plasmolytischen Reaktion in schwacher Lösung ca. 15—20 Minuten beträgt.

Versuch I. (26. X. 1912.)

8%ige Zuckerlösung	9%ige Zuckerlösung
3.10 Uhr. Anfang des Versuches.	3.23 Uhr. Anfang des Versuches.
3.16 „ keine Plasmolyse.	3.28 „ Plasmolyse eingetreten.
3.21 „ „ „	3.33 „ „ „
3.26 „ einige Zellen kaum merklich plasmolysiert.	3.38 „ keine Aenderung.
3.31 „ „ „ „	3.43 „ „ „
3.36 „ „ „ „	3.48 „ „ „

Dieser Versuch zeigt ferner, wie bereits erwähnt wurde, dass die Grenzkonzentration für *Cylindrocystis* zwischen 8 und 9% Saccharose liegt, was dem Druck von 5,28 Atmosphären entspricht. (8½% $C_{12}H_{22}O_{11}$.) Wie würde sich aber der Innendruck der Alge verhalten, wenn man dieselbe in ein konzentrierteres Medium überträgt und längere Zeit daselbst lässt? Um diese Frage zu beantworten, setzte ich eine 5%ige Zuckerkultur von *Cylindrocystis Brebissonii* an.

Versuch II. (28. X. 1912.)

Cylindrocystis Brebissonii seit 22. X. in 5%iger Saccharose kultiviert.

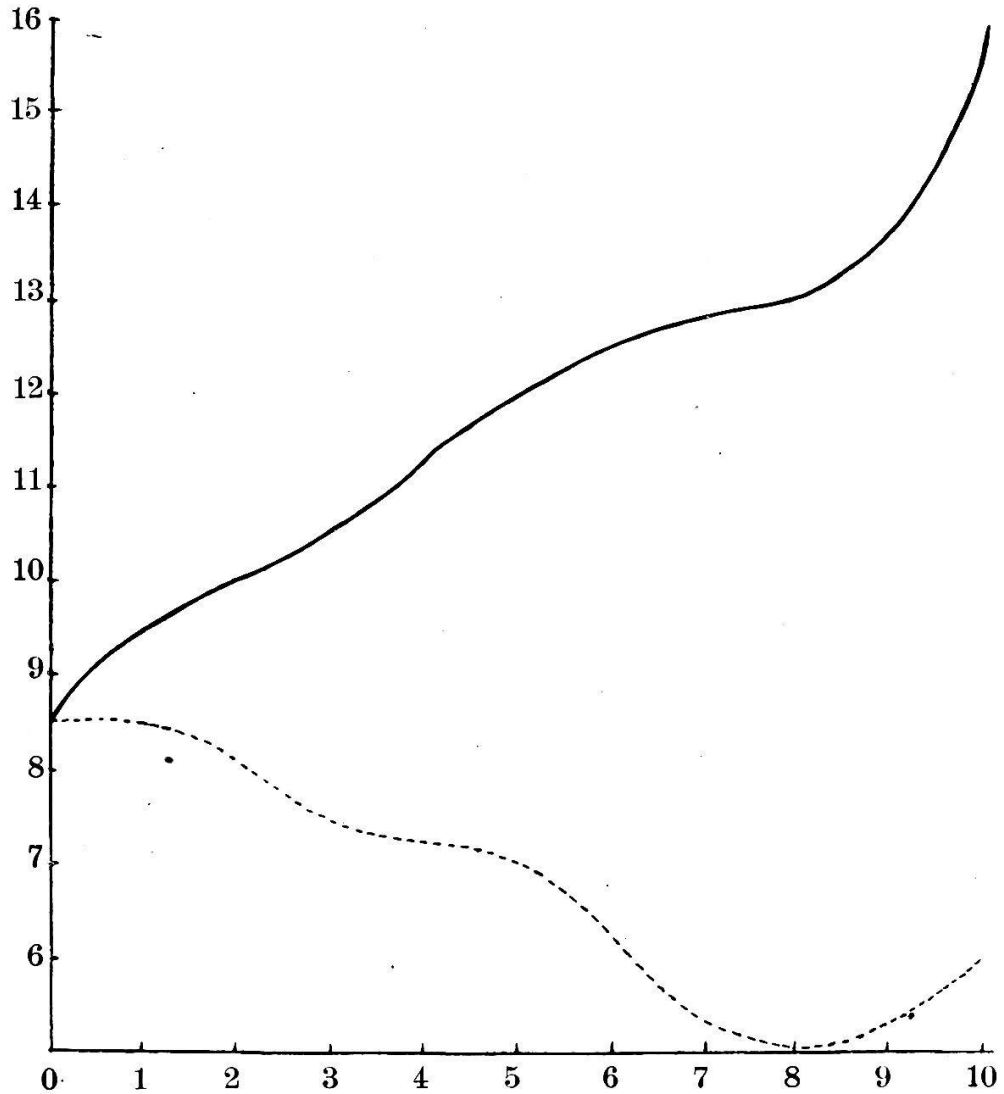
Zeit: 8% Zuckerlösung.	Zeit: 9% Zuckerlösung.	Zeit: 10% Zuckerlösung.
11.13: Anfang d. Vers.	11.14: Anfang d. Vers.	11.15: Anfang d. Vers.
11.26: keine Reaktion.	11.26: keine Reaktion.	11.31: schwache Plasmolyse.
11.40: „ „	11.50: kaum merkliche Plasmolyse.	11.54: „ „
12.10: „ „	12 04: „ „	12.06: „ „

Aus dem Versuch II. geht also hervor, dass der Turgordruck der Algen, die in 5%iger $C_{12}H_{22}O_{11}$ kultiviert waren, höher ist als bei denen, die im gewöhnlichen Wasser vegetierten. Um zu kontrollieren, ob der Turgordruck der Algen, die in gewöhnlichem Wasser kultiviert waren, derselbe geblieben war, habe ich am selben Tage vergleichende Versuche gemacht. Der Turgordruck war wieder 8½%ig $C_{12}H_{22}O_{11}$. Da die ersten Versuche schon zeigten, dass das Verhalten der einzelnen Zellen von *Cylindrocystis* zu den Lösungen verschieden war (in jeder Konzentration von $C_{12}H_{22}O_{11}$ waren neben plasmolysierten Zellen von *Cylinorocystis* auch solche, die schwach oder gar nicht plasmolysiert waren), stellte es sich als notwendig heraus, bei der Berechnung der Grenzkonzentration die Zahl der plasmolysierten Zellen anzugeben. In den Versuchen, die in diesem Abschnitt behandelt werden, geschah die Bestimmung der plasmolysierten Zellen schätzungsweise. Es galt als Grenzkonzentration die Konzentration, bei welcher schätzungsweise mehr als 50% Zellen plasmolysiert waren.

Weitere Versuche, die nach der beschriebenen Methode ausgeführt wurden, ergaben für verschiedene Kulturen von *Cylindrocystis* folgende Grenzkonzentrationen:

Konzentration des Aussenmediums	Grenzkonzentration
H_2O	$8^1/_2$ % $C_{12}H_{22}O_{11}$
1% $C_{12}H_{22}O_{11}$	$9^1/_2$ % »
2% »	10% »
5% »	12% »
8% »	13% »
10% »	16% »

Fasst man diese Ergebnisse graphisch zusammen, so erhält man folgende Kurve: (Kurve 1.)



Kurve 1[1]): —— Turgordruck von *Cylindrocystis*
····· Ueberdruck » »

[1]) Bei Kurven 1—10 bedeuten:
Ordinaten — Konzentration d. plasmolisierenden Lösung.
Abscissen — Konzentration d. Kultur-Lösung.

Es ist selbstverständlich, dass die Kulturen in 8 und 10% Zucker nicht direkt von den Algen, die dem Fundorte entnommen wurden, angesetzt waren. Erst durch allmähliche Anpassung in 5% Zuckerkultur kann man die Algen in höhere Konzentrationen überführen. Geschieht das nicht, so tritt bei sämtlichen *Cylindrocystis*zellen Plasmolyse ein und die Zellen gehen auf diese Weise zu Grunde. Es gelang mir nicht *Cylindrocystis* in noch höheren Konzentrationen zu kultivieren. Schon bei Kultur in 10%iger Zuckerlösung waren sämtliche Zellen plasmolysiert und manche abgestorben.

Ausser bei *Cylindrocystis* habe ich den Turgordruck noch bei *Closterium*, *Micrasterias* und *Pleurotaenium* bestimmt. Bei Versuchen mit *Closterium* sind die ersten Stadien der Plasmolyse schwer festzustellen. Schon bei 8%iger Zuckerlösung wird der Chloroplast etwas deformiert: die Umrisse desselben werden unscharf, verquollen. In meinen weiteren Versuchen nehme ich an, dass Plasmolyse nur bei den *Closterien* eintritt, bei welchen das Abheben des Chloroplasten an den Enden deutlich zu erkennen ist. Die Resultate meiner Turgormessungen bei *Closterium Ehrenbergii* kann man folgendem Protokoll entnehmen:

Versuch III. (31. X. 12.)

Zeit: 8% Zuckerlösung.	Zeit: 9% Zuckerlösung.	Zeit: 10% Zuckerlösung.
10.40: Anf. d. Vers.	10.40: Anf. d. Vers.	10.40: Anf. d. Vers.
11.24: Zellen etwas deformiert	11.24: Zellen meistens deformiert	11.39: Starke Plasmolyse
	11.56: » »	11.55: » »

Versuch IV. (4. XI. 12.)

Zeit: 8% Zuckerlösung.	Zeit: 9% Zuckerlösung.	Zeit: 10% Zuckerlösung.
10.30: Anf. d. Vers.	10.30: Anf. d. Vers.	10.30: Anfang d. Vers.
11.20: keine deutliche Plasmolyse	11.30: einige Zellen merklich plasmolysiert	11.22: deutliche Plasmolyse.

Man könnte demnach den Turgordruck von *Closterium Ehrenbergii* als einer 9½ %igen Zuckerlösung entsprechend annehmen: = 6,15 Atmosphären.

Die Versuche, diese Algen in höheren Zuckerkonzentrationen zu kultivieren, ergaben bei 5%iger Zuckerkultur den Turgordruck 10½—11 %. Höhere Konzentrationen wirkten

schädlich. So ist der Versuch, diese Alge in 15%iger Zuckerlösung zu kultivieren, nicht gelungen, da nach 3 tägigem Aufenthalt der Alge in dieser Lösung die Zellen von *Closterium* völlig plasmolysiert waren.

Was den Turgordruck bei *Micrasterias dentata* betrifft, so kann man denselben aus dem Versuch vom 5. November 1912 ersehen.

Versuch V. (5. XI. 12.)

Zeit: 11% Zuckerlösung.	Zeit: 12% Zuckerlösung.	Zeit: 13% Zuckerlösung.
3.08: Anfang des Versuchs	3.08: Anfang des Versuchs	3.08: Anfang des Versuchs
3.45: keine Reaktion.	3.50: keine Reaktion.	3.55: fast alle Zellen plasmolysiert.

Demgemäss würde der Druck im Zellinnern von *Micrasterias dentata* etwa dem Druck einer 12½ %igen Zuckerlösung = 8 Atmosphären entsprechen.

Weitere Versuche, die in derselben Weise ausgeführt wurden, ergaben für *Pleurotaenium Ehrenbergii* den Druck = 13%ige Zuckerlösung oder 8,31 Atmosphären.

In diesem Abschnitt möchte ich noch die Versuche anführen, die ich mit *Spirogyra spec.* anstellte. Ich fand eine ziemlich breitzellige Spezies von *Spirogyra* im Wiesengraben bei Hugstetten und habe diese Gelegenheit benutzt, um Versuche mit Seewasser (aus der Nordsee) zu machen. Das Seewasser aus dem Zoologischen Institut hatte das spezifische Gewicht 1.028 bei 12½° C. Am 19. November setzte ich folgende Kulturen an:

1.	in 250	ccm:	0	ccm	Seewasser	(0%)
2.	» »	» :	25	»	»	(10%)
3.	» »	» :	50	»	»	(20%)
4.	» »	» :	75	»	»	(30%)
5.	» »	» :	100	»	»	(40%)
6.	» »	» :	125	»	»	(50%)

Die Kulturen verhielten sich zum Seewasser ganz verschieden, je nach der Konzentration desselben. Am 28. XI. 12 wurden die Kulturen photographiert[1]) und man kann aus dem Bilde

[1]) Von Dr. Hans von Waenker.

sehen[1]), dass die Kultur in destilliertem Wasser am besten war. Man kann auch ferner die Einwirkung des Seewassers verfolgen: mit Steigerung der Konzentration verkümmerten die Kulturen immer mehr und mehr. Am 2. und 3. XII. habe ich die Turgorbestimmung unternommen, die folgende Resultate ergab:

Konzentration des Aussenmediums	Turgordruck.
H_2O	12 % $C_{12}H_{22}O_{11}$
10 % Seewasser	14½ % »
20 % »	17 % »

Aus diesen Ergebnissen könnte man schliessen, dass die Zunahme des Turgordruckes parallel mit der Steigerung der Konzentration der Kulturlösung geht. Die Algen verhielten sich in diesem Fall so, als ob sie das Salz des Seewassers aufnahmen und dadurch ihren Turgordruck erhöhten. Diese Versuchsreihe ist aber zu klein, um feste Schlüsse daraus zu ziehen. Wir kommen ferner noch auf die Frage, wie sich die Algen zu Salzlösungen verhalten, zu sprechen. Vielleicht würde es noch von Interesse sein, zu erwähnen, dass die Kulturen von Spirogyra am 20. I. 13 noch ein gutes Aussehen hatten (namentlich die Kulturen in 10 % und 20 % Seewasser).

Am Schlusse dieses Abschnittes möchte ich noch einmal darauf hinweisen, dass die hier angegebenen Versuche Orientierungsversuche sind: die Grenzkonzentrationen sind nicht nach der genauen Prozentzahl der plasmolisierten Zellen berechnet. Deswegen kann man die in diesem Abschnitt gefundenen Zahlen in keiner Weise mit den weiteren Ergebnissen vergleichen.

Hier kam es mit darauf an, zu zeigen, dass bei zunehmender Konzentration des Aussenmediums der Turgordruck der Algen im Allgemeinen auch gesteigert wird. Wie diese Steigerung des Turgordruckes in Zucker- und Salzlösungen vor sich geht, werden weitere Versuche zeigen.

Zuckerkulturen von *Cylindrocystis Brebissonii* und *Spirogyra spec.*

a. Allgemeiner Verlauf der Turgorsteigerung.

Um den Verlauf der Turgorsteigerung, die in den Zellen der Algen entsteht, falls man dieselben in ein Medium mit höherer

[1]) Siehe Anhang.

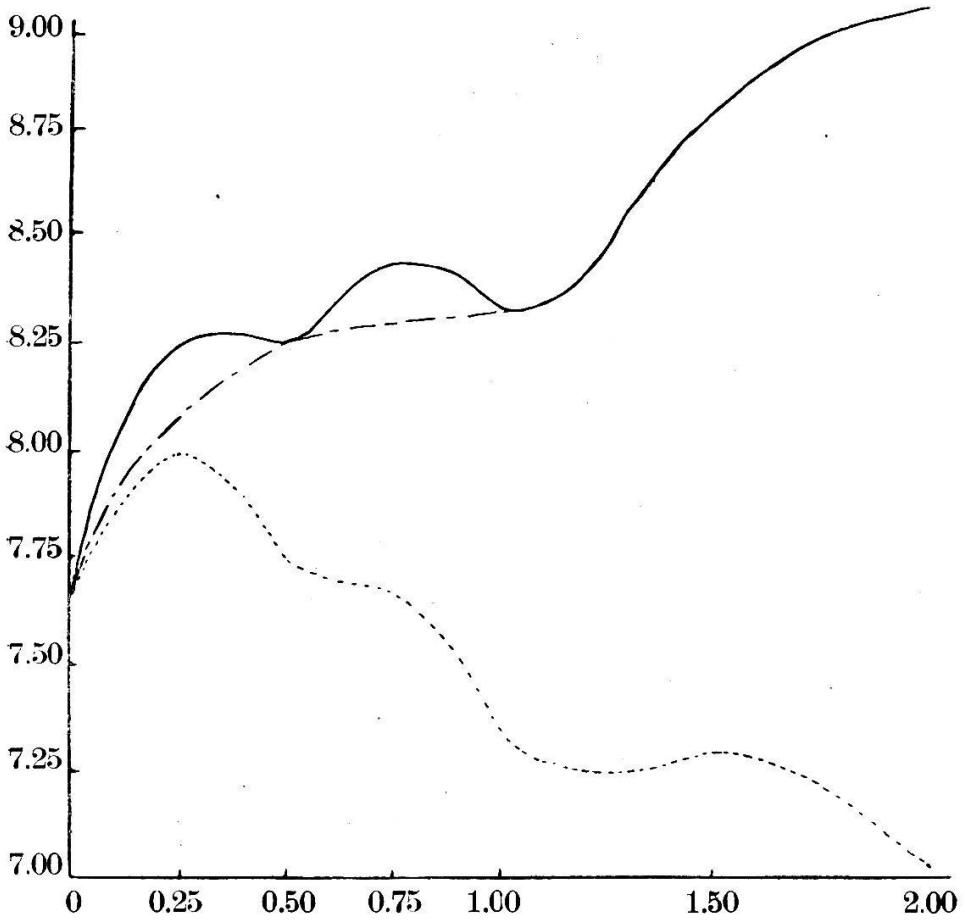
Konzentration bringt, genauer zu prüfen, habe ich weitere Versuche mit verschiedenen Zuckerlösungen angestellt. Da die Methode, die ich bei solchen Zuckerkulturen verwendet habe, schon an anderer Stelle geschildert ist, will ich hier nicht näher darauf eingehen. (Die Berechnung der Grenzkonzentration ist aus den im Anhang angeführten Untersuchungsprotokollen zu ersehen.) Ich will nur noch einmal betonen, dass das Wort «Zuckerkulturen» keineswegs in dem Sinne gebraucht wird, als wären es «reine» Kulturen, mit denen ich hier experimentierte. Solche Algen, wie *Spirogyra* lassen sich in künstlichen Bedingungen überhaupt schwer züchten und deswegen kann man bakterienreine Kulturen von *Spirogyra* schwer bekommen. Diese Alge stellt hohe Forderungen an Temperatur und Belichtung und darum kann die Kultur von *Spirogyra* nicht immer ausgeführt werden. In den Kulturen, die hier besprochen werden, konnte man eine sehr schöne Anpassung der *Spirogyra* an die künstlichen Bedingungen eines Laboratorium-Versuches konstatieren. Dass die Alge sich verhältnismässig wohl fühlte, konnte man an den Lichtbewegungen, die sie ausführte, bemerken. Die einzelnen Fäden von *Spirogyra* sammelten sich in Büschel, die ihre Gestalt je nach der Intensität der Belichtung veränderten. Oltmanns (13) hat dieselben Erscheinungen bei *Spirogyra* beobachtet und die oben beschriebenen Büschel überaus zutreffend mit rosschweifähnlichen Gebilden verglichen. Nach diesem kurzen Bericht über meine Kulturen kann ich nun zu den Ergebnissen derselben übergehen. Zuerst will ich die Resultate meiner Versuche mit *Cylindrocystis Brebissonii* berichten.

Es war von Interesse zu prüfen, wie sich der Turgordruck von *Cylindrocystis* ändert, wenn die Konzentrationsstufen der Zuckerkultur möglichst klein gewählt werden. Deswegen stellte ich folgende Zuckerkulturen an: H_2O; 0,25; 0,50; 0,75; 1; 1,50; 2 %. Die Algen stammten aus Erlenbruck (25. V. 13) und wurden am 4. VI. in Kulturlösungen gebracht. Der Turgordruck in jeder Konzentration wurde zweimal untersucht.

Aus folgender Tabelle sind die Resultate dieser Versuchsreihe zu entnehmen.

Aussen-konzentration:		Grenz-konzentration:		Ueberdruck:
H_2O		7,66 %	Zucker	7,66
0,25 %	$C_{12}H_{22}O_{11}$	8.24 %	»	7,99
0,50 %	»	8,24 %	»	7,14
0,75 %	»	8,42 %	»	7,67
1,00 %	»	8,33 %	»	7,33
1,50 %	»	8,79 %	»	7,29
2,00 %	»	9,03 %	»	7,03

Um diese Resultate übersichtlicher zu machen, stelle ich sie graphisch dar. (Kurve 2.)



Kurve 2: —— Turgordruck v. *Cylindrocystis* bei 0,25 % Zucker-Abstufung.
—·— Turgordruck bei 0,50 % Zucker-Abstufung.
····· Ueberdruck bei 0,25 % Zucker-Abstufung.

Beim Betrachten dieser Kurve ist augenscheinlich, dass der erste Teil derselben keinen gesetzmässigen Verlauf hat. Offenbar konnte die Methode, von der ich hier Gebrauch machte, nicht

die Unterschiede im Turgordruck bei Kulturen, die sich um 0,25 % Zucker abstuften, wiedergeben. Dieses wird besonders deutlich, wenn man grössere Abstufungen nimmt. Wenn wir z. B. den Verlauf der Kurve beobachten, die den Turgordruck bei Kulturen, die sich um 0,50 % Zucker unterscheiden, markiert, so sehen wir, dass dieselbe viel regelmässiger verläuft. Natürlich ist bei dieser Erörterung unentschieden, ob die Algen auf Unterschiede von 0,25 % Zucker in den Kulturen gesetzmässig reagieren. Jedenfalls, wenn dies der Fall ist, muss die Zahl der Versuchsobjekte sehr gross gewählt werden, damit die individuellen Verschiedenheiten das Bild nicht vertuchen. Immerhin kann man auf Grund meines Versuches behaupten, dass der Turgordruck der Algen bei Kulturen mit verschiedenem Zuckergehalt mit Steigerung der Zuckerkonzentration auch wächst. Ferner zeigt dieser Versuch, dass die Zunahme des Turgordrucks nicht in dem Masse erfolgt, wie die Konzentrationsänderung der Kulturlösung; so ist der Turgor in meinem Versuche von 7,66 bis 9,03 gewachsen, während die Aussenkonzentration von 0—2 % Zucker gesteigert wurde.

Parallel mit der Steigerung des Turgordruckes kann man auch die Abnahme des Ueberdrucks konstatieren. Es scheint, dass die Algen sich an die neuen Lebensbedingungen in Zuckerlösungen anpassen können, indem sie einen Teil ihres Ueberdrucks einbüssen. Hiermit ist die Frage gegeben, wie weit kann das ohne Schaden für die Organismen geschehen; denn es ist vorauszusehen, dass eine solche Abnahme des Ueberdrucks nur bis zu einer gewissen Grenze erfolgen kann. Die natürliche Grenze für ein plötzliches Uebertragen der Alge in Zuckerlösungen ist durch die Konzentration gegeben, die sofort starke Plasmolyse hervorruft; doch allmählich kann man Cylindrocystis auch an höhere Konzentrationen (10 % Zucker) gewöhnen: die Alge passt sich an, indem sie ihren Innendruck allmählich steigert. (Siehe Seite 7.)

Doch wenden wir uns noch einmal zu den Ergebnissen der ersten Versuchsreihe.

Vergleicht man die Zunahme des Turgordrucks bei 1- und 2%iger Zuckerkultur, so scheint es, dass hier eine direkte Proportionalität existiert. $\frac{1}{2} = \frac{0{,}66}{1{,}37}$.

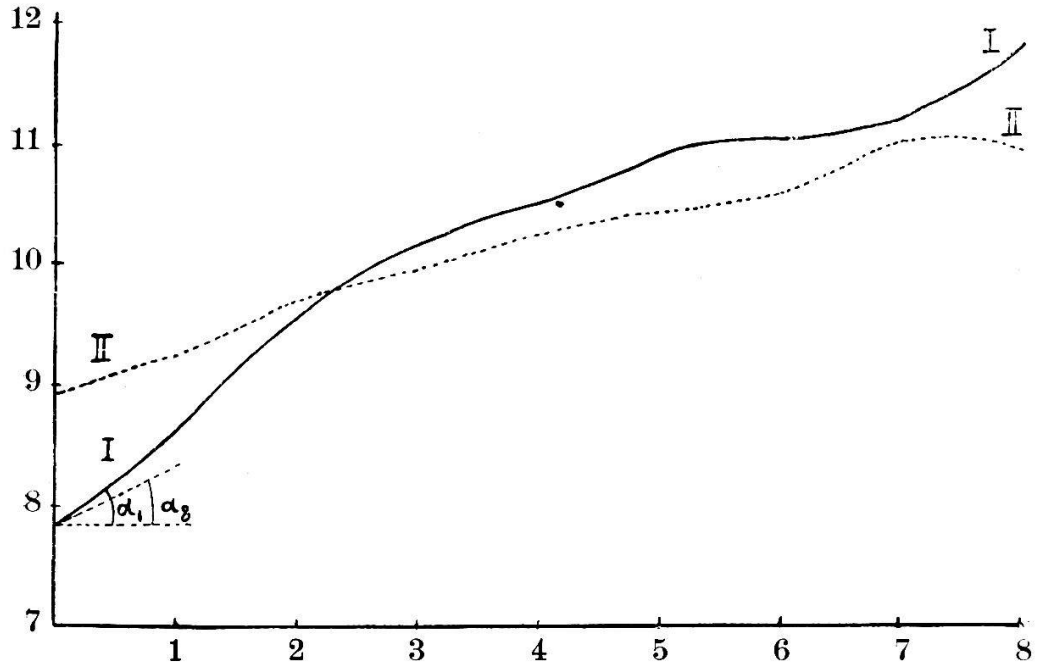
Doch die weitern Versuche lehren uns, dass diese Proportionalität nur bei ganz kleinen Abstufungen der Aussenkonzentration besteht; bei hohen Konzentrationen kann von einer solchen Proportionalität bei Zuckerkulturen keine Rede sein.

Meine weiteren Versuche beschäftigten sich mit Zuckerkulturen, die sich um 1% Zucker abstuften. Ich hoffte, auf diese Weise etwas näher die Gesetzmässigkeit festzustellen, die offenbar zwischen der Turgorzunahme und Konzentrationssteigerung existiert. Es war zu erwarten, dass die grössere Abstufung der gewählten Zuckerlösungen bei der Aufklärung dieser Gesetzmässigkeit von Nutzen sein wird. Ich unternahm meine Versuche mit einer Kultur von *Cylindrocystis* aus Ehrenbruck (v. 25. XI. 13). Das Material war von gutem Aussehen und die Flockenbildung eine ganz ausgesprochene. Um die Übersicht zu erleichtern, gebe ich im folgenden die Resultate von drei verschiedenen Versuchsreihen[1]):

Dauer der Einwirk:	(7—8 Tage)		(11—12 Tage)		(23 Tage)
Aussenkonzentration	Grenzkonzentration (I)		Grenzkonzentration (II)		Grenzkonzentration (III)
H_2O	7,83%	$C_{12}H_{22}O_{11}$	8,91%	$C_{12}H_{22}O_{11}$	
1%	8,63%	»	9,24%	»	9,22%
2%	9,60%	»	9,70%	»	9,58%
3%	10,18%	»	9,99%	»	
4%	10,56%	»	10,25%	»	10,01%
5%	10,94%	»	10,46%	»	
6%	11,07%	»	10,63%	»	
7%	11,29%	»	11,07%	»	
8%	11,89%	»	10,97%	»	10,90%

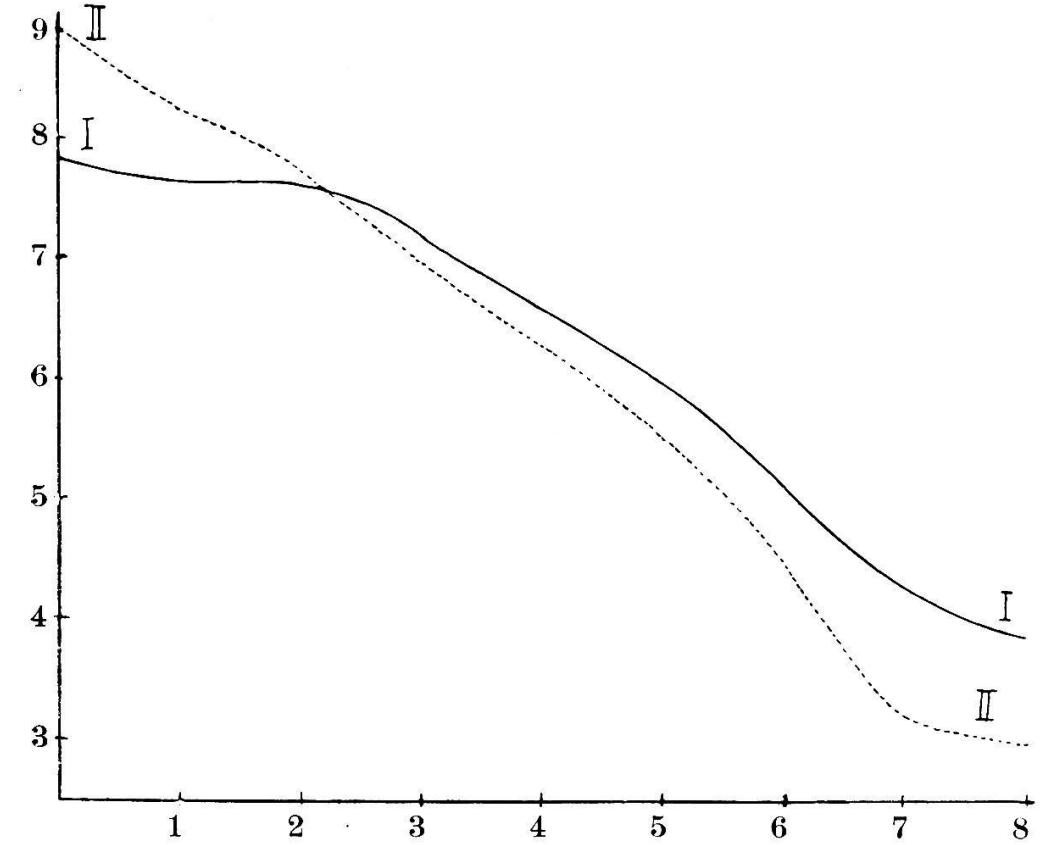
oder graphisch: (Kurve 3.)

[1]) Reihe I: Tabellen 1—18.
» II: » 19—32.
» III: » 33—36.



Kurve 3: —— Turgordruck v. *Cylindrocystis* in der I. Versuchsreihe.
..... Turgordruck v. *Cylindrocystis* in der II. Versuchsreihe.

Der Ueberdruck nimmt mit wachsender Konzentration ab: (Kurve 4.)



Kurve 4: —— Ueberdruck v. *Cylindrocystis* in der I. Versuchsreihe.
..... Ueberdruck v. *Cylindrocystis* in der II. Versuchsreihe.

Aus dem Verlauf der Kurven sehen wir, dass hier keine direkte Proportionalität zwischen dem Turgordruck und Konzentration besteht. Im Gegenteil, mit wachsender Konzentration wird die Kurve immer flacher: Winkel $\alpha 1$ bis $\alpha 8$ werden immer kleiner. Die Konzentrationsteigerung und die Zunahme des Turgordrucks geht nicht parallel. Der Zusammenhang, der hier besteht, kann durch das Weber-Fechnersche Gesetz erklärt werden. Für diesen Fall kann man das Weber-Fechnersche Gesetz folgendermassen definieren:

Wenn die Abstufungen der Kulturflüssigkeit so gewählt sind, dass sie eine Reihe, die nach dem Gesetz der geometrischen Progression gebildet ist, darstellen, so ändert sich der entsprechende Turgordruck nach dem Gesetz der arithmetischen Progression; also

$a;\ a+q;\ a+q^2;\ a+q^3;\ .\ .\ a+q^n$ — Konzentration

$b;\ b+p;\ b+2p;\ b+3p;\ .\ .\ b+np$ — Turgorsteigerung

Wenn wir die Ergebnisse, die wir gefunden haben, zusammen stellen, so sieht man, dass dieselben im allgemeinen dem Weberschen Gesetz folgen.

I Konz. der Aussenmed.	1	1.2	1.2^2	1.2^3
Gefund. Werte	8,63	9,60	10,56	11,89
		$8{,}63+0{,}97$	$8{,}63+2.0{,}97$	$8{,}63+3.0{,}97$
Web. Gesetz	8,63	9,60	10,57	11,54
Differenz	0	0	— 0,01	+ 0,35
II Konz. der Aussenmed.	1	1.2	1.2^2	1.2^3
Gefund. Werte	9,24	9,70	10,25	10,97
		$9{,}24+0{,}46$	$9{,}24+2.0{,}46$	$9{,}24+3.0{,}46$
Web. Gesetz	9,24	9,70	10,16	10,62
Differenz	0	0	+ 0,09	+ 0,35
III Konz. der Aussenmed.	1	1.2	1.2^2	1.2^3
Gefund. Werte	9,22	9,58	10,01	10,90
		$9{,}22+0{,}36$	$9{,}22+2.0{,}36$	$9{,}22+3.0{,}36$
Web. Gesetz	9,22	9,58	9,94	10,30
Differenz	0	0	+ 0,07	+ 0,60

I Dauer der Kultur = 7 – 8 Tage.
II » » » = 11–12 »
III » » » = 23 Tage.

Daraus sieht man, dass das Webersche Gesetz für die Steigerung des Turgors bei *Cylindrocystis* gültig ist. Die grössere Abweichung von der theoretisch geforderten Zahl bei 8%iger Zuckerkultur kann dadurch erklärt werden, dass bei 8%iger Zuckerlösung die Fehler, die durch Verdunstung der Kulturflüssigkeit entstehen, nicht vernachlässigt werden können. Auch ist das Permeieren geringer Zuckermengen bei der Versuchsdauer von 23 Tagen nicht ganz ausgeschlossen. Jedenfalls ist bemerkenswert, dass die Abweichungen vom Weberschen Gesetz um so grösser werden, je länger die Algen in der Kulturflüssigkeit verbleiben. Doch im allgemeinen lassen diese Versuche keinen Zweifel daran, dass die Turgorsteigerung bei Zuckerkulturen sich annähernd nach der arithmetischen Progression vollzieht. Ich möchte hier noch bemerken, dass die Berechnung des Quotienten der arithmetischen Progression nach der Differenz (Turgordruck in 2%iger Kultur — Turg.-Druck in 1%iger Kultur) willkürlich ist. Wir werden ferner Quotienten auf andere Weise berechnen.

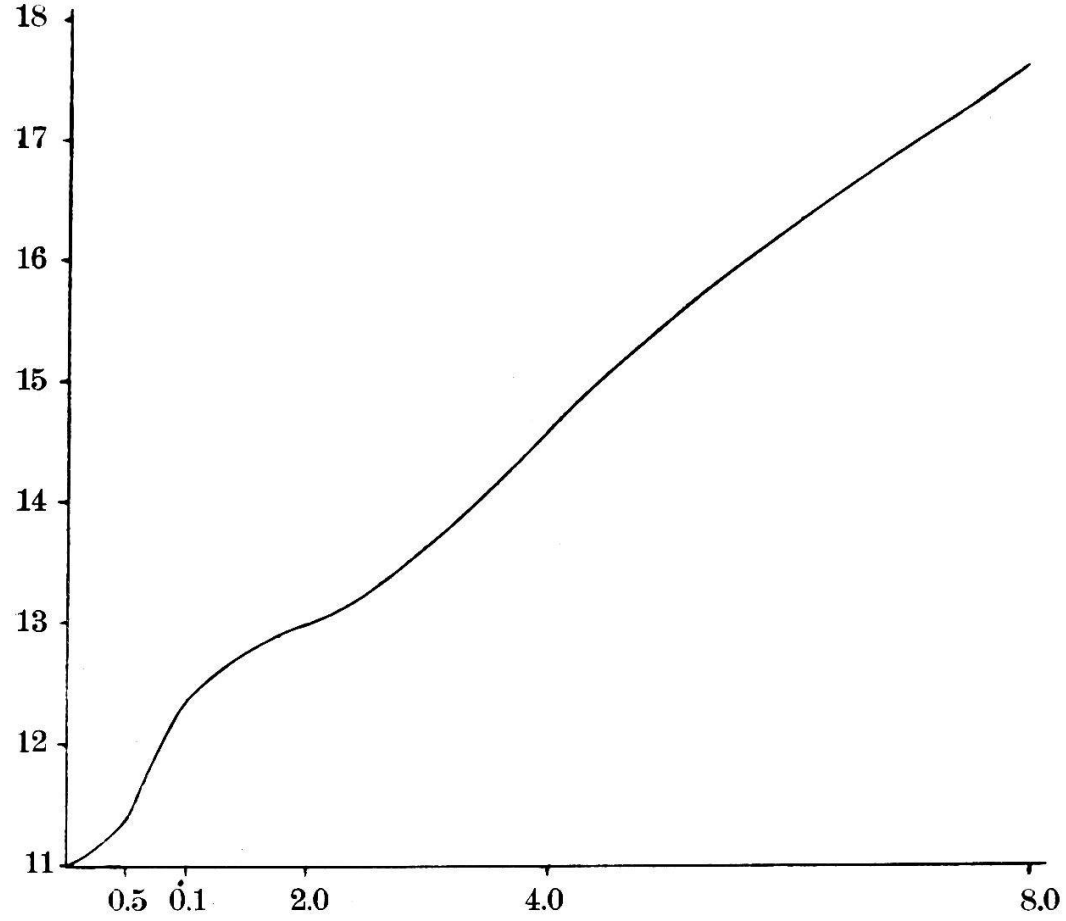
Weitere Versuche stellte ich mit *Spirogyra spec.* an. Die *Spiroyyra* stammte aus Hugstetten (Wiesengraben). Diese Alge hatte grosse Zellen von 200—500 μ Länge und 100 μ Breite und eignete sich vorzüglich für plasmolytische Untersuchungen. Dieselben konnten aber nicht mit derselben Genauigkeit durchgeführt werden, wie bei *Cylindrocystis*, weil die Fäden immer einige beschädigte Zellen aufwiesen; doch im allgemeinen konnte man die Grenzkonzentratien dadurch ermitteln, dass man die Zahl der plasmolysierten und nicht plasmolysierten Fäden berechnet. Es geschah auf die Weise, dass die *Spirogyra*-Fäden in kleinere Stücke zerschnitten wurden und in verschiedene Zuckerlösungen gebracht wurden. Die Konzentration galt als Grenzkonzentration, bei welcher 50% Fäden plasmolysiert wurden. Stellen wir die gewonnenen Resultate zusammen:[1])

Dauer der Einwirkung: 11 Tage.

Aussenkonzentration:		Grenzkonzentration:		Ueberdruck:
H_2O		11,00%	$C_{12}H_{22}O_{11}$	11%
0,5%	$C_{12}H_{22}O_{11}$	11,35%	»	11,85%
1,0%	»	12,37%	»	11,37%
2,0%	»	13,00%	»	11,00%
4,0%	»	14,58%	»	10,58%
8,0%	»	17,37%	»	9,37%

oder graphisch: (Kurve 5.)

[1]) Tabellen 37—42.



Kurve 5: Turgordruck von *Spirogyra*kulturen.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Turgorsteigerung hier auch annähernd nach dem Weberschen Gesetz erfolgt.

Konzentration des Aussenmediums	0,5	0,5 2^1	0,5 2^2	0,5 2^3	0,5 2^4
Gef. Werte	11,35	12,37	13,00	14,58	11,37
		11,35+1,02	11,35+2.1,02	11,35+3.1,02	11,35+4.1,02
Web. Gesetz	11,35	12,37	13,39	14,41	15,43
Differenz	0	0	−0,39	+0,15	+1,92

b. Zeitlicher Verlauf der Turgorsteigerung.

Der Verlauf der Kurve und die Zahlen, die wir eben angeführt haben, lassen ohne Zweifel erkennen, dass die Zeit, während welcher die Algen der Einwirkung der Lösung ausgesetzt sind, ein wichtiger Faktor der Turgorsteigerung ist. Um diese Einwirkung der Zeit genauer zu untersuchen, habe ich Kulturen angestellt, die alle 2 Tage plasmolysiert wurden. Auch van Rysselberghe (17, pag. 38) hat nachgewiesen, dass die Tur-

gorsteigerung in Salz- und Zuckerlösungen nicht in demselben Tempo verläuft. «Dans les milieux salins, le *pouvoir osmotique définitif* correspondant à une solution est atteint d'autant plus tôt que cette solution est plus concentrée. Dans les milieux sucrés, c'est au contraire dans les solutions les plus diluées que la réaction osmotique dure le moins longtemps». Leider hat er die Angaben über den zeitlichen Verlauf der Turgorsteigerung nur für die Zeit von 5 Tagen angeführt. Es wäre von Interesse auch weiter die Turgorsteigerung zu verfolgen und deswegen habe ich meine Versuche während 14 Tagen ausgeführt.[1]) Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können in folgender Tabelle zusammengestellt werden.

Zuckerkulturen:

Dauer der Einwirkung Tage	0,9%	1,8%	3,6%	7,2%
	Grenzkonzentrationen:			
2	10,20	10,28	10,42	10,63
4	10,33	10,60	11,00	11,44
6	10,52	10,88	11,31	11,54
8	10,52	10,82	11,26	11,60
10	10,32	10,61	11,00	11,28
12	10,58	10,86	11,33	11,58
14	10,53	10,89	11,24	11,94

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die Turgorsteigerung ihr Maximum in 6 Tagen erreicht (bei 7,2% erst in 8 Tagen); die spätere Abnahme des Turgors muss wohl auf äusseren Einwirkungen beruhen, denn die Abnahme am 8—10 Tage ist ganz regelmässig in allen Kulturen zu konstatieren.

Was uns nun am meisten bei der Turgorsteigerung in Zuckerkulturen interessiert, nämlich das Webersche Gesetz, so ist dieses gültig für die Kulturen, die sich ganz dem Aussendrucke angepasst haben, also für die Kulturen, die wenigstens 6 Tage der Einwirkung der Zuckerlösung ausgesetzt waren. Ich will die Zahlen, die das Webersche Gesetz charakterisieren, und die gefundenen Werte zusammenstellen. Es scheint mir aber richtiger zu sein, nicht die Differenz des Turgordrucks bei der

[1]) Tabellen 43—49.

Konzentration 1,8% und 9% als Quotient der arithmetischen Progression zu nehmen, sondern den Mittelwert:

$$\frac{\text{Turgordruck in 7,2\%iger Kultur} - \text{Turg. Druck in 0,8\%iger Kultur}}{3}$$

Dadurch werden die Fehler der Beobachtung eliminiert. Nach diesem Verfahren bekommen wir folgende Zahlenreihen:

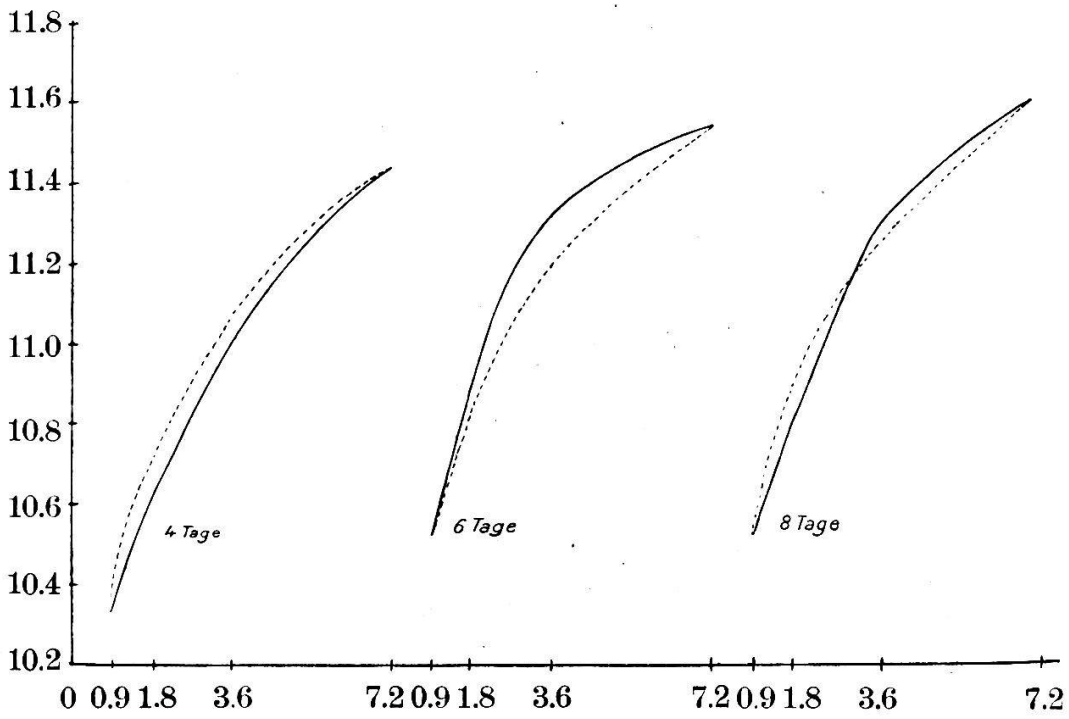
2 Tage				
Konzentration des Aussenmediums	0,9	$0{,}9 \times 2$	$0{,}9 \times 2^2$	$0{,}9 \times 2^3$
Gefundene Werte	10,20	10,28	10,42	10,63
Web. Gesetz	10,20	10,34[1])	10,48	10,62
Differenz	0	— 0,06	— 0,06	+ 0,01
4 Tage				
Konzentration des Aussenmediums	0,9	$0{,}9 \times 2$	$0{,}9 \times 2^2$	$0{,}9 \times 2^3$
Gefundene Werte	10,33	10,60	11,00	11,44
Web. Gesetz	10,33	10,70	11,07	11,44
Differenz	0	— 0,10	— 0,07	0
6 Tage				
Konzentration des Aussenmediums	0,9	$0{,}9 \times 2$	$0{,}9 \times 2^2$	$0{,}9 \times 2^3$
Gefundene Werte	10,52	10,88	11,31	11,54
Web. Gesetz	10,52	10,86	11,20	11,54
Differenz	0	+ 0,02	+ 0,11	0
8 Tage				
Konzentration des Aussenmediums	0,9	$0{,}9 \times 2$	$0{,}9 \times 2^2$	$0{,}9 \times 2^3$
Gefundene Werte	10,52	10,82	11,26	11,60
Web. Gesetz	10,52	10,88	11,24	11,60
Differenz	0	— 0,06	+ 0,02	0
10 Tage				
Konzentration des Aussenmediums	0,9	$0{,}9 \times 2$	$0{,}9 \times 2^2$	$0{,}9 \times 2^3$
Gefundene Werte	10,32	10,61	11,00	11,28
Web. Gesetz	10,32	10,64	10,96	11,28
Differenz	0	— 0,03	+ 0,04	0

[1]) Der Quotient $q = \frac{10.63 - 10.20}{3} = 0{,}14$ (*Buchheim* 2, pag. 404).

12 Tage Konzentration des Aussenmediums	0,9	$0{,}9 \times 2$	$0{,}9 \times 2^2$	$0{,}9 \times 2^3$
Gefundene Werte	10,58	10,86	11,33	11,58
Web. Gesetz	10,58	10,86	11,24	11,58
Differenz	0	0	— 0,09	0

14 Tage Konzentration des Aussenmediums	0,9	$0{,}9 \times 2$	$0{,}9 \times 2^2$	$0{,}9 \times 2^3$
Gefundene Werte	10,53	10,89	11,24	11,94
Web. Gesetz	10,53	11,00	11,47	11,94
Differenz	0	— 0,11	— 0,23	0

Im Anschluss an diese Daten möchte ich noch einige Kurven, die den Verlauf des gefundenen Turgordrucks und den nach dem Weberschen Gesetz erforderlichen wiedergeben. (Kurve 6.)



Kurve 6: —— Verlauf d. Kurve nach den gefundenen Werten.
····· Idealer Verlauf nach dem Weberschen Gesetz.

Auch der Verlauf der Kurven zeigt deutlich, dass bei den Algen, die sich an die Konzentrationen der Zuckerlösungen angepasst haben, die Turgorsteigerung nach dem Weberschen

Gesetz verläuft. Daraus dürfte zu schliessen sein, dass es sich bei der Turgorsteigerung in Saccharose um eine Reaktion handelt auf den Reiz, der durch den Aussendruck auf die Zelle ausgeübt wird. Die Zelle produziert auf diese Reizung hin selbst die Stoffe, die zur Erhöhung ihres Turgors nötig sind. Es kann sich nicht darum handeln, dass der Rohrzucker in die Zelle permeiert und dadurch ihren Turgor erhöht, denn in dem Falle wäre es gänzlich unverständlich, dass die Turgorsteigerung dem Weberschen Gesetz folgt.

Algenkulturen in Salzlösungen (NaCl).

Aus den Versuchen, die wir im vorigen Kapitel beschrieben haben, sieht man wie sich die Algen zu den Zuckerlösungen verhalten. Im wesentlichen zeigen beide Kurven für *Cylindrocystis* und *Spirogyra* durchaus denselben Verlauf. Die Turgorzunahme bei Kulturen in Zuckerlösungen folgt dem Weberschen Gesetz.

Ein ganz anderes Verhalten sollen die Meeresalgen nach Drevs aufweisen. Drevs untersuchte verschiedene Vertreter der Meeresflora und auch *Spirogyra*. Nach seinen Angaben beruht die Steigerung des Turgordrucks in Salzlösungen auf einem einfachen Diffusionsvorgang. Je höher die Aussenkonzentration gewählt wird, um so mehr steigt der Turgordruck und zwar erfolgt diese Regulation des Turgordrucks parallel der Steigerung des Aussenmediums. In seinen Kulturen hat Drevs die Steigerung des Salzgehaltes auf verschiedene Weise durchgeführt.

1. Uebertragung in Medien, die sich um 0,5 % Salz abstuften.
2. Steigerung des Salzgehaltes durch freie Verdunstung.
3. Steigerung durch allmähliches Auflösen von Salz in Substanz.

Leider hat Drevs nicht die Dauer der Einwirkung des gesteigerten Meerwassers (in Tagen) auf die Algenkulturen angegeben: Er nahm an, (3, pag. 102) dass «die Regulation dann als geschehen zu erachten ist, wenn der Ueberdruck der Zelle gegenüber dem neuen Substrat gleich ist dem Ueberdruck der Zelle zum alten.» Ein wichtiges Ergebnis des eben Gesagten ist die