© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

(3.) Vladimír Úlehla: Über CO_2- und pH-Regulation des Wassers durch einige Süßwasseralgen.

(Mit 1 Abbildung im Text.)

Seit einiger Zeit studiere ich den Einfluß der H·-Ionen auf die Zellmembranen der Algen[1]). Zu dieser Fragestellung wurde ich durch die Vermutung geleitet, daß der Zellmembran bei sämtlichen Lebensprozessen der Zelle eine weit größere Bedeutung zukommt, als man dem angeblich toten Gebilde zuzuschreiben geneigt war, eine Bedeutung, die durch leichte Beeinflußbarkeit derselben durch äußere Faktoren nur noch erhöht wird. So fand ich, daß die Apikalzellen des Pilzes *Basidiobolus ranarum* und der Alge *Cladophora* platzen und ihren Inhalt ergießen, wenn sie in ein saueres Medium übergeführt werden. Diese augenblicklich (unter Umständen in Bruchteilen von Sekunden) erfolgenden Explosionen werden durch einen plötzlich gesteigerten Druck der Zellmembran auf den Protoplasten ausgelöst, dieser Druck aber wird durch eine Zustandsänderung der Zellmembran (Dispersität, Hydratation u. dgl.) infolge H·-Ionen-Adsorption verursacht. Daß es sich bei diesen seltsamen mikroskopischen Kraftleistungen tatsächlich um eine adsorptive Beeinflussung der Zellmembrankolloide durch H·-Ionen und nicht etwa um osmotische Erscheinungen handelt, beweist einerseits der Umstand, daß die Zellen auch in hypertonischen Lösungen platzen, andererseits die Raschheit, ja Augenblicklichkeit der Reaktion nebst deren [H·]-Grenzen. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß die Schwellenwerte der Explosionen, besonders

1) ÚLEHLA, V. und MORÁVEK, V.: Über die Wirkung von Säuren und Salzen auf *Basidiobolus ranarum* Eid. Diese Berichte 1922, 40.

Dieselben: On a new method of stating the physiological identity. Anzeiger des I. Kongresses der tschechoslovakischen Botaniker in Prag. Prag 1922.

Dieselben: On a photo-growth reaction without phototropical curvation (with english summary). Preslia 1922, 2. Prag. — Tschechisch mit englischem Résumé.

ÚLEHLA, V.: Über die Wirkung der Wasserstoffionen auf einige niedere Algen. Studia Mendeliana, Brünn 1923. — Tschechisch mit deutschem Résumé.

Eine eingehende Beschreibung der mitgeteilten Resultate nebst Methodik und Literaturangaben soll in absehbarer Zeit in Beiheften z. Bot. Zentralblatt veröffentlicht werden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

für *Basidiobolus*, äußerst niedrig liegen, und zwar bei $1-2\times10^{-5}$ n. Säure! Für *Cladophora* sind sie etwas höher, sie liegen da zwischen $1-2\times10^{-4}$ n. HCl. Aber innere, ebenfalls momentan einsetzende Schädigungen des Protoplasten (Vakuolisierung bei *Basidiobolus*, scheinbares Abheben des Protoplasten von der Zellmembran nach Art der Pseudoplasmolyse bei *Cladophora* u. dgl.) konnten noch in Lösungen von pH = 6,0—6,5, also in kaum merklich angesäuertem Medium, festgestellt werden. Bisweilen konnte man bei besonders empfindlichem Material das Platzen noch im Leitungswasser wahrnehmen, das durch oftmaliges Durchblasen der Lungenluft mit CO_2 angesäuert wurde!

Eine augenblickliche Änderung der Zellmembrankolloide kann auch, wie ich ebenfalls bei *Basidiobolus* gefunden und gemeinschaftlich mit Dr. MORÁVEK näher verfolgt habe, durch das Licht hervorgerufen werden, und es resultiert so bei gewissen Lichtintensitäten eine schöne Lichtwachstumsreaktion im BLAAUWschen Sinne, ohne daß der Pilz phototrop wäre! Ich fühlte mich daher anläßlich dieser Studien berechtigt, die Hypothese auszusprechen, daß die Lichtwachstumsreaktion eine rein physikalisch-chemische Reaktion der Zellmembran vorstellt, im Gegensatz zu der phototropen Reaktion, die von dem Protoplasten eingeleitet wird.

Im Hinblick auf das soeben Gesagte und auf die bedeutenden Funde HANSTEEN-CRANNERs über Membranstrukturen erschien mir das vorhin erwähnte Verhalten von *Cladophora* in sauerem Medium besonders bemerkenswert. Erstens fragte ich mich, ob und wie es die Alge vermeidet, daß bei eigenem Stoffaustausch, in erster Linie bei dem CO_2-Wechsel während der Assimilation und der Atmung, solche schädliche Zustandsänderungen der Zellmembran nicht vorkommen. Zweitens wird ja durch jede solche Zustandsänderung, sei sie von außen oder von innen eingeleitet, notwendig auch die Permeabilität der Zellmembran verändert und dadurch der gesamte Stoffaustausch der Zelle ununterbrochen beeinflußt. Und drittens entsteht die Frage, wie die täglichen Schwankungen im Kohlensäuregehalt der Gewässer durch derart empfindliche Organismen überhaupt vertragen werden können. Dadurch wird aber das Problem in das ökologische Gebiet hinübergeleitet bzw. erscheint es notwendig, die Eigenschaften der Naturgewässer in Hinsicht auf deren pH zu studieren und mit den Siedelungsverhältnissen der betreffenden Organismen zu vergleichen.

Anläßlich der Vorstudien zur Lösung dieser Fragen stellte es sich bald heraus, daß die freie Kohlensäure bzw. der Schwefelwasserstoff durch ihre $H^{\cdot}$-Ionen tatsächlich einen limitierenden

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Faktor darstellen, der über das Sein oder Nichtsein bestimmter Algenassoziationen weitgehend entscheidet. Man kann in Hinsicht auf die von ihnen verlangte optimale [H·]-Konzentration die grünen Algen in Gruppen einteilen, die dann auch sonst in vielen Organisationsmerkmalen und biologischen Eigenschaften übereinstimmen und ökologische Assoziationen bilden.

Für eine dieser Gruppen, die man „acidophob" nennen könnte, und zu der außer *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Chaetomorpha* und ähnlichen Siphonocladialen u. a. auch *Oedogonium* gehört, liegt die optimale [H·]-Konzentration um pH = 7,5—7,7 herum. Sie verlangen also ungefähr jenes pH, welches auch im Blute des Menschen vermöge der puffernden Zusammensetzung desselben (durch Karbonate, Phosphate, Eiweißstoffe) hergestellt und konstant eingehalten wird.

Dagegen verlangen viele Desmidiaceaen und sonstige Bewohner der saueren Moore ein pH $<$ 6,8, sie sind also „alkaliphob". Darin gleichen diese Algen den Sphagnen, mit denen sie oft gemeinschaftlich leben. Es ist ja nach MEVIUS' (1921) Befunden klar, daß auch die Sphagnen nicht etwa das Ca··-Ion fliehen, sondern daß sie lediglich durch die anläßlich der Hydrolyse des Kalzium-Karbonats und -Bikarbonats entstehenden OH'-Ionen geschädigt werden.

Einen Übergang zwischen beiden Gruppen bildet *Spirogyra*, deren H·-Optimum um pH = 7,02—7,2 herum liegt.

Auf eine Herabsetzung des pH hin stellt *Cladophora* und *Basidiobolus* das vegetative Wachstum ein, und es werden Fortpflanzungsorgane gebildet. Dasselbe wird bei *Spirogyra* durch pH-Steigerung hervorgerufen. Die Zoosporengrenze bei *Cladophora* liegt etwa zwischen 7,2—7,4, die Zygotengrenze von *Spirogyra* bei 7,7—7,9.

Eine Übersicht des Verhaltens beider Algen den freien H·-Ionen gegenüber zeigt die Tabelle I. Man ersieht aus ihr unter anderem, daß die beiden Algen ohne besondere Schutzeinrichtungen nicht gemeinschaftlich vorkommen können. Werden sie doch nebeneinander angetroffen, so ist zu erwarten, daß der Entwicklungsgang der einen Alge gegenwärtig oder in der nächsten Zukunft gefährdet, während der der anderen gefördert sein muß. Eine Ausnahme würden eben nur Schutzeinrichtungen bilden, die lokal einen Niveau-Unterschied in pH unterhalten würden. Das ist nun in diversen Naturgewässern tatsächlich der Fall. Somit wenden wir uns einer näheren Betrachtung derselben zu.

Da ist zunächst das Meerwasser. Seit PALITZSCHs 1911 erfolgten gründlichen Untersuchungen, die in jüngster Zeit z. B.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle I.

Verhalten der *Cladophora*- und *Spirogyra*-Zellen gegenüber freien H·-Ionen. Nach Laboratoriumsversuchen und Beobachtungen im Freien zusammengestellt M. = Zellmembran.

PH	Verhalten der Alge	
	Cladophora	*Spirogyra*
4,0	Tod sofort. Grenze der Zellexplosionen. M. quellen.	Tod sofort. Kern bleibt in der Zellmitte. M. schrumpfen.
5,0	Tod sofort unter „Pseudoplasmolyse". M. hören auf zu quellen.	„
6,0	Tod nach ca. 5'. Irreversible Schädigungen.	?
6,7	Atmungsgrenze. Schädigungen reversibel bis ca. 2—5' Einwirkung.	?
7,0	Assimilationsgrenze, Zoosporengrenze. Schädigung.	Wachstum und Teilung.
7,2	Einstellen des Wachstums. Zoosporenbildung.	Wachstumsoptimum.
7,5	Wächst und teilt sich.	Abflauen des Wachstums und der Zellteilungen.
7,7 7,9	Wachstumsoptimum.	Aufhören d. Wachstums. Zygotenbildung.
8,1	Wächst wenig, derbe Membranen	Chromatophoren verkleben. Wachstumsstillstand.
8,5	Reversible Schädigungen. M. schrumpfen.	Tod, M. quellen, Kern fließt an die Zellwand.

durch MICHAELIS (1922) geprüft worden sind, wissen wir, daß das Meer vermöge seiner Karbonate dem Blutserum darin ähnelt, daß es, wenn auch bei weitem nicht so vollkommen, das pH konstant hält, und zwar bei pH = 7,9—8,1. Daß diese H·-Ionenkonzentration im Meere derjenigen des Blutes ebenfalls sehr verwandt ist, ist eine Erscheinung, die zu vielen Spekulationen Anlaß gab, von denen diejenige HENDERSONs (1915) von der besonderen „Eignung" der Kohlensäure sicher sehr anziehend ist.

Um aber nur den Tatsachen zu folgen, hebe ich hervor, daß ich anläßlich meines Besuches auf der ökologischen Station des Herrn Dr. LUNDEGÅRDH auf der Insel Väderö (Schweden) im Sommer 1922 ebenfalls zweimal täglich über einen Monat lang pH-Messungen mit der üblichen MICHAELISschen Methode ausführte, und daß ich das pH ebenfalls fast konstant fand. Meine Werte sind niedriger, sie bewegen sich um 7,4 herum, was sich daraus erklärt, daß ich das fäulnisreiche, von stetigem Unwetter

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

aufgewirbelte und an freier Kohlensäure reiche Wasser, und zwar mit Absicht, zur Messung heranzog, um eben die unteren pH-Siedlungsgrenzen für *Cladophora* festzustellen. Gleichzeitige CO_2-Bestimmungen ergaben starke tägliche Schwankungen dieses Gases. Immerhin war aber die Pufferung des Wassers genügend stark, um das pH konstant zu halten, wie aus Tabelle II zu ersehen ist.

Tabelle II.

$[CO_2]$ und $[H^{\cdot}]$ des Meerwassers auf der Insel Väderö (Schweden) nach täglichen Registrierungen. Es wurde die auskochbare Kohlensäure bestimmt, die mit $Ba(OH)_2$ absorbiert und mit HCl titriert wurde. P_H wurde kolorimetrisch nach MICHAELIS (1922) bestimmt.

1.—10. IX. 1922. In dieser Periode fing die am Standort beobachtete *Cladophora* an zu schwärmen und wurde von *Enteromorpha* verdrängt.

Nr.		Datum IX.		Temperatur des Wassers	Temperatur der Luft	Luftdruck	Wind	Titr. n/25 HCl	mg CO_2/l	P[1]) CO_2	pH	Anmerkung
15	a)	1.	9h	17,2	20,3	759		13,51	30,3	2,86	7,40	Nebel, Sonne
	b)		20h	16,2	16,5	760		16,45	19,7	3,05	7,45	nebelig
16	a)	2.	9h	15,7	16,0	760		13,70	29,6	2,87	7,40	regnerisch
	b)		20h	15,6	17,0	762	O	16,39	19,9	3,05	7,45	„
17	a)	3.	9h	15,2	18,0	764	O	19,22	9,7	3,35	7,40	leicht bewölkt
	b)		20h	15,3	17,4	766	NO	19,40	8,4	3,42	7,45	heiter
18	a)	4.	9h	15,3	20,0	769	NO	16,65	18,3	3,08	7,35	wolkenlos
	b)		20h	16,3	14,5	773	O	19,12	9,4	3,38	7,45	Sternenhimmel
19	a)	5.	9h	14,5	12,5	774	NOO	15,31	23,2	2,94	7,30	heiter, leicht bew.
												nicht gemessen
20	a)	6.	9h	14,5	15,0	775	O	16,22	19,9	3,05	7,35	klar
	b)		20h	14,9	14,5	775		19,62	7,6	3,47	7,40	leicht bewölkt
21	a)	7.	9h	14,5	17,9	774		13,61	29,3	2,88	7,25	wolkenlos
	b)		19h	15,0	14,5	773	NO	12,22	34,3	2,81	7,45	leicht bewölkt
22	a)	8.	9h	15,3	18,6	770	W	13,45	29,9	2,87	7,40	Nebel, Sonne
	b)		19h	15,7	14,0	766	W	13,91	28,2	2,89	7,45	Sonne, Regenschauer
23	a)	9.	9h	14,3	13,2	763	NO	16.96	17,8	3,10	7,30	leicht bewölkt
	b)		19h	14,4	12,5	762	N	15,40	23,4	2,97	7,40	bewölkt
24	a)	10.	9h	14,7	18,0	768	O	12,85	32,6	2,83	7,35	Sonne, Wolken
	b)		19h	15,0	13,5	770	SO	17,48	15,9	3,15		klar

1) $= \log \frac{1}{[CO_2]}$ · Konzentration der Kohlensäure $= [CO_2]$ wurde aus mgCO_2/l berechnet.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Als ich aber das Karbonatpuffergleichgewicht dadurch störte, daß ich das Meerwasser mit CO_2 sättigte, sah ich mit sinkendem pH sowohl die Assimilations- als auch die Atmungsintensität der Alge sehr rasch sinken, und diese beiden Tätigkeiten wurden bei pH 6,8 – 6,6 fast vollständig sistiert. Als erstes Anzeichen des pH-Anstieges stellte sich Schwärmsporenbildung ein.

Diese Erscheinungen sind aus dem über die Membran früher Mitgeteilten leicht erklärlich. Sie zeigen, daß mit Rücksicht auf die optimale Konstanz des pH im Meere bei der Meeres-*Cladophora* keinerlei Anpassungen bzw. Schutzeinrichtungen vorliegen Die Alge ist mit ihrem Gesamtoptimum dem Außenmilieu konform. Höchstens werden Zoosporen ausgelöst, die der Alge in tiefere oder höhere Litoralschichten, entsprechend dem vorherrschenden Wetter, vorzudringen helfen. Es sei noch nebenbei erwähnt, daß natürlich für unsere Alge keine so einfache Proportionalität zwischen der Assimilationsgröße und Kohlensäuremenge gelten kann, wie sie sich im großen und ganzen aus den Forschungen BLACKMANs, LUNDEGÅRDHs, HARDERs und anderer Forscher für die höheren Gewächse ergibt.

Als ich nun dieselben Verhältnisse in süßen Gewässern untersuchte, fand ich, daß sich unsere gewöhnlichen fließenden Gewässer, also Leitungswasser, Bäche, Dränagewasser u. dgl. ebenfalls durch eine erstaunliche pH-Konstanz auszeichnen, und daß die pH-Werte sich ebenfalls meistens um 7,4—7,6 herum gruppieren. In stehenden Gewässern, in Tümpeln, Teichbuchten usw. kann man allerdings schon starke Schwankungen antreffen. Lemnatümpel schwanken um 7,0—7,2, Flachtümpel mit starker submerser Vegetation erreichen und übersteigen am Tage die Werte von 8,1. Das wesentliche aber ist, daß das pH eines und desselben Tümpels heftigen Tag- und Nachtschwankungen ausgesetzt ist, die bei hellen Tagen infolge gesteigerter Assimilation am stärksten sind. Wie kann da nun eine Alge des *Cladophora*-Typus existieren? Tatsächlich fand ich, daß gemäß dem früher Gesagten sowohl *Cladophora* als auch *Oedogonium* nur diejenigen Süßwässer bewohnen, in denen trotz aller Schwankungen die untere pH-Grenze von 7,4 nie erheblich überschritten wird, die also doch halbwegs gepuffert sind. Diese Pufferung wird in den süßen Gewässern ebenfalls von Karbonaten, im allgemeinen von Kalziumkarbonat, oft auch von Eisenkarbonat, besorgt. Man findet daher in stehenden Gewässern unsere Algen meistens an Kalksteinen, Ziegelsteinen u. dgl. angewachsen, und in Ermangelung derselben an Schneckengehäusen. Diese Steine wirken wie lokale pH-Regulatoren, sie sind der Zufluchtsort der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Algen, der nur dann mit Erfolg verlassen und für den Zustand der freischwimmenden Watte ausgetauscht werden kann, wenn keine Gefahr einer pH-Herabsetzung vorhanden ist.

In der Lebensweise dieser Algen findet man also bereits eine Anpassung an pH, nicht aber in deren Zellorganisation: auch sie können nur innerhalb sehr schmaler pH-Grenzen existieren und haben selber keinen Einfluß auf diese Grenzen. Wohl können sie sich durch die Wahl ihrer Wohnstätte in fließenden Gewässern oder an Kalksteinen wirksam schützen, einmal aber dieses Schutzes mechanisch beraubt, sind auch sie bei sinkendem pH dem sicheren Tode anheimgefallen. So etwa würde die Antwort auf die eingangs gestellten Fragen lauten.

Ich war daher nicht wenig überrascht, als ich im Frühjahr 1923 in Brünn ein *Oedogonium* fand, das eine kräftige Säuerung des Leitungswassers vertrug und in diesem mit CO_2 gesättigten Wasser lebhaft assimilierte, während die in geringer Anzahl beigemengten *Cladophora*-Fäden darin sofort platzten oder sonstwie zugrunde gingen. Wie der Tabelle III zu entnehmen ist, war nach einer halben Stunde Belichtungszeit bereits eine deutliche Abnahme der titrierbaren Kohlensäure und dementsprechend ein pH-Anstieg feststellbar. Eine dauernd belichtete Alge (10 g Frischgewicht-Alge in 1 l Wasser) hatte binnen 24 Stunden das pH des Wassers von 6,5 auf 7,35 heben, das heißt das Wasser in den ursprünglichen Zustand zurückbringen können. Da die Alge

Tabelle III.

Versuch Nr. F I. — 20. 5. 1923.

Oedogonium mit Psichohormien assoziiert.

Es wurde das Leitungswasser (L) mit Kohlensäure gesättigt. Aus gewöhnlichem Leitungswasser (L) und dem mit CO_2 gesättigten saueren Wasser (S) wurden dann Gemische hergestellt und in 1-l-Gefäße gefüllt. Je 13 g Frischgewicht-Alge wurde in jedes dieser Gemische gebracht und dann 30 Minuten lang am Lichte belassen. Vor und nach der Behandlung mit der Alge wurde mit BARYT-HCl auf CO_2 titriert und pH kolorimetrisch bestimmt.

Nr.	Wassergemische in %		Titr. n/10 nHCl		$mgCO_2/l$		P_{CO_2}		P_H	
			ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
	L	S	Alge		Alge		Alge		Alge	
1	100	0	5,61	5,98	90,2	79,2	2,39	2,44	7,30	7,35
2	75	25	5,00	5,17	106,5	101,2	2,32	2,33	7,20	7,25
3	50	50	4,20	4,43	127,6	121,0	2,24	2,26	7,07	7,15
4	25	75	3,10	3,55	158,8	144,9	2,14	2,18	6,90	7,05

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

assimilierte und CO_2 absorbierte, war dieses Verhalten ganz normal. Das Merkwürdige lag aber darin, daß auch eine verdunkelte Alge das pH des Wassers erhöhte, also dasselbe alkalischer machte! Und doch zeigten gleichzeitige Titrierungen, daß in diesem Falle, wie es auch infolge der Atmung zu erwarten war, die Kohlensäuremenge im Wasser stieg! Diese Verhältnisse demonstriert uns Tabelle IV und die graphische Darstellung der darin enthaltenen Zahlenwerte. Um die Werte der Kohlensäure denjenigen der [H·] konform zu machen, drücke ich die Normalität der Kohlensäure als $\log \frac{1}{[CO_2]}$ aus und bezeichne diesen Ausdruck als pCO_2.

Die Alge hatte ein Pufferungsvermögen, dank welchem sie den Kohlensäuregehalt erhöhen und doch das Wasser alkalischer machen konnte! Es war klar, daß da Karbonate im Spiele sind.

Und tatsächlich sah ich, daß sämtliche *Oedogonium*fäden mit einer Fülle jener Inkrustationen bedeckt waren, die, einst von KÜTZING als Gattungsmerkmal aufgefaßt und *Psichohormium* benannt, von den neueren Algologen dann für Ausscheidungen diverser Algen gehalten worden sind.

Tabelle IV.

Versuche F V—F VIII. — Brünn, Juni 1923.

Oedogonium mit Psichohormien reguliert im Dunkeln das pH des Wassers.

Je 10 g Algen wurden in je 200 ccm Wasser von divergentem CO_2-Gehalt gebracht und dort 30 Minuten im Dunkeln bei 18° C (Thermostat) belassen.

Vor und nach der Behandlung mit Algen wurde die CO_2 und H·-Konzentration der Versuchswässer bestimmt. CO_2 wurde nach TRILLICH bestimmt (ein bestimmtes Quantum Wasser mit $Ba(OH_2)$-Lösung von bestimmter Normalität behandelt, abstehen gelassen und dann mit n/10HCl über Phenolphtalein titriert), pH nach MICHAELIS mit der Nitrophenolskala unter elektrometrischer Kontrolle.

Die Versuchsgewässer wurden aus zwei Vorratslösungen gemischt, und zwar aus L = gewöhnlichem abgestandenen Leitungswasser und aus S = Leitungswasser, das mit Kohlensäure gesättigt und unter Verschluß aufbewahrt wurde. Es wurden immer gleichzeitig 11 Gemische mit 10 % Abstufung bereitet und mit Algen beschickt.

Die Tabelle IV enthält Mittelwerte aus je zwei solcher Versuchsserien.

Die Mittelwerte der Abteilung IV und V dieser Tabelle in graphischer Darstellung zeigt Textfigur 1.

Man sieht, daß die Alge im Dunkeln den Kohlensäuregehalt der Wassergemische vermehrt, gleichzeitig aber die H·-Ionen-Konzentration derselben bedeutend herabsetzt.

a = Wassergemische mit Algen (Mittelwerte fett gedruckt, gestrichelte Kurve);

w = Wassergemische ohne Algen (Mittelwerte *kursiv* gedruckt, vollgezogene Kurve).

Tabelle IV.

	Laufende Versuchszahl		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I. Wassergemische in % des	Leitungswassers L		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	mit CO_2 gesättigt. Wassers S		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
II. Titr. der Gesamt-Kohlensäure in ccm n/10HCl (nach Trillich gemessen)	w = ohne Alge	Versuch F V	74,05	70,56	69,92	68,68	65,60	62,69	58,95	55,84	52,34	49,79	39,05
		Versuch F VII	50,85	46,89	42,13	37,51	33,48	28,35	24,77	21,65	16,76	12,25	5,22
	a = mit Alge	Versuch F VI	50,28	45,71	41,81	36,66	32,05	27,74	24,40	20,02	14,95	12,66	7,40
		Versuch F VIII	52,27	46,53	42,13	39,05	32,13	28,65	27,33	20,53	17,17	12,72	?
III. $mgCO_2/l$ (aus II berechnet)	w	Versuch V	149	235	290	386	437	537	664	770	889	977	1343
		Versuch VII	94	179	353	491	610	772	869	962	1107	1241	1450
		Mittel	*122*	*207*	*322*	*439*	*524*	*655*	*767*	*866*	*998*	*1103*	*1397*
	a	Versuch VI	111	247	363	516	653	781	880	1010	1161	1229	1384
		Versuch VIII	92	227	353	445	638	754	793	951	1095	1227	?
		Mittel	**102**	**237**	**358**	**481**	**646**	**768**	**837**	**981**	**1128**	**1228**	**1384**
IV. $P_{CO_2} = \log \frac{1}{[CO_2]}$ (aus III berechnet, Konzentration in $\frac{n}{x}$)	w	Versuch V	2,16	1,98	1,90	1,78	1,70	1,62	1,52	1,46	1,40	1,36	1,22
		Versuch VII	2,37	2,09	1,80	1,66	1,55	1,46	1,40	1,36	1,30	1,25	1,18
		Mittel	*2,27*	*2,04*	*1,85*	*1,72*	*1,63*	*1,54*	*1,46*	*1,41*	*1,35*	*1,31*	*1,20*
	a	Versuch VI	2,30	1,97	1,80	1,64	1,53	1,45	1,40	1,34	1,28	1,26	1,20
		Versuch VIII	2,38	1,99	1,79	1,70	1,54	1,47	1,44	1,37	1,30	1,26	?
		Mittel	**2,34**	**1,98**	**1,80**	**1,67**	**1,53**	**1,46**	**1,42**	**1,35**	**1,29**	**1,26**	**1,20**
V. $P_H = \log \frac{1}{[H^{\cdot}]}$ (nach Michaelis gemessen)	w	Versuch V	7,3¼	7,0¼	6,55	6,30	6,1¾	6,0¾	6,0¼	5,90	5,8¼	5,7¾	5,4¼
		Versuch VII	7,4¼	6,90	6,4¾	6,30	6,2¼	6,10	6,00	5,9¾	5,8¾	5,8¼	5,70
		Mittel	*7,38*	*6,96*	*6,51*	*6,30*	*6,20*	*6,09*	*6,01*	*5,94*	*5,85*	*5,80*	*5,56*
	a	Versuch VI	7,25	6,75	6,4¾	6,3¼	6,30	6,25	6,2¼	6,1¼	6,05	6,0¾	6,0¼
		Versuch VIII	7,3¼	7,05	6,60	6,5¾	6,45	6,40	6,30	6,3¼	6,20	6,1¼	6,0¼
		Mittel	**7,34**	**6,90**	**6,56**	**6,45**	**6,38**	**6,32**	**6,26**	**6,23**	**6,18**	**6,10**	**6,03**

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

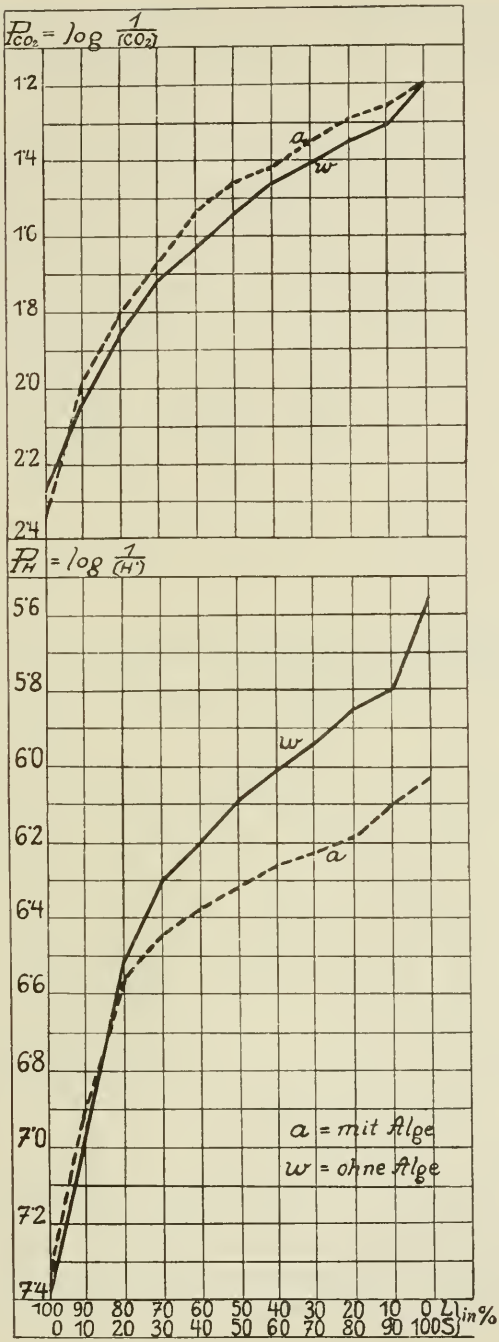

Abb. 1. P_H-Regulation im Wasser durch ein *Oedogonium*
Näheres siehe in der Erklärung zu der Tabelle IV.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Von diesen Psichohormien hat unlängst CHOLODNYJ in unseren Berichten gezeigt, daß sie gar nicht ein Produkt der Alge sind, sondern daß es sich da um Ausscheidungen von einer neuen Eisenbakterie, der *Sideromonas confervarum* Chol., handelt, die zunächst als eine schleimige Zoogloea die Algenzellen ringförmig überzieht und dann ihre Stoffwechselprodukte, vor allem das Eisenkarbonat, in den Schleim ausscheidet. Ich fand an meinem *Oedogonium* die morphologischen Befunde CHOLODNYJs vollauf bestätigt und kann daher auf seine Ausführungen verweisen. Nur war es außer Eisen- auch, und zwar stellenweise überwiegend, Kalziumkarbonat, das den Schleim in drusenförmigen Kristallen inkrustierte und in verdünnten Säuren unter starkem Aufschäumen aufgelöst wurde.

CHOLODNYJ hat richtig vermutet, daß es sich bei den Psichohormien nicht um einen bloßen Epiphytismus, sondern um eine Symbiose handelt. Den Sinn derselben durchschaute er nicht, jedoch ist dieser aus den mitgeteilten Versuchen klar zu ersehen: Die Psichohormien sind jenes Puffersystem, das der Alge im Wasser das gewünschte pH um 7,4 herum unterhält. Sobald der Kohlensäuregehalt des Wassers steigt, wird eine entsprechende Menge der Karbonate als Bikarbonat aufgelöst und drückt durch die hydrolytisch freiwerdenden $OH^{\cdot}$-Ionen die $[H^{\cdot}]$ wieder nieder. Darum wird dann bei der Titration auf die gesamte Kohlensäure deren Menge (und zwar um das gelöste Karbonat) höher gefunden.

Dieses Puffersystem wird solange wirksam sein, bis das gesamte Karbonat aus dem Schleime herausgelöst ist. Diesen Grenzzustand erreichte ich erst dann, wenn ich die Alge 24 Stunden lang in fließendem Wasser beließ, das ich zuvor mit Kohlensäure bis $pH = 5{,}4$ sättigte. Daraufhin hörte im Lichte Gasblasenausscheidung auf, die Alge sank zu Boden. Sie erholte sich im normalen Wasser nicht mehr. Die Zellen waren gestorben, die Karbonatinkrustationen verschwunden. Eine Kontrollalge, die im stehenden Wasser von demselben pH dieselbe Zeit unter denselben Bedingungen verbrachte, assimilierte lebhaft und in 2 Tagen hob sie das pH ihres Wassers auf 7,25!

Wir sehen also, daß dieses Bakterienpuffersystem recht wirksam ist und demjenigen des Blutes und des Meerwassers nicht nachsteht. Für die Alge stellt es zweifelsohne eine Art Symbiose vor, die ich als Elektrosymbiose bezeichnen möchte, und die der Alge eine bedeutende Unabhängigkeit dem Medium gegenüber verschafft.

Ich vermute, daß dieser Fall nicht vereinzelt dastehen wird, und daß vielleicht auch in anderen Fällen eines Zusammenlebens

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

von niederen Pilzen und höheren Pflanzen, die Humusbewohner nicht ausgenommen, das Wesentliche nicht in letzter Linie auf einer derartigen P_H-Regulation beruht.

In allen Fällen, denke ich, wird aber eine derartige Einrichtung zunächst als Schutz für die empfindliche Zellmembran dienen, und ich möchte nur darauf hinweisen, daß man schon in älteren Arbeiten, z. B. in denen von KLEMM, ZACHARIAS, LOPRIORE und anderen Forschern oft genug eine derartige Empfindlichkeit der Wurzelhaare gegenüber [H·]-Schwankungen gefunden hat.

Es ist also nur die Sache der weiteren Forschung, sich auch hier nach derartigen lebenden Puffersystemen umzuschauen.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institut
der Masaryk-Universität, Brünn.

(4.) F. Oehlkers: Die Sporenbildung einiger Saccharomyceten.

(Auszug aus dem in Dresden im August 1923 in der Generalversammlung gehaltenen Vortrag.)

Seit die Arbeiten von SEYNES und REES die Endosporenbildung bei den Saccharomyceten als deren charakteristische Eigenschaft nachgewiesen haben, sind in der Folgezeit in einer Fülle von Arbeiten die physiologischen Bedingungen der Sporulation behandelt worden, so daß es gelungen ist, eine Reihe von Einzelfaktoren sicher zu isolieren. Diesem Bedingungskomplex soll zunächst ein neues Moment hinzugefügt werden: Die Sporenbildung der von mir verwendeten Hefen, *Saccharomyces Odessa* und *Saccharomyces* Johannisberg, erweist sich als abhängig von der Wasserstoffionen-Konzentration des Substrates. Das Optimum der Sporenbildung liegt stets in unmittelbarer Nähe des Neutralpunktes, meist ein wenig nach der alkalischen Seite verschoben, etwa bei p_H 7,2—7,4. Charakteristisch für die Hefen ist, daß sie eine sehr starke Verschiebung der Wasserstoffzahl zu ertragen vermögen. Schon bei 4,6 p_H kann eine Sporulation stattfinden und noch bei 8,8 p_H, obwohl genaue und deutliche Reaktionen auf ganz geringe Änderungen von 0,2 p_H durch Änderungen der Sporenprozente sichtbar werden.

Die Kenntnis dieser Reaktionen auf die Wasserstoffionen-Konzentration ist insofern von Bedeutung, als dadurch einige

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1923

Band/Volume: 41

Autor(en)/Author(s): Ulehla Vladimir

Artikel/Article: Über CO2- und pH-Regulation des Wassers durch einige Süßwasseralgen. 1020-1031