

Zur Chemie der Halophyten

Von
Julius Zellner

(Vorgelegt in der Sitzung am 11. November 1926)

Unter Salzpflanzen (Halophyten) versteht man Gewächse, die einen größeren Gehalt an löslichen Alkalisalzen im Boden ertragen; in der Regel handelt es sich dabei ausschließlich oder überwiegend um Kochsalz, daher findet man Halophyten am Meeresstrand, bei Solquellen, Salinen und an den Ufern von Salzseen. Auch Österreich besitzt gegenwärtig einen Landstrich, der stellenweise eine Halophytenflora beherbergt: es ist dies die von den Wiener Botanikern seit Neilreich's Zeiten wegen ihrer interessanten Flora oft besuchte Umgebung des Neusiedlersees, insbesondere die etwa von der Ortschaft Weiden am Ostufer des Sees nach S bis gegen den Hansagsumpf sich erstreckende, von zahlreichen Salztümpeln durchsetzte Gegend einschließlich des Seeufers selbst.

Es schien nicht uninteressant zu sein einige in diesem Gebiete vorkommende Halophyten hinsichtlich ihrer Mineralstoffe zu untersuchen, und zwar besonders deshalb, weil, wie längst bekannt, die dortigen Bodensalze hauptsächlich aus Sulfaten (Na_2SO_4 , MgSO_4 , CaSO_4) bestehen, das Chlornatrium seiner Menge nach sehr zurücktritt und daher etwas andere Bodenbedingungen wie bei den bisher untersuchten Seestrandgewächsen vorliegen.

Der Salzgehalt der betreffenden Böden ist nicht sehr groß, auch dann nicht, wenn diese größtenteils von Vegetation entblößt und mehr oder weniger mit Salzausblühungen bedeckt erscheinen, wie aus den folgenden Analysen (I und II) hervorgeht.

Der Boden wurde samt den Effloreszenzen bis zu einer Tiefe von 5 bis 10 cm, soweit die Wurzeln der Salzpflanzen reichten, ausgehoben, die einer Lokalität angehörigen Proben gut gemischt, getrocknet und die gröberen Anteile durch ein Sieb von 1 mm Maschenweite abgetrennt. Die Analyse erfolgte nach den gebräuchlichen Methoden; von der Angabe aller Analysendaten wird aus Gründen der Raumersparnis abgesehen.

Wie aus diesen Analysen zu ersehen, handelt es sich um sandige Mergel mit einem nicht unbedeutenden Phosphatgehalt (wahrscheinlich vom Weidegang und Exkrementen der Seevögel herrührend) und mit einem Prozentsatz an wasserlöslichen Salzen von 2.5 bis 3%.

Ein Teil der auf den salzhaltigen Böden wachsenden Pflanzen trägt den Habitus von Sukkulente, so z. B. *Salicornia herbacea* L., *Suaeda maritima* Dum., *Suaeda salsa* Pall. und *Camphorosma ovata* W. et K.

Zunächst wurde *Salicornia* untersucht, und zwar die ganze Pflanze samt der Wurzel (Zeit des Einsammelns: Ende September). Man bestimmte einerseits die in der Gesamtasche vorhandenen, andererseits die mit siedendem Wasser extrahierbaren Mineralstoffe. Die letzteren ermittelte man im Wasserauszug direkt durch die Ionenreaktionen, nur die Alkalien bestimmte man erst in dem

		I	II
		Boden bei Podersdorf nahe dem See (bei 105° getrocknet)	Boden bei Weiden nahe dem See (bei 105° getrocknet)
in Wasser unlöslich	In Salzsäure Unlösliches (Quarzsand, Ton usw.)	33·90	58·90
	Eisen- und Aluminiumoxyd	6·69	2·71
	Calciumcarbonat	31·46	22·24
	Calciumphosphat	3·31	5·29
	Magnesiumcarbonat	4·21	2·14
in Wasser schwer löslich	Calciumsulfat	8·24	1·54
in Wasser leicht löslich	Magnesiumsulfat	0·85	1·07
	Natriumsulfat	1·85	0·87
	Natriumchlorid	0·33	0·59
	Natriumcarbonat	0·05 ¹	0·10 ¹
—	Organische Substanz, chemisch gebundenes Wasser und Verlust	9·11	4·55
Summe		100·00	100·00

veraschen Wassereextrakt, da ihr direkter Nachweis durch die organischen Begleitstoffe behindert wurde. Die Pflanze war auf dem Boden I gewachsen. In den Analysen III und IV sind alle Werte in Prozenten der Pflanzentrockensubstanz (nicht der Asche) angegeben.

Von der Anführung aller einzelnen Analysendaten wurde der Kürze halber hier und im folgenden abgesehen; es wird genügen, zu bemerken, daß die heute gebräuchlichsten, analytischen Methoden

¹ Der Wasserauszug reagiert alkalisch und enthält Carbonate. Die Alkalität wurde als Na_2CO_3 in Rechnung gesetzt, da die Ionen des MgSO_4 und Na_2CO_3 in merklicher Menge nebeneinander in Lösung bestehen können und in den Effloreszenzen häufig festes Na_2CO_3 ausgeschieden wird.

angewandt wurden, die Trennung der Alkalien erfolgte meist mittels Platinchlorwasserstoffsäure, in zwei Fällen nach dem Perchloratverfahren.

	III	IV
	Gesamtasche	Wasserlösliche Mineralstoffe
K	2·04	2·14
Na	4·92	4·80
Mg	1·04	0·77
Ca	0·64	0·11
Fe	0·07	nicht wägbar
Al	0·06	» »
Cl	6·27	6·37
SO ₄	3·34	3·36
PO ₄	0·45	0·07
SiO ₃ und Sand	0·90	0·09
CO ₃ und Verlust	1·69	—
Zusammen	21·42	17·71

	IIIa	V
	<i>Salicornia</i>	<i>Suaeda salsa</i>
K	9·53	2·97
Na	22·97	26·69
Mg	4·85	2·66
Ca	2·99	3·26
Fe	0·33	0·67
Mn	—	Spur
Al	0·28	2·93
Cl	29·27	25·32
SO ₄	15·59	24·27
PO ₄	2·10	1·87
SiO ₃ und Sand	4·20 ¹	5·98 ¹
CO ₃ und Verlust	7·89	3·38
Summe	100·00	100·00

¹ Diese etwas hohen Werte rühren von feinen Sandpartikeln her, die sich mechanisch nicht völlig entfernen lassen.

Aus diesen Zahlen geht folgendes hervor: Der Aschengehalt ist hoch, über 80% der Mineralstoffe sind in wasserlöslicher Form vorhanden, die Alkalien, Chlor und Schwefelsäure liegen ganz, Magnesium größtenteils in wasserlöslicher, ionisierter Form vor, während Eisen, Aluminium, Calcium, Silicium und Phosphor ganz oder überwiegend in unlöslichen Verbindungen anwesend sind; bemerkenswert ist auch der geringe Kalkgehalt der Pflanze trotz des kalkreichen Bodens.

Ein ganz ähnliches Bild zeigt die Analyse der Asche von *Suaeda salsa*. Die Pflanze war ebenfalls auf dem Boden I gewachsen; das Material war Ende September gesammelt worden, zur Untersuchung kam die ganze Pflanze samt der Wurzel. In der umseitigen Tabelle (V) bedeuten die Zahlen Prozente der Asche; zum Vergleich sind die Werte von *Salicornia* (III), auf Aschenprozente umgerechnet, daneben gestellt worden (III a).

Ich lasse nun die Analysen zweier Halophyten folgen, die nicht sukkulenten, sondern den gewöhnlichen krautigen Habitus zeigen. Sie wurden Ende Mai gesammelt und waren auf dem Boden II gewachsen. Zur Untersuchung kamen bloß die Blätter. Die Zahlen in den Tabellen VI und VII bedeuten Aschenprozente.

	VI	VII
	<i>Scorzonera parviflora</i> Jacq.	<i>Plantago maritima</i> L.
K	11.69	7.96
Na	26.76	22.37
Mg	4.71	4.91
Ca	4.84	6.03
Fe	1.76	1.00
Al	1.59	1.12
Cl	22.95	14.90
SO ₄	13.43	33.52
PO ₄	5.48	3.25
SiO ₃ und Sand	1.38	2.04
CO ₃ und Verlust	5.41	2.90
Summe	100.00	100.00

Weiters seien die Aschenanalysen zweier Pflanzenarten angeführt, die man als Halbhalophyten bezeichnen könnte, da sie wohl etwas salzhaltigen Boden bevorzugen, aber nicht mehr auf so salzreichem Substrat fortkommen wie die früher erwähnten. Die

Analysen beziehen sich auf die vegetativen Teile (Blätter und Stengel ohne Wurzeln und Blüten). Die Zahlen in den Tabellen VIII und IX bedeuten Aschenprocente.

	VIII	IX
	<i>Aster Tripolium</i> L.	<i>Erythraea linariaefolia</i> Pers.
K	14·94	24·00
Na	17·21	5·58
Mg	5·55	7·17
Ca	7·32	5·62
Fe	0·76	1·89
Al	1·87	1·90
Cl	12·65	6·75
SO ₄	14·67	13·73
PO ₄	3·50	1·95
SiO ₂ und Sand	5·88	2·42
CO ₂ und Verlust	15·65	28·99
Summe	100·00	100·00

Schließlich seien noch in der folgenden Tabelle X die Wasser- und Gesamtschengehalte der besprochenen Pflanzen mitgeteilt, da diese für die Beurteilung der Mineralstoffverhältnisse von Wichtigkeit sind.

Pflanzenart	X		
	Wassergehalt der frischen Pflanze	Mineralstoffgehalt der frischen Pflanze	Mineralstoffgehalt der Trockensubstanz
<i>Salicornia herbacea</i>	76·58	5·02	21·42
<i>Suaeda salsa</i>	75·94	5·74	23·86
<i>Scorzonera parviflora</i>	86·89	2·23	16·98
<i>Plantago maritima</i>	80·46	2·85	14·58
<i>Aster Tripolium</i>	73·15	2·80	10·43
<i>Erythraea tinariaefolia</i>	61·87	1·65	4·32

Aus der Tab. X geht hervor, daß von den sechs untersuchten Arten *Salicornia* und *Suaeda* die höchsten Aschengehalte aufweisen; es sind dies zwei Pflanzen aus der Familie der Chenopodiaceen, deren Angehörige auch sonst durch die Fähigkeit, Mineralstoffe zu speichern bekannt sind: bei den folgenden Arten sinkt der Aschengehalt, um bei *Erythraea* sogar einen ungewöhnlich tiefen Wert zu erreichen. Ihrer Zusammensetzung nach zeigen die Aschen eine ziemliche Übereinstimmung: die Summe der Alkalimetalle schwankt nur wenig bei mehr oder minder stark überwiegendem Natrium; das Cl- und das Sulfation sind reichlich vorhanden, und zwar wird das Chlorion aus den Bodensalzen zumeist reichlicher aufgenommen, obwohl es dort seiner Menge nach zurücktritt (mit Ausnahme von *Plantago*); immerhin macht sich der Einfluß des sulfatreichen Bodens geltend; denn von *Aster Tripolium* besitzt man Aschenanalysen¹ von am Meeresstrande gewachsenen Individuen und bei diesen zeigt sich, daß das Sulfation nur 2 bis 3⁰/₀ der Asche ausmacht, während es hier über 14⁰/₀ beträgt; hingegen weist keine der obigen Aschen so hohe Chlorgehalte auf wie sie bei Pflanzen des Meeresufers beobachtet wurden (40 bis 50⁰/₀). Bemerkenswert wäre noch, daß nach einer älteren Angabe von Botom² *Salicornia herbacea* kleine Mengen von Brom und Spuren von Jod enthält; im vorliegenden Falle konnten diese Elemente nicht konstatiert werden, wenigstens nicht in Aschenmengen von einigen Grammen. Infolge des hohen Prozentsatzes an Alkaliclوريدen und -sulfaten treten die übrigen Mineralbestandteile sehr zurück, besonders auffallend ist dies beim Calcium mit Rücksicht darauf, daß das Substrat kalkreich ist und es sich um vegetative, gewöhnlich etwas kalkreichere Organe handelt.

Schließlich sei noch die Mineralstoffanalyse einer Pflanze mitgeteilt, die in der Literatur³ als sogenannte Sodapflanze angeführt wird; es ist dies die auf Sanddünen bei Podersdorf häufige *Chenopodiaceae Salsola Kali* L.

K	20·88	Al.....	1·54
Na	0·45	Cl.....	2·01
Mg.....	3·05	SO ₄	6·39
Ca	17·81	PO ₄	5·88
Fe	1·51	SiO ₃ und Sand	2·40
		CO ₃ und Verlust	38·08
		Summe....	100·00

Die hier gefundenen Zahlen zeigen durchaus keine Ähnlichkeit mit jenen der Halophyten: der Gehalt an Cl, SO₄ und Na ist nicht

¹ Czapek, Biochemie d. Pflanzen, II, 455 (1920).

² Jahresber. d. Pharm., 1875, 134.

³ Wehmer, Die Pflanzenstoffe, 1911, p. 180.

höher wie bei den gewöhnlichen grünen Kräutern; der Linné'sche Name besteht zu Recht, da die Pflanze reich an Kalium und somit nicht zu den Sodapflanzen zu zählen ist; die Asche ist sehr reich an Kohlensäure, woraus hervorgeht, daß in der Pflanze selbst reichliche Mengen organischer Säuren vorhanden sind. In der Tat konnten in den Extrakten recht erhebliche Mengen von Oxalsäure nachgewiesen werden, während dies bei *Salicornia* die in der Literatur als oxalsäurereich angegeben wird, nicht der Fall war.

Der große Gehalt an löslichen Mineralstoffen in den früher besprochenen Pflanzen ließ es wünschenswert erscheinen, den osmotischen Druck der Zellsäfte festzustellen. Da dessen direkte Bestimmung aus verschiedenen Gründen nicht durchführbar war, versuchte man ihn mittels der Gefrierpunktmethode wenigstens annähernd festzustellen.

Da die Herstellung eines Preßsaftes mangels einer Hochdruckpresse sich als unzulässig erwies, verfuhr man derart, daß man eine gewogene Menge des lufttrockenen Materials mit heißem Wasser erschöpfte, die Auszüge auf ein gemessenes Volumen brachte, in einem gemessenen Anteil die Menge der wasserlöslichen Stoffe bestimmte, den ebenfalls gemessenen Hauptanteil der Lösung im Vakuum eindampfte und auf jene Konzentration brachte, die sich (natürlich nur angenähert) aus der Wasserbestimmung in der frischen Pflanze ergab. Diese Konzentration entspricht nur annähernd der Konzentration des Zellsaftes, da das Quellwasser unberücksichtigt bleibt, so daß die wahren Zellsaftkonzentrationen wahrscheinlich höher liegen als die derart ermittelten.

Bedeutet W den Wassergehalt der frischen Pflanze in Prozenten, e die Menge der wasserlöslichen Stoffe in Prozenten der Trockensubstanz und sind a Gramme der letzteren für die Bestimmung extrahiert worden, so ist die Menge der wasserlöslichen Stoffe $\frac{ae}{100}$ gr und die dieser Quantität entsprechende Wassermenge in der frischen Pflanze $\frac{aW}{100-W}$ gr, wodurch annähernd die Konzentration des ursprünglichen Zellsaftes gegeben ist.

Von der so erhaltenen Lösung wurde nun eine Gefrierpunktsbestimmung ausgeführt; da die gelöste Substanz ein Gemisch ist und daher keinen scharfen Schmelzpunkt zeigte, ermittelte man in bekannter Weise die Erstarrungskurve und aus dieser die Gefriertemperatur (mittels eines in Zehntelgrade geteilten Thermometers).

Die Berechnung des osmotischen Druckes aus der Gefrierpunktserniedrigung¹ ergibt sich aus folgendem: in der Gleichung $pv = RT$ ist p in Atmosphären, v in Litern gemessen, die Konstante R beträgt 0.082; bedeutet b die in 100 cm^3 gelöste Substanzmenge und M das (mittlere) Molekulargewicht der gelösten Substanz, so ist die Menge Wasser, in der das Molekulargewicht gelöst ist, $\frac{100 M}{b}$ oder in Litern ausgedrückt $\frac{10 M}{b}$; dies gibt, in die Horstmann'sche Gleichung eingesetzt: $p \cdot \frac{10 M}{b} = RT$; und daraus $M = \frac{b RT}{10 p}$; andererseits ergibt sich, wenn d die Gefrierpunktserniedrigung und k die Konstante für das betreffende Lösungsmittel (für

¹ Vergl. Hasenöhrle u. Zellner, Monatshefte, 43, 22 (1922).

Wasser = 19) bedeutet, $M = \frac{kb}{100d}$; die Gleichsetzung der beiden Werte für M

ergibt: $\frac{bRT}{10p} = \frac{kb}{100d}$ und daraus: $p = \frac{10RTd}{k}$.

Versuche mit *Salicornia*: $a = 26.290\text{ g}$, $e = 32.34\%$, $W = 76.58\%$, daher die Konzentration des Saftes: 8.5025 g gelöste Substanz in 85.96 g Wasser oder $1:10.1$; diese Lösung zeigte $d = 3.0^\circ\text{ C.}$, daher $p = 35$ Atmosphären.

Versuche mit Aster: $a = 24.596\text{ g}$, $e = 35.60\%$, $W = 73.15\%$, daher die Konzentration des Saftes: 8.757 g gelöste Substanz in 67.00 g Wasser oder $1:7.65$; diese Lösung zeigte $d = 1.4^\circ\text{ C.}$, daher $p = 16.4$ Atmosphären.

Die geringere Gefrierpunktsdepression im zweiten Falle trotz höherer Gesamtkonzentration erklärt sich aus dem reichlicheren Vorhandensein löslicher Kolloide.

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß in den Halophyten sehr hohe osmotische Drucke herrschen können; gewöhnlich beträgt dieser Druck in den Zellen bloß einige Atmosphären.

Meinem Freunde, Regierungsrat Dr. K. Rechingcr, der die untersuchten Pflanzen botanisch bestimmte und mir beim Sammeln behilflich war, sage ich herzlichen Dank.

Einige der mitgeteilten Analysen wurden von Fräulein Bronislawa Eibel ausgeführt.