Ferner wurde für die Feststellung einer möglichen Polyphänie der gefundenen Allele der Skotommingehalt der Augen von Faltern beiderlei Geschlechts aus reinen Stämmen in Lösung mit dem Pulfrich-Photometer an Hand einer Eichkurve geprüft (Methode⁸). Messungen an jeweils 10 Köpfen ergaben im Mittel für den Stamm mit farbstofftragenden Gefäßen 12,5 γ/cm^3 Skotommin, für den mit farbstoffarmen 13,1 γ/cm^3 .

Eine entsprechende Antwort fand die Frage nach dem Verhältnis des Ommochroms im Mitteldarm zu dem der Malpighischen Gefäße. Nur ein Teil der wildfarbenen Tiere scheidet während der Metamorphose zahlreiche Ommochromvakuolen in das Lumen des Mitteldarms ab. Je 30 Puppen der beiden Stämme wurden im Alter von 6 Tagen untersucht und zeigten keinen Unterschied in der Verteilung der Individuen mit und ohne Mitteldarm-Ommochrom.

Auch das letzte untersuchte Merkmal, die Farbe des Schlüpfungsexkrets, ließ sich nicht mit dem besprochenen Allelenpaar in Beziehung setzen.

Genotypen	Farbtafeln			n	M $\pm$ 3m
	3	4	5		
<i>Om/Om</i>	8,6	86,9	4,5	46	3,96 $\pm$ 0,15
<i>om/om</i>	32,2	62,1	5,7	87	3,74 $\pm$ 0,17

Tab. 2. Meconienfarbwerte von Faltern beider Stämme; Individuen in Prozent.

Die Meconien wurden auf Filtrierpapier aufgefangen und bei Binokularvergrößerung nach dem Ostwaldschen Farbkörper jeweils der konzentrierteste Exkretfleck gemessen (Tab. 2).

Die vorliegenden Allele bestimmen also nicht allgemein einen verschiedenen Grad der Ommochrombildung im Gesamtkörper, sondern wirken spezifisch auf die Ommatinbildung in den Malpighischen Gefäßen. Da nicht eines der Allele als Ausgangsallel bezeichnet werden kann, wurde das die größere Ommatinmenge bedingende *Om*, das gegensätzliche *om* genannt.

⁸ A. Kühn u. E. Becker, Biol. Zbl. 62, 303 [1942].

Einfluß der Brandung auf die Sandstrandvegetation

Von ELEONORE STEUBING

Aus der Biologischen Forschungsanstalt Hiddensee

(Z. Naturforsch. 3b, 293—298 [1948]; eingegangen am 15. März 1948)

Der Einfluß der Brandung auf die Sandstrandvegetation erstreckt sich in der Hauptsache auf die Veränderung der chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften (an freiem Strande Strand- und Humussand, an blockiertem Strande Schlicksand). Da die Pflanzen bestimmte Ansprüche an die Eigenschaften des Bodens stellen, sind auch nur bestimmte Pflanzenelemente für die einzelnen Sandarten charakteristisch.

Die Vegetation des flachen Sandstrandes hängt in ihrer Zusammensetzung und in ihrem Auftreten an den verschiedenen Stellen des Strandes von der mittelbaren bzw. unmittelbaren Einwirkung der Brandung stark ab¹, indem diese auf die Bodenbeschaffenheit und damit auch auf den Pflanzenbewuchs des Sandes maßgeblich einwirkt. Wie groß der Einfluß der Brandung ist, wird am besten klar durch eine Gegenüberstellung der floristischen und edaphischen Unterschiede zwischen freiem und blockiertem Strand, wie er sich als geradezu ideales Studienobjekt im Bereiche der Biologischen Forschungsanstalt auf der Insel Hiddensee darbietet.

¹ E. Leick, Die Pflanzendecke der Provinz Pommern. Pomm. Heimatbuch 1926, S. 95.

I. Flora des freien und des blockierten Strandes

Ein Vergleich der Floren des freien und des blockierten Strandes ergibt wesentliche Unterschiede, die auf die Wirkung der Brandung zurückzuführen sind.

Die Pflanzenbedeckung des freien Außenstrandes ist sehr lückenhaft; der Vorstrand, der von der Brandungswelle überlaufen wird, pflegt sogar völlig vegetationslos zu sein. Bei stürmischer See dringen die Wellen noch weiter auf dem Strande vor und überfluten die hier stockenden Pflanzen. Daher müssen die im Bereiche dieser Zone gedeihenden Pflanzen, die aus sukkulenten Kräutern (*Atriplex*-Arten, *Salsola Kali*, *Cakile maritima*) und Stauden (*Rumex crispus*, *Sonchus*

arvensis) bestehen, eine Benetzung mit Seewasser ohne Schaden ertragen können. Auch mehrjährige Halophyten (*Minuartia peploides*, *Triticum junceum*, *Crambe maritima* u. a.) treten hier auf. Beherrscht wird das Gesamtbild des freien Sandstrandes durch Psammophyten, vornehmlich psammophile Strandgräser, wie *Ammophila arenaria*, *A. baltica*, *Elymus arenarius*, *Calamagrostis epigeios*, *Festuca rubra*. Diese Pflanzen sind zu ihrem Gedeihen auf Sandzufuhr angewiesen. Die Standorte, an denen diese Pflanzen wurzeln, sind nämlich oligotroph, zumal die spärlich vorhandenen Nährstoffe in dem leicht durchlässigen Sande schnell mit dem Sickerwasser abwärts geführt werden. Eine geringfügige Nährstoffzufuhr tritt jedoch durch das Auffangen von Sandkörnern ein, die aus dem Gebiete des Vorstrandes vom Winde in das rückliegende Gebiet transportiert werden. Den an Land geworfenen Sandpartikelchen haften nämlich die bei einsetzender Verdunstung auskristallisierten Salze des Meerwassers an. Das landeinwärts gerichtete Sandtreiben, bei dem die Sandkörnchen des Vorstrandes und der Strandwallzone als „Nährstofftransporteure“² dienen, wirkt sich demnach als Gunstfaktor für einen Teil der Strandvegetation aus. Gleichzeitig findet eine starke Düngung des Strandes mit organischen Auswurfstoffen statt, indem die Wellen große Mengen an Pflanzen- (besonders Algen und Seegras) und Tierresten (Detritus) an Land werfen. Auf diesem Genist, den „Mistbeeten“ des Strandes, siedeln sich gerne nitrophile Pflanzen, wie etwa *Rumex crispus*, *Atriplex*-Arten, *Potentilla anserina* usw. an. Durch die lange Berührung mit dem Meerwasser ist der von der Brandung mitgeführte Sand bereits stark ausgelaugt, wenn er an Land geworfen wird. Die ausgewaschenen schluffigen Teilchen führt die Brandungswelle mit sich fort. Es fehlen also dem Außenstrand die für den blockierten und den Binnenstrand charakteristischen tonigen und lehmigen Bestandteile. Dementsprechend sucht man auch vergeblich nach Pflanzen, die, wie *Salicornia europaea*, *Aster Tripolium* oder *Scirpus maritimus*, einen feuchten, schlickhaltigen Boden zu ihrem Gedeihen benötigen. Den Mangel an abschlämmbaren Bestandteilen zeigt auch das Fehlen der sonst häufigen „Strandadventivpflan-

zen“ an, wie etwa *Tussilago Farfara* und *Cirsium arvense*.

Nach dem Grade der Blockierung zeigt die Vegetation des abgeschirmten Strandes mehr oder weniger starke Abweichungen an. Je mehr die Brandung durch vorgelagerte Sandbänke (Alt-Bessin) oder durch künstliche Schutzbauten (Hucke) ausgeschaltet wird, desto weiter dringen die Pflanzen gegen das Wasser vor und desto geschlossener und artenreicher wird das Pflanzenkleid. Charakteristisch für einen solchen Strand sind halophile Verlanderpflanzen (*Salicornia europaea*, *Scirpus maritimus*, *Sc. Tabernaemontani*, *Juncus maritimus* usw.). Diese Pflanzen durchziehen mit ihren Wurzeln einen wesentlich nährstoffreicheren Boden. Jeder Ausschluß der Brandung hat naturgemäß die Bildung von Stillwassergebieten zur Folge, in denen die schluffigen Bestandteile zum Absatz kommen. Damit werden aber die chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften weitgehend geändert. Außerhalb der Flutlinie wachsen jetzt obligate Halophyten, Pflanzen, die, wie *Glaux maritima*, *Plantago maritima*, *Samolus Valerandi* und *Triglochin maritima*, auch charakteristische Elemente der Salzwiesenflora sind. Im weiter zurückliegenden Bereiche des Strandes, in dem wieder der ausgelaugte Seesand überwiegt, finden sich die den freien Außenstrand kennzeichnenden Psammophyten (Strandgräser, *Eryngium maritimum*, *Lathyrus maritimus* usw.) ein. An den Stellen, an denen sich abschlämmbare Bestandteile in größeren Mengen nachweisen lassen, sind *Tussilago Farfara* und *Cirsium arvense* häufig. Während die vorstehende Schilderung nur für den teilweise blockierten Strand Gültigkeit besitzt (vorgelagerte Sandbänke schwächen die Wirkung der Brandung, schalten sie aber nicht ganz aus!), ergeben sich für den total blockierten Strand größere Abweichungen. So ist für den durch eine hohe Blockpackmauer abgeschirmten Strand der Hucke neben dem zahlreichen Auftreten halophiler Pflanzenelemente das fast völlige Fehlen der Psammophyten auffällig. Die Mauer hält nämlich nicht nur die Brandung der Küste fern, sondern schafft auch unmittelbar hinter sich einen windstillen Raum. Daher vermißt man in ihrem Windschatten das übliche Sandtreiben. Dadurch wird auch das Fehlen der auf Sandzufuhr angewiesenen Pflanzen verständlich. Außerdem geht mit steigender Blockierung eine

² J. van Dieren, Organogene Dünenbildung. Haag 1934.

Verminderung der nitrophilen Pflanzen Hand in Hand, denn es fällt ja eine Ablagerung organischen Materials an den Flutmarken fort³, die Vorbedingung für die Entstehung humoser Sande ist.

II. Edaphische Unterschiede zwischen freiem und blockiertem Strande

Der Einfluß der Brandung auf die edaphischen Verhältnisse offenbart sich deutlich in den unterschiedlichen physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften. Für den freien Außenstrand ist neben dem grobkörnigen „Strandsand“, der frei von organischen Beimengungen ist, der „Humussand“ charakteristisch, der aus der Vermengung des Strandsandes mit den Auswurfstoffen der Brandung hervorgegangen ist. In den Stillwassergebieten des blockierten Strandes kommen die von der Strömung mitgeführten Schluffmengen zugleich mit dem Sande zur Ablagerung und bilden den „Schlicksand“. Wie die nachstehenden Untersuchungen zeigen, weichen die genannten Sandarten in ihrem physikalischen und chemischen Verhalten stark voneinander ab.

A. Physikalische Unterschiede

1. Korngröße und Luftgehalt

Ein Vergleich der Korngrößen zwischen Strandsand und Schlicksand zeigt, daß an dem blockierten Strande die Korngrößen wesentlich extremer sind als im Sande des Außenstrandes. Besonders überwiegen mit 49,3% im Schlickboden der Feinsand und die schluffigen Bestandteile, die mit 2–5% als abschlämbbare Teilchen dem Feinsande beigemischt sind. Das Überwiegen geringer Korngrößen im Schlicksande ermöglicht diesem eine dichtere Packung, wobei die beigemischten tonigen Bestandteile die Bodenpartikelchen leicht zu einer festen Masse verkleben. Dementsprechend sind Porenvolumen und Luftkapazität des Schlicksandes verhältnismäßig gering. Die Pflanzen, die auf ihm stocken, reagieren auf die schlechte Bodendurchlüftung, indem sie ihre Wurzeln in der Hauptsache in den oberen Bodenschichten ausbreiten.

³ Gültig nur für den Fall, daß es sich um wasserundurchlässige Schutzmauern handelt. Dringt Wasser zwischen den Gesteinsblöcken hindurch, so entstehen pflanzenreiche Lagunen, in denen es zur Faulschlamm-Bildung und damit zur Ansiedelung nitrophiler Pflanzen kommt.

Korngröße in mm Ø	Schlicksand %	Strandsand %
> 1,5	0,7	0,2
1,0	0,3	0,7
0,5	8,3	37,6
0,25	41,6	35,2
< 0,25	49,3	26,3

Tab. 1. Vergleich der Korngrößen von Schlicksand und Strandsand.

Der Sand des freien Außenstrandes hingegen bietet seinen psammophilen Bewohnern wesentlich andere Lebensbedingungen. Die Korngrößen 0,5–0,25 mm Ø liefern mit 72,8% bei weitem den Hauptteil des Strandsandes⁴. Abschlämbbare Bestandteile fehlen an Stellen, die einen psammophilen Pflanzenbestand zeigen, fast völlig. Dagegen finden sich an Stellen, an denen beispielsweise *Tussilago Farfara*, *Cirsium arvense* und *Dactylis glomerata* gedeihen, wenn auch nicht an der Bodenoberfläche, so doch in der Rhizosphäre geringfügige Beimengungen abschlämbbaren Materials. Anders liegen die Verhältnisse bei den strandbewohnenden Chenopodiaceen, die im Verein mit *Cakile maritima*, *Rumex crispus* und *Matricaria maritima* immer nur solche Stellen besiedeln, an denen unter der Sandfläche an Land geworfene Tang- und Seegrasreste dem Boden beigemischt sind (Humussand). Die Durchlüftung des Strandsandes ist infolge der gleichmäßigeren Korngröße und des dadurch bedingten größeren Porenvolumens eine gute, wie die rasche und völlige Verwesung eiweißreicher Stoffe in Dünenstränden beweist⁵. Daher können auch die ihn besiedelnden Pflanzen ihre Wurzeln tief in das Erdreich hinabsenken.

2. Kapillare Steighöhe und Steiggeschwindigkeit

Die Struktur des Bodens ist ausschlaggebend für die Höhe und die Geschwindigkeit, mit der das Grundwasser in den Kapillarräumen des Erdreiches emporsteigt. Je enger die Kapillaren sind, desto größer sind auch die Molekularkräfte der Adhäsion. Die Steighöhe der Wassersäule wird dadurch vergrößert, während sich gleichzeitig die Geschwindigkeit des Emporsteigens verlangsamt, da der Reibungswiderstand mit Verringerung des Kapillardurchmessers anwächst. Die Messung

⁴ A. Arnold, Jb. wiss. Bot. 83, 105 [1936].

⁵ F. Hecht, Senckenbergiana 3, 165 [1933].

der Steiggeschwindigkeit bei Schlicksand und Strandsand für eine Bodensäule von 15 cm Höhe und 4,5 cm Durchmesser ergab folgende Werte:

Steighöhe in cm		
Zeit in Min.	Schlicksand	Strandsand
3	2,8	5,3
5	4,7	6,0
10	6,6	7,6
30	9,6	8,5
60	11,7	9,5
120	13,1	10,9
180	13,6	11,3
240	14,0	11,6
300	14,6	11,8

Tab. 2. Kapillare Steighöhe und Steiggeschwindigkeit bei Schlicksand und Strandsand.

Mit 40 cm Höhe ist nach R a m a n n⁶ die kapillare Hubkraft im Strandsande erschöpft. In den feinporigen Kanälen des Schlicksandes dagegen sind die Kapillarkräfte bedeutend wirksamer, so daß die an sich geringere Steiggeschwindigkeit länger anhält und als Endergebnis zu einer größeren Steighöhe führt.

3. Wasserkapazität

Die Schnelligkeit und die Tiefe, bis zu welcher Regen- und Schneewasser in das Erdreich eindringen, sind einerseits von der Größe des Porenvolumens, andererseits von der Wasserkapazität des Untergrundes abhängig. Die Durchtrittsgeschwindigkeit des Regenwassers geht im grobkörnigen Strandsande etwa 3-mal so schnell vor sich als im schlickigen Sande des blockierten Strandes. Diese Tatsache ist insofern von Belang, als bei verlangsamtem „Versickern“ des meteorischen Wassers die Ablaufmenge der Niederschläge eine Erhöhung erfährt. Es werden daher im Strandsande tief wurzelnde, im Schlicksande dagegen flach wurzelnde Pflanzenarten den Wasserverhältnissen des Bodens am besten entsprechen. Die Wasserkapazität des Bodens wird ebenfalls von der Größe der einzelnen Sandkörner bestimmt. Je beträchtlicher diese ist, desto geringer ist die Wasserkapazität, ein desto größerer Anteil der atmosphärischen Niederschläge kann also in die tieferen Bodenschichten und schließlich in das Grundwasser gelangen. So dringt in einen Boden mit einer Wasserkapazität von 5%

eine Niederschlagsmenge von 30 mm 60 cm tief ein, in einen von 25% Wasserkapazität dagegen die gleiche Wassermenge nur 12 cm tief⁷. Die Wasserkapazität ist ferner von dem Anteil an quellungsfähigen Stoffen im Boden abhängig. Im Strandsande fehlen kolloide Bestandteile, wenn man von den „Mistbeeten“ absieht, fast ganz; in geringem Maße sind sie im Schlicksande vorhanden; in beträchtlicher Menge findet man sie schließlich in den von der Brandung ausgeworfenen, eingesandeten Tang- und Seegrasresten, dem Humussande. Dieser kann — je nach Zusammensetzung und Verwesungszustand der organischen Beimengungen — die Wasserkapazität des Strandsandes um das 8-fache übertreffen. Den Pflanzen, die auf solcher Unterlage wurzeln, bieten sich bereits in geringer Bodentiefe nicht nur bessere Ernährungsbedingungen, sondern auch bessere Wasserverhältnisse dar, als das in gleicher Tiefenlage des reinen Sandbodens der Fall ist. Der Humus saugt sich nämlich gleich einem Schwamm voll Wasser und gibt erst bei Übersättigung Feuchtigkeit an die unter ihm liegenden Bodenschichten ab. So stellte auch Jeswiet⁸ fest, daß die unter dem Brandungsauswurf liegenden Bodenschichten häufig wasserarm sind. Die Tatsache, daß Humussand wasserreicher als Strandsand gleicher Tiefe ist, ließ sich auch im Freien bei der Entnahme von Bodenproben unschwer feststellen. So fand ich beispielsweise:

	Bodentiefe in cm	Wassergehalt in %
Strandsand	8	1,87
Humussand	8	2,51
Strandsand	10	0,27
Humussand	10	4,88

Tab. 3. Wassergehalt von Strandsand und Humussand.

Die vorstehenden Darlegungen machen es ohne weiteres verständlich, daß der Sandstrand auf engstem Raume sehr verschiedene und in ihren Lebensbedürfnissen geradezu gegensätzliche Pflanzen zu tragen vermag. Die Besiedler der humosen Sande müssen natürlich auch habituell von denen des reinen Sandes erheblich abweichen.

⁷ H. Lundegårdh, Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Jena 1925.

⁸ J. Jeswiet, Beih. Bot. Zbl. 30, 269 [1913].

⁶ E. R a m a n n, Bodenkunde. Berlin 1911.

Bodenart	p_H	Kalk %	NO_3 %	PO_4 %	NaCl %	Tiefe cm	Entfernung von der Flutlinie in m
Strandsand jenseits der Winterflut- marken	7,2	3,5	0,002	0,001	0,03	35	10
Humussand . . .	7,5	5,0	0,28	0,02	0,63	15	2
Humussand . . .	7,5					15	6
Schlicksand . . .	8,2	8,0	0,039	0,009	0,84	5	1

Tab. 4. Chemische Analyse verschiedener Bodenarten.

4. Bodensaugkraft

Mit der Erhöhung der Wasserkapazität verbindet sich eine Verstärkung der Bodensaugkraft, deren Höhe von der Struktur des Bodens sowie dem osmotischen Druck der Bodenlösung abhängt. Je feinkörniger der Untergrund und je höher die Konzentration der Bodenlösung ist, einen desto größeren Betrag weist die wasserbindende Kraft auf. Solange im Erdreich genügend Feuchtigkeit vorhanden ist, wird das Wasser nur locker von den einzelnen Bodenteilchen festgehalten. Wird aber der Boden der Austrocknung unterworfen, so werden mit absinkendem Wassergehalt die letzten Reste in steigendem Maße zurückgehalten.

Im grobdispersen Strandsande, der durchweg einen nur sehr geringen Salzgehalt der Bodenlösung aufweist, werden die Kapillar- und Oberflächenkräfte, und damit auch die Bodensaugkraft, erst bei einem Wassergehalt unter 1% wirksam^o. Das im Boden vorhandene Wasser ist also fast bis auf den letzten Tropfen für die Pflanze ausnutzbar.

Sobald aber dem reinen Strandsande nur geringste Mengen von Meeresauswurf, d. h. also von kolloiden Systemen, beigemischt sind, erhöht sich die Bodensaugkraft wesentlich. Es müssen jetzt von der Pflanze außer den im Strandsande wenig wirksamen Adsorptions- und Kapillarkräften die durch kolloide Teilchen bedingten, bedeutend höheren Saugkräfte überwunden werden, um die Bodenpartikelchen ihrer letzten Wasserhülle zu berauben. Die Pflanze ist jedoch infolge des im allgemeinen höheren Wassergehaltes, den der Humussand aufweist, meist nicht gezwungen, den Wasservorrat des Substrates restlos zu erschöpfen.

^o H. Walter, Der Wasserhaushalt der Pflanze in quant. Betrachtung. Naturwiss. u. Landwirtsch., H. 6, Freising u. München 1925.

Naturgemäß weist auch der Schlicksand infolge seiner dichten Lagerung sowie des höheren osmotischen Wertes seiner Bodenlösung eine größere wasserbindende Kraft auf als der Strandsand.

Verfolgt man die Schnelligkeit, mit der Wasser in Strandsand, Schlicksand und Humussand verdunstet, so kann zu dem Zeitpunkte, in dem der Strandsand bereits völlig ausgetrocknet ist, der Schlicksand noch 2,3%, der Humussand noch 3,5 % der anfänglichen Feuchtigkeit enthalten. (Der Humussand stellte im vorliegenden Falle ein Gemisch aus Strandsand mit 1,5% Tang-See-gras-Zusatz dar.) Auch aus dieser Messung wird ersichtlich, daß der Strandsand sein Wasser am leichtesten an die ihn durchziehenden Pflanzenwurzeln abgibt. Im Schlicksande und im Humussande dagegen ist das Wasser infolge der erhöhten Bodensaugkraft des Substrates schwerer für die Pflanze ausnutzbar.

B. Chemische Unterschiede

Vergleicht man die chemischen Eigenschaften der den freien und den blockierten Strand aufbauenden Sandarten, so ergeben sich ebenfalls erhebliche Unterschiede, die das Auftreten oder Fehlen bestimmter Pflanzen zur Folge haben können.*

Wie die Tab. 4 ergibt, zeigen sich die größten Abweichungen zwischen Strand-, Humus- und Schlicksand im Nitrat- und Phosphatgehalt. Die bevorzugte Nährstoffversorgung der im Humussande wurzelnden Pflanzen tritt deutlich hervor. Die geringste Nitrat- und Phosphat-Konzentration

* Methodik: p_H -Bestimmung erfolgte mit dem Pehameter nach Hellige; Kalkbestimmung mit Passonschem Kalkmesser; kolorimetrische Feststellung der Nitrate im wäßrigen Bodenauszug mit Harveys Nitratreagens, der Phosphate mit Molybdänschwefelsäure u. Zinnchlorür; Salzgehalt der Bodenlösung titrimetrisch bestimmt.

weist der Strandsand auf, während der Schlicksand eine Mittelstellung einnimmt. Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, daß auch Reste tierischer und pflanzlicher Meeresorganismen, sog. Detritus, mit den sandigen und tonigen Bestandteilen zur Ablagerung kommen. Der p_H -Wert liegt bei Strand- und Humussand in der Nähe des Neutralpunktes, der Schlicksand zeigt jedoch, ebenso wie das Meer selber, alkalische Reaktion. Der Kalkgehalt ist im Schlicksande, der zahlreiche, fein zerriebene Muschelschalen enthält, am höchsten, ihm folgt der Humussand, an dessen Tang- und Seegrasresten Bruchstücke von Molluskengehäusen haften. An letzter Stelle steht der Strandsand, dessen Kalkgehalt mit steigender Entfernung vom Meere abnimmt. Gering ist auch die Cl-Ionen-Konzentration des Strandsandes — wenigstens soweit er dem Bereiche des Meeres

entzogen ist —, da infolge seines großen Porenvolumens ein Nachströmen von Salzlösung aus der Tiefe nicht möglich ist. Den höchsten NaCl-Betrag erreicht der vom Meereswasser durchfeuchtete Schlicksand. Der angegebene Betrag erfährt bei starker Evaporation eine erhebliche Steigerung, indem durch den Nachleitstrom Salzlösung aus der Tiefe zu den oberen Bodenschichten geführt wird und hier eine Konzentrationssteigerung hervorruft¹⁰.

Durch die physikalische und chemische Bodenanalyse tritt deutlich die Begünstigung der in humosen Sanden wurzelnden nitrophilen Pflanzen zutage. Auch für die Schlicksandpflanzen des blockierten Strandes — meist Halophyten — sind die Lebensbedingungen wesentlich besser als für die auf reinem Sande wachsenden Psammophyten.

¹⁰ E. Pompe, Beih. Bot. Zbl. 60, 224 [1940].

NOTIZEN

Zur Frage des antibakteriellen Wirkungsmechanismus der Sulfonamide (3. Mitt.)

Von Rudolf Tschesche, Werner Loop und Klaus Soehring

Biochem. Abt. des Chem. Staatsinstituts der Univ. Hamburg und Labor. der Nordmark-Werke, Ütersen (Holstein)

(Z. Naturforsch. 3b, 298—299 [1948]; eingeg. am 10. Sept. 1948)

Vor etwa 1½ Jahren hatte der eine von uns die Ansicht geäußert¹, daß die antibakterielle Wirkung der Sulfonamide vorwiegend durch eine Störung der Pteroylglutaminsäure-Synthese in den Bakterien zustande kommt. Die gleiche Auffassung haben kurz vorher auch Lampen und Jones² vertreten, deren Arbeiten uns erst später bekannt wurden. Diese Autoren zeigen, daß nur solche Bakterien durch Sulfonamide im Wachstum gehemmt werden, die Pteroylglutaminsäure oder Analoga selbst bilden, während z. B. *Lactobacillus casei* und *Streptococcus lactis* das nicht können, sondern auf die Aufnahme dieses Wachstoffs aus der Nährlösung angewiesen sind. Sie werden daher auch nicht durch Sulfonamide gehemmt. Bei *Streptococcus arabinosus*, *Strept. plantarum* und *Strept. faecalis* (Ralston) ist die Sulfonamidhemmung durch Pteroylglutaminsäure aufhebbar, wie gefordert werden muß, wenn die oben ausgesprochene Annahme richtig ist. Dabei ist bei diesen Organismen der Antagonismus „noncompetitive“, d. h. eine kleine, annähernd konstante Menge Pteroylglutaminsäure ist ausreichend, um die Hemmung steigender Sulfadiazinmengen zwischen 1 und 1000 γ/cm^3 Nährlösung zu überwinden. Pteroinsäure wirkt bei diesen Bakterien

nicht enthemmend. Die benötigten Mengen Pteroylglutaminsäure nähern sich bei *Streptococcus faecalis* (R.) denjenigen, mit denen man bei Abwesenheit von Sulfonamiden das Wachstum stimulieren kann.

Anders verhalten sich die pathogenen Keime *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* und *Diplococcus pneumoniae*; bei ihnen ist die Sulfonamidhemmung durch Pteroylglutaminsäure nicht aufhebbar, was wir für *Esch. coli* bestätigen konnten³. Martin und Mitarbb.⁴ zeigten nun vor kurzem, daß bei *Staphylococcus aureus* die Sulfonamidinhibition durch Pteroinsäure aufhebbar ist, im Gegensatz zu dem Verhalten von *Strept. arabinosus*, *plantarum* und *faecalis* (R.). Es sollen kleinere Mengen Pteroinsäure als *p*-Aminobenzoesäure für die Enthemmung ausreichend sein. Wenn das richtig ist, so ist zu vermuten, daß bei diesen Keimen die Synthese der Pteroylderivate in etwas anderen Bahnen verläuft. Da Auf- und Abbau der Pteroylderivate bei den Mikroorganismen nicht genau bekannt sind und Anhaltspunkte dafür bestehen, daß noch weitere, bisher unbekannte Verbindungen dieses Typs existieren, mag der Schlüssel zum Verständnis des abweichenden Verhaltens der pathogenen Keime vielleicht dort zu suchen sein. Die Ansicht jedoch, daß die Wirkung der Sulfonamide durch Störung der Synthese von Pteroylderivaten zustande kommt, bleibt grundsätzlich bestehen.

Der eine von uns hat weiter die Möglichkeit in Betracht gezogen, daß die Sulfonamidhemmung bei Bakterien so zu denken ist, daß der intermediär entstehende Pteridinaldehyd mit Sulfonamiden in Form einer Schiffschen Base reagiert und dieser daher der

³ R. Tschesche, K. Soehring u. K. Har der, Z. Naturforsch. 2b, 244 [1947].

⁴ Martin, Tolmann u. Moss, Science [New York] 1947, 168.

¹ R. Tschesche, Z. Naturforsch. 2b, 10 [1947].

² J. O. Lampen u. A. J. Jones, J. biol. Chemistry 164, 485, [1946]; 170, 133 [1947].