

Tritt das gesetzmäßig Erfassliche unter diesen Umständen in der räumlichen Verteilung vieler niederer Süßwasserorganismen zurück, so macht es sich doch wieder in den merkwürdigen Anpassungen geltend, welche bei fast allen solchen Wesen, die durch passive Wanderung verbreitet werden, zu entdecken sind. Natürliche Auslese hat hier offenbar unermessliche Zeiten hindurch gewirkt, und diejenigen Abweichungen im Bau sowohl wie im physiologischen Verhalten summiert, durch welche einzelne Gattungen und Arten von vornherein zu passiver Migration besser disponiert waren, als andere. Eins der interessantesten Resultate dieses Züchtungsprozesses liegt in den Vertretern jener Fauna vor uns, welche den Grundstock der Bewohnerschaft hoch und isoliert gelegener Seen bilden, in die sie lediglich durch Import aus einem schon damit bevölkerten Wasserbecken gelangen konnten, aber niemals durch aktive Einwanderung. Zu diesem Grundstock gehören außer zahlreichen Protozoen hauptsächlich Rädertiere, Crustaceen und Mollusken. Repräsentanten dieser Tiergruppen werden, wie sich aus den sehr umfassenden Forschungen Imhof's und auch aus meinen eignen Wahrnehmungen in verschiedenen Teilen Deutschlands ergibt, am häufigsten von See zu See verpflanzt. In einem Schlusskapitel soll an einigen Beispielen gezeigt werden, dass das Vermögen zu passiven Wanderungen wirklich durch spezielle Einrichtungen in der Organisation mancher Tiere hochgradig gesteigert wird. Man muss wohl, wie ich schon oben aussprach, annehmen, dass bei allen diesen Erwerbungen Zuchtwahl ins Spiel kam.

(Schluss folgt.)

Ueber den Zweck der Ausscheidung von freier Schwefelsäure bei Meeresschnecken.

Von Dr. **Richard Semon** in Jena.

Angeregt durch die Stahl'schen Untersuchungen über die Schutzmittel der Pflanzen gegen Tierfraß¹⁾ unternahm ich im Herbst vorigen Jahres an der zoologischen Station zu Neapel eine Anzahl gleichlaufender Versuche, die darauf abzielten, ähnliche Schutzvorrichtungen bei Tieren gegen die Angriffe anderer Tiere aufzufinden.

Man kann die Schutzvorrichtungen bei Tieren wie bei Pflanzen in zwei Hauptgruppen einteilen, in chemische und mechanische Schutzmittel. Die augenfälligsten dieser Einrichtungen sind in beiden organischen Reichen längst als solche erkannt worden, so zum Beispiel der giftige Saft vieler Pflanzen, das giftige Hautdrüsensekret der Kröten und Salamander, die Dornen und Stacheln der *Aloe*- und *Cactus*-Arten, die Panzer und Gehäuse zahlreicher Tiere.

1) E. Stahl, Pflanzen und Schnecken. Jen. Zeitschrift f. Naturw., Bd. 22. (Siehe auch das Referat über diese Arbeit von Prof. F. Ludwig in dieser Zeitschrift, VIII. Bd., S. 481.)

Dass man aber die Verbreitung derartiger Schutzmittel weit unterschätzt und viele Einrichtungen im Pflanzenkörper, die in hervorragendem Maße Schutzfunktionen ausüben, bisher ganz missverstanden hat, hat Stahl an zahlreichen und überzeugenden Beispielen nachgewiesen.

Es ist an und für sich sehr wahrscheinlich, dass eine genauere Untersuchung der Tiere in dieser Richtung und von diesem Gesichtspunkt aus ähnliche Resultate erzielen wird. Zwar besitzen die Tiere im allgemeinen in ihrem Bewegungsvermögen, welches sie zur Flucht und zur Verteidigung anwenden können, ein vielgestaltiges Schutzmittel, welches den Pflanzen durchaus mangelt.

Aber auch viele Tiere sind an den Boden festgeheftet oder in ihren Bewegungen so langsam, dass sie ihren Feinden eine widerstandslose Beute sein würden, besäßen sie nicht anderweitigen Schutz. Als solcher springt der Besitz eines Panzers, eines Gehäuses, die Armierung mit Batterien von Nesselkapseln etc. sofort in die Augen. Wie steht es aber mit den scheinbar wehrlosen Ascidien, mit den zahlreichen Nacktschnecken und Gephyreen und andern unbewehrten und ungepanzerten Geschöpfen? Eine solitäre Ascidie, *Ciona intestinalis*, hat sich im Neapeler Aquarium in sämtlichen Bassins angesiedelt. Sie scheint ganz schutzlos zu sein, muss aber chemisch so stark geschützt sein, dass sich kein Geschöpf an ihr vergreift. Manche Nacktschnecken können Gifte (*Aplysia*) und Säuren ausspritzen; ihr Fleisch ist daneben aber noch so stark chemisch geschützt, dass, wenn man nach ihrem Tode ihr Fleisch in unverändertem, unausgelaugtem Zustande andern sogenannten omnivoren Tieren gibt, dasselbe von fast allen zurückgewiesen wird. Es wäre leicht, noch zahlreiche andere Beispiele anzuführen.

Da mich von Anfang an die mechanischen Schutzmittel besonders interessierten, habe ich ihnen vorwiegend meine Aufmerksamkeit zugewandt und mannigfache Versuche in dieser Richtung angestellt — wie ich gleich sagen will, ohne zu schließenden Resultaten gelangt zu sein.

Zwar hatte ich es insofern leicht, als ich die von Stahl fertig ausgebildeten, ebenso sinnreichen als einfachen Methoden schon vorfand. Derartige Untersuchungen lassen sich aber nicht in ein paar Monaten zum Abschluss bringen, zumal das Experimentieren mit Meerestieren im beschränkten Raume kleiner Aquarien besondere Schwierigkeiten mit sich bringt.

Es interessierte mich besonders, die Funktion der in der Haut vieler Tiere zerstreuten Spicula zu ermitteln, deren Vorkommen in solchen Fällen unerklärlich scheint, wo sie so spärlich und zerstreut auftreten, dass eine Stützfunktion entschieden auszuschließen ist. Als besonders markante Beispiele führe ich an: aus der Klasse der Cölenteraten *Alcyonium*, aus der der Echinodermen die Holothurien,

besonders die Chirodoten, aus der Klasse der Ascidien *Didemnum*. Diese Beispiele ließen sich vermehren; besonders ist beinahe die ganze Klasse der Schwämme durch den Besitz derartiger zerstreuter Spicula ausgezeichnet. In letzterer Klasse kommt es indess häufig zu einer so massenhaften Anhäufung von Spicula, dass hier meistens eine Stützfunktion nicht mehr auszuschließen ist, es sogar in den ausgeprägtesten Fällen (Hexactinelliden) zur Bildung eines zusammenhängenden Skelets kommt.

Auch das Skelet der Seesterne, Seelidien und Seeigel nimmt, wie die Entwicklungsgeschichte lehrt, von zerstreuten drei- oder vierstrahligen Kalknadeln seinen Ausgang.

Ich bemühte mich nun nachzuweisen, dass jene zerstreuten Spicula, die weder die Körperwände stützen können noch auch Muskeln zum Angriffspunkt dienen, Schutzfunktionen ausüben, indem ich Fütterungsversuche ohne Entfernung der Spicula und nach Entfernung derselben anstellte. Natürlich konnte ich mich bei diesen Versuchen nur solcher Formen bedienen, die Kalkspicula besitzen. Letztere lassen sich leicht durch Säuren auflösen; Konkretionen aus Kieselsäure lassen sich dagegen nicht ohne Zerstörung der organischen Teile, die ja nachher verfüttert werden sollen, beseitigen.

Diese Versuche haben, wie gesagt, noch keine abschließenden Resultate ergeben; vor allem deshalb nicht, weil, wie ich erst ganz zuletzt entdeckte, viele der benutzten Objekte neben ihrem mechanischen auch noch chemische Schutzmittel besitzen. Letztere müssen wenigstens manchen Tieren gegenüber erst beseitigt werden, ehe die Nahrung für jene genießbar wird. Eine derartige Häufung der Schutzmittel ist auch von Stahl bei Pflanzen beobachtet worden. Sie erschweren und komplizieren die Versuche. Meine Versuche im einzelnen will ich nicht ausführlich berichten, da die Ergebnisse noch nicht klar und eindeutig genug sind. Um derartige Resultate zu erhalten, muss die Untersuchung eben durch einen langen Zeitraum hindurch fortgesetzt werden. Ich hoffe also, dass mein so leicht erklärlicher Misserfolg nicht andere Forscher abschrecken wird, den interessanten Gegenstand weiter zu verfolgen.

Meine Untersuchungen hatten aber in einer scheinbar zunächst ganz abliegenden Richtung ein Ergebnis, das eine interessante und viel diskutierte Frage der Biologie betrifft.

Schon längst ist bekannt, dass sehr häufig in dem Maße, als ein Organismus sich mit Schutzmitteln versieht und die Stärke dieser Mittel steigert, ganz in gleichem Schritte einer oder der andere Verfolger dieses Organismus, der auf ihn als auf seinen Unterhalt mehr oder weniger vollständig angewiesen ist, seine Angriffswaffen steigert, dieselben den verstärkten Schutzmitteln anpasst. Eine solche Anpassung, die man treffend auch als Gegenanpassung, Contre-Adaption, bezeichnet hat, kann in vermehrter Unempfindlichkeit gegen Gifte, in

Gleichgiltigkeit gegen einen Geschmack, der den meisten andern Lebewesen unangenehm ist, ja in Vorliebe für einen solchen, in Verstärkung der Kraft und Schärfe der Kauwerkzeuge seinen Ausdruck finden. Diese Anpassung kann so weit gehen, dass ein Tier in seinem Geschmacksbedürfnis oder seiner Bewaffnung schließlich so einseitig ausgebildet ist, dass es sich nur noch von der Gruppe derjenigen Organismen ernähren kann, deren Schutzmittel die einseitige Ausbildung seiner Angriffswaffen oder seines Geschmacks verursacht haben. Stahl bezeichnet derartig einseitig an gewisse Nahrungsobjekte angepasste Tiere als Spezialisten. Von der höchsten Stufe des Spezialisismus, wie wir sie bei manchen Raupen finden, die nur noch von einer Pflanzenart zu leben im stande sind, bis zu den sogenannten omnivoren Tieren finden sich alle Uebergänge.

Während meiner Experimente in Neapel über die Bedeutung der Kalkspicula als Schutzmittel machte mich nun Herr Salvatore Lo Bianco, als ich mit ihm die Erscheinung des Spezialisismus besprach, darauf aufmerksam, dass manche Meeresschnecken, so *Dolium* und *Tritonium*, vielleicht Spezialisten für durch Kalkspicula geschützte Tiere seien, da schon mehrfach in Neapel beobachtet worden war, dass sie beim Abtöten Holothurien in halbverdaulichem Zustande ausgeworfen hatten. Einer weiteren Untersuchung waren jene ausgeworfenen Holothurien nicht unterzogen worden. Uebrigens war früher auch schon von Panceri beobachtet worden, dass Meeresschnecken Tiere fressen, deren Gewebe von Kalkspicula durchsetzt sind. So hatte Panceri im Magen eines *Pleurobranchus testudinarius* ein *Didemnum*¹⁾, im Oesophagus und Proventriculus von *Dolium galea* kleine Holothurien wie *Phyllophorus*, Bruchstücke von Bryozoen, Spicula von Kalkschwämmen gefunden²⁾. Er hatte aus diesen Funden aber ganz andere Schlüsse gezogen, als, wie ich nachzuweisen versuchen werde, aus ihnen zu ziehen sind.

Ich versuchte nun, die erwähnte Frage experimentell zu lösen, indem ich meinen Versuchen sehr enge Grenzen steckte und vorwiegend die biologische Seite berücksichtigte. Die weitere Ausführung besonders in physiologisch-chemischer Beziehung muss einem in diesem Fache geschulten Forscher überlassen bleiben.

Ich will nun zunächst meine Experimente oder einfacher gesagt Fütterungsversuche kurz schildern, dann die einzelnen Punkte analysieren.

In das große Bassin, das im Neapeler Aquarium von *Dolium galea*, *Tritonium nodiferum*, *Aplysia* und *Pecten* bewohnt wird, brachte ich ein großes Exemplar von *Holothuria Poli*. Dasselbe maß in aus-

1) P. Panceri, Ricerche sugli organi che nei gasteropodi segregano l'acido solforico. 1868.

2) P. Panceri, Gli organi e la secrezione dell'acido solforico nei gasteropodi. Atti della R. Accademia delle scienze fisiche e matematiche. Vol. IV. 1869.

gestrecktem Zustande 21 cm. Eine halbe Stunde später hatte ein *Tritonium nodiferum* von 28 cm Länge das Tier etwa 5 cm unterhalb des Vorderendes gepackt und begann es trotz seiner verzweifelten Fluchtversuche langsam zu verschlingen. Nach 10 Minuten nahm ich der Schnecke die noch vollständig lebenskräftige Holothurie ab. In dem Bereich, innerhalb dessen die Holothurie gepackt und teilweise in den Rüssel der Schnecke hineingezogen war — es war ein Stück von ungefähr 4 cm im Umkreis — war die Epidermis und die oberflächlichen Lagen der Cutis zerstört, die Kalkplatten lagen in großer Menge entblößt. Halbzerstörte Kalkplatten konnte ich nicht auffinden, ein Umstand, der nachher erklärt werden soll. Die Holothurie wurde darauf wieder in das Bassin zurückgebracht; sie wurde bald darauf von einem andern *Tritonium* ergriffen und innerhalb von 4 Stunden verschlungen.

Am nächsten Tage legte ich 2 große Exemplare von *Asterias glacialis* in denselben Behälter. Der eine Seestern wurde nach 10 Minuten von einem *Tritonium nodiferum* ergriffen, der andere nach ungefähr einer halben Stunde ebenfalls von einem *Tritonium*.

Das ersterwähnte Tier war nach 3 Stunden vollkommen in das Innere der Schnecke aufgenommen.

Der andere Seestern aber wurde langsamer verschlungen, und da dieser Fall genauer beobachtet wurde und er als Beispiel für zahlreiche weitere Versuche dienen kann, will ich ihn etwas ausführlicher beschreiben.

Diese *Asterias* hatte einen Radius (von Scheibenmitte bis Armspitze gemessen) von 130 mm, also einen Durchmesser von 260 mm und ein Gewicht von 134 g. Das *Tritonium*, welches sie verschlang, besaß eine Schale von 295 mm Längsdurchmesser. In 4 Stunden war die *Asterias* in das Innere der Schnecke aufgenommen bis auf eine Armspitze, die noch nach 8 Stunden aus dem Rüssel der Schnecke herausragte. Am nächsten Morgen war auch diese Spitze verschwunden. Während der Aufnahme und der Verdauung, die etwa 24 Stunden in Anspruch nehmen dürfte, lagen die betreffenden Schnecken regungslos auf demselben Fleck. Die übrigen Schnecken kriechen aber von allen Seiten zu einem solchen Platze herbei, wo ein Echinoderm ergriffen und verzehrt wird. In einem Falle entriss ein größeres *Tritonium*, das später hinzugekommen war, einem kleinern eine schon halb verschlungene Holothurie. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass die Schnecken durch den Geruchssinn zu ihrer Beute geleitet werden, und in der That hat auch für unsere Nase ein Seestern, den man zerbricht oder verletzt, einen eigentümlichen Geruch. Aus dem ganzen Verhalten der in dem Aquarium befindlichen, täglich mit anderer Nahrung (Fischen) reichlich versehenen Schnecken ging deutlich hervor, dass Seesterne und Holothurien eine bevorzugte Speise für sie ausmachen. Eine allgemeine Unruhe bemächtigte sich der ganzen

Gesellschaft. Dabei kamen übrigens die flinkern Tritonien den langsameren Dolien fast regelmäßig zuvor. Seeigel, die sich viel rascher von der Stelle bewegen können, als Seesterne und Holothurien, entkamen, soweit ich beobachtet habe, stets ihren Feinden.

Um nun auf unsern Fall zurückzukommen, war am nächsten Morgen die *Asterias* im Innern der Schnecke verschwunden. Letztere hatte sich nicht von der Stelle gerührt. Ich nahm die Schnecke und legte sie in einen Behälter mit sehr wenig Wasser, ein gutes Mittel um das Tier dahin zu bringen, den noch unverschluckten Mundinhalt auszuwerfen. Nach einer halben Stunde spie die Schnecke den Rest eines Seesternarmes aus, weiter nichts, weder an diesem noch auch an dem folgenden Tage, während dessen sie noch in dem kleinen Behälter gehalten wurde. Diejenigen Schnecken, welche in dem großen Behälter gelassen wurden, spieen gar nichts aus. Bei einem *Tritonium*, dem 36 Stunden nach der Aufnahme eines Seesterns der Magen geöffnet wurde, fand sich derselbe vollkommen leer. Wie schon erwähnt, blieben die Tiere, wenn man sie ungestört ließ, während 24—36 Stunden der Verdauung vollkommen unbeweglich an einer Stelle liegen. Untersucht man nach dieser Zeit den Platz genauer, so findet man eine Anzahl von weißglänzenden, harten Fragmenten, die größtenteils aus kohlensaurem Kalk bestehen. Ich habe diese Fragmente, denen keinerlei organische Bestandteile beigemischt waren, mehrmals sorgfältig gesammelt. Ihr Gesamtgewicht schwankte zwischen 3 und 5 g. In einigen Fällen ließ sich noch ungefähr erkennen, dass diese Kalkstücke stark angegriffene Reste von Skeletelementen von Seestern waren. In den meisten Fällen waren es aber nur minimale, undefinierbare Bröckchen.

Der in dem vorherbeschriebenen Falle ausgeworfene Armrest wog 8 g, also $\frac{1}{17}$ des Gesamtgewichts des betreffenden Seesterns. An seinem proximalen Ende war das Kalk der verschiedenen Platten größtenteils zerstört, so dass zwar die Form noch einigermaßen erhalten ist, derselben aber nur noch geringe Mengen von Kalkgerüst zu grunde liegen. Im distalen Ende, das die eigentliche Armspitze repräsentiert, ist das Kalkgerüst der Platten noch ziemlich gut erhalten, obwohl auch hie und da angegriffen. Die Stachel sind durchweg zerstört, die Epidermis und oberflächlichen Bindegewebslagen sind entfernt. Das noch übrige organische Gewebe ist erweicht und hat seine Widerstandsfähigkeit verloren.

Aehnliche Versuche habe ich auch mit andern Seesternern wie *Astropecten*, *Echinaster*, *Ophidiaster*, *Luidia* angestellt und immer dieselben Resultate erhalten. Selbst Exemplare von *Asterias glacialis* von gewaltiger Größe und von solcher Kraft, dass es für einen Menschen nicht leicht ist, sie von einer Unterlage, an die sie sich angeheftet haben, abzureißen, unterlagen widerstandslos ihren Feinden.

Es fragt sich nun, welche Deutung wir den oben mitgeteilten Beobachtungen zu geben haben.

Seit Troschel¹⁾ in Messina die Entdeckung machte, dass *Dolium galea* eine Flüssigkeit auszuspritzen vermöge, die außerordentlich reich ist an freier Schwefelsäure, ist diese merkwürdige Thatsache der Ausgangspunkt zahlreicher Untersuchungen gewesen. Drei Fragen waren es, die sich sofort den Naturforschern aufdrängen mussten:

- 1) Welches Organ produziert diese Säure?
- 2) Welche physiologisch-chemischen Vorgänge finden bei der Ausscheidung statt und ermöglichen die Bildung eines Stoffes, der sonst ganz allgemein in dieser Konzentration auf organische Substanzen zerstörend wirkt?
- 3) Welches ist der Zweck der Ausscheidung?

Die erste Frage ist eine morphologische, die zweite eine physiologische, die dritte endlich gehört in das Gebiet der Biologie. Meine Beobachtungen haben allein auf letztere Frage bezug, und ich werde daher in den folgenden Auseinandersetzungen sie allein berücksichtigen.

Zur Orientierung sei bemerkt, dass das saure Sekret in zwei großen Drüsenmassen erzeugt und aufgespeichert wird, die meist symmetrisch zu den Seiten des Magens liegen. Die langen Ausführgänge führen nicht in den Magen, sondern sie steigen zu den Seiten der Speiseröhre empor und münden an deren Eingang rechts und links neben der Radula.

Die Frage nach dem Zweck der Sekretion einer so starken Säure ist zwar von den meisten Autoren berührt worden, die in morphologischer oder physiologischer Beziehung über die Schwefelsäureausscheidung der Schnecken gearbeitet haben. So viel mir bekannt geworden ist, hat aber nur Panzeri in den beiden oben zitierten Arbeiten dieser Frage einer eingehenden Untersuchung unterzogen.

Was den Zweck der Ausscheidung anlangt, so wären vier verschiedene Möglichkeiten in betracht zu ziehen:

- 1) Die Säure dient den Tieren zum Einbohren in Kalkfelsen.
- 2) Die Säure dient als Verteidigungswaffe.
- 3) Die Säure ist ein Ausscheidungsprodukt des Körpers ähnlich wie der Harnstoff, hat also gar keine Funktion mehr zu erfüllen.
- 4) Die Säure ist bei der Verdauung beteiligt.

Die erste Möglichkeit ist ohne weiteres auszuschließen, da keine der Schnecken, welche durch bedeutende Säureproduktion ausgezeichnet ist, oder auch deren nähere Verwandten in Felsen bohrt. Starke Säureproduktion fand Panzeri bei folgenden Arten: von Prosobranchiern bei *Dolium galea*, *Cassis sulcosa*, *Cassidaria echinophora*, *Tritonium*

1) Troschel, Poggendorff's Annalen, Bd. 93, 1854, S. 614 oder Journal für prakt. Chemie, Bd. 63, 1854, S. 170; aus dem Monatsbericht der Berliner Akademie, 1854.

nodiferum, *T. hirsutum*, *T. corrugatum*, *T. cutaceum*; von Opisthobranchiern bei *Pleurobranchidium Meckelii*, *Pleurobranchus tuberculatus*, *P. testudinarius*, *P. brevifrons*. Ferner wurden noch bei verschiedenen *Murex*-Arten Spuren von Schwefelsäure gefunden.

Dagegen ist die zweite Möglichkeit, nämlich die, ob vielleicht die Säure die Funktion hat, als Verteidigungswaffe zu dienen, eingehender zu prüfen. Dass die Tiere unter Umständen, die freilich als ganz ungewöhnliche betrachtet werden müssen, jenes Sekret als Waffe benutzen, daran lässt sich nach den Beobachtungen des Entdeckers jenes merkwürdigen Sekrets, Troschel's, nicht zweifeln. Er schreibt: „Als man einem Tiere (*Dolium galea*) die dünne Schale in der Gegend der Spira zerschlug, streckte es sich weit aus der Schale und hob auch den Rüssel so weit aus dem Munde hervor, dass er eine Länge von 6—7 Zoll und eine Dicke von 1 Zoll erhielt. Mit diesem Rüssel fuhr das Tier nach allen Seiten umher, wie wenn es sich verteidigen wollte. Als man den Rüssel nahe vor seinem etwas trompetenartig erweiterten Ende mit zwei Fingern anfasste, spritzte das Tier plötzlich einen dicken Strahl einer glashellen Flüssigkeit aus, der einige Fuß weit auf den Fußboden des Zimmers fiel, auf dessen Kalkplatten man sogleich ein stark schäumendes Aufbrausen sah“. Die Flüssigkeit enthielt nach Böderker 2,7% freie und 1,4% an Basen gebundene Schwefelsäure und außerdem 0,4% freie Salzsäure. Ähnliche Resultate wie Troschel erhielt Panceri bei *Pleurobranchidium* und bei *Pleurobranchus aurantiacus*, aber auch bei ihnen erst nach langdauernder Reizung und Misshandlung der Tiere.

Obschon nun diese Experimente ganz klar beweisen, dass unter Umständen das Sekret zur Verteidigung benutzt wird, ist damit seine eigentliche Funktion noch keineswegs aufgeklärt. Panceri macht in dieser Beziehung mit Recht folgendes gegen Troschel geltend: „E strano però, che animali provisti di chonechiglie robustissime come quelle dei *Tritonium*, che solo a colpi di martello si possono infrangere, e di più chiuse completamente da grossi opercoli cornei, abbiano la stessa secrezione dei pleurobranchi dal corpo molle privo di ogni guscio, come il *Pleurobranchidium*, ovvero provisto di tenuissime conchiglie interne. La sola retrazione basta a difendere i *Tritonium* e gli altri, e lo stesso *Dolium*, abbenchè manchi di operculo e mostri ampia superficie del piede allo scoperto quando è retratto, presenta quest' organo così duro nella contrazione, che non sarebbe possibile ad alcuno dei più temibili abitatori del mare di portargli offesa. Posto anche che, come a difesa, si giovassero della ejaculazione del liquido acido, questo si diffonderebbe tosto nell' acqua, perdendo ogni efficacia“.

Panceri kommt aufgrund dieser, wie mir scheint, durchaus richtigen Erwägungen zu dem Schlusse, dass die Funktion des Sekrets unmöglich in erster Linie die einer Verteidigungswaffe sein könne. Da er nun aus später zu erörternden Gründen auch jede bei der Ver-

daung wirksame Thätigkeit der sauren Ausscheidung ausschließen zu müssen glaubt, sieht er sich zu dem Schlusse gedrängt, die saure Ausscheidung der erwähnten Schnecken einfach für ein Exkret zu erklären, durch das die schwefelsauren Verbindungen des Meerwassers, die durch das offene Gefäßsystem der Tiere in ihr Blut und ihre Säfte eingetreten sind, wieder ausgeschieden werden. Er erklärt die Säure für das „caput mortuum“ chemischer Reaktionen und vergleicht sie direkt mit dem Harnstoff. Zu ähnlichen Schlüssen kommt Maly¹⁾, der die Säure für ein Exkret, ein Nebenprodukt anderer noch unbekannter Prozesse hält, wie etwa die Ausscheidung und Entleerung der Gallenfarbstoffe in den Darm bei den Säugetieren.

Die Auffassung des ausgezeichneten italienischen Forschers ist an und für sich wenig wahrscheinlich und entbehrt so durchaus jeder positiven Begründung, dass wir sie wohl auf sich beruhen lassen können, bis sich irgendwelche thatsächliche Anhaltspunkte zu ihrer Aufstellung oder Widerlegung bieten werden. Ist es wohl glaublich, dass eine derartige Ausscheidung der in das Blut gedrunghenen Schwefelverbindungen in Form von ziemlich konzentrierter Schwefelsäure sich bei einer Anzahl verwandtschaftlich gar nicht zusammengehöriger Schnecken entwickelt haben soll, während doch alle Schnecken inbezug auf das umgebende Meerwasser unter gleichen Bedingungen leben?!

Alle Autoren, die über das uns beschäftigende Phänomen geschrieben haben, fassen die Möglichkeit ins Auge, die Flüssigkeit könne bei der Verdauung eine Rolle spielen. So weit ich aber die Literatur kenne, haben sich alle gegen diese Möglichkeit ausgesprochen. Drei Gründe sind für diese Ablehnung bestimmend gewesen.

Erstens hielt man die Beteiligung des Saftes bei der Verdauung, die man sich immer nur im Magen vorgehend dachte, deshalb für sehr unwahrscheinlich, weil dann das Sekret der dicht neben dem Magen liegenden Drüsen zuerst in den langen, der Speiseröhre parallelen Ausführgängen den weiten Weg bis zur Mundöffnung aufwärts hätte machen müssen, um dann rückwärts dieselbe Strecke durch die Speiseröhre zum Magen zurückzulegen.

Ferner schien es nach den Befunden von Troschel und von Panceri sicher, dass der Saft gar nicht in den Magen gelangte. Denn es wurde im Magen verschiedener hierhergehöriger Schnecken Spicula von Schwämmen, Holothurien, Ascidien gefunden, deren Kalksubstanz noch unverändert aus kohlensaurem Kalk bestand und bei Benetzung mit dem sauren Sekret sich unter Aufbrausen in schwefelsauren Kalk verwandelte. Hieraus schloss man, dass das Sekret gar

1) R. Maly, Notizen über die Bildung freier Schwefelsäure und einige andere chemische Verhältnisse der Gastropoden, besonders von *Dolium galea*. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften, Bd. 81, 1880.

nicht während der Nahrungsaufnahme, sondern zu andern Zeiten nach außen ergossen würde.

Drittens endlich hat Krukenberg¹⁾ nachgewiesen, dass die acidogenen Drüsen von *Cassidaria* keine Enzymdrüsen sind, und Maly²⁾, der das Sekret von *Dolium galea* untersuchte, konnte feststellen, dass es weder peptische noch tryptische noch amylolytische Wirkung besäße.

Alle drei Gründe zusammen schienen eine Beteiligung des Sekrets bei der Verdauung auszuschließen. Nur Krukenberg lässt die Möglichkeit offen, dass die Ausscheidung dazu beitragen könne, die aufgenommene Nahrung der peptischen Verdauung zugänglich zu machen. Wunderbar erscheint ihm aber dann immer noch der Säurereichtum und die große Menge des Sekretes, deren Deutung durch einen Nutzen bei der Verdauung nicht geliefert werde.

Wie ich glaube, rücken die oben mitgeteilten Beobachtungen die ganze Frage in ein anderes Licht. Es scheint unzweifelhaft und soll später noch ausführlich bewiesen werden, dass das Sekret bei der Verdauung insofern eine Rolle spielt, als es den kohlensauen Kalk zerstören hilft, der den Geweben der meisten Tiere eingelagert ist, welche die Lieblingsnahrung jener Schnecken bilden. Insofern ist es in der That nicht sowohl beim Verdauungsprozess als beim Kauprozess wirksam, und von diesem Gesichtspunkt aus erklärt sich ganz ungezwungen alles, was bisher wunderbar oder besser gesagt unverständlich erschien.

Zunächst hat die Thatsache nichts Wunderbares mehr, dass die Drüsen nicht in den Magen sondern mittels sehr langer Ausführgänge direkt neben der Radula ausmünden. Wir werden nachher sehen, dass hier eine äußerst zweckmäßige, eigentlich selbstverständliche Einrichtung geschaffen ist. Auch der Mangel eines Enzyms oder Ferments wird uns nicht wundern; hat doch das Sekret mit der Verdauung der organischen Teile der Nahrung nichts zu thun. Ebenso wenig wird es uns befremden, dass wir gelegentlich auch unzerstörte Kalkteilchen im Magen unserer Tiere finden. Bei der großen Menge von Kalk, der zerstört werden muss, ist es ja sehr begreiflich, dass ab und zu auch einige unzerstörte Partikelchen in den Magen gelangen.

Die Hauptfrage ist die: da kein Zweifel darüber bestehen kann, dass unsere Schnecken, vor allem *Tritonium* und *Dolium*, äußerst kalkreiche Tiere fressen und auflösen, geschieht die Zerkleinerung und Auflösung der Tiere bloß auf mechanischem Wege und durch Auflösung der organischen Substanzen, oder wird auch das Kalkskelet

1) C. Fr. W. Krukenberg, Ueber die Verdauungsvorgänge bei den Cephalopoden, Gastropoden und Lamellibranchiaten. Untersuchungen des physiologischen Instituts der Universität Heidelberg, Bd. II.

2) l. c.

der Tiere auf chemischem Wege angegriffen und zerstört? Die letztere Alternative ist nun unbedingt zu bejahen, denn die Unmöglichkeit, einen großen *Asterias* allein mit den mechanischen Mitteln zu zerkleinern, wie sie ein *Tritonium* in seinem Kauapparat besitzt, liegt auf der Hand. Dass aber die Auflösung des Tieres nicht etwa von einer Verdauung der organischen Bestandteile desselben seinen Ausgang nimmt, wird durch den oben beschriebenen Fall der halb aufgelösten Armspitze bewiesen. Die am meisten angegriffenen (proximalen) Teile derselben enthalten gar keinen Kalk mehr, sondern nur noch organische Reste. Gegen die Spitze hin bessert sich der Erhaltungszustand und nimmt auch der Kalkgehalt im Hautskelet zu. Ich erinnere dabei daran, dass die Spitze am spätesten von dem *Tritonium* in die Mundhöhle aufgenommen wurde.

Da wir also an einer chemischen Zerstörung des Kalkskelets nicht zweifeln können, haben wir uns nach dem chemischen Agens umzusehen, das so bedeutende Wirkungen hervorbringt. Von diesem Standpunkt aus wird uns nun weder die Menge noch die Konzentration der von den Schnecken ausgeschiedenen Mineralsäuren unerklärlich erscheinen.

Die Angaben über die Konzentration des Sekrets schwanken ungemessen. 2,18% ist der niedrigste, 4,25% der höchste¹⁾ Prozentgehalt an freier Schwefelsäure, der angegeben wird. Salzsäure wurde ebenfalls in wechselnden Mengen 0,4% bis 0,6% gefunden, also immer in so kleiner Menge, dass diese Säure gegen die Schwefelsäure ganz zurücktritt.

Ich habe eine Anzahl von *Asterias glacialis* auf das Gewichtsverhältnis ihres Skelets zum gesamten Körpergewicht untersucht, indem ich zuerst die ganzen Tiere wog und dann die organischen Stoffe durch langdauerndes Kochen in Kalilauge zerstörte. Das Gewicht des Kalkskelets betrug fast in allen Fällen über $\frac{1}{3}$ des gesamten Körpergewichts.

Aus einer Analyse von Brunner in Oskar Schmidt's Zoologie entnehme ich, dass die Skeletplatten von *Echinus lividus* nach Abzug der organischen Bestandteile etwa 96% kohlensauen Kalk und 4% andere Salze enthalten. Demnach, wenn wir eine ähnliche Zusammensetzung auch für Asteriden zugrunde legen, was wir wohl dürfen, da es auf minutiöse Bestimmungen hier nicht ankommt, würde eine *Asterias glacialis* von 135 g Körpergewicht ein Skeletgewicht von 45 g besitzen, und hiervon würden weit über 40 g auf den kohlensauen Kalk fallen. Um 1 g kohlensauen Kalk in schwefelsauen Kalk zu ver-

1) Preyer (Sitzungsber. d. niederrhein. Ges. f. Natr. u. Heilk. zu Bonn, 1866, S. 6—9) fand sogar 4,88% freie Schwefelsäure. Seine Analyse wurde jedoch an lange Zeit hindurch aufbewahrtem, nicht an frischem Sekret vorgenommen.

wandeln, braucht man 0,98 g reine Schwefelsäure, für 40 g also 39,2 g Schwefelsäure. Rechnen wir nun 4% als die durchschnittliche Säurekonzentration des Sekrets, wobei wir den Durchschnittswert für Schwefelsäure etwas zu hoch setzen, um der Einfachheit wegen ganz von der in geringer Menge vertretenen Salzsäure abstrahieren zu können, so finden wir, dass 980 g, also etwa ein Liter des Sekrets dazu gehören würde, um allen kohlensauen Kalk des Seesterns in schwefelsauren Kalk zu verwandeln. Nun wird allerdings nicht aller kohlensaurer Kalk in schwefelsauren verwandelt, sondern wir finden nach der Mahlzeit immer noch einige unveränderte Kalkbrocken, die gleich beim Kauen durch den Mund ausgeworfen wurden, oder auch unangegriffen den ganzen Verdauungstraktus passiert haben. Auch ist denkbar, dass bei der starken Kohlensäure-Entwicklung sich geringe Mengen Kalk direkt in dem kohlensäurereichen Wasser gelöst haben. Dem steht aber auf der andern Seite entgegen, dass gar nicht alle Säure ausschließlich auf den Kalk hat wirken können, sondern mit organischen Geweben in Berührung gekommen und mit diesen Verbindungen eingegangen ist. Diese Werte lassen sich nicht bestimmen, und meine Rechnung hat keinen Anspruch auf vollkommene Genauigkeit, sondern kann nur eine ungefähre Vorstellung von der verbrauchten Flüssigkeitsmenge geben. Darauf kommt es aber hier allein an.

Vielen Lesern wird sich schon die Frage aufgedrängt haben: welchen Nutzen hat es für die Schnecke, den kohlensauen Kalk des Seesterns oder des Schwammes in schwefelsauren zu verwandeln, da doch auch der schwefelsaure Kalk in Wasser nur wenig löslich ist? Warum wird nicht allein Salzsäure ausgeschieden, der den Kalk wirklich lösen würde? Dieses Bedenken ist leicht zu beseitigen. Bringt man nämlich einen Seestern oder eine Ophiure in schwefelsäurehaltiges Wasser und setzt so lange neue Säure zu, bis aller kohlensaurer Kalk in schwefelsauren verwandelt ist, so erfolgt allerdings keine Auflösung des Kalkskelets. Nimmt man nun aber das Tier zwischen die Finger, so lässt sich das Skelet mit leichter Mühe durch gelindes Reiben in ein feines Pulver zerbröckeln, was vorher bei Formen mit starkem Skelet vollkommen unmöglich gewesen wäre.

Nun hat es für die Schnecke durchaus keinen Nutzen den Kalk aufzulösen, sondern das Tier braucht ihn nur in einen Zustand zu bringen, in welchem er den Zutritt der eigentlichen Verdauungssäfte zu den organischen Geweben nicht mehr hindert. Dies geschieht auf die Weise, dass successive kleine Skeletpartien durch Schwefelsäure in schwefelsauren Kalk verwandelt und dann mittels der Feile, die das Tier in seiner Radula besitzt, zerbröckelt werden. Ich stelle mir dies so vor: das Tier zerbröckelt die Oberfläche einer starken Skeletplatte, die es mit der Säure angeätzt hat. Kommt es nun auf tiefere Stellen, auf welche die Säure noch nicht eingewirkt hat, und wo daher der kohlensaure Kalk der Radula stärkern Widerstand ent-

gegensetzt, so lässt es aus den dicht neben der Radula gelegenen Oeffnungen der Ausführwege der Säuredrüsen einige weitere Tropfen des Sekrets austreten. Diese Einrichtung bringt eine Ersparnis des ohnehin schon in großer Menge erforderlichen Sekrets mit sich.

Dass dem so ist, dass die Schnecke nicht blindlings ihre Nahrung mit Schwefelsäure überschwemmt, schließe ich aus zwei Befunden. Füttert man die Schnecken mit Fischen, so wird mittels der Radula das Fleisch aufs sauberste vom Skelet abgeschält, dieses selbst aber, das dem Prozess keinerlei Hindernisse in den Weg legt, in unangegriffenem Zustande wieder ausgeworfen. Es ist leicht sich hievon zu überzeugen und liefert den klaren Beweis, dass die Schnecke ihre Säure nur da bei dem Kauprozesse ausscheidet, wo eine Umhüllung oder Durchdringung der Gewebe mit Kalk diese der Zerkleinerung und weiteren Verdauung unzugänglich macht. Aber dass auch bei solchen Objekten nur immer kleine Stellen mit Säure angeätzt werden, und der schwefelsaure Kalk sofort von der Radula fortgebürstet wird, lehrt folgender Befund. Jenes oben erwähnte Armstück, dessen Kalk schon größtenteils entfernt war, das aber immer noch reichliche Kalkreste enthielt, wurde auf seine chemische Zusammensetzung untersucht. Ich vermutete nämlich, dass der übrig gebliebene Kalk größtenteils schwefelsaurer Kalk sein würde. Dies war aber nicht der Fall, es fand sich sogar weniger schwefelsaurer Kalk als bei gewöhnlichen Tieren, eine Thatsache, die sehr auffällig ist, die aber vielleicht durch die Annahme ihre Erklärung findet, dass das Tier bei seinem starken Verbrauch an Schwefelsäure alle Schwefelverbindungen, die ihm zugänglich werden, sofort löst und aufnimmt, um sie wieder in Schwefelsäure zu verwandeln.

Eine genauere chemische Untersuchung wird hierüber Licht schaffen und wird wahrscheinlich noch viele neue und wichtige Thatsachen zutage fördern, die mir verborgen geblieben sind. Ueberhaupt ist eine gründliche Untersuchung des Gegenstandes vom physiologisch-chemischen Standpunkte aus durchaus notwendig. Zu einer derartigen Arbeit fühlte ich mich nicht befähigt und bin daher allen diesbezüglichen Fragen möglichst ausgewichen. So viel aber wird, wie ich hoffe, festgestellt sein, dass wir in den oben erwähnten Meeresschnecken Spezialisten zu erblicken haben, die die Schutzanpassung, die viele Meerestiere durch Bedeckung und Durchdringung ihrer Gewebe mit Kalkausscheidungen entwickelt haben, durch eine Gegenanpassung, die Ausscheidung freier Mineralsäuren, aufwiegen und überbieten. Wahrscheinlich steht auch die bedeutende Größe, die die meisten der hierhergehörigen Schnecken erreichen, mit der leichten und mühelosen Art ihres Nahrungserwerbs in einem gewissen Zusammenhang. Denn die Holothurien und Seesterne, die in solcher Menge den Boden der Meere bevölkern, sind ihnen schutzlos preisgegeben. Von praktischem Interesse ist es dabei, dass die räuberischen, den Austernbänken so

schädlichen Seesterne in *Dolium* und *Tritonium* furchtbare Gegner besitzen, letztere Tiere also zu den entschieden nützlichen zu rechnen sind.

Aus den Verhandlungen gelehrter Gesellschaften.

Naturforschende Gesellschaft zu Rostock.

Sitzung vom 28. April 1888.

Herr O. Nasse sprach über Gärungen und Fermentationen. Der Vortragende gedenkt im Eingang der aus der Lehre von der Alkohol-Gärung bekannten Thatsachen von dem verschiedenen Verhalten der Kohlehydrate gegenüber der Bierhefe *Saccharomyces cerevisiae*.

Als nicht gärungsfähig kennt man von den weiter verbreiteten Kohlehydraten die der Stärkegruppe, insbesondere Amylum, Glykogen und Inulin, sowie den Milchzucker.

Als indirekt gärungsfähig in dem Sinne, dass durch ein in der Hefe vorgebildetes und aus derselben leicht zu gewinnendes lösliches Ferment oder Enzym das betreffende Kohlehydrat zunächst in gärungsfähige Kohlehydrate umgewandelt wird, kennt man bis jetzt einzig den Rohrzucker. Bemerkenswert muss der Vergleich des Rohrzuckers mit den ihm nahestehenden Kohlehydraten Maltose und Milchzucker erscheinen, insofern dieselben ganz wie der Rohrzucker durch verdünnte Säuren unter Wasseraufnahme in zwei Moleküle von der Formel $C_6H_{12}O_6$ zerspalten werden (daher ihr Name: Saccharobiosen), dagegen von jenem Enzym der Hefe, dem Invertin, gar nicht angegriffen werden.

Als direkt gärungsfähig endlich sind zu nennen nebst der eben erwähnten Maltose zwei Kohlehydrate der sogenannten Traubenzuckergruppe: Dextrose und Levulose. Ueber eine in dieselbe Gruppe gehörige Zuckerart, die Laktose, eines der beiden Spaltungsprodukte des Milchzuckers, lauten die Angaben in der Literatur verschieden, bald wird dieselbe als direkt gärungsfähig bezeichnet, bald nicht. Nenerdings schien Klarheit in die Angelegenheit gekommen zu sein durch eine Untersuchung von Bourquelot (Compt. rend. CVI. S. 283. 1888), nach welcher reine Laktose allerdings der alkoholischen Gärung nicht fähig sein, wohi aber die Gärung eingehen soll, wenn gleichzeitig eine der direkt gärungsfähigen Zuckerarten zugefügt wird. Es soll in diesem Falle die Laktose vollständig vergären, freilich im günstigsten der untersuchten Fälle, nämlich wenn auf 1 Molekül Laktose 1 Molekül Dextrose zugefügt wird, erst in 8 Tagen, bei geringerem Zusatz von Dextrose erst nach Wochen. Diese Art der Gärung, die man „sekundäre Gärung“ nennen könnte; bietet offenbar großes Interesse. Es ließe sich aufgrund derselben u. a. verstehen, wie in den Organismen oder dem Protoplasma Stoffe, für welche eine zerlegende Kraft nicht nachzuweisen ist, doch zerlegt und schließlich ganz verbrannt werden. Es knüpfte sich ferner daran die naheliegende Frage, ob es auch eine „sekundäre Fermentation“ gibt. Hierunter wäre der Vorgang zu begreifen, dass eine Substanz, die an und für sich durch ein bestimmtes Ferment nicht gespalten würde, doch der Spaltung unterliege, sobald gleichzeitig ein spezifisches Substrat dieses Fermentes zersetzt würde. Von vornherein erschien die Möglichkeit einer solchen sekundären Fermentation nicht undenkbar, wenn man ausging von der vor Jahren von dem Vortragenden erwiesenen Thatsache, dass bei jedem Fermentprozess im ersten Moment das Enzym mit seinem Substrat zu einer wenn auch nur losen Verbindung (Molekular-Verbindung) zu-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1889-1890

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Semon Richard Wolfgang

Artikel/Article: [Ueber den Zweck der Ausscheidung von freier Schwefelsäure bei Meeresschnecken. 80-93](#)