Der Kalk im Haushalte der Mollusken 2.,

mit besonderer Berücksichtigung des physiologischen Vorganges der Schalenbildung.

Von PAUL TRÜBSBACH, Chemnitz.

(Manuskript eingegangen im Juli 1944.)

„Sammelt Tatsachen, aus ihnen wächst der Gedanke."
(BUFFON.)

A.

Der 1. Teil dieser Arbeit (Arch. Moll. 75, 1943) hat eine Reihe von Fragen gezeitigt, die, soweit sie allgemeines Interesse haben, nachstehend behandelt werden sollen.

Zunächst ist zu meinem Erstaunen der Eindruck entstanden, daß ich dem Kalke überhaupt keine besondere Bedeutung für das Schneckenleben beimesse. Diese Auffassung entspricht durchaus nicht den Tatsachen, nur für die Ernährung habe ich dem geologischen Kalke jeden Einfluß abgesprochen. Dagegen halte ich nach wie vor diesen Kalk in ökologischer Beziehung für einen der wichtigsten Faktoren für Fauna und Flora.

Um in diesem Zusammenhange nur eines der in der Literatur niedergelegten Beispiele zu erwähnen, will ich auf die Arbeit von LAIS (1931) verweisen, wo geschildert wird, wie *Fruticicola villosa* (STUDER) sich nur an der Kalkschicht der Oberfläche halten kann, nicht aber auf dem angrenzenden kristallinen Gestein, als ein zwingender Beweis, daß diese Schnecke ihren Wärmebedarf in unseren Breiten nur auf Kalk befriedigen kann. Gegenüber diesem geradezu klassischen Beispiel erscheinen die Angaben von REICHERT (1927) ziemlich bedeutungslos, denn es ist doch eigentlich selbstverständlich, daß eine Schnecke sich nur den Aufenthalt wählt, der ihren Bedürfnissen nach Schutz, Wärme, Feuchtigkeit und Nahrung entspricht. Ob diese Örtlichkeiten einige wenige Prozente mehr Kalk als eine andere aufweisen, ist ohne Belang, wenn nur sonst die Summe der Lebensbedingungen gegeben ist.

Eine wie geringe Rolle der Kalk auch ökologisch spielen kann, geht aus folgender Beobachtung hervor, die mir Oberlehrer FR. STOPP, Radebeul bei Dresden, mitteilte:

„In der weiteren Umgebung Radebeuls kenne ich nur eine Siedlung der *Helicella obvia* (HARTMANN). Hunderte von Tieren jeden Alters leben bei großer Hitze an Pflanzenstengeln. Es handelt sich um reinen Sandboden. *Weingärtneria, Chondrilla, Arenaria* und *Rumex acetosella* sowie *Bromus tectorum* deuten auf Kalkmangel hin."

Ich bat Herrn STOPP um Zusendung einiger Belegexemplare und 250 Gramm des Bodensandes. Bei der chemischen Untersuchung des letzteren ergab sich, daß der Gehalt an Kalk (CaO) nur 0,19% beträgt. Es ist somit der zwingende Beweis geliefert, daß die Helicellen nur ein besonders warmes Klima benötigen, aber nicht den Bodenkalk, und daß meine Auffassung mit den Tatsachen übereinstimmt. Ob *Helicella obvia* von selbst hier zugewandert oder eingeschleppt worden ist, spielt keine Rolle, das Wesentliche ist, daß sie sich eingebürgert und fortgepflanzt hat. Daß sie den zur Schalenbildung benötigten Kalk nicht dem Sandboden direkt entnehmen kann, bedarf keines Beweises, sie ist vielmehr darauf angewiesen, den in den Futterpflanzen enthaltenen Kalk hierzu

zu verwenden. Um mir selbst ein Bild zu machen von dem Kalkgehalte der Futterpflanzen, habe ich eine Probe von *Weingärtneria canescens* im Laufe des Sommers aus Gohlis an der Elbe mitgenommen und den Kalkgehalt in der Trockensubstanz zu 0,43% bestimmt, während der Sandboden, auf dem dieses Gras wächst, nur einen Kalkgehalt von 0,04% aufweist.

Wie wenig der Kalkgehalt des Bodens ökologisch in Frage kommt, beweisen folgende Beispiele aus dem Schrifttum:

So berichtet UHL (1927), daß auf dem Rheingrafenstein, der einen roten Porphyrstock darstellt, von C. R. BOETTGER 1912 an dieser Stelle die ausgesprochen wärmeliebenden Schnecken *Zebrina detrita* (MÜLLER) und *Chondrula quadridens* (MÜLLER) gefunden wurden, die man anderwärts nur auf dem wärmespendenden Kalkboden findet. Der Verfasser sagt zwar: „Endlich fehlt auch der zum Aufbau des Gehäuses nötige Kalk nicht. Davon zeugen Kalkkrusten auf den Gesteinsflächen." Diese Auffassung, daß der geologische Kalk zum Aufbau des Gehäuses dient, ist abwegig, wie ich im 1. Teil dieser Arbeit nachgewiesen habe. Daß diese Kalkkrusten das Wärmebedürfnis der genannten Arten befriedigen können, ist völlig ausgeschlossen, vielmehr erfolgt dasselbe durch den Umstand, daß, wie UHL selbst angibt, der Porphyrblock „vor allem an seiner SW-Seite von den Sonnenstrahlen stark erhitzt wird".

Weiter berichtet HÄSSLEIN (1938), daß auf besonnten Kordieritgneisfelsen *Abida frumentum, Helicella ericetorum, Helicella candicans* und *Euomphalia strigella* zu finden sind. Kordieritgneis ist ein fast kalkfreies Gestein, aus dem diese Schnecken keinen Kalk für den Schalenaufbau entnehmen können, sondern nur aus der Pflanzenwelt. Auch hier hatte der überdurchschnittlich warme Biotop die Veranlassung gegeben, daß sich Schnecken, die nachweislich auf höhere Temperaturen angewiesen sind, hier ansiedeln und halten konnten.

EHRMANN, der in der Kalkfrage anderer Auffassung war als ich, legte mir vor ungefähr 15 Jahren die Frage vor, warum *Chondrina avenacea* nur an reinen Kalkfelsen, nicht aber an Dolomit vorkomme und daß, wo beide Gesteinsarten aneinandergrenzen, diese Schnecke niemals auf den Dolomit hinüberwechsele. EHRMANN wollte damit beweisen, daß nur reiner Kalk den Ansprüchen der Ökologie und Ernährung dieser Art entspreche. Diese Frage habe ich zur Genugtuung meines wissenschaftlichen Gegners damals nicht beantworten können. Ich habe aber diese Frage nicht vergessen, sondern mich stets damit beschäftigt, wenn ich in Kalkgebieten weilte. Heute kann ich darauf antworten. *Chondrina avenacea* ist zur Ernährung auf endolithische Kalkflechten angewiesen, die auf Dolomit nicht fortkommen. Mit dem Kalkbedarf der Schnecke hat dies somit nichts zu tun. Der Dolomit besteht aus einem variablen Gemisch von Calciumcarbonat und Magnesiumcarbonat. Geringe Mengen Magnesia-Verbindungen sind überall im Erdboden zu finden, sind sogar nötig zum Aufbau des Chlorophyll-Moleküles, in großen Mengen dagegen wirken sie offensichtlich organfeindlich.

Es ist mir weiterhin sehr wertvoll gewesen, daß an mich die Frage gerichtet wurde, ob nicht schon vom Magen aus das Calcium-chlorid resorbiert werden könne. Ich habe darauf folgende Antwort gegeben: „Daß der Magen Alkohol ohne weiteres resorbiert, ist bekannt, auch von Zucker, wenigstens den Monosacchariden kann daselbe in ganz beschränktem Maße gelten. Bezüglich der Kalksalze, insbesondere des Calcium-chlorides, ist die Frage unbedingt zu ver-

neinen, da es viele Eiweißverbindungen, so auch das Hämoglobin des Blutes koaguliert, somit zum Gerinnen bringt.

Universitätsprofessor Dr. SCHMALFUSS legte mir weiterhin folgende Frage vor: Können nicht die Zellsäfte der Futterpflanzen von Schnecken, die Calciumcarbonat aufnehmen, so sauer sein, daß Kohlensäure aus dem Calciumcarbonat ausgetrieben wird? Meine Antwort lautete: „Wenn Schnecken geologischen Kalk zufällig, z. B. bei verschmutzter Nahrung, mit aufnehmen, so wird dieser Kalk, falls die Vegetabilien Überschuß an freier organischer Säure besitzen, von diesen aufgelöst werden und dem Verdauungsprozeß ebenso unterliegen wie die natürlichen Kalksalze der Pflanzen." Für diese Fragestellung, die auf eine Lücke in meiner Beweisführung hinweist, bin ich besonders dankbar, denn sie hat hohes theoretisches und praktisches Interesse, um allen Einwendungen zu begegnen. Für den Vorgang der Assimilation des Kalkes im Schneckenkörper bleibt aber auch unter Berücksichtigung dieses Vorganges die Tatsache bestehen, daß nur der organisch gebundene Kalk aufgenommen und zur Schalenbildung verwendet werden kann. Ich begrüße diesen Hinweis ganz besonders, da ich auch selbst bei meinen weiteren Studien, über die unten noch zu berichten sein wird, auf diese Erscheinung hingeführt worden bin.

Im Schrifttum finden sich ferner einige Angaben über Zuchtversuche, die beweisen sollen, daß die Schnecke zur Bildung der Schale auf den anorganischen Kalk angewiesen ist. Diese Angaben glaubte ich durch meine Beweisführung bereits widerlegt zu haben. Ich will jedoch der Vollständigkeit wegen noch nachträglich hierauf eingehen und zunächst betonen, daß ich die angeführten Beobachtungen keineswegs in Zweifel ziehe, nur den daraus gezogenen Schlußfolgerungen kann ich nicht zustimmen.

Ich selbst habe auch zu wiederholten Malen Zuchtversuche mit Schnecken vorgenommen, und zwar mit *Clausilia vetusta* und *Cepaea vindobonensis*, von denen ich versehentlich Exemplare mit nicht völlig ausgebildetem Mundsaume entnommen hatte und die ich in der Gefangenschaft zur Entwicklung desselben bringen wollte. Der Versuch ist fast vollkommen mißglückt. Mit dem Bodenkalk hat dieses negative Ergebnis nicht das mindeste zu tun, denn die beiden Arten entstammten dem praktisch kalkfreien Boden der Umgegend von Mittweida (Granulit) und Meißen a. d. Elbe (Quarzit-Porphyr). Auch von anderer Seite sind ganz entsprechende Beobachtungen gemacht worden. Der Mißerfolg liegt klar zutage. Wir können den Schnecken die ökologischen Umweltsfaktoren, die sie benötigen, in der Gefangenschaft einfach nicht geben. Es fehlt der Wechsel zwischen Tag und Nacht mit der Abkühlung und Taubildung, die den einzelnen Arten nötige Einstellung zur Sonnenbestrahlung und der erforderliche Schutz gegen zu starke Insolation, vielfach auch das entsprechende Futter. Auf einen recht wichtigen, ich möchte sagen ausschlaggebenden Faktor, den ich wegen Platzmangels leider nur kurz streifen kann, möchte wenigstens andeutungsweise hingewiesen werden. Das sind die ultravioletten Strahlen, die grundsätzliche Wichtigkeit für Tier und Pflanze besitzen und deren Fehlen Mangelkrankheiten, Verkümmerungen und den Tod höherstehender Lebewesen zur Folge hat. Es ist bekannt, daß das gewöhnliche Glas in den Fenstern und Terrarien diese Strahlen durch Absorption unwirksam macht, und es werden Tiere, denen durch die Gefangenschaft dieser natürliche Lebensfaktor entzogen wird, somit unter abnormen Verhältnissen gehalten, die in der ungenügenden

Aufnahme der Kalksalze zum Ausdruck kommen und wie bei Kindern zur Rachitis führen. Die ultravioletten Strahlen stehen in engster Verbindung mit den Vitaminen der Pflanze, die hinwiederum die Hormone der Tiere beeinflussen, denen die Steuerung der Nahrungsaufnahme obliegt. Auf eine eingehende Schilderung dieser überaus interessanten Zusammenhänge muß hier leider verzichtet werden.

Auch in der Insektenkunde, bei der wohl die meisten Zuchtversuche angestellt werden, machen sich die gleichen Verhältnisse geltend, so daß es bei vielen Arten nicht möglich ist, zum gewünschten Erfolge zu gelangen. Wie grundlegend sich die Gefangenschaft auswirkt, geht aus der Tatsache hervor, daß manche Falterraupen, die in der Natur friedlich nebeneinander leben, im Raupenkasten zum Kannibalismus neigen, sich totbeißen und aufzehren.

Ähnliches gilt auch für Schnecken. So beobachtete DEGNER (1928), daß *Cepaea nemoralis* im Terrarium die Gehäuse ihrer Artgenossen anknabberte, und RENSCH berichtet von einem intensiven Benagen von Eierschalen, Schneckengehäuse und Kalkstücken seitens einer Reihe südeuropäischer Arten. Ich will nun hierzu noch eine Ergänzung bringen. In diesem Jahre hatte ich einige Exemplare von *Eulota fruticum* von einem besonderen Fundorte eingetragen, doch genügte, um die Gehäuse der Sammlung einzuverleiben, die Entwicklung des Mundsaumes nicht, den ich durch gute Fütterung vervollständigen wollte. Die Schnecken wurden in einem geräumigen Glase gehalten, das mit einem Pappdeckel verschlossen war. Als Futter wurden reichliche Mengen von Salat, Karotten und Gurkenschalen angeboten und, wie aus den Fraßspuren sich ergab, auch angenommen. Nach einigen Tagen saßen aber sämtliche Schnecken an dem Pappdeckel, hatten tiefe Löcher hineingenagt, und die Cellulosereste lagen auf dem Futter. Auch in den Fäces konnten die unverdauten Fragmente des Holzes nachgewiesen werden. Nun behaupte ich aber nicht, die Schnecken brauchten Cellulose für ihren Organismus, sondern nehme mit gutem Grunde an, daß hier eine durch die Gefangenschaft bedingte Anomalie vorliegt gleich der, daß Eierschalen, Kalkstücke und eigene Artgenossen angenagt werden. Auch SCHMID (1929) beobachtete den gleichen Vorgang des Benagens von Pappe, er schreibt aber sehr richtig, „Fütterung braucht nicht Nahrungszufuhr zu bedeuten" und beweist dies noch damit, daß ausgehungerte Schnecken auch Hobelspäne annagten, deren Detritus im Kote nachweisbar war. Wenn die Autoren der Auffassung sind, daß das Annagen von kalkhaltigem Material zu dem Zwecke geschieht, um das Kalkbedürfnis zu befriedigen, so läßt diese Annahme jede zwingende Beweisführung vermissen, denn dazu würde in erster Linie die Feststellung gehören, daß das vorgelegte Futter kalkarm war und zwar so kalkarm, daß in den Fäces Kalk nicht vorhanden ist. Dann könnte man sich denken, daß die Schnecken zur Selbsthilfe geschritten wären und anorganischen Kalk aufgenommen hätten. Aber diese erforderliche Feststellung eines tatsächlichen Kalkmangels ist nicht erfolgt, und das Annagen von Schalen ist lediglich eine Beobachtung, die zu keinerlei Schlußfolgerung in der angegebenen Richtung berechtigt. Vielmehr handelt es sich hier, wie beim Fressen von Cellulose, um eine durch die Gefangenschaft ausgelöste pathologische Betätigung, die mit dem Futter und der tatsächlichen Ernährung in keinerlei Zusammenhang steht. Trotz 55jähriger Beschäftigung mit den Mollusken ist mir in freier Natur kein derartiger Vorgang bekannt geworden, und dabei sind

mir viele Tausende von Exemplaren durch die Hand gegangen. Gerade in unseren kalkarmen Gegenden müßten die leeren Gehäuse einen Anziehungspunkt ersten Ranges für die lebenden Schnecken bilden, um hier ihren „Kalkhunger" zu befriedigen. Ich habe nie etwas Derartiges bemerkt, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil die Schnecken in der freien Natur in der Pflanzennahrung alle die Stoffe vorfinden, die sie für ihren Organismus benötigen, also auch den Kalk.

Wenn KÜNKEL (1929) bei seinen Untersuchungen über *Vitrina brevis* annimmt, daß die Eihülle Kalkspatkristalle eingelagert enthält zu dem Zwecke, daß aus diesen die Schnecke im Embryonalzustande, solange noch keine Nahrungsaufnahme erfolgen kann, den für das Gehäuse notwendigen Kalk bezieht, so muß diese Auffassung grundsätzlich abgelehnt werden, weil sie sich im Widerspruche mit den elementarsten Grundbegriffen der Entwicklungslehre befindet. Die Eihülle hat nichts mit dem Embryo, dessen Ernährung und Entwicklung zu tun, sondern dient nur dem Zwecke des Schutzes des Embryos, der sich lediglich aus den in der befruchteten Eizelle enthaltenen Aufbaustoffen entwickelt. Die Eihülle entsteht erst sekundär und bleibt von der Eientwicklung bis zum fertigen Tiere ausgeschlossen. Bei manchen Schnecken ist die Eihülle stark kalkhaltig, bei anderen nur mit geringen Kalk-Einsprengungen versehen, bei vielen, z. B. den Wasserschnecken, praktisch kalkfrei (Laich). Und doch bauen sie alle gleichmäßig ihr Haus ohne Rücksicht auf den Kalkgehalt der Eihülle.

Es ist bedauerlich, daß öfter bei manchen sonst rühmlichst anerkannten Spezialisten die rechte Einstellung zum gesamten Tierreich vermißt wird, gleichsam als ob die Mollusken eine Sonderstellung im Tierreich einnehmen und als ob deren Entwicklung und Biologie ganz eigenen, sonst nicht beobachteten Gesetzen unterworfen wären. Kalkhaltige Eihüllen finden wir bei einem Teile der Reptilien und bei allen Vögeln, und das junge Hühnchen, das dem Ei entschlüpft, hatte in der Eizelle alle die Stoffe mitbekommen, die es zum Leben nötig hat, auch den Kalk zum Aufbau der Knochen, und läßt die kalkhaltige Eihülle unberührt. Die jungen Weinbergschnecken verfahren ebenso und besitzen beim Ausschlüpfen bereits die etwas kalkhaltigen Embryonalwindungen ihres Gehäuses, ohne daß sie auf den Kalkgehalt der Eihülle zurückzugreifen hätten.

Wenn KÜNKEL beim Zuchtversuche in der Eihülle den Kalk vermißt, so liegt das an den Begleiterscheinungen der Gefangenschaft, über die ich oben berichtete. Es liegt dieser Umstand auf der gleichen Linie, daß es RENSCH nicht glückte, voll kalkhaltige Schalen bei *Murella globularis* zu erzielen und ebensowenig mir bei der Entwicklung des Mundsaumes bei den angeführten Schneckenarten.

Wer sich die Mühe macht, die Eier von *Vitrina elongata*, die hier in Sachsen nicht allzu selten beobachtet wird, zu untersuchen, wird trotz der Kalkarmut des Bodens genügend Kalk in der Eihülle vorfinden. Über *Vitrina brevis* kann ich in dieser Richtung kein Urteil abgeben, denn die Art kommt hierzulande nicht vor, ist wohl zu den wärmebedürftigen Arten zu zählen, aber das eine geht mit aller Sicherheit aus den von KÜNKEL angestellten Zuchtversuchen hervor, daß, wenn diese Schnecke in der freien Natur Kalkkristalle ihrer Eihülle inseriert, während sie bei den Zuchtversuchen fehlten, diese letzteren nicht

den Bedingungen entsprachen, die die Schnecke in der freien Natur vorfindet. Somit können derartige Versuche in der Gefangenschaft der berechtigten Kritik nicht standhalten, sie fallen einfach unter die Bemerkungen, die ich generell über die von der Natur abweichenden Lebenserscheinungen gemacht habe. Die Schnecken haben bei den Versuchen von RENSCH *(Murella globularis)* und KÜNKEL *(Vitrina brevis)* den Charakter von erkrankten Tieren angenommen, die für die Prüfung normaler Lebenserscheinungen ausscheiden müssen. Es ist deswegen irrig, von in ihrem Stoffwechsel pathologisch beeinflußten Schnecken auf den normalen Ablauf der Kalkzufuhr zu schließen. Wenn angegeben wird, daß Kalkzugaben die Schäden einigermaßen beheben konnten, so könnte man höchstens annehmen, daß, wie ich oben ausgeführt habe, der Säuregehalt der Futterpflanzen den anorganischen Kalk zu fruchtsaurem Kalke löste, der resorptionsfähig von der Schnecke aufgenommen werden konnte. Auch bleibt die Frage durchaus offen, ob diese Besserung bei längerer Versuchsdauer von selbst eingetreten wäre auch ohne Zugabe von Kalk. Auf jeden Fall steht hier fest, daß durch diese Versuche nichts bewiesen ist, und daß offensichtlich mit untauglichen Mitteln am untauglichen Objekte eine Stütze für eine bisher niemals wissenschaftlich bewiesene Theorie geschaffen werden sollte.

Diese Versuche liegen schon einige Zeit zurück. Damals waren fast alle Malakozoologen der ebenso einfach erscheinenden wie einprägsamen Auffassung CLESSIN's, daß der geologische Kalk zum Aufbau des Gehäuses Verwendung findet, verhaftet, und die Erkenntnisse über Vitamine, ultraviolette Strahlen und Steuerung der Assimilation durch Vitamine und die Hormone des Tierkörpers waren noch strittig und gehörten noch nicht zum Allgemeingut der Wissenschaftler. Man muß somit diese Versuche aus dem Stande der damaligen Zeit verstehen, so daß in meiner Ablehnung der genannten Arbeiten vom heutigen Standpunkte aus kein abfälliges Urteil enthalten ist. Nur würde es sich empfehlen, wissenschaftlich überholte Angaben nicht als beweiskräftiges Material für die CLESSIN'sche Theorie auch heute noch weiterhin vorzubringen, und ich glaube den richtigen Weg zu gehen, wenn ich auf Widerlegung neuerer Arbeiten, die im gleichen Sinne gehalten sind, im Interesse der Leser verzichte, da in meinen bisherigen Darlegungen alles bereits enthalten ist, was zur Sache zu sagen wäre.

Das Wesen der Wissenschaft besteht nun darin, daß sie den Fortschritt sucht und nicht nur in der Ablehnung alter Auffassung sich erschöpft, sondern an deren Stelle neue Erkenntnisse bringt und statt mehr gefühlsmäßiger Auffassung exakte und zahlenmäßig festgestellte Beweise im Schrifttum niederlegt, so daß auch von anderer Seite diese Ergebnisse nachgeprüft werden können.

Da ich seit Jahren den Wunsch hatte, die Kalkfrage im Schneckenleben tunlichst allseitig zu erkennen und klarzustellen und Versuche in der Gefangenschaft nicht beweiskräftig sind, mußte versucht werden, alle Beobachtungen im Freien selbst anzustellen. Durch den freundlichen Hinweis meines Freundes O. ZABEL, Chemnitz, wurde ich darauf aufmerksam gemacht, daß auf dem Gelände der Kläranlage der Stadt Chemnitz auf Flur Heinersdorf sich unzählbare Mengen von *Cepaea nemoralis* vorfinden. Die Anlage umfaßt mehrere Hektar Boden und weist eine Anzahl Teiche auf, in denen der Schlamm sich absetzt. An den Rändern gedeihen in üppiger Fülle die Büsche von *Sambucus nigra*, und dazwischen stehen Dickichte von *Urtica*, im Herbste in fast undurch-

dringlichen mannshohen Beständen, dazwischen vereinzelte Stauden von *Artemisia vulgaris* und *Lappa officinalis*. Wo am Boden noch etwas Licht hinkommt, beobachtet man als niedrige Pflanzen *Chelidonium majus*, *Malachium aquaticum*, manchmal auch ganz vereinzelte Pflanzen von *Lamium*-Arten. An den Stauden der Brennessel und z. T. auch des Beifußes findet man die *Cepaea nemoralis* an manchen Stellen in unschätzbaren Mengen im ausgewachsenen wie im noch unentwickelten Zustande. Man erkennt die Fraßspuren an *Urtica* und beobachtet die Schnecke auch direkt bei der Nahrungsaufnahme an dieser Pflanze. An *Artemisia* konnte die gleiche Beobachtung im Freien nicht gemacht werden.

Im benachbarten Zschopau-Gebiete ist *Cepaea nemoralis* überaus selten und nur im unteren Teile des Flußlaufes in der Nähe menschlicher Wohnungen sparsam anzutreffen. Sie ist weit wärmeliebender als ihre nächste Verwandte *C. hortensis* und hat durch das offensichtlich warme Mikroklima, das bedingt ist durch die Zersetzung organischer Substanz, in dieser Kläranlage eine ganz außerordentliche Vermehrung erfahren. Diese durch die Verhältnisse bedingte fast monophage Lebensweise erschien mir überaus günstig, der Kalkfrage vom Ursprung bis zur letzten Bestimmung im Schneckenkörper analytisch nachzugehen.

Die Fragestellung war folgende: 1. wieviel Kalk enthält der Boden, 2. wieviel Kalk die Brennessel und der Beifuß, und 3. wieviel der Kot der Schnecken?

Auf diese sehr einfache Art bekommt man einen allseitigen Überblick, was die Pflanze an Kalk aus dem Boden herausholen und der Schnecke weitergeben kann, und ferner ob und wieviel davon die Schnecke unverbraucht in den Fäces der Natur wieder zurückerstattet. Ich habe sehr ausführliche Analysen vorgenommen, will aber hier nur den Kalkgehalt (bei den Futterpflanzen auch den Kaligehalt und die chemische Bindung) in Trockensubstanz angeben. Diese letztere Angabe ist notwendig, um Vergleiche vorzunehmen. Man muß bedenken — ich wende mich an einen chemisch nicht vorgebildeten Leserkreis —, daß der Boden je nach der Stärke des Regens oder der Trockenheit verschiedenen Wassergehalt anzeigen kann. Das gleiche gilt für die Futterpflanzen namentlich im Hinblick auf die Tatsache, daß im Frühjahre die jungen Pflanzen wasserreicher sind als im Herbste, wo sie z. T. verholzen, und der gleiche Umstand spricht bei den Fäces mit. Bei Reduktion des Kalkgehaltes auf die Trockensubstanz (ausgedrückt durch i. T.), also auf den gleichen Nenner, ergibt sich ein gutes Vergleichsbild.

1. Boden.

Die geologische Formation der Heinersdorfer Flur, das Rotliegende, ist an sich sehr kalkarm. Bei eingehender Prüfung des Untergrundes der Kläranlagen wurden 2 deutlich voneinander gekennzeichnete Arten der Bodenoberfläche — nur diese kommt auch für die Wurzeln von *Urtica* und *Artemisia* in Frage — festgestellt: Eine fast schwarze Moorerde, die ihren Ursprung mehr oder weniger dem Rohhumus verdankt, und eine braune Lehmerde.

Moorerde enthält i. T. 1,74 % Kalk (CaO)
Lehmerde enthält i. T. 1,43 % Kalk (CaO)

Der Boden ist somit als verhältnismäßig kalkarm zu bezeichnen.

2. Futterpflanzen.

Zeichenerklärung: i. T. = in Trockensubstanz, H. = Kläranlage Heinersdorf, P. = Pottenstein.

a) *Urtica* entnommen		5. 5. H.	19. 7. H.	17. 7. P.	13. 10 H.
Kalk (CaO)	i. T.	4,68 %	8,04 %	8,18 %	9,69 %
Citronensaurer Kalk	i. T.	14,04 %	24,12 %	24,54 %	29,07 %
Kali(K_2O)	i. T.	2,55 %	2,30 %	2,40 %	2,07 %
Citronensaures Kali	i. T.	5,58 %	5,04 %	5,26 %	4,54 %

b) *Artemisia* entnommen		6. 5. H.	19. 7. H.	17. 7. P.
Kalk (CaO)	i. T.	1,58 %	1,80 %	1,94 %
Citronensaurer Kalk	i. T.	4,74 %	5,40 %	5,82 %
Kali (K_2O)	i. T.	3,60 %	3,60 %	3,63 %
Citronensaures Kali	i. T.	7,89 %	7,89 %	7,96 %

Bei Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse bestätigt sich mein früher gemachter Hinweis, daß die Salze der Fruchtsäuren in Form von Calcium-Kalium Doppelsalzen vorhanden sind. Oxalsäure ist in *Urtica* und *Artemisia* nicht enthalten, ebensowenig ist Äpfelsäure nachweisbar. Die Fruchtsäure besteht somit im wesentlichen aus Citronensäure, und die Salze wurden als citronensaure berechnet.

Die Zahlen beweisen ferner, daß der Kalk-Gehalt allmählich im Laufe der Wachstumsperiode ansteigt, während der Kali-Gehalt, wenigstens bei *Urtica*, langsam um ein geringes abfällt.

Der Kalk-Gehalt ist, obgleich der Kalk des Bodens verhältnismäßig niedrig liegt, bei *Urtica* erstaunlich hoch.

Um einen Vergleich zu gewinnen, wie sich die Brennessel verhält, die auf ausgesprochenem Kalkboden wächst, habe ich von meinem Urlaube in Pottenstein (Fränkischer Jura) Stauden von *Urtica* und *Artemisia* mitgebracht und in der gleichen Richtung untersucht. Obgleich ich den sonstigen Angaben, daß auf Kalk wachsende Pflanzen einen besonders hohen Kalk-Gehalt aufweisen sollen, stets schon skeptisch gegenüber gestanden habe, war ich doch überrascht, daß der Kalk-Gehalt der Pflanzen auf kalkarmen und kalkreichen Böden zur gleichen Jahreszeit fast völlig gleich hoch vorgefunden wurde. Daß die fränkischen Pflanzen eine Spur mehr Kalk aufweisen, dürfte darauf zurückzuführen sein, daß geringe Mengen Kalkstaub die Blätter verschmutzen und nicht mechanisch zu entfernen waren.

Auf jeden Fall steht fest, daß diese beiden Futterpflanzen eine große Menge an resorbierbarem Kalk besitzen, hinreichend, um den Schnecken den zum Bau der Schale nötigen Kalk zu liefern.

Ungünstig für meine Beweisführung könnte erscheinen, daß die Blätter der *Urtica* Calciumcarbonat enthalten. Das habe ich bei Abfassung des 1. Teiles selbst nicht gewußt. Dieses Calciumcarbonat ist in Form von Cystiden manchen Zellen eingelagert, und zwar toten, die nicht mehr am Stoffwechsel-Umsatz teilnehmen. Im Frühjahr und Sommer, wenn die Pflanzen noch im Wachstum sind, werden keine Cystiden beobachtet. Erst später, wenn das Wachstum auf-

gehört hat und die Blütezeit vorüber ist, bilden sich diese Kalk-Konglomerate, die erst häufiger im Herbst zu beobachten sind, wenn die Blätter eintrocknen und absterben. Welchen Zweck diese Cystiden haben und wie sie sich bilden, darüber werde ich später vergleichsweise bei Besprechung der Bildung der Schneckenschale mich äußern.

Nun habe ich bereits im 1. Teil dieser Arbeit nachgewiesen, daß der kohlensaure Kalk, also der geologische Kalk, für den Schneckenkörper nicht resorbierbar ist und für die Bildung der Schale nicht in Betracht kommt. Ich darf mich auf die früher veröffentlichten chemischen Gleichungen berufen, durch die die Unmöglichkeit der Resorption des Calciumcarbonates klargestellt wird.

Eingangs dieser Arbeit wurde die Frage gestellt, wie sich der kohlensaure Kalk verhalte, wenn er mit dem Futter, das noch freie organische Säuren enthält, aufgenommen wird. Dieser Fall tritt nun bei den Cystiden der Brennessel ein. Während der Wachstumsperiode von *Urtica* bis in den Frühherbst hinein reagieren die Zellsäfte sauer, haben also so viel überschüssige Säure, um den in einzelnen Zellen enthaltenen kohlensauren Kalk in citronensauren Kalk umzuwandeln. Der entsprechende Nachweis wurde in der Weise vorgenommen, daß die feinst mazerierten Blätter längere Zeit gekocht wurden, wobei am Ende der Operation festgestellt wurde, daß noch saure Reaktion vorhanden war und mikroskopisch die Cystiden nicht mehr vorgefunden werden konnten. Im Herbste jedoch geht der Gehalt an freier Säure zurück, und die Cystiden bleiben bestehen. Das geschieht aber zu einem Zeitpunkt, wo sich die Schnecken zum Winterschlafe begeben und die Brennessel für die Ernährung nicht mehr in Frage kommt. Die scheinbare Schwierigkeit, die für meine Beweisführung auftauchte, hat sich somit nach den einwandfreien Ergebnissen der Prüfung erledigt. Sollten jedoch Schnecken auch noch so verspätet von diesem cystidenreichen Material fressen, ohne daß die freie organische Säure imstande ist, den kohlensauren Kalk der Cystiden zu lösen, so verhalten sich diese bezüglich der Resorption wie geologischer Kalk, kommen demnach für die Aufnahme in den Schneckenkörper nicht in Frage.

3. Faeces.

Nachdem ich den Kalk-Gehalt des Bodens und der Futterpflanzen festgestellt hatte, erhob sich naturgemäß die Frage: Genügt diese Kalkmenge den Schnecken, um daraus das Gehäuse aufzubauen, ist sie zu gering oder so hoch, daß der Schneckenorganismus einen Teil wieder als unverbraucht abgeben kann? Auf diese Frage geben die Faeces die prägnanteste und eindeutigste Antwort. Nun müssen wir aber unterscheiden zwischen ausgewachsenen Schnecken, deren Gehäuse bis zum Mundsaume und bis zur Lippe fertig gebildet ist, und jugendlichen Stücken, die noch im Wachstum begriffen sind und deren Gehäuse noch nicht vollendet ist. Bei den ersteren wird der Kalk zum Aufbau der Schale nicht mehr benötigt, höchstens in Spuren, um den normalen Bedarf des Blutes und der Lymphe zu befriedigen. Bei den unausgewachsenen Stücken dagegen wird Kalk verbraucht, um das Gehäuse seiner Vollendung entgegenzuführen. Aus diesem Grunde war es erforderlich, die Faeces der erwachsenen und jugendlichen Stücke getrennt zu untersuchen. Um aber die mißlichen Verhältnisse der Gefangenschaft auszuschließen und lediglich die in der freien Natur

sich abspielenden Vorgänge für die Prüfung heranzuziehen, wurde eine große Anzahl erwachsener und jugendlicher Exemplare gesammelt und gesondert ohne Nahrung nach Hause genommen. Um das Ergebnis möglichst eindeutig zu gestalten, wurden nur Schnecken aus reinen Brennessel-Beständen genommen, von denen anzunehmen war, daß sie nur diese Futterpflanze zur Nahrungsaufnahme verwendet haben. Der innerhalb 12 Stunden gesammelte Kot, von dem feststeht, daß er auf Freilandfütterung zurückgeht, wurde untersucht. Das Ergebnis der Prüfung ist folgendes:

a) Kot der erwachsenen Stücke enthält i. T. 3,51 % Kalk (CaO),

b) Kot der jugendlichen Stücke enthält i. T. 1,62 % Kalk (CaO).

Aus diesem zahlenmäßigen Befunde ergibt sich, daß auch der Kot der jugendlichen Schnecken noch einen großen Überschuß an resorbierbarem Kalk besitzt, daß also die pflanzliche Nahrung mehr Kalk bietet, als vom tierischen Organismus verwendet werden kann.

Um aber auch den weitgehendsten Anforderungen der Beweisführung zu genügen, habe ich den Kot auch mikroskopisch auf seine Herkunft geprüft. Leider stellte sich hierbei heraus, daß die Epidermiszellen und das Parenchym sehr stark verändert waren und daß nur die Leitbündel der Blattnerven und die Haare im ursprünglichen Zustande, weil der Verdauung unzugänglich, sich erhalten haben. Beim Vergleiche mit frischen Blättern ergab sich, daß die festgestellten Leitbündel denen der Brennessel entsprechen und daß ganz besonders die charakteristischen Deckhaare, die nur der Brennessel eigen sind, zu erkennenn waren. Nur in einem Falle konnten die eigenartigen T-förmigen Haare von Artemisia vulgaris vorgefunden werden. Es ist somit der Nachweis geliefert, daß auf dem Heinersdorfer Gelände *Cepaea nemoralis* bei den vorliegenden Feststellungen nur *Urtica* und in geringerem Maße *Artemisia* als Nahrungsquelle benutzt hat.

Das Gewicht des Gehäuses dieser Schnecke in diesem Biotop wurde im Durchschnitt zu 0,838 Gramm gefunden. Gleichgroße Gehäuse von Pottenstein wogen nur 0,700 Gramm. Dieses etwas niedrigere Gewicht ist naturgemäß ein Zufall, der dadurch bedingt ist, daß die fränkischen Stücke am Wegrande im Walde gesammelt worden waren. Ich habe schon in meiner Zschopau-Arbeit nachgewiesen, daß die Dicke der Schale sich ganz nach dem Grade des benötigten Schutzes gegen Wärme und Austrocknung richtet, und zwar unabhängig von der geologischen Formation des Untergrundes. In Pottenstein haben sich die Tiere im warmen Schatten des Waldes entwickelt, wo keine Notwendigkeit vorlag, ein besonders starkes Gehäuse zu bauen, in Heinesdorf leben sie in ungeschütztem Biotop, so daß der Organismus eine dickere Schale mit höherem Gewichte baute.

Aus den zahlenmäßigen Ergebnissen der Kalk-Bestimmung im Boden, in den Futterpflanzen und in den Faeces geht der eindeutige Beweis hervor, daß auch in kalkarmen Gegenden die Pflanzen so viel Kalk aus dem Boden aufnehmen, daß nicht nur der Kalkbedarf für das Gehäuse gedeckt ist, sondern darüber hinaus noch überschüssiger Kalk im Kot wieder abgeschieden wird. Dabei sei nochmals unterstrichen, daß der in der Pflanze enthaltene Kalk infolge seiner Bindung an eine organische Säure (Citronensäure) im Gegensatz zum geologischen Kalke resorbierbar und ausnutzbar für den tierischen Organismus ist.

B.

Bestehen über die Aufnahme des Kalkes in den Tierkörper die entgegengesetztesten Auffassungen und irrige Angaben, so betreten wir mit der Frage nach der Bildung der Schneckenschale aus dem aufgenommenen Kalke völliges Neuland. Zwar ist eine Reihe sehr schöner Arbeiten über die Struktur der Schneckenschale veröffentlicht worden, aber auf die Frage, wie der Organismus physiologisch arbeitet, um den mit der Pflanzennahrung aufgenommenen Kalk zum Schalenbau zu verwenden, darüber habe ich aus der einschlägigen Literatur keine Antwort erhalten können. Auch die Handbücher CLESSIN, GEYER und EHRMANN bescheiden sich mit der kurzen Angabe, daß der Kalk aus den Kalkdrüsen in Form von kohlensaurem Kalk für den Schalenbau abgesondert wird. Sie begnügen sich mit der unbestreitbaren Tatsache, ohne auf den Vorgang selbst einzugehen.

Nur eine kurze Notiz über die physiologische Bildung der Schneckenschale finde ich bei F. DREVERMANN (1932). Der Autor äußert sich allerdings sehr kurz und ohne Beweismittel vorzubringen, folgendermaßen: „Die Kalkschalen der Meerestiere werden wahrscheinlich aus dem Kalziumsulfat, das im Meerwasser gelöst ist, durch Ammoniumkarbonat, das im Körper der Tiere entsteht, gefällt." Vom rein chemischen Standpunkte ist diese Annahme als durchaus korrekt zu bezeichnen, denn nach der Gleichung

$$CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3 = CaCO_3 + (NH_4)_2SO_4$$

fällt beim Zusammentreffen von schwefelsaurem Kalk und Ammoniumkarbonat kohlensaurer Kalk unlöslich aus, während andererseits lösliches schwefelsaures Ammonium entsteht. Dagegen treffen physiologisch die Voraussetzungen nicht zu.

Trotz dieses Einwandes wird es sich jedoch lohnen, den angegebenen Weg bis zum Ende zu gehen, denn auch der falsche Weg hat in manchen Fällen indirekt zum vorgesteckten Ziele geführt.

Wenden wir uns der oben erwähnten hypothetischen Einwirkung von Ammoniumkarbonat auf Kalziumsulfat in bezug auf den Schalenbau der Schnecken zu, so ist zunächst darauf zu verweisen, daß Ammoniumkarbonat im Tierkörper nur als Abbauprodukt des Eiweißstoffwechsels in Frage kommen kann. Nun vermeidet die Natur es strengstens, in Hinblick auf die ätzende Beschaffenheit des Ammoniaks und seines Karbonates, solchen im tierischen Körper zu bilden. Nur in ganz besonderen Fällen, und zwar bis zu ca. 2% des Eiweißumsatzes, entsteht Ammoniak, das aber sofort durch starke Säuren gebunden und unschädlich gemacht wird. Vielmehr werden die Abbauprodukte des Eiweißes bei den Tieren je nach der Zugehörigkeit zu den einzelnen Stämmen in Form von Harnstoff, Harnsäure, Hippursäure, Xanthin, Hypoxantin, Guanin usw. abgeschieden, alles Stoffe, die chemisch neutralen Charakter haben und einen schädigenden Einfluß auf den Organismus nicht ausüben können. Wenn somit Ammoniumkarbonat als Fällungsmittel für Kalksalze im Tierkörper unbedingt ausscheiden muß, so könnte man annehmen, daß Alkalikarbonat, das ja auch im Darm des tierischen Organismus enthalten ist, die gleiche Wirkung hervorruft. Es ist durchaus lohnend, auf diesen Vorgang einzugehen und zu prüfen, ob er sich in den Kalkdrüsen der Schnecken abspielt oder nicht. Es besteht allerdings noch die Möglichkeit, daß die chemische Umsetzung der beiden Stoffe sich außerhalb der Drüsen vollzieht. In diesem

Falle müßte die Kalklösung von den Drüsen abgesondert und nachträglich durch Alkalikarbonat gefällt werden. Diese Annahme würde zur Voraussetzung haben, daß noch weitere Drüsen vorhanden sind, die Alkalikarbonat absondern. Beide Drüsensekrete würden dann außerhalb des Schneckenkörpers zusammentreffen und Kalziumkarbonat bilden. Zur Nachprüfung dieses angenommenen Vorganges nimmt man eine im Wachstum begriffene Weinbergschnecke, die bereits die Conchin-Wand des zu bildenden Gehäusezuwachses gebildet hat, und stellt die Reaktion der Sekrete unterhalb dieser Conchin-Wand fest. Sie ist nicht alkalisch, sondern schwach sauer. Somit ist die Möglichkeit ausgeschlossen, daß die Ausfällung des Kalziumkarbonates sich außerhalb der Kalkdrüsen vollzieht. Sie muß also unter der Voraussetzung, daß eine Fällungserscheinung durch Alkalikarbonat vorliegt, sich in den Kalkdrüsen selbst abspielen. Um diese Möglichkeiten nachzuprüfen, wurden die Kalkdrüsen bloßgelegt und auf mikrochemischem Wege folgende Feststellungen gemacht: Oxalsaures Ammonium gibt weiße Fällung, die in Essigsäure nicht, dagegen in Salzsäure löslich ist, neutrale Lackmus-Lösung wird gerötet, leicht alkalisch gemachte Phenolphtalein-Lösung wird entfärbt. Aus diesen Feststellungen ergibt sich mit vollkommener Sicherheit, daß in den Kalkdrüsen tatsächlich Kalk enthalten ist, darauf weist die Bildung von oxalsaurem Kalk hin. Auf der anderen Seite zeigen die übrigen Reaktionen, daß Alkalikarbonat nicht vorhanden ist, denn sonst müßte die Reaktion alkalisch sein, sie wurde aber eindeutig als sauer festgestellt.

Somit ist die Annahme, daß der in den Kalkdrüsen enthaltene Kalk durch kohlensaures Alkali als Kalziumkarbonat ausgefällt wird und in dieser Form zur Bildung des Gehäuses Verwendung findet, gegenstandslos geworden. Für die Unmöglichkeit dieser Annahme spricht auch der Umstand, daß der Kalk bei der eben besprochenen Ausfällung amorph sich niederschlägt und durchaus ungeeignet ist zum Aufbau der Schale, deren Struktur kristallinisch (Aragonit) gebildet wird. Es ist völlig abwegig anzunehmen, daß aus einem pulverigen Niederschlag nach Art eines Zahnpulvers nachträglich ein Kristallgebilde sich entwickeln kann. Anorganische Kalksalze, die beispielsweise auf der Grundlage Schwefelsäure, Salzsäure usw. gebildet sind, können nur durch ein lösliches Karbonat in Kalziumkarbonat umgewandelt werden, eine andere Möglichkeit besteht nicht. Da aber oben bewiesen wurde, daß Alkalikarbonat fehlt, so ist aus hypothetisch evtl. angenommenen anorganischen Kalksalzen auch keine Bildung von Kalziumkarbonat zu erwarten. Eine solche kann nur, wenn auch auf anderem Wege, stattfinden, wenn organische Kalksalze, also Verbindungen von Kalk mit Citronensäure oder Äpfelsäure, vorliegen. Daß Oxalsäure wegen ihrer chemischen Eigenschaften nicht in dem Bereich der Möglichkeit liegt, habe ich bei früherer Gelegenheit ausführlich angegeben.

Zur weiteren Klärung bedarf es folgender Betrachtung: Die Pflanze baut aus anorganischen Stoffen ihren Organismus auf, baut allerdings auch in geringerem Grade die gebildeten organischen Stoffe ab, so z. B. bei der Atmung und der Umwandlung des zunächst gebildeten Zuckers in andere stickstofffreie Substanzen, wobei als Mittel der Sauerstoff dient. Es handelt sich somit um Oxydationsvorgänge, bei denen beispielsweise Zucker in Citronensäure oder Oxalsäure verwandelt wird:

$$2\,C_6H_{12}O_6 + 3\,O_2 = 2\,C_6H_8O_7 + 4\,H_2O$$
$$2\,C_6H_{12}O_6 + 9\,O_2 = 6\,C_2H_2O_4 + 6\,H_2O$$

Der tierische Organismus dagegen kann anorganische Stoffe zum Aufbau nicht verwenden und kann nur die von der Pflanze gebotenen organischen Substanzen in kleinere Moleküle zerlegen und aus diesen die für seine Bedürfnisse erforderlichen Verbindungen aufbauen. Letzten Endes verwandelt der tierische Organismus alle organischen Verbindungen seines Körpers, die dem Stoffwechsel unterliegen, mit ganz wenigen Ausnahmen in anorganische Substanzen um, wobei als Äquivalent die für den Körper nötige Energie und Wärme gewonnen wird. Auch hier handelt es sich um durch den Sauerstoff bedingte Vorgänge, also Oxydationen. Diese Oxydationen erfolgen in den Einzelzellen, wobei jede Art derselben ihre besonderen Funktionen hat. Angeregt und gesteuert wird der Vorgang durch Fermente, Oxydasen genannt, die je nach ihrer Natur die verschiedensten Wirkungen bedingen. Am bekanntesten ist die Oxydation der in den Zellen zur Verfügung stehenden organischen Stoffe (Fette, Kohlehydrate) durch den Sauerstoff des Oxyhämoglobins des Blutes, bei der Kohlensäure gebildet wird, die durch die Lungen, Kiemen oder Tracheen zur Ausscheidung kommt.

Nun haben wir feststellen können, daß die Kalkdrüsen der Schnecken, die unwidersprochen den Schalenkalk abscheiden, keinen anorganisch gebundenen Kalk enthalten können, da hier keine Möglichkeit vorliegen würde, denselben in kohlensauren Kalk zu verwandeln. Es müssen somit organisch gebundene Kalksalze vorhanden sein, die sich in kohlensauren Kalk umsetzen lassen. Da auch in diesem Falle Abscheidung durch lösliche Karbonate infolge Fehlens von Alkalikarbonat ausgeschlossen ist, so besteht nur die einzige Möglichkeit, daß die organischen Kalksalze durch den Sauerstoff des Blutes nach der Gleichung

$$(C_6H_5O_7)_2Ca_3 + 9\,O_2 = 3\,CaCO_3 + 5\,H_2O + 9\,CO_2$$

in Kalziumkarbonat, Kohlensäure und Wasser verwandelt werden. Als organisch gebundener Kalk wurde hier citronensaurer Kalk zugrunde gelegt. Durch den großen Überschuß an gebildeter freier Kohlensäure wird der kohlensaure Kalk nicht unlöslich niedergeschlagen, wie das beim Fällen mit Alkalikarbonat der Fall sein würde, sondern bleibt infolge Bildung von saurem kohlensaurem Kalk $CaH_2(CO_3)_2$ in Lösung und wird als solcher von den Kalkdrüsen abgeschieden, darauf weist auch die saure Reaktion der Lösung hin. Diese Kalklösung trifft auf die bereits vorgebildete Conchinschicht (Periostracum), wird durch Verdunstung des Wasser gezwungen, den sauren kohlensauren Kalk abzuscheiden, der jedoch, da er nicht luftbeständig ist, in neutralen kohlensauren Kalk, Kohlensäure und Wasser zerfällt:

$$CaH_2(CO_3)_2 = CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

Da der kohlensaure Kalk ganz allmählich sich bildet, so geschieht das nicht in amorpher Form, wie beim plötzlichen Ausfällen eines Kalksalzes durch Alkalikarbonat, sondern in kristallinischer Modifikation. Durch die regelmäßige Abscheidung der Kalklösung wachsen die Kalkkristalle der Schale mit der Zeit bis zu der Dicke, die der Schneckenkörper jeweilig zum Schutze seines Organismus für ausreichend hält.

Wir haben hier aber auch weiterhin die gleiche Erscheinung, die bei Pflanzen festzustellen ist. Ich erwähnte oben, daß in den älteren Blättern von *Urtica* sich Cystiden vorfinden, die aus kohlensaurem Kalk bestehen. Ebenso scheiden gewisse Arten von *Saxifraga* durch ihre Hydathoden kohlensauren Kalk als

Veratmungsprodukt nach außen ab. In beiden Fällen kann es sich nur um eine Oxydation eines organischen Kalksalzes handeln. Bei *Urtica* verbleibt der kohlensaure Kalk in der absterbenden Zelle, bei *Saxifraga* ist der Vorgang ganz ähnlich der Kalkabscheidung bei den Schneckengehäusen zu bewerten, die lebende Zelle oxydiert den organisch gebundenen Kalk und gibt den sauren kohlensauren Kalk nach außen ab, wo er in neutralen kohlensauren Kalk, Kohlensäure und Wasser zerfällt. Auch im Holzkörper, der aus toten Zellmassen sich zusammensetzt, ist der ursprünglich organisch gebundene Kalk oxydiert und als kohlensaurer Kalk abgelagert worden.

Auch im menschlichen Körper werden die organisch gebundenen Salze verbrannt, doch werden die entstandenen Karbonate durch die aus dem Eiweißstoffwechsel stammenden Schwefelsäure und Phosphorsäure bei gemischter Kost völlig neutralisiert und nur bei einseitiger Aufnahme von viel Obst und Gemüse reagiert der Harn alkalisch durch die bei der Oxydation der organischen Salze entstandenen Karbonate, die beim Zufügen von Salzsäure zum Harn Kohlensäure entwickeln.

Das Manuskript dieser Arbeit lag zum größten Teil in Reinschrift bereits vor, als mir die Arbeit „Über Umkehrbarkeit physiologischer Reaktionen" von KNOOP (1944) zur Kenntnis gelangte. Der Verfasser macht folgende Ausführungen: „Citronensäure ist eine Substanz, die überall im Tierkörper vorkommt, ohne daß man ihre Bedeutung kannte. Ihre überraschend vielseitigen Leistungen wurden erst erkennbar, nachdem MARTIUS im Tübinger Institut Bildung und Abbau im Tierkörper aufgeklärt hatte." Der Verfasser geht dann auf die Umbildung der Citronensäure durch den Einfluß der Fermente in Zwischenprodukte ein und äußert sich folgendermaßen: 2 Moleküle Citronensäure treten gegenseitig in Reaktion ein und bilden nach Umlagerung in Isocitronensäure die Keto-Glutarsäure, die in Glutaminsäure übergehen kann. Aus beiden Substanzen entstehen aber über Bernsteinsäure Oxalessigsäure, Brenztraubensäure und Essigsäure. Das weitere Ergebnis ist, daß diese Stoffe zur Hälfte reversibel in Citronensäure zurückverwandelt werden, während die andere Hälfte zu Kohlensäure und Wasser oxydiert wird. Da nun der Verlauf kontinuierlich stattfindet, so unterliegt letzten Endes die gesamte Citronensäure dieser Oxydation:

$$2\,C_6H_8O_7 + 9\,O_2 = 12\,CO_2 + 8\,H_2O$$

Dieses Ergebnis geht mit meiner Auffassung über die Anwesenheit der Citronensäure im Tierkörper (1. Teil meiner Arbeit 1943) durchaus konform und bestätigt die Richtigkeit der letzteren, und ebenso kommen beide Arbeiten zu dem gleichen Ergebnis, daß die Citronensäure zu Kohlensäure oxydiert wird, wobei ganz analogerweise aus citronensaurem Kalk sich kohlensaurer Kalk bilden muß.

Ich gebe zu, daß die Art der Bildung der Schneckenschale manchem Malakozoologen überraschend scheinen mag. Das ist sie aber durchaus nicht, sondern sie stellt den natürlichsten Vorgang im Tierkörper dar, wo alle organische Substanz zu ihren anorganischen Grundverbindungen verbrannt wird. Überraschend bleibt allein die Tatsache, daß die Wissenschaft so viele Jahrzehnte die CLESSIN'sche Auffassung ohne Kritik hingenommen und sich abgemüht hat, sie durch Beibringung von Beispielen zu stützen.

Diese Auffassung geht dahin, daß die Schnecke den zum Schalenbau nötigen Kalk unmittelbar dem geologischen Untergrunde entnimmt. Veranlassung hat dazu wohl in erster Linie die unbestreitbare Tatsache gegeben, daß auf kalkreichen Formationen auch dem Laien die Fülle der zu beobachteten Schnecken auffällig ist. Es wird aber übersehen, daß es sich hierbei um verhältnismäßig wenige, dafür aber besonders wärmeliebende Arten handelt, die vielfach aus dem Süden zugewandert sind und keines besonderen Schutzes gegen Hitze und Trockenheit in unseren Breiten bedürfen, während unsere einheimischen Arten durch ihr geringeres Wärmebedürfnis sich bei normalen Witterungsverhältnissen versteckt halten und erst nach ausgiebigem Regen und der hierdurch bedingten Abkühlung aus ihren Schlupfwinkeln hervorwagen und somit dem Beschauer zugänglich sind. Die CLESSIN'sche Fiktion ist niemals und nirgends, soweit mir bekannt ist, wissenschaftlich begründet worden. Sie ist im Laufe der Zeit als selbstverständlich hingenommen worden und zum unbewiesenen Dogma erstarrt. Zur Begründung wäre es nötig gewesen, den Nachweis zu erbringen, daß die in der pflanzlichen Nahrung der Schnecke vorhandene Kalkmenge zu gering oder ungeeignet ist, um das Gehäuse aufzubauen. Es wäre weiter zu begründen, wie die Schnecke auch in kalkarmen Gegenden, wo der Kalkgehalt nur wenige Zehntel Prozente ausmacht, zur Befriedigung ihres Kalkbedürfnisses aus dem geologischen Untergrunde gelangt, obgleich hier manchmal die Stärke und Größe des Gehäuses bei der gleichen Art stattlicher sein kann als in Gegenden mit stark kalkhaltigem Untergrund. Soll der Schnecke der Theorie zuliebe zugemutet werden, nach Art des Regenswurmes sich den Darm mit Erde zu füllen, damit sie imstande ist, die darin enthaltenen Spuren von Kalk zu gewinnen? Dieser Nachweis wird, nach dem Darminhalte zu urteilen, keinem Anhänger der Theorie gelingen. Oder wie steht es damit, daß die gleichen Arten *Helicella obvia* oder *Cepaea nemoralis*, die, wie oben bewiesen, auch in kalkarmen Gegenden gut gedeihen und hier nur auf pflanzliche Nahrung und den darin befindlichen Kalk angewiesen sind, sich in kalkreichen Gegenden in ihrem Stoffwechsel umstellen müssen und hier geologischen Kalk zu sich nehmen? Wer hat von den Anhängern der CLESSIN'schen Annahme sich der Mühe unterzogen, den Kot der Schnecken auf den Kalkgehalt zu untersuchen, um zu beweisen, daß die Nahrung zu kalkarm ist, um den Lebensanforderungen zu entsprechen? Ich will hier gar nicht auf den Chemismus der Verdauung, den ich im 1. Teil dieser Arbeit nach meiner Anschauung eingehend genug erklärt habe, verweisen, aber die jetzt vorgelegten Fragen, die auch ohne spezielle chemische Kenntnis zu beantworten gewesen wären, würden genügt haben, den ernsthaften Forscher von der Unhaltbarkeit dieser Annahme zu überzeugen. Die CLESSIN'sche Theorie mag früher ihre Berechtigung gehabt haben, wo die Physiologie der Ernährung noch nicht hinreichend klargestellt war, aber heute muß sie als widerlegt gelten. Die unvergänglichen Verdienste CLESSIN's um die Malakozoologie werden dadurch nicht geschmälert.

Zum Schlusse möchte ich noch auf einen Punkt kurz eingehen, der auch mit der Kalkfrage im Zuasmmenhange steht. Ich erwähnte oben, daß auch dem Laien die Häufigkeit der Schnecken auf Kalkboden auffällt. Dabei handelt es sich allerdings um verhältnismäßig größere Arten, die leicht erkennbar sind: Die Helicellen, Cepaen, *H. pomatia* und *A. arbustorum*, die z. T. gesellig vorkommen und häufig in Massen auftreten, auch soweit die Helicellen in Frage kommen, keines besonderen Schutzes gegen Trockenheit und Wärme bedürfen.

Was sonst an kleineren Arten vorkommt, will auch in Kalkgegenden an den richtigen Örtlichkeiten gesucht sein.

Ich habe im Laufe von Jahrzehnten in den nördlichen Kalkalpen, in dem deutschen Jura und dem Muschelkalk-Gebiet viel gesammelt und noch mehr beobachtet und dabei feststellen können, daß auch in den Kalkgegenden es recht zahlreiche Stellen gibt, wo die Ausbeuten einfach jämmerlich sind, und daß man suchen muß, Biotope zu finden, wo eine größere Anzahl von Arten gleichzeitig zu beobachten ist. Ganz dasselbe gilt naturgemäß auch von den Biotopen auf kristallinem Gestein. Nach meinen Beobachtungen ist die chemische Zusammensetzung des Untergundes völlig gleichgültig für die Zahl der Arten und der Individuen. Dagegen hat jede Art ihr spezifisches Wärmebedürfnis, das je nach den Ansprüchen in engeren bis weiteren Grenzen schwanken kann. Die Wärme allein tut es freilich nicht, vielmehr müssen noch weitere Faktoren für das Leben und Wohlbefinden der Schnecken hinzukommen: Schutz vor zu starker Belichtung und Wärme, also Schlupfwinkel, Feuchtigkeit und Nahrung. Erst diese Momente gemeinsam gewähren das Optimum der Lebensmöglichkeit, fällt eines derselben mehr oder weniger aus, so wird je nach den Ansprüchen der einzelnen Arten die Zahl derselben und die Individuenzahl verringert werden. Um den Beweis zu erbringen, daß auch auf dem kalkarmen Granulit eine an Zahl der Arten und Individuen reiche Fauna bestehen kann, verweise ich auf die Umgebung der Stadt Mittweida, 20 km nördlich von Chemnitz, wo im Umkreise von 3 km 60 Arten Landschnecken, 16 Arten Wasserschnecken und 9 Arten Muscheln beobachtet werden. Von Clausiliiden, die wegen ihres verhältnismäßig hohen Wärmebedürfnisses sonst nur oder fast ausschließlich auf Kalkboden vorkommen, erwähne ich die Arten *vetusta*, *filograna*, *orthostoma* und *parvula*. Der Biotop im Tanneberger Felsensturz (Granulit) beherbergt mit wenigen Ausnahmen fast sämtliche 60 Arten Landschnecken, allerdings in Vereinigung aller für die Lebensansprüche notwendigen und günstigen Faktoren: Faustgroße bis mannshohe Felsbrocken gegen S und SO geneigt sind locker mit Laubbäumen und Gebüsch überwachsen und geben sonnige Plätze frei, die Lage am Flußufer der Zschopau gewährt nachts reichlichen Tau, und die Niederschläge versickern zwischen den Felsspalten und dem Untergrund, so daß hier stets Feuchtigkeit von unten nach den oberen Schichten gelangt und keine absolute Trockenheit herrscht. Die Schnecken können sich von der Oberfläche ganz nach ihren Bedürfnissen in die feuchten Schlupfwinkel zurückziehen. Wie reich auch an Individuen diese Örtlichkeit ist, geht daraus hervor, daß beim Durchsieben des Mulmes einer Bodenfläche von ca. 2 qm ungefähr 200 *Graciliaria filograna*, 100 *Vertigo pusilla* und 50 *Vertigo alpestris* herausgelesen werden konnten und daß bei feuchter Witterung die sonst nur einzeln vorkommende *Isognomostoma holosericum* zu Dutzenden an den nassen Steinen angetroffen wurde. Ich habe auf kalkhaltigem Boden keine Örtlichkeit gefunden, die einen derartigen Reichtum an Schneckenarten aufweisen kann, und ich will für besonders kritische Leser noch hinzufügen, daß in der Nähe dieses Biotops es Schlösser und Burgen nicht gibt und auch nicht gegeben hat.

Wir müssen uns frei machen von der Vorstellung, daß lediglich der Kalkboden in der Lage ist, einer größeren Anzahl Schneckenarten das Optimum der Lebensmöglichkeit zu gewähren. Auch kristallines Gestein kann bei ausgiebiger Sonnenbestrahlung dieselbe Wärmewirkung wie Kalkuntergrund gewährleisten.

Wesentlich ist dabei, daß das spezifische Wärmebedürfnis der einzelnen Arten erfüllt ist und daß außerdem Licht und Schatten, Unterkunftsmöglichkeiten, Feuchtigkeit und Nahrung in hinreichendem Maße geboten werden. All diese Faktoren ergeben das Optimum für das Schneckenleben, und es erscheint entbehrlich, für diese Lebensbedingungen neue Wortbegriffe auszustellen.

E. UHLMANN (1940) gibt für Jena (Muschelkalk) 60 gehäusetragende Landschnecken an, wobei ein Radius von 8—9 km um Jena als Biotop gerechnet wird. Nimmt man für Mittweida, das 48 gehäusetragende Landschnecken beherbergt, den gleichen Radius an, so bleibt die Zahl der hier anzutreffenden Schnecken nur um ein ganz geringes gegenüber den Vorkommen um Jena zurück. Es liegt mir vollständig fern, die Gleichwertigkeit des Kalkes und des kalkfreien Untergrundes zu behaupten, ich beabsichtige nur nachzuweisen, daß die Natur bei dem Wechsel der äußeren Faktoren sich nicht auf einen einheitlichen Nenner bringen läßt.

Zusammenfassung.

1. Die Wichtigkeit des Kalkes als Wärmespeicherer und Wärmespender ist unbestritten (vgl. *Fruticicola villosa*).

2. Jedoch ist auch der kalkarme Untergrund, also Sand, Porphyr, Kordiriergneis, in der Lage, besonders wärmebedürftigen Arten wie den Helicellen, *Zebrina* usw. die nötigen Lebensbedingungen zu gewähren, wenn nur Klima und Einstellung des Biotops zur Sonnenbestrahlung die erforderliche Wärme hervorbringen.

3. Zum 1. Teile dieser Arbeit ist bez. der Resorptionsfähigkeit des Chlorkalziums nachzutragen, daß eine solche vom Magen aus nicht in Frage kommen kann wegen der Eiweißfeindlichkeit dieses Salzes, und weiterhin ist zu ergänzen, daß, wenn geologischer Kalk mit dem Futter zur Aufnahme gelangt, dieser nach Maßgabe der in den Pflanzen enthaltenen Säure in organisch gebundenen Kalk übergeführt und somit für den Schneckenkörper resorbierbar wird.

4. Die im Schrifttum verzeichneten Zuchtversuche, bei denen festgestellt wurde, daß in der Gefangenschaft Schnecken die Gehäuse ihrer Artgenossen, Eierschalen usw. benagten, sind nicht beweiskräftig für die Annahme, daß Kalkmangel die Tiere hierzu veranlaßt habe. Es fehlt der Nachweis, insbesondere durch Untersuchung der Faeces, daß das Futter zu kalkarm war, um den Kalkbedarf zu decken. Außerdem sind derartige Versuche ohne jede Bedeutung, da das Fehlen der natürlichen Lebensbedingungen die Tiere in einen Zustand der Anomalie versetzt, dessen Auswirkung auch nach anderer Richtung festzustellen war (Benagen und Fressen von Pappe).

5. Bei den Beobachtungen im Freien wurde nachgewiesen, daß auch auf kalkarmem Boden die Pflanzen verhältnismäßig große Mengen Kalk aus dem Untergrund aufnehmen und in citronensauren Kalk umwandeln. Dieser Gehalt ist so groß, daß auch in den Faeces der jugendlichen Exemplare noch reichliche Mengen Kalk enthalten sind und ungenutzt vom Organismus wieder abgeschieden werden.

6. Das Ergebnis ist, daß auch Pflanzen, die auf kalkarmem Boden wachsen, so viel Kalk aufnehmen, daß der Schalenaufbau der Schnecken gesichert ist.

7. Die Bildung der Schalen findet nicht durch Ausfällung der in den Drüsen enthaltenen Kalklösung mittels Ammoniumkarbonat oder Alkalikarbonat statt,

sondern durch Oxydation (Verbrennung) des citronensauren Kalkes zu Kalziumkarbonat. Hierdurch wird gleichzeitig bewiesen, daß der Kalk nicht anorganisch z. B. als Chlorid oder Sulfat gebunden ist, da dieser nur durch kohlensaure Alkalien in kohlensauren Kalk übergeführt werden kann. Es wird weiterhin bewiesen, daß der bei einer solchen Umsetzung entstehende kohlensaure Kalk wegen seiner amorphen Beschaffenheit völlig untauglich zur Bildung der kristallinischen Struktur der Kalkschicht des Schneckengehäuses sein würde. Die einzige Möglichkeit, kristallinisch geformten kohlensauren Kalk abzuscheiden, ist an die Anwesenheit von saurem kohlensaurem Kalk gebunden, der sich bei der Oxydation von citronensaurem Kalk bildet und beim Verdunsten seiner Lösung unter Abscheidung von Wasser und freier Kohlensäure kristallinisch geformten kohlensauren Kalk hinterläßt.

8. Die Arbeit von F. KNOOP bestätigt nur die Richtigkeit meiner Auffassung und Versuche, daß der Kalk vom Tierkörper als citronensaurer Kalk aufgenommen wird und als solcher im Tierkörper enthalten ist, bis er im Verlaufe des Stoffwechsels zu kohlensaurem Kalk oxydiert wird.

9. Die CLESSIN'sche Theorie, der Kalkgehalt des Schneckengehäuses stehe in unmittelbarem Zusammenhange mit dem geologischen Untergrund, ist bisher nicht bewiesen worden und auch nicht beweisbar, sie gründet sich lediglich auf einige Äußerlichkeiten, die zu Trugschlüssen Veranlassung geben, aber der Kritik weder in chemischer noch ökologischer Beziehung standhalten.

10. Die Häufigkeit der Schnecken nach Art- und Individuenzahl richtet sich sowohl auf kalkhaltigem als auch kalkarmem Boden nach dem Grade der gebotenen Lebensbedingungen, der in erster Linie auf die Befriedigung des spezifischen Wärmebedürfnisses abgestellt sein muß, aber gleichzeitig abhängig ist von der Möglichkeit des Schutzes gegen Trockenheit und äußere Einflüsse und der hinreichende Feuchtigkeit und Nahrung zur Voraussetzung hat.

Schriften.

DEGNER, E.: Über das Fleisch- und Kalkbedürfnis von *Cepaea nemoralis* L. — Arch. Moll. **60**, 209—213. Frankfurt a. M. 1928.

DREVERMANN, F.: Meere der Urzeit. — Verlag Springer. Berlin 1932.

HÄSSLEIN, L.: Weichtiergesellschaften im Bayerischen Waldgebirge. — Arch. Moll. **70**, 240—247. Frankfurt a. M. 1938.

KNOOP, F.: Über Umkehrbarkeit physiologischer Reaktionen. — Angewandte Chemie **1944**, Nr. 9/10 und 11/12.

KÜNKEL, K.: Experimentelle Studie über *Vitrina brevis* (FÉR.) — Zool. Jahrb. Abt. Allg. Zool. **46**, 575—626. Jena 1929.

LAIS, R.: Die Molluskenfauna des Alpersbacher Stollens im südlichen Schwarzwald. — Arch. Moll. **63**, 53—70. Frankfurt a. M. 1931.

MOELLER-GRIEBEL: Mikroskopie der Nahrungs- und Genußmittel aus dem Pflanzenreiche. — Verlag Julius Springer. Berlin 1928.

REICHERT, W.: Ökologische Beobachtungen über die positive Reaktionsfähigkeit der Gehäuse-Schnecken gegenüber Kalkboden. — Arch. Moll. **59**, 405—213. Frankfurt a. M. 1927.

SCHMID, G.: Pflanzen und Schnecken. — Arch. Moll. **61**, 146—176. Frankfurt a. M. 1929.

TRÜBSBACH, P.: Der Kalk im Haushalte der Mollusken. — Arch. Moll. **75**, 1—23 (Berichtigung S. 244, 306). Frankfurt a. M. 1943.

UHL, F.: Zur Molluskenfauna des Nahetales. — Arch. Moll. **59**, 78—80. Frankfurt a. M. 1927.

UHLMANN, E.: Die Tierwelt Jenas. — Verlag Gustav Fischer, Jena 1940.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Archiv für Molluskenkunde

Jahr/Year: 1947

Band/Volume: 76

Autor(en)/Author(s): Trübsbach Paul

Artikel/Article: Der Kalk im Haushalte der Mollusken 2., mit besonderer Berücksichtigung des physiologischen Vorganges der Schalenbildung. 145-162