

Die Kalkreinigung der höheren Pflanzen, ein Sammelreferat

Von MARGARETE GRZENKOWSKI, Königsberg (Pr.)

Einleitung

Die autotrophe Pflanze nimmt die zu ihrem Leben notwendigen Elemente K, Ca, Mg, Fe, H, S, P, N und einen Teil des O in der Form von anorganischen Salzen aus dem Boden auf, und zwar müssen letztere in gelöstem Zustande oder in Form fein disperser Sole vorliegen, um aufnahmefähig zu sein.

Tatsächlich ist im Erdreich eine Lösung aller notwendigen Mineralstoffe vorhanden, allerdings in sehr verdünntem Zustande. Wasseranalysen haben ergeben, daß aus Bodenlösungen ein fester Rückstand von nur 0,01—0,03% erhalten wird (1). Die Pflanze muß also einen starken Wasserstrom aufsaugen, um zu den in besonders geringer Konzentration vorhandenen Kalium- und Phosphorverbindungen gelangen zu können. Wenn von der Pflanze auch eine gewisse Auslese an Stoffen durch den CASPARYSchen Streifen und durch das Protoplasma getroffen wird, so werden trotzdem eine gewisse Menge von Salzen aufgenommen werden, die keinen Wert als Nährstoffe besitzen. Dazu gehört z. B. die in großer Menge im Boden vorhandene Kieselsäure, ferner Kochsalz und ein Überschuß an Kalk.

Die Folge der Ansammlung der Salze, die durch die Transpiration der Pflanze hervorgerufen wird, würde sein, daß die Pflanze geschädigt würde. „Der osmotische Druck steige über die zulässige Grenze, die Kolloide würden ausgesalzen, das relative Mengenverhältnis gestört, ja man könnte an eine Verzögerung der Katalysen und an ein Verschieben der Gleichgewichtsreaktionen nach der falschen Seite denken“ (2, S. 142).

Um sich vor diesen Störungen zu schützen, stehen der Pflanze mehrere Wege zur Verfügung. Die eine Möglichkeit ist die, die überflüssigen Salze aus dem Pflanzenkörper zu entfernen. Man denke an die Hydathoden und Wasserspalten der Saxifragaceen und Plumbaginaceen, die Mischungen von Kalk-, Magnesia- und Natronsalzen mit Kieselsäure ausscheiden, oder an den Laubfall der Blätter, der die Bäume jährlich von großen Kalk- und Kiesel-

säuremengen befreit. Der zweite Weg ist die Absonderung und Speicherung der Salze innerhalb der Pflanze, wie man es bei den Kieselsäure- bzw. Kalziumoxalathildungen im Zellinnern, in der Membran oder bei der Kalkspeicherung in Milchsaft- und Schleimsaftbehältern findet.

Es sind sehr viele Versuche angestellt worden, die die Notwendigkeit des Kalziums für das Leben der Pflanze ergeben haben, und die die Schädigungen feststellen, die durch den Kalkmangel verursacht werden. Die schädliche Wirkung eines Kalküberschusses aber und insbesondere einer zu großen Kalkmenge und die daraus folgende Notwendigkeit der Exkretion ist bisher kaum experimentell bewiesen worden. Der erste, der dieser Frage nähertrat, war STAHL (3). Er verhinderte die Guttation bei Gewächsen, die unter normalen Bedingungen in feuchter Nachtluft größere Flüssigkeitsmengen durch Wasserspalten nach außen abgeben, dadurch, daß er sie Tag und Nacht einer sehr trockenen Zimmerluft aussetzte. Die Versuche ergaben, daß die Ausscheidung für das Gesundbleiben der Pflanzen notwendig ist. Bei *Impatiens noli tangere* verfärbten sich die Blattspitzen und starben schließlich ab. Dasselbe fand bei *Carex*, Gramineen, *Pilularia* statt (3, S. 46). *Equisetum*-Arten zeigten eine Bräunung der Internodien am oberen Ende, die sich bis zum Grunde fortpflanzte und zum Absterben der ganzen Sprossen führte. Am verderblichsten wirkte die Verhinderung der Exkretion bei *Fragaria*, wo sie zum Absterben der ganzen Pflanze führte. Vergleichspflanzen, die ausscheiden sollten und zu dem Zwecke vom Abend bis zum Morgen in feuchter Atmosphäre gehalten wurden, gediehen gut. Wassermangel konnte nicht der Grund des Absterbens sein, da die Stengelhöhlungen z. B. bei *Equisetum* vor dem Tode der Pflanze mit Flüssigkeit erfüllt waren. STAHL kommt zu dem Schluß, daß die Benachteiligung der an der Ausscheidung verhinderten Pflanze darin liege, daß sie das Wasser nur durch Transpiration abgeben könne. Die Guttation unterbleibt, und damit werden die gelösten Salze im Pflanzenkörper zurückgehalten. „Der Sinn der Exkretion liegt also nicht in der Entfernung des Wassers, sondern der in ihm gelösten Stoffe.“ Durch welche Vorgänge im Innern der Pflanze das Absterben hervorgerufen wird, ob es osmotische Erscheinungen sind oder ob eine Vergiftung des Plasmas vorliegt, ist eine noch nicht völlig geklärte Frage.

Nach KAHO beruht die schädigende Wirkung eines Überschusses an Kalksalzen darauf, daß sie die Permeabilität des Proto-

plasmas verringern, so daß die Wurzeln dann nicht mehr imstande sind, die für die Pflanze notwendigen Eisensalze aufzunehmen.

Damit wäre durch die STAHLSCHEN Versuche „die Notwendigkeit der Ausscheidung für eine Reihe von Pflanzen erbracht“. Es wäre erfreulich, wenn man durch Experimente noch feststellen könnte, ob ein Überschuß an Salzen, besonders an Kalksalzen, auch bei Gewächsen schädlich wirkt, die weder Hydathoden noch Wasserspalten besitzen. Indessen wird man diese Schädigungen nicht sichtbar machen können, weil jede Pflanze sozusagen in der Oxalsäure, dem Zwischenprodukt bei der Atmung, ihr Schutzmittel bei sich führt.

Die Kalziumoxalat-Abscheidung

Die am meisten im Pflanzenreich verbreitete Art der Kalziumabscheidung ist die Bildung von Kalziumoxalat.

Letzteres kann in verschiedenen Kristallformen auftreten: die bekanntesten sind Einzelkristalle von Kalziumoxalat, die dem tetragonalen oder monoklinen System angehören können. Dazu gesellen sich Raphiden, d. h. nadelförmige, an beiden Enden zugespitzte Kristalle, die einzeln oder zu Bündeln vereint die Zellen erfüllen. — Die Raphiden schalten, wie wir später sehen werden, als besonders in Frage kommende Exkretstoffe aus, da sie einen größeren Kalkgehalt vortäuschen. — Ferner Sphärite, kugelige Gebilde mit deutlicher Radialstreifung, Drusen und sog. ROSANOFFSche Drusen, das sind „Kristalldrusen oder Einzelkristalle, die, im Lumen der Zelle liegend, durch einfache oder verzweigte, mitunter röhlig hohle Zellstoffäden mit der Wandung der Zelle verbunden und von einem Zellstoffhäutchen überzogen sind“ (28), schließlich noch der Kristallsand.

Da die meisten Kristalle, die sich im Pflanzenreich vorfinden, aus Kalziumoxalat bestehen, ist das Vorkommen dieses Salzes von den Botanikern besonders gut studiert worden. Die Wurzel gehört zu den Pflanzenorganen, die wenig und oft kein Kalziumoxalat enthalten. Aufgefunden wurde es hier von AMAR (13) bei *Saponaria officinalis* und *Oxalis acetosella* und in den Wurzeln von *Rumex acetosa*. Mehr Kalziumoxalat als die oberirdischen Teile speicherte das Rhizom bei *Polygonum perfoliatum*. Allgemein bekannt ist der Oxalat-Reichtum der unterirdischen Teile von Rhabarber-Arten (*Rheum*). Auffallenderweise besitzen die Leguminosen unterhalb des CASPARYSCHEN Streifens im Perizykel Kalkablagerungen. Dieses Vorkommen ist deshalb von besonderem Interesse, weil es experi-

mentell erwiesen ist, daß außer Kalksalzen auch Strontium- und Bariumsalze im Perizykel ausgefällt werden (nach COLLIN RUFZ DE LAVISON).

Sonst kann der oxalsaure Kalk in fast allen Organen und Geweben beobachtet werden. Nach GIESSLER (14) ist die Ablagerung der Oxalate in den Geweben vorwiegend eine periphere. Das zeigt sich am deutlichsten in den Laubblättern, wo das Oxalat oft in der Epidermis und in dem peripher angeordneten Assimilationsgewebe zu finden ist. In Stengeln, Blatt- und Blütenstielen speichert die Rindenpartie und die Epidermis die Oxalate auf. Diese periphere Lage der Oxalate ist zweifellos mit biologischen Gedankengängen zusammenzubringen. Einerseits vermag der oxalsaure Kalk gegen Tiere, die nicht Spezialisten, sondern Omnivore sind, Schutzfunktion auszuüben. Andererseits ist es besonders bei den kalkimprägnierten Membranen und bei den kalkhaltigen Rinden der Cupressineen (46) nicht von der Hand zu weisen, daß hier auch mechanische Faktoren vorliegen. Vielfach wird ein Schutz gegen die scheuernden Wirkungen des Windes in Frage kommen.

Die von GIESSLER aufgestellte Regel hat aber nicht durchweg Geltung. So findet sich auch oft Oxalat im Mark von Stengeln, z. B. bei *Rumex scutatus* (7, S. 116), und bei *Rheum*-Blättern fehlt das Oxalat z. B. in der Epidermis, während es im Schwammgewebe anzutreffen ist.

Unter allen Kalziumoxalatkristallformen scheinen die Raphiden eine Sonderstellung einzunehmen. Schon SCHIMPER (29) bemerkte, daß die Raphiden bereits in jungen, noch im Wachstum begriffenen Blättern fertig ausgebildet werden und nachher weder an Größe noch an Zahl zunehmen, und folgert weiter, daß Blätter, die nur Raphiden besitzen, demgemäß zeitlebens die gleiche Menge Kalziumoxalat behalten.

Zu finden sind die Raphiden in allen Teilen des Grundgewebes, im Mark, der primären Rinde von Stengeln, im Mesophyll der Blätter und dem Rindenparenchym der Blattstiele, ferner dem Stranggewebe angehörig in der sekundären Rinde, selten im Holz. KOHL (28, S. 92) führt als einziges Beispiel für im Xylem liegende Raphiden *Galipea simplicifolia Mart.* an. Die von SCHIMPER gemachten Beobachtungen wurden von BENECKE und KOHL bestätigt. Die Pflanzen brauchen sogar nicht einmal Kalksalze von außen aufzunehmen, um zur Raphidenbildung zu gelangen. Bei Versuchen, die STAHL (3, S. 75) ausführte, genügten bei *Impatiens glanduligera*, *Godetia Lindleyana* und *Asperula arvensis* die im

Samen vorhandenen Kalziummengen vollständig, um bei einer Keimung auf mit destilliertem Wasser angefeuchtetem Papier Raphiden zu erzeugen. Sie benötigten zu ihrer Bildung also sehr wenig Kalzium, nach MÜLLER (30) sogar viel weniger als die übrigen Kalziumkristalle.

Bei ihrem Auftreten in den Pflanzen täuschen sie leicht einen großen Kalziumgehalt vor. Ihr Volumen und Gewicht ist jedoch nur sehr gering. „Nach ANDREW (Wirkungen der Zentrifugalkraft auf Pflanzen, in Pringsh. Jb. 39, 1903) wiegt eine Raphide von *Agave mexicana* nur 0,0038 mg“ (2, S. 151).

Die Raphiden sind sehr charakteristisch für die Monokotyledonen, so finden sie sich bei den Liliaceen, Amaryllidaceen, Orchideen, Commelineen, Musaceen usw. Von den Dikotyledonen besitzen sie z. B. die Gattungen *Galium*, *Impatiens*, *Vitis*, *Phytolacca*.

Ferner ist für die Raphiden ihre Lagerung in Schleim bezeichnend, was mit ihrer biologischen Schutzfunktion in Verbindung gebracht werden kann.

Kristallsand enthalten nach STAHL hauptsächlich die Pflanzen nährkräftiger Böden. Dazu gehören die Solaneen, *Sambucus*, verschiedene *Cinchona*-Arten, Chenopodiaceen und Amarantaceen.

Sphärokristalle kommen nur selten vor. Sie wurden im Mark der Zweige von *Terminalia Bellerica* und *T. paniculata*, bei verschiedenen Cacteen und in den Samenschalen einiger Caryophyllaceen gefunden (4, S. 493).

Am verbreitetsten von allen Kalziumoxalatkristallformen sind die Drusen. Als Beispiel sei nur ihr Vorkommen bei den Chenopodiaceen, Polygonaceen, Caryophyllaceen, Cacteen, Malvaceen und Tiliaceen angeführt.

Kein Kalziumoxalat wurde bei folgenden Familien gefunden: Equisetaceen, Gramineen, Cyperaceen, Papaveraceen, Primulaceen und Valerianaceen. Weiter unten werden wir sehen, daß hier die Salzexkretion auf eine andere Art und Weise erfolgt.

Über die Bildungsbedingungen des Kalziumoxalats ist der Streit der Meinungen hin und her gegangen, solange man sich überhaupt mit der Kalziumoxalatfrage beschäftigt hat. Es standen sich hauptsächlich zwei Ansichten gegenüber: SCHLEIDEN (15) vertrat den Standpunkt, daß die bei dem Vegetationsprozeß entstehende Oxalsäure störend auf die Entwicklung der Pflanzen einwirken könne. Aus dem Grunde müsse sie durch Basen neutralisiert werden. Dieser Meinung schloß sich auch SCHIMPER (29) an. Er beobachtete Vergiftungserscheinungen bei den Laubblättern der in

kalkfreier Nährlösung gezogenen *Tradescantia Sellowiana*, die er auf die Wirkung reich gebildeter löslicher Oxalate zurückführte. Die Oxalsäure müsse also aus dem Stoffwechsel entfernt werden.

Demgegenüber betrachtet DE VRIES „die Ausscheidung des Kalkoxalats als einen besonderen Fall der Kalkablagerung im allgemeinen“ (15). Nach ihm bilden die Pflanzen die Oxalsäure ganz oder teilweise zum Zwecke der Ausscheidung des überflüssig aufgenommenen Kalkes. Die Meinung, daß die Oxalsäure durch Anhäufung für das Leben der Zellen gefährlich werden könnte, sei eine willkürliche. Denn manche Pflanzen sind reich an Oxalsäure oder doch an deren Kalisalz, ohne davon den geringsten Schaden zu empfinden (*Oxalis*, *Begonia*, *Geranium*). Andererseits habe man bei kalkarmen Pflanzen keine besondere Anhäufung von freien Säuren gefunden oder eine Beeinträchtigung des Wachstums durch solche beobachtet.

PFEFFER sieht in der Bildung der Oxalsäure auch einen sekundären Vorgang, er findet, daß „die Prozesse in den Basen disponibel werden, zugleich selbstregulierend sind, indem sie Veranlassung zur Entstehung von Säuren geben“ (16). Diese regulatorische Wirkung der Oxalsäure fand auch WEIMER durch seine Untersuchungen bestätigt (3, S. 7).

Seitdem es durch KLEIN nachgewiesen ist, daß die Oxalsäure ein intermediäres Atmungsprodukt ist, wird es verständlich, daß dieser im allgemeinen rasch durchlaufene Körper in dem Augenblick von dem Kalzium ergriffen und als Oxalat ausgefällt wird, wo der Kalk als Überschuß vorhanden ist.

BENECKE (17) versuchte, den Kalziumoxalatgehalt der Pflanze durch die Wahl der Stickstoffquelle zu variieren. Seine Versuchsobjekte waren *Zea Mays*, *Fagopyrum* und *Tradescantia*. Bei Zugabe von Kaliumnitrat wurden im Stoffwechsel Basen frei, die Kalziumoxalatmenge vergrößerte sich, während Zufuhr von Ammoniumsulfat nach Verbrauch des in ihm enthaltenen Stickstoffs Säuren freimachte und die Produktion von Kalziumoxalat verringerte.

Einen Fortschritt stellten dann auch die Versuche von AMAR dar, dem es gelang, in kalkfreier Nährlösung aus Samen verschiedene Caryophyllaceen zu ziehen, die vollständig oxalatfrei waren. Vergleiche mit Pflanzen, die in Nährösung mit steigendem Kalziumnitratgehalt gezogen wurden, ergaben, daß erst bei einer bestimmten Konzentration des Salzes, die von der Pflanzenart abhängt, in den Blättern Kalziumoxalat gebildet wurde. (Scheinbar

kann also erst bei einem bestimmten Kalküberschuß die bei der Atmung gebildete Oxalsäure abgefangen werden.) AMAR kam zu dem Schluß, daß der Kalk, der zum Aufbau und zur physiologischen Funktion der Pflanze notwendig ist, bis zu einer gewissen Menge vollständig von der Pflanze „assimiliert“ wird. Eine größere Menge wird als unnütz in der Form des Kalziumoxalats eliminiert. Die Bildung des Kalziumoxalats habe als Ziel mehr die Ausscheidung des Kalkes als die der Oxalsäure.

Während AMAR nur mit Kalziumnitratzusatz arbeitete, um die Bildung des Oxalates zu studieren, nahm STAHL Kalziumsalze, „deren Säuren in keiner Beziehung zur Eiweißbildung stehen“. Seine Versuchsstoffe waren *Dianthus caryophyllus*, *Viscum album*, *Tradescantia zebrina* usw.

Das Ergebnis war, „daß Zufuhr von verschiedenen anorganischen und organischen Kalkverbindungen die Gewächse zur fortgesetzten Bildung von Oxalsäure anregt“. Die Salze, die in Anwendung kamen, waren: Kalziumchlorid, Kalziumsulfat, Monokalziumphosphat, Kalziumkarbonat und die organischen Salze zitronensaures Kalzium, essigsaurer Kalzium, apfelsaures und saures weinsaures Kalzium. Die verschiedenen Kalksalze sind aber nicht gleichgut geeignet, die Oxalsäurebildung hervorzurufen. So unterblieb die Neubildung der Oxalatkristalle bei Darreichung von milch- und buttersaurem Kalk.

Das könnte man vielleicht mit der Dissoziation der Salze in Zusammenhang bringen. Der milchsaure Kalk ist schwer löslich und schwer dissoziierbar. Ebenso dürfte der Buttersäure-Rest von der Pflanze schwer verarbeitet werden.

Die STAHL'schen Versuche wurden in derselben Art von MÜLLER (18) durch Züchten von *Callisia*-Stecklingen in reiner Kalziumbikarbonatlösung fortgeführt und STAHL's Ergebnisse bestätigt.

Durch die Reihe der Untersuchungen von STAHL und MÜLLER hat die Annahme von DE VRIES eine kräftige Stütze gefunden, „daß die Oxalsäure gebildet wird, um den überschüssigen Kalk unschädlich zu machen“. Daß das Kalziumoxalat als Exkret aufzufassen ist, sieht DE VRIES auch in der Tatsache, daß die Art der Ablagerung dieses Salzes meistens eine solche ist, daß das Kalksalz dem Stoffwechsel in der Pflanze möglichst entzogen wird.

Auch dadurch wird die Auffassung des Oxalates als Auswurstoff wahrscheinlich gemacht, daß zwischen den Ablagerungen des Kalkes und der Kieselsäure eine Übereinstimmung besteht. Letztere

ist ein unnötiger Stoff im Leben der höheren Pflanze, der nur infolge der Diffusionsgesetze von den Pflanzen aufgenommen wird und an bestimmten Stellen in den Organen wieder abgelagert wird, und zwar an Orten, die den Säfteaustausch in den Organen am wenigsten beeinträchtigen.

Es ist sehr wohl denkbar, daß die Kieselsäure als solche für biologische Vorgänge eine Bedeutung erlangen kann. De VRIES betrachtet die Sache nur vom physiologischen Standpunkt aus. Sicher werden aber die Halme der Gramineen durch die Kieselsäure sehr gefestigt und die Diatomeen können ohne Kieselsäure überhaupt nicht gedeihen.

Man kann wohl sagen, daß die meisten Autoren sich der Ansicht anschließen, daß das Kalziumoxalat als Exkretstoff zu betrachten sei. Zu ihnen gehören PFEFFER, GISSLER, BENECKE, AMAR, CZAPEK (19).

Ein großer Teil sieht aber in dem Kalziumoxalat nicht nur das Exkret, sondern zugleich noch den Reservestoff, der von der Pflanze wieder aufgelöst werden kann. Nach einem Zitat bei AMAR (13, S. 195) wandert das Kalziumoxalat im Herbst aus den Blättern in die Zweige, um im Frühjahr wieder in die jungen Blätter zurücktransportiert zu werden, wo es sich auflöst und wieder als Nahrungsmittel verwendet wird, eine Ansicht, die von den späteren Forschern widerlegt worden ist, wie weiter unten gezeigt werden wird, und gegen die schon der geringe Gehalt an verbrennbaren Stoffen in der Oxalsäure spricht; denn die Oxalsäure ist ein energetisch armer Körper.

Eine Auflösung des Kalziumoxalats wurde von M. WAHLICH (13, S. 201) bei *Tradescantia discolor* und *Bryophyllum calycinum* beobachtet, die auf kalkfreiem Boden wuchsen. Besonders die Einzelkristalle schwanden, während die Raphiden intakt blieben.

Im Widerspruch dazu steht eine Erfahrung von AMAR (13, S. 260), der Caryophyllaceen zuerst in der Erde zog, bis sie etwa 2 bis 3 Blätter gebildet hatten, und sie dann in eine kalziumfreie Lösung brachte. Es stellte sich heraus, daß jetzt die neugebildeten Blätter oxalatfrei blieben, die in den unteren Blättern abgesetzten Kristalle wurden nicht aufgelöst, sondern blieben in derselben Menge in den Geweben liegen, obgleich die Pflanze aus Mangel an Kalziumverbindungen nur eine geringe Zahl neuer Blätter zu bilden vermochte. Demnach, meint AMAR, könne das Kalziumoxalat nicht als ein Reserveprodukt betrachtet werden, da es selbst bei größtem Bedürfnis nicht wieder verwendet werde.

MÜLLER (18) stellte ebenfalls fest, daß einmal abgelagerte Kalziumoxalatkristalle selbst bei Kalkhunger von keiner Pflanze wieder aufgelöst werden.

Wir möchten darauf hinweisen, daß diese Versuche sehr künstlich sind und nicht den in der Natur vorliegenden Verhältnissen entsprechen.

Wenn die Oxalatauflösung auch anscheinend keine große Rolle im Pflanzenleben spielt, so kann aber doch unter Umständen eine Lösung der Kristalle auftreten. So beobachtete FRANK (Pringsh. Jahrb. V, 181, 1866) Lösungsvorgänge in den Schleimzellen von Orchideenknollen, DE VRIES solche in reifenden Kartoffelknollen, CZAPEK (19, S. 77) an den Drusen in den Keimblättern von Convolvulaceen, ALEXANDROV und TIMOFEEV im Stamm von *Sterculia*: ALEXANDROV (20) fand, was mir nicht wahrscheinlich erscheint, daß Kalziumoxalatkristalle im Blatt von *Amarantus retroflexus* innerhalb von 24 Stunden wuchsen und kleiner wurden, demnach die Kristalle also nicht als Endprodukte des Stoffwechsels betrachtet werden könnten.

Eine sichtbare Entfernung des Kalziumoxalats als Exkret hat man bei dem sich ständig wiederholenden Laubfall der Bäume sowie bei der Abschülferung des Korkes und der Borkenbildung.

Es ist eine von vielen Autoren festgestellte Tatsache, daß der Kalkgehalt sowohl während des Heranwachsens als auch im erwachsenen Zustand der Blätter ständig zunimmt. Nach WEIMER findet „das erst langsam verlaufende Wachstum des jungen Sprosses im Frühjahr ohne nennenswerte Kristallabscheidung statt und bereits im Vorjahr ausgeschiedene bleiben unverändert an den bezüglichen Orten liegen“ (21). Mit der Beschleunigung des Wachstums setzt dann die neue Kalziumoxalatbildung und die Bildung neuer Eiweißstoffe ein. Der Kalkgehalt nimmt während des Heranwachsens der Blätter so stark zu, daß alte Blätter die zehn- und mehrfache Menge der im Jugendzustande der Blätter vorhanden gewesenen Kalkquantität aufweisen können. „In dem von TUCKER und TOLLENS untersuchten Falle enthielten 500 *Platanus*-Blätter am 13. Juni 2,49 g Kalziumoxyd, am 5. November aber 9,16“ (1, S. 439), woraus ersehen werden kann, daß nicht nur im Höhepunkt des Wachstums die Kalkvermehrung ansehnlich ausfällt, sondern daß die Kalkbildung mit der Eiweißsynthese zusammenhängt. In den späteren Lebensstadien geschieht die Vermehrung der Asche hauptsächlich durch den Kalk, während „die löslichen Mineralstoffe, im besonderen Kali- und Phosphorsäure,

schon frühzeitig, Anfang Juni, einen Höchstgehalt erreichen, der nun bis in den Herbst hinein konstant bleibt“ (22, S. 41). Der Stickstoffgehalt erfährt bis zu dieser Zeit auch keine bedeutende Abnahme. SWART, der sich mit der Stoffwanderung in den ablebenden Blättern beschäftigte, untersuchte den Verbleib der Mineralstoffe während des Vergilbens der Blätter. Bis zu dessen Einsetzen war keine Abnahme zu bemerken, sobald aber die Verfärbung eintrat, nahm oft in wenigen Tagen der Stickstoff-, Phosphorsäure- und Kaligehalt in recht bedeutendem Maße ab. „Beachtenswert ist noch, daß Kalk und Kieseläsäre — dasselbe gilt auch von Schwefelsäure und chloriden Stoffen —, die sonst in den Blättern angereichert werden, wenig oder gar nicht zunehmen, was darauf schließen läßt, daß in dieser letzten Lebensperiode der Blätter überhaupt wenig Nährsalze mehr aus dem Boden aufgenommen werden (22, S. 68).“

Das Ableben der Blätter erfolgt nach SWART in der Hauptsache selbstregulatorisch aus inneren Gründen und beruht im allgemeinen auf einer Alterserscheinung, die ihre Ursache in den erblichen Eigenschaften des Plasmas hat.

Es wäre noch daran zu denken, daß das Altern der Blätter nach ARTHUR MEYER durch das in den Blättern entstehende eigen-tümliche Sekret, das Meseckret, hervorgerufen werden soll.

Bevor die Blätter aber abfallen, werden der Pflanze die Stoffe, die sie noch zu ihrem Stoffwechsel weiter gebrauchen kann, in diesem Falle also Stickstoff, Phosphor und Kalium, wieder zugeführt, während der Kalk als wertloses Exkret mit den Blättern zu Boden fällt.

Entgegen dieser Ansicht betonen COMBES und KOHLER (23) die Wahrscheinlichkeit, daß die brauchbaren Mineralstoffe nicht vollständig in die ausdauernden Organe abwandern, sondern zum Teil während des Vergilbens der Blätter durch Regen und Tau entfernt werden, eine Ansicht, die schon von TOLLENS und TUCKER geäußert wurde. Für die Kohlehydrate wurde von COMBES und KOHLER an *Fagus sylvatica* und *Aesculus Hippocastanum* nachgewiesen, daß nur $\frac{4}{20}$ als Reservestoffe in den Stamm wandern. $\frac{9}{20}$ fällt mit den Blättern ab, geht also für den Baum verloren. $\frac{7}{20}$ verschwinden durch die Atmung und Fortspülung durch die atmosphärischen Niederschläge. Demnach würde für die Wiederverwendung in der Pflanze nur ein ziemlich kleiner Teil der Nährstoffe aus den Blättern übrig bleiben.

Diese Resultate sind anzuzweifeln, da die Kohlehydratbestimmung meistens nach FEHLING gemacht wird, so daß es gar nicht gesagt, daß es Kohlehydrate sind, die als Nährstoffe noch in Frage kommen. Es können vielleicht Pentosane und sonstige reduzierende Körper gewesen sein.

Fassen wir zusammen, so kommen wir zu dem Schluß, daß das Kalziumoxalat als ständiges oder temporäres Exkret, manchmal als Sekret in Frage kommt.

Die Gips-Ausscheidung

Vor einiger Zeit hat BRUNSWIK (24) darauf aufmerksam gemacht, daß nicht alle Kristalle in den Pflanzen, die man bisher für Kalziumoxalat gehalten hatte, auch tatsächlich solches seien. Vielmehr beständen sie oft aus Gips. Er wies nach, daß die im Stamm, in den Blättern, Blüten, in Samenanlagen und Samen bisher von SOLEREDER (Syst. Anat. d. Dikotyl. 1899) und BRUNNER (24, S. 115) für Kalziumoxalat gehaltenen Kristalle aus Kalziumsulfat bestehen, eine Angabe, die von MOLISCH (25) bestätigt worden ist.

Bisher seien die Gipskristalle wahrscheinlich deswegen mit dem Oxalat verwechselt worden, weil sie mit diesem in der Kristallform und in ihrem mikrochemischen Verhalten gegen Essigsäure und Chloralhydrat eine gewisse Übereinstimmung zeigen. Nach BRUNSWIK scheint das Auftreten der Gipskristalle mehr gebunden an die stärker transpirierenden Organe. So finden sie sich hauptsächlich in den Blättern, wo sie ganz in den plasmatischen Zellinhalt eingekapselte Drusen bilden, und in dem Mark und in der Rinde von einjährigen grünen Zweigen. Oft liegt der Gips in Zellen, die deutlich verholzt sind, bei manchen *Tamarix*-Arten in Sklerenchymzellen, die schon deutlich den Habitus von Steinzellen haben. Wie das Kalziumoxalat, sei auch der Gips als Exkret im Sinne von STAHL aufzufassen. Dem widerspricht allerdings eine Angabe des Verfassers, wonach der Gips in mehrjährigem Holze — im Gegensatz zu den Oxalkristallen bei vielen Holzgewächsen — nur sehr spärlich vorkommen soll. Da er im Mark und in der Rinde von einjährigen Sprossen reichlich zu finden ist, so müssen die Kristalle „bei weiterem Wachstum infolge erhöhten Wasserzuflusses wieder in Lösung gehen“ (24, S. 121) und scheinen dann wieder als Nährstoffe zu fungieren.

Die Exkretion als Kalziumkarbonat

Neben oder anstatt des oxalsauren Kalkes findet sich in den Pflanzen auch der kohlensaure Kalk. Dieser ist im Pflanzenreich

ziemlich verbreitet, wenn er auch nicht so häufig auftritt wie der oxalsaurer Kalk.

Er kommt sowohl in gelöstem Zustand als Bikarbonat als auch in ungelöstem Zustand vor. Als Lösung wird er bei der Guttation, die später besprochen wird, aus der Pflanze entfernt, im ungelösten Zustand bildet er mit Vorliebe, im Gegensatz zu dem oxalsauren Kalk, der meistens als Zellinhaltbestandteil zu finden ist, eine Inkrustation der Membran, und erst in zweiter Linie tritt er als Inhalt der Zelle auf.

In den Membranen ist der Kalk in der Form der Cystolithen, so bei den Urticaceen, Moraceen, Acanthaceen und als einfache Wandverkalkung besonders der Haarbildungen, z. B. bei den Borragineen zu beobachten, die dann gleichzeitig dem Schutz der Pflanze dient.

Als Inhalt erfüllt der Kalk bei einigen dikotylen Holzgewächsen die Gefäße des Kernholzes. Als Beispiele seien dafür *Ulmus campestris*, *Celtis australis*, *Sorbus torminalis*, *Fagus silvatica* genannt. „Die Ausfüllung der Gefäße und Zellen ist meistens eine so vollständige, daß man in der Asche gewöhnlich solide Abgüsse bemerkt, die nicht nur die Form des Lumens, sondern auf ihrer Oberfläche auch einen genauen Abdruck von dem Relief der Wand erkennen lassen (31, S. 27).“ Die Ablagerung des Kalkes erfolgt von der Wand des Gefäßes, vom lebendigen Holzparenchym ausgehend, allmählich nach der Mitte des Raumes zu. Indessen findet sich die Kalziumkarbonatablagerung nicht in dem Kernholz aller Dikotylen. So fehlt sie z. B. bei den Papilionaceen, Amygdaleen, Elaeageneen und Ebenaceen. MOLISCH erklärt das damit, daß bei diesen Gewächsen wahrscheinlich die Gummistoffe, die diese Familien besitzen und die sich schon frühzeitig im Holze bilden, die Gefäße erfüllen und der Kalkablagerung ein Hindernis in den Weg legen. Oder es können vielleicht auch z. Zt. der Kernholzbildung die Membranen mit irgendwelchen Stoffen infiltriert werden, wodurch erstere für die Kalklösung impermeabel werden.

Unserer Meinung nach handelt es sich um ein Vikariieren von Thyllenbildung, Gummi- und Harzbildung einerseits und von Karbonatabbildung andererseits.

Daß das Kalziumkarbonat ebenso wie das Oxalat ein Exkret sei, war schon von SCHIMPER und KOHL vermutet worden. Experimentell bestätigt wurde dies von STAHL, der prüfte, ob Pflanzen, die nur Karbonat abscheiden, durch Kulturversuche mit Kalziumnitratlösung zur Adventivkarbonatabbildung anzuregen wären. Er

gelangte zu dem positiven Ergebnis, daß „Karbonatpflanzen“, z. B. die Cruciferen ebenso wie die „Oxalatpflanzen“, zur künstlichen Karbonatbildung gezwungen werden können. Bei *Arabis albida*, *Aubrietia deltoidea*, *Dentaria glandulosa*, ferner bei *Adoxa moschatellina* und *Petasites officinalis* entstanden, wenn die Blätter der Pflanzen in kohlensäurereicher Luft einige Tage in 1%ige Kalziumnitratlösung getaucht wurden, Anhäufungen von Kalziumkarbonat, und zwar merkwürdigerweise in den Interzellularräumen.

Daß sich unter natürlichen Umständen der kohlensaure Kalk nicht dort findet, führte STAHL darauf zurück, daß der Kalk bei den Pflanzen in dem Falle durch Wasserspalten entfernt würde, was bei den Versuchsblättern nur in erschwertem Maße möglich wäre. Unter den Boragineen speicherte *Omphalodes verna* bei Zufuhr von Kalksalzen Kalziumkarbonat im Lumen der Haare auf.

Gar keine Ablagerung von kohlensaurem Kalk wurde bei den Schachtelhalmen und Gräsern erhalten; das negative Ergebnis wird hier an der Guttationsmöglichkeit der entsprechenden Pflanzen liegen.

Man sieht also, daß Kalziumkarbonat wie der oxalsäure Kalk Exkret sein kann. In manchen Fällen scheint er aber auch als Sekret zu fungieren. So wurde von KOHL bei *Ficus*-Arten die Auflösung der Cystolithen beobachtet (28, S. 137).

Die Guttation

Bisher wurden lediglich Fälle besprochen, in denen die Kalziumverbindungen innerhalb der Pflanze abgelagert wurden. Sollen die Salze nach außen befördert werden, so geschieht dies, wie es an den Kalkschuppen der Saxifragaceen und Plumbaginaceen deutlich sichtbar ist, hauptsächlich durch Wasserspalten oder Wasserdrüsen. Erstere scheiden das Wasser aus infolge eines im Innern der Pflanzen erhöhten Wasserdrucks, letztere brauchen den im Wasserleitungssystem herrschenden Blutungsdruck nicht, sondern sezernieren selbstständig mit ihren Zellen.

Über die Bedeutung der Wasserausscheidungsorgane für das Leben der Pflanze gehen die Ansichten der Autoren sehr auseinander.

So sah MOLL (3) in ihnen Organe, deren Hauptfunktion es sei, die Blätter vor nachteiliger Injektion der Interzellularräume mit Wasser zu schützen, eine Ansicht, der auch HABERLANDT (4) beipflichtet; jedoch gibt er zu, daß die Injektion „zwar nicht direkt schädlich zu sein scheint“, wegen Behinderung des Assimilations-

gaswechsels würde sie aber die Ernährungstätigkeit der Pflanzen herabsetzen.

Daß die Hydathoden nicht von wesentlicher Bedeutung für die Verhütung der Injektion der Durchlüftungsräume sind, wurde von LEPESCHKIN (5) nachgewiesen. Er stellte fest, daß die Pflanzen nicht littcn, wenn durch Entfernung der Hydathoden eine künstliche Injektion der Interzellularräume hervorgerufen wurde. Bei *Fuchsia* waren nach einer 18 Tage dauernden Injektion die Blätter noch unversehrt. Zugleich fand LEPESCHKIN noch, daß die Assimilation durch die Injektion auch nicht beeinträchtigt wird.

Einen weiteren Nutzen der Hydathoden sah HABERLANDT in der ausgiebigen Wasserdurchströmung bei aufgehobener Transpiration, wodurch der Pflanze die notwendige Nährsalzmenge zugeführt würde. Diese Annahme wird nach STAHL (3) dadurch wahrscheinlich gemacht, daß alle raschwüchsigen, krautigen Schattenpflanzen und einige autotrophe Holzgewächse derselben Standorte stark ausscheiden.

STAHL sieht außer diesen Aufgaben der Hydathoden ihre Hauptfunktion in der Ausscheidung der Sekrete, insbesondere der mineralischen Stoffe, deren Ansammlung der Pflanze schaden soll. Schon VOLKENS gelangte bei seiner Untersuchung der Kalkdrüsen der Plumbagineen (8) zu dem Resultat, daß die Drüsen überschüssige Kalksalze aus einer großen Zahl von Pflanzen entfernen. Die Salze seien in der Pflanze gelöst, wahrscheinlich in Gestalt des sauren Karbonats, und würden nach der Ausscheidung infolge der Verdunstung und Einwirkung der Luft in das neutrale Salz übergeführt.

Und LEPESCHKIN (5) sagte: „Es ist aber wohl zuzugeben, daß die bei einigen Pflanzenarten, die im trockenen Klima in salzreichen Böden vegetieren und einer größeren Transpiration nicht angepaßt sind, durch sog. Salzdrüsen erzielte Saftströmung im Gegenteil eine zu reichliche Salzanhäufung in der Pflanze verhüten könnte.“

SCHTSCHERBACK (9) erkannte ebenfalls die Salzexkretion der Halophytenflora an. Einen wesentlichen Fortschritt in der Erkenntnis der Funktion der Hautdrüsen verdanken wir RUHLAND (10). Nachdem er die Hautdrüsen der Plumbagineen untersucht hatte und endgültig festgestellt hatte, daß sie nicht dem Typus der Filtrationshydathoden angehören, sondern aktiv Wasser auspressen, wandte er sich der Frage zu, experimentell festzustellen, „ob durch die Sekretionstätigkeit der Drüsen in der Tat eine Entsalzung möglich ist“. Zu der Fragestellung gelangte er durch die Erfahrung,

daß die Pflanze eine Kochsalzlösung von derselben Konzentration ausschied, wie sie im Blatt vorhanden war. Die Pflanze würde durch den Verlust der Lösung gezwungen sein, das verlorene Wasserquantum durch ein gleiches aus dem Boden zu ersetzen. Sie würde also dieselbe schädliche Salzlösung aufnehmen, wie sie eben abgegeben habe, wenn sie eine konzentriertere Lösung ausscheiden würde, als sie aufgesaugt habe.

Um diese Frage zu klären, untersuchte RUHLAND das Permeabilitätsverhältnis der Wurzeln und der Blätter für Kochsalz mit Hilfe der plasmolytischen Methode (10, S. 458).

Es ergab sich eine große Verschiedenheit der Durchlässigkeit der Wurzeln und der Blätter. Für erstere konnte der Permeabilitätskoeffizient wegen zu geringer Durchlässigkeit überhaupt nicht berechnet werden, während das Blattgewebe ziemlich hohe Werte ergab. „Infolgedessen tritt also mit der Bodenlösung in die Wurzel jeweils nur wenig Chlorid über, und wenn dessen Lösung, in die Blätter aufsteigend und dort durch die Transpiration entsprechend konzentrierter geworden, in dieser nunmehr erreichten Konzentration sezerniert wird, so wird in der Tat einer Anhäufung wirksam vorgebeugt, d. h. eine ‚Absalzung‘ erreicht.“

Letztere wurde dann auch experimentell bei den Pflanzen nachgewiesen. „Selbst wenn die Blätter in etwas hypertonische Salzlösungen untergetaucht werden, findet entgegen dem osmotischen Gefälle durch kinetische Energie des Exkretionsstromes Abgabe von Salz, also Absalzung, statt.“

Diese Absalzung erstreckt sich aber nicht nur auf Kochsalz, sondern auch andere Salze, wie Magnesium- und Kalziumsalze, werden aus dem Pflanzenkörper entfernt.

Da der ausgeschiedene Kalk sich infolge seiner Unlöslichkeit meistens als feste Kruste auf den Blättern absetzt, während die andern löslichen Salze bald von der Oberfläche der Pflanze abgewaschen werden, wurden die sezernierenden Drüsen von den Autoren als „Kalkdrüsen“ bezeichnet, eine Benennung, die sich z. B. bei SOLEREDE (11) vorfindet. Zu den ausgeschiedenen Stoffen zählen bei Versuchen mit Nährsalzlösungen sogar Nährstoffe, die für die Pflanzen wichtig sind, wie Kalisalze, Phosphate und Nitrate. „Die Drüsen arbeiten also sozusagen ‚wahllos‘ (10, S. 469).“ RUHLAND ist aber der Ansicht, „daß die Salze wegen des mangelnden Anschlusses der Drüsen an das Gefäßbündelsystem des Blattes zuvor reichlich die lebenden Zellen durchströmt haben, so daß diese genügende Gelegenheit hatten, aus der sie durchströmenden Lösung

zu schöpfen und die für ihren Bedarf nötigen Mengen festzuhalten". Es kann also nur dann Exkretion eintreten, wenn ein Überschuß an Salzen vorhanden ist.

Verschwendet würden auch insofern keine Salze, als diese ja durch den Regen von den Blättern gespült und damit wieder dem Wurzelbereich der Pflanze zugeführt würden.

Somit kommt RUHLAND zu dem Ergebnis, daß die Salze, die die Drüsen ausscheiden, Exkretstoffe sind. Diese Erklärung wird noch durch die Tatsache gestützt, daß den Plumbaginaceen, die reichlich Kalk ausscheiden, oxalsaurer Kalk in den Geweben fehlt. Trotzdem in den Blättern Oxalsäure nachweisbar ist, werden die überschüssigen Basen nicht von ihr gebunden, sondern den Drüsen fällt die Aufgabe zu, die unnützen Kalkmengen als gelöstes Bikarbonat zu entfernen.

Es handelt sich bei diesen Blättern um sukkulente Blätter. Alle Xerophyten haben eine schlechte Gasdurchlüftung. Also häuft sich Oxalsäure an, die sich besonders bei Sauerstoffmangel bildet und dann an Stelle von ausgeatmeter Kohlensäure vorhanden ist.

Während bei den Plumbagineen die Exkretstoffe aus der Pflanze entfernt werden, wird das ausgeschiedene Wasser mit den darin gelösten Salzen bei den mit Wasserkelchen versehenen Gewächsen, die sich vorzugsweise unter der Tropenflora finden, aufgespeichert.

Die Inhaltsbestandteile des Wasserkelchs, der wohl hauptsächlich dem Schutz der Blütenblätter und Geschlechtsorgane dient, wurde von TREUB (3, S. 62) untersucht. Bei *Spathodea* wies er in der Asche außer Chloriden, Nitraten, Sulfaten, Kalium, Natrium und Kalzium nach. Kalium und Kalziumkarbonat wurden von BOORSMA in *Clerodendron Minahassae* gefunden (3, S. 62).

Neben den Wasserspalten und Wasserdrüsen erkennt STAHL auch noch die extrafloralen Nektarien als Entsalzungsorgane an, die auch noch funktionieren, wenn die anderen Hydathoden nicht mehr sezernieren. „An sehr trocken gehaltenen Pflanzen, wo die Wasserdrüsen versagen, wächst bei verhindertem Ameisenbesuch das sirupöse Exkret zu großen zähen Massen heran, in denen neben auskristallisiertem Rohrzucker in weit größeren Mengen dieselben mineralischen Bestandteile vorkommen, die in den Exkreten der Wasserspalten und Drüsen nachzuweisen sind (3, S. 64).“

Aus der RUHLANDSchen Arbeit sieht man, daß eine Entsalzungsmöglichkeit durch die Guttation bei den Pflanzen gegeben ist. Man

könnte nun aus dieser Tatsache schließen, daß die Kalziumoxalatanhäufung bei solchen Pflanzen fortfallen oder mindestens geringer sein müßte, die schon die Möglichkeit haben, die überschüssigen Kalziummengen im Guttationswasser zu entfernen. Da sich am Ende der Vegetationsperiode immer am meisten Oxalat gesammelt hat, so müßte der Unterschied der Zeit am deutlichsten in Erscheinung treten.

Wie die Verhältnisse hier liegen, wurde von LIPPMANN näher untersucht (12). Eine große Zahl der Pflanzenfamilien wurde auf ihren Besitz an Hydathoden bzw. an Wasserspalten und auf ihren Gehalt an Kalziumoxalat oder Kalziumkarbonat geprüft.

Für die Bedeutung der Wasserausscheidungsapparate als Exkretionsorgane sprechen die Familien, bei denen man die Kalziumoxalatausscheidung nicht gefunden hat und die, wie die Untersuchung zeigte, zum großen Teil zu den stark guttierenden Pflanzen zu zählen sind. Dazu gehören von den Monokotylen die Cyperaceen und die große Mehrzahl der Gramineen, von den Dikotylen die Cruciferen, Fumariaceen, Valerianaceen, Campanulaceen, Primulaceen, Papaveraceen und Plantagineen.

Auffällig ist die Erscheinung, „daß den Holzgewächsen, mit Ausnahme der an ein stets feuchtes Substrat gebundenen, Wasserspalten meist fehlen“ (3, S. 77). STAHL erklärt diese Erscheinung damit, daß die Wasserspalten zu ihrer Tätigkeit auf einen kräftigen Wurzeldruck angewiesen sind. Da er bei den Holzgewächsen „zur Zeit der kräftigsten Ernährung oft negativ zu sein pflegt,“ müssen die Bäume „die Exkrete während der Höhe der Blatttätigkeit zurückhalten“. Daher speichern die Holzgewächse das Oxalat in ihren Organen auf und entziehen es so dem Stoffwechsel. So kann man auch verstehen, daß Familien wie die Cruciferen, Papaveraceen, Campanulaceen, Valerianaceen und Dipsaceen, die nur die Guttation zeigen und denen die Fähigkeit der Kalziumoxalatbildung abgeht, keine Holzgewächse aufweisen, sondern nur krautige Pflanzen enthalten. Wir möchten darauf hinweisen, daß es unter den Cucurbitaceen holzartige Gewächse gibt, die bis jetzt noch nicht untersucht worden sind.

Ein weiteres Beispiel für die Wechselbeziehung zwischen Guttation und Kalziumoxalatbildung sind die *Aster*-Arten, bei denen Ausscheidung und Oxalatbildung sich zu vertreten scheinen: die spaltenlosen *Aster alpinus*, *A. amellus*, *A. multiflorus*, *A. novae Angliae* und *A. tripolium* haben Oxalatkristalle, während die ausscheidenden *Aster brumalis* und *A. incisus* oxalatfrei sind.

Indessen ergibt die Untersuchung der Pflanzen, daß das Kalziumoxalat nicht unbedingt fehlen muß, wenn bei den betreffenden Gewächsen die Guttation vorhanden ist. Es kann nur fehlen. So fanden sich bei den Rosaceen, Malvaceen, Polygonaceen, Araceen, Solanaceen und Tamaricaceen ausscheidende und zugleich reichlich oxalatführende Arten. Ferner lagen in einer *Fragaria elatior*, die unter einer Glocke besonders günstigen Ausscheidungsbedingungen ausgesetzt wurde, die Kristalle im Blatt ebenso dicht wie in einem alten Blatt, dessen Ausscheidungsapparat nicht mehr funktionierte (12, S. 417). Ja, der im Herbst gefundene Oxalatgehalt der ausscheidenden Pflanzen war mindestens ebenso groß wie der der nicht ausscheidenden oxalathildenden Formen. Aus diesen Erscheinungen zieht LIPPmann den Schluß, daß „ein Zusammenhang gesetzmäßiger Art zwischen den Ausscheidungsmöglichkeiten und geformten und ungeformten Exkreten der Pflanze in dem Sinne, daß Fehlen der Ausscheidungsmöglichkeit zu ihrer Speicherung zwingt, Vorhandensein sie hindert“, nicht zu bestehen scheint (12, S. 442).

So viel scheint gewiß, daß die Beziehung zwischen der Guttation und der Oxalatbildung recht verwickelter Art zu sein scheint, da starke Guttation die Ablagerung von Kalziumoxalat nicht verhindert.

STAHL untersuchte ebenfalls den Einfluß der Guttation auf die Aschenmenge der Blätter, von der Erwägung ausgehend, daß der Aschengehalt der ausscheidenden Arten geringer sein müßte als derjenige bei Pflanzen, die die Möglichkeit der Guttation nicht besitzen.

Einige Pflanzen, die starke Exkretion zeigten, wiesen tatsächlich einen kleinen Aschengehalt auf, z. B. *Digitalis purpurea* 5,6%, *Poterium myophyllum* 6,9 %, während nicht ausscheidende Pflanzen wie *Trifolium rubens* 16,9, *Euphorbia lathyris* 18,3, *Chenopodium album* 27,5 und *Anthyllis vulneraria* 29,8% Asche besaßen. Dem stehen aber wieder Pflanzen gegenüber, die das entgegengesetzte Verhalten zeigen. So gibt es Gewächse, die, ohne auszuscheiden, einen geringen Prozentsatz Asche aufweisen. Dazu gehören u. a. *Erica carnea* (5,6%), in erster Linie aber die obligaten Mykotrophen, deren geringe Aschenmenge nach STAHL darauf beruht, daß sie „ihren Pilzwirten nur das von Nährsalzen oder deren Verarbeitungsprodukten zu entnehmen scheinen, was sie für Aufbau, Betrieb und Bestehen benötigen“.

Von Pflanzen, die trotz reichlicher Ausscheidung verkalkte Haare und cystolithenartige Bildungen aufweisen, ist *Melampyrum nemorosum* zu nennen mit einem Aschengehalt von 20,2%.

Fumaria und *Cakile*, die reichlich ausscheiden und erhebliche Salzmengen im Gewebe zurückhalten, haben 15,3 bzw. 24,7 % Asche.

STAHL sagt aber, daß diese hohen Zahlen noch keine richtige Vorstellung von den Salzmengen geben, die die Pflanze durchströmt haben, da vielleicht ein Mehrfaches davon mit dem allnächtlich ausgeschiedenen salzreichen Guttationswasser entfernt werden mag.

Einer Lösung dieser Fragen wird man eben nicht eher näherkommen, als bis man die Kalziummengen genau quantitativ festgestellt hat, die die Pflanzen durch Guttation abgeben und die sie als Oxalat in ihren Geweben anhäufen. Diese Zahlen fehlen vorläufig. Es dürfen auch nur Pflanzen untersucht und miteinander verglichen werden, die unter denselben Bedingungen gewachsen sind. So müssen die Bodenverhältnisse, welche die Pflanzen vorfinden, und das Alter der Pflanzen die gleichen sein.

Wenn die Guttation als Ausscheidungsmittel eine Bedeutung hat, so müßte sich dieses ferner bei der Besiedelung der Kalkböden durch die Pflanzen bemerkbar machen. Es würden dann vorzugsweise auf diesen guttierende Pflanzen gefunden werden. Wie liegen die Verhältnisse hier in Wirklichkeit?

Von LIPPmann ist das bis jetzt darüber vorhandene Tatsachenmaterial zusammengestellt worden: eine große Zahl der Pflanzen, die den Kalkboden bevorzugen, scheidet aus. Sie ist aber nicht größer als die Zahl der Gewächse, die den Kalkboden aufsuchen und keine Guttation zeigen. Auffällig ist jedoch, daß beinahe alle kalkholden, nicht ausscheidenden Pflanzen Mykotrophie zeigen. „Graide diese wirkt besonders störend, denn wie weit eine eventuelle Verpilzung die Aufnahme der Bodensalze ändert, ist ungewiß (12, S. 446).“

Wie durch die Arbeiten von ZIEGENSPECK und FUCHS gezeigt worden ist, erschwert eine Verpilzung der Wurzeln die Wasserdurchströmung wie die Aufnahme von Salzen. Die Guttation kann auch nur temporär wirken und dadurch die Oxalatbildung nebenbei vorhanden sein, hauptsächlich, wenn der Standort manchmal trocken ist.

Nach STAHL begünstigt der trockene Boden, der für die meisten Kalkpflanzen in Frage kommt, die Verpilzung der Wurzeln und hemmt zugleich die Ausscheidung. Indessen ist mit der Mykotrophie noch keine Bevorzugung des Kalkbodens gegeben, denn es

gibt eine Reihe von Pflanzen, die wohl mykotroph, aber zugleich kalkfeindlich sind, wie *Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, *Rhododendron ferrugineum*, *Castanea vesca* u. a. Andererseits scheidet von den nie mykotrophen Caryophyllaceen die kalk- und gipsholde *Gypsophila repens* nicht aus, und die ebenfalls nicht ausscheidende *Silene nutans* wird gleichfalls häufig auf Kalk gefunden.

LIPPMANN schließt aus den vorliegenden Feststellungen, daß, obwohl zweifellos die Möglichkeit, Stoffe mit dem Guttationswasser auszuscheiden, bei den Pflanzen oft vorhanden sei und von ihr auch Gebrauch gemacht werde, dennoch die Ausscheidung nur ein sekundärer Faktor sei. Es „lassen die weder ausscheidenden noch mykotrophen *Sedum*- und *Sempervivum*-Arten (des Jenenser Kalkbodens), ebenso wie einige gut gedeihende, nicht ausscheidende Boraginaceen nicht so die Möglichkeit einer Wiederausscheidung aufgenommenen Kalziums als entscheidend für das Verhältnis einer Pflanze zu Kalkboden erscheinen, wie Eigentümlichkeiten des Stoffwechsels, die entweder Unempfindlichkeit gegen größere Kalkmengen bedingen oder, und das scheint das Wahrscheinlichere, seine Aufnahme verhindern“.

LIPPMANN hat hier vergessen, daß diese Pflanzen mit der Säureatmung ganz andere Verhältnisse haben. Diese Pflanzen transpirieren sehr wenig. Auch die Beobachtung des Salzbasenäquivalentes kann hier tiefere Einblicke bringen. Solche Fragen dürfen nicht einseitig behandelt werden.

Ferner sagt LIPPMANN, man könnte da vielleicht an eine „selektive Tätigkeit der Wurzeln“ denken, wie wäre es sonst zu erklären, daß bei Kalkholden sich in der Asche weniger Kalzium fand, als bei den auf dem gleichen Boden gewachsenen Kalkfliehenden (ohne Rücksicht auf Fehlen oder Vorhandensein von Ausscheidung). „Daß die Wurzeltätigkeit und nicht die Ausscheidungsmöglichkeit entscheidet, dafür scheint auch zu sprechen, daß *Sarothamnus scoparius* auf *Cylisis* und *Castanea vesca* auf Eiche gepropft auf Kalkboden tadellos gedeihen.“

Mit dem Wachsen auf dem Kalkboden hat es eine gewisse Be- wandtnis. Es ist z. B. allgemein bekannt, daß die oberste Erd- schicht von kalkigen Böden vollständig ausgekalkt sein kann. Es können dann auf einem solchen Boden Kalkfliehende gedeihen. Wie wurzelten die kalkholden Pflanzen? Das ist aus der LIPPMANNSchen Arbeit nicht zu ersehen.

Weiter meint LIPPMANN: „Solche in der spezifischen Konstitution der Pflanze begründeten Unterschiede müssen bestehen,

wenn die Plumbaginaceen kein Kalziumoxalat enthalten, die *Tamarix*-Arten reichlich Drusen führen und beide Kalzium ausscheiden.“ Ohwohl die Ausscheidung im allgemeinen auch kein entscheidender Faktor zu sein scheine, so gewinne er für die Pflanze aber in dem Augenblick an Bedeutung, wo sie mit anderen Pflanzen einen Kampf ums Dasein führen müsse. In dem Moment werde die guttierende Pflanze, die imstande ist, große Kalziummengen aufzunehmen, sich eher behaupten können als eine Pflanze, bei der diese Möglichkeit nicht vorhanden sei.

Wenn wir diese Fragestellung in der LIPPMANNSchen Arbeit betrachten, so vermissen wir ein Eingehen auf die einzelnen Pflanzen. Nur dann, wenn man jeden Einzelfall für sich behandelt und Aufnahme, Standort- und Bodenverhältnisse mit hereinzieht, kann man zu deutlichen Bildern kommen. Durch den einfachen Vergleich kann man nicht zur Klarheit in solch komplexen Dingen gelangen.

Die Plumbagineen und Tamaricaceen sind als Beispiele vielleicht am besten geeignet, um unsere Ansicht zu illustrieren. Die Säure der ledrigen Blätter ist eine Atmungssäure; bei ihr werden die kohlehaltigen Substanzen nicht verschwendet, da die fleischigen Blätter schlecht durchlüftet sind. Die Tamaricaceen haben dagegen gute Durchlüftung. An diesen Standorten ist die Bodenfeuchtigkeit zeitlich verschieden; es gibt Zeiten mit großer und solche mit extremer Dürre. Daher kann eine Guttation selbstverständlich mit einer anderen Art der Ausscheidung verknüpft sein. Wir wissen gar nicht, ob die Plumbagineen mit ihren Wurzeln die hohen Salzkonzentrationen aufnehmen. Sie können sehr wohl nur in den Zeiten stark fungieren, wo der Boden durch die Feuchtigkeit ausgesüßt, also ganz anders ist als zu den anderen Perioden. Wenn diese Fragen allgemein physiologisch beantwortet werden sollen, so müssen die Einzelfälle nicht nur im Laboratorium, sondern auch an den Standorten selbst studiert werden.

Die Exkretion in Milch- und Schleimsaft

Als vierte Form der Kalkreinigung käme bei den Pflanzen die Ansammlung der überschüssigen Kalkverbindungen in den Milch- und Schleimsaftbehältern in Frage.

Wenn auch die Bedeutung der Milchröhren bis heute noch nicht vollständig klargelegt ist, so dürften sie doch hauptsächlich zwei Funktionen erfüllen: erstens der Leitung der Assimilationsprodukte dienen und zweitens Endprodukte des Stoffwechsels aufnehmen. Die ernährungsphysiologische Bedeutung des Milchsaftes wurde

hauptsächlich von HABERLANDT, FAIVRE, SCHULLERUS u. a. Forschern vertreten (4, S. 317), die sie teilweise aus den vorliegenden anatomischen Tatsachen, wie z. B. der nahen Beziehung der Milchröhren zu dem Leitparenchym und den Strängen des Leptoms, teilweise aus den physiologischen Experimenten ableiteten, die eine Abhängigkeit der Zusammensetzung des Milchsafes von den verschiedenen Altersstadien der Pflanze und von den Assimulationsbedingungen der Laubblätter erkennen ließen.

MOLISCH sieht in den Röhren Behälter, die „als Reservoir wichtiger Leitstoffe dienen“, was er aus dem Vorkommen von Stärke und Proteinkörnern in den Röhren schließt.

Gegen die Leitung der plastischen Stoffe in den Milchröhren ist von KNIEP eine Reihe von Einwänden erhoben worden. So wohl der Ausfall von Ringelungsversuchen (*Ficus Carica*, *F. elastica*, *F. australica*) als Hungerkulturen im Dunkeln oder in kohlensäurefreier Atmosphäre mit Keimpflanzen von Euphorbien, *Tragopogon*, *Vincetoxicum*, *Chelidonium* sprechen gegen eine erhebliche Beteiligung des Milchsafes an der Ernährung der Pflanze. „Hiermit stehen auch die Tatsachen der Chemie in Einklang, nach welchen der Gehalt an unverwertbaren Stoffwechselprodukten (Gummi, Harze, Kautschuk, Alkaloide usw.) in den Milchsäften ein ungemein höherer ist als der an sog. Nährstoffen.“

Nach HABERLANDT sind die Milchsäftbehälter erst in zweiter Linie Exkretorgane. Ob die oft in großen Mengen in den Milchröhren auftretenden Harz- und Kautschukkügelchen zu den „plastischen Baustoffen“ oder zu den Exkreten zu rechnen sind, ist eine noch nicht geklärte Frage. Neben Harz und Kautschuk kämen als weitere Exkretstoffe noch die anorganischen Salze in Betracht, unter denen hauptsächlich Magnesium und Kalzium eine Rolle spielen, da sie in den Milchröhren „manchmal anscheinend bis zum Sättigungspunkte gelöst vorkommen“ (26, S. 78). Große Mengen Magnesium wurden z. B. in *Ficus elastica* und *Galactodendron utile* gefunden, und ein Beispiel für massenhaftes Vorkommen von Kalzium ist der Milchsaf von *Euphorbia Lathyris*, deren Kalziumsalz nach DE BARY (26, S. 47) sofort auskristallisiert, sobald ein Tropfen des Saftes an die Luft kommt.

Wie FLÜCKIGER feststellte, ist das Kalzium im Milchröhrensaft von *Euphorbia Lathyris* an Apfelsäure gebunden. Die Kalksalze kommen in den Milchröhren in der Regel in gelöstem Zustande vor.

Von exkretphysiologischer Seite ist die Funktion des Milchsafes auf Anregung von STAHL hauptsächlich von ZIEGENSPECK (2)

und ONKEN (27) bearbeitet worden. Sie suchten zugleich die Beziehungen festzustellen, die zwischen der Kalziumausscheidung in den Milchsaftbehältern sowie der Guttation und Kalziumoxalat-Exkretion bestehen.

Von der Tatsache ausgehend, daß viele mit Milchröhren versc̄ene Pflanzen keine Kalziumoxalatabscheidung zeigen, eine Beobachtung, die schon DE BARY (27, S. 281) zu der Annahme geführt hatte, daß „innere Sekretbehälter und Milchsafröhren vikariieren“, gelangte ONKEN zu folgender Fragestellung: „Ist das Fehlen oder Zurücktreten des Kalziumoxalats in den mit Milch- oder Schleimröhren oder ähnlichen Exkretbehältern ausgestatteten Pflanzen eine allgemein verbreitete Eigenschaft?“ Ferner: „Sind bei den in Frage stehenden Pflanzen andere Möglichkeiten der Kalkbeseitigung gegeben?“

Um zur Lösung dieser Fragen zu gelangen, mußten die Versuchspflanzen auf Kalziumkarbonat, Kalziumoxalat, gelöste Kalksalze und der Milch- und Schleimsaft auf Kalzium in Form gelöster und ungelöster Salze geprüft werden.

Es wurden von höheren Pflanzen, die Milch- und Schleimsaftbehälter besitzen, die Familien mit ungegliederten Milchröhren untersucht. Dazu gehören die Euphorbiaceen, Apocynaceen, Asclepiadaceen, Cannabaceen und Moraceen. Ferner mit gegliederten Milchröhren ein Teil der Euphorbiaceen, Campanulaceen, Lobeliaceen, Papaveraceen, Compositen, Papayaceen und Aroideen. Zum Schluß Formen mit „Milchsaft“-führenden, anatomisch verschiedenen Exkretbehältern, wie Euphorbiaceen, Papaveraceen, Compositen, Anacardiaceen, Aceraceen, Sapotaceen, Urticaceen, Convolvulaceen, Umbelliferen, Dipsaceen, Cactaceen, Tropaeolaceen und Musaceen. Von den schleimsaftführenden Familien wurden die Liliaceen, Amaryllidaceen und Commelinaceen untersucht.

Es zeigte sich, daß sich die milch- und schleimsaftführenden Familien und Gattungen der Ausscheidung gegenüber recht verschieden verhalten. Verschiedene Typen konnten unterschieden werden:

1. Formen, bei denen der gesamte Kalküberschuß in Saft gespeichert wird: Viele Euphorbiaceen, Liliaceen, Amaryllidaceen und einige Lobeliaceen.
2. Zur Gruppe gehören Arten, bei denen neben der Saftspeicherung die Kalziumoxalat- oder Kalziumkarbonatbildung (oder beides) als Mittel zur Kalkreinigung in Frage kommt: Einige Euphorbiaceen, Aroideen und verschiedene

Rhus-Arten mit Saftspeicherung und Oxalatbildung. *Cannabis sativa*, *Humulus Lupus* und *Acer Pseudo-Platanus* mit Saftspeicherung, Oxalat- und Karbonatbildung.

3. Die Abteilung bilden Formen, bei denen das überschüssige Kalzium fast restlos als Oxalat oder Karbonat (oder beides) niedergelegt wird: Einige Euphorbiaceen, Apocynaceen, Asclepiadaceen, Dipsaceen mit Oxalatbildung und *Morus alba*, *Ficus Carica*, *Cecropia peltata* mit Oxalat- und Karbonatbildung.
4. Als Gruppe sind die Gattungen zu nennen, die neben der Saftspeicherung noch die Guttation benützen: Einige Campanulaceen und *Tradescantia virginica*.
5. Den Modus bilden Arten, die neben der Kalkspeicherung in den Milchröhren und Ausscheidung durch Guttation noch Oxalate aufweisen: *Crinum Powellii* und *Tradescantia erecta*.
6. Zur Gruppe werden Formen gerechnet, die Guttation zeigen: Einige Campanulaceen, alle untersuchten Papaveraceen, einige Compositen und Umbelliferen.
7. Die Abteilung bilden Formen mit Guttation und Oxalat (und Karbonatbildung): Einige Convolvulaceen, *Bocconia cordata*, *Eryngium campestre*, *Cephalaria leucantha* mit Guttation und Kalziumoxalatkristallen; ferner einige Urticaceen mit Guttation, Kalziumoxalat und Kalziumkarbonat.

Wenn man die Versuchsreihen überblickt, so sieht man, daß bei den Pflanzen des Typus 1 alles Kalzium in den Milchröhren ausgeschieden wird.

Wünschenswert wäre nun, wenn noch festgestellt würde, wie sich der Kalkgehalt des Saftes mit der fortschreitenden Entwicklung der Gewächse verändert, ob er mit dem Alter der Pflanze zunimmt oder sonst irgendwelchen Schwankungen unterworfen ist. Die Milchsaftmenge selbst variiert bei vielen Pflanzen oft sehr stark mit dem Alter. Manche jungen Pflanzen haben in ihren Milchsaftbehältern einen beim Anschneiden reichlich fließenden Milchsaft, der später bei den ausgewachsenen Organen nicht mehr vorhanden ist. Infolge des regen Stoffwechsels der wachsenden Pflanze sammeln sich Plasma- und Mineralstoffe in großen Mengen in den Organen an und verursachen bald die Bildung der Exkretstoffe, zu denen dann auch das Kalzium gehört, das bereits in jugendlichen Geweben als Auswurfsstoff zu finden ist.

Es gibt verschiedene Pflanzenfamilien, die die Ausscheidung des Kalkes in den Milchröhren bevorzugen und denen dann andere Exkretionsmöglichkeiten fehlen. Dazu gehören die Euphorbiaceen, Amaryllidaceen und Liliaceen; sind andere Ausscheidungsmöglichkeiten vorhanden, dann fällt die Saftspeicherung in der Regel ganz aus oder tritt wenigstens sehr zurück. So entfernen die Papaveraceen und ein großer Teil der Compositen den Kalk nur durch die Guttation, und bei den nicht sehr kalkreichen Gattungen *Campanula*, *Phyteuma* und *Tradescantia*, die Guttation und Saftspeicherung aufweisen, fließt der Milchröhrensaft beim Anschneiden in den meisten Fällen nur sehr spärlich aus und enthält fast kein Kalzium.

Die Milchsaftbehälter dieser Pflanzen dürften dann vorwiegend andere Funktionen haben, z. B. dem Wundverschluß oder der Speicherung dienen, die nach ZIEGENSPECK dann vorhanden ist, „wenn bei reichlicher Guttation in den Behältern beträchtliche Mengen von Magnesium, Phosphaten, Nitraten, Kalium sowie stickstoffhaltigen Körpern im Milchsaft zu finden sind“.

Neben der Guttation scheint die Oxalat- und Karbonatabbildung an zweiter Stelle zu stehen, während die Saftspeicherung erst zuletzt in Frage kommt. *Asclepias syriaca*, *Acer*, *Apocynum hypercifolium*, die reichlich Oxalat, kalkimprägnierte Haare oder Cystolithen besitzen und keine Guttation zeigen, haben gar keine Saftspeicherung.

Aus dem Mitgeteilten geht hervor, daß eine Kalkabsonderung in den Milchsafröhren stattfinden kann. Ob die in den Behältern angesammelten Kalziummengen viel größer sind als die in den übrigen Geweben vorhandenen, ob also der Saft wirklich das Exkret in ganz besonderem Umfange speichert, dieser Frage wurde von ZIEGENSPECK zum erstenmal durch quantitative Versuche nähergetreten.

Er bestimmte die Kalziummenge des ausgeflossenen Behältersaftes von *Tradescantia virginica*, *Apocynum hypercifolium*, *Argemone americana*, *Sonchus palustris*, *Agapanthus umbellatus*, *Clivia nobilis* und verschiedenen *Euphorbia*-Arten; außerdem den Kalziumgehalt der frischen Pflanzen ohne Milchsaft. Die Analysen geben folgendes Resultat: die guttierenden *Argemone americana* und *Apocynum hypercifolium*, die Kalziumoxalat besitzen, enthielten in ihren Milchsäften gar keine bzw. nur Spuren von Kalk, dagegen in der Pflanze 0,55 bzw. 0,45 %. Die ebenfalls ausscheidenden *Sonchus palustris* und *Euphorbia Peplus* zeigten im Saft einen Kalziumoxydgehalt von 0,16 (0,18) und in der Pflanze von 1,05 (0,33) %. Aus diesen Werten kann man erkennen, daß die Pflanzen, die eine

andere Ausscheidungsmöglichkeit besitzen, im Milchsaft viel weniger Kalzium enthalten, als in der übrigen Pflanze vorhanden ist. Ganz anders sind die Ergebnisse bei Pflanzen, die alles Kalzium im Milch- oder Schleimsaft speichern oder nur schwache Ausscheidungen haben. So weist *Tradescantia virginica*, die schwach ausscheidet, im Schleim, der außer Raphiden noch gelösten Kalk enthält, 0,58% und in der Pflanze nur 0,22% Kalziumoxyd auf. und *Euphorbia resinifera* und *Euphorbia Lathyris* haben in Milchsaft 1,57 (1,52) und in der Pflanze nur 0,55 (0,54)% Kalziumoxyd. Als letztes Objekt sei *Agapanthus umbellatus* erwähnt, der außer Raphiden ebenfalls gelösten Kalk im Schleim enthält, und bei dem in der Pflanze 0,37, in dem Schleim dagegen 0,65% Kalziumoxyd gefunden wurde. Aus diesen ersten quantitativen Feststellungen kann man schon deutlich sehen, daß der Kalziumgehalt der Behälter in vielen Fällen tatsächlich größer ist als derjenige der zugehörigen Gewebe.

Es wäre nun wünschenswert, daß die quantitativen Untersuchungen auf sämtliche Ausscheidungsmöglichkeiten ausgedehnt würden. Erst dann könnte man ein genaues Bild bekommen über die Bedeutung jeder einzigen Exkretionsart für das Leben der betreffenden Pflanze und über die Beziehungen, die zwischen der Guttation und der Ausscheidung in den Milchröhren und als Kalziumoxalat oder Kalziumkarbonat vorhanden sind.

Ferner wäre es zu wünschen, daß die STAHLschen Versuche, die er seinerzeit mit den Oxalat- und Karbonatpflanzen machte, auch auf die mit Milchröhren versehenen Pflanzen ausgedehnt würden. Es müßte nämlich der Kalziumgehalt der Milchröhren bei wechselnder Kalkdarbietung untersucht und festgestellt werden, ob er ebenfalls mit steigendem Kalziumgehalt der Nährlösung wie bei den vorher genannten Pflanzen zunimmt, was, aus den bisherigen Ergebnissen zu schließen, sicher eintreten dürfte.

Als interessanteste Frage wäre dann die Ersetzbarkeit einer Ausscheidungsart durch eine andere zu untersuchen, also z. B. die Frage, ob die Pflanze imstande ist, bei Ausschaltung z. B. der Guttation das überschüssige Kalzium in anderer Form unschädlich zu machen. Die STAHLschen Versuche, bei denen, wie oben geschildert wurde, die Pflanzen an der Guttation gehindert wurden, verliefen negativ, da die Pflanzen nach einiger Zeit abstarben.

ONKEN schlägt die Aufhebung der Saftspeicherung durch Entmilchen der Blätter vor, um eventuell eine künstliche Oxalatbildung hervorzurufen. Diese Versuche können aber ebenfalls nur zu einem

unbefriedigenden Resultat führen, da die Pflanzen bei der Entmilchung das Kalzium verlieren und es bei der Neubildung wieder im frischen Saft der Milchröhren ausscheiden würden.'

Zu besseren Ergebnissen dürfte man durch folgende Versuche gelangen: Es müßten zwei Seesandkulturen angestellt werden, eine mit viel Kalziumsalzen, es käme da folgende Zusammensetzung etwa in Betracht: Kalziumnitrat, Kalumnitrat, Magnesiumsulfat, saures phosphorsaures Kalium, Kalzumphosphat, Kalziumkarbonat, wenig Eisenchlorid, und eine zweite Kultur ohne Kalziumsalze, wenigstens nur mit so geringen Gipsmengen, daß die Pflanzen gerade existieren können, mit folgenden Salzen: Ammoniumnitrat, Kalumnitrat, Magnesiumsulfat, saures phosphorsaures Kalium, Magnesiumkarbonat, Magnesiumammoniumphosphat und Eisenchlorid. In diesen beiden Kulturböden würden erstens Pflanzen gezogen werden, die nur eine Möglichkeit der Ausscheidung besitzen. Von den Milchsäftpflanzen kämen also z. B. *Euphorbia helioscopia* in Frage, von den Guttationspflanzen eine *Equisetum*- und von den Kalziumoxalatpflanzen eine *Rumex*-Art. Es müßte nun beobachtet werden, wie sich die Pflanzen zu dieser verschiedenen Ernährungsweise verhalten.

Ferner könnten Pflanzen mit Guttation und Oxalatbildung (z. B. *Fragaria*) und mit Guttation und Milchsaftspeicherung (*Euphorbia Peplus*) genommen werden und ebenfalls der Unterschied festgestellt werden, der durch den verschiedenen Kalziumgehalt des Bodens hervorgerufen wird. Durch Kultivieren der ausscheidenden Pflanzen mit und ohne Glockenbedeckung wäre der Einfluß des Fehlens oder Vorhandenseins der Guttation auf die Oxalatbildung oder die Milchsaftspeicherung zu studieren.

Indessen ist die Bedeutung der Kalziumsalze für das Leben der Pflanze mit ihrer Ausschaltung aus dem Stoffwechselbetriebe nicht erschöpft, sondern sie können in ökologischer Hinsicht noch von großem Nutzen sein. Auf die besonders von STAHL festgestellte Schutzwirkung der Kalziumsalze, besonders der Kalziumoxalat-Raphiden, gegen Tierfraß wurde schon wiederholt aufmerksam gemacht. Von PATSCHOWSKY (7, S. 120) wurde dann darauf hingewiesen, daß der Gerbstoff, der ebenfalls als Schutzmittel aufzufassen ist, oft mit dem Kalziumoxalat vikariert; in vielen Fällen treten beide aber auch zusammen auf und addieren ihre Schutzwirkungen. — Eine weitere wichtige Funktion des Kalziumoxalats und -karbonats kann man dann noch in der Festigung der Pflanzen sehen. So spricht SINZ (46) von den Kalziumoxalatkristallen als

von „Bausteinen im mechanischen System“, die z. B. in der Cupressineenrinde mit den Bastfasern zusammen den mechanischen Halt der Bäume vergrößern sollen.

Literatur

1. CZAPEK, Biochemie der Pflanzen, 1920. 2. Aufl. II. Bd. — 2. ZIEGENSPECK, Milchsäfte und Schleime. *Mez, Arch.* VII, 1924. — 3. STAHL, E., Zur Physiologie und Biologie der Exkrete. Jena 1919. — 4. HABERLANDT, Physiologische Pflanzenanatomie. 6. Aufl. 1924. — 5. LEPESCHKIN, Die Bedeutung der wasserabsorbernden Organe für die Pflanzen. *Flora* 1902, 90. — 6. STAHL, E., Pflanzen und Schnecken. *Zsch. f. Naturw.*, Bd. 22, NF. 15, Jena 1888. — 7. PATSCHOWSKY, N., Studien über Nachweis und Lokalisierung, Verbreitung und Bedeutung der Oxalsäure im Pflanzenorganismus. *Diss.* Jena 1917. — 8. VOLKENS, G., Die Kalkdrüsen der Plumbagineen. *Ber. d. Dt. Bot. Ges.*, II, 1884. — 9. SCHTSCHERBACK, J., Über die Salzausscheidung durch die Blätter von *Statice Gmelini*. *Ber. d. Dt. Bot. Ges.*, 28. 1910, S. 30. — 10. RUHLAND, Untersuchungen über die Hautdrüsen der Plumbaginaceen. *Pringsh. Jahrbüch.* 55, 1915, S. 409. — 11. SOLEREDER, Systematische Anatomie der Dikotyledonen. 1899 u. 1908. — 12. LIPPMANN, Else, Über das Vorkommen der verschiedenen Arten der Guttation und einige physiologische und ökologische Beziehungen *Mez, Arch.*, Bd. 11, Heft 5/6. 1925, S. 361. — 13. AMAR, Sur le rôle de l'oxalate de calcium. *Ann. des sciences naturelles* 8. Série 19, 1904. — 14. GIESSLER, Die Lokalisation der Oxalsäure in der Pflanze. *Jenasche Zsch. f. Naturw.* 27, 1892, S. 344. — 15. DE VRIES, Über die Bedeutung der Kalkablagerungen in den Pflanzen. *Landw. Jahrb.* X, 1881. — 16. PFEFFER, W., *Pflanzenphysiologie*. 1. Aufl. 1881. — 17. BENECKE, Über Oxalsäurebildung in grünen Pflanzen. *Bot. Ztg.* 61, 1903. — 18. MÜLLER, Über die Abhängigkeit der Kalkoxalatbildung in der Pflanze von den Ernährungsbedingungen. *Diss.* Münster 1922. *Ztbl.* 1923, 144, S. 298. — 19. CZAPEK, Biochemie der Pflanzen, 1921. — 20. ALEXANDROV, V., et PRICHODJKO, L'accumulation et la dépense de l'oxalate de chaux cristallisé dans la plante. *Bot. Ztbl.* 1924, Bd. 25, S. 146. — 20a. ALEXANDROV und TIMOFEEV, Über die Lösung des kristallischen Kalziumoxalates in den Pflanzen, in *Mez, Archiv* XV (1926), 279—293. — 21. WEHMER, Die Oxalatabscheidung im Verlauf der Sproßentwicklung von *Synphoricarpos racemosa*. *Bot. Ztg.* 49, 1891. — 22. SWART, Die Stoffwanderung in ablebenden Blättern. Jena 1914. — 23. COMBES, R., et KOHLER, D., Rôle de la respiration dans la diminution des hydrates de carbone des feuilles pendant la jaunissement automnal. *Bot. Ztg.*, Bl. 1923, S. 236. Ce que deviennent les hydrates de carbone quand meurent les feuilles des arbres. *Bot. Ztg.*, Bl. 1923, S. 331. — 24. BRUNSWIK, Über das Vorkommen von Gipskristallen bei den Tamaricaceen. *Sitz.-Ber. d. Akad. zu Wien*, I, 129, 1920. — 25. MOLISCH, Mikrochemie der Pflanze. 1923. — 26. MOLISCH, Studien über den Milchsaft und Schleimsaft der Pflanzen. Jena 1901. — 27. ONKEN, Über die Bedeutung des Milch- und Schleimsaftes für die Beseitigung des überschüssigen Kalziums. *Mez, Arch.*, Bd. 2, Heft 6. — 28. KOHL, Anatomisch-physiologische Untersuchungen der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze. — 29. SCHIMPER, W., Über Kalkoxalatbildung in den Laubblättern. *Bot. Ztg.* 46, 1888. — 30. MÜLLER, Über die Abhängigkeit der Kalkoxalatbildung in der Pflanze von den Ernährungsbedingungen. *Bot. Ztg.*, Bl. 1923, S. 144. —

31. MOLISCH, Über die Ablagerung von kohlensaurem Kalk im Stamm dikotyler Holzgewächse. Sitz.-Ber. d. Akad. in Wien, 1881. 84, I. — 32. LUNDEGARDH, Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Jena 1925. — 33. STAHL, E., Pflanzen und Schnecken. Zsch. f. Naturw., Bd. 22, S. 72. Jena 1888. — 34. FENTZKE, Zur Kenntnis der Verbreitung und zur Biologie der Wasserausscheidung. Diss. Jena 1920. — 35. KNIEP, Über die Bedeutung des Milchsaftes der Pflanzen. Flora 94, 1905. — 36. MONTEVERDE, Über die Ablagerung von Kalzium- und Magnesiumoxalat in der Pflanze. St. Petersburg 1889. Nach Bot. Jahrber. 1890. — 37. STEINMANN, Studien über die Azidität des Zellsaftes beim Rhabarber. Zsch. f. Bot. 1917, Heft 1. — 38. MÖBIUS, M., Sphärokristalle von Kalkoxalat bei Kakteen. Ber. d. Dt. Bot. Ges., Bd. 3, S. 178. 1855. — 39. SACHS, J., Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. — 40. LOEW, Über die physiologische Funktion der Kalzium- und Magnesiumsalze im Pflanzenreich. Biolog. Ztg., Bd. 122, 1925. — 41. ROSTOCK, Über die biologische Bedeutung der Drüsenhaare von *Dipsacus silvestris*. Bot. Ztg. 62, I. 1904. — 42. MARLOTH, Zur Bedeutung der Salzabsonderung. Ber. d. Dt. Bot. Ges. V, 1887. — 43. DIELS, Stoffwechsel und Struktur der Halophyten. Pringsh. Jahrb. 32, 1898. — 44. HANSTEIN, B., Über das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen. Pringsh. Jahrb., 1910, Bd. 47, S. 289. — 45. VOLKENS, Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. Ber. d. Dt. Bot. Ges. V, 434, 1887. — 46. SINZ, P., Kalziumoxalatkristalle als Bausteine im mechanischen System der Capparisrinde. Mez. Arch. 9, 10, 1925.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1929

Band/Volume: [24](#)

Autor(en)/Author(s): Grzenkowski Margarete

Artikel/Article: [Die Kalkreinigung der höheren Pflanzen , ein Sammelreferat 325-353](#)