

# Ueber die Bedeutung der Kalkablagerungen in den Pflanzen.

Von  
Dr. Hugo de Vries.

---

In meinen „Beiträgen zur speziellen Physiologie landwirthschaftlicher Kulturpflanzen“ hatte ich öfters die Gelegenheit, das Vorkommen und die anatomische Vertheilung des kleesauren Kalkes in den Geweben der behandelten Pflanzen zu beschreiben, konnte aber auf eine ausführliche und kritische Betrachtung der herrschenden Ansichten über die Bedeutung dieser krystallinischen Ablagerungen, wegen der speziellen Richtung jener Beiträge, nicht eingehen<sup>1)</sup>. Ich habe dieses also für einen besonderen Aufsatz aufgehoben, und freue mich jetzt einige inzwischen erschienene Werke, welche dieses Thema berühren, benutzen, und dadurch meine damalige Ansicht weiter ausbilden zu können. Insbesondere hebe ich de Bary's „Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne, Leipzig 1877“ hervor, welche mir bei der Behandlung des anatomischen Theiles vom grössten Nutzen war.

Ueber die Bedeutung der Kalkablagerungen in den Pflanzen sind von verschiedenen Forschern sehr auseinandergelassene Ansichten ausgesprochen, welche sich aber alle ganz einseitig auf den kleesauren Kalk beziehen, und die übrigen Ablagerungen des Kalkes ausser Acht lassen. Nun ist es ohne Zweifel richtig, dass der kleesaure Kalk weitaus die allgemeinste und am besten bekannte Form dieser Absetzungen bildet, aber die Zahl der Pflanzen, welche kohlen-sauren Kalk in ihren Geweben anhäufen, ist keineswegs eine so geringe, dass man sie vernachlässigen darf. Und endlich ist zu berücksichtigen, dass viele Gewächse den Kalk in einer Form ablagern, in der er der direkten anatomischen Untersuchung nicht zugänglich ist, und erst bei der Einäscherung mikroskopischer Schnitte, als ein Skelett der Zellwandungen aufgefunden wird. Und dass die Kalkablagerungen in diesem Falle oft keineswegs unbedeutend sind, darf schon aus dem Umstande geschlossen werden, dass Pflanzen, welche weder kohlen-sauren noch oxalsauren Kalk in fester Form absetzen, dennoch häufig einen sehr hohen Prozentgehalt an Kalk in ihrer Asche aufweisen. So enthält z. B. *Aspidium Filix mas* im Wurzelstock 43,27 pCt., in den Wedeln 13,50 pCt. und *Aspidium Filix femina* 21,40 pCt. CaO in der Asche<sup>2)</sup>, während die Farne im Allgemeinen weder kohlen-sauren noch oxalsauren Kalk ablagern. Und wenn auch unsere Kenntnisse weder über die Art und Weise, wie das Calcium in solchen Fällen in den Zellhäuten gebunden ist, noch über die Verbreitung dieses Vorkommnisses über das Pflanzenreich derart sind, dass sie als Basis eingehender Betrachtungen benützt werden dürfen, so berechtigt uns dieses doch

---

1) Diese Landw. Jahrbücher, Jahrg. VI ff.

2) Wolff, Aschenanalysen, S. 136.

keineswegs diese Ablagerungen vollständig ausser Acht zu lassen. Ich glaube sogar, dass die einseitige Beachtung des klee-sauren Kalkes die Quelle mancher unrichtigen Hypothese gewesen ist, komme aber im historischen Theile hierauf zurück.

Das Calcium gehört zu denjenigen Elementen, ohne welche die Entwicklung und das Wachsthum der höheren Pflanze nicht stattfinden kann<sup>1)</sup>. Fehlt in einer Wasserkultur mit sonst vollständiger Nährstofflösung das Calcium, so entwickelt sich aus dem Samen die Keimpflanze zwar vollständig, aber mit dem Erreichen des Endes der Keimperiode hört auch das Wachsthum auf, und die Pflanze bleibt, unter sonst günstigen Umständen, Monate lang nahezu auf demselben Stadium der Entwicklung stehen<sup>2)</sup>. Das Calcium verhält sich in dieser Beziehung genau so, wie das Kalium und das Magnesium, und wie der Schwefel, der Phosphor und der Stickstoff. Sobald eins dieser Elemente in einer Wasserkultur fehlt, steht das Wachsthum am Ende der Keimungsperiode still. —

Ueber die Ursache dieser Nothwendigkeit des Calciums finde ich in der Literatur die Vorstellung verbreitet, dass dieses Element in naher Beziehung zur Bildung der Zellhäute stehe. Für diese Meinung wird ausser den oben erwähnten Ergebnissen der Wasserkultur-Versuche noch der Umstand angeführt, dass „mit dem vermehrten Uebergange der löslichen Kohlehydrate in Zellstoff oder in Holzsubstanz sich immer grössere Mengen von Kalk in den Pflanzen ansammeln“ und daraus gefolgert, dass dem Kalke auch die Funktion zukomme „dem Gerüste der Pflanze, vorzüglich dem Stengel etc. der Dikotyledonen, die gehörige Stärke und Festigkeit zu geben“<sup>3)</sup>. Sachs äussert sich über die Rolle des Kalkes folgendermassen:<sup>4)</sup> „Ganz abgesehen von der Beziehung zum Stoffumsatz können Kali, Kalk, Magnesia, verbunden mit mineralischen oder vegetabilischen Säuren, vielleicht auch unmittelbar, als Bildungsmaterial für den molekularen Bau der organischen Zellenbestandtheile benutzt werden; jede Zelloberhaut, so jung oder so alt sie sein mag, hinterlässt ein Aschenskelett, welches oft vorzugsweise aus kohlen-saurem Kalk besteht, und diese Aschenbestandtheile sind so fest an den Zellstoff gebunden, dass es unmöglich ist, diesen ohne Zerstörung seiner Organisation davon zu befreien. Man kommt daher auf die Vermuthung, dass bei dem Vorgange des Wachsthums durch Intussusception, nicht nur die Moleküle des Zellstoffs und Wassers, oder des Protoplasmas und des Wassers sich nach ganz bestimmten räumlichen Verhältnissen zusammenlagern, sondern dass auch eine bestimmte Anzahl von Salzmolekülen, deren Basis Kali, Kalk, Magnesia ist, in bestimmten Lagerungsverhältnissen mit eintritt in den so komplizirten molekularen Bau.“

Ob dem Kalke eine Bedeutung für die Festigkeit des Zellhautgerüsts zukommt, lässt sich mit Recht bezweifeln<sup>5)</sup>, seitdem die gleiche Behauptung über

1) Nach den neuesten Untersuchungen Nägeli's scheinen manche niederen Pilze das Calcium entbehren zu können; vergl. Nägeli, Ernährungsmechanismus der niederen Pilze. Sitzungsber. d. Kgl. bayer. Akad. d. Wiss. München, Juli 1879. S. 395 ff.

2) Sachs, Handbuch d. Experimental-Physiologie, S. 114 ff.

3) Oekonomische Fortschritte von Zöllner, 1867, Nr. 39. 40, S. 309, citirt von Holzner Flora, 1867, S. 509. Derselben Meinung ist auch von Seilern, Die Pflanzenernährungslehre, 1865, S. 87.

4) Sachs, Experimental-Physiologie, S. 142.

5) So auch Holzner, Flora, 1867, S. 511.

die Bedeutung der Kieselsäure bei den Monokotylen durch die Versuche von Sachs<sup>1)</sup> widerlegt worden ist. Wir werden später Thatsachen kennen lernen, welche eine grosse Uebereinstimmung zwischen den Ablagerungen des Kalkes und der Kieselsäure beurkunden, und welche dafür sprechen, dass dem Calcium eine bestimmte physiologische Funktion in den Zellhäuten ebenso wenig zukommt, wie der Kieselsäure, dass es hier vielmehr, wie diese, als ein unthätiger Auswurfstoff zu betrachten ist. Vielmehr Wahrscheinlichkeit gewinnt die von Sachs ausgesprochene Vorstellung, wenn man sie auf das Protoplasma beschränkt, und annimmt, dass das Calcium in den komplizirten Bau der Protoplasmamoleküle eintrete. Dafür spricht namentlich der Umstand, dass die Calciumfreien Wasserkulturen sich genau ebenso verhalten, wie die stickstofffreien, indem beide am Ende der Keimungsperiode aufhören zu wachsen, aber fortfahren zu leben, zu athmen und Kohlensäure zu zerlegen. Es muss hervorgehoben werden, dass auch die übrigen, oben namhaft gemachten Elemente sich in dieser Beziehung verhalten wie der Stickstoff.

Aus diesen Betrachtungen geht aufs deutlichste hervor, dass es sich bei den Kalkablagerungen nie um den ganzen Kalkgehalt einer Pflanze handeln kann, da stets ein, wenn auch vielleicht verhältnissmässig kleiner Theil für das Wachstum nothwendig ist und also entweder in den Zellsäften gelöst ist oder sich in anderer Weise an dem Stoffwechsel beteiligt. Wirklich finden wir denn auch nicht alles Calcium in einer Pflanze in fester Form abgelagert, sondern es befindet sich gewöhnlich ein grösserer oder geringerer Theil in gelöstem Zustande<sup>2)</sup> und wir dürfen annehmen, dass dieser sich beim Stoffwechsel beteiligen kann, während der in fester Form abgelagerte den Lebensprozessen der Zellen entzogen ist. Für unsere Zwecke kann es dabei einstweilen gleichgültig sein, wie man sich die Ursache der Nothwendigkeit des Calciums, d. h. also seine physiologische Rolle, vorzustellen hat, da wir es hier wesentlich nur mit den als Auswurfstoff abgelagerten Theilen des Kalkgehaltes zu thun haben.

Es wäre sehr wichtig, wenn über die verschiedenen Arten des Vorkommens des Kalkes in Pflanzen ausführlichere Untersuchungen angestellt würden, und zumal bei Aschenanalysen Rücksicht darauf genommen würde, inwiefern der in der Gesamttasche gefundene Kalk in den lebenden Pflanzen in gelöster Form oder an Oxalsäure oder Kohlensäure gebunden, oder sonst im festen Zustande abgelagert ist. Denn die Vergleichung des Kalkgehaltes der Asche mit dem Gehalt an anderen Bestandtheilen würde offenbar einen viel grösseren physiologischen Werth bekommen, wenn man den unthätig abgelagerten Kalk abtrennen und nur denjenigen Theil in die Vergleichung ziehen könnte, welcher dem Stoffwechsel in ähnlicher Weise unterliegt, wie z. B. das Kali und die Phosphorsäure. Um nur ein Beispiel zu nennen, führe ich die allmähliche Anhäufung des Kalkes in der Asche der Blätter, mit deren zunehmendem Alter an, von welcher man noch gar nicht weiss, ob sie einfach auf Rechnung des unthätig abgelagerten Kalkes zu schieben ist, oder ob wirklich, wie man wohl ziemlich allgemein annimmt, dem Kalk in den älteren Pflanzentheilen eine wichtigere Rolle zukommt als in den jüngeren<sup>3)</sup>. Die angeführten Resultate der Wasserkulturen sprechen doch dafür, dass der Kalk grade bei der ersten

1) Sachs, *Experimental-Physiologie*, S. 151.

2) van der Ploeg, *De oxalzure kalk in de planten*, 1879, S. 59.

3) Vergl. hierüber van der Ploeg, a. a. O. S. 49—59.

Entwicklung der Organe schon nicht fehlen darf. Es ist bekannt, dass die Asche der Rinde unserer Bäume eine ganz andere Zusammensetzung hat, als die des Holzes. Doch wird bei der Rosskastanie (*Aesculus Hippocastanum*) „die Zusammensetzung der Asche der Rinde mit derjenigen der Holzasche völlig übereinstimmend, wenn man von den in Wasser unlöslichen Theilen der ersteren 80 pCt. kohlen-sauren Kalk in Abzug bringt, und die übrigen Mengen wiederum auf 100 berechnet“<sup>1)</sup>. Es liegt hier die Vermuthung nahe, dass der Gehalt an kleesau-rem Kalk in der Rinde die Ursache dieses Uebergewichtes des Kalkes in der Asche sei. Noch in anderer Richtung wäre eine Trennung der oben genannten Theile des Kalkes bei den Analysen wünschenswerth, nämlich um über die Ablagerung des Kalkes in anderer Form, als an Kohlensäure oder Kleesäure gebunden, Aufschluss zu erhalten. Jedermann weiss, dass abfallende Blätter noch einen grossen Theil ihres Kalkes zurückbehalten, während sie die übrigen Aschenbestandtheile vor dem Abfallen fast vollständig verloren haben. Aber ob dieser Kalk ganz an Oxalsäure gebunden ist, oder vielleicht zu einem grossen Theile in anderer Form abgesetzt, ist, so viel mir bekannt, bis jetzt noch nicht untersucht worden.

Aus den erörterten Gründen werde ich mich in diesem Aufsätze hauptsächlich auf den kleesaauren und den kohlen-sauren Kalk beschränken müssen, ohne aber den sonst abgelagerten Kalk vollständig aus dem Auge zu verlieren. Und gegenüber dem gelösten und sich am Stoffwechsel betheiligenden, und vielleicht auch dem für den Bau der Zellen direkt verwendeten Kalk, wird dieser abgelagerte Theil, wenn auch quantitativ weitaus überwiegend, in physiologischer Hinsicht doch nur von untergeordneter Bedeutung sein.

## Abtheilung I.

### Kritik der bisherigen Ansichten über die Bedeutung des oxalsau-eren Kalkes.

#### § 1. Aeltere Ansichten.

In seiner Physiologischen Chemie stellte Mulder bekanntlich die Ansicht auf, dass die Kleesäure direkt bei der Kohlensäure-Zerlegung entstehe. Nur dann, wenn eine Basis im Kalk vorhanden ist, bleibt diese Kleesäure unverändert; wenn jene Basis fehlt, so fahre sie fort, Sauerstoff zu verlieren, und könne dadurch in andere Säuren und schliesslich in indifferente Bestandtheile des Pflanzenkörpers übergehen. Diese Meinung wurde dann von Liebig in seiner „Chemie, Agrikultur und Physiologie“ (I, S. 51) weiter ausgearbeitet, und fand unter den Chemikern viele Anhänger. Dagegen wurde sie von den Botanikern nicht angenommen, unter denen Schleiden eine genau entgegengesetzte Ansicht über die Entstehung der Oxalsäure aufstellte. In seinen Grundzügen der wissenschaftlichen Botanik (I, S. 175) sagt dieser Forscher:

„Es ist wahrscheinlich, dass die Pflanzen in ihren regelmässigen Vegetationsprozessen eine bestimmte Quantität Pflanzensäuren bilden, die fernerhin störend auf ihre Vegetation einwirken würden, wenn sie dieselben nicht durch Basen, so weit wie nöthig ist, neutralisiren können.“ Schleiden's Meinung erfreute

2) Schulze, Chemie für Landwirthe, II. Bd. I. Abth. S. 111.

sich längere Zeit des allgemeinen Beifalles unter seinen Fachgenossen, und vor Anderen war es Mohl<sup>1)</sup>, welcher die Ansichten der Chemiker kräftig widerlegte und Schleiden's Meinung Eingang verschaffte.

Es ist hier nicht der Ort, auf eine Kritik der Mulder'schen Ansicht einzugehen, da diese durch eine bessere Würdigung der Saussure'schen Versuche und durch spätere Forschungen längst vollständig widerlegt worden ist. Nur einige Thatsachen will ich anführen, welche sich speziell auf die Ablagerung des oxalsauren Kalkes beziehen, und welche zeigen, dass diese vom Lichte, und also auch von der Kohlensäurezerlegung vollständig unabhängig ist. Oxalsaurer Kalk findet sich häufig in etiolirten Pflanzen und Pflanzentheilen, und zwar eher in grösseren als in geringeren Mengen, als in den gleichnamigen, am Licht erwachsenen Organen<sup>2)</sup>, auch fehlt er vielen Wurzeln<sup>3)</sup> nicht, und ist unter den Pilzen<sup>4)</sup> sogar ziemlich verbreitet. Endlich kommt er bei vielen Pflanzen in den jungen Blättern schon vor, wenn diese noch völlig in der Knospe eingeschlossen sind, noch keine Spur des grünen Farbstoffes gebildet haben, und auch wohl noch nicht vom Licht getroffen werden<sup>5)</sup>. In allen diesen Fällen entsteht er also ohne Mitwirkung des Lichtes.

Dagegen bedarf Schleiden's Ansicht einer näheren Besprechung. Sie leidet in erster Linie an dem Mangel, dass sie nur den kleesauren Kalk und nicht auch die übrigen Kalkablagerungen berücksichtigt. Achtet man darauf, dass die Kleesäure nie anders als in der genannten Form in den Pflanzen abgelagert wird, während der Kalk, je nach den Arten, in verschiedener Weise abgeschieden wird, so muss man wohl zugeben, dass der oxalsaurer Kalk nur ein besonderer Fall von Kalkablagerung und dass die Oxalsäure in ihr also nur Nebensache ist. Ferner ist es bekannt, dass der Kalkgehalt der Pflanzen in erheblichem Maasse vom Kalkgehalt des Bodens, auf welchem sie wachsen, beeinflusst wird, ohne dass man bei den kalkarmen Pflanzen je eine besondere Anhäufung von freien Säuren, oder eine Beeinträchtigung des Wachstumes durch solche beobachtet hätte. Dieses gilt auch von denjenigen Arten, welche auf kalkhaltigem Boden bedeutende Mengen oxalsauren Kalkes absetzen, wie z. B. von den Kleearten, und es darf also angenommen werden, dass auch die Menge des gebildeten oxalsauren Kalkes vom Kalkgehalt des Bodens abhängig ist<sup>6)</sup>. Diese Thatsachen scheinen mir viel mehr dafür zu sprechen, dass die Oxalsäure gebildet wird, um den überschüssig aufgenommenen Kalk unschädlich zu machen, als dass der Kalk aufgenommen würde, um die Oxalsäure zu binden. Auch ist die Meinung, dass die Oxalsäure als Nebenprodukt beim Stoffwechsel entstände, und durch Anhäufung für das Leben der Zellen gefährlich werden könnte, eine sehr willkürliche. Denn manche Pflanzen sind sehr reich an Oxalsäure oder doch an deren saurem Kalisalz, ohne davon den geringsten Schaden zu empfinden (*Oxalis*, *Begonia*, *Geranium*, u. A.), vielmehr spricht Alles

1) Mohl, die vegetabilische Zelle, S. 249.

2) z. B. Klee, diese Jahrbücher VI, S. 917; und Rübe, diese Jahrbücher VIII, S. 436.

3) z. B. *Iris* (Hilgers in Pringsh. Jahrb. VI, S. 293) und *Rheum* (Hofmeister, Pflanzenzelle, S. 393).

4) de Bary, Die Pilze, Flechten und Myxomyceten, S. 13.

5) Hilgers, in Pringsh. Jahrb., VI, S. 296.

6) Vergl. auch den Gehalt an kleesaurem Kalk bei Ca-freien oder Ca-armen Wasserkulturen von Klee, diese Jahrbücher VI, S. 917.

dafür, dass die Säure in ihrem Gewebe eine wichtige physiologische Rolle zu spielen habe.

In den beiden folgenden Abschnitten werden wir noch weitere Thatsachen kennen lernen, welche uns zwingen, den oxalsauren Kalk nur als eine besondere Ablagerungsform des Kalkes zu betrachten, und welche also Schleiden's Ansicht sehr unwahrscheinlich und völlig überflüssig machen.

## § 2. Holzner's Ansicht.

Ogleich durch die früheren Untersuchungen die Kenntniss der in Pflanzen vorkommenden Krystalle schon in mancher Hinsicht erheblich gefördert war, so wurde doch zuerst durch die Forschungen Holzner's eine klare Einsicht in die hier obwaltenden Verhältnisse angebahnt, und dadurch zugleich ein allgemeineres Interesse für diese Bildungen erweckt. In seinem ersten Aufsätze in der Flora 1864<sup>1)</sup> untersuchte er ihren chemischen und krystallographischen Charakter. Früher hatte man in mehreren Pflanzen die Krystalle für schwefelsauren oder kohlen-sauren Kalk gehalten, aber bereits Bailey und Sanio hatten für bestimmte Fälle die Unrichtigkeit dieser Meinung dargethan, und gezeigt, dass die Säure, an welche der Kalk gebunden war, Oxalsäure sei. Holzner wiederholte ihre Untersuchungen und dehnte sie auf die übrigen noch fraglichen Fälle aus, und es gelang ihm, den endgültigen Nachweis zu liefern, „dass die Krystalle in den Zellen der Gefässpflanzen, welche man für schwefelsauren und kohlen-sauren Kalk gehalten hat, aus oxalsaurem Kalk bestehen“<sup>2)</sup>.

Die mannigfaltigen Krystallformen des oxalsauren Kalkes brachte Holzner zu den zwei Systemen zurück, in denen dieses Salz, je nach seinem Gehalt an Krystallwasser, krystallisirt. Mit 3 Molekülen Wasser nimmt es die Formen des quadratischen, mit einer Moleküle Wasser jene des klinorhombischen Systems an. Zum ersteren gehören die Quadratoktaëder, das quadratische Prisma und deren Kombinationen, zum letzteren die Raphiden, während die Krystalldrusen sowohl dem einen als dem anderen Systeme angehören können.

In einem späteren Aufsätze hat Holzner seine bekannte Ansicht über die physiologische Bedeutung des oxalsauren Kalkes begründet.<sup>3)</sup> Er geht dabei von folgender Betrachtung aus: Im Boden kommen die Phosphorsäure und die Schwefelsäure vorwiegend als Kalksalze vor, und sie müssen also, unter gewöhnlichen Umständen, von den Pflanzen als solche aufgenommen werden. In diesen bleiben die genannten Säuren aber nicht oder doch nur zu einem sehr geringen Theile mit Kalk verbunden, da der grösste Theil für die Bildung der Eiweisskörper verwendet wird, in deren Konstitution der Schwefel bekanntlich als solcher eintritt, während die Phosphorsäure, in Verbindung mit Basen, in den Pflanzen stets in bedeutender Menge in Begleitung der Albuminate angetroffen wird. Am Schlusse einer Vegetationsperiode finden wir also den grössten Theil des Schwefels und der Phosphorsäure in Verbindung und Begleitung der Eiweisskörper. Dagegen finden wir den Kalk als oxalsauren Kalk in krystallinischer Form in bestimmten Zellen abgelagert. Aus diesen Thatsachen folgert nun Holzner mit vollem Recht, dass die Basis der Pflanzen-

1) G. Holzner, Ueber die Krystalle in den Pflanzenzellen, Flora 1864, S. 273, mit Taf. II.

2) Holzner, a. a. O. S. 283.

3) Holzner, Ueber die physiologische Bedeutung des oxalsauren Kalkes, Flora, 1867, S. 497.

krystalle (wenigsten zum grössten Theile) von jenen Salzen stammt, deren Säuren zur Eiweissbildung verwendet wurden.

Auf diese Verhältnisse aufmerksam gemacht zu haben, bleibt Holzner's bedeutende Leistung, wenn auch die von ihm in Verbindung mit diesem Gedanken ausgesprochenen Hypothesen sich als nicht stichhaltig erweisen sollten.

Bevor ich auf eine Diskussion dieser Hypothesen eingehe, erlaube ich mir, sie hier wörtlich anzuführen. Nach einer eingehenden Besprechung der früheren Meinungen und der sonst sich darbietenden Erklärungen fährt Holzner (a. a. O. S. 520) fort: „Alle Erscheinungen lassen sich viel einfacher erklären, wenn man die Hypothese annimmt, dass die Oxalsäure ein Produkt der Proteinstoffe ist.“ Und nachdem er dann weiter darauf gewiesen hat, dass die Trennung der Phosphorsäure vom Kalk bis jetzt noch völlig unerklärt ist, formulirt er seine Ansicht ausführlich in folgenden Sätzen:

„Die Oxalsäure ist ein Produkt der Proteinstoffe, bestimmt, den phosphorsauren (und schwefelsauren) Kalk zu zersetzen, während der Kalk die Bestimmung hat, der Pflanze Phosphorsäure (und Schwefelsäure) zuzuführen. Nach Erfüllung dieser Bestimmung sind beide für die Pflanze werthlos oder schädlich. Daher ist von der Natur dafür gesorgt, dass sie vereint ein in organischen Säuren (und Phosphorsäure) unlösliches Salz bilden, oder auch: die Pflanze erzeugt deshalb Oxalsäure, weil deren Kalksalz in organischen Säuren (und Phosphorsäure) unlöslich ist, und somit durch jene die Phosphorsäure frei wird.“

Diese Ansicht umfasst drei einzelne, und von einander nahezu unabhängige Hypothesen und zwar:

1. die Oxalsäure ist ein Produkt der Proteinstoffe;
2. die Oxalsäure ist bestimmt, den phosphorsauren und schwefelsauren Kalk zu zerlegen;
3. die Rolle des Kalkes ist, der Pflanze Phosphorsäure und Schwefelsäure zuzuführen.

Gegen jede dieser drei Hypothesen lassen sich zahlreiche und wie mir scheint, schwerwiegende Gründe anführen. Bevor ich aber zu deren Behandlung übergehe, will ich einige Thatsachen anführen, welche zeigen, dass Eiweissbildung auch ohne Ablagerung von Kalkoxalat vor sich gehen kann, und dass umgekehrt die Krystalle dieses Salzes auch dann entstehen können, wenn jener Prozess gar nicht stattfindet.

Das erstere lehren uns alle jene Pflanzen, welche überhaupt in ihrem Gewebe keine Krystalle bilden. Holzner meinte zwar, dass die Ablagerung des oxalsauren Kalkes bei allen Pflanzen vorkomme (a. a. O. S. 502), aber in der zweiten Abtheilung dieses Aufsatzes werde ich zeigen, dass unter den Kryptogamen das Vorkommen dieses Salzes nur auf einzelne systematische Gruppen beschränkt ist, und dass auch unter den Phanerogamen eine nicht unerhebliche Zahl von Ausnahmen gefunden wird. Als Beispiel nenne ich jetzt nur die meisten Gräser, bei denen bis jetzt noch kein oxalsaure Kalk nachgewiesen wurde, und speziell den Mais, den ich in allen Entwicklungsperioden und in allen Organen vollständig untersucht habe, und von dem ich also mit aller Sicherheit behaupten kann, dass er in keiner Periode seines Lebens krystallinisches Kalkoxalat enthält. Dass aber gerade die Gräser reich an eiweissartigen Verbindungen sind, ist allgemein bekannt, und diese entstehen also, ohne von einer Ablagerung von oxalsaurem Kalk begleitet zu sein.

Den zweiten Fall bieten uns die Keimpflanzen. Von Wasserkulturen des

rothen Klees, welche ich in destillirtem Wasser zog, und welche also keinen Stickstoff aufnehmen und auch keinen assimiliren konnten, enthielt das erste Blatt stets erhebliche Quantitäten kleesauren Kalkes; in den folgenden Blättern war die Menge eine geringere, weil kein Kalk aufgenommen werden konnte, aber es wurde immerhin meist noch eine gewisse Anzahl von Krystallen gebildet.<sup>1)</sup> Ebenso bilden die keimenden Kartoffelknollen gleich anfangs bedeutende Mengen des oxalsauren Kalksalzes, obgleich sie in dieser Periode noch wohl keine Salze von aussen aufnehmen und jedenfalls noch kein Eiweiss bilden, zumal nicht in der sich entleerenden Knolle, wo ja auch bedeutende Mengen des Kalksalzes abgelagert werden. Auch Pfeffer<sup>2)</sup> hat bereits diesen Einwand gegen Holzner's Ansicht erhoben, indem er sagte „dass beim Keimen von Samen oft grosse Mengen von oxalsaurem Calcium entstehen, während Gyps und andere schwefelsaure Salze kaum in den Samen vorhanden sind.“ Auch bei der Keimung im Dunkeln, wo doch auch wohl kein Eiweiss gebildet wird, pflegt oxalsaurer Kalk zu entstehen.

Die erste Hypothese, „dass die Oxalsäure ein Produkt der Proteinstoffe sei“, bildet nach Holzner den Kern seiner ganzen Theorie, den Ausgangspunkt für alle weiteren Betrachtungen. Dabei ist es offenbar die Hauptfrage, wo und bei welchem Prozesse man die Entstehung der Oxalsäure annehmen soll, namentlich ob sie bei der Bildung oder bei der Zersetzung der Eiweisskörper auftreten wird. Der ganze Gang der Holzner'schen Darstellung führt offenbar dazu, die Hypothese auf die Entstehung der Oxalsäure bei der Bildung der eiweissartigen Substanzen zu beschränken. Denn bei dieser Bildung muss sie, nach seiner Ansicht, zugegen sein, um die beiden anorganischen Säuren aus ihren Kalksalzen frei zu machen. Nur wenn man diese Vorstellung annimmt, hat es einen Sinn, die Oxalsäure als Produkt der Proteinstoffe entstehen zu lassen, denn wenn sie nicht in dem Momente und an dem Orte entsteht, wo sie ihre Funktion ausüben soll, sondern von anderswo angeführt werden muss, so ist es selbstverständlich völlig gleichgültig, wo sie gebildet wird, und steht die Vorstellung über ihren etwaigen Entstehungsort wenigstens in gar keinen Zusammenhang mehr mit der Hypothese über ihre Funktion bei der Eiweissbildung. Holzner neigt nun auch, am Schlusse seiner Auseinandersetzung, zu dieser Ansicht über, ohne darüber aber eine bestimmte Meinung zu äussern. „Nach dem Ueberblicke über das Ganze“, sagt er Seite 523, „läge es nahe, die meines Wissens durch keine Beobachtung bereits angedeutete, geschweige denn gerechtfertigte Annahme zu machen, dass die Oxalsäure bei der Assimilation der Proteinstoffe entsteht.“ Soviel mir bekannt ist, haben spätere Schriftsteller immer dieser Ansicht den Vorzug gegeben, und also angenommen, dass die Oxalsäure bei der Bildung des Eiweisses entstehe.<sup>3)</sup>

Diese Ansicht entbehrt nun aber der nothwendigen chemischen Stützen. Denn es ist zwar bekannt, dass bei verschiedenen Zersetzungen der Eiweisskörper Oxalsäure unter den Produkten auftritt, aber daraus darf man keineswegs schliessen, dass es auch bei der Bildung des Eiweisses als Nebenprodukt auftreten müsse. Und für diesen letzteren Satz werden vorläufig wohl schwerlich direkte Beobachtungen angeführt werden können. Dazu kommt, dass in

1) Diese Jahrbücher, VI, S. 917.

2) Diese Jahrbücher, V, S. 129.

3) Vergl. u. A. Pfeffer a. a. O.

den Pflanzen die Gewebe und Zellen, in denen das Eiweiss vorzugsweise abgelagert ist, sich durch alkalische Reaktion auszeichnen, ein Umstand, der die Entstehung organischer Säuren nicht gerade wahrscheinlich macht.

Man findet in der physiologischen Literatur mitunter die Ablagerung des oxalsauren Kalkes in der Nähe der Gefässbündel als ein Argument für die Entstehung der Oxalsäure bei der Assimilation des Eiweisses angeführt. Aber abgesehen davon, dass es gar nicht bewiesen, ja sogar nicht einmal wahrscheinlich gemacht ist, dass das Eiweiss im Phloem der Gefässbündel entstünde, indem wir über die Funktion dieses Gewebes nichts Weiteres wissen, als das es zur Leitung des Eiweisses dient, ist es schwer eine Beziehung zwischen der angedeuteten Lage des oxalsauren Kalkes und der Funktion des Phloems zu finden. Denn die Krystalle liegen, in den gedachten Fällen, stets auf der Rückseite der Sclerenchymbündel, in der sogenannten Krystallscheide, und sind also vom Phloem durch eine, häufig sehr dicke, Schicht dickwandiger, luftführender und also todter Zellen getrennt, so dass die scheinbare Nähe noch keineswegs auf eine innige Beziehung zwischen dem Stoffwechsel des Phloems und dem der Krystallscheide hinweist. Entstände der oxalsaurer Kalk im Phloem, so sollte man die Krystalle doch wenigstens auf der Innenseite der Sclerenchymbündel erwarten.<sup>1)</sup>

Giebt man zu, dass die Oxalsäure nicht bei der Assimilation der Proteinstoffe entsteht, und also nicht an Ort und Stelle, wo sie die Kalksalze zersetzen soll, so ist es selbstverständlich für Holzner's Theorie gleichgültig, wo sie dann entsteht, und es ist mir nicht klar geworden, weshalb dieser Forscher grade auf diesen Punkt ein solches Gewicht legt. Dazu kommt, dass die Erfahrungen in der Chemie die Entstehung der Oxalsäure aus Eiweisskörpern keineswegs so bei Weitem wahrscheinlicher machen als aus anderen organischen Verbindungen, dass hierin ein Grund für Holzner's Hypothese zu finden wäre. Schulze sagt darüber in seiner Chemie für Landwirthe (II. I. S. 140) „Was die Entstehung der Oxalsäure aus anderen organischen Verbindungen betrifft, so ist sie eines der Endprodukte der Einwirkung von Salpetersäure oder eines andern auf nassem Wege leicht Sauerstoff abgebenden Körpers auf die meisten stickstofffreien und auch vieler stickstoffhaltigen organischen Stoffe. Am meisten Oxalsäure liefern bei dieser Behandlung diejenigen Verbindungen, die nach ihrem relativen Gehalte an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, angesehen werden können als bestehend aus Kohle und Wasser.“ Es ist also die Annahme, dass die Oxalsäure aus dem in fast jeder Zelle enthaltenen Zucker (indirekt) entstehe, wenigstens ebenso wahrscheinlich, als dass sie ihren Ursprung aus den Eiweisskörpern nehme. Die Hypothese, dass sie im ausgewachsenen Parenchym gebildet werde, ist also wenigstens ebenso wahrscheinlich, als dass sie bei Neubildungen, in jugendlichen, Eiweissreichen Geweben, als Nebenprodukt abgeschieden werde.

Als Ergebniss dieser Erörterungen glaube ich annehmen zu dürfen, dass die Oxalsäure nicht bei der Assimilation der Proteinstoffe entsteht, und dass die Annahme ihrer Entstehung bei der Zersetzung und Verwendung der Eiweisskörper bei Neubildungen weder durch Beobachtungen oder chemische

---

1) Dem Protoplasma wird allgemein eine alkalische Reaktion zugeschrieben; und dass die Inhaltsstoffe des Phloems diese Reaktion zeigen, ist von Sachs nachgewiesen worden. Botan. Zeitung, 1862, S. 257.

Gründe gerechtfertigt, noch auch im Interesse der beiden anderen Hypothesen Holzner's nothwendig ist. Die erste Hypothese Holzner's, „die Oxalsäure ist ein Produkt der Proteinstoffe,“ halte ich also für unwahrscheinlich und überflüssig. In der dritten Abtheilung werden wir einige Betrachtungen kennen lernen, welche auf das Parenchym als den hauptsächlichlichen Ort der Entstehung der Oxalsäure hinweisen.

Gehen wir jetzt zur zweiten Hypothese über. Sie lautet: „Die Oxalsäure ist bestimmt, den phosphorsauren und schwefelsauren Kalk zu zerlegen.“

Ueber diese Hypothese lässt sich wenig sagen, weil unsere Kenntnisse von den hier stattfindenden Vorgängen noch viel zu gering sind, um ein endgültiges Urtheil zu gestatten. Möglich ist es allerdings, dass die Phosphorsäure und die Schwefelsäure aus ihren Kalksalzen frei gemacht werden, bevor sie sich an der Bildung des Eiweisses betheiligen. Dagegen spricht aber der schon oben angeführte Umstand, dass die Reaktion des Eiweisses in der Pflanze eine alkalische ist, und dass die Säuren sich also jedenfalls in gebundenem Zustande daran betheiligen.

Andererseits ist es aber ebenso gut möglich, dass die Zerlegung der aus dem Boden aufgenommenen Salze der Phosphorsäure und der Schwefelsäure erst durch den Prozess der Eiweissbildung selbst herbeigeführt wird, während erst später der dabei frei werdende Kalk sich mit der Oxalsäure verbinden kann. Aber die Betrachtung dieser Möglichkeit hilft uns wenig, da man nicht einmal weiss, ob die beiden fraglichen anorganischen Säuren sich im Zellsafte als Kalksalze befinden, und ob nicht etwa, nach den Berthollet'schen Gesetzen, auch unabhängig von der Oxalsäure, eine wenigstens partielle Zersetzung stattfindet.

Manches spricht dafür, dass die Phosphorsäure und die Schwefelsäure sich nicht als Kalksalze an der Eiweissbildung betheiligen, und ebenso wenig als Kalksalze den Eiweiss bildenden Organen zugeleitet werden. Denn die Gräser beweisen uns, dass die Bildung von oxalsaurem Kalk keineswegs eine nothwendige Vorstufe für die Eiweissbildung ist, ja dass diese sogar nicht einmal von einer reichlichen Kalkanhäufung in den Pflanzen begleitet zu sein braucht. Dieses lehren uns die Aschenanalysen, welche in den Getreidearten stets nur einen geringen Gehalt an Kalk aufweisen<sup>1)</sup>.

Nehmen wir aber an, dass die Trennung des Kalkes von den genannten Säuren nicht bei deren Betheiligung an der Eiweissbildung, und nicht direkt durch die Oxalsäure geschieht, so bleibt für die Ablagerung der Krystalle keine andere Erklärung übrig, als die Annahme, dass der Ueberschuss des Kalkes „für die Pflanze schädlich ist, dass also die Oxalsäure den schädlichen Kalk in unlösliche Form zu bringen habe.“<sup>2)</sup> Und damit wären wir genau zur entgegengesetzten Ansicht gelangt wie Holzner, zu einer Annahme, welcher dieser Forscher ausdrücklich als unzulässig verwirft.

Wir kommen jetzt zur Besprechung der dritten Hypothese Holzner's, dass es die Rolle des Kalkes sei, der Pflanze Phosphorsäure und Schwefelsäure zuzuführen.

2) Wolff, Aschenanalysen, 1871.

3) Holzner, a. a. O. S. 520.

Hiergegen ist zunächst anzuführen, dass man nicht weiss, ob die beiden Säuren in den pflanzlichen Geweben, während ihres Transportes, an Kalk gebunden bleiben, und ob eine solche Verbindung für die Pflanzen wirklich nothwendig wäre. In Wasserkulturen brauchen diese Säuren nicht grade in Verbindung mit Kalk angewandt zu werden.

Holzner hat es ferner versucht, diese Rolle des Kalkes als die Ursache ihrer Nothwendigkeit für die Entwicklung der Pflanzen darzuthun. Aber auch dieses ist ihm nicht gelungen, da seine Annahme nicht im Stande ist jene Nothwendigkeit zu erklären. Holzner hat dies zwar versucht „Fehlt der Kalk, sagt er S. 524, so verbindet sich die Oxalsäure, in ihrer Verwandtschaft zu Basen mit der Schwefelsäure wetteifernd, mit anderen Basen, der Zellenhalt wird vergiftet und Niemand weiss, wie weit die Pflanze im Stande ist, die für sie unnatürlichen Verbindungen aufzuheben oder zu secerniren.“ Aber die wichtigsten Wasserkulturen, welche die Nothwendigkeit des Calciums beweisen, sind grade mit dem Mais gemacht worden, einer Pflanze, welche keinen oxal-sauren Kalk ablagert, also bei Kalkmangel auch wohl nicht durch eine übermässige Anhäufung der Oxalsäure vergiftet werden kann. Hier ist also die Ursache jener Nothwendigkeit jedenfalls eine ganz Andere.

Auch die dritte Hypothese Holzner's kann ich also nicht für hinreichend begründet halten.

Am Schlusse dieser ausführlichen Kritik will ich nicht unterlassen, darauf aufmerksam zu machen, dass die Leistung Holzner's dadurch nur erhöht wird, dass man sie auf das wirklich Gute beschränkt, und wenn man sie von den Hypothesen, in welche sie der Verfasser eingekleidet hat, möglichst befreit. Diese letzteren erscheinen nach den Forschungen, welche in den dreizehn Jahren seit der Publikation des Holzner'schen Ansatzes veröffentlicht worden sind, als unwahrscheinlich und überflüssig, zum Theil auch als unrichtig, und es ist deshalb wünschenswerth sie zu beseitigen, damit nicht später der Kern der Holzner'schen Arbeit mit ihnen verloren geht. Dieser Kern liegt in dem Gedanken, dass der Kalk des Calcium-oxalats aus dem phosphorsauren und schwefelsauren Kalke stammt, den die Pflanzen behufs ihrer Eiweissbildung aus dem Boden aufnehmen und zerlegen<sup>1)</sup>.

## Abtheilung II.

### Anatomische Betrachtung der Kalkablagerungen.

#### § 3. Die Verbreitung des Kalkoxalates über das Pflanzenreich.

Wie wir im historischen Theile gesehen haben, hat man früher aus dem sehr allgemeinen Vorkommen des oxal-sauren Kalkes in den Pflanzen den Schluss gezogen, dass dieses Salz keiner Pflanze fehle, und diese Folgerung als Grundlage theoretischer Betrachtungen benutzt. Aber schon damals war es nicht unbekannt, dass, wenn das Kalkoxalat auch unter den Phanerogamen äusserst

1) „Phytocrystalla sejungendo acidum phosphoricum e calcaria phosphorica nasci existimo.“ Holzner, Dissertation 1864, und Flora 1867, S. 497.

verbreitet ist, solches bei den Kryptogamen keineswegs der Fall sei. Es ist sehr merkwürdig, dass die citirten Autoren diesen Einwand nicht weiter berücksichtigt haben. Nachdem Holzner die Untersuchungen Schwendener's und de Bary's, welche bei vielen Flechten den oxalsauren Kalk nicht gefunden hatten, und das Vorkommen dieses Salzes bei den Pilzen besprochen hat, fährt er fort: „Nimmt man noch zu Hilfe, dass dieses Salz auch in Pulverform vorkommt, so glaube ich, werden alle Pflanzen sich als krystallbildend erweisen“<sup>1)</sup>.

Aus den folgenden Angaben wird man ersehen, dass diese Verallgemeinerung keineswegs gestattet ist, und dass das Kalkoxalat, wenngleich im Pflanzenreiche sehr verbreitet, doch bei Weitem nicht in allen Pflanzen gefunden wird, und also auch kein nothwendiges Produkt des pflanzlichen Stoffwechsels ist. Ich fange mit den Kryptogamen an.

Unter den Algen ist das Kalkoxalat verhältnissmässig selten, Schleiden führt als Beispiel von Algen, welche Krystalle in den Zellen führen, Spirogyra an, als Beispiele von solchen, bei denen sie ausserhalb der Zellen vorkommen, u. a. Chaetophora und Hydrurus<sup>2)</sup>. Aber in wiefern die von Schleiden beobachteten Bildungen wirklich oxalsaurer Kalk sind, dürfte noch einer wiederholten Untersuchung, nach besserer chemischer Methode, bedürftig sein. Da mir sonst keine Angaben über das Vorkommen dieser Salze bei den Algen bekannt geworden ist, so schliesse ich, dass es in dieser Klasse wenigstens sehr selten ist.

Bei der Untersuchung der Pilzgewebe findet man nach de Bary<sup>3)</sup> überaus häufig Krystalle, welche, soweit sie genauer untersucht wurden, sich stets als oxalsauren Kalk erwiesen. Im Innern der Zellen fand de Bary die Krystalle nur in zwei Fällen. Bei *Russula adusta* kommen kleine stabförmige Krystallchen hie und da in den blasigen Zellen des Stieles und des Hutes vor. An den schmalen, cylindrischen Fäden des Myceliums von *Phallus caninus* finden sich einzelne, zu grossen kugeligen oder flaschenförmigen Blasen erweiterte Zellen, welche fast ausgefüllt sind von einer grossen, aus oxalsaurem Kalk bestehenden, glänzenden Kugel, die ein strahlig krystallinisches Gefüge besitzt. Meistens findet sich das Kalkoxalat auf der Aussenfläche der Pilze oder in den Interstitien ihres Gewebes, und zwar vorzugsweise in jugendlichen Entwicklungsstadien, an alten Exemplaren ist es oft wenigstens schwieriger aufzufinden. Es tritt entweder in der Form regelmässiger Quadratocäeder auf, oder, am häufigsten, als unregelmässige Drusen oder Nadeln oder eckige Körnchen. Viele Mycelien verdanken ihre weisse Farbe dem Kalke, aber auch in den Fruchträgern fleischiger und lederartiger Schwämme, ja sogar auf der Hymenialfläche kommen Krystalle oder Drusen vor<sup>4)</sup>. De Bary schliesst seine Aufzählung dieser Fälle mit der Bemerkung: „Das Vorkommen des oxalsauren Kalkes dürfte hiernach unter den Pilzen sehr verbreitet sein. Vermisst habe ich denselben bis jetzt bei allen Hyphomycetenformen, Lycoperdon- und Bovista-Arten“.

Unter den Flechten ist dagegen der oxalsaure Kalk bei Weitem nicht so verbreitet. De Bary sagt hierüber<sup>5)</sup>: „Er fehlt nicht nur allen Gallertflechten, sondern kommt nicht einmal allen krustigen Heteromeren zu; so suchte ich ihn

1) Holzner, Flora 1867, S. 502.

2) Schleiden, Grundzüge I, S. 174.

3) de Bary, Die Pilze, Flechten und Myxomyceten, S. 13.

4) Vergl. die Aufzählung der Beispiele, a. a. O. S. 14.

5) a. a. O. S. 257.

z. B. bis jetzt vergebens bei *Lecanora pallida* und *Lecidella enteroleuca* Kbr. Unter den laubartigen konnte ich ihn so wenig wie Schwendener finden, abgesehen von seinem Vorkommen bei *Placodium* und *Endocarpon monstrosus*, dessen dieser Beobachter erwähnt; auch bei den meisten strauchartigen sah ich ihn so wenig wie Schwendener.“ Also ist der oxalsaure Kalk nur bei den Krustenflechten häufig. Hier findet er sich, wie in der Regel bei den Pilzen, niemals im Innern der Zellen, sondern entweder auf der Rindenoberfläche, auf den Markhyphen und in den Lücken zwischen diesen, oder in Form feiner Körnchen in die Membranen des dichten Rindengewebes eingelagert<sup>1)</sup>.

Bei den Moosen sind, so viel mir bekannt, bis jetzt keine Krystalle gefunden worden.

Desgleichen fehlen sie den meisten Farnen; doch kommen sie in den Epidermiszellen von *Asplenium Nidus* und in den Deckplättchen von *Cyathaceen* vor, welche letztere je eine Druse von Kalkoxalat enthalten<sup>2)</sup>. Bei den Equiseten ist bis jetzt noch kein oxalsaurer Kalk anatomisch nachgewiesen.

Unter den Gymnospermen ist der oxalsaure Kalk sehr verbreitet, und kommt er vorzüglich in der Rinde und in den Blättern, in den Zellmembranen abgelagert, vor<sup>3)</sup>.

Bei den angiospermen Phanerogamen ist er so allgemein, dass er den meisten Familien, und in einer Familie meist allen Genera und Arten zukommt. Bei denjenigen, wo eigentliche Krystallschläuche selten sind oder fehlen, ist der oxalsaure Kalk oft in Form kleinerer Krystalle im Inhalt der parenchymatischen Zellen eingelagert. Je allgemeiner diese Regel Geltung hat, um so beachtenswerther ist eine Reihe von Ausnahmefällen<sup>4)</sup>. Bei den meisten Gramina und Potameen ist, abgesehen von den Blüthentheilen, kein oxalsaurer Kalk nachgewiesen. In erstgenannter Familie hat aber *Panicum turgidum* zahlreiche Drusen im Parenchym des Stengels. Auch unter den Familien, deren meiste Arten reich an oxalsaurem Kalk sind, kommen einzelne Spezies vor, denen diese Verbindung fehlt. So z. B. *Nicandra physaloides* und *Petunia nyctaginiflora* unter den Solanaceen; *Tulipa sylvestris*, *Fritillaria Meleagris*, *Lilium Martagon*, *candidum* und *aurontium* unter den Liliaceen; die Arten von *Typha* unter den Typhaeen, unter denen *Sparganium* wieder reich an Krystallen ist. Unter den Lemnaeen hat *Wolffia* keine Krystalle, die Lemnen und *Spirodelen* sind reich an *Raphidenschläuchen*, letztere auch an Drusen<sup>5)</sup>.

Gelegentlich einer anatomischen und microchemischen Untersuchung habe ich den Mais in allen Entwicklungsstadien und in allen Organen auf oxalsauren Kalk untersucht, ohne jedoch die geringste Spur von krystallinischen Ablagerungen zu finden. Ich hebe dieses deshalb hervor, weil grade für die Maispflanze durch Wasserkulturen festgestellt ist, dass sie ohne Calcium nicht wachsen kann, und dass es also hier ganz klar ist, dass die Bedeutung des Kalkes für die Pflanzen wenigstens nicht ausschliesslich in der Bildung des oxalsauren Kalkes zu suchen ist (vergl. oben S. 54).

Aus dieser Aufzählung ergibt sich, dass zahlreiche Arten und viele grössere Gruppen von Pflanzen keinen oxalsauren Kalk enthalten. Die meisten

1) de Bary, a. a. O. S. 256, wo auch die Beispiele genannt sind.

2) de Bary, Vergleichende Anatomie, S. 148.

3) Solms-Laubach, Bot. Zeitung, 1871, S. 509.

4) de Bary, a. a. O. S. 148.

5) Alle diese Beispiele bei de Bary, a. a. O.

unter ihnen enthalten aber ebenso wenig kohlensauren Kalk. In wie weit hier der Kalk in anderer Form, etwa in unsichtbarer Mischung in den Zellhäuten, abgelagert ist, oder ob darunter auch Fälle vorkommen, wo überhaupt kein überschüssiger Kalk aus dem Stoffwechsel ausgeschieden wird, müssen spätere Untersuchungen lehren.

#### § 4. Das Vorkommen des kohlensauren Kalkes.

Gegenüber dem allgemeinen Vorkommen des oxalsauren Kalkes gehören die Fälle, in denen Pflanzen kohlensauren Kalk in fester Form abscheiden, zu den Seltenheiten. Grössere Mengen dieses letzteren Salzes findet man unter den Cryptogamen bei gewissen Algen und vielen Myxomyceten, wo es die einzige Form der Kalkablagerung zu sein scheint. Dagegen enthalten manche Phanerogamen, neben oxalsaurem auch noch kohlensauren Kalk, und zwar entweder in den Zellhäuten bestimmter Zellen, oder auf der Aussenfläche der Epidermis, ausgeschieden.

Ueber das Vorkommen des kohlensauren Kalks bei Algen finde ich bei Hofmeister folgende Angaben<sup>1)</sup>: „Besonders reichlich ist die Kalkablagerung zwischen den Lamellen der Membranen bei gewissen Meeresalgen aus sehr verschiedenen Formenkreisen: z. B. bei den Corallinen, *Acetabularia*, *Anadyomene*, *Halymeda*, *Opuntia*. Ein dünner Querschnitt des einzelligen, cylindrischen Stammes von *Acetabularia mediterranea* zeigt zwischen und in die äusseren Lamellen der deutlich und vielfach geschichteten Membran dunkle (das Licht stärker brechende) punktförmige Massen eingestreut. In den äussersten Lamellen sind sie in grösster Zahl vorhanden; in den mittleren Schichten der Haut nehmen sie allmählig ab; den innersten fehlen sie ganz. Die dunklen Massen sind unmessbar klein, ihre Gestalt nicht erkennbar. Bei Zusatz sehr verdünnter Säuren lösen sie sich unter Gasentwicklung.“ Der Reichthum der Arten der Gattung *Chara* an kohlensaurem Kalk ist allgemein bekannt.

Bei den Myxomyceten findet man den kohlensauren Kalk sowohl in den Plasmodien, als auch in der Wand des Sporangiums und in dem Capillitium. Bei manchen Physareen (z. B. *Spumaria*) kommt er im Plasmodium in ungeheurer Masse vor<sup>2)</sup>. Auch die Sporangiumwand der meisten Physareen ist mit dieser Verbindung incrustirt, je nach den Genera und Arten ganz oder theilweise<sup>3)</sup>. Bei manchen Gattungen (*Physarum*) tritt er in Form kleiner, runder Körnchen auf, welche theils vereinzelt der Membran ein- oder auf der Innenseite angelagert sind, theils dichte unregelmässige Haufen auf deren Innenseite bilden. Bei vielen Arten sind diese Kalkkörnchen gelb gefärbt. *Didymium* hat einen krystallinischen, aus sternförmigen Drusen und einzelnen kleinen Krystallen bestehenden reifartigen Ueberzug kohlensauren Kalkes auf der Aussenfläche der Sporangien. Auch bei den Didermen findet man eine Kalkkruste auf der Sporangienwand. Auch der Stiel des Sporangiums ist häufig reich an Kalk. Im Capillitium von *Physarum* und einigen verwandten findet man an den Knoten des Netzes die Röhren blasig aufgetrieben und mit Anhäufungen von Kalkkörnern erfüllt (Kalkblasen)<sup>4)</sup>. Bei *Didymium physaroides* schliessen

1) Hofmeister, die Pflanzenzelle, S. 246.

2) Hofmeister, a. a. O. S. 392.

3) de Bary, Morphologie der Pilze, Flechten und Myxomyceten, S. 296.

4) a. a. O. S. 297.

die Fasern einzelne eckige Kalkdrusen oder Kalkkrystalle ein. Endlich erwähne ich noch der Schuppen, Körner und Krystalle von kohlen-saurem Kalk, welche auf den Sclerotien (z. B. von *Aethalium* und *Didymium*) abgelagert sind<sup>1)</sup>.

Bei den Phanerogamen finden wir den kohlen-sauren Kalk vorwiegend in oder auf der Epidermis abgelagert, nur in seltenen Fällen auch im Parenchym der Rinde und des Markes. Letzteres kommt bei manchen *Acanthaceen* und *Urticaceen* vor, wo der Kalk in Cystolithen abgeschieden ist<sup>2)</sup>.

In der Epidermis liegt der Kalk<sup>3)</sup> theils in der Membran mancher Haare, theils in den sogenannten Knötchen, welche die Basis der Haare bei manchen Pflanzen umgeben, theils endlich in den Cystolithen.

Cystolithen sind eigenthümliche gestielte, in das Innere der Zelle ragende Auswüchse der Wand, welche hauptsächlich aus einem innigen Gemenge von Cellulose und kohlen-saurem Kalk bestehen. Sie kommen unter den *Urticaceen* ziemlich häufig vor<sup>4)</sup>, so z. B. bei allen Arten von *Ficus*, bei *Parietaria*, *Boehmeria*, *Celtis*, *Morus*, *Broussonetia*, *Humulus*, *Cannabis*, *Urtica* u. a., bei denen sie mehr oder weniger rund sind. Spindelförmige, gerade oder gekrümmt zweischenkellige Cystolithen haben *Urtica macrophylla* und *Pilea*. Den Gattungen *Ulmus* und *Dorstenia* fehlen dagegen die Cystolithen. Auch bei den *Acanthaceen* sind sie häufig, fehlen jedoch auch hier einzelnen Arten (z. B. *Acanthus mollis*).

Um die in die Epidermis eingesenkte Basis der Haare liegen bei manchen *Boragineen* und *Compositen* und bei einigen anderen Gewächsen eine oder zwei ringförmige Reihen von Zellen, deren dem Haare zugekehrte Wand stark verdickt ist und eine reichliche Menge kohlen-sauren Kalkes enthält, welche theils homogen mit der Cellulose gemischt, theils in sehr kleinen Körnchen abgelagert ist. So z. B. bei *Echium*, *Cerinthe*, *Onosma*, *Silphium* u. a.<sup>5)</sup> Bei manchen dieser Pflanzen verdanken die Blätter ihre Rauheit zum Theil diesen kalkhaltigen Zellrossetten.

In den Haaren vieler *Cruciferen* (*Alyssum*, *Cheiranthus*, *Capsella* u. a. m.) liegt, vorwiegend in den äusseren Schichten der Membran, kohlen-saurer Kalk in nicht einzeln unterscheidbaren Theilchen<sup>6)</sup>.

Aufgelagert auf die Aussenfläche der Cuticula, diese inkrustierend, findet sich kohlen-saurer Kalk in feinkörnigen Massen 1. auf der Epidermis über den Gefässbündelenden mancher Landpflanzen, 2. als zerstreute Kalkschüppchen auf den Blättern und krautigen Stengeln der *Plumbagineen*, und 3. auf der ganzen Epidermisfläche untergetauchter Wasserpflanzen<sup>7)</sup>. Der erstere Fall kommt bei vielen Farnen, und an den Blättern der weiss inkrustirten *Saxifraga*-Arten vor, von denen die Epidermis der ersteren in den kalkhaltigen Grübchen keine Spaltöffnungen enthält, während die *Saxifragen* an dieser Stelle Wasserspalten besitzen. Zu bemerken ist, dass die genannten Pflanzen in den jungen Blättern aus diesen Grübchen Wassertropfen ausscheiden. Die Kalkschüppchen der *Plumbagineen* finden sich bei Arten von *Plumbago*, *Statice* und *Armeria*, und

1) a. a. O. S. 312.

2) de Bary, Vergleichende Anatomie, S. 150.

3) de Bary, a. a. O. S. 108.

4) Beispiele nach de Bary, a. a. O. S. 111.

5) Mohl, Bot. Ztg., 1861, S. 229 und de Bary, a. a. O. S. 112.

6) de Bary, a. a. O. S. 112.

7) de Bary, a. a. O. S. 113.

sind ziemlich gleichmässig über die ganze Epidermis zerstreut. Unter den Wasserpflanzen, deren Epidermis häufig mit einem starken Ueberzug von kohlen saurem Kalk bedeckt ist, sind zumal die Arten der Gattung Potamogeton zu nennen.

Aus dieser gedrängten Zusammenstellung der Literatur sieht man, dass Ablagerungen von kohlen saurem Kalk, wenn auch selten, doch in sehr entfernten Gruppen des Gewächsreiches vorkommen, und dass der Ort dieser Ablagerungen meistens ein solcher ist, dass das Kalksalz dem Stoffwechsel in der Pflanze möglichst entzogen ist. Es weist dieses darauf hin, dass wir es als Auswurfstoff betrachten müssen.

### § 5. Die anatomische Vertheilung des oxalsauren Kalkes bei den Gefässpflanzen.

Wenn wir es versuchen, vom anatomischen Standpunkt aus eine Uebersicht über das Vorkommen des oxalsauren Kalkes bei den höheren Pflanzen zu gewinnen, so scheint es auf dem ersten Blicke, als ob die Vertheilung dieses Salzes je nach den Gattungen und Arten eine ganz verschiedene sei und sich keiner allgemeinen Regel füge. Erinnern wir uns jedoch, dass wir bei den verschiedensten Abtheilungen des Gewächsreiches keineswegs ein gleiches Maass der Differenzirung der einzelnen Organe erwarten dürfen, dass wir im Gegentheil je nach Umständen dasselbe Organ auf der niedrigsten Stufe der Ausbildung oder in hoher Entwicklung finden können, und dass eine Funktion, welche bei gewissen Pflanzen durch besondere Organe besorgt wird, bei anderen so wenig ausgebildet sein kann, dass sie nur in gewöhnlichen vegetativen Zellen stattfindet, und endlich bei noch anderen auch wohl völlig fehlen kann, so werden wir auch bei der Untersuchung des oxalsauren Kalkes sehr verschiedene Grade der Differenzirung erwarten dürfen. In den am besten entwickelten Fällen nun liegt dieses Salz in besonderen Zellen, welche neben ihm nur in der Jugend noch Protoplasma enthalten, dieses aber später verlieren, und dann ausser dem Kalkoxalate nur Wasser führen (vergl. § 6). In solchen Zellen sind die Krystalle also dem Stoffwechsel völlig entzogen, sie erleiden hier, mit wenigen unten zu nennenden Ausnahmen, keine weitere Veränderung (§ 9). Und wenn wir unter diesen sehr zahlreichen Fällen wieder diejenigen aussuchen, welche den höchsten Grad der Differenzirung zeigen, so finden wir für die Abscheidung des oxalsauren Kalkes ein besonderes Gewebe bestimmt, welches offenbar keine andere Funktion übernimmt. Dieses Gewebe ist die Krystallscheide der Bastbündel und seine Lage auf der Grenze eines aus todten, nur luftführenden Zellen bestehenden Gewebes zeigt uns in sehr klarer Weise, dass die Krystalle hier an einem Orte abgelagert sind, wo sie nicht nur selbst dem Stoffwechsel entzogen sind, aber vor Allem auch den übrigen, kräftig thätigen Zellen kein Hinderniss gegen den Austausch ihrer Säfte in den Weg stellen.

Aus diesen Fällen leiten wir also das Prinzip ab, dass der oxalsaure Kalk dem Stoffwechsel möglichst entzogen, und vorzugsweise an solchen Stellen abgelagert ist, wo er den Säfte-Austausch der übrigen Zellen am wenigsten beeinträchtigt.

Versuchen wir es, mittelst dieser Regel die wichtigsten Vorkommnisse des oxalsauren Kalkes in übersichtlicher Weise anzuordnen, so lassen sich folgende Hauptfälle unterscheiden, nämlich:

- a) Die Krystalle liegen im Protoplasma gewöhnlicher Zellen.
- b) Die Krystalle liegen in der Zellhaut, und zwar:
  2. von gewöhnlichen parenchymatischen Zellen,
  3. von Oberhautzellen,
  4. von dickwandigen, luftführenden Zellen.
- c) Die Krystalle liegen in besonderen Zellen, welche keine andere Funktion haben, als die Ausscheidung des Kalkoxalates, und zwar:
  5. im Parenchym; zerstreut, oder häufig in Längsreihen.
  6. an der Wand der Luftkanäle,
  7. in den Krystallscheiden der Bastbündel.

Ich habe diese sieben Gruppen derart angeordnet, dass sie mehr oder weniger eine Stufenleiter bilden, von den einfachsten Fällen ohne merkliche Differenzirung ausgehend, allmählig zu den am höchsten differenzirten ansteigend. Es ist leicht ersichtlich, dass diese Gruppen dem soeben aufgestellten Prinzipie um so vollständiger entsprechen, eine je höhere Nummer sie tragen.

Es ist selbstverständlich nicht möglich, alle Fälle in eine solche gedrängte Uebersicht zusammenzustellen. Ich habe ja auch nur die wichtigsten und am allgemeinsten verbreiteten ausgewählt, und die übrigen seltneren einfach weggelassen. So z. B. das Vorkommen von oxalsaurem Kalk in der Samenschale und im Holze<sup>1)</sup>. Aber so weit diese Fälle mir bekannt geworden sind, fügen auch sie sich in sehr einfacher Weise der oben gegebenen Regel.

Ich will jetzt die aufgezählten Gruppen durch einzelne Beispiele näher erläutern. Als Typus für die erste Abtheilung führe ich das schöne Bild einer Zelle eines Kürbishaares aus Sachs' Experimental-Physiologie an<sup>2)</sup>. Eine grosse Zelle führt hier einen reichen protoplasmatischen Inhalt, dessen zahlreiche, die Vacuole durchsetzende Fäden in lebhafter Strömung begriffen sind. Eine grosse Menge stärkehaltiger Chlorophyllkörner zeigt die assimilirende Thätigkeit der Zelle an. Ausserdem findet man an einer Stelle in einem Protoplasma-Faden ein kleines Krystall von oxalsaurem Kalk eingeschlossen, der passiv vom beweglichen Protoplasma mit fortgeführt wird. Es ist deutlich, dass der Krystall hier nur eine nebensächliche Ausscheidung ist. Aehnliche Fälle, wo in Zellen, deren Haupt-Funktion offenbar eine andere ist, kleine Krystalle von Kalkoxalat im Protoplasma gefunden werden, finden sich im Pflanzenreiche gar nicht selten und werden wohl den meisten Mikroskopikern bekannt sein. Hofmeister erwähnt ihrer in seiner „Pflanzenzelle“ (S. 393), und führt als Beispiele das Mark von *Tradescantia undulata* und die Stengelrinde von *Papyrus antiquorum* an. In der Rinde von *Passiflora suberosa* finden sich Krystalldrusen in chlorophyllführenden Zellen, bei *Corylus Avellana* und *Platanus occidentalis* Krystalle in den stärkeführenden Zellen der Markstrahlen, bei ersterer Art im Holze, bei letzterer in der Rinde<sup>3)</sup>. Auch die Krystalle und Drusen von Kalkoxalat in den Aleuronkörnern mancher Samen gehören zu dieser Gruppe.

In der Zellhaut gewöhnlicher parenchymatischer Zellen liegt der oxalsaure Kalk in krystallinischer Form in der Rinde und in den Blättern vieler Gymnospermen. Betrachten wir zunächst die Blätter, da diese den einfachsten Fall

1) Vergl. de Bary, Vergleichende Anatomie, S. 502.

2) Sachs' Experimental-Physiologie, S. 450, Fig. 45.

3) Sanio, Monatsber. d. Berlin. Akad. 1857, S. 259.

bilden. Nach den ausführlichen Untersuchungen von Solms-Laubach enthalten die Blätter in ihrem Rindenparenchym bei fast allen Coniferen, nur mit Ausnahme mancher Abietineen, in der Zellmembran eingelagerten oxalsauren Kalk.<sup>1)</sup> Dagegen enthalten die Bastbündel und das Transfusionsgewebe dieser Blätter kein Kalkoxalat.<sup>2)</sup> Wo die Dicke der Membran eine sichere Entscheidung erlaubte, fand der genannte Forscher es auf die Mittellamelle der Zellmembran beschränkt, und zwar tritt es gewöhnlich in Körnchenform auf (Thuya, Biota, Cephalotaxus). In der primären Rinde der Zweige kommt das Kalkoxalat bei den Coniferen gleichfalls in weiter Verbreitung in den Wänden der Parenchymzellen vor, so z. B. bei Biota vorwiegend in der Mittellamelle der radialen Wände dieses Parenchyms,<sup>3)</sup> welche Wände sich später spalten, um die intercellularen Lufträume zu bilden, wobei dann die Krystalle als kleine äusserst zahlreiche Prominenzen auf der Aussenwand der Zellen erscheinen. Bei Ephedra (a. a. O. S. 518) liegt das Kalkoxalat in unglaublicher Menge in den Rindenmarkstrahlen. Bei manchen Coniferen enthalten auch die Zellmembranen der Oberhaut und der Bastfasern oxalsauren Kalk.

In der Oberhaut wurde oxalsaurer Kalk, ausser bei den Coniferen, auch bei den Gattungen *Dracaena*, *Sempervivum* und *Mesembryanthemum* gefunden. Er liegt hier in zahlreichen kleineren Körnchen, oder in ziemlich grossen wohl ausgebildeten Krystallen (*Dracaena*) in der Aussenwand der Zellen, selten auch mehr oder weniger in die seitlichen Wände eindringend, nicht aber in der Innenwand. Also nur in denjenigen Wänden, durch welche der Säfteaustausch ohnehin nicht stattfindet.<sup>4)</sup> Bei *Dracaena* wurden die fraglichen Gebilde von Pfitzer entdeckt, und für *D. reflexa*, *arborea*, *draco* und *umbraculifera* beschrieben und abgebildet.<sup>5)</sup> Bei den Arten von *Sempervivum* und *Mesembryanthemum* hat sie de Bary entdeckt,<sup>6)</sup> während sie von Solms-Laubach eingehend studirt worden sind.<sup>7)</sup> Manche dieser Arten verdanken die Farbe oder das körnige Ansehen ihrer Blätter der Anwesenheit dieser Krystalle; so z. B. *Mesembryanthemum Lehmanni* seine glauke Farbe, *Sempervivum calcarium* seine körnige Punktirung.

Als stark verdickte, luftführende Zellen, deren Membran Kalkoxalat enthält, sind die Bastfasern in der Rinde mancher Coniferen, die von Ephedra und ferner die bekannten Spicularzellen von *Welwitschia mirabilis* anzuführen.<sup>8)</sup> Diese Zellen sind hier offenbar Festigungs-Apparate, und die Ablagerung des Kalkoxalates kann bei ihnen nur als eine nebensächliche Funktion betrachtet werden. Da sie aber im erwachsenen Zustand nur Luft als Inhalt führen, theiligen sie sich nicht mehr an den Säfteaustausch der lebenden Zellen, und ihre Wand bietet also für die Krystalle einen Ort, der so zu sagen allen Anforderungen entspricht, da er sie für den Stoffwechsel völlig unschädlich macht.

1) Solms-Laubach, Bot. Ztg. 1871, S. 521.

2) Ebendas. S. 518.

3) Ebendas. S. 515.

4) Zu bemerken ist, dass die Wände der Schliesszellen der Spaltöffnungen in solchen Fällen von krystallinischen Einschlüssen frei sind.

5) Pfitzer, Ueber die Einlagerungen von Kalkoxalat-Krystallen in die pflanzliche Zellhaut. Flora 1872, S. 97, Taf. III.

6) de Bary, Bot. Ztg., 1871, S. 135.

7) Solms-Laubach, Bot. Ztg., 1871, S. 543.

8) Solms-Laubach, a. a. O. S. 509, 518.

Zu bemerken ist, dass die Krystalle in der Regel in den äusseren Schichten der dicken Membran liegen. Für die Einzelheiten dieses interessanten Falles verweise ich auf die schon mehrmalen citirte Arbeit von Solms-Laubach: „Ueber einige geformte Vorkommnisse oxalsauren Kalkes in lebenden Zellmembranen.“<sup>1)</sup>

Wir kommen jetzt zu der letzten Gruppe von Fällen, in denen die Krystalle in besonderen Zellen abgelagert sind, welche keine andere Thätigkeit als grade diese Ablagerung zeigen, und in der Regel ihr Protoplasma verlieren und absterben, sobald ihre krystallinischen Einschlüsse ihre endgültige Grösse erreicht haben. Während also in den bis jetzt besprochenen Fällen die Ausscheidung des Kalkoxalates neben anderen Funktionen in denselben Zellen gefunden wurde, haben wir es hier mit Zellen zu thun, welche keine andere Aufgabe verfolgen. Solche Zellen findet man nun bei sehr zahlreichen, zumal angiospermen Pflanzen. Wir betrachten zunächst den Fall, dass sie im Parenchym zerstreut liegen, und sich von den übrigen Zellen dieses Gewebes in Form und Grösse nicht wesentlich unterscheiden. Auf mikroskopischen Schnitten sind sie meist leicht kenntlich, da sie dünnwandig, und ganz oder nahezu ganz mit den Krystallen gefüllt sind. Bei Monocotylen sind diese letztere vorwiegend Raphiden, bei Dicotylen findet man in den Krystallschläuchen des Parenchyms vorwiegend Drusen, oder ein feines, krystallinisches Pulver, seltner einzelne, grössere und wohl ausgebildete Krystalle. Am reichlichsten findet man sie in dem Parenchym saftigen Laubes, lederiger Blätter, in nächster Nachbarschaft der Gefässbündel<sup>2)</sup>, ferner in dem Marke und dem secundären Rindenparenchym vieler dicotyledoner Holzgewächse. Für zahlreiche Beispiele verweise ich auf de Bary's Vergleichende Anatomie<sup>3)</sup> und die dort citirte Spezialliteratur.

Es würde mich viel zu weit führen, wollte ich hier in eine detaillirte Behandlung dieses allgemeinsten Vorkommnisses des klee-sauren Kalkes treten. Ich beschränke mich daher auf die Besprechung des Umstandes, dass bei zahlreichen Pflanzen eine mehr oder weniger ausgesprochene Neigung beobachtet wird, die Krystallschläuche nicht ohne jede Ordnung im Parenchym zerstreut auszubilden, sondern sie auf dem Längsschnitt in Reihen zu stellen, während der Querschnitt eine anscheinend regellose Vertheilung zeigt. Ich hebe dieses deshalb hervor, weil auch in der Ausbildung dieser Längsreihen das Streben erkannt werden kann, die Beeinträchtigung des Säfteaustausches durch die Krystalle auf ein möglichst geringes Maass herabzudrücken. Denn man findet diese Längsreihen vorwiegend im cylindrischen, oder doch in einer Richtung stark gestreckten Organen, wie Stengeln, Blattstielen und den Blättern mancher Monocotylen. Es ist nun einleuchtend, dass die Wanderung der Stoffe in solchen Organen gleichfalls vorwiegend in der Längsrichtung stattfinden wird, und dass also jede Unterbrechung einer Längsreihe lebenskräftiger Parenchymzellen durch eine todte Krystallzelle störend auf die Stoffwanderung einwirken muss, während dagegen die Anhäufung aller todten Zellen in einzelne Längsreihen den Schaden möglichst gering machen wird. In Längsreihen findet man z. B. die Krystalldrusen im Blattstiele von Begonia geordnet; in der secundären Rinde der Holzgewächse kommen die Drusen „entweder und zwar gewöhnlich in Längsreihen vor, oder sie finden sich in den Rindenmarkstrahlen“<sup>4)</sup>.

1) Bot. Zeitung, 1871, S 509, Taf. VI.

2) de Bary, Vergleichende Anatomie, S. 148.

3) S. 145, 149, 150, 419, 544, 546.

4) Sanio, Monatsber. d. K. Akad. d. Wiss., Berlin 1857, S. 262.

„Die Längsreihen liegen entweder einzeln im Gewebe oder in zwei und mehreren versammelt; manchmal bilden sie sogar breite, zwischen den Rindenmarkstrahlen ausgespannte Binden, wie dies der Gattung *Ribes* eigenthümlich ist. Auch einzelne Krystalle liegen im Parenchym der Rinde häufig in Längsreihen (Pomaceen, *Acer*, *Hamamelis*)“<sup>1)</sup>. Bei den Monocotylen liegen die Raphidenschläuche bekanntlich häufig gleichfalls in Längsreihen, deren Zellen sich nach Hanstein<sup>2)</sup> in manchen Fällen durch Resorption der Querwände zu continuirlichen Röhren, den sogenannten Schlauchgefässen, vereinigen, nach de Bary<sup>3)</sup> aber stets getrennt bleiben (z. B. in Stengeln und Blättern von Commelineen, in Palmenstämmen, in Stengeln, Blättern und Zwiebeln vieler Amaryllideen, seltener auch bei den Liliaceen).

Wo grosse, luftführende Intercellularräume vorhanden sind, werden die Krystallschläuche bei mehreren Arten vorwiegend an deren Grenzen, und in sie hineinragend gefunden, z. B. Aroideen, *Pistia*<sup>4)</sup>. Bei *Myriophyllum* findet man an den Grenzen der Luftgänge häufig zahlreiche Krystalldrusen von Kalkoxalat, welche auf dem ersten Blick frei in der Lufthöhle der Wand anzuliegen scheinen, bei genauerer Untersuchung aber in besonderen, dünnwandigen Zellen liegen, welche von der Wand aus völlig in die Höhle hineinragen, und also gänzlich aus der Bahn der im Stengel circulirenden Stoffe hinausgeschoben sind. Hierher möchte ich auch die eigenthümlichen verzweigten Zellen mit warzigen Oberflächen in den Luftkanälen der Nymphaeaceen rechnen, welche, nach Mohl<sup>5)</sup>, in jeder Warze ein kleines Körnchen von Kalkoxalat tragen, und sich also als Ablagerungsorte dieses Salzes kennzeichnen. Da aber die Körnchen hier in der Wand und nicht in der Zelhöhle liegen, kann man diese Zellen vielleicht auch als eine Verbindung unseres vierten mit dem jetzt besprochenen Falle auffassen.

Zuletzt kommen wir zu den Krystallscheiden der Bastbündel, als dem höchst entwickelten Fall der Ausscheidung des klee-sauren Kalkes. Am ausführlichsten sind diese von Sanio für die Rinde dicotyler Holzgewächse beschrieben<sup>6)</sup>. Auf Längsschnitten beobachtete dieser Forscher, dass die Krystalle „in cuboidischen Zellen vorkommen, welche manchmal wie ein Netzwerk die Bastbündel umstricken; macerirt man aber den betreffenden Pflanzentheil mit chloresaurem Kali und Salpetersäure und isolirt die Zellen, so erfährt man, dass jene cuboidischen Zellen kein für sich abgeschlossenes Ganze bilden, sondern blos Tochterzellen einer grössern, bastähnlichen Zelle sind. So auffällig dies nun anfangs erscheint, so leicht erklärt es sich, wenn man die Entstehungsweise der secundären Rinde näher betrachtet. Das Cambium der Gefässbündel besteht aus Zellen, welche in ihrer Länge ungefähr den Holzzellen entsprechen. Von den durch tangentialer Theilung aus je einer Cambiumzelle entstandenen zwei Tochterzellen theilt sich entweder die äussere, die innere wird dann zur Holz- oder Gefässzelle, oder es theilt sich die innere, die äussere wird dann zur Rindenzelle. Theilt sich dieselbe nicht weiter, verdickt sie sich vielmehr beträchtlich, so wird sie zur Bastzelle, bleibt sie dagegen dünnwandig, nehmen aber die

1) Sanio, a. a. O. S. 260.

2) Hanstein, Die Milchsaftgefässe.

3) de Bary, Vergleichende Anatomie, S. 146.

4) de Bary, a. a. O. S. 148.

5) Vergl. de Bary, Vergleichende Anatomie, S. 231.

6) Sanio, a. a. O. S. 261.

Wandstücke, welche an die nächst oberen und unteren Zellen anstossen, die von Mohl so gründlich beschriebene Gitterform an, so wird sie zur Gitterzelle; theilt sie sich ferner weiter in cylindrische Zellen, so entsteht das gewöhnliche Rindenparenchym, theilt sie sich in kurze Zellen, so erhalten wir die beschriebenen krystallführenden Zellen.“

Diese cuboidischen und ihrer Entstehungsweise entsprechend in Längsreihen geordneten Krystallzellen sind nun, wo sie vorkommen, auf die Umgebung der Bastbündel beschränkt, sie bilden, so zu sagen, die äusserste Zellschicht dieser Bündel. Zahlreiche Holzarten führen in der Rinde entweder nur in diesen Zellen Kalkoxalat, oder sie enthalten diese Verbindung theils in den Zellen der Krystallscheide und zum Theil auch in besonderen Krystallschläuchen des Rindenparenchyms.<sup>1)</sup>

Die Krystallscheide kommt nicht nur den Bastbündeln in der Rinde vieler Holzgewächse zu, sondern sie wird auch bei manchen Pflanzen und Organen ohne sekundäres Dickenwachstum beobachtet. Als Beispiel für die Dicotylen führe ich den rothen Klee an.<sup>2)</sup> Hier bildet die Scheide eine einzellige Lage, welche den beiden Bastbündeln des Gefässbündels auf der Aussenseite dicht anliegt und sie vom umgebenden Parenchym trennt. Gewöhnlich erstreckt sie sich seitwärts nicht so weit, dass sie eine völlige Trennung zwischen den Fasern und den grünen Zellen darstellt, sondern bedeckt nur eben den Rücken des Faserstranges. Ihre Zellen sind länglich sechseckig und schliessen ohne Inter-cellularräume an einander. Sie sind farblos und dünnwandig und enthalten im ausgewachsenen Blatte je einen meist schön ausgebildeten Krystall von oxalsaurem Kalk. Diese Scheide überzieht die Ober- und Unterseite aller Nerven des Blattes, auch der feineren anastomosirenden Verzweigungen. In den Blattstielen<sup>3)</sup> ist das Bastbündel auf der Innenseite des Gefässbündels meist nur sehr wenig entwickelt und auch die Krystallscheide fehlt hier durchweg, während sie auf der Aussenseite sehr deutlich ausgeprägt ist. In den Stengeln bedeckt die Krystallscheide dagegen wieder die Aussen- und Innenseite der Fibrovasalstränge.<sup>4)</sup>

Auch bei den übrigen Gruppen der Gefässpflanzen kommen Bastbündel (Sclerenchymstränge) mit einer Krystallscheide vor. Die Scheide hat hier die nämlichen Eigenschaften wie in den beschriebenen Fällen; sie besteht aus einer einzigen Lage von gekammerten Fasern, welche in jeder Kammer einen einzigen, meist wohl ausgebildeten Krystall von oxalsaurem Kalk führen. Als Beispiele nenne ich unter den Monocotyledonen die Blätter vieler Orchideen,<sup>5)</sup> die freien Sclerenchymbündel im Rindenparenchym der Wurzeln der Pandaneen,<sup>6)</sup> unter den Gymnospermen die Fibrovasalstränge in den Petiolis von *Cycas revoluta*<sup>7)</sup>, und unter den Gefässkryptogamen die *Cyatheaceen*.<sup>8)</sup> Doch scheinen die Krystallscheiden, ausser bei den Dicotyledonen, ziemlich selten zu sein.

1) Vergl. für die Beispiele die Tabelle bei Sanio, a. a. O. S. 270.

2) Landw. Jahrbücher, VI, S. 901.

3) a. a. O. S. 903.

4) a. a. O. S. 920.

5) Brefeld in Pringsh. Jahrbücher, XII, 1880, Heft II, S. 157.

6) Treub, Verslagenen Mededeelingen d. K. Akad. v. Wet. 2. Reeks, XI (1877, S. 8 u. 11).

7) Vergl. die Abbildung bei de Bary, Vergleichende Anatomie, S. 349.

8) Nach Mettenius; vergl. de Bary, a. a. O. S. 135.

Es ist von Sanio<sup>1)</sup> die Bemerkung gemacht worden, dass es für die krystallisirten Ablagerungen in der Rinde dicotyledoner Holzgewächse eine sehr in die Augen springende Thatsache sei, „dass der oxalsaure Kalk vorzüglich in der Umgebung stark verdickter Zellen, also in Begleitung einer reichlichen Cellulosebildung vorkommt.“ Ich führe hier diesen Satz an, weil er auch von anderen Autoren bei der Besprechung der Rolle des oxalsauren Kalks mehrfach citirt worden ist. Von dem oben erörterten Gesichtspunkte ist dieser Satz keineswegs so aufzufassen, dass zwischen der Entstehung des oxalsauren Kalks und der Bildung von Cellulose eine Beziehung bestehen sollte, sondern so, dass die dickwandigen Zellen in der Regel sich nicht mehr am Stoffwechsel theiligen, und dass ihre Nähe also den geeignetsten Ort für die Ablagerung des Kalkoxalates bildet<sup>2)</sup>.

### § 6. Die Beschaffenheit der Kalk führenden Zellen.

In dem vorigen Paragraphen habe ich mitgetheilt, dass die Zellen, deren einzige Funktion in der Ablagerung des oxalsauren Kalkes liegt, sterben, nachdem ihre Einschlüsse die endgültige Grösse erreicht haben. Ich will jetzt diesen Satz etwas näher beleuchten.

Die Krystallschläuche sind stets dünnwandige Zellen, welche in ihrer Jugend ein Protoplasma führen. Die Krystalle entstehen hierin und bleiben lange Zeit, jedenfalls so lange sie noch wachsen, von einer Hülle von Protoplasma eng umschlossen<sup>3)</sup>. Die Krystalldrüsen sind stets einem organischen Kern aufgelagert, den man häufig ohne Weiteres durchscheinen sieht, wo dies nicht der Fall ist, kann man ihn leicht darstellen, wenn man die Umhüllung von oxalsaurem Kalk mit Salzsäure auflöst und ihn mit Chlorzinkjod gelb färbt<sup>4)</sup>.

In den Zellen der Krystallscheide vieler Holzgewächse (*Salix*, *Populus*, *Celtis*, *Fagus* u. A.) sind die Krystalle in der Jugend gleichfalls von einer Protoplasmaschicht umgeben, welche aber später Cellulose abscheidet, und so den Krystall in eine dicke Hülle kleidet, welche nahezu die ganze Höhlung der Zelle einnimmt, und auf der einen Seite mit der Zellhaut verwächst<sup>5)</sup>. Später verschwindet das Protoplasma und in dem engen Raum der Zelle findet man dann nur noch Wasser<sup>6)</sup> oder Luft<sup>7)</sup>.

Auch die übrigen Krystallschläuche führen später kein Protoplasma mehr und sind also auch als todt zu betrachten<sup>8)</sup>.

Die Raphidenbündel liegen anfangs im Protoplasma, im fertigen Zustand sind sie wohl immer, wenigstens in allen genauer untersuchten Fällen, von einer oft ziemlich dicken Lage eines homogenen glashellen Schleimes umschlossen, welcher den ganzen übrigen Raum der Zelle einnimmt; das Protoplasma ist dann verschwunden. Der Schleim verhält sich gegen Reagentien wie arabisches

1) Sanio, a. a. O. S. 271.

2) Zu erwähnen ist hier noch das ganz allgemeine Vorkommen von oxalsaurem Kalk in der unmittelbaren Nähe von Steinzellennestern in der Rinde; vergl. Sanio, a. a. O. S. 260.

3) Hofmeister, Die Pflanzenzelle S. 393.

4) Sanio, a. a. O. S. 258.

5) Pfitzer, Flora 1872. S. 132.

6) De Bary, vergl. Anatomie. S. 148.

7) Sanio, a. a. O. S. 259.

8) Sanio, a. a. O. S. 259.

Gummi (*Convallaria*)<sup>1)</sup>. Dieser Schleim verursacht das bekannte Platzen der Krystallschläuche, wenn man sie in Wasser bringt (z. B. bei den Aroideen). Aehnlichen Schleim enthalten Hanstein's raphidenführende „Schlauchgefäße“.

Die mit kohlenurem Kalk inkrustirten Cystolithen pflegen die Zelle, in der sie liegen, nahezu ganz anzufüllen, ob der schmale ringsherum übrigbleibende Raum in der älteren Zelle noch Protoplasma führt, scheint bis jetzt nicht untersucht zu sein.

### § 7. Ueber die Uebereinstimmung zwischen den Ablagerungen des Kalks und der Kieselsäure.

Seitdem man weiss, dass die Kieselsäure für das Leben der höheren Pflanzen gar nicht nothwendig ist und dass Maispflanzen sich in Wasserkulturen ohne diese Verbindung in jeder Hinsicht ebensogut entwickeln als auf einem Boden, aus welchem sie viel davon aufnehmen<sup>2)</sup> wird die Kieselsäure allgemein als ein Stoff betrachtet, den die Pflanzen den Diffusionsgesetzen zufolge aufnehmen und an bestimmten Stellen in ihren Organen in fester Form wieder ablagern.

Es schien mir daher sehr wichtig, zu untersuchen, inwiefern zwischen den Ablagerungen des Kalkes und der Kieselsäure in anatomischer Hinsicht eine Uebereinstimmung gefunden wird. Als ich von diesem Gesichtspunkte aus die einschlägige Literatur studirte, war ich sehr überrascht, eine fast vollständige Uebereinstimmung zu finden, und zwar nicht nur in den allgemeinen Regeln, welche die Vertheilung beider Substanzen beherrschen, sondern in vielen Fällen auch in den einzelnen Zellen, welche den Ablagerungen dienen. Denn es ergab sich, dass zahlreiche Krystallschläuche, welche im Vorhergehenden als nur Kalkoxalat ausscheidend betrachtet worden sind, auch grössere oder kleinere Mengen Kieselsäure enthielten.

Bevor ich jedoch auf die Bedeutung dieser Uebereinstimmung näher eingehe, will ich die wichtigsten, hierher gehörigen Thatsachen in gedrängter Uebersicht zusammenstellen.

In erster Linie betrachten wir die Epidermis. Wir haben oben gesehen, dass diese bei manchen Pflanzen, in oder auf ihren Zellen kohlenurem Kalk trägt, während der äusseren Zellhaut bei wieder anderen Gattungen oxalsaurer Kalk eingelagert ist. Sind auch diese Fälle nicht gerade zahlreich, ihre Bedeutung ist dagegen um so leichter einzusehen. Sehr häufig ist die Epidermis von Blättern verkieselte, und zwar beschränkt sich die Kieselsäure, ebenso wie die Kalksalze, auf die Aussenwand und die angrenzenden Partien der Seitenwand, während die Innenwand in der Regel frei bleibt<sup>3)</sup>. Eine zarte, dünne verkieselte Schicht fand Mohl u. A. bei *Castanea*, eine dünne aber feste bei *Pteris* und vielen Gräsern. Dicker und bedeutend fester ist sie bei *Equiseten*, *Calamus* und manchen *Urticaceen* (*Ulmus*, *Celtis*), ferner bei *Rubia*, *Deutzia* u. A. In der Regel ist dabei die Oberhaut der Oberseite stärker verkieselte als die der Unterseite. Wo die Epidermis behaart ist, beschränkt sich die Einlagerung der Kieselerde nicht selten auf die Haare (*Ficus Joannis*, *Urtica excelsa*); dieses erinnert an die kohlenurem Kalk führenden Haare mancher *Cruciferen*. Oder es sind doch die Haare stärker verkieselte als die übrige Epidermis

1) Hilger, Pringsheim's Jahrb. VI. S. 286 und de Bary, a. a. O. S. 156.

2) Sachs, Experimental-Physiologie. S. 150.

3) Dieses und das folgende nach Mohl, Bot. Ztg. 61 S. 325 ff.

(*Deutzia*) oder rings um die Haare finden sich runde verkieselte Scheiben während die übrige Epidermis keine oder nur sehr wenig Kieselsäure enthält; es erscheinen diese Stellen im trockenen Blatte dann als weisse Knötchen (*Helianthus tuberosus*). Bei der Mehrzahl der Blätter und wohl allen Stämmen mit verkieselter Epidermis (z. B. *Equisetum*) beschränkt sich die Verkieselung auf die Oberhaut.

In zweiter Linie betrachten wir eine Reihe besonderer Zellen, welche gleichzeitig Kalk und Kieselsäure führen. In den Zellen der Kieselscheiben mancher Boragineen und einiger Compositen erkennt man einen ebenfalls verkieselten, kugeligen oder eiförmigen, aus Zellstoff bestehenden geschichteten Körper, der die Zelle etwa zur Hälfte oder bis zu zwei Dritttheilen ausfüllt und immer an der gegen die Mitte der Scheibe gerichteten Wand liegt. Dieser Körper ist sowohl mit Kieselsäure als mit kohlensaurem Kalk inkrustirt (*Ulmus*, *Cerinth*, *Helianthus*)<sup>1)</sup>. Ebenfalls führen die Cystolithen, neben dem Kalksalze auch noch Kieselsäure, welche hier überdies häufig noch in der ganzen Wand der den Cystolith enthaltenden Zelle abgelagert ist (*Ficus*, *Morus*, *Celtis*, *Parietaria*)<sup>2)</sup>. Die Raphiden der Aroideen, welche selbst aus oxalsaurem Kalk bestehen, haben je eine dünne mit Kieselsäure durchzogene Hüllhaut<sup>3)</sup>.

In dritter Linie wollen wir die Zellen der Krystallscheiden mit den Deckzellen oder Stegmata von Mettenius vergleichen. In anatomischer Hinsicht sind sie durchaus gleichwerthig: beide überziehen in einer einzelligen Schicht die Bastbündel und beide entstehen in derselben Weise, durch wiederholte Quertheilung langer, faserähnlicher Zellen. In der Regel ist die dem Faserstrange zugekehrte Seite der Wand der Deckzellen stark verdickt, und findet sich hier eine bedeutende Menge von Kieselsäure abgelagert, während die Krystallscheiden-Zellen, wie oben bereits besprochen, je einen Krystall von oxalsaurem Kalk führen. Und während die Krystallscheiden ihre grösste Verbreitung unter den Dicotylen haben, kommen die Kieselscheiden, wie man die Lagen der Stegmata nennen könnte, vorwiegend bei den Farnen<sup>4)</sup> und Monocotylen (*Orchideen*, *Palmen*, *Maranta Arundinaria*) vor<sup>5)</sup>. Doch kommen unter den Farnen bei den *Cyatheaceen*<sup>6)</sup>, unter den Monocotylen in den Wurzeln der *Pandaneen*<sup>7)</sup> und den Blättern der *Orchideen*<sup>8)</sup> echte Krystallscheiden vor. Für die letztere Familie, in welcher viele Gattungen Stegmata führen, hat bereits Pfitzer<sup>9)</sup> die Analogie zwischen diesen Gebilden und den Zellen der Krystallscheide hervorgehoben. Es würde mich zu weit führen, die Uebereinstimmung in Bau und Entwicklungsweise und in der Ablagerung des festen Productes bei den Zellen der Krystallscheide und den Stegmata in Einzelheiten zu beschreiben, zumal weil diese Beschreibung für die ersteren bereits im Vorhergehenden enthalten ist. Für die Stegmata findet man das Wichtigste bei Rosanoff: Ueber Kieselsäure-Ablagerungen in einigen Pflanzen, *Bot. Ztg.* 1871. S. 749.

1) Mohl, a. a. O. S. 229.

2) Mohl, a. a. O. S. 229.

3) Hofmeister, Pflanzenzelle S. 393.

4) Nach Mettenius, vergl. de Bary vergl. Anatomie. S. 135.

5) Rosanoff, *Bot. Ztg.* 1871. S. 749.

6) De Bary, a. a. O. S. 135.

7) Treub, *Verslagenen mededeel.* 2. Reeks. XI. S. 11.

8) Brefeld, *Pringsheims Jahrb.* XII. S. 157.

9) Pfitzer, *Flora.* 1872. S. 247.

Schliesslich ist noch zu erwähnen, dass in den Blättern mehrerer Pflanzen auch die Gefässbündel, und in einigen Fällen auch die Zellhäute des Mesophylls verkieselt sind.<sup>1)</sup> Es zeigt dies eine Uebereinstimmung mit dem bekannten, häufigen Vorkommen von Calcium in den Zellhäuten, welches ich auch als Ablagerungsform betrachte und welches durch den Gehalt der Aschenskelette an kohlen-saurem Kalk angezeigt wird. Da aber diese Ablagerung des Calciums, obgleich vielleicht für das Pflanzenleben häufig noch wichtiger als die der oft besprochenen Kalksalze, noch fast gar nicht untersucht worden ist, wollen wir hier nicht näher darauf eingehen.

Es ist vielleicht von Interesse, hier hervor zu heben, dass das Periderm, trotz seiner physiologischen Gleichartigkeit mit der Oberhaut, doch fast nie Kieselsäure enthält.<sup>2)</sup> Eben-sowenig enthält es oxalsaurer oder kohlen-saurer Kalk.

Ueberblicken wir jetzt die Orte der Ablagerungen des Kalkes und der Kieselsäure, so dürfen wir sagen, dass sie, anatomisch betrachtet, im Allgemeinen dieselben sind, und zwar finden sich der Kalk und die Kieselsäure entweder gleichzeitig in derselben Zelle, oder sie vertreten einander bei verschiedenen, grösseren oder kleineren Gruppen des Gewächsreiches in denselben Zellen und Geweben. Und aus der eingehenden Betrachtung der mitgetheilten Fälle wird man leicht die Ueberzeugung gewinnen, dass die Regel, welche wir in § 5 für die anatomische Vertheilung des oxalsaurer Kalkes aufstellten, auch für die übrigen Kalkablagerungen und für die Kieselsäure gilt. Alle diese Stoffe sind also dem Stoffwechsel möglichst entzogen, und vorzugsweise an solchen Stellen abgelagert, wo sie den Säfteaustausch in den Organen am wenigsten beeinträchtigen.

---

### Abtheilung III.

#### Physiologische Betrachtung der Kalkablagerungen.

##### § 8. Ueber die allmähliche Anhäufung des Kalkes.

Es ist bekannt, dass der Gehalt der Blätter an Kalk während ihres ganzen Lebens, sowohl während der Wachstumsperiode, als auch im erwachsenen Zustande, fortwährend zunimmt.<sup>3)</sup> Dasselbe gilt von der Kieselsäure.<sup>4)</sup> Alle übrigen anorganischen Stoffe verhalten sich in dieser Beziehung anders, sie werden in der letzten Periode des Lebens, mitsammt den vorhandenen organischen Nährstoffen, nahezu vollständig aus dem Blatte herausgezogen und in den Stengel und dessen Aeste, häufig aus diesen sogar in die Wurzeln, übergeführt. Es geschieht dieses kurze Zeit bevor das Blatt abfällt oder vertrocknet. Die Be-

---

1) Mohl, a. a. O. S. 228.

2) Mohl, a. a. O. S. 229.

3) Vergl. die bekannten Analysen des Buchenblattes von Dr. Zöller in Liebigs Chemie, Agrikultur und Physiologie. 8. Aufl. II. S. 366. Eine übersichtliche Zusammenstellung der Literatur findet man bei van der Ploeg: De oxalzure Kalk in de planten. S. 9.

4) Liebigs, a. a. O.; Saussure, Recherches chimiques, S. 299, und Mohl, Bot. Ztg. 1861, S. 219.

deutung dieser Erscheinung ist, soviel mir bekannt, von allen Forschern einstimmig so aufgefasst, dass der Kalk und die Kieselsäure für das Leben weiter keinen Nutzen haben und deshalb mit dem leeren Zellengerüste abgestossen werden, während die übrigen, löslichen Stoffe (und wohl auch der lösliche Theil des Kalkes) mit den organischen Reservestoffen zum Dienste späterer Neubildungen zeitweilig in der Pflanze aufgespeichert werden.

In wie weit sich die verschiedenen Formen der Kalkablagerungen an dieser allmählichen Anhäufung betheiligen, lässt sich gegenwärtig noch nicht allgemein feststellen. Es finden sich in der Literatur nur eine ziemlich kleine Anzahl von Angaben über die Zunahme des oxalsauren Kalkes in den Krystalschläuchen. Ich fand darüber Folgendes:

In seinem Neuen System der Pflanzen-Physiologie (I. S. 217) sagt **Meyen**: „Dergleichen succulente Pflanzen, als Aloë-, Agave- und Cactus-Arten zeigen in den Zellen alter Individuen eine überaus grosse Menge von Krystallen, während ganz junge Exemplare davon oftmals gar keine zeigen. Auch kann man, wie ich glaube, erkennen, dass die einmal im Inneren der Zellen gebildeten Krystalle mit zunehmendem Alter der Pflanze allmählig immer grösser werden; dieses kann natürlich nur mit einem Grösserwerden der Zellen selbst begleitet sein. Daher findet man denn auch in ganz alten Cactus- und Agave-Arten ganz ausserordentlich grosse Krystalle.“

Dagegen scheint die Ablagerung der Raphiden vorwiegend in die früheste Jugend der Organe zu fallen, und mit dem Erreichen des ausgewachsenen Zustandes vollständig aufzuhören. **Hanstein** sagt darüber, bezüglich der Raphiden der *Amaryllideen*<sup>1)</sup>, dass die Krystalschläuche der kaum aus dem Urparenchym hervorgegangenen Blätter oft völlig mit Nadeln gefüllt sind. Indem die Blätter sich dann strecken, scheinen sich die Raphiden weder zu vermehren noch merklich zu vergrössern; somit zerstreuen sie sich in den vielmal länger gewordenen Schläuchen oder bleiben an einem Orte derselben angehäuft liegen, das Uebrige leer lassend.“ In den Zwiebeln dagegen fahren die Raphidenzellen längere Zeit fort sich zu entwickeln und zu vergrössern. Aus diesem Grunde und wegen der geringen Streckung liegen die Raphiden hier in ihren Schläuchen später in gewaltiger Menge, und füllen sie sie fast ganz aus. Genaue Zählungen und Messungen der Raphidenzellen und ihrer Nadeln in den Blättern der Knospen wachsender Sprosse von *Polygonatum anceps* führten **Hilgers**<sup>2)</sup> zu der Ueberzeugung, dass die Krystalle in den jüngsten Knospenblättern die kleinsten sind, dass sie von da ab in den aufeinanderfolgenden Knospenblättern immer grösser werden und in den älteren Knospenblättern schon als ausgewachsen zu betrachten sind, und dass selbst in Pflanzentheilen, welche den anderen mehrere Jahre an Alter vor sind, doch keine absolute Zunahme, weder an Zahl noch an Grösse wahrnehmbar ist. Auch bei *Iris*-Arten fand **Hilgers** diese Ergebnisse bestätigt; hier sah er auch, dass in den Wurzeln<sup>3)</sup> die Krystalle dicht unter der Haube entstehen, und in einer Entfernung von 4 mm bereits ausgewachsen sind.

Die grossen schönen Krystalle in den Blättern von *Citrus*, welche von **Pfitzer** beschrieben worden, und wegen ihrer später mit der Zellhaut verwachsenden Zellstoffhülle interessant sind, entstehen dagegen erst ziemlich spät<sup>4)</sup>.

1) **Hanstein**, Die Milchsaftegefässe. S. 38.

2) **Hilgers** in *Pringh. Jahrbücher*, VI, S. 290.

3) a. a. O. S. 294.

4) **Pfitzer**, *Flora* 1872, S. 118.

Erst in Blättern, die etwa 3 *cm* Länge erreicht haben, treten im Protoplasma ganz spärlich winzige, im polarisirten Licht aufleuchtende Punkte auf. Die eigentliche, massenhafte Entwicklung der später in sehr grosser Menge vorhandenen Krystalle geschieht erst, wenn das Blatt sein Flächenwachsthum nahezu vollendet hat. Während dann später die Blätter nur noch in die Dicke wachsen, nehmen die Krystalle gleichzeitig erheblich an Umfang zu. Bald darauf fängt aber ihre Umhüllung mit einer Celluloseschicht an, und von diesem Augenblicke an sind die Krystalle als ausgewachsen zu betrachten.

Beim rothen Klee fand ich in den jüngsten Blattanlagen noch keine Krystalle; bald darauf traten diese in den Krystallscheiden auf, und nahmen mit zunehmendem Alter fortwährend an Menge zu, auch nachdem die Blätter bereits längst ausgewachsen waren.<sup>1)</sup> In den Blättern, welche erst vor Kurzem ihre Streckung beendet haben, findet man nicht selten an vielen Stellen die Zellen der Krystallscheide noch leer.<sup>2)</sup> Die folgenden Angaben enthalten darüber noch weitere Einzelheiten.<sup>3)</sup> In jungen Blättern, deren Spreiten erst 8 *mm* lang und noch ganz von den Nebenblättern des nächstfolgenden Blattes umschlossen, aber bereits vollständig grün waren, konnte ich keine Spur von oxalsaurem Kalk nachweisen. Erst nachdem das Blatt aus seiner Umhüllung hervorgewachsen war, fand sich dieses Salz in seinem Gewebe, aber nur noch an den Enden der sekundären Nerven, als kleine Kryställchen, welche an Grösse und Zahl gegen den mittleren Theil des Blattes rasch abnahmen. Von dieser Zeit an nahm sowohl die Zahl wie auch die Grösse der Krystalle allmählig zu; als das Blatt sein Wachsthum beendet hatte, waren die Seitennerven bereits überall mit Krystallen bedeckt, doch waren in den Krystallscheiden noch sehr viele zerstreute, leere Zellen sichtbar. Auch diese füllen sich später, und während des ausgewachsenen Zustandes beruht die Zunahme des Gehalts an oxalsaurem Kalk mehr auf dem Wachsthum der bestehenden als auf der Bildung neuer Krystalle.

Nach diesen Angaben kann die Ablagerung des oxalsauren Kalkes sowohl auf die Zeit der Entwicklung und des Wachsthums beschränkt sein (Citrus, Raphiden), als auch während des ausgewachsenen Zustandes noch fortdauern (Aloë, Agave, Trifolium). Es wäre sehr wichtig in dieser Hinsicht auch andere Pflanzen zu untersuchen, und zumal auch durch makrochemische Analysen genau den Zeitpunkt festzustellen, in welchem in den einzelnen Fällen die Ausscheidung des Kalkoxalates aufhört. Es ist keineswegs unmöglich, dass die Ablagerung des Kalkes in fester Form, in den Zellmembranen, in vielen Fällen noch lange Zeit fortdauert, nachdem die Ausscheidung des Oxalats bereits aufgehört hat.

Der oxalsaure Kalk wird in den Blättern nicht gelöst, wenn diese abfallen werden oder anfangen zu vertrocknen, und während alle löslichen Bestandtheile aus dem Blatte weggeführt werden. Aus diesem Grunde wird er mit Recht als Auswurfstoff betrachtet. Dazu kommt, dass er vorwiegend in solchen Organen angehäuft wird, welche eher oder später abgestossen werden, was die Ansicht rechtfertigt, dass die Pflanze sich durch ihn von überflüssigen und vielleicht schädlichen Stoffen zu befreien sucht. So findet man ihn bei Mono-

1) Diese Jahrbücher, VI, S. 915.

2) Ebendas. S. 902.

3) a. a. O. S. 916.

cotyledonen besonders häufig in den Blütenstielen, bei den Aroideen in ausserordentlicher Menge in der Spatha.<sup>1)</sup> Beim Rothklee, dessen Stengel und Blätter jährlich absterben, während die unterirdischen Theile perenniren, füllt er in ersteren Organen überall die Zellen der Krystallscheide, während er in der Wurzel ganz oder nahezu ganz fehlt.<sup>2)</sup> In Blättern und einjährigen Trieben ist er im Allgemeinen viel häufiger als in mehrjährigen Trieben und Wurzeln; in den Stämmen und deren Zweigen liegt er seltner im Holz,<sup>3)</sup> sehr allgemein und in ansehnlicher Menge dagegen in der Rinde. Umgekehrt findet man in Samen stets sehr wenig Kalkoxalat.

Die Regel, dass der oxalsaure Kalk, nachdem er einmal ausgeschieden ist, nie wieder gelöst wird, erleidet einige, wenn auch nicht gerade zahlreiche Ausnahmen. Sorauer<sup>4)</sup> fand, dass wachsende Kartoffelknollen nicht unerhebliche Mengen Kalkoxalat in besonderen Zellen ihres Gewebes, den sogenannten Körnchenschläuchen, ablagern, dieses aber zur Zeit der Reife wieder vollständig lösen. Ich hatte die Gelegenheit diese Angabe zu bestätigen, und zu beobachten, dass die Lösung auch nach dem Abtrennen der reifen Knollen von den Mutterpflanzen stattfinden kann, dass dabei also an ein Zurückführen in die später absterbenden Theile nicht gedacht werden kann.<sup>5)</sup> Der Kalk bleibt in der Knolle in Lösung. Während der Keimung werden dann wieder reichliche Mengen von Kalkoxalat im Gewebe der Knolle abgesetzt. In den Knollen von *Orchis majalis* enthalten die Krystallschläuche je eine Druse von oxalsaurem Kalk, welche anfangs im Protoplasma eingebettet liegt, später aber, nachdem dieses verschwunden, nur noch von einem dicken Schleime umhüllt ist; hier lösen sich, sobald die Zellen ihr Wachsthum abgeschlossen haben, wenigstens im Innern der Knolle die Krystalle wieder langsam auf, während in den peripherischen Theilen sich die Krystalldrusen bis zum nächsten Frühjahr erhalten.<sup>6)</sup> Aus dem Blatte der *Vicia Faba* verschwindet der klee-saure Kalk, wenn die Frucht reift.<sup>7)</sup>

### § 9. Ueber den Ort der Entstehung des oxalsauren Kalkes.

Als einer besonderen Form der Holzner'schen Theorie begegnet man gelegentlich der Ansicht, dass die Oxalsäure grade an denjenigen Stellen entstehe, wo wir sie in Verbindung mit Kalk abgelagert finden, dass sie sich hier sogleich bei ihrer Entstehung mit der Basis der durch Diffusion herzuströmenden phosphorsauren und schwefelsauren Kalksalze verbinde, und so diese beiden Säuren frei mache, welche sich dann in diesem Zustande nach der Bildungsstätte des Eiweisses bewegen sollen. Als Stütze für diese Meinung wird angeführt, dass der klee-saure Kalk im Zellsafte völlig unlöslich sei, und also im Augenblicke seiner Entstehung in fester Form ausgeschieden werden müsse.

Gegen diese Ansicht lassen sich nach meiner Meinung schwerwiegende Bedenken anführen, welche alle vielmehr für die ältere, schon von Schleiden und Mohl ausgesprochene Ansicht sprechen, dass die Oxalsäure überall beim

1) Meyen, Neues System, I, S. 217.

2) Landw. Jahrbücher, VI. S. 931.

3) Sanio, a. a. O. S. 262, Note.

4) Sorauer, Annalen d. preuss. Landwirtschaft, Bd. III, 1869, S. 156 ff.

5) Landw. Jahrbücher, Bd. VI, S. 648 ff.

6) Frank in Pringsh. Jahrb., Bd. V, S. 181.

7) van der Ploeg, De oxalzure Kalk, S. 22.

Stoffwechsel entstehe und sich mit Kalk verbinde, während das dadurch entstandene Salz durch Diffusion den Ablagerungsstätten zuströme.

In erster Linie spricht hierfür die Beschaffenheit der Krystallschläuche selbst. Diese führen, auch in ihrer Jugend, nie erhebliche Mengen organischer Einschlüsse, zumal wurden Stärke und Zucker, welche doch als Bildungsmaterial der Pflanzensäuren betrachtet werden müssen, darin nicht nachgewiesen. Auch ist ihr Protoplasma offenbar nur sehr wenig aktiv, und für einen kräftigen Stoffwechsel nicht eingerichtet. Auch die Lage der Krystallscheide auf der Grenze der Bastbündel, also in Begleitung von früh aus dem Säfteaustausch ausgeschiedenen Zellen, spricht eher für eine sehr schwache, sich auf die Ablagerung fertig angeführter Stoffe beschränkende Thätigkeit, als für eine kräftige Neubildung eigener Produkte.

Ein sehr wichtiges Argument geben die in den Zellhäuten abgelagerten Krystalle ab. Dieses wurde schon von Pfitzer hervorgehoben, welcher besonders nachwies, dass in der Rinde von *Biota* die Krystalle in einer Mittellamelle der zwei Zellen gemeinsamen Membran liegen, welche letztere am Ort der Entstehung der ersteren schon eine ziemliche Dicke hat, dass also die Krystalle in der Membran selbst ausgebildet werden müssen, weil derjenige Theil der Zellhaut, in welchem die Krystalle auftreten, gar nicht mehr mit dem Protoplasma in Berührung steht. Ebenso entstehen die Krystalle in den Zellhäuten der Wurzeln von *Juniperus virginiana* ohne Berührung mit dem Protoplasma. „Jedenfalls müssen wir in diesem Falle annehmen, dass die Moleküle des oxalsauren Kalks in Form einer Lösung in Wasser vertheilt zwischen den Zellstoffmolekülen hindurch an den Ort der krystallinischen Bildungen gebracht werden und sich hier zu Krystallen vereinigen.“<sup>1)</sup>

Den schönsten Beweis liefern aber die Pilze und Flechten, bei welchen der oxalsaure Kalk ausserhalb der Zellen krystallisirt.<sup>2)</sup> Hier ist es ganz klar, dass er in den Zellen entstanden und in fertiger Form in gelöstem Zustande durch die Haut hindurchgegangen sein muss, um auf deren Oberfläche heraus zu krystallisiren. Denn dass die Oxalsäure ausserhalb der Zellen entstehen sollte, wird doch wohl Niemand annehmen.

Führen uns diese Thatsachen unzweideutig auf die Annahme, dass der oxalsaure Kalk im Zellsafte löslich sei, so steht dieser Auffassung von chemischer Seite Nichts im Wege. Denn ein Ueberschuss von Oxalsäure ist im Stande geringe Mengen des Kalksalzes zu lösen,<sup>3)</sup> und gleichfalls sind die Salze des Magnesiums, welche auch wohl nie im Zellsaft fehlen, seiner Lösung günstig.<sup>4)</sup> Direkt wurde die Löslichkeit des oxalsauren Kalkes im zuckerhaltigen Saft der Zuckerrüben nachgewiesen.<sup>5)</sup> In löslicher Form, wohl meist als saures Kalisalz kommt Oxalsäure in vielen Pflanzen vor, so z. B. in mehreren Arten von *Rumex* und *Oxalis*, in *Geranium acetosum*, *Spinacia oleracea*, *Phytolacca decandra*, *Rheum palmatum*, *Atropa Belladonna*; als Natronsalz in verschiedenen *Salsola*- und *Salicornia*-Arten;<sup>6)</sup> ferner in geringen Mengen mit nicht näher

1) Pfitzer, Flora 1872, S. 101, 102.

2) de Bary, Die Pilze, Flechten und Myxomyceten, S. 139, 256.

3) Würtz, Dictionnaire de Chimie, II, S. 674.

4) Würtz, a. a. O.

5) Scheibler, Zeitschr. für Chemie (2) I, S. 62, nach Würtz a. a. O.

6) Husemann, Die Pflanzenstoffe, S. 567.

bestimmter Basis verbunden in den Keimen von Mais und Weizen;<sup>1)</sup> endlich auch in Lupinensamen.<sup>2)</sup> Die Blattstiele von mehreren Arten von *Begonia* fand ich sehr reich an Oxalsäure. Nach diesen Beispielen dürfte das Vorkommen gelöster Oxalsäure im Pflanzenreich ein sehr verbreitetes sein, wenn auch die Quantitäten häufig nur gering sind. Dementsprechend erscheint die Annahme einer geringen Löslichkeit des oxalsauren Kalksalzes keineswegs ungerechtfertigt.

Auch die Betrachtung der zerstreuten Krystalschläuche im oxalsauren Parenchym mancher Pflanzen führt zu derselben Folgerung. Im Blattstiele von *Begonia* liegen die Zellen, welche Krystalldrusen enthalten, häufig allseitig von Parenchymzellen umgeben, deren Zellsaft stark sauer und reich an Oxalsäure ist. Es ist nun offenbar, dass der Kalk nur durch diese Parenchymzellen hindurch zu den Drusen gelangen kann, dass er also auf seinem Wege dorthin schon mit Oxalsäure zusammentrifft. Wäre nun der kleesaurer Kalk völlig unlöslich, so könnte offenbar das Salz nie zu den Drusenzellen gelangen, und es wäre deren Ausbildung an den betreffenden Stellen also einfach unmöglich.

Ferner führe ich die Thatsache an, dass der kleesaurer Kalk in den Kartoffeln und den Orchideknollen nachgewiesenermassen in einer gewissen Periode gelöst wird, also dann wohl auch löslich ist.

Schliesslich ist zu bemerken, dass der krystallinische Zustand der Ablagerungen, und zumal die häufig bedeutende Grösse der Krystalle ohne eine wenigstens geringe Löslichkeit des Salzes unmöglich wären.

Aus allen diesen Erwägungen ergibt sich nun die Schlussfolgerung: der oxalsaure Kalk ist in geringer Menge im Zellsaft löslich, und gelangt durch Diffusion zu den Stellen, wo er auskrystallisirt. Die Ablagerungsstätten lehren uns also über den Ort der Entstehung der Oxalsäure Nichts.

Nachdem wir dieses also erledigt haben, können wir an die Diskussion zweier sehr wichtiger Fragen treten: Wo entsteht die Oxalsäure und wo verbindet sie sich mit dem Kalk?

Um die erstere Frage zu beantworten, beachten wir den Umstand, dass die Pflanzensäuren überhaupt vorwiegend im Parenchym vorkommen, und dass, wo dieses von der Oxalsäure genauer untersucht ist, von ihr dasselbe gilt. Von anderen Geweben führt das Xylem Luft oder Wasser, der Inhalt des Phloems reagirt alkalisch, und die Bastfaserstränge führen Luft. Ich möchte aber keineswegs behaupten, dass das Vorkommen der Pflanzensäuren ausschliesslich auf das Parenchym beschränkt ist, glaube vielmehr, dass solche allen turgescirenden Zellen zukommen.<sup>3)</sup> Es sind keine Gründe bekannt, welche die Annahme eines Transportes der Pflanzensäuren von einem Gewebe in das andere rechtfertigen, vielmehr spricht alles dafür, dass diese Verbindungen gerade da entstehen, wo wir sie später finden. Wir dürfen es also als wahrscheinlich erachten, dass die Oxalsäure, wie die anderen Pflanzensäuren, in den turgescirenden Zellen, und speziell im Parenchym entsteht. Andererseits dürfen wir annehmen, dass der Kalk, welcher ein unentbehrlicher Nährstoff für das Wachsthum der

1) Holzner, Flora 1867, S. 522 u 524.

2) Ritthausen, Journ. für prakt. Chemie, 1870, S. 339.

3) Bot. Ztg. 1879, Nr. 52 und Archives Neerlandaises d. Sciences exactes et naturelles, Tom. XV, 1880, S. 295.

Pflanzen ist, im Zellsafte lebender und wachsender Zellen nicht fehlen wird. Hieraus folgt aber, dass die Oxalsäure sich sogleich bei ihrer Entstehung wenigstens zum Theil mit Kalk verbinden wird, und dass also die Bildung des Kalkoxalats in denselben Zellen vor sich gehen wird, als die Entstehung der Oxalsäure.

Wir gelangen also zu folgender Vorstellung: Wenn in turgescirenden Zellen, zumal in denen des Parenchyms, allein oder neben anderen Pflanzensäuren, Oxalsäure gebildet wird, so muss sich diese, wenigstens zum Theil, mit dem von aussen aufgenommenen Kalke des Zellsaftes zu dem schwer löslichen Kalkoxalat verbinden.<sup>1)</sup> Sobald die Lösung dieses Salzes unter den obwaltenden Umständen gesättigt ist, fängt, an morphologisch dazu bestimmten Stellen, das Auskrystallisiren des Salzes an.

### § 10. Ueber die Ursache der Anhäufung des Kalkes.

Unter allen anorganischen Körpern, welche die Pflanze durch ihre Wurzeln aufnimmt, findet eine Ablagerung in fester Form in den gewöhnlichen Fällen nur beim Kalk und bei der Kieselsäure, bei diesen beiden aber in sehr erheblichen Mengen statt. Von den übrigen enthalten die Pflanzen wohl nur selten einen grossen Ueberfluss, wie man daraus sieht, dass diese Stoffe beim Abfallen der Blätter stets vorher in ziemlich vollständiger Weise aus den absterbenden Organen in die lebenskräftigen Theile zurückgezogen werden.

Fragen wir nun nach der Ursache, weshalb von den, aus dem Boden aufgenommenen, anorganischen Stoffen gerade Kalk und Kieselsäure in bedeutenden Mengen in unthätiger Form in der Pflanze abgelagert werden, so liegt die Antwort auf die so gestellte Frage auf der Hand. Denn nur diese beiden Stoffe kommen in den gewöhnlichen Böden in so überwiegend grosser Menge vor, dass es gar nicht Wunder nehmen kann, wenn die Pflanzen davon viel mehr aufnehmen als sie brauchen. Von allen anderen Stoffen enthalten die meisten Böden nur gerade genug für eine üppige Vegetation, vor überflüssiger Aufnahme ist daher in der Regel keine Gefahr.

Für diese Auffassung sprechen zwei weitere Gründe. Erstens lehrt uns die Thatsache, dass Meeresstrandpflanzen aus dem salzreichen Boden sehr ansehnliche Mengen Chlornatrium in sich aufnehmen, ohne dass dieses ihnen einen sichtbaren Nutzen gewähre, und während sie auf anderen Böden ohne Chlornatrium ebenso gut gedeihen, einen ganz analogen Fall der Anhäufung eines nutzlosen Stoffes kennen, der wohl vorwiegend als eine nothwendige Folge der in's Spiel kommenden Diffusionsgesetze zu betrachten sein wird. Es weist dieses darauf hin, dass auch die Aufnahme und Anhäufung von Kalk und Kieselsäure wesentlich von äusseren Umständen bedingt sein kann. Zweitens weise ich auf die altherkömmliche Unterscheidung von Kalk- und Kieselpflanzen, welche zwar durch die übertriebene Vorstellung des ausschliesslichen Gedeihens auf nur einem Boden vielen Widerspruch erweckt hat, welche aber dennoch richtig ist, wenn man sie so auffasst, dass die einen Arten dem Kalkboden, die andere dem Kieselboden besser angepasst sind, und dort also den Kampf um's Dasein mit

1) In etwas anderer Form habe ich diese Ansicht in diesen Jahrbüchern Bd. VI, S. 916, 1877, ausgesprochen.

grösserer Aussicht auf Erfolg bestehen können. Die Analysen zeigen in den Pflanzen der einen Gruppe meistens einen sehr grossen Gehalt an Kalk, in denen der anderen meistens sehr viel Kieselsäure an, und lehren überdies, dass diese beiden Gehalte von der Natur des Bodens, d. i. von seinem Reichtum an beiden Verbindungen, in hohem Masse abhängig sind. Also auch hier ist die Aufnahme und die Anhäufung der beiden fraglichen Stoffe wesentlich durch die Gelegenheit, diese von aussen aufzunehmen, bestimmt, ohne dass mit der stärkeren Anhäufung ein üppigeres Gedeihen zusammen ginge.

Ich schliesse also: Die Ursache, weshalb grade Kalk und Kieselsäure in den Pflanzen allgemein in unthätiger Form aus dem Stoffwechsel ausgeschieden werden, liegt in deren weiter Verbreitung und massenhaftem Vorkommen in den Böden, worauf die Pflanzen wachsen. Die Pflanzen nehmen durch die Wurzeln einen Ueberschuss dieser beiden Substanzen auf, und können diesen auf keine andere Weise wieder los werden. Dabei ist der Ort der Ablagerung, sowie beim Kalk die Art der Verbindung, in der Regel durch die spezifischen Eigenschaften der Pflanzen bestimmt, und kann hierin also eine äusserst grosse Mannigfaltigkeit obwalten.

Zu bemerken ist, dass alle Kieselsäure, aber nicht aller Kalk abgelagert werden kann, da von letzterem stets eine gewisse, wenn auch vielleicht sehr kleine Menge, für den Ernährungsprozess und das Wachstum unentbehrlich ist.

Zum Schlusse noch ein Wort über die Bedeutung der Oxalsäure im oxalsauren Kalk. Der ganze Gang meiner Darstellung führt dazu, den Kalk in den Ablagerungen als die Hauptsache, die Säuren oder sonstigen Stoffe mit denen er verbunden ist, als Nebensache zu betrachten. Es gilt in der Pflanze offenbar den schädlichen Ueberfluss des aufgenommenen Kalkes los zu werden. Dazu wenden verschiedene Arten verschiedene Mittel an. Die einen lagern ihn in noch unbekannter Form in den Zellhäuten ab, die anderen scheiden ihn als kohlen-sauren, noch andere endlich als oxalsauren Kalk aus. Dass die letztere Art der Ausscheidung eine sehr zweckmässige sei, dafür spricht die Vollständigkeit der Ablagerung, welche durch die Schwerlöslichkeit des Kalkoxalats erreicht werden kann. Ich nehme also an, dass die Pflanzen die Oxalsäure wenigstens zum Theil zum Zwecke der Abscheidung des Kalkes bilden; zu einem anderen, bei vielen Arten kleineren, bei manchen aber wiederum grösseren Theile bilden sie diese Säure allerdings auch noch zu anderen Zwecken, nämlich zu denjenigen, für die sie überhaupt ihre organischen Säuren bilden.<sup>1)</sup>

---

## Abtheilung IV.

### Zusammenfassung der Resultate.

Die bisherigen Ansichten über die Bedeutung des oxalsauren Kalkes haben diese Verbindung stets für sich, und nicht in Verbindung mit den übrigen Ablagerungsformen des Kalkes und mit denen der Kieselsäure behandelt und damit hing es zusammen, dass sie die biologische Bedeutung dieser Ablagerungen

---

1) Vergl. Bot. Ztg. 1879, Nr. 52.

theils in dem Unschädlichmachen der Oxalsäure allein (Schleiden), theils auch beider Bestandtheile gleichzeitig (Holzner) suchten. Ich glaube, dass man zu einer viel einfacheren und mit den Thatsachen besser im Einklang stehenden Erklärung gelangt, wenn man die Ausscheidung des Kalkoxalates als einen besonderen Fall der Kalkablagerungen im Allgemeinen betrachtet. Bei einer solchen Behandlung des Thema's tritt nothwendigerweise das diesen verschiedenen Ablagerungen Gemeinschaftliche in den Vordergrund, während die besonderen Eigenschaften der ausgeschiedenen Verbindungen mehr zurück treten. Auch wird man dadurch auf die Uebereinstimmung mit anderen Ablagerungen von Auswurfstoffen, namentlich mit der der Kieselsäure aufmerksam gemacht, wodurch gleichfalls das Allgemeine der Erscheinungen leichter und klarer hervorgehoben wird.

Ich will jetzt versuchen, die Ansicht, zu der ich durch diese Auffassung des Thema's geführt wurde, in einigen kurzen Sätzen zusammen zu fassen.

1. Die Oxalsäure entsteht, wie die anderen Pflanzensäuren, wahrscheinlich im Allgemeinen in turgescirenden Zellen, bei höheren Pflanzen also vorwiegend im Parenchym, und verbindet sich hier sofort, zum Theil oder ganz, mit dem im Zellsaft gelösten Kalk zu den in Pflanzensäften schwer löslichen (aber nicht ganz unlöslichen) Kalkoxalat. Ist die Lösung dieses Salzes unter den gegebenen Umständen gesättigt, so krystallisirt es an morphologisch dazu bestimmten Orten aus.

Es gibt Pflanzen, welche in ihrem Parenchym vorwiegend Oxalsäure, und andere, welche hauptsächlich andere Säuren, wie Aepfelsäure und Citronensäure bilden. Bei ersteren wird nur ein Theil der Oxalsäure an Kalk gebunden, bei letzteren wird umgekehrt nur ein Theil des Kalkes in Oxalat verwandelt. Dementsprechend ist der Saft der ersteren (*Begonia*) arm an Kalk, während der des letzteren daran reich zu sein pflegt (*Rothklee*). In beiden Fällen kann das schwer lösliche Kalkoxalat bald den Grad der Sättigung erreichen, bei der es auskrystallisiren wird. Welche Umstände es bedingen, dass die Krystallisation gewöhnlich nur an morphologisch bestimmten Stellen stattfindet, muss einstweilen dahingestellt bleiben.

Vom biologischen Standpunkte aus kann man sagen, dass die Pflanzen die Oxalsäure ganz oder theilweise zum Zwecke der Ausscheidung des überflüssig aufgenommenen Kalkes bilden.

2. Die Orte der Ablagerung des Kalkes und der Kieselsäure fügen sich der Regel, dass diese Auswurfstoffe dem Stoffwechsel möglichst entzogen und vorzugsweise dort abgelagert werden, wo sie diesen am wenigsten beeinträchtigen.

In dieser Beziehung besteht eine ganz merkwürdige Uebereinstimmung in der anatomischen Vertheilung des Kalkes und der Kieselsäure, welche sich erstens darin ausspricht, dass beide Stoffe vielfach in der Epidermis, und zwar in der nach aussen gekehrten Wand der Oberhautzellen gefunden werden, zweitens in der anatomischen Gleichwerthigkeit der Kieselsäure führenden Stegmata mit den Zellen der Krystalscheide der Bastbündel, welche Zellen je einen Krystall von Kalkoxalat enthalten, und drittens in dem Umstande, dass viele Zellen sowohl Kalkoxalat oder kohlen sauren Kalk als auch Kieselsäure ausscheiden.

In den Kalkablagerungen finden sich alle Stufen der Entziehung aus dem Stoffwechsel. Während in einigen Fällen der klee-saure Kalk in Krystallen im Protoplasma kräftig thätiger Zellen liegt, finden wir im anderen Extrem die Kalksalze an Stellen, durch welche ohnehin kein Austausch von Säften stattfinden würde. So z. B. oxalsaurer Kalk in der äusseren Zellhaut der Oberhautzellen, und kohlen-saurer Kalk in den Wänden mancher Haare. Kalkoxalat findet man ferner sehr gewöhnlich in der Umgebung stark verdickter, luftführender Zellen, so z. B. in der äusseren Wand der Bastfasern bei vielen Coniferen, in der Krystallscheide der Bastbündel bei einigen Monocotylen und zahlreichen Dicotylen, und endlich in der Umgebung von Steinzellennestern. Sehr häufig ist auch der oxalsaurer Kalk in zerstreuten Krystallschläuchen im Parenchym abgelagert, aber hier sind diese Zellen häufig in Längsreihen angeordnet, wodurch sie die Wanderung der Stoffe im Parenchym möglichst wenig stören.

3. Während die Kieselsäure fast stets in fester Form in den Zellhäuten abgelagert ist, finden wir den Kalk entweder in unbekannter Verbindung die Zellhaut inkrustirend, oder als kohlen-saurer oder klee-saurer Kalk ausgeschieden.

Es ist deutlich, dass, wenn es nur gilt den überschüssig aufgenommenen Kalk aus dem Stoffwechsel auszuschcheiden, die Art und Weise dieser Ausscheidung von sekundärer Bedeutung ist, und also je nach Arten verschieden sein kann. Ueber die gewöhnliche Ablagerung von Kalk in den Zellhäuten wissen wir vorläufig noch sehr wenig, da man darauf nur aus dem Gehalt der Aschenskelette an kohlen-saurem Kalk schliesst. Als kohlen-saures Salz findet sich der Kalk bei verhältnissmässig wenigen Pflanzen und zwar in den Zellhäuten oder in besonderen Verdickungen dieser, bei höheren Pflanzen vorzugsweise in der Oberhaut, bei einigen sogar auf dieser abgesetzt. Der klee-saure Kalk liegt bei niederen Pflanzen häufig ausserhalb der Zellen, bei den Phanerogamen entweder in deren Inneren oder in den Zellhäuten, in ersterem dieser beiden Fälle sind ganz gewöhnlich besondere Zellen ausgebildet, welche nur zur Ablagerung des Kalkoxalates dienen.

Dass die Bindung des Kalkes mittelst der Oxalsäure eine sehr zweckmässige Art der Ausscheidung dieses Stoffes aus dem Zellsafte ist, braucht bei der schweren Löslichkeit des Oxalates nicht besonders betont zu werden. Es kann daher nicht Wunder nehmen, dass diese Art der Ablagerung im Pflanzenreich so sehr weit verbreitet ist, wenn sie auch bei Weitem nicht, wie man früher meinte, eine allen Pflanzen gemeinschaftliche Erscheinung ist.

4. Von den durch die Wurzeln aufgenommenen Stoffen werden nur Kalk und Kieselsäure in erheblichen Mengen und ganz allgemein von Pflanzen in unthätiger Form abgeschieden.

Die Anhäufungen des Kalkes und der Kieselsäure sind offenbar ohne jeden weiteren Nutzen für die Pflanze. Es geht dieses zumal daraus hervor, dass sie während des ganzen Lebens zunehmen und beim Tode in den Organen zurückbleiben, wie sie sich z. B. in besonders grosser Menge in abfallenden Blättern finden. Gerade in dieser Beziehung unterscheiden sie sich von den übrigen anorganischen Stoffen, welche immer, bevor ein Blatt oder ein anderes Organ abgeworfen wird oder vertrocknet, dieses verlassen und in die lebendigen Theile der Pflanze zurückgeleitet werden, wo sie sich offenbar noch weiter am Stoffwechsel betheiligen müssen. Und dass die Pflanze mit diesen Stoffen karglich

sein muss, und wenigstens unter gewöhnlichen Umständen davon nie grossen Ueberschuss hat, erklärt sich leicht daraus, dass diese in den Böden, gegenüber dem Kalk und der Kieselsäure verhältnissmässig spärlich vertreten, und oft in schwerlöslicher Form vorhanden sind.

In Bezug auf die Ablagerung in fester Form waltet zwischen dem Kalk und der Kieselsäure ein sehr bedeutender Unterschied ob, da ersterer für das Leben unumgänglich nothwendig ist und also nie ganz aus dem Stoffwechsel ausgeschieden werden kann, während die letztere ohne Schaden in den Zellsäften völlig fehlen darf.

Diese Betrachtungen führen mich also zum Schlusse zur Aufstellung des folgenden Satzes:

Wo man im Pflanzenkörper Kalk oder Kieselsäure in fester Form abgelagert findet, sind es Auswurfstoffe, deren Zweck ist, diese Verbindungen, welche sich im Boden in so überwiegend grosser Menge vorfinden, und von denen also leicht von den Pflanzen zu viel aufgenommen wird, als überflüssig aus dem Stoffwechsel auszuschcheiden. Die Verbindungsform, in der dieses geschieht, ist dabei von untergeordneter Bedeutung, und beim Kalk je nach den Arten sehr verschieden.

---