

Die Lokalisation der chemischen Arbeit in der Pflanze

Autor(en): **Tschirch, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern**

Band (Jahr): - **(1917)**

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-571177>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Lokalisation der chemischen Arbeit in der Pflanze.

In einer vor einigen Jahren erschienenen Arbeit¹⁾ habe ich den Nachweis erbracht, dass die zum Dogma erhobene These: «Nur plasmatische Substanz vermag aufbauende chemische Arbeit in der Pflanze zu leisten» nicht richtig ist und dass auch die Membran chemische Arbeit zu verrichten vermag — allerdings nicht jede Membran, sondern eine ganz bestimmte Schicht, die, vorwiegend aus der Interzellulärsubstanz hervorgehend, sich durch die ganze Pflanze verfolgen lässt. Es erwies sich, dass diese stets kolloidale Membranschicht, die niemals mit dem Plasma in unmittelbarer Berührung steht, sondern stets durch eine Celluloselamelle von ihm getrennt ist, sogar eine ungewöhnlich grosse Mannigfaltigkeit in der Leistung zeigt und sich in ihr zahlreiche Synthesen vollziehen. Sie bildet, als sekretogene Schicht ausgebildet, die Sekrete in den Sekretbehältern, in ihr entstehen das Pektin und der sog. Interzellulärschleim, wie die Phytomelane, sie bildet die sog. Auskleidungen der Interzellulären, in ihr wandern die Pollenschläuche. Zu einer ganz besonderen Mannigfaltigkeit steigert sich die Leistung dieser Schicht, wenn sie an die Oberfläche der Pflanze tritt. Hier ist sie ja nicht mehr «Interzellulärsubstanz», aber sie steht doch von den Atemhöhlen aus über die Spaltöffnungen hin mit der Interzellulärsubstanz in direkter Verbindung, ist gewissermassen die Fortsetzung der Interzellulärsubstanz nach aussen. Bei den Wurzelhaaren vollzieht sich in ihr die Aufnahme der anorganischen Nährstoffe, bei der Epidermis der oberirdischen Organe erzeugt sie die Cuticula, die sich ganz wie ein Sekret verhält, und in den

¹⁾ Die Membran als Sitz chemischer Arbeit. Verhandl. der Schweiz. Naturforsch. Ges. 1914, französisch im Bulletin de la société vaudoise des sciences naturelles 1915. — Abgedruckt auch in meinen von Schülern und Freunden herausgegebenen Vorträgen und Reden. Leipzig 1915.

Drüsenhaaren bildet sie als sekretogene Schicht das Sekret. Die ausserordentliche Mannigfaltigkeit der Leistung lässt sich besonders an der Epidermis zeigen. Hier sehen wir, dass nicht nur die Cuticula, sondern auch Wachsüberzüge von ihr gebildet werden, von deren Bestandteilen kein einziger in dem Inhalte der Epidermiszellen sich auffinden lässt, wie ja auch kein Bestandteil der in den schizogenen Sekretbehältern auftretenden Sekrete in den sezernierenden Zellen auftritt. Alle diese Substanzen entstehen erst in der Membran und können hier nur durch Aufbau, aus allerdings vom Zellinhalte der angrenzenden Zellen her der Membran zugeführten Substanzen gebildet werden. Die von der sekretogenen Membranschicht der Epidermis gebildeten Substanzen sind besonders aliphatischer Natur. Die Wachse bestehen bekanntlich vorwiegend aus Estern aliphatischer Säuren mit aliphatischen Alkoholen und in der Cuticula sind, wie wir jetzt wissen, Kohlenwasserstoffe der aliphatischen Reihe enthalten: Die bei der Destillation von Laub- und Blumenblättern auftretenden Kohlenwasserstoffe, wie z. B. die Rosenölparaffine, das Ilicen und andere stammen aus der Cuticula. Aber auch aromatische Substanzen entstehen in dieser Membranschicht in grosser Mannigfaltigkeit; wir brauchen ja nur, um dies zu erkennen, die Bestandteile der ätherischen Oele der Labiaten und Kompositen Revue passieren zu lassen, von denen kein einziger in den Sezernierungszellen der Drüsenhaare vorkommt, die alle erst in der sekretogenen Membranschicht entstehen.

Es kann also keinem Zweifel begegnen, dass eine bestimmte Membranschicht aufbauende chemische Arbeit zu leisten vermag.

Aber auch dem Zellsaft müssen wir diese Fähigkeit zusprechen. Bei ihm ist allerdings der Nachweis der Nichtbeteiligung des Plasmas nicht so leicht zu erbringen wie bei der sekretogenen Membran, denn er wird ja von einem Plasmasack umschlossen. Aber diese Plasmahaut ist z. B. in den Epidermiszellen so ausserordentlich zart und tritt quantitativ gegenüber dem Zellsaft so stark in den Hintergrund, dass wir ihr kaum mehr als die Produktion von Enzymen zusprechen können. Die eigentliche chemische Arbeit wird offenbar im Zellsaft, den wir uns als eine kolloidale Lösung vorzustellen haben, geleistet. Und

in ihm vollzieht sich nun die Synthese der Alkaloide, Glykoside, Tannide und vieler Farbstoffe.

Wie diese chemische Arbeit in der Pflanze lokalisiert ist, das soll im folgenden ausgeführt werden.

Ich will die Verhältnisse an einem einfachen Beispiel erläutern und dazu die Blätter wählen.

Die in neuerer Zeit erheblich verbesserten Methoden der Mikrochemie haben uns einen ziemlich guten Einblick in die Lokalisation der Alkaloide und Glykoside verschafft. Während in früherer Zeit nur vereinzelte Arbeiten über den Gegenstand erschienen waren¹⁾, ist, seit Errera und Clautriau die Sache in die Hand nahmen²⁾, eine grosse Anzahl von Untersuchungen erschienen³⁾ und besonders Tunmann in Bern⁴⁾, Goris in Paris⁵⁾ und Molisch in Wien⁶⁾ haben wertvolle Beiträge geliefert. Auch ich habe mich, besonders gelegentlich der Bearbeitung des Anatomischen Atlas, den ich mit Oesterle herausgegeben habe, mit diesen Fragen beschäftigt.

Wir haben durch alle diese Arbeiten jetzt einen ziemlich klaren Einblick in die Lokalisation erhalten. Was zunächst die Alkaloide betrifft, so zeigte sich, dass fast regelmässig die Epidermis es war, in der sie vorwiegend auftraten.

Früher wurde gelehrt: die Epidermis ist inhaltsleer, dann: sie ist ein peripheres Wassergewebe. Aber schon 1895 habe ich im Anatomischen Atlas den Satz aufgestellt und begründet: «Gerade in der Epidermis finden sich zahlreiche differente Körper und namentlich die Alkaloide scheinen die Epidermis besonders zu bevorzugen.» Ich hatte nämlich ganz regelmässig in ihr nach

¹⁾ Borscow (Beitr. zur Histochemie der Pflanze, Bot. Zeit. 1874) war der erste, der sich mit der Frage beschäftigte, dann Vogl und Pfeffer.

²⁾ Errera, Maistriau und Clautriau, Prem. rech. sur la localisation des alcaloïdes dans les plantes. Bruxelles 1887 und Ann. soc. belge de microscop. 1886—1889. Clautriau, Nature et signification des alcaloïdes végét. Bruxelles 1900.

³⁾ Vollständige Liste in meinem Handbuche der Pharmacognosie. Bd. I, S. 343.

⁴⁾ Pflanzenmikrochemie. Berlin 1913.

⁵⁾ Localisation et rôle des alcaloïdes et des glucoside chez les végétaux. Berlin et Paris 1914.

⁶⁾ Histochemie 1891 und Mikrochemie der Pflanze. Jena 1913.

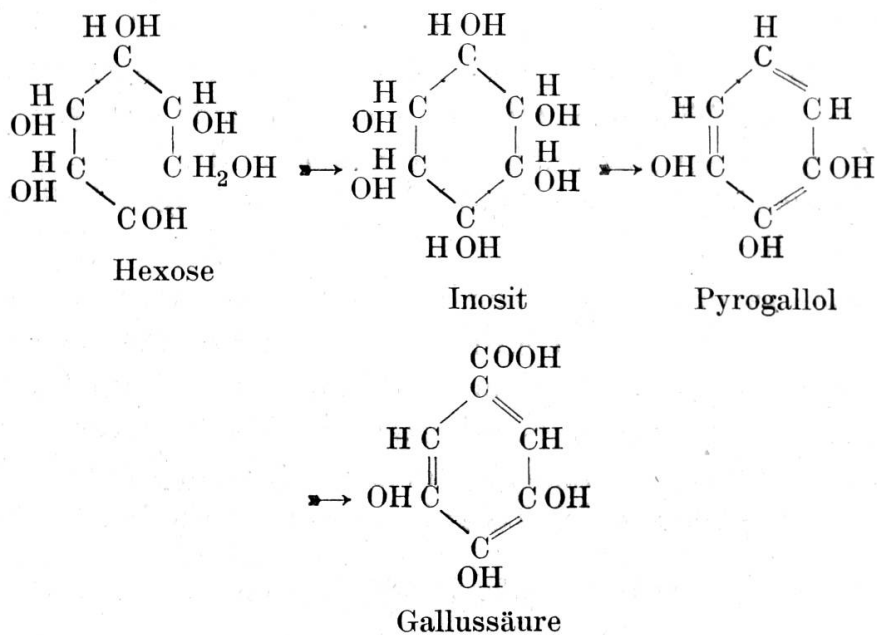
Einlegen der Pflanzenteile in Alkohol Kristalle auftreten sehen, die wir jetzt als Hesperidin d. h. als ein Glykosid betrachten dürfen, und hatte Alkaloidreaktionen besonders in ihr erhalten. Dieser Befund ist nun mittlerweile durch viele Beobachtungen bestätigt worden. Ein zweiter Ort, an dem Alkaloide auftraten, ist dann die Umgebung der Gefässbündel. Besonders die Gefässbündelscheide enthielt sie und endlich finden wir sie auch in den Markstrahlen und in vereinzelt Zellen des Markes. Das spezifische Assimilationsgewebe, besonders die Palisadenschicht führt diese Substanzen in der Regel ebensowenig wie das spezifische Leitungsgewebe, das Gefässbündel selbst. Und was für die Alkaloide gilt, gilt nun auch für die Glykoside und die Tannide, für letztere ist dies neuerdings von Dekker nachgewiesen worden¹⁾, der sich einer sehr hübschen Methode bediente, die Tannide in loco festzuhalten, indem er Zweige frischer Pflanzen in Bichromatlösung stellte und das Auftreten des Tannidniederschlages an Schnitten beobachtete — ein Verfahren, das jede Täuschung ausschloss. Dekker hat aber noch eine andere Tatsache festgestellt, nämlich die, dass bei mehrreihigen Markstrahlen nur die an den Gefässteil angrenzenden Zellreihen Tannid führen, nicht die mittleren. Das ist ein Befund, der zur Beurteilung der Frage, ob wirklich die Markstrahlen nur die Bedeutung radialer Leitungsbahnen besitzen, wichtig ist.

Wir sehen also eine strenge Lokalisation der chemischen Arbeit: Die Assimilation ist auf das spezifische Assimilationsgewebe, die Leitung auf das Gefässbündel im engeren Sinne beschränkt, die Alkaloide, Glykoside und Tannide dagegen treten in diesen Geweben nicht auf, sondern sind in der Epidermis, der Gefässbündelscheide, den Markstrahlen und einigen Zellen des Markes lokalisiert.

Dieser strengen Scheidung in der Lokalisation entspricht nun auch eine solche in der Konstitution der in diesen Geweben gebildeten Substanzen. In dem spezifischen Assimilationsgewebe werden die aliphatischen Substanzen gebildet: Zucker, Stärke, Eiweiss und letzteres wandert in dem Siebteil der Bündel. Diese aliphatischen Substanzen sind die plastischen Baustoffe der Pflanze,

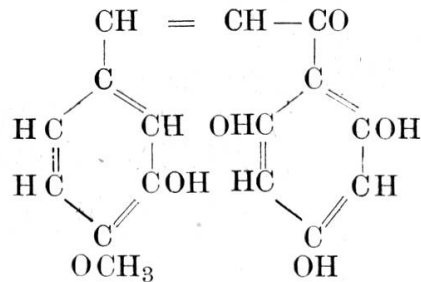
¹⁾ Rec. d. trav. botan. Néerland. 1917.

die Ernährung, Stoffbildung und Stoffumsatz bedingen. Es sind azyklische Verbindungen, die Systeme mit nicht zyklisch geschlossenen Kohlenstoffketten enthalten. Die in der Epidermis und den anderen genannten Geweben gebildeten Substanzen sind dagegen ausnahmslos zyklische oder enthalten doch einen zyklischen Bestandteil. Diesen Geweben muss also die Fähigkeit des Ringschlusses zukommen. Durch welche Mittel die Pflanze den Ringschluss zu Stande bringt, wissen wir nicht, doch ist die Arbeits-Hypothese berechtigt, dass es verkuppelnde Enzyme, also Synaptasen und ringschliessende, also Kyklokleiasen sind, die dies zu Stande bringen, denn die meisten der Reaktionen, die wir in vitro nur unter Zuhilfenahme energischer Reagentien bei erhöhter Temperatur durchführen können, gelingen der Pflanze mit viel geringeren, ja sehr einfachen Mitteln, bei gewöhnlicher Temperatur meist mit Hilfe der Katalysatoren, die wir Enzyme nennen. Die Arbeits-Hypothese ist also berechtigt, den Ringschluss durch Kyklokleiasen verursacht anzunehmen. Sei dem, wie ihm wolle: die Tatsache des Ringschlusses ist zweifellos. Auch über die Substanzen, an denen der Ringschluss vollzogen wird, kann kein Zweifel sein. Den Epidermiszellen stehen zu dem Prozesse in erster Linie die Hexosen zur Verfügung und der Ringschluss wird hier zunächst zum Inosit, dem zyklischen Zucker, und von diesem zu einem aromatischen Hexakyklos vom Charakter eines Prototannids führen:



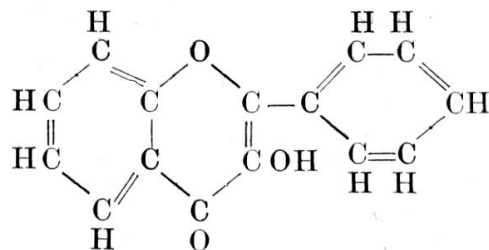
Durch dieses Reaktionsschema, welches den Uebergang der Hexataxis in den Hexakyklos veranschaulicht, wird uns das so häufige Auftreten aromatischer d. h. hexazyklischer Verbindungen in der Pflanze ohne weiteres verständlich, wie die relative Seltenheit der pentazyklischen Verbindungen aus der Seltenheit von in reaktionsfähiger Form vorhandenen Pentosen verständlich wird.

Auch in den Glykosiden sind bekanntlich hexazyklische Systeme häufig. Ich will aus der grossen Zahl derselben nur das oben schon erwähnte Hesperidin herausgreifen, das ja zweifellos in der Epidermis gebildet wird. Es ist bekanntlich ein Dextrose-Rhamnose-Aether eines Aglycons, das wir Hesperetin nennen und dem die Formel:



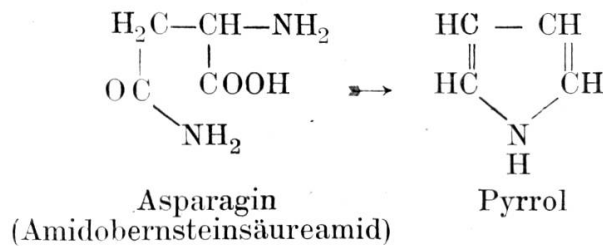
zukommt, in dem also zwei Phenolreste stecken.

Auch die in der Epidermis so häufig vorkommenden roten Farbstoffe, die wir Anthocyane nennen, sind zyklische Verbindungen, denn sie leiten sich von dem Flavonol:

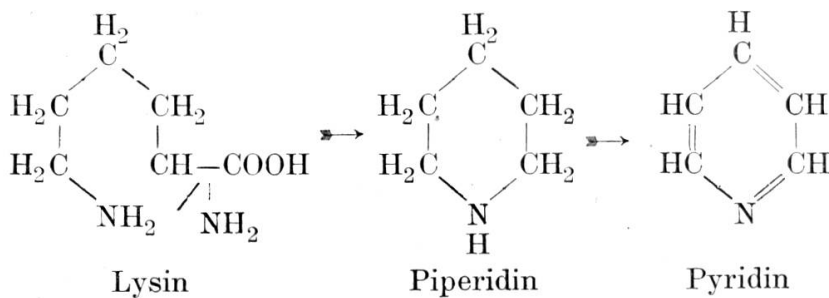


ab. Aber schon in diesen Verbindungen tritt neben dem Isozyklus auch ein Heterozyklus, der γ -Pyronkern, auf und die Alkaloide sind nun fast ausnahmslos heterozyklische Verbindungen. Wie ihr Aufbau zu Stande kommt, können wir uns schon aus dem Gesagten ableiten. Auch hier muss ein Ringschluss zu Stande kommen, aber die Ausgangssubstanzen können nicht Hexosen sein. Wir sind berechtigt anzunehmen, dass es Aminosäuren

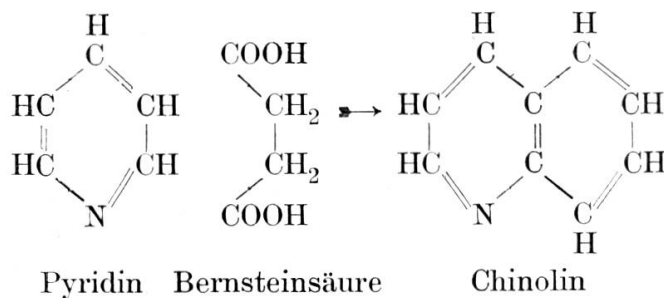
sind, die durch Ringschluss zu Alkaloiden werden, und wir sind um so mehr dazu berechtigt, als azyklische, nicht ringgeschlossene Basen z. B. im Mutterkorn, also einem Pilze, gefunden wurden. Die Pflanze zeigt uns also selbst den Weg, auf dem sie vorgegangen ist. Wir können uns denken, dass das in den Pflanzen so häufige Asparagin durch Ringschluss den in den Alkaloiden oft vorkommenden Pyrrolkern liefert:



und das Lysin (Diaminocapronsäure) zum «hydroaromatischen» Piperidinkern sich schliesst, der sich in vielen Alkaloiden findet:

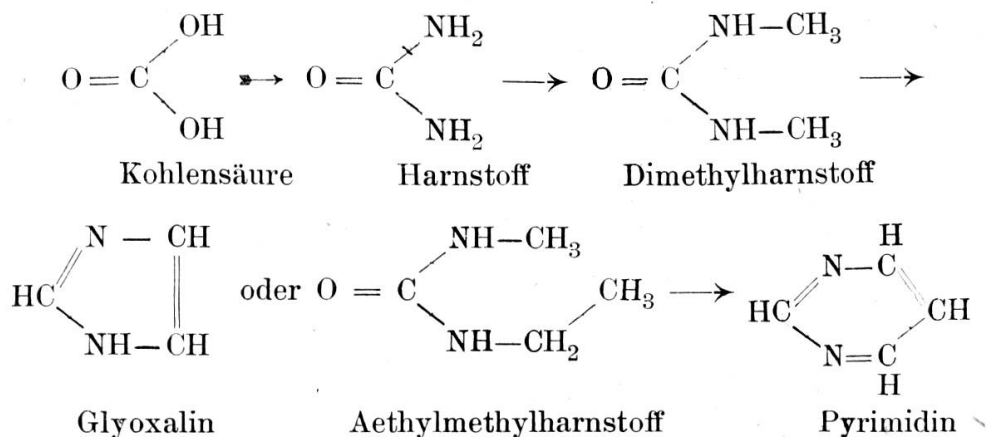


und der zum nicht minder häufigen «aromatischen» Pyridinkerne überleitet, wie oben der Inosit zum Pyrogallol. Durch Ringerweiterung, wieder durch ein Bernsteinsäureskelett, kann dann das Pyridin zum Chinolin «erweitert» werden, und auch Chinolin-

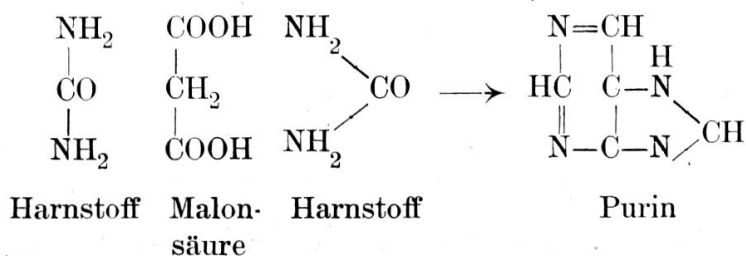


und Isochinolin-Kerne finden wir ja in vielen Alkaloiden. Die Oxalsäure aber wird, da für Ringerweiterung weniger brauchbar, «an den Strand gespült». Sie findet sich in den gleichen peripheren Geweben wie die Alkaloide (Giessler).

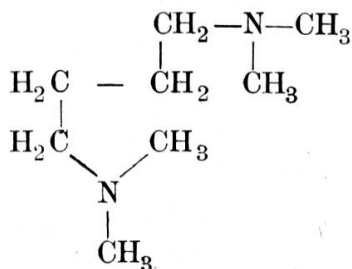
Auf noch einfachere Verbindungen können wir bei den Alkaloiden mit mehreren Stickstoffatomen im Kern zurückgehen, wo wir, von der Kohlensäure ausgehend, folgende Reihe erhalten:



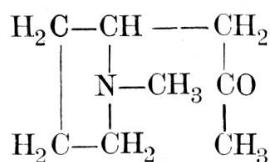
Das Glyoxalin ist in vielen Alkaloiden vorhanden und bildet mit dem dem Uracil (im Mutterkorn) zu Grunde liegenden Pyrimidinkern «zusammengeschweisst» den Purinkern, der im Kaffein und Theobromin steckt, und der auch direkt aus Harnstoff und Malonsäure durch vierfachen Ringschluss sich aufbauen lässt:



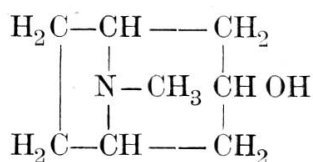
Dass nun wirklich solche Ringschlüsse in der Pflanze erfolgen, verraten uns die die ganz ringgeschlossenen Alkaloide oft begleitenden nicht- oder halbringgeschlossenen, so werden z. B. die mydriatischen Alkaloide in Hyoscyamus muticus von dem gar nicht ringgeschlossenen Diaminobutan:



und die Tropinalkaloide bisweilen vom Hygrin begleitet, dessen einer Ring noch nicht geschlossen ist, und das Pseudopelletierin

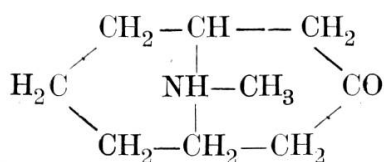


Hygrin

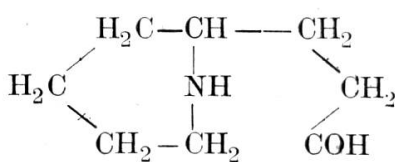


Tropin

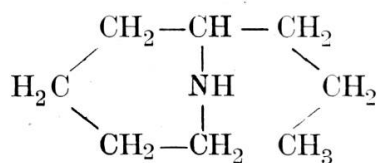
vom Pelletierin, bei dem dasselbe der Fall ist und das daher zum Coniin in nächste Beziehung tritt.



Pseudopelletierin



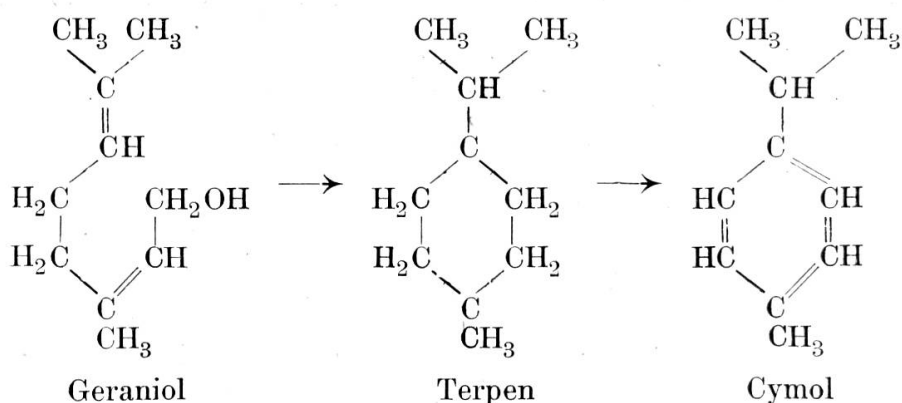
Pelletierin



Coniin

Und auch bei den Glykosiden, bei denen ein zyklisches Aglykon mit einem azyklischen Glykon gepaart ist, haben wir gewissermassen solche «halbringgeschlossene» Verbindungen vor uns.

Solche Ringschlüsse und damit verbundene Uebergänge aliphatischer Verbindungen, zunächst in hydroaromatische und dann in aromatische, finden wir auch beim Uebergang des Geraniolkerns in dem hydroaromatischen Terpen- und den aro-

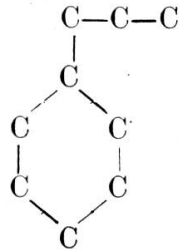


Geraniol

Terpen

Cymol

matischen Cymolkern, von denen allen dreien sich ja eine Unzahl von in den Pflanzen auftretenden Riechstoffen ableiten, die durch andere Orientierung der 3-Kohlenstoff-Seitenkette nach dem Schema:



noch weiter sehr stark vermehrt wird — woraus ersichtlich ist, dass die Pflanze eigentlich sehr einfache Mittel anwendet, um die grosse Mannigfaltigkeit in den Pflanzenstoffen zu erzeugen, die wir bewundern und deren verwirrende Fülle sich erst jetzt, wo die Konstitution einer grossen Menge dieser Stoffe erkannt worden ist, zu klären und zu lösen beginnt.

Eine der Pflanze besonders eigene Form der chemischen Arbeit ist die Bildung grosser Moleküle. — Ein ausgesprochener «Paarungstrieb» tritt uns denn auch bei der chemischen Arbeit in der Epidermis entgegen. Die Aglykone paaren sich mit Zucker zu Glykosiden, die Tannide zu Tannoglykosiden, die Alkaloide verbinden sich mit Zucker, Betainen oder Tanniden und in den Purindrogen (Tee, Kaffee, Cacao, Kola, Guarana, Matte) steckt offenbar ein noch grösserer Komplex, Substanzen, die ich als Alkaloido-Tanno-Glykoside bezeichnet habe. Etwas Analoges finden wir ja bei den Sekreten: die Riechstoffe der Pflanzen treten auch zunächst als Ester auf. Die ätherischen Oele, die unsere Flaschen füllen, sind Verseifungsprodukte.

Lassen sich nun aus der oben dargelegten Lokalisation der Alkaloide, Glykoside und Tannide in der Epidermis und Gefässbündelscheide, in Markstrahl- und Markgewebe und der Konstitution der genannten Substanzen Schlüsse ziehen auf die Bedeutung dieser Substanzen im Leben der Pflanze. Bevor wir dies tun, müssen wir noch kurz das Schicksal dieser Substanzen erörtern. Als man den Alkaloidgehalt der Blätter während des Verlaufes ihrer Entwicklung verfolgte, schien es zunächst, als ob eine allmähliche Abnahme einträte, denn der Prozentgehalt sank,

je weiter die Entwicklung des Blattes fortschritt, als man aber den Alkaloidgehalt auf das Gewicht des einzelnen Blattes bezog, zeigte sich, dass nur das Gewebe zugenommen hatte, der Alkaloidgehalt aber gleich geblieben war. Ein Verbrauch fand also im allgemeinen (eine Ausnahme scheinen die Purinbasen zu bilden) nicht statt. Auch bei der Keimung werden weder die Alkaloide, z. B. die der Solanaceen, noch die Saponine, z. B. die der Kastanie, noch die Tannide aufgebraucht. Sie sind also weder Reservestoffe noch wichtige Glieder des Stoffwechsels. Einmal gebildet bleiben sie liegen oder werden doch nur im Falle der Not wieder herangezogen. Ganz besonders bemerkenswert ist ihre Ablagerung in physiologisch toten Geweben.

Als physiologisch tot betrachte ich z. B. die Samenschale, die nur noch die Bedeutung besitzt, dem Samenkern mechanischen Schutz zu gewähren. Eine chemische Arbeit findet in ihr nicht mehr statt, sobald die, wie ich mit Holfert gezeigt habe, oft sehr mächtige «Nährschicht» ihre Stärke zur Verdickung der sklerenchymatischen Schichten hergegeben hat und obliteriert ist, ist die chemische Arbeit an dieser Stelle abgeschlossen. Aber gerade in diesen physiologisch toten Geweben finden wir z. B. bei den Solanaceen, bei dem Cacao u. a. reichlich Alkaloide. Sie werden mit der Samenschale abgeworfen oder bei der Keimung vom Keimungswasser ausgelaugt. Gegen die Auffassung der Alkaloide als Reservestoffe spricht übrigens auch ihre geringe Menge. Will die Pflanze Stickstoffmaterial speichern, so hat sie ganz andere Mittel und benützt sie auch z. B. durch Bildung von Aleuronkörnern, die bei der Keimung unmittelbar zur Verfügung stehen, während die Alkaloide nicht verwendungsfähig sind.

Dann hat man auch daran gedacht, sie als Schutzmittel gegen unberufene Gäste ansprechen zu können. Auch Clautriau denkt an eine «protection de la plante». Ihre periphere Lage in der Epidermis der Blätter schien in der Tat dieser Vorstellung Vorschub zu leisten. Aber gerade die gefährlichsten Feinde, die Insekten, werden durch einen Alkaloidgehalt der Epidermis keineswegs abgehalten, die Blätter zu zerfressen, wie ich mich bei allen Solanaceen — Belladonna, Stramonium, Nicotiana — wiederholt überzeugte und bei den Cinchonenkulturen auf Java ebenfalls konstatieren konnte.

Nach meiner Auffassung werden sie nur deshalb in der Epidermis gebildet, weil das Gewebe dem Assimilationsgewebe benachbart liegt, sie hier am wenigsten stören und auch der Ableitung der Assimilate nicht im Wege sind. Ob sie sich auch an der Absorption des Ultraviolett beteiligen, die unzweifelhaft in der Epidermis erfolgt, bleibe dahingestellt.

Ich glaube ihre Konstitution führt uns auf den rechten Weg. Es sind aus dem Stoffwechsel ausgeschaltete, durch Ringschluss konsolidierte Atomkomplexe, deren sich die Pflanze entledigen will. Es sind — ich kann keinen besseren Ausdruck finden — an den Strand gespülte Bruchstücke, die aufs sorgfältigste aus dem Assimilations- und Leitungsgewebe fortgeschafft, am Rande dieser Gewebe niedergelegt und durch Ringschluss fixiert werden. Gerade wie auch die Oxalsäure mit Vorliebe in den an das Assimilations- und Leitungsgewebe angrenzenden Zellen in der Form von Kalziumoxalatkristallen fixiert und durch eine Membran der Einwirkung lösender Agentien entzogen wird. Denn es darf als Regel gelten, dass die Oxalatkristalle eine Haut besitzen.

Sehr bemerkenswert ist auch die neuerdings wieder von Clautriau bestätigte Tatsache, dass Alkaloide, der Pflanze allein als Stickstoffnahrung dargeboten, von ihr nicht als solche angenommen werden. Das zeigt ihre «Festigkeit», zeigt, dass es ausgeschiedene und fixierte Verbindungen sind.

Amé Pictet in Genf, einer unserer erfolgreichsten Alkaloidforscher, denkt bei der Alkaloidbildung an eine «Entgiftung» des Plasmas. Diese Vorstellung setzt voraus, dass auch der Pflanze gegenüber das Alkaloid ein Gift ist, was aber keineswegs der Fall ist, und geht von der Ansicht aus, dass das Alkaloid in dem Assimilationsgewebe gebildet werde, was aber ebenfalls nicht der Fall ist. Von dorthier gelangen nur die alkaloidogenen Substanzen in die Epidermis. Es sind die Hobelspäne, die bei der chemischen Arbeit der Ernährung abfallen und deren sich das assimilierende Gewebe so schnell wie möglich entledigen will. Clautriau bezeichnet die Alkaloide als «*déchets de l'activité cellulaire*».

«Wo viel gehobelt wird, da fallen viel Späne» und wo der Ernährungs- und Stoffwechselprozess besonders lebhaft ist,

da bilden sich viel Alkaloide. Das erklärt auch ihr reichliches Auftreten in den Keimpflanzen und ihre Vermehrung bei Zufuhr von Stickstoffdüngemitteln (Chevalier). Wie Pictet sehe ich in dem Ringschluss, der erst in der Epidermis erfolgt, einen «Konsolidierungsprozess», kann mich aber nicht der Ansicht anschliessen, dass ringgeschlossene Verbindungen weniger gut durch die Membran diffundieren wie Kettenkohlenstoffverbindungen, weil sie eben kugelrund und nicht so schlank sind wie diese, denn nach den Gesetzen der Anordnung der Atome im Raum sind auch die Atome der azyklischen Verbindungen räumlich angeordnet. Wohl aber ist es richtig, dass die zyklischen Verbindungen nicht wandern, ja es ist dies, wie es scheint, geradezu eine ihrer biologisch wichtigsten Eigenschaften. Sie bleiben am Orte ihrer Bildung liegen. Sie teilen diese Eigenschaft mit den Tanniden, und im gewissen Sinne auch mit den Glykosiden, die aber immerhin, da sie einen Zuckerkomplex enthalten, beweglicher sind. Sie teilen sie auch mit den Sekreten, die stets an primärer Lagerstätte liegen bleiben. Ich befinde mich da im Widerspruch zu den französischen Chemikern von Roure-Bertrand, die annehmen, dass z. B. die in den Drüsenhaaren gebildeten Sekrete nach anderen Orten wandern — was ich niemals beobachtet habe. Die chemischen Veränderungen in der Zusammensetzung der Sekrete während der Entwicklung der Organe sind auf Veränderungen innerhalb der sekretogenen Schicht zurückzuführen, nicht auf ein Aus- und Einwandern. Niemals trifft man die Sekrete «unterwegs».

Die einzige Tatsache, welche für ein Wandern der Alkaloide spricht, ist in dem Ergebnisse einiger Pfropfversuche zu finden: Wenn Sprosse einer alkaloidhaltigen Pflanze auf eine normalerweise kein Alkaloid bildende Unterlage gepfropft werden, beobachtet man bisweilen auch in der Unterlage Alkaloidbildung. Aber das braucht nicht auf ein Wandern der Alkaloide bezogen zu werden, sondern kann ebensogut als ein Hinübergreifen der Disposition für die Alkaloidbildung betrachtet werden. Vielleicht wandern nur die Kükloleiasen in den Siebröhren in die Unterlage hinunter.

Wenn wir nun die Alkaloide als «an den Strand gespülte» Substanzkomplexe betrachten, so liegt die Frage nahe, woher

diese Komplexe stammen. Alle Alkaloidforscher, auch Pictet, Clautriau und Winterstein nehmen an, dass es Sprengstücke der Eiweisssubstanzen sind, dass also das Eiweissmolekül abgebaut und aus den kleineren Komplexen die Alkaloidmoleküle aufgebaut werden, bringen sie also zum Eiweisstoffwechsel in Beziehung. Das ist möglich, aber es wäre auch denkbar, und das erscheint mir wahrscheinlicher, dass es Atomkomplexe sind, die auf dem Wege zum Eiweissmolekül ausgeschieden werden, also nicht einem Abbau des Eiweissmoleküls ihre Entstehung verdanken, sondern «Hobelspäne» sind, die beim Aufbau abfallen, «an den Strand gespült werden», damit sie nicht weiter stören und dem Fortgange des Aufbaues des Eiweissmoleküls hinderlich sind. Diese zunächst als azyklisch zu betrachtenden Komplexe werden durch Ringschluss «gebunden», etwa in der Weise, wie man bei der Buttersäuregärung Kalziumkarbonat zusetzt, weil die freie Buttersäure bei einer gewissen Konzentration den Fortgang der Gärung hindert, nur dass bei den Alkaloiden das «bindende» der Ringschluss ist. Also eine Bedeutung haben auch die Alkaloide für die Pflanze. Doch kann dieselbe, wenn wir das Pflanzenreich als Ganzes betrachten, nicht eben sehr gross sein, denn dazu ist die Zahl der alkaloidbildenden Pflanzen zu gering. Die Pflanze muss auch andere Mittel besitzen, ihr unwillkommene Nebenprodukte fortzuschaffen.

Ausser der Epidermis ist, wie gesagt, auch die Umgebung der Gefässbündel Sitz der Alkaloide, Glykoside und Tannide. Also auch aus dem Leitungsgewebe werden unliebsame Komplexe herausgeschafft, also müssen sich auch in dem plasmatische Substanzen führenden Leptom, ja sogar im Hadrom, noch Stoffumbildungen vollziehen, beide Gewebe können nicht nur leitende sein und auch die Markstrahlen können nicht nur als in radialer Richtung leitende Zellzüge aufgefasst werden, denn, wie schon oben erwähnt, führen bei mehrreihigen nur die an das Hadrom angrenzenden Tannide, deren Grundkomplexe dorthin «an den Strand gespült» wurden. Im Winter sind die Markstrahlen bekanntlich Reservebehälter.

Die streng durchgeführte Lokalisation, einerseits der der Ernährung und dem Stoffumsatz dienenden aliphatischen Substanzen und andererseits der nicht mehr in den Stoffumsatz ein-

trehenden zyklischen, deutet auf eine weitgehende Arbeitsteilung in der höheren Pflanze. Die makro- und mikrochemische Forschung hat also in Verbindung mit der physiologischen Anatomie von neuem ein biologisches Gesetz aufgedeckt, das Gesetz der Arbeitsteilung.

So stellt sich der Befund jetzt folgendermassen: Im Assimilationsgewebe werden die Grundstoffe gebildet, die von dort zu den Orten des Verbrauchs und den Speicherorganen geleitet werden, der Abfall wird in Epidermis und Gefässbündelscheide, sowie in dem zum Teil als «physiologisch tot» zu betrachtenden Mark niedergelegt; die Sekrete aber entstehen in einer eigenartig umgebildeten Membranschicht.
