

P. 192

N° 8 B.

OCTOBRE

1916

BULLETIN INTERNATIONAL  
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE CRACOVIE

CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES

SÉRIE B: SCIENCES NATURELLES

ANZEIGER

DER

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

IN KRAKAU

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

REIHE B: BIOLOGISCHE WISSENSCHAFTEN



CRACOVIE

IMPRIMERIE DE L'UNIVERSITÉ

1917



rcin.org.pl

L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE CRACOVIE A ÉTÉ FONDÉE EN 1873 PAR  
S. M. L'EMPEREUR FRANÇOIS JOSEPH I.

PROTECTEUR DE L'ACADÉMIE:

S. A. I. ET R. CHARLES ÉTIENNE, ARCHIDUC D'AUTRICHE.

VICE-PROTECTEUR:

*Vacat.*

PRÉSIDENT: S. E. M. LE COMTE STANISLAS TARNOWSKI.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL: M. BOLESLAS ULANOWSKI.

EXTRAIT DES STATUTS DE L'ACADÉMIE

(§ 2). L'Académie est placée sous l'auguste patronage de Sa Majesté Impériale Royale Apostolique. Le Protecteur et le Vice-Protecteur sont nommés par S. M. l'Empereur.

(§ 4). L'Académie est divisée en trois classes:

- a) Classe de Philologie,
- b) Classe d'Histoire et de Philosophie,
- c) Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles.

(§ 12). La langue officielle de l'Académie est la langue polonaise.

*Depuis 1885, l'Académie publie le «Bulletin International» qui paraît tous les mois, sauf en août et septembre. Le Bulletin publié par les Classes de Philologie, d'Histoire et de Philosophie réunies, est consacré aux travaux de ces Classes. Le Bulletin publié par la Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles paraît en deux séries. La première est consacrée aux travaux sur les Mathématiques, l'Astronomie, la Physique, la Chimie, la Minéralogie, la Géologie etc. La seconde série contient les travaux qui se rapportent aux Sciences Biologiques.*

Publié par l'Académie  
sous la direction de M. **Ladislav Kulczyński**,  
Secrétaire de la Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles.

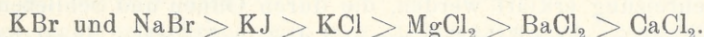
25 lutego 1917.

Nakładem Akademii Umiejętności.

Kraków 1917. — Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego pod zarządem Józefa Filipowskiego.

Im Gegensatz zu dieser Wirkung des NaFl verlieren die Nerven in Lösungen von NaBr, KBr und KJ ihre Reizbarkeit sehr schnell. Die Bromsalze wirken etwas schneller (Tabelle IV und V) als die Jodsalze (Tabelle VI). Zu der betäubenden Wirkung auf die Nerven tragen die Kationen nichts bei, wohl aber die Anionen; so wirkt NaBr ebenso wie KBr. Diese Resultate widersprechen der von Mathews ausgesprochenen Meinung, daß die Anionen auf die Nerven eine reizende, die Kationen eine hemmende Wirkung ausüben. In Lösungen von KCl dauert das Anfangsstadium der vermehrten Reizbarkeit 20'—30', worauf eine Verminderung der Reizbarkeit des Nerven folgt und schon nach 1 Stunde einen bedeutenden Grad erreicht (Tabelle VIII). Diese Wirkung hängt höchst wahrscheinlich von den Ionen des Kaliums ab, weil sie bei NaCl niemals auftritt. Durch diese ausgesprochen betäubende Wirkung nähert sich KCl der Gruppe der Br- und J-Salze, es entfaltet aber eine viel schwächere Wirkung als diese. Die Wirkung der Lösungen von Chlorsalzen der Erdalkalimetalle ( $MgCl_2$ ,  $BaCl_2$ ,  $CaCl_2$ ) kann als schwach und langsam paralyisierend bezeichnet werden: noch nach 2—3 Stunden erscheint darin die Reizbarkeit der Nerven verhältnismäßig nur in geringem Grade herabgesetzt. Von diesen Verbindungen wirkt  $MgCl_2$  am stärksten,  $CaCl_2$  am schwächsten paralyisierend, und  $BaCl_2$  nimmt in dieser Beziehung eine Mittelstellung ein.

Die Resultate meiner Untersuchungen können folgendermaßen zusammengefaßt werden: Das Eintauchen eines Nerven in eine mit ihm isotonische Salzlösung steigert anfangs die Reizbarkeit desselben. Im weiteren Verlaufe erweist sich 0.6%-ige NaCl-Lösung fast wirkungslos; NaFl ruft eine bedeutende und lange dauernde Steigerung der Reizbarkeit hervor; die übrigen von mir verwendeten Salze wirken auf das Nervengewebe paralyisierend ein. Nach der Intensität und Schnelligkeit ihrer Wirkung bilden die letztgenannten Verbindungen nachstehende Reihenfolge:



Die Resultate meiner Versuche gestatten, wenigstens im Bereiche der von mir untersuchten Salze, keinerlei Schlüsse hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen der Einwirkung auf die Nerven und der chemischen Wertigkeit oder dem Molekulargewichte, wie sie von einigen Autoren versucht wurden.

Bei einer genaueren Analyse meiner Versuche erscheint auch die Annahme unzulässig, daß die beobachteten Änderungen der Reizbarkeit nicht von direkter Wirkung der Lösungen auf die Nerven abhängen sollten, sondern durch eventuelles Eindringen in das Nervengewebe fremder, das Gewebe zerstörender Ionen verursacht würden. Eine ähnliche Vermutung hat Overton ausgesprochen, doch bezieht sich dieselbe nicht auf Nerven, sondern auf Muskeln, und zwar bei lange dauernden Versuchen. Gegen eine analoge Annahme in unserem Fall wäre folgendes hervorzuheben:

Die Jod- und Brom-Salzlösungen paralyisierten in meinen Versuchen den Nerven schon binnen 20'—30', während die Chlorsalze der Erdalkalimetalle ihre hemmende Wirkung erst nach 2—3 Stunden entfalteten. Sollte die hinsichtlich ihrer Dauer so verschiedene Wirkung der beiden Salzarten von dem Eindringen der Ionen in das Nervengewebe abhängen, so wäre es unbegreiflich, warum ein in NaFl-Lösung eingetauchter, also der Wirkung absolut gewebe-fremder Ionen ausgesetzter Nerv noch nach 2—3 Stunden seine normale oder sogar eine gesteigerte Reizbarkeit besitzt, obgleich nach dieser Zeit die Wirkung der Ionen, falls dieselben in das Nervengewebe eindringen sollten, schon einen hohen Grad erreichen müßte.

---

Ich gehe jetzt zum zweiten Teile meiner Versuche über. Mehrmals habe ich im Laufe meiner Experimente bemerkt, daß das Umschalten des Kommutators, vermittels dessen die Elektroden der Gefäße mit den Elektroden der Induktionsrolle verbunden waren, eine Zuckung des untersuchten Unterschenkels hervorriefen. Diese Erscheinung trat sowohl bei geöffnetem Strom der primären Rolle ein als auch bei gänzlicher Ausschaltung der Induktionsrolle. Unter solchen Bedingungen war irgend ein Zufluß der Elektrizität von außen undenkbar und die Zuckung des Unterschenkels im Momente der Umschaltung des Kommutators kann nur als eine Folge der Nervenreizung erklärt werden, die durch Öffnen und Schließen des in den untersuchten Salzlösungen und dem in dieselben eingetauchten Nerven bestehenden Stromes ausgelöst wird.

Ich beschloß, diese interessante Erscheinung genauer mit Hilfe des Galvanometers zu untersuchen. Die erste Möglichkeit, die ich in Betracht zog, war, daß polarisierende Ströme in den Gefäßchen durch Berührung der Platinelektroden mit der Elektrolytenlösung

entstehen. Um diese Möglichkeit auszuschließen, verwendete ich in allen meinen weiteren Untersuchungen Gefäße mit nicht polarisierenden Elektroden; die übrigen Bedingungen des Experimentes blieben unverändert, wie in der ersten Serie der Versuche. Ich bediente mich dabei eines Spiegelgalvanometers von der Empfindlichkeit  $18 \cdot 10^{-7}$  mA. Die nichtpolarisierenden Elektroden selbst gaben bei der Mehrzahl der Versuche keine Ablenkung des Galvanometers. Trat eine geringe Ablenkung ein, so wurde sie mit Hilfe der Kompensation beseitigt. Vor dem Eintauchen des Nerven in die Lösung und nach dem Herausnehmen desselben am Ende des Versuches verband ich die Gefäßchen mittels eines U-förmigen Röhrchens, welches mit gleicher Lösung wie die Gefäße gefüllt war, und beobachtete den Stand des Galvanometers; auf diese Weise konnte ich feststellen, ob in der Lösung selbst sich nicht etwa eine Quelle der elektromotorischen Kraft befindet. Der Nerv wurde auf diese Weise in die Lösung eingetaucht, daß sowohl sein zentripetales (von dem Muskel abgewendetes) als auch das zentrifugale (dem Muskel nähere) Ende mit seiner langen Fläche mit der Flüssigkeit in Berührung kam, wodurch eine Schließung des Stromes, welcher bei Verbindung des Querschnittes eines Nerven mit dem Längsschnitte desselben durch einen elektrischen Leiter entsteht, vermieden wurde.

In den (auf S. 196) angeführten Protokollen der Versuche bedeutet das Minuszeichen bei der Zahl, daß die dem Muskel nähere Elektrode positiv war.

Die umstehende Tabelle beweist das Vorhandensein einer elektromotorischen Kraft, deren Quelle nur im Nerven liegen kann und die ein Ausdruck der in dem Nerven unter der Wirkung äußerer Reizungen entstehender Lebensvorgänge ist. Ein abgetöter und ausgetrockneter und darauf durch Einlegen in die feuchten und lebenden Muskeln des Froschschenkels aufgeweichter Nerv ist nicht imstande, eine elektromotorische Kraft zu entwickeln. Das Galvanometer zeigt in solchen Fällen nicht die geringste Ablenkung. Die elektromotorische, in dem chemisch gereizten Nerven entstehende Kraft kann zuweilen recht beträchtlich sein; so z. B. beträgt sie im Versuche vom 4. VI. (Tabelle XI) 0.0045 V. In allen von mir beobachteten Fällen hatte der Strom im *N. ischiadicus* eine absteigende Richtung, d. h. von den vom Muskel abgewendeten Teilen zu den dem Muskel näherliegenden; die Richtung des Stromes war also mit derjenigen des Aktionsstromes identisch. Dies wie auch die Veränderungen in der Stromin-

TABELLE XI.

Gefäßchen mit 0.6%-iger NaCl-Lösung gefüllt, durch ein U-Röhrchen miteinander und durch nichtpolarisierende Elektroden mit dem Galvanometer verbunden.

Zeit		Ablenkung des Galvanometers
Versuch vom 5. VI. 1916.		
8h 10' vm.	Die Gefäßchen werden miteinander und mit dem Galvanometer verbunden . . . . .	0 mm
8h 21' "	Der Nerv wird eingetaucht . . . . .	0
8h 22' "	. . . . .	-6
8h 25' "	. . . . .	-8
8h 27' "	. . . . .	-3
8h 58' "	. . . . .	-3
10h 30' "	. . . . .	-3
Versuch vom 8. VI. 1916.		
Versuchsflüssigkeit: 1.224%-ige KBr-Lösung; sonst wie vor.		
9h 45' "	Die Gefäßchen werden miteinander und mit dem Galvanometer verbunden . . . . .	0
9h 48' "	Der Nerv wird eingetaucht . . . . .	- 5
9h 50' "	. . . . .	-18
9h 54' "	. . . . .	-26
10h 03' "	. . . . .	-20
10h 36' "	. . . . .	-16
10h 51' "	. . . . .	- 3
11h 30' "	. . . . .	- 3
Versuch vom 4. VI. 1916.		
Versuchsflüssigkeit: 0.45%-ige NaFl-Lösung; sonst wie vor.		
4h 42' nm.	Die Gefäßchen werden miteinander und mit dem Galvanometer verbunden . . . . .	0
4h 45' "	Der Nerv wird eingetaucht . . . . .	-72 = 0.0045 V.
4h 50' "	. . . . .	-64
5h 15' "	. . . . .	-60
6h 00' "	. . . . .	-54
8h 15' "	. . . . .	-50
10h 18' "	. . . . .	-50

tensität, welche den Veränderungen der Nervenreizbarkeit in verschiedenen Lösungen parallel verlaufen, beweisen, daß in diesem Strome die Reizung des Nerven durch chemische Substanzen zum Ausdruck kommt. Dieser Strom kann unter den Bedingungen un-

seres Versuches gewissermaßen als ein Ausdruck des physiologischen Zustandes des Nerven gelten. Dieser Index ist empfindlicher als die Veränderungen in der Reizbarkeit, welche durch Beobachtung der für die Zuckung des Unterschenkels erforderlichen Intensität des elektrischen Reizes festgestellt werden. In der Literatur fehlen diesbezügliche Beobachtungen fast gänzlich. In Bezug auf die Nerven bemerkt Waller<sup>1)</sup>, daß CO<sub>2</sub> je nach der Konzentration eine Steigerung oder vollkommene Sistierung der durch tetanisierende Reize hervorgerufenen negativen Schwankung bewirkt. Eine ähnliche Erscheinung beobachtete Garten<sup>2)</sup> bei der Wirkung des Veratrin. Endlich hat noch R. Höber<sup>3)</sup> eine Reihe von Untersuchungen über die Stärke des Ruhestromes der Muskeln bei Einwirkung verschiedener Salzlösungen durchgeführt. Die Angaben dieses Forschers stehen aber in keinem Zusammenhange mit meinem Thema, sie beziehen sich nämlich nicht auf Nerven, sondern auf Muskeln; auch konnte die von diesem Forscher angewandte Methode, wie bereits von Frey<sup>4)</sup> bemerkt hat, eine Fehlerquelle bilden.

Die von mir beobachteten elektrischen Erscheinungen werden es vielleicht ermöglichen, in der Zukunft die ganze Methode der Untersuchung der chemischen Reizungen auf der Beobachtung der begleitenden Nervenströme aufzubauen. Eine derartige Beobachtungsmethode könnte uns einen direkten Einblick in die Erscheinungen und in den Verlauf der biologischen Vorgänge in dem Nervengewebe gewähren und würde zur Klärung so mancher uns derzeit rätselhaft erscheinender Fragen nach den biologischen Prozessen des Nervengewebes und ihres Stoffwechsels beitragen. Eine Erweiterung unserer Versuche auf weitere unorganische und organische Verbindungen, unter Berücksichtigung der von uns erhaltenen Resultate, könnte in dieser Beziehung von hoher Bedeutung sein. Das Ziel künftiger Arbeiten muß jedenfalls die Erkenntnis sein, worin das Wesen der chemischen Reizung der Nerven besteht und auf welchem Weg sie zustande kommt.

Die bisherigen Versuche verschiedener Autoren, die Sache zu

1) Ergebnisse der Physiologie, II. Jahrg., II. Abt., S. 213—216.

2) Ergebnisse d. Phys., II. Jahrg., II. Abt., S. 213—216.

3) Z. f. Phys., Bd. 18 und Pflüger's Archiv f. d. g. Phys., Bd. 106 u. 120.

4) Nagel's Handbuch d. Physiol., Bd. IV, 1907, S. 527.

klären, können nicht als gelungen gelten. Es geht wohl nicht an, die chemische Reizung bloß als einen elektrischen, durch die Ladung der Ionen hervorgerufenen Reiz aufzufassen. Wir wissen nämlich, daß der Nerv nicht durch das Vorhandensein einer elektrischen Ladung, sondern nur durch rapide Schwankungen in der Spannung des denselben durchfließenden Stromes gereizt werden kann. In isotonischen Salzlösungen läßt sich aber keine Potentialdifferenz nachweisen, welche das Durchfließen eines Stromes durch die Nerven verursachen könnte. Der angedeuteten Auffassung widerspricht auch der Umstand, daß die miteinander isotonischen Lösungen verschiedener Salze die Reizbarkeit des Nerven in ungleichem Maße verändern, obgleich die elektrischen Ladungen ihrer Ionen wohl gleich sind. Lehnen wir aber die Ansicht ab, daß die chemische Reizung der Nerven auf elektrischem Wege zustande kommt, so müssen wir den Ionen selbst einen direkten Einfluß auf die Reizbarkeit der Nerven zuschreiben, und zwar in verschiedenem Grade, je nach der chemischen Natur der Ionen. Das Wesen dieser chemischen Reizung ist uns heutzutage noch nicht klar. Die Reizung der Gewebe durch elektrische Reize wird ganz gut durch die Theorie von Nernst erklärt. Nach diesem Forscher besteht das Reizmoment in dem Unterschied der Ionenkonzentration. Dieser Unterschied entsteht in dem Gewebe beim Durchleiten des elektrischen Stromes und infolge einer Anhäufung der Anionen und Kationen an den entsprechenden Polen wie auch durch die gleichzeitig bestehende, in verschiedenen Richtungen verschieden schnelle Diffusion der Ionen; die Reizung des Nerven muß durch die positiven Ionen herbeigeführt werden, weil der aktive Zustand immer in der Gegend der Kathode entsteht.

Der Charakter der die chemischen Reize begleitenden elektrischen Erscheinungen läßt die Annahme zu, daß auch hier im Nerven ein Unterschied in der Ionenkonzentration entsteht, welcher eine Potentialdifferenz bewirkt, und daß auch hier wie bei den elektrischen Reizen das wirkende Moment die positiven Ionen bilden.

Im Anschluß an die Theorie von Czubalski, nach welcher die Aktionsströme ihre Quelle in dem Unterschied der Ionenkonzentration haben, der beim Auftreten des aktiven Zustandes durch die katabolischen Prozesse hervorgerufen wird, führen unsere Beobachtungen zu dem Schlusse, daß wenigstens gewisse Salzlösungen



den Stoffwechsel im Nervengewebe in hohem Grade beeinflussen und auf diese Weise den aktiven Zustand samt dem ihn begleitenden elektrischen Strom hervorrufen können. Der Charakter und die Richtung des in unseren Versuchen in Nerven beobachteten Stromes führen ferner zu der Annahme, daß eine jede durch irgend einen äußeren (in unserem Falle einen chemischen) Eingriff hervorgerufene Gleichgewichtsstörung des Nervenstoffwechsels stets in einer bestimmten, für diesen Nerven konstanten Richtung verläuft und eine Anordnung der Ionen ergibt, welche zur Entstehung eines Stromes vom Charakter des Aktionsstromes führt.

Obige Erwägungen würden auch die interessante Erscheinung erklärlich machen, daß selbst die 0.6%-ige (für die Frösche physiologische) NaCl-Lösung nicht ganz des Reizungsvermögens dem Nerven gegenüber entbehrt. Diese Lösung ruft nämlich in dem *Nervus ischiadicus* des Frosches einen zwar schwachen, immerhin aber wahrnehmbaren Strom hervor. Diese Erklärung findet eine gewisse Stütze darin, daß die Isotonie, als physikalisch-chemischer Begriff, mit der chemischen Isotonie einer Lösung dem Gewebe gegenüber nicht identisch ist; NaCl ist nämlich in den Gewebssäften zwar in überwiegender Menge, jedoch nicht allein enthalten.

Die von mir in dem *Nervus ischiadicus* des Frosches beobachteten Ströme waren immer, wie bereits betont wurde, absteigend, d. h. sie strömten alle in der Richtung zum Muskel hinab. Der *Nervus ischiadicus* ist bekanntlich ein gemischter Nerv, jedoch mit überwiegenden zentrifugalen Fasern; mich interessierte also die Frage, wie sich ein Nerv mit zentripetalen Fasern verhalten wird. Um diese Frage zu lösen, führte ich unter gleichen Bedingungen wie die oben beschriebenen drei Versuche mit den hinteren Wurzeln der Rückenmarksnerven von Fröschen aus und konstatierte hierbei in einer 0.45%-igen NaFl-Lösung das Vorhandensein eines Stromes; die Ablenkung des Galvanometers betrug dabei bis 14 mm; der Strom lief von der Peripherie gegen die Nervenzentren zu. Die Richtung des Stromes war demnach in allen von mir beobachteten Fällen mit der Richtung identisch, in welcher sich der Aktionszustand im Nerven fortpflanzt. Einen Strom von entgegengesetzter Richtung habe ich niemals beobachtet.

Meine Versuche mit den zentripetalen Nerven sind derzeit noch zu lückenhaft, als daß sich daraus weitergehende Schlüsse ziehen ließen. Weitere Versuche, die ich mir vorbehalte, werden uns viel-

leicht ermöglichen, die in der Physiologie so wichtige und strittige Frage nach der Leitung des Aktionszustandes in den Nerven zu entscheiden. Es wäre nämlich interessant festzustellen, ob ein Nerven den Aktionszustand nur nach einer Richtung hin, d. h. je nach seinem Charakter nur zentripetal oder nur zentrifugal leiten kann, oder ob unabhängig von dem Charakter des Nerven der Aktionszustand von der Stelle seiner Entstehung in beiden Richtungen, d. h. gegen die Peripherie und gegen die Zentren hin sich fortpflanzen kann. Meine bisherigen Versuche sprechen für die erstere Annahme.

Die hier berührten Gedanken und Themen, deren gründliche Nachprüfung und Bearbeitung lange und mühevollen Versuche erfordern, hoffe ich in der nächsten Zukunft zum Gegenstande meiner weiteren Forschungen machen zu können.

Ich benütze die Gelegenheit, meinem Hochverehrten Chef, dem Herrn Prof. N. Cybulski für die wertvollen Ratschläge, die er mir im Laufe dieser Arbeit erteilt hat, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Krakau, 1916, Physiologisches Institut der Universität.

---

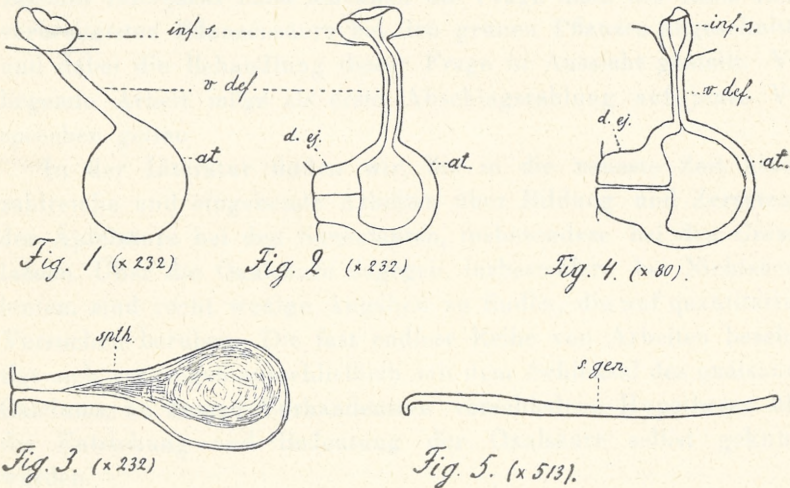
*Kilka uwag o organach rozrodczych rodzaju Chaetogaster v. Baer 1827. — Some remarks upon the reproductive organs in the genus Chaetogaster v. Baer 1827.*

Note

de M. M. KOWALEWSKI,

présentée, dans la séance du 9 Octobre 1916, par M. M. Siedlecki m. c.

The author examines the reproductive organs in *Chaetogaster crystallinus* Vejd. 1884, *Ch. diaphanus* Gruit. 1828 and *Ch. diastrophus* Gruit. 1828; he concludes that the organs in question in the three



species alluded to, and even perhaps in all species belonging to the same genus, are almost identical, structurally and topographically. The description of these organs, as given by Vejdovský (*System und Morphologie der Oligochaeten*, Prag 1884) is substantially correct,

if we except however the place where the sperm-duct opens into the atrium. According to the author, the place in question lies nearer the internal end of the ejaculatory duct (Fig. 2, 4). Other details of minor importance, *e. g.* the shape of the sperm-funnel, the atrium, the spermatheca, the genital setae etc., will be obvious from the accompanying drawings. The number of genital setae in a bundle is 2—3 in *Ch. crystallinus* (length about 60  $\mu$ ) and *Ch. diastrophus* (length about 65  $\mu$ ) and 5—7 in *Ch. diaphanus* (length about 130  $\mu$ ).

---

*O roli kwasu szczawiowego w zielonych roślinach. I. Rozkład kwasu szczawiowego w szczawiu Rumex acetosa. — Über die Rolle der Oxalsäure bei den grünen Pflanzen. I. Die Zersetzung der Oxalsäure bei Rumex acetosa.*

Mémoire

de M. **CASIMIR BASSALIK**,

présenté, dans la séance du 9 Octobre 1916, par M. E. Godlowski père, m. t.

A. Einleitung.

In meiner Arbeit über die Verarbeitung der Oxalsäure durch *Bacillus extorquens* habe ich auch die Frage nach der Rolle dieser verbreitetsten Pflanzensäure bei den grünen Pflanzen angeschnitten und dabei die Behandlung dieser Frage in Aussicht gestellt. Vorliegende Arbeit möge als erste Abschlagszahlung auf jenes Versprechen gelten.

In der Literatur finden wir, bis in die neueste Zeit hinein, zahlreiche und eingehende Arbeiten über Bildung und Zersetzung der Äpfelsäure bei den Succulenten, insbesondere bei den Crassulaceen. Über die Oxalsäure dagegen, insbesondere bei Nichtsucculenten, sind recht wenige Angaben zu finden, die auf quantitativen Versuchen beruhen. Die fast endlose Reihe von Arbeiten beschäftigt sich sozusagen ausschließlich mit dem Schicksal des oxalsaurigen Calciums, an dessen Vorhandensein verschiedene Hypothesen über die Entstehung und Bedeutung der Oxalsäure selbst geknüpft werden.

Über ihre Entstehung selbst sind drei Hypothesen aufgestellt worden, und zwar:

1) die Hypothese von Liebig (1841) und Mulder (1843), die in der Oxalsäure ein erstes Reduktionsprodukt der Kohlensäure bei deren Assimilation sahen. An diese Hypothese schließt

sich teilweise diejenige von Berthélot und André (1886) an. Auch diese Forscher fassen die Oxalsäure als unvollständiges Reduktionsprodukt der Kohlensäure auf, neben deren Entstehung aber gleichzeitig die Bildung von Eiweißstoffen einhergeht.

Diese Auffassung leitet zu der

2) zweiten Hypothese über, die besonders von Palladin (1887) und A. F. Schimper (1890) begründet wurde. Nach diesen Forschern soll die Oxalsäure ein Nebenprodukt sein, das bei der Eiweißsynthese gebildet wird.

Diese beiden älteren Hypothesen haben jedoch wenig Anklang gefunden. Dagegen erfreut sich die dritte, als die chemisch und experimentell immerhin bestbegründete, heute fast ausschließlicher Anerkennung.

3) Diese dritte Hypothese erblickt in der Oxalsäure— analog der Äpfelsäure bei den Crassulaceen — ein regulierbares Durchgangs- oder Endprodukt dissimilatorischer Vorgänge innerhalb des Pflanzenkörpers. Ihre Entstehung kann sie dem Abbau sowohl stickstofffreier als auch stickstoffhaltiger Substanzen verdanken (Holzner 1867, Hilgers 1867, Emmerling 1874, Mayer 1875, Pfeffer 1881, van der Ploeg 1879, De Bary 1886, Warburg 1886, Wehmer 1891, Purjewicz 1893 u. a.).

Als ein solches Produkt ist sie von Wehmer (1891) bei *Aspergillus* und *Penicillium* nachgewiesen worden. Für die grünen, nicht succulenten Pflanzen versuchten dies Amar (1903) und Benecke (1903), hatten jedoch hiebei viel weniger Glück als Wehmer.

Mehr als über die Entstehungsweise und die Bedeutung im Stoffwechsel wurde über den Nutzen der Oxalsäure diskutiert. Bei der folgenden Aufzählung muß ich mich darauf beschränken, nur die hauptsächlichsten Verfechter der wichtigsten Hypothesen zu nennen:

So soll die Oxalsäure:

1. von den Pflanzen zur Steigerung des Turgors produziert werden (de Vries 1881),
2. überschüssige Basen, hauptsächlich Calcium, binden (de Vries 1881, Schimper 1888, Wehmer 1893, Stahl 1900, Amar 1904); andererseits soll aber das Calcium die giftige Oxalsäure neutralisieren (Boehm 1875, Groom 1896 u. a.),
3. als Calciumaufspeicherer fungieren (Kraus 1897),
4. an Calcium gebunden (als Raphiden) oder als saures Salz

der Pflanze Schutz vor tierischen Feinden, besonders Schnecken bieten (Stahl 1888, Giessler 1893),

5. von den Pilzen als Abwehrmittel gegen Konkurrenten verwendet werden (De Bary 1886, A. Hansen 1889, Wehmer 1891).

Wohl dem Umstande, daß man sich einseitig für das gut wahrnehmbare Calciumsalz der Oxalsäure interessierte, ist es zuzuschreiben, daß, abgesehen von gelegentlichen Angaben, sehr wenig quantitative Untersuchungen über die Gesamtoxalsäure in den grünen Pflanzen gemacht worden sind. Auch in den Fällen, wo um die Frage nach der Wiederauflösung des innerhalb der Pflanzen abgelagerten oxalsauren Calciums heiß gestritten wurde, beschränkten sich die meisten Forscher auf bloße mikroskopische Schätzung desselben.

Unter den quantitativen Arbeiten sind besonders diejenigen von Berthélot und André (1885 u. 1886) hervorzuheben, die mit zuverlässigen analytischen Methoden den Oxalsäuregehalt von *Rumex acetosa*, *Mesembryanthemum crystallinum*, *Amarantus caudatus* und *Chenopodium quinoa* bestimmten. Hauptsächlich wurde *Rumex acetosa* während einer ganzen Vegetationsperiode studiert, und zwar bezogen sich die Oxalsäurebestimmungen auf den Samen, auf die junge Pflanze (Anfang Juni), auf die im Höhepunkt der Vegetation befindliche Pflanze (Ende Juni) und schließlich auf die absterbende Pflanze (Ende September). Leider sind auch diese Angaben dürftig, weil, abgesehen von dem letztgenannten Fall, wo 14 Exemplare analysiert wurden, stets nur eine einzige Pflanze der Analyse unterworfen wurde. In ihren Arbeiten stellen die beiden Forscher fest, daß der Oxalsäuregehalt in der Blattspreite am stärksten ist, und sagen „dans toutes ces espèces et à toute époque, les oxalates sont surtout abondants dans la feuille, qui paraît être le siège de leur formation“. Aus diesen Untersuchungen ist ferner zu entnehmen, daß der Oxalsäuregehalt, und besonders derjenige an gelösten Oxalaten, in den Pflanzen auf der Höhe ihrer Vegetation am höchsten ist, während er gegen den Herbst zu abnimmt. Auch aus gelegentlichen quantitativen Arbeiten anderer Forscher geht hervor, daß die Blätter die oxalsäurereichsten Organe der Pflanzen sind. Kraus (1886) kommt auf Grund von Aziditätsbestimmungen, andere Autoren, so besonders Schimper (1888) und Borodin (1899), auf Grund bloßer Schätzungen des abgelagerten Calciumoxalates zu dem gleichen Resultat wie die französischen Forscher.

Über die täglichen Schwankungen des Oxalatgehaltes bei *Rumex* wissen wir so gut wie gar nichts. Allerdings führt Kraus (1886) und sein Schüler P. Lange (1886) auch *Rumex* unter denjenigen Pflanzen auf, bei denen während des Tages eine Abnahme der Azidität des Zellsaftes eintritt. Jedoch hat de Vries (1884, S. 353) eine periodische Säurebildung überhaupt nur bei Fettpflanzen gefunden. Er sagt wörtlich: „Zahlreiche, zum Teil durch großen Säuregehalt ausgezeichnete Gewächse habe ich auch nach hellen Tagen auf die Veränderung ihrer Azidität während der Nacht untersucht, aber ich fand in den abgeschnittenen Organen entweder keine sicher nachweisbare Veränderung des Säuregehaltes oder einen Verlust. *Begonia ricinifolia*, *Rheum officinale*, *Vitis vinifera* (unreife Beeren) und *Portulacca oleracea* mögen als Beispiele genannt werden“. Zur Aziditätsbestimmung von Pflanzensäften hat man wohl öfters wegen der scheinbaren Einfachheit der Methode gegriffen. Wenn man sich jedoch vergegenwärtigt, welch ein kompliziertes Stoffgemisch in einem auch völlig klaren Pflanzensaft vorliegt (z. B. Eiweißkörper und ihre Spaltprodukte, die sämtlich amphotere Elektrolyte sind), wird man sich über die mangelhafte Übereinstimmung der Resultate verschiedener Forscher, besonders wo es sich um geringere Differenzen handelt, nicht wundern. Die Azidität selbst sagt ja übrigens auch noch gar nichts aus über den Gehalt an irgend einer Säure in gebundener Form.

Bei einer so mageren literarischen Ausbeute sah ich mich gezwungen, mich vorerst mit der Feststellung des Oxalsäuregehaltes von *Rumex acetosa* zu befassen. Ich richtete dabei mein Augenmerk von vornherein auf die Blätter, die ja als die säurereichsten Organe der Pflanze bekannt waren.

#### B. Methodisches.

Jedermann, der mit Pflanzensäften gearbeitet hat, kennt die Schwierigkeiten, welche die Herstellung völlig klarer Filtrate bereitet. Da es mir darauf ankam, vergleichbare und darum möglichst genaue Resultate über den Oxalsäuregehalt der *Rumex*-blätter zu erzielen, verzichtete ich — abgesehen von einigen Fällen — auf Aziditätsbestimmungen, verlegte mich vielmehr auf möglichst genaue Bestimmungen der Gesamtoxalsäure. Versucht man, in abgepresstem Pflanzensaft die Oxalsäure durch Calciumsalze auszufällen, so reißt das ausfallende Calciumoxalat eine Menge Pflan-



zenschleim, Gerbstoffe, gelöste Eiweißstoffe u. dergl. auch bei scheinbar völliger Klarheit des Filtrates mit. Filtrieren, Auflösen und Wiederfällen sind alles äußerst zeitraubende und die Genauigkeit der Analyse stark beeinträchtigende Operationen. Nach vielen Mißerfolgen ergab sich der folgende Gang der Operationen als der vorteilhafteste: Die Pflanzenteile werden möglichst rasch nach dem Abpflücken und Abwägen zerschnitten oder auch in einer Porzellschale zerrieben, hierauf in eine heiße Salzsäurelösung gegeben (für 1 g Frischgewicht 0.5 cm<sup>3</sup> Salzsäure von 1.126 spez. Gew. im fünffachen Volumen dest. Wassers) und hierauf sofort zum Aufkochen erhitzt. Hierauf wird durch eine Chamberlandkerze filtriert (alle anderen Filter erwiesen sich als unverwendbar). Dann werden die Pflanzenteile mit kleinen Mengen dest. Wassers unter Aufkochen erschöpft und jedesmal filtriert. Das völlig klare Gesamtfiltrat, das wegen des Vorhandenseins gelöster Gerbstoffe gewöhnlich eine gelbliche bis rötliche Farbe aufweist, wird mit Ammoniak im Überschuß versetzt, durch welches die Gerbstoffe ausgefällt werden. Hierauf wird abfiltriert, das Filtrat unter Erwärmung mit Essigsäure zur Ausfällung noch vorhandenen Eiweißes angesäuert und wiederum filtriert. Endlich wird das essigsäure Filtrat zur Abscheidung der Oxalsäure mit Calciumacetat versetzt und die Flüssigkeit unter Befolgung der für Calciumoxalat angegebenen Vorsichtsmaßregeln der analytischen Chemie filtriert, darauf in 2-n Schwefelsäure gelöst und mit Kaliumpermanganatlösung bei ca. 60°C. titriert.

Erst nach strikter Befolgung dieser Methode erhielt ich sichere Werte, wie aus folgenden Angaben hervorgeht:

Von einem großen Stock *Rumex acetosa* wurden an einem sonnigen Tage um 2<sup>h</sup> 30' nachm. die jüngeren Blätter samt Stielen gepflückt, in 4 Portionen nach Blattgröße gleichmäßig verteilt und in der oben geschilderten Weise behandelt.

TABELLE I.

						Verhältniszahl
1.	Port.	mit	100 g	Blättern	(frisch) ergab	0.785% Oxalsäure = 100
2.	"	"	50 "	"	"	0.769% " = 97.9
3.	"	"	10 "	"	"	0.756% " = 96.3
4.	"	"	5 "	"	"	0.748% " = 95.3

Ferner setzte ich zu Blättern, denen die Oxalsäure durch die angegebene Behandlung entzogen worden war, abgewogene Mengen von Natriumoxalat hinzu und bestimmte durch Wiederholung des angegebenen Analysenganges die zugesetzte Oxalsäure. Dabei ergaben:

TABELLE II.

50 g erschöpfte Blätter mit 1·0g $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ = 98·7% der zugesetzten Oxalsäure						
50	"	"	"	0·5	"	=98·4%
25	"	"	"	0·5	"	=99·3%
25	"	"	"	0·25	"	=98·8%
10	"	"	"	0·25	"	=99·1%
10	"	"	"	0·10	"	=98·1%
10	"	"	"	0·10	"	=98·7%
10	"	"	"	0·05	"	=98·4%
5	"	"	"	0·05	"	=98·7%

Diese Versuche beweisen die Zuverlässigkeit der Methode.

### C. Die Menge der Oxalsäure in den Blättern von *Rumex acetosa*.

Zu meinen ersten Analysen entnahm ich die Blätter nicht stets einem einzigen *Rumex*stocke, insbesondere dann nicht, wenn ich größere Mengen verarbeitete. Ich sortierte sie zwar schon damals für die einzelnen Portionen nach Größe und somit z. T. nach Alter, jedoch nicht nach Herkunft. Erst später merkte ich, daß der Oxalsäuregehalt verschiedener Stöcke recht beträchtliche Schwankungen aufweisen kann, so daß ich in der Folge für eine und dieselbe Analyse nur Blätter eines einzigen *Rumex*stockes verwendete. Alle Angaben über den Oxalsäuregehalt in vorliegender Arbeit beziehen sich stets auf das Frischgewicht der analysierten Organe. Der Wassergehalt frischer Pflanzenteile war nämlich in allen untersuchten Fällen weit geringeren Schwankungen unterworfen als der Oxalatgehalt, so daß die Vernachlässigung der Umrechnung des Oxalatgehaltes auf das Trockengewicht der analysierten Pflanzenteile mir durchaus zulässig erscheint. Die Grenzen, innerhalb deren das Trockengewicht bei 105°C. schwankte, waren 9·0 bis 11·1%, gewöhnlich aber nur 10·6 bis 11·1% des Frischgewichtes. Im Mittel also ergibt sich der Oxalatgehalt, auf das Trockengewicht bezogen, durch eine Multiplikation mit 10 des auf das Frischgewicht

der Blätter berechneten. Meine Trockengewichtsermittlungen stimmen übrigens recht gut mit den Angaben von Berthélot und André überein. Alle meine Analysen geben stets den Gehalt der untersuchten Pflanzenteile an Gesamtoxalsäure an, ohne Unterscheidung zwischen löslichem und unlöslichem Oxalat, da jüngere Blätter von *Rumex acetosa* nur äußerst geringe Mengen an Calciumoxalat, und zwar meistens in Form von Drusen enthalten. Sobald man nur kleinere Mengen von Blättern verwendet, läßt sich der Gehalt an unlöslichem Oxalat überhaupt nicht bestimmen. Auffallend ist die Angabe Berthélot's, daß ca. 1/7 des Oxalats unlöslich sein soll. Der Unterschied in den Resultaten mag erstens darauf beruhen, daß ich niemals vergilbende Blätter, überhaupt niemals Blätter, die irgend welche Alterserscheinungen aufwiesen, zu meinen Analysen verwendete. Ferner scheinen Berthélot und André die Pflanzen erst nach Bestimmung des Trockengewichtes analysiert zu haben. Bei dem Trocknen aber, das ja den Tod der Pflanzen bewirkt, können in den Zellen vorhandene Calciumsalze mit dem gelösten Oxalat Umsetzungen erfahren und so den Gehalt an Calciumoxalat bedeutend steigern. Meist verwendete ich zwei bis sechs Wochen alte Blätter.

Der Oxalatgehalt, auf wasserfreie Oxalsäure berechnet, schwankte im Frischgewicht der Blätter verschiedener *Rumex*-pflanzen zwischen 0.074 bis 1.266%. Diese unerwartet großen Unterschiede im Oxalatgehalt der Blätter derselben Pflanzenspezies mögen sowohl durch Rassenunterschiede der einzelnen Pflanzen wie durch ungleiche Außenbedingungen verursacht sein. Da aber diese sehr interessante Frage in vorliegender Arbeit noch nicht ausführlich behandelt wird, will ich mich hier darauf beschränken, 1) auf den verschiedenen Gehalt an Oxalsäure in verschiedenen Exemplaren auch bei annähernd gleichen Außenbedingungen, und 2) auf die Abhängigkeit des Oxalsäuregehaltes von der Belichtung hinzuweisen.

#### 1. Oxalsäuremenge bei gleichen Außenbedingungen.

Die in der folgenden Tabelle angeführten *Rumex*-pflanzen wurden in Töpfen mit Erde gleicher Herkunft im Freien kultiviert. An einem sonnigen Tag im Juli wurden zwischen 2<sup>h</sup> 30' und 3<sup>h</sup> 20' nachm. von jedem Topf Portionen zu je 30 bis 40 g Blätter mit den Stielen gepflückt und in der beschriebenen Weise analysiert.

TABELLE III.

Die <i>Rumex</i> blätter von Topf	I	enthielten	0.907%	Oxalsäure
" " " "	II	"	1.266%	"
" " " "	III	"	0.892%	"
" " " "	IV	"	0.733%	"
" " " "	V	"	0.791%	"

Aus obiger Tabelle geht also der Unterschied im Oxalatgehalt verschiedener *Rumex*pflanzen bei gleichen Außenbedingungen deutlich hervor.

Geringer sind dagegen die Unterschiede im Oxalsäuregehalt bei Wahrung gleicher Außenbedingungen bei Pflanzen, die der gleichen Mutterpflanze entstammen. Drei gleichalte, aus Bulbillen einer Mutterpflanze gezogene Exemplare von *Oxalis Deppei* wurden während ihrer ganzen Aufzuchtperiode in jeder Beziehung gleichmäßig behandelt. Am Versuchstage waren die Pflanzen am gleichen Ort 8 Stunden lang direkter Sonnenbestrahlung ausgesetzt, worauf ihnen um 5 Uhr nachm. gleiche Gewichtsportionen Blattspreiten entnommen wurden.

TABELLE IV.

Die Spreiten der Pflanze	1	enthielten	1.44%	Oxalsäure
" " " "	2	"	1.50%	"
" " " "	3	"	1.29%	"

## 2. Abhängigkeit des Oxalsäuregehaltes der *Rumex*blätter von der Belichtung.

Die in Tab. III niedergelegten Resultate zeigen, daß der Gehalt an Gesamtoxalsäure in den Blättern von *Rumex* in verschiedenen Exemplaren auch bei gleichen Außenbedingungen verschieden ist.

Interessanter aber als diese Erkenntnis ist die Tatsache, daß der Oxalsäuregehalt der *Rumex*blätter von der Belichtung abhängt. Den meisten Arbeiten über die Pflanzensäuren, insbesondere aber denjenigen von G. Kraus (1886) und dessen Schüler P. Lange (1886), die ganz allgemein eine Aziditätsabnahme des Zellsaftes infolge der Belichtung festgestellt haben, könnte man entnehmen, daß auch der Gehalt an Gesamtoxalsäure bei *Rumex* bei

Belichtung sinke, bei Verdunkelung dagegen steige. Gerade die Ergebnisse dieser Aziditätsarbeiten, wie ich sie kurz nennen möchte, haben ja das hauptsächlichste Argument gegen die Hypothese Liebig's und Mulder's geliefert. Berthélot (1901) sagte zwar in seiner letzten Abhandlung über die Rolle der Pflanzensäuren, S. 503: „Il paraît utile de rappeler, qu'il n'existe aucune relation entre la dose totale des acides végétaux contenus dans une plante à l'état libre ou combiné, et le titre acidimétrique des jus extraits de ses différents parties“ — doch — Zahlen bestechen, und Aziditätsbestimmungen lieferten Zahlen, die gegen die Liebig'sche Hypothese sprachen. Gegen die scheinbar unbestreitbare Eindeutigkeit dieser Zahlen konnten Beobachtungen, wie sie N. Monteverde (1888) und A. F. W. Schimper (1888 und 1890) machten, und die auf Schätzungen, und zwar des Calciumoxalates allein, beruhten, nicht aufkommen. Schimper (1888, S. 87) sagt z. B.: „Sonnenblätter enthalten weit mehr Kalkoxalat als Schattenblätter“, und ferner S. 85: „Es geht schon aus dem Gesagten hervor, daß die Bildung des Kalkoxalates in hohem Maße von der Beleuchtung abhängig ist. Versuche zeigten, daß die unter normalen Umständen stattfindende Zunahme des Salzes durch Verdunkelung ganz sistiert wird u. s. w.“

Indem ich vorläufig einen Teil der Resultate, die ich bei meinen Versuchen über die Bildung des Oxalations erhalten habe, veröffentliche, möchte ich jedoch von vornherein betonen, daß ich die Bildung dieser Säure noch nicht unter allen Bedingungen studiert habe, als daß ich sagen dürfte, daß die Oxalsäure bei grünen Pflanzen ihre Entstehung einzig und allein dem Reduktionsprozeß bei der Assimilation der Kohlensäure verdanke.

Die folgenden Resultate (Tab. V) sollen allein zeigen, daß der Gehalt an Oxalation in belichteten Blättern steigt.

Die erste Reihe der Versuche wurde folgendermaßen ausgeführt: Am Morgen oder in den Vormittagsstunden wurde von den Versuchspflanzen eine Anzahl verschiedenaltiger (2—6 Wochen alter) Blätter gepflückt; diese wurden von den Blattstielen befreit, gewogen und, wie früher beschrieben, analysiert. Nach dem Abpflücken dieser ersten Portion Blätter wurde die Topfpflanze mit dem Rest der Blätter an ein Fenster in direktes Sonnenlicht gestellt. Nach Ablauf der jeweiligen Expositionsdauer wurde wo-

möglich die gleiche Anzahl Blätter gepflückt und in gleicher Weise wie die erste Portion behandelt.

Die zweite Reihe von Versuchen wurde so ausgeführt, daß ein Teil des *Rumex*stockes mit den daran befindlichen Blättern in einen gegen Licht abgedichteten Zylinder oder Kasten kam, der außen mit weißem Stoff zur Verhütung zu starker Erwärmung durch die Sonnenstrahlen verhüllt wurde, während der Rest der Blätter dem vollen Sonnenlicht ausgesetzt wurde. Nach Ablauf der Belichtungszeit wurden dann beide Portionen auf die übliche Weise gepflückt und analysiert.

TABELLE V.

Vers. Nr.	Pfl. Nr.	I. Portion Vor der Belichtung			Belichtungs- dauer. Stunden	II. Portion Nach der Belichtung			Zu- nahme in %
		Blsprei- ten g	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> g	% der Frisch- subst.		Blsprei- ten g	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> g	%	
I. Reihe.									
1	1	10·6	0·0360	0·34	4 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	12·3	0·073	0·59	75
2	"	9·3	0·0414	0·44	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	9·4	0·065	0·69	55
3	3	8·1	0·0108	0·13	4	7·5	0·014	0·19	44·4
4	"	6·0	0·0171	0·28	7	4·6	0·035	0·76	167·7
5	4	8·8	0·0189	0·21	4 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6·1	0·035	0·57	167·4
6	"	8·3	0·0666	0·8	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	12·0	0·147	1·23	53·7
7	Stiele	4·7	0·0108	0·23	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	5·9	0·017	0·29	26·6
	Spreiten	10·0	0·025	0·25		9·0	0·052	0·57	132·8
8	5	8·4	0·0225	0·27	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	10·8	0·051	0·47	77·2
9	6	6·5	0·0063	0·095	4	8·2	0·058	0·70	636·4
10	7	12·7	0·0551	0·43	4	16·7	0·114	0·68	56·8
11	"	8·0	0·0198	0·25	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8·2	0·038	0·46	86·6
12	8	7·3	0·0288	0·39	3	7·0	0·037	0·53	33·7
13	"	9·35	0·0270	0·29	4	10·4	0·040	0·39	35·1
14	9	8·3	0·0468	0·56	4	12·4	0·096	0·78	37·8
15	10	8·0	0·0369	0·46	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	10·0	0·108	1·08	134·3
16	11	7·5	0·0108	0·14	4	8·1	0·0405	0·5	247·2
17	"	11·2	0·0648	0·58	6	9·5	0·0855	0·9	55·7
18	12	7·2	0·0306	0·42	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	8·2	0·057	0·7	65·3
19	"	6·1	0·0423	0·69	5	6·55	0·071	1·08	56·6
20	13	5·0	0·0234	0·47	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8·05	0·063	0·75	60·0
21	14	6·8	0·0243	0·35	4	7·2	0·064	0·88	148·6

II. Reihe.

		Verdunkelt				Belichtet			
1	Stiele	11.0	0.0747	0.68	4 $\frac{1}{2}$	15.0	0.1071	0.71	5.1
	Spreiten	27.0	0.1944	0.72	4 $\frac{1}{2}$	15.0	0.1431	0.95	32.6
2	1	8.0	0.0486	0.6	7	15.0	0.1296	0.85	42.3
3	4	11.0	0.0900	0.82	5	13.0	0.1278	0.98	20.2
4	2	11.0	0.0729	0.66	2	13.0	0.0990	0.76	14.9
5	5	11.5	0.0486	0.42	7 $\frac{1}{2}$	16.0	0.1044	0.65	54.4
6	8	8.5	0.0676	0.71	5	11.0	0.1022	0.93	29.9

Alle diese Versuche zeigen eine deutliche Zunahme des Oxalations in den Rumexblättern infolge von Belichtung. Da ich aber die Bildungsbedingungen dieser Säure in einer späteren Publikation ausführlicher zu behandeln gedenke, möchte ich mich hier in eine ausführliche Diskussion obiger Resultate nicht einlassen, umso weniger als in obiger Tabelle nicht alle zu berücksichtigenden Faktoren, wie z. B. Temperatur, Lichtintensität während des Versuches und am Tage zuvor, Chlorophyllmenge der Blätter u. s. w. aufgeführt werden konnten.

Ich möchte nur noch darauf aufmerksam machen, daß auch die Blattstiele infolge von Belichtung eine Zunahme der Oxalsäure aufweisen, jedoch in bedeutend geringerem Maße als die Spreiten.

3. Unterschied im Oxalsäuregehalt der Blattspreiten und Stiele von Rumex, Begonia und Oxalis.

Zu allen meinen Versuchen verwendete ich in vorliegender Arbeit, wo ich nur von „Blättern“ spreche, ganze Blätter mit den Stielen; der Oxalsäuregehalt der Blattstiele ist geringer als derjenige der Spreiten, wie dies aus den in folgender Tabelle niedergelegten Analysen hervorgeht.

TABELLE VI.

Oxalatgehalt der Blattspreiten und Stiele von *Rumex acetosa*.

	Oxalsäuregehalt in % der Frischsubstanz	=	Oxalsäuregehalt der Stiele in % desjenigen der Spreiten.
1. Spreiten .	0.247%	=	100
Stiele . .	0.299%	=	92.72
2. Spreiten .	0.529%	=	100
Stiele . .	0.445%	=	84.12

	Oxalsäuregehalt in % der Frischsubstanz	=	Oxalsäuregehalt der Stiele in % desjenigen der Spreiten.
3. Spreiten . .	0·517%	=	100
Stiele . . . .	0·432%	=	83·56
4. Spreiten . .	0·699%	=	100
Stiele . . . .	0·578%	=	82·47
5. Spreiten . .	0·753%	=	100
Stiele . . . .	0·565%	=	75·10
6. Spreiten . .	0·955%	=	100
Stiele . . . .	0·714%	=	74·76
7. Spreiten . .	0·796%	=	100
Stiele . . . .	0·585%	=	73·49
8. Spreiten . .	0·575%	=	100
Stiele . . . .	0·290%	=	50·44
			<hr/> 100
		Mittel	<hr/> 77·08

Obige Resultate stimmen gut mit den Angaben von Berthélot und André überein. Jedoch trifft dieses Verhältnis nur bei Pflanzen zu, die dem gewöhnlichen Tageslicht ausgesetzt waren. Nach Verdunkelung ist der relative Oxalsäuregehalt der Blattstiele größer als derjenige der Spreiten.

Aber nicht nur bei *Rumex*, sondern auch bei *Begonia* und *Oxalis* sind die Blattstiele ärmer an Oxalsäure als die Spreiten, wie das aus folgender Tabelle hervorgeht:

TABELLE VII.

## Oxalsäuregehalt der Spreiten und Stiele

	Oxalsäuregehalt in % der Frischsubstanz	=	Oxalsäuregehalt der Stiele in % desjenigen der Spreiten.
von <i>Begonia heracleifolia</i>			
1. Spreiten . .	1·222%	=	100
Stiele . . . .	0·972%	=	79·55
2. Spreiten . .	0·933%	=	100
Stiele . . . .	0·658%	=	70·53
			<hr/> 100
		Mittel	<hr/> 75·04
von <i>Begonia hydrocotylifolia</i>			
8. Spreiten . .	0·728%	=	100
Stiele . . . .	0·477%	=	65·52



Das gleiche trifft für *Oxalis* zu:

TABELLE VIII.

Oxalsäuregehalt der Spreiten und Stiele  
von *Oxalis Deppei*

1. Spreiten .	1·02%	=	100
Stiele .	0·641%	=	62·84
2. Spreiten .	1·358%	=	100
Stiele .	0·911%	=	67·1
			<hr/> 100
		Mittel	<hr/> 64·97

Also auch bei *Begonia* und *Oxalis* finden wir fast das gleiche Verhältnis wieder wie bei *Rumex*. Auch bei diesen Pflanzen ist der Oxalsäuregehalt der Blattstiele nach Verdunkelung relativ größer als derjenige der Spreiten, wie ich dies in folgendem Abschnitt noch ausführlicher zeigen werde.

## I. Die Zersetzung der Oxalsäure bei *Rumex acetosa*.

### 1. Abnahme der Oxalsäure in der intakten Pflanze infolge von Verdunkelung.

Aus Tabelle V ging deutlich hervor, daß belichtete *Rumex*blätter einen höheren Oxalsäuregehalt aufweisen als verdunkelte. Bei den folgenden Versuchen schlug ich den umgekehrten Weg ein, indem ich zuerst den Oxalsäuregehalt verschieden stark belichteter *Rumex*blätter bestimmte, hierauf die Pflanzen verdunkelte und nach Ablauf einer bestimmten Zeit die verdunkelt gewesenen Blätter der Analyse unterwarf.

Im Gegensatz zu den Succulenten zeigen die Blätter von *Rumex acetosa*, *Begonia* und *Oxalis* im Dunkeln stets eine deutliche Abnahme der Oxalsäure. Die folgenden Angaben mögen dies beweisen.

Zum Verständnis der folgenden Tabelle mag vorausgeschickt werden, daß sich jeder der Versuche nur auf je eine einzige Pflanze bezieht, die in Töpfen im Gewächshäuschen kultiviert wurden. Nach Abpflücken eines Teiles der Blätter zur Analyse wurden die Pflanzen entweder sofort mit einem Dunkelzylinder bedeckt und am Ort stehen gelassen oder in ein Dunkelhäuschen in die

Dunkelkammer gestellt. Die Menge der zu den Analysen verwendeten Blätter betrug meistens 20 bis 25 g. wobei ich besonders darauf achtete, daß für jede Analyse derselben Versuchspflanze möglichst die gleiche Anzahl gleich großer resp. gleichaltriger Blätter genommen wurde.

TABELLE IX.

Vers. Nr.	Beleuchtung	Zeit der Ernte	Temp. °C.	Oxalsäuregehalt in % d. Frischsubstanz	Dauer der Verdunkelung in Stunden	Temp. °C.	Oxalsäuregehalt in % d. Frischsubstanz	Abnahme der Oxalsäure infolge von Verdunkelung
1.	sonnig	3 <sup>h</sup> 35' p.m.	20	0.72%	24	18	0.58%	19.26%
2.	völlig bedeckt	6 <sup>h</sup> 00' p.m.	19	0.36%	14	18	0.25%	29.01%
3.	sonnig	4 <sup>h</sup> 00' p.m.	20	0.83%	16 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20	0.58%	30.52%
4.	sonnig	3 <sup>h</sup> 25' p.m.	20	0.97%	24	20	0.63%	34.78%
					48	19	0.50%	
					72	18	0.49%	
					96	18	0.47%	51.10%
5.	stark bewölkt	3 <sup>h</sup> 50' p.m.	19	0.62%	17	19	0.33%	47.01%
6.	sonnig	3 <sup>h</sup> 50' p.m.	17	0.90%	17	18	0.15%	83.14%
7a <sup>1)</sup> .	sonnig, jedoch zeitweise bedeckt	4 <sup>h</sup> 15' p.m.	21	0.75%	24	21	0.07%	90.18%
	7b <sup>2)</sup> .							
8.	sonnig, jedoch zeitweise bedeckt	3 <sup>h</sup> 40' p.m.	22	0.65%	25	34	0.0%	100%

Aus allen in obiger Tabelle enthaltenen Versuchen geht hervor, daß die Menge der Gesamtoxalsäure in den Blättern von *Rumex* infolge von Verdunkelung abnimmt. Die Abnahme der Oxalsäure ist geringer, wenn die verdunkelte Pflanze sich in gleicher oder niedriger Temperatur befindet wie die belichtete Pflanze, dagegen bedeutend größer bei Temperaturerhöhung, wie dies z. B. im Versuch 8 der Tabelle IX der Fall war. Dort war schon nach 25-stündigem Verweilen der Pflanze im ver-

1) Nur Spreiten.

2) Nur die zugehörigen Stiele.

dunkelten Thermostat von 34°C. keine Oxalsäure mehr nachzuweisen. Auch bei länger andauernder Verdunkelung in gleicher oder sogar schwach sinkender Temperatur nimmt die Menge der Oxalsäure zwar langsam, aber doch stetig ab (Versuch 4, Tabelle IX). Interessant ist die bedeutend schwächere Abnahme der Oxalsäure in den Stielen. Auch in ihnen findet eine solche statt, sie ist aber viel schwächer als in den zugehörigen Spreiten, wie dies aus Versuch 7 hervorgeht, wo Stiele und Spreiten gesondert analysiert wurden.

Die Abhängigkeit des Oxalsäuregehaltes der *Rumex*blätter von der Belichtung geht aus Tab. V wie Tab. IX deutlich hervor. In der nachstehenden Tab. X stelle ich die Resultate einer Versuchsreihe zusammen, in der ich die Gesamtoxalsäuremenge bei den gleichen Exemplaren 1) nach Verdunkelung, 2) nach Belichtung und 3) nach wiedererfolgter Verdunkelung innerhalb 24 Stunden verfolgte. Die Versuche wurden am gleichen Tage unter gleichen Außenbedingungen, was insbesondere Temperatur und Belichtung anbetrifft, ausgeführt. Ich verwendete hierzu 4 gut entwickelte, ungefähr gleich alte und gleich große *Rumex*pflanzen, die in Töpfen mit gleicher Erde in demselben Gewächshäuschen gleich lange kultiviert waren. Am Versuchstage herrschte ununterbrochen sonniges Wetter. Um 8 Uhr vorm. holte ich die Pflanzen nacheinander aus der Dunkelkammer (Temp. ca. 15°C.) hervor, wo sie seit dem vorhergehenden Abend verweilt haben. Ich entnahm jeder Pflanze ca. 10 g Blattspreiten zur Analyse, und zwar schnitt ich die Blätter sektorenweise ab, damit alle drei Portionen aus möglichst gleichartigen (was Alter und Größe anbetrifft) Blättern bestünden. Sofort nach dem Abpflücken der Blätter stellte ich jeden Topf an ein Ost- und später Südfenster in die Sonne, wo jeder der Töpfe genau 8 Stunden verblieb. Die Temperatur betrug hier 20—24°C. Nach Ablauf der achtstündigen Belichtungszeit entnahm ich den Pflanzen der Reihe nach wiederum je ca. 10 g Blattspreiten und brachte sie für die Nacht in die Dunkelkammer, wo die Temperatur 18—20°C. betrug. Am darauffolgenden Morgen, genau nach 24 Stunden vom Abpflücken der ersten Blattportion an, entnahm ich den Pflanzen gleichfalls je ca. 10 g Blattspreiten. Tab. X gibt Auskunft über die Resultate dieser unter gleichen Bedingungen ausgeführten Versuche.

TABELLE X.

Nr. der Pflanze	Oxalsäuregehalt der Blattspreiten in % der Frischsubstanz			Zunahme nach Belich- tung in %	Abnahme nach Verdun- kelung in %
	1	2	3		
	Nach Verdun- kelung 8 <sup>h</sup> a. m.	Nach Belich- tung 4 <sup>h</sup> p. m.	Nach Verdun- kelung 8 <sup>h</sup> a. m.		
IX.	0.31	0.86	0.25	172.7	70.7
XV.	0.61	1.08	0.63	76.4	41.8
XVI.	0.57	1.09	0.58	91.0	46.3
XVII.	0.62	1.02	0.64	63.8	36.8

Die obige Tabelle beweist schlagend die Zunahme der Gesamtoxalsäure in den Blattspreiten von Rumex nach Belichtung und die darauffolgende Abnahme nach Verdunkelung. Allerdings sind die individuellen Unterschiede zwischen den einzelnen Exemplaren, was die Schwankungen des Oxalsäuregehaltes anbetrifft, recht groß, doch nach den Resultaten der Tab. III nicht mehr überraschend. Mit Absicht habe ich für die Analysen nur die Blattspreiten genommen, da der Oxalsäuregehalt der Blattstiele viel stabiler ist.

TABELLE XI.

Vers. Nr.	Beleuchtung	Zeit der Ernte	Temp. °C.	Oxalsäuregehalt in % d. Frischsubstanz	Dauer der Verdunkelung	Temp. °C.	%-Oxalsäuregehalt nach Verdunkelung	Abnahme der Oxalsäure nach Verdunkelung in % der ursprünglich vorhand.
1.	trüb	3 <sup>h</sup> 40' p.m.	21	0.68%	17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	19	0.56%	17.40%
	die ältesten Blätter	nach	216	Std.	18			67.0%
2.	trüb	3 <sup>h</sup> 30' p.m.	21	0.69%	17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	19	0.51%	26.9%
3a.	Spreiten,							
	hell	4 <sup>h</sup> 15' p.m.	19	1.22%	23	20	0.78%	36.3%
b.	Stiele, hell	"	19	0.97%	23	20	0.78%	19.2%
4a.	Spreiten,							
	hell	3 <sup>h</sup> 30' p.m.	19	0.93%	23	20	0.58%	38.3%
b.	Stiele, hell	"	19	0.66%	23	20	0.51%	22.5%
5a.	Spreiten, trüb	2 <sup>h</sup> 45' p.m.	20	0.73%	17	20	0.36%	50.7%
b.	Stiele	" "	20	0.48%	17	20	0.50%	+3.0%

Eine Abnahme an Gesamtoxalsäure habe ich nicht nur bei *Rumex acetosa*, sondern auch bei einigen anderen Pflanzen festgestellt. Die vorstehende Tabelle gibt die Resultate wieder, welche ich bei *Begonia heracleifolia* und *B. hydrocotylifolia* (Vers. Nr. 5) erhalten habe.

Also auch bei *Begonia* finden wir eine ähnliche Abnahme der Oxalsäure infolge von Verdunkelung wie bei *Rumex*. Auch hier nimmt die Oxalsäure in den Blattspreiten stärker ab als in den Stielen. Setzen wir z. B. im Versuch 5 der obigen Tabelle die Menge der Oxalsäure in den belichteten Spreiten = 100, so beträgt sie in den zugehörigen Stielen = 65·5, während sie im gleichen Versuche bei der verdunkelten Pflanze im Verhältnis von 100 (Spreiten): 138·2 (Stiele) enthalten ist. Auch im Versuch 3 hatten wir bei der belichteten Pflanze das Verhältnis 100:79·5, in der verdunkelten dagegen 100:100·9 und im Versuch 4 100:70·5 (belichtet) und 100:88·5 (verdunkelt). Die im vorigen Abschnitt festgestellte Tatsache, daß bei den untersuchten Pflanzen der Oxalsäuregehalt der Blattstiele geringer ist als derjenige der

TABELLE XII.

Vers. Nr.	Beleuchtung	Zeit der Ernte	Temp. °C.	Oxalsäuregehalt in % d. Frischsubstanz	Dauer der Verdunkelung	Temp. °C.	Nach Verdunkelung Oxalsäuregehalt	
							in % der Frischsubstanz	in % der ursprünglich vorhandenen.
1.	sonnig	4 <sup>h</sup> 50' p.m.	19	1·66%	24	19	1·35%	18·9%
2.	etwas ver-							
	schleiert	5 <sup>h</sup> 10' p.m.	19	1·25%	24	21	0·95%	24·2%
3a.	Spreiten, trüb	3 <sup>h</sup> 35' p.m.	18	1·02%	20	19	0·66%	35·3%
	b. Stiele	„ 3 <sup>h</sup> 35' p.m.	18	0·64%	20	19	0·57%	11·2%
4a.	Spreiten,							
	sonnig	4 <sup>h</sup> 00' p.m.	18	1·36%	17	16	0·94%	31·1%
	b. Stiele, sonnig	4 <sup>h</sup> 00' p.m.	18	0·91%	17	16	0·76%	15·9%
5.	Spreiten,							
	sonnig	5 <sup>h</sup> 00' p.m.	22	1·44%	15	20	0·98%	32·1%
6.	Spreiten,							
	sonnig	5 <sup>h</sup> 20' p.m.	22	1·50%	15	20	0·93%	38·6%
7.	Spreiten,							
	sonnig	5 <sup>h</sup> 45' p.m.	22	1·29%	15	20	0·96%	25·3%

zugehörigen Spreiten, gilt demnach nicht für die verdunkelten Pflanzen.

Ferner konnte ich eine Abnahme der Oxalsäure infolge von Verdunkelung bei *Oxalis carnosa* und *Deppei* (Vers. Nr. 3--7) feststellen (Tab. XII).

Also auch bei den untersuchten *Oxalis*arten tritt eine deutliche Abnahme der Gesamtoxalsäure nach Verdunkelung ein. Wie bei *Rumex* und *Begonia* ist auch bei *Oxalis* die Oxalsäureabnahme in den Stielen geringer als in den zugehörigen Blattspreiten. Das Verhältnis der Oxalsäuremenge in Spreite und Stiel ist bei *Oxalis* nach Belichtung im Vers. 3 100 (Spreite): 62·8 (Stiel), nach Verdunkelung 100:86·2, im Versuch 4 in der belichteten Pflanze 100:67, in der verdunkelten 100:81·9. Die allgemeine Aziditätsabnahme, die G. Kraus (1886) bei 30 und Warburg (1886) bei einer Reihe nichtsucculenter Pflanzen am Lichte fand, resp. die Säurezunahme im Dunkeln, trifft für die von mir untersuchten Pflanzen sicher nicht zu. Da aber Gehalt an Oxalsäure und Azidität nicht dasselbe ist, bestimmte ich, trotz ernster Bedenken gegen diese Methode, in mehreren Fällen bei *Rumex acetosa* und *Oxalis Deppei* (Vers. 5) auch die Azidität der Blätter. Zu diesem Zwecke zerrieb ich die Blätter möglichst fein im Porzellanmörser und filtrierte durch eine Chamberlandkerze völlig klar. Hierauf erschöpfte ich

TABELLE XIII.

Aziditätsabnahme der Blätter von *Rumex acetosa* und *Oxalis Deppei* (Vers. 5) infolge Verdunkelung.

Vers. Nr.	Beleuchtung	Zeit der Ernte	Menge der Blätter. g	Temp. °C.	0·1 n KOH cm <sup>3</sup>	Dauer der Verdunkelung Stunden	Temp. °C.	0·1 n KOH cm <sup>3</sup>	Abnahme in %
1. z.	T. bedeckt	3 <sup>h</sup> 40' p. m.	12·0	20	40·6	20	20	31·1	23·4%
2.	ziemlich sonnig	4 <sup>h</sup> 45' p. m.	15·0	21	48·5	24	21	35·4	27·0%
3.	zieml. trüb	3 <sup>h</sup> 15' p. m.	10·0	17	36·8	18	19	26·3	28·5%
4.	hell	6 <sup>h</sup> 10' p. m.	8·6	19	38·2	21	22	24·3	36·4%
5a.	Spreiten, sonnig	4 <sup>h</sup> 00' p. m.	5·0	25	21·2	16	20	14·3	32·5%
b.	Stiele, sonnig	4 <sup>h</sup> 00' p. m.	8·0	25	22·7	16	20	18·9	16·7%

die zerriebenen Blätter mit heißem dest. Wasser vollkommen und vereinigte die beiden Filtrate, die vom gelösten Gerbstoff ziemlich stark gelb gefärbt waren. Darauf titrierte ich mit 0·1 *n* Kaliumhydroxyd und alkohol. Phenolphthalein als Indikator. Die Tabelle XIII gibt die Resultate wieder.

Aus obiger Tabelle ergibt sich durchweg eine deutliche Abnahme der Azidität in den verdunkelten Pflanzen. Allerdings ist beim Titrieren der ausgepressten Säfte, insbesondere bei *Rumex* wegen seines Gerbstoffgehaltes, der Zeitpunkt der eintretenden Rötung wegen der schwächeren oder stärkeren Gelbfärbung der Filtrate nicht leicht zu erfassen, da der Farbumschlag nicht plötzlich, sondern allmählich über Orange ins Rot eintritt. Auch die Zuhilfenahme von Lackmus- oder Kurkumapapier bietet keine Sicherheit in bezug auf die erwünschte Genauigkeit der Resultate.

Außer diesem Versuch habe ich noch einen anderen ausgeführt, wobei ich auf die gleiche Weise die Azidität der *Rumex*-blattspreiten vor und nach Belichtung festzustellen versuchte. Den beiden Versuchspflanzen entnahm ich um 9 Uhr vorm. bzw. 9<sup>h</sup> 45' vorm. je 6 g Spreiten, stellte darauf die Töpfe an ein Südfenster, wo sie 8 bzw. 7 Stunden lang der Belichtung ausgesetzt waren. Die starke Insolation dauerte allerdings nur 1½ Stunden, da in der übrigen Zeit der Himmel mit leichtem, hellem Gewölk bedeckt war. Hierauf wurden den Pflanzen die gleichen Gewichtsportionen an Blattspreiten entnommen und die Azidität derselben wie vorher bestimmt. Die Resultate stelle ich in Tab. XIV zusammen.

TABELLE XIV.

Nr. der Pflanze	Vor der Belichtung		Nach der Belichtung		Zunahme d. Azidität
	Temp. °C.	cm <sup>3</sup> / <sub>10</sub> <i>n</i> KOH	Temp. °C.	cm <sup>3</sup> / <sub>10</sub> <i>n</i> KOH	
12	18	11·9	21	14·7	23·5%
18	18	12·1	21	14·6	20·7%

Die Resultate obiger Tabelle ergeben also eine Zunahme der Azidität in den *Rumex*blattspreiten nach Belichtung. Ich möchte jedoch diesen Resultaten keine allgemeine Bedeutung zusprechen, da die theoretischen Einwände gegen die Möglichkeit genauer Aziditätsbestimmungen in Pflanzensäften recht schwerwiegend sind. Auch weisen Aziditätsbestimmungen früherer Autoren große Widersprüche auf. Während Kraus (1886) und Lange (1886) auch

bei Nichtsucculenten am Tage durchweg eine Aziditätsabnahme konstatieren, findet Warburg (1886, Tab. III, S. 128) öfters eine Aziditätszunahme. Ferner finden Kraus und Lange entsprechend der Entsäuerung der Pflanzen am Tage überall eine Säureproduktion während der Nacht, während schon Mayer (1875, bei *Oxalis acetosella*) und de Vries (1885, S. 78, 96 u. w. bei *Oxalis Deppei*, *Begonia*, *Rheum*, *Vitis* und *Portulacca*) z. T. bei denselben Pflanzenspezies, die Kraus und Lange untersucht hatten, eine Entsäuerung der Pflanzen nach Verdunkelung konstatierten. Auch Warburg (1886, S. 140) und Purjewicz (1893) gelangen teilweise zu ähnlichen Resultaten wie de Vries. Zu ganz besonderer Skepsis wird man aber durch Aziditätsbestimmungen veranlaßt, und zwar besonders dann, wenn daraus Folgerungen über Produktion und Zersetzung von Säuren gezogen werden, sobald man z. B. sieht, daß Kraus (1892) bei *Sambucus* eine doppelt so große Azidität findet als bei *Rumex*.

Wenn man demnach gezwungen ist, Aziditätsbestimmungen gegenüber eine große Vorsicht walten zu lassen, so möchte ich doch eine eventl. Aziditätsabnahme dünnblättriger Pflanzen während eines hellen Sommertages nicht in Abrede stellen. Schon de Vries (1884 und 1885), der die Säurefrage von dieser Seite zuerst und am klarsten erfaßt hat, schließt aus seinen Aziditätsbestimmungen, daß auch bei „gewöhnlicher“ Temperatur in allen Pflanzen eine Zersetzung von Säuren unaufhörlich stattfindet, wenn auch äußerst langsam. Durch die ganz bedeutende Temperatursteigerung, welche Pflanzenblätter bei Belichtung erfahren, wird der Säurezerfall entsprechend beschleunigt. Sobald aber die Geschwindigkeit der Säurezersetzung diejenige der Säureproduktion übertrifft, muß daraus eine Säureabnahme resultieren. Die widersprechenden Ansichten über diese Frage sind demnach nicht allein veranlaßt durch die Anwendung einer unzuverlässigen Methode (Aziditätsbestimmung und dazu oft noch das Operieren mit „Blatthälften“), sondern auch durch Beobachtungen, die bei ungleicher Temperatur ausgeführt wurden.

Ich wollte die Schwankungen des Oxalsäuregehaltes in intakten Pflanzen auch unter anderen Außenbedingungen studieren, z. B. in einer sauerstofffreien Atmosphäre. Da aber eine völlig dichte Absperrung von *Rumex*topfpflanzen von der in der Topferde befindlichen Luft äußerst schwierig wäre und ich somit schwer kontrol-



liebbarer Fehler in der Versuchsanordnung hätte mit in den Kauf nehmen müssen, verzichtete ich einstweilen auf diese Versuche.

## 2. Das Wesen der Oxalsäurezersetzung.

### a) Abnahme der Oxalsäure in zerriebenen Blättern.

Durch die im vorhergehenden Abschnitt niedergelegten Resultate ist festgestellt worden, daß in der lebenden Pflanze im Dunkeln eine Abnahme der Oxalsäure stattfindet. Es erhebt sich nun die Frage, ob diese Abnahme nur in der lebenden Pflanze stattfindet, oder ob sie vielmehr auch unabhängig von den normalen Lebensprozessen erfolgen kann, d. h. auch in der abgetöteten Pflanze infolge der Wirkung von Enzymen oder anorganischen Katalysatoren. Das Licht, welches bei der Säurezersetzung der Succulenten bekanntlich ausschlaggebend ist, kam ja schon bei den Versuchen mit verdunkelten lebenden Pflanzen (*Rumex*, *Begonia*, *Oxalis*) nicht in Betracht.

Da durch das feine Zerreiben von Pflanzen die komplizierte Regulation ihrer normalen Lebensprozesse aufgehoben wird und bei günstigen Bedingungen allein die in den Pflanzen enthaltenen Enzyme zur Wirkung kommen, ging ich zwecks Lösung der Frage nach dem Wesen der Oxalsäurezersetzung folgendermaßen vor:

Die Blätter von *Rumex* wurden unter Zusatz von Toluol in einer Porzellanreibschale fein zerrieben. Die Masse kam hierauf in einen 1 l fassenden Kolben mit eingeschliffenem Glashelm, der 550 cm<sup>3</sup> einer ca. 0·5- bis 1·0%-igen sterilisierten Oxalat- oder Oxalsäurelösung enthielt. Dem ganzen wurden dann 2 Volumprozent Toluol zugesetzt, kräftig durchgeschüttelt, ein aliquoter Teil der Flüssigkeit, aber nicht weniger als 10%, sofort zur Bestimmung der Oxalsäure entnommen und der Rest in einen Thermostat (irdener Topf mit Wasser, das den eingeklemmten Kolben bis ca. 4 cm vom Helmaufsatz bedeckte) gestellt und kohlendioxidfreie Luft im Tempo von ca. 4 l in der Stunde durchgeleitet. Der den Kolben verlassende Luftstrom passierte eine mit titrierter Baryumhydroxydlösung gefüllte Pettenkofersche Röhre zwecks Bestimmung des abgeschiedenen Kohlendioxids. Nach Abbruch des Versuches schüttelte ich den Inhalt des Kolbens kräftig durch und entnahm davon stets vier Proben von je 50 cm<sup>3</sup> zwecks Bestimmung der Oxalsäure. Folgende Tabelle gibt die Resultate dieser Versuche wieder:

TABELLE XV.

Vers. Nr.	Art d. Lösung	Reaktion	Menge d. Lösung cm <sup>3</sup>	Menge d. zerrieb. Blätt. g	Vers.-Dauer in Stunden	Temp. °C.	Wasserfreie Oxalsäure			
							vor d. Vers. g	nach d. Vers. g	Abnahme d. Oxalsäure in g in %	
1.	Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	sauer	550	25	23	33	2·0317	1·6849	0·3468	17·07%
2.	"	alkal.	550	21	23	33	2·0317	1·9255	0·1062	5·22%
3.	"	"	500	20	25	32	1·7441	1·6923	0·0518	2·97%
4.	"	"	500	20	25	32	1·7778	1·7047	0·0731	4·11%
5.	"	sauer	500	20	23	32	2·3062	1·9128	0·3934	12·72%
6.	"	"	500	20	23	32	1·8004	1·5890	0·2114	11·73%
7.	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	"	500	40	28	34	2·7005	2·3007	0·3998	14·80%
8.	"	"	500	40	28	34	4·2814	3·3981	0·8833	20·62%

Es ergibt sich aus der obigen Tabelle, daß zerriebene *Rumex*-blätter eine beträchtliche Zersetzung von Oxalatlösungen bewirken, daß also dieser Prozeß nicht an die normalen Lebensvorgänge in der Pflanze gebunden ist. Aus der Tabelle ist gleichfalls ersichtlich, unter welchen Bedingungen der Prozeß erfolgt. So zeigen die Versuche 2—4 der Tabelle, die sich von den Versuchen 1 und 5—6 nur dadurch unterscheiden, daß die durch den Zusatz der zerriebenen Blätter sauer reagierende Flüssigkeit mit Natriumkarbonat schwach alkalisch gemacht wurde, daß die Zersetzung des Oxalats im alkalischen Medium nur sehr gering ist. Da überdies bei längerer Dauer der Versuche über die in der Tabelle angegebene Zeit hinaus keine weitere merkliche Abnahme der Oxalsäure erfolgte, so muß der Stillstand in der Zersetzung der Oxalate durch den Eintritt alkalischer Reaktion der Lösungen infolge ihrer Zersetzung bedingt sein. Wollte man demnach eine vollständige Zersetzung der Oxalate in den Versuchslösungen erreichen, so müßte man entweder schwächere Oxalatkonzentrationen verwenden oder die Lösungen sukzessive ansäuern.

Mehrere Versuche, die ich mit 1% -igen Tetraoxalat- und Oxalsäurelösungen anstellte, ergaben keine nennenswerte Abnahme der Oxalsäure. Die Zersetzung der Oxalsäure findet somit nur bei einer verhältnismäßig geringen Azidität statt, welche wahrscheinlich die Azidität lebender *Rumex*-blätter nicht übersteigen darf.

Als eine weitere Bedingung zur Oxalatzersetzung ist die reichliche Sauerstoffzufuhr zu nennen. Alle in der Tabelle genannten

Versuche fanden ja unter Durchlüftung statt. Hingegen erfolgte in einigen Versuchen, die in genau gleicher Weise angestellt waren, in denen jedoch die die Versuchslösung enthaltenden Gefäße mit Gummistopfen zwecks Verhinderung des Luftzutritts versehen waren, eine nur ganz geringe Abnahme des Oxalats.

Eine deutliche Relation zwischen zersetzter Oxalsäure und aus-  
geschiedenem Kohlendioxyd ließ sich in diesen Versuchen nicht feststellen. Dies war allerdings auch kaum zu erwarten, da in zerriebenen Pflanzenorganen sich noch mancherlei Körper befinden, die bei ihrem Abbau durch Enzyme eine postmortale Kohlendioxydentwicklung veranlassen.

Viel prompter erfolgte die Zersetzung des Oxalations in folgenden Versuchen.

b) Oxalsäurezersetzung in durch Gefrieren abgetöteten Blättern.

Die Methode dieser Versuche war folgende:

An den Nachmittagen möglichst heller Tage wurden *Rumex*-blätter gepflückt und davon 2 ungefähr gleiche Portionen so schnell als möglich in 240 cm<sup>3</sup> fassende U-Röhren unter Vermeidung zu starker Zerknitterung der Blätter gefüllt und die Röhren an einem Ende mit einem in Toluol getränkten Wattepfropfen versehen. Beide Enden wurden mit durchbohrten Gummistopfen verschlossen, durch welche mit Gummiverschluß versehene gebogene Glasröhrchen führten. Hierauf wurden die verschlossenen U-Röhrenden in Paraffin getaucht und in eine Kältemischung gelegt. Meist verwendete ich eine Kältemischung von 1 Teil Schnee resp. Eis (im Sommer) mit  $\frac{4}{5}$  Teilen feinerstoßenen Calciumchlorids. Die tiefste Temperatur, die ich hierbei erreichte, war  $-26^{\circ}\text{C}$ . In dem isolierten, die Kältemischung enthaltenden Gefäß, das in ein größeres, mit Eis resp. Schnee gefülltes gestellt wurde, blieben die U-Röhren meist 14 bis 20 Stunden; während dieser Zeit stieg die Temperatur wieder; in einem Fall, während des Sommers, betrug sie beim Herausnehmen der Röhren in den obersten Schichten der Mischung  $0^{\circ}$ . Die Temperatur war übrigens nach Verlauf einiger Stunden nicht in allen Schichten der Kältemischung dieselbe, es ließen sich Unterschiede bis zu  $15^{\circ}$  feststellen. Während des Winters blieb die Temperatur in dem Gefriergefäß bedeutend gleichmäßiger. In dieser Jahreszeit stellte ich den Topf ins Freie an eine schattige Stelle und überdeckte ihn mit einer dicken Schneeschicht.

Nach einer bestimmten Zeit wurden die gefüllten U-Röhren aus der Kältemischung herausgenommen, sofort in den vorbereiteten Thermostat gestellt und mit dem Gasometer wie mit den mit titrierter Baryumhydroxydlösung gefüllten Pettenkoferschen Röhren verbunden. Aus dem Gasometer wurde durch die U-Röhren einer Versuchsreihe kohlendioxydfreie Luft, durch die der anderen Wasserstoff durchgepreßt. Das Pflanzenmaterial wurde gewöhnlich nach 24 Stunden in der angegebenen Weise auf seinen Oxalsäuregehalt untersucht.

*z. Versuche mit kohlendioxydfreier Luft.*

I. Versuch: Der Himmel seit einer Woche bedeckt. 300 g Blätter wurden drei verschiedenen, aber auf gleicher Vegetationsstufe stehenden Exemplaren von *Rumex acetosa* entnommen. Die *Rumex*pflanzen gehörten einer seit langem im botanischen Garten kultivierten Rasse an, die durch große, aber nur schwachgrüne Blätter mit dicken langen Stielen ausgezeichnet ist.

Die beiden U-Röhren werden mit Blättern gefüllt, verschlossen und sofort in die Kältemischung von  $-26^{\circ}\text{C}$ . gelegt. Nach 18 Stunden ist die Temperatur auf  $-14^{\circ}$  gestiegen. Die Röhren werden herausgenommen und kommen in den Thermostat, der auf  $32.5^{\circ}$  eingestellt ist.

Versuchsdauer  $22\frac{1}{2}$  Stunden, pro Stunde wurden ca. 3.2 l kohlendioxydfreie Luft durchgeleitet.

Die Kontrollprobe mit 200 g Blättern enthält	0.364%	Oxalsäure.
Das U-Rohr I	55.7 g	0.2025 g
Nach Abbruch des Versuches	0.0 g	
Folglich zersetzt	0.2025 g	
		= 100%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd	0.2878 g
Das U-Rohr II mit 48.8 g Blättern enthält	0.1774 g Oxalsäure.
Nach Abbruch des Versuches	0.0029 g
Folglich zersetzt	0.1745 g
	= 98.9%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0.2364 g.

II. Versuch: Allgemeine Versuchsanordnung wie vorher. Wetter trüb, die zwei vorhergehenden Tage waren dagegen sonnig. Blätter um 2 Uhr nachm. gepflückt; sie verbleiben 22 Stunden in

der Kältemischung, deren Temperatur allmählich auf  $-7^{\circ}\text{C}$ . steigt. Hierauf kommen die U-Röhren in den Thermostat bei  $38^{\circ}\text{C}$ .

Versuchsdauer 24 Stunden.

Die Kontrollprobe mit 24 g Blättern enthält	0·521%	Oxalsäure.
Das U-Rohr I	" 32·5 g "	" 0·1725 g "
Nach Abbruch des Versuches	0·0 g	"
Folglich zersetzt	0·1725 g	"
		= 100%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0·1400 g.

Das U-Rohr II mit 25·7 g Blättern enthält	0·1460 g	Oxalsäure.
Nach Abbruch des Versuches	0·0 g	"
Folglich zersetzt	0·1460 g	"
		= 100%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0·1233 g.

III. Versuch: Allgemeine Versuchsanordnung wie vorher. Wetter sonnig, wie auch an den vorhergehenden vier Tagen. Blätter um 2<sup>h</sup> 30' nachm. gepflückt, sie verbleiben 25 Stunden in der Kältemischung, deren Temperatur beim Herausnehmen der U-Röhren auf  $0^{\circ}$  stieg.

Versuchsdauer 24 Stunden, aber nur während 7 Stunden kohlendioxydfreie Luft durchgeleitet.

Die Kontrollprobe mit 28 g Blättern enthält 1·266% Oxalsäure.

U-Rohr I: Versuchstemperatur 44—45°C.

Das Rohr enthält in 34 g Blättern	0·4304 g	Oxalsäure.
Nach Abbruch des Versuches	0·0090 g	"
Folglich zersetzt	0·3214 g	" = 97·9%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0·2534 g.

U-Rohr II: Versuchstemperatur 17—19°C.

Das Rohr enthält in 34 g Blättern	0·4304 g	Oxalsäure.
Nach Abbruch des Versuches	0·0084 g	"
Folglich zersetzt	0·4220 g	" = 98·1%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0·2684 g.

IV. Versuch: Allgemeine Versuchsanordnung wie vorher. Sonniges Wetter von 11 Uhr vorm. an. Blätter um 5<sup>h</sup> 20' nachm. gepflückt, sie verbleiben 18 Stunden in der Kältemischung, deren Temperatur beim Herausnehmen der U-Röhren auf  $-6^{\circ}\text{C}$ . stieg.

Versuchsdauer 20 Stunden, aber nur während 4 Stunden kohlendioxydfreie Luft, ca. 3·6 l in der Stunde durchgeleitet.

Die Kontrollprobe mit 28 g Blättern enthält 0·892% Oxalsäure.  
U-Rohr I: Versuchstemperatur 15—17°C.

Das Rohr enthält in 41·3 g Blättern	0·3684 g	„
Nach Abbruch des Versuches	0 0	g „
Folglich zersetzt	0·3684 g	„
		= 100%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0·2536 g.

U-Rohr II: Versuchstemperatur 38°C.

Das Rohr enthält in 40 g Blättern	0·3568 g	Oxalsäure.
Nach Abbruch des Versuches	0·0	g „
Folglich zersetzt	0·3568 g	„
		= 100%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0·3034 g.

Aus der obigen Versuchsreihe mit erfrorenen, d. h. abgetöteten Blättern bei verschiedenen Temperaturen und verschiedener Durchlüftungsdauer ergibt sich übereinstimmend, daß das gesamte in den Blättern vorhandene Oxalat bei genügender Durchlüftung längstens innerhalb 24 Stunden zersetzt wird. Innerhalb der eingehaltenen Versuchsdauer waren keine Temperatureinflüsse bemerkbar. Man müßte also, um den Einfluß der Temperatur auf die Geschwindigkeit der Oxalatzersetzung in abgetöteten Pflanzen zu studieren, offenbar bedeutend kürzere Versuchszeiten wählen. Wenn man annimmt, daß die Oxalatzersetzung unter Kohlendioxydabgabe erfolgt, so müßte der Zersetzungsprozeß in obigen Versuchen nach ungefähr 6 Stunden schon beendet gewesen sein, da nach dieser Zeit in den eingeschalteten frischen Pettenkoferschen Röhren das Baryt gar nicht oder nur spurenweise getrübt wurde.

Auch in diesen Versuchen ließ sich, wohl aus den gleichen, bei der Beschreibung der Versuche mit zerriebenen Blättern erörterten Gründen keine bestimmte Relation zwischen der Menge der zersetzten Oxalsäure und der des abgeschiedenen Kohlendioxyds feststellen, wie dies aus den jeweiligen Angaben über die Menge des ausgeschiedenen Kohlendioxyds hervorgeht.

Um eine vorläufige Orientierung über den Einfluß der Temperatur und der Durchlüftung bei der Oxalsäurezersetzung zu gewinnen, stellte ich folgende Versuche an:

*z'. Versuche ohne Durchlüftung.*

I. Versuch: Blätter, bei z. T. bedecktem Himmel um 7 Uhr nachm. gepflückt, verbleiben 22 Stunden in der Kältemischung. Nach dem Herausnehmen der Kölbchen mit den gefrorenen Blättern aus der Kältemischung werden in jedes Kölbchen 6 cm<sup>3</sup> Toluol gegeben; Kölbchen I erhält außerdem noch 100 cm<sup>3</sup> einer 1%-igen Oxalsäurelösung, welche die gefrorenen und darum zusammengefallenen Blätter überdeckt. Schließlich werden die beiden Kölbchen mit dichten Wattepropfen verschlossen und 15 Stunden lang stehen gelassen.

Die Kontrollprobe mit 30 g Blättern enthält 0.791% Oxalsäure. Das Kölbchen I kommt in den dunklen Thermostat bei 35°C.

Das Kölbchen I mit 37 g Blättern enthält 0.2928 g Oxalsäure.

In 100 cm <sup>3</sup> der 1%-igen Oxalsäure	0.7143 g	"
S-a	1.0071	"

Nach Abbruch des Versuches	0.6886 g	"
----------------------------	----------	---

Folglich zersetzt	0.3185 g	"
-------------------	----------	---

= 31.6<sup>1</sup>/<sub>2</sub>,

d. h. es wurde die gesamte in den Blättern vorhandene Oxalsäure zersetzt und außerdem 0.0257 g der zugesetzten Oxalsäure.

Das Kölbchen II, ohne Oxalsäurezusatz, kommt in den Dunkelschrank bei 16°C.

Es enthält in 37 g Blättern	0.2928 g Oxalsäure.
-----------------------------	---------------------

Nach Abbruch des Versuches	0.2363 g	"
----------------------------	----------	---

Folglich zersetzt	0.0565 g	"	= 19.3%
-------------------	----------	---	---------

II. Versuch: Blätter, bei z. T. trübem Wetter um 5 Uhr nachm. gepflückt, verbleiben 21 Stunden in der Kältemischung. Sonstige Versuchsanordnung genau wie vorher, nur kommen beide Kölbchen für 16 Stunden in den Dunkelschrank bei 14°C.

Die Kontrollprobe mit 31 g Blättern enthält 0.733% Oxalsäure.

Das Kölbchen I mit 51 g Blättern enthält	0.3738 g	"
--	----------	---

In 100 cm <sup>3</sup> der ca. 1%-igen Oxalsäure	0.8155 g	"
--	----------	---

S-a	1.1893 g	"
-----	----------	---

Nach Abbruch des Versuches	1.0869 g	"
----------------------------	----------	---

Folglich zersetzt	0.1024 g	"
-------------------	----------	---

= 8.6%.

Das Kölbchen II enthält in 51 g Blättern	0.3738 g Oxalsäure.
Nach Abbruch des Versuches	0.3297 g „
Folglich zersetzt	0.0441 g „
	= 11.8%.

Aus obigen Versuchen ist die Wichtigkeit sowohl der Sauerstoffzufuhr wie auch einer erhöhten Temperatur für die Oxalsäurezerersetzung deutlich zu ersehen. Während in den Versuchen mit Durchlüftung die Zersetzung der Oxalate auch bei Zimmertemperatur (15–18°C.) und annähernd gleicher Versuchsdauer eine vollständige war, ist sie in diesen Versuchen auf geringe Beträge (ca. 12 und 19%) gesunken. Erst bei einer bedeutenden Steigerung der Temperatur (auf 35°C., Versuch I, Kölbchen I) vermag die Säurezerersetzung auch bei beschränkter Sauerstoffzufuhr stattzufinden. Der Sauerstoffzutritt war übrigens in den Kölbchen ohne Zusatz der 1%-igen Oxalsäure stärker beschränkt als in den Kölbchen mit diesem Zusatz. Das allen Kölbchen in gleicher Menge zugesetzte Toluol hat nämlich die Blätter, die nicht von Flüssigkeit bedeckt waren, viel vollständiger überzogen und damit den Sauerstoffzutritt stärker behindert als in den anderen Kölbchen, in welchen die Blätter von der Oxalsäurelösung bedeckt waren; im Kölbchen II des II. Versuches war darum die Oxalatzersetzung auch bei gleicher Temperatur geringer als im Kölbchen I.

*α'. Versuch unter Durchlüftung mit durch Sieden abgetöteten Blättern.*

Dieser Versuch wurde im allgemeinen wie die sub *α'* genannten Versuche ausgeführt, jedoch mit dem Unterschied, daß die U-Röhren mit den gefrorenen Blättern aus der Kältemischung sofort in einen Dampftopf gebracht und in diesem  $\frac{1}{2}$  Stunde lang zum Sieden erhitzt wurden.

Bei hellem Wetter um 3<sup>h</sup> 40' nachm. gepflückte Blätter verbleiben 16 Stunden in der Kältemischung, hierauf  $\frac{1}{2}$  Stunde lang im Dampftopf bei Siedetemperatur. Dann werden sie sofort in den Thermostat von 33°C. gestellt und in den Durchlüftungsapparat eingeschaltet.

Die Kontrollprobe mit 25 g Blättern enthält	0.891 % Oxalsäure.
Das U-Rohr I enthält in 40 g Blättern	0.3765 g „
Nach Abbruch des Versuches	0.3443 g „
Folglich zersetzt	0.0322 g „
	= 8.6%.



Das U-Rohr II enthält in 40 g Blättern	0.3765 g Oxalsäure.
Nach Abbruch des Versuches	0.3415 g "
Folglich zersetzt	0.0350 g "
	= 9.3%.

Die in diesen Versuchen erfolgte geringe Abnahme der Oxalsäure wird wohl nicht auf eine geringe Zersetzung nach dem Sieden, sondern auf die vor dem Sieden erfolgte, und zwar in der Zeit zwischen Abwägen und Einbringen der Blätter in die Kältemischung und besonders in der Zeit zwischen dem Herausnehmen der U-Röhren aus der Kältemischung und dem allmählichen Erreichen der Tötungstemperatur im Dampftopf, zurückzuführen sein. Eine rasche Erhitzung mußte vermieden werden, damit die Glasröhren nicht zerspringen. Die Hauptmenge der in den Blättern vorhandenen Oxalate ist jedoch unzersetzt geblieben, wodurch bewiesen wird, daß die die Zersetzung bewirkenden Enzyme bei Siedetemperatur abgetötet resp. unwirksam gemacht werden.

### 3. Versuche mit Wasserstoff.

Die Blätter wurden für diese Versuchsreihe in gleicher Weise wie für die sub 2 beschriebenen behandelt, jedoch mit dem Unterschied, daß durch die damit gefüllten U-Röhren 10 Minuten lang ein schneller Strom von gereinigtem Wasserstoff durchgeleitet wurde. Dann verschloß ich sie und legte sie in die Kältemischung. Nachdem die U-Röhren aus der Kältemischung herausgenommen waren, wurden sie in den Thermostat gestellt und sofort in den Apparat eingeschaltet, der gereinigten Wasserstoff mit ca. 4 l Geschwindigkeit in der Stunde durch die Röhren trieb.

I. Versuch: Die Blätter wurden nach ca. dreistündiger intensiver Besonnung um 2<sup>h</sup> 30' nachm. gepflückt; tags zuvor war gleichfalls während einiger Stunden Sonnenschein, die vorhergehenden Tage waren vorwiegend trübe. In der Kältemischung, deren Temperatur bis zum Herausnehmen der Blätter auf  $-17^{\circ}\text{C}$ . gestiegen war, verweilten diese 24 Stunden.

Die Kontrollprobe mit 15.5 g Blättern enthält	0.907% Oxalsäure.
Das U-Rohr I enthält in 33 g Blättern	0.2993 g "
Nach Abbruch des Versuches	0.2779 g "
Folglich zersetzt	0.0214 g "
	= 7.15%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0.1322 g.

Das U-Rohr II enthält in 33·5 g Blättern	0·3038 g Oxalsäure.
Nach Abbruch des Versuches	0·2835 g "
Folglich zersetzt	0·0203 g "
	= 6·68%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0·1518 g.

II. Versuch: Die Blätter werden bei z. T. bedecktem Himmel um 4 Uhr nachm. gepflückt und verbleiben in der Kältemischung 22 Stunden.

Versuchsdauer 24 Stunden, Temperatur 34°C.

Die Kontrollprobe mit 20 g Blättern enthält	0·614 % Oxalsäure.
Das U-Rohr I enthält in 40 g Blättern	0·2456 g "
Nach Abbruch des Versuches	0·2312 g "
Folglich zersetzt	0·0144 g "
	= 5·86%.

Das U-Rohr II enthält in 40 g Blättern	0·2456 g Oxalsäure
Nach Abbruch des Versuches	0·2291 g "
Folglich zersetzt	0·0165 g " = 6·72%.

Zum Schluß führe ich meinen ersten Versuch an, den ich in H<sub>2</sub>-Atmosphäre unternommen habe. Dieser Versuch wurde in gleicher Weise wie die beiden obigen ausgeführt, jedoch mit dem Unterschied, daß ich es unterließ, die mit Blättern gefüllten U-Röhren schon vor ihrem Einlegen in die Kältemischung mit Wasserstoff zu füllen. Auf diese Weise befanden sich die Blätter während längerer Zeit, bis zum Einschalten der U-Röhren in den Wasserstoffapparat, in sauerstoffhaltiger Atmosphäre. Ich führe hier gleichwohl diesen, ursprünglich wegen seiner fehlerhaften Methode von mir verworfenen Versuch an, weil die Resultate desselben recht instruktiv den Einfluß von Sauerstoff auf die Zersetzung der Oxalsäure zeigen.

III. Versuch: Die Blätter wurden bei sonnigem Wetter um 4 Uhr nachm. gepflückt und verblieben in der Kältemischung 24 Stunden.

Versuchsdauer 24 Stunden, Temperatur 35°C.

Die Kontrollprobe mit 30 g Blättern enthält	0·641 % Oxalsäure.
Das U-Rohr I enthält in 40 g Blättern	0·2564 g "
Nach Abbruch des Versuches	0·1676 g "
Folglich zersetzt	0·0888 g "
	= 34·7%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0·1133 g.

Das U-Rohr II enthält in 40 g Blättern	0.2564 g Oxalsäure.
Nach Abbruch des Versuches	0.1986 g "
Folglich zersetzt	0.0578 g "
	= 22.5%.

Abgeschiedenes Kohlendioxyd 0.0960 g.

Die Resultate obiger Versuche ergeben, daß eine Zersetzung der Oxalate in einer Wasserstoffatmosphäre, d. h. bei Abwesenheit von Sauerstoff nicht erfolgt. Die immerhin auch in diesen Versuchen eingetretene geringe Zersetzung der in den Blättern vorhandenen Oxalate wird wohl auf das Vorhandensein geringer, durch den Wasserstoff nicht völlig verdrängter Reste von Sauerstoff zurückzuführen sein. In dieser Auffassung werde ich hauptsächlich durch das Ergebnis meines ersten, oben unter III mitgeteilten Versuches bestärkt, bei welchem in dem einen U-Rohr 34.7%, in dem anderen 22.5% des vorhandenen Oxalats zersetzt worden waren, also bedeutend mehr als in den Versuchen I und II, wo die Luft aus den Blättern und den U-Röhren schon vor deren Einlegen in die Kältemischung sorgfältig durch Wasserstoff verdrängt worden war.

Man sieht auch hier, daß die Menge des in diesen Versuchen abgeschiedenen Kohlendioxyds in keinem bestimmten Verhältnis zu der Menge der zersetzten Oxalsäure steht. Gerade diese Versuche zeigen am deutlichsten, daß ein Teil des Kohlendioxyds seinen Ursprung anderen Prozessen und nicht der Zersetzung der Oxalate verdankt.

Aus allen in diesem Abschnitt angeführten Versuchen mit durch Gefrieren abgetöteten Blättern geht hervor, daß die Zersetzung der Oxalate ein Prozeß ist, der von den Lebensvorgängen der Pflanze getrennt werden kann. Er findet nur bei Anwesenheit von Sauerstoff statt und wird durch Temperaturerhöhung stark beschleunigt. Es bleibt zweifelhaft, ob die Oxalsäure durch diesen Prozeß vollständig zu Kohlendioxyd oxydiert wird, da keiner der Versuche ein bestimmtes Verhältnis zwischen zersetzter Oxalsäure und gebildetem Kohlendioxyd ergab. Vielmehr entstammte ein Teil des gemessenen Kohlendioxyds sicher anderen Prozessen, was besonders aus den Versuchen in Wasserstoffatmosphäre hervorgeht. Durch Siedetemperatur wird die Oxalsäurezersetzung aufgehoben und erfolgt nach dem Erhitzen auch unter günstigen Bedingungen nicht mehr. Besonders dieser Umstand spricht für die Enzymnatur des Prozesses.

e) Oxalsäurezersetzung durch einen aus ausgepreßten Rumexblättern erhaltenen Niederschlag (Enzym).

Da die letzten Versuche unzweideutig ergeben haben, daß die Zersetzung der Oxalsäure, wie ich schon früher vermutet habe (vergl. meine Arbeit, 1913, S. 298), ein enzymatischer Prozeß ist, so versuchte ich aus dem Saft abgepreßter *Rumex*blätter das Enzym zu gewinnen. Ich verfuhr dabei auf folgende Weise:

Für jeden Versuch pflückte ich eine größere Portion (mindestens 800 g) Blätter von *Rumex acetosa*, und zwar stets bei sonnigem Wetter, zerkleinerte sie alsbald in einer Fleischhackmaschine und preßte sie dann unter ca. 300 Atmosphären ab. Der trübe, grünlichgelbe Saft wurde möglichst schnell unter Druck durch Glaswolle abfiltriert und in das fünffache Volumen 96%-igen Alkohols gegossen. Dabei entstand alsbald eine Trübung und nach kurzer Zeit bildete sich ein weißlicher Niederschlag. Dieser wurde sofort abfiltriert, in einer kleinen Quantität dest. Wassers gelöst, vom Unlöslichen abfiltriert und wiederum mit Alkohol gefällt. Der abfiltrierte Niederschlag wurde bei ca. 40°C. im Vakuum über Calciumchlorid getrocknet. An der Luft nahm er auch nach seiner völligen Trocknung allmählich einen graugelblichen Ton an. Er reagierte auf Millon's Reagens und auf die Xanthoproteinprobe positiv, auf die Biuretprobe dagegen negativ. Ferner reduzierte er deutlich Fehlingsche Lösung: er zeigte saure Reaktion, enthielt viel Asche, darin Kalium, viel Magnesium und Eisen, aber kein Calcium. (Eine genauere Analyse werde ich später mitteilen, sobald mir genügende Mengen dieses Pulvers zur Verfügung stehen).

Von diesem Pulver setzte ich nun Quantitäten von 0.1—0.45 g verschiedenen Oxalat- und Oxalsäurelösungen hinzu, die in Mengen von je 500—500 cm<sup>3</sup> in 1-l-Jenenserkolben mit aufgeschliffenen Glashelmen eingefüllt waren. Die Kolben mit der Versuchslösung wurden 1 Stunde lang bis zum Vertreiben ev. darin gelösten Kohlendioxyds ausgekocht, darauf noch 6 Stunden lang von kohlendioxydfreier Luft stark durchströmt. Die Kolben öffnete ich erst, nachdem ich sie auf ca. 50°C. erwärmt hatte (um das Hineinströmen kohlendioxydhaltiger Luft zu verhindern), säuerte die Lösung (sofern sie ein neutrales oxalsaures Salz enthielt) mit wenig Oxalsäure an, setzte das Pulver und je 2 Volumprocente Toluol zu, schüttelte kräftig um, entnahm steril 50 cm<sup>3</sup> zur Oxalsäurebestimmung, schloß

Hierauf die Kolben, stellte sie in den in der Dunkelkammer aufgestellten Thermostat (irdener Topf mit Wasser) und schaltete sie in den Gaszuleitungsapparat ein. Hier wurden sie von kohlendioxydfreier Luft durchströmt, die nach Verlassen der Kolben Pettenkofersche Röhren mit titrierter Baryumhydroxydlösung passierte. Beim Abbruch der Versuche setzte ich jedem Kolben ca. 10 cm<sup>3</sup> konzentrierte Schwefelsäure zu und leitete unter Steigerung der Temperatur auf 60°C., um alles Kohlendioxyd zu vertreiben, noch vier Stunden lang einen Strom kohlendioxydfreier Luft in raschem Tempo durch. Hierauf wurden die Lösungen genau wie die zu Beginn des Versuches entnommenen Kontrollen analysiert.

Leider verwendete ich die Versuchslösungen im allgemeinen in zu starken Konzentrationen, nämlich 1%-ige Oxalsäure-, Kaliumtetraoxalat- und Kaliumoxalatlösungen. Ich konnte wohl auch deswegen, abgesehen von einer schwachen Zersetzung der Kaliumoxalatlösungen, keine nennenswerte Abnahme des Oxalations feststellen.

Erst bei Anwendung einer 0.5%-igen Natriumoxalatlösung erhielt ich günstigere Resultate, die in der Tabelle XVI zusammengestellt sind. Diese Lösungen zeigten stets bei Abbruch der Versuche eine stark alkalische Reaktion.

TABELLE XVI.

Vers Nr.	Dauer d. Ver- suchs. Stund.	Temp. °C.	Menge d. zugesezt. Pulvers g	b. Beginn d. Vers. g	Wasserfreie Oxalsäure			Abgeschiede- nes Kohlen- dioxyd in g
					nach Ab- bruch d. Versuchs	Abnahme in g	Abnahme in %	
1.	12	32	0.37	2.3612	1.9330	0.4282	18.13	0.0952
2.	12	32	0.45	2.2000	1.9206	0.2794	12.7	0.1558
3.	16	33	0.32	2.2665	1.9583	0.3088	13.6	0.0987
4.	15	34	0.15	2.3865	2.0894	0.2971	12.45	0.1263

Wie aus obiger Tabelle zu ersehen ist, erfolgte eine merkliche Zersetzung des Oxalations durch das aus abgepreßten Rumexblättern gewonnene Enzym unter den in den Versuchen herrschenden Bedingungen. Allerdings war die Zersetzung keine vollständige, wohl aus den gleichen Gründen, die ich schon früher anlässlich der Versuche mit zerriebenen Blättern erörtert habe. Ich werde darum die Versuche zu gelegener Zeit unter Anwendung schwächerer Konzentrationen und unter Neutralisation

durch Oxalsäure wiederholen, wie ich dies früher bei den Kulturen des *Bacillus extorquens* getan habe. Jedoch sprechen schon diese Versuche, trotz ihrem Mangel an Eleganz, deutlich genug.

Es unterliegt hiernach keinem Zweifel mehr, daß die Zersetzung der Oxalsäure bei *Rumex acetosa*—und wahrscheinlich auch bei anderen Pflanzen— ein enzymatischer Prozeß ist.

Obwohl ich in diesen Versuchen alles getan habe, um das gebildete Kohlendioxyd aus den Lösungen vollständig zu vertreiben, fehlt durchweg jede bestimmte Relation zwischen zersetzter Oxalsäure und gebildetem Kohlendioxyd. Es bleibt deshalb noch recht zweifelhaft, ob die Zersetzung der Oxalsäure unter vollständiger Oxydation zu Kohlendioxyd erfolgt. Diese Frage bedarf weiterer Untersuchungen.

### 3. Schlußbetrachtung.

Alle mit *Rumex*, *Begonia* und *Oxalis* ausgeführten Versuche zeigen, daß die in diesen Pflanzen vorhandene Oxalsäure zersetzt wird. In Blättern, die durch Gefrieren abgetötet wurden, ist die Zersetzung dieser Säure bei reichlicher Sauerstoffzufuhr und günstiger Temperatur vollständig, während sie in der intakten Pflanze, offenbar infolge einer Selbstregulation des lebenden Plasmas, nicht bis zum völligen Verschwinden der Säure fortgesetzt wird. Ein aus dem Preßsaft von *Rumex*blättern gewonnenes Pulver zersetzt gleichfalls angesäuerte Oxalatlösungen. Diese Ergebnisse beweisen sonach, daß die Zersetzung des Oxalations in den grünen Pflanzen ein enzymatischer Prozeß und demnach den allgemeinen Gesetzen der Enzymreaktionen unterworfen ist. Die Zersetzung der Oxalsäure ist sonach unabhängig vom Licht; intensive Belichtung wird aber durch die von ihr bedingte Temperatursteigerung selbstverständlich den Zersetzungsprozeß beschleunigen.

Am Beginn meiner Versuche glaubte ich, daß die Zersetzung der Oxalsäure in einer glatten Oxydation derselben zu Kohlendioxyd und Wasser beruhe, wie ich dies früher im Enzymversuch bei *Bacillus extorquens* gefunden hatte. Doch schon die Mengen des bei der Zersetzung entstehenden Kohlendioxyds sprechen gegen eine solche Annahme; bei vollständiger Oxydation müßte 1 Mol Oxalsäure 2 Mol Kohlendioxyd ergeben, wie ich dies bei dem erwähn-

ten Enzymversuch (1913, S. 286) tatsächlich gefunden habe. Aus dem Fehlen dieser Proportionalität in den in Tab. XVI zusammengestellten Resultaten muß geschlossen werden, daß die Zersetzung der Oxalsäure auf andere Weise als durch eine vollständige Oxydation zu Kohlendioxyd stattfindet. Hierüber habe ich bisher zu wenig Erfahrungen gesammelt, so daß ich mir die Beantwortung dieser Frage für die Zukunft vorbehalten muß.

Aus der je nach den Bedingungen größeren oder geringeren, stets aber bedeutenden und fortwährenden Zersetzung der Oxalsäure in meinen Versuchspflanzen muß gefolgert werden, daß diese Säure täglich in größeren Mengen entsteht. Als Bildungsquellen derselben können die verschiedensten organischen Körper in Frage kommen, wie man ja auch daraus, daß sie in vitro als Oxydations- oder Spaltungsprodukt zahlreicher organischer Verbindungen auftritt, bestimmte Schlüsse auf deren Entstehung in der Pflanze zog. Allgemein wird sie, im Anschluß an die Verhältnisse bei den Succulenten, als unvollständiges Produkt der Atmung infolge behinderter Sauerstoffzufuhr aufgefaßt. Es kann jedoch bei dünnblättrigen Pflanzen, wie *Rumex* und *Oxalis*, von einer Erschwerung der Luftzufuhr nicht ernstlich die Rede sein. Wäre aber die Oxalsäure trotzdem ein Atmungsprodukt, so müßte ihre Menge bei gesteigerter Atmung, z. B. also bei höherer Temperatur während der Nacht, zunehmen. Alle meine Versuche ergaben jedoch das Gegenteil. Je höher die Temperatur und je intensiver demnach die Atmung, desto geringer ist der Oxalsäuregehalt der Pflanze.

Die Bildung der Hauptmenge der Oxalsäure in den grünen Pflanzen kann sonach unmöglich auf dissimilatorische Vorgänge zurückgeführt werden, sie muß vielmehr bei der CO<sub>2</sub>-Assimilation entstehen. Damit möchte ich jedoch durchaus nicht die Möglichkeit ihrer Entstehung bei dissimilatorischen Prozessen überhaupt bestreiten. Die Resultate in den Tab. V und X zeigen aber aufs deutlichste, daß der Gehalt belichteter Blätter an Oxalation steigt, obwohl ohne Zweifel auch die Atmung in belichteten Blättern wegen der Erwärmung durch die Insolation gesteigert wird und darum die Oxalsäure umso intensiver zersetzt werden müßte.

Da weitere Untersuchungen über die Bildung der Oxalsäure im Gange sind, will ich mich hier auf diesen kurzen Hinweis beschränken.

#### 4. Zusammenfassung.

1. Der Gasamtoxalsäuregehalt der Blätter von *Rumex acetosa* schwankt innerhalb weiter Grenzen; er betrug im Minimum 0·074%, im Maximum 1·266% des Frischgewichtes der Blattsubstanz.

2. Er ist in weitgehendem Maße abhängig von der Belichtung, und zwar steigt er infolge von Belichtung.

3. Er sinkt bei Verdunkelung der Pflanze, was nicht nur für *Rumex*, sondern auch für *Oxalis* und *Begonia* gilt.

4. In den Blattspreiten ist er höher als in den Blattstielen, in welchen er überhaupt stabiler ist, so daß sowohl die Zunahme nach Belichtung als auch die Abnahme nach Verdunkelung geringer ist als in den Spreiten.

5. Zerriebene *Rumex*blätter zersetzen bei reichlicher Luftzufuhr Oxalatlösungen.

6. In erfrorenen Blättern wird bei Luftzufuhr die gesamte Oxalsäure zersetzt, nicht dagegen in einer Wasserstoffatmosphäre; in erfrorenen Pflanzen scheinen darum besonders Oxydationen gesteigert zu werden.

7. Erfrorene, nachher auf 100°C. erhitzte Blätter zersetzen die Oxalsäure nicht.

8. Ein aus dem Preßsaft von *Rumex*blättern gewonnenes Pulver zersetzt gleichfalls angesäuerte Oxalatlösungen.

9. Folglich ist die Zersetzung des Oxalations in den Pflanzen ein enzymatischer Prozeß.

10. Die Zersetzung der Oxalsäure ist keine vollständige Oxydation derselben zu Kohlendioxyd und Wasser.

11. Die Hauptmenge der Oxalsäure bei *Rumex* entsteht nicht infolge dissimilatorischer, wohl aber infolge assimilatorischer Vorgänge.

#### Literatur-Verzeichnis.

1903. Amar, M. Sur le rôle de l'oxalate de calcium dans la nutrition des végétaux. Compt. rend., Bd. 136, II, S. 901.
1904. Amar, M. Annales des Sciences naturelles, 8e sér., Bot., Bd. 19, S. 195.
1869. Aë, H. A. Über die physiologische Bedeutung des in den Pflanzen vorkommenden oxalsauren Kalkes. Flora, S. 177.
1901. Astruc, A. Répartition de l'acidité dans la tige, la feuille et la fleur. Compt. rend., Bd. 133, S. 491.



1913. Bassalik, K. Über die Verarbeitung der Oxalsäure durch *Bacillus extorquens n. sp.* Pringsh. Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 53, S. 255.
1913. Baur, E. Über Bildung, Zerlegung und Umwandlung der Glykolsäure. Ber. d. deutsch. chem. Ges., S. 852.
1903. Benecke, W. Über Oxalsäurebildung in grünen Pflanzen. Bot. Ztg., Bd. 61, S. 79.
1885. Berthélot et André, G. Sur l'acide oxalique dans la végétation. Compt. rend., Bd. 101, S. 354.
1886. Berthélot et André, G. Sur la formation de l'acide oxalique dans la végétation. Étude du *Rumex acetosa*. Compt. rend., Bd. 102, S. 995.
1887. Berthélot et André. Recherches sur l'acide oxalique dans la végétation. I. mémoire. Annales de chimie et de physique, 6e sér., 10. Bd., S. 289.
1887. Berthélot et André. II. mémoire. Ebenda, S. 308.
1901. Berthélot et André. Rémarques sur la formation des acides dans les végétaux. Comp. rend., Bd. 133, S. 502.
1875. Boehm, J. Über den vegetabilischen Nährwert der Kalksalze. Sitzber. d. Wiener Akad. d. Wiss., Bd. 71, I. Abt.
1903. Chabarov, E. et Hébert, A. Influence de la nature du milieu extérieur sur l'acidité végétale. Compt. rend., Bd. 136, S. 1009.
1903. Chabarov, E. et Laloue, G. Distribution de quelques substances organiques dans le géranium. Compt. rend., Bd. 136, S. 1467.
1896. Gerber, C. Recherches sur la maturation des fruits charnus. Annal. d. Sciences nat., 8e sér., Bot., Bd. 4, S. 1.
1892. Giessler, R. Die Lokalisation der Oxalsäure in der Pflanze. Jenaische Ztschr. f. Naturw., Bd. 27, S. 344.
1896. Groom, Percy. Preliminary note on the relation between calcium and the conduction of carbohydrates in plants. Annals of Botany, Bd. X, S. 91.
1867. Hilgers, G. Über das Auftreten der Krystalle von oxalsaurem Kalk im Parenchym einiger Monocotylen. Pringsh. Jahrb. wiss. Bot., Bd. 6, S. 285.
1867. Holzner, G. Über die physiologische Bedeutung des oxalsauren Kalkes. Flora, S. 497.
1889. Kohl, F. G. Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze. Marburg.
1890. Kohl F. G. Zur physiologischen Bedeutung des oxalsauren Kalkes in der Pflanze. Bot. Centralbl., Bd. 44, S. 337.
1882. Kraus, G. Über die Wasserverteilung in der Pflanze. II. Der Zellsaft und seine Inhalte. Abhdlg. d. Naturforschenden Gesellschaft zu Halle, Bd. 15.
1886. Kraus G. Über die Wasserverteilung in der Pflanze, IV. Die Azidität des Zellsaftes. Abh. d. Naturforsch. Ges. zu Halle, Bd. 16, S. 143.
1897. Kraus, G. Über das Verhalten des Kalkoxalats beim Wachstum der Organe. Flora, S. 54.
1886. Lange, P. Beiträge zur Kenntnis der Azidität des Zellsaftes. Inaug.-Diss. Halle.
1875. Mayer, A., VI. Über die Bedeutung der organischen Säuren in den Pflanzen. Landw. Vers.-Stat., Bd. 18, S. 410.
1878. Mayer, A. Über die Sauerstoffausscheidung einiger Crassulaceen. Landw. Vers.-Stat., Bd. 21, S. 277.
1887. Monteverde, N. A. Über den Einfluß des Lichtes auf die Ablagerung des

- oxalsäuren Kalkes. Arb. d. Petersb. Naturf. Ges., Bd. 18, S. 46. — Referat Bot. Centrbl., Bd. 38, S. 486.
1889. Monteverde, N. A. Über die Ablagerung von Calcium- und Magnesiumoxalat in der Pflanze. Bot. Centrbl., Bd. 13, S. 327.
1887. Palladin W. Bildung der organischen Säuren in den wachsenden Pflanzenteilen. Ber. d. deutsch. Bot. Ges., Bd. 5, S. 325.
1906. Palladin W. Die Arbeit der Atmungsenzyme der Pflanzen unter verschiedenen Verhältnissen. Ztschr. f. physiol. Chemie, Bd. 47, S. 407.
1879. van der Ploeg. De oxalzure Kalk in de planten. Diss. Leiden.
- 1887/97. Pfeffer, W. Pflanzenphysiologie, I. Bd., 1. u. 2. Aufl.
1893. Purjewicz, K. Die Bildung und Zersetzung der organischen Säuren bei den höheren Pflanzen. Kiew. — Ref. v. W. Rothert, Bot. Centrbl., Bd. 58, S. 368.
1888. Schimper, A. F. W. Über Kalkoxalatbildung in den Laubblättern. Bot. Ztg., Bd. 46, S. 65.
1890. Schimper, A. F. W. Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze. Flora, S. 207.
1888. Stahl, E. Pflanzen und Schnecken. Jena.
1884. de Vries, H. Über die periodische Säurebildung der Fettpflanzen. Bot. Ztg., Bd. 42, S. 337.
1885. de Vries, H. Über die Periodizität im Säuregehalte der Fettpflanzen. Verslagen en Mededeelingen der K. Akad. van Wetenschappen te Amsterdam, III. reeks, I. deel, S. 58.
1886. Warburg, O. Über die Bedeutung der organischen Säuren für den Lebensprozeß der Pflanzen. Unters. a. d. bot. Inst. Tübingen, Bd. 2, S. 53.
1890. Warlich H. Über Calciumoxalat in den Pflanzen. Diss. Marburg.
1889. Wehmer, C. Das Calciumoxalat der oberirdischen Teile von *Crataegus Oxyacantha* L. im Herbst und Frühjahr. Ber. d. deutsch. bot. Ges., Bd. VII, S. 216.
1891. Wehmer, C. Entstehung und physiologische Bedeutung der Oxalsäure im Stoffwechsel einiger Pilze. Bot. Ztg., Bd. 49, S. 233.

*Badania nad przemianą materii u wirków. — Untersuchungen über den Stoffwechsel der rhabdocölen Turbellarien.*

Mémoire

de M<sup>lle</sup> **S. JACEK**,

présenté, dans la séance du 9 Octobre 1916, par M. M. Siedlecki m. c.

(Planche 10).

**Einleitung.**

Durch Untersuchungen von Miecznikow, v. Graff, Lang, Kennel, Saint-Hilaire und anderen Verfassern wurde nachgewiesen, daß bei rhabdocölen Turbellarien zwar größtenteils intrazelluläre Verdauung stattfindet, im einzelnen jedoch der Verdauungsmodus sogar bei verschiedenen Arten einer und derselben Gattung bedeutende Unterschiede aufweisen kann, welche größtenteils durch den Bau des Darmes bedingt werden. Bei den *Acoela*, welche keinen Darmkanal besitzen, fand Lang, daß die Verdauung der Nahrung in dem verdauenden, eine syncytiale Plasmamasse bildenden Parenchym stattfindet. Bei *Dendrocoelum* konnte Saint-Hilaire ausschließlich intrazelluläre Verdauung feststellen. *Mesostomum Ehrenbergii* ist hingegen nach Miecznikow's Untersuchungen imstande, die aufgenommene Nahrung nicht nur intrazellulär, sondern auch extrazellulär zu verdauen. Nach demselben Forscher haben bei *Microstomum lineare* die flimmernden Darmzellen ihre Fähigkeit, Nahrung aufzunehmen, vollständig eingebüßt. In diesem Falle geht der Verdauungsprozeß nur extrazellulär vor sich. Endlich beweisen die Untersuchungen von Lang und von Graff an Polycladen und von Kennel an Landplanarien, daß diese Tiere pharyngeale Drüsen besitzen, welche gewisse verdauende Stoffe absondern.

In Anbetracht dieser so verschiedenen Ergebnisse der bisherigen Forschungen beschloß ich, den Verdauungsmodus an der kleinen, ziemlich durchsichtigen Planarie *Stenostomum* unter Anwendung neuer mikrochemischer Methoden zu untersuchen.

### Material und Untersuchungsmethoden.

Die zum Experimentieren bestimmten Tiere aus der Gattung *Stenostomum* züchtete ich in Aquarien, wo sie sich anfangs sehr schnell durch Knospung vermehrten und sich in großen Mengen am Boden und an den von dem Lichte abgewendeten Wänden der Gefäße ansammelten. Nach einiger Zeit (etwa nach 14 Tagen) verminderte sich aber ihre Zahl so sehr, daß kaum einige wenige Exemplare zum Vorschein kamen. Als ich diese Abnahme bemerkte, übertrug ich die Tiere mittels einer Pipette in ein anderes Aquarium, in welchem sie sich wieder vermehrten; in dem ersten Züchtungsgläse reinigte ich die Wände von Algen. Nach kurzer Zeit vermehrten sich die Tiere wieder, doch nicht mehr so stark wie vorher und gingen nach einigen Tagen wieder teilweise zugrunde. Diese Erscheinung wiederholte sich noch einigemal; in den aufeinander folgenden Kulturen erschienen die Tiere in immer geringerer Anzahl, endlich verschwanden sie und an ihrer Statt entwickelten sich andere Organismen.

Um zu erfahren, welche Substanzen die Hauptnahrung für *Stenostomum* bilden und ob die Verdauung dieser Nährstoffe in der Darmflüssigkeit oder intrazellulär vor sich geht, untersuchte ich den Darminhalt bei direkt aus den Aquarien herausgenommenen Tieren, oder ich fütterte sie mit verschiedenen Substanzen, nämlich mit Stärke, Fett und Eiweißstoffen. Um die ins Darmlumen oder in die Darmzellen aufgenommenen Nahrungspartikelchen leichter zu unterscheiden, tingierte ich die verwendeten Substanzen mit verschiedenen Farbstoffen. Dann untersuchte ich die Tiere *intra vitam* auf Objektträgern, wozu sie sich ganz gut wegen ihrer Durchsichtigkeit eigneten. Zum Nachweis der chemischen Veränderungen in der aufgenommenen Nahrung unter der Einwirkung der Verdauungssäfte bediente ich mich mikrochemischer Reaktionen.

Die Nahrung reichte ich den Würmern in folgender Weise: Die aus den Aquarien herausgenommenen Tiere wusch ich sorgfältig durch mehrmaliges Überbringen in frisches Leitungswasser ab. Dann brachte ich sie in Uhrgläser mit reinem Wasser und führte ihnen entsprechende Nährstoffe zu. Nach Verlauf einiger Stunden übertrug ich die Versuchstiere auf reine Objektträger und bedeckte sie vorsichtig mit Deckgläsern. Um die Wimperbewegung zu hemmen, entzog ich einen Teil des Wassers mit Löschpapier,

worauf die Tiere unter dem Mikroskop bei einer Vergrößerung von 1:270 oder 1:1170 untersucht wurden. Die auf solche Weise vorbereiteten Tiere konnten nur kurze Zeit, manchmal nur einige Minuten in unversehrtem Zustande beobachtet werden, weil sie infolge der Verdampfung des Wassers und des durch das Deckglas ausgeübten Druckes in einzelne Zellen zerfielen. Diese geringe Widerstandsfähigkeit der Tiere erschwerte alle Untersuchungen in hohem Grade und ließ eine Verfolgung des ganzen Verdauungsprozesses an ein und demselben Exemplare nicht zu. Um Irrtümer, die durch diesen Umstand hervorgerufen werden konnten, auszuschalten, wiederholte ich jedes Experiment mehreremale an einer großen Anzahl von Tieren, die immer in gleichen Bedingungen gezüchtet wurden. Die Ergebnisse meiner Beobachtungen verglich ich mit denjenigen der Kontrollexperimente, in denen die Tiere keine Nahrung erhielten, jedoch in gleicher Menge reinem Wasser und bei derselben Temperatur gezüchtet wurden wie die Versuchstiere.

#### Nahrungsaufnahme.

*Stenostomum* erfaßt die Nahrung mit breit geöffneter Mundöffnung; der Pharynx befördert sie hierauf durch einige Kontraktionen schnell in den Darm. Nach den Beobachtungen von Lang und Kennel gibt es Turbellarien, bei welchen verdauende Substanzen im Pharynx ausgeschieden werden, so daß die Verdauung bereits in dem ersten Darmabschnitte beginnt. Lang glaubt, „daß wenigstens bei den mit einem krausenförmigen Pharynx ausgestatteten *Polycladen* die vom Pharynx umstrickte Beute unter Einwirkung des Sekretes der Speicheldrüsen zersetzt und in einen Speisebrei umgewandelt wird, bevor sie in den Hauptdarm und von da auch in die Darmäste befördert wird“. Auch Kennel vermutet, daß die Landplanarien mittels des vom Schlundkopf oder auch vielleicht vom Darm gelieferten Sekretes ihre Beute außerhalb ihres Körpers verdauen.

Bei *Stenostomum* besitzt der Pharynx keine Bedeutung für den Verdauungsprozeß. Ich habe nach der Nahrungsaufnahme in seinem Innern niemals Speisepartikeln gefunden, auch in dem Falle nicht, wenn der Darm mit Nahrung reichlich erfüllt war. Alle fremden Körper, welche bei der Nahrungsaufnahme im Pharynx zurückgeblieben waren, sowie auch die aus dem Darne entfernten unverdauten Nahrungsreste wurden immer durch die Bewegung

des Flimmerepithels und Kontraktionen des Pharynx durch den Mund nach außen entleert.

Die in das Darmlumen aufgenommene Nahrung besteht gewöhnlich aus Rotatorien, Infusorien, Diatomeen, Grünalgen sowie aus pflanzlichem und tierischem Detritus, welcher am Boden oder an den Wänden der Aquarien immer zu finden ist. Die als Nahrung verschluckten Tiere waren oft lebendig; oft wurden aber auch Tierleichen verschluckt. Um festzustellen, wie lange die lebend verschluckten Tiere in der Darmflüssigkeit am Leben bleiben können, übertrug ich *Stenostoma*, in deren Darmlumen ich lebende Rotatorien aus der Gattung *Brachionus* bemerkt hatte, auf einen Objektträger und untersuchte sie nach einer Stunde; *Brachionus* bewegte sich noch nach dieser Zeit in der Darmflüssigkeit. Nach zwei bis drei Stunden entfernten die *Stenostoma* die lebenden und anscheinend unversehrten Rotatorien durch den Mund. Ebenso wie Rotatorien können auch Euglenen, Diatomeen und verschiedene Grünalgen, ohne Schaden zu nehmen, im Darmlumen verweilen.

Diese Beobachtungen beweisen, daß die Darmflüssigkeit bei *Stenostomum* nicht imstande ist, lebende Organismen zu töten. Ich fand zwar auch tote Rotatorien im Darmlumen des Wurmes, glaube aber, daß sie nicht durch die Darmsäfte getötet, sondern vom *Stenostomum* mit anderen Nahrungspartikeln bereits tot aufgenommen worden waren.

Die aufgenommene Nahrung gelangt in den Darm und kreist dort unter dem Einflusse der Flimmerbewegung des zarten, den Darm auskleidenden Epithels und der Kontraktionen des Darmes umher.

Der Darm besitzt keine unterscheidbaren, in ihrer physiologischen Funktion verschiedenen Abschnitte; er hat in seiner ganzen Ausdehnung gleiche Bedeutung für die Verdauung.

Unter den Nahrungspartikeln kann man im Darmlumen bisweilen auch frei schwimmende, kugelige, mit langen, zarten Wimpern versehene Zellen bemerken. Diese stammen zweifellos von dem Darmepithel her. Wenn man nämlich die Körperwand oder den Darm des Wurmes an einer Stelle beschädigt, so lösen sich viele Zellen von der Darmwand ab und diese unterscheiden sich von den im Darmlumen frei schwimmenden Zellen in nichts. Auch Lang bemerkte im Darmlumen bei *Leptoplana tremellaris* von der Darmwand abgelöste, einzelne Zellen oder ganze Zellgruppen,

berührt aber ihre Bedeutung für den Verdauungsprozeß und ihre weiteren Schicksale nicht. Auf Grund meiner Beobachtungen kann ich behaupten, daß diese Zellen keine Rolle in dem Verdauungsprozesse spielen. Ihre Anwesenheit im Darmlumen kann man in folgender Weise erklären.

Nach Miecznikow, Lang, Vogt, Yung und anderen sind die Darmzellen gut genährter Turbellarien amöbenähnlich und treiben protoplasmatische Fortsätze aus. Dasselbe kann man auch bei *Stenostomum* beobachten, wenn der Darm mit Nahrung gefüllt ist. Die Darmzellen sind in dem Grade beweglich, daß sie sehr oft miteinander nur in geringer Ausdehnung, und zwar nur mit ihren basalen Teilen zusammenhängen. Es ist also möglich, daß einige von diesen Zellen bei ihrer großen Beweglichkeit und Veränderlichkeit sich von dem Darmepithel loslösen, kugelige Gestalt annehmen und im Darmlumen umherschwimmen. Nach kurzer Zeit gehen sie jedoch zugrunde und ihr Plasma dient anderen Darmepithelzellen als Nahrung. Diese frei schwimmenden Zellen werden niemals mit den unverdauten Nahrungsresten nach außen entleert. Ein Ablösen dieser Zellen dürfte nur unter gewissen speziellen Bedingungen stattfinden, denn auch im Darmlumen gesättigter Tiere findet man sie nicht immer. Niemals sind sie bei hungernden Exemplaren anzutreffen, wenn die Darmepithelzellen klein werden und keine amöboiden Fortsätze bilden.

Lang, Graff, Böhmig, Ijima und andere Autoren beschreiben bei allen Turbellarien mit Ausnahme von Acoelen zwei Arten von Darmepithelzellen, und zwar amöboide Zellen und sog. Körnerkolben. Die Nährzellen besitzen, wie bereits oben erwähnt wurde, die Fähigkeit, amöboide Fortsätze von veränderlicher Größe und Gestalt auszusenden. Diese Zellen dienen zur Aufnahme und Verdauung der Nahrung. Die Körnerkolben, auch Drüsenzellen genannt, enthalten große, homogene Körner und sind zur Nahrungsaufnahme nicht befähigt. Ihre Bedeutung ist zur Zeit noch nicht genügend geklärt.

Bei *Stenostomum* treten diese Drüsenzellen in Form von kolbenähnlichen Gebilden auf, welche mit homogenen, stark lichtbrechenden Körnern so dicht gefüllt sind, daß man in denselben ohne Fixierung und Färbung weder den Zellkern wahrnehmen noch die Plasmastruktur gut beobachten kann. Bei längerem Hungern der Tiere verkleinern sich weder die Dimensionen noch der Inhalt

dieser Körner, sie können also den Vorrat von Nährmaterial nicht vorstellen. Bei Anwendung von verschiedenen Farbstoffen wie Lackmus, Kongorot, Alizarinsulfat, Neutralrot, Methylenblau, Methylorange, Sudan III, Scharlach, Indigokarmin, karminsauerm Natron und karminsauerm Ammonium färben sie sich gar nicht. Auch Fett-, Glykogen- und Eiweißproben haben mir nur negative Resultate gegeben. Es sind auch keine zum Ausstoßen bestimmten Exkretionssubstanzen, da das Tier sie niemals nach außen entleert.

Welche Bedeutung diese Körnerkolben für den Nahrungsprozeß besitzen, darüber gehen die Meinungen auseinander. Ijima und Graff nehmen an, daß diese Zellen Nährstoff enthalten. Nach Kennel, Lang und Böhmig dagegen sondern sie verdauende Fermente ab, da während der Verdauung eine merkliche Abnahme der Zahl der Körner zu bemerken ist.

Im Gegensatz zu den Beobachtungen von Böhmig habe ich in den Drüsenzellen bei *Stenostomum* keine Abnahme der Zahl der Körner während der Verdauung beobachtet, kann also nicht annehmen, daß sie die zur Verdauung nötigen Substanzen enthalten.

Die Nährzellen der den Aquarien frisch entnommenen Tiere enthalten im Plasma viele fremde Körper, wie zum Beispiel kleine Partikeln von pflanzlichem und tierischem Detritus, der langsam der Verdauung unterliegt; dies beweist, daß diese Zellen zur Nahrungsaufnahme geeignet sind. Die Bildung amöboider Fortsätze, wenn der Darm reichlich angefüllt ist, führt zu der Annahme, daß die Nahrungspartikeln vermittels dieser Fortsätze ins Innere der Darmzellen aufgenommen werden, und diese Ansicht stimmt mit den Ergebnissen der Beobachtungen von Miecznikow, Chapeaux und Saint-Hilaire überein.

Der letztgenannte Forscher beobachtete auch, daß die Darmzellen der Turbellarien gewisse Substanzen zwar lieber als andere aufnehmen, daß jedoch in der Regel in diese Zellen alle im Darm lumen befindlichen Substanzen gelangen, wenn nur die einzelnen Partikeln klein genug sind.

Um festzustellen, welche Substanzen von den Darmzellen des *Stenostomum* aufgenommen werden können, führte ich verschiedene Fütterungsversuche aus, und zwar mit Stärke, gekochtem Eiweiß, mit Emulsion von Öl und Paraffin, Karminkörnern und Tusche. Die Tiere nahmen alle diese Substanzen in ihren Darm auf, entfernten jedoch nach einigen Stunden alle Karminkörnchen, Tusche,



Paraffintropfen und Stärke in unverändertem Zustande nach außen. Im Innern der Darmzellen war keine Spur dieser Substanzen zu finden; sehr kleine Fetttropfen und Eiweißpartikeln wurden gerne und in großer Menge aufgenommen, hingegen größere auch durch den Mund hinausgeworfen.

Aus diesen Beobachtungen kann man schließen, daß die Darmzellen sich nur zur Aufnahme sehr kleiner Nahrungspartikeln eignen und daß sie eine gewisse Auslese der dargereichten Nahrung durchführen.

Das Aussehen der Darmepithelzellen hängt von der Quantität und Qualität der aufgenommenen Nahrung ab. Wie schon früher von verschiedenen Verfassern beschrieben wurde, schwellen die Zellen bei gesättigten Tieren sehr deutlich an, ihr Protoplasma wird körnig und füllt sich mit Tropfen, welche einen Vorrat von Nährmaterial bilden. Bei solchen Zellen kann man nur selten die zarten Wimpern nachweisen.

Bei längerem Hungern werden die Darmzellen kleiner, ihr Plasma wird blaß und verliert sein körniges Aussehen; dagegen entstehen in ihrem Innern sehr oft große, mit durchsichtiger Flüssigkeit angefüllte Vakuolen.

Saint-Hilaire fand in den Nährzellen bei *Dendrocoelum* verschiedene Körner, Bläschen und Vakuolen, welche jedoch an frischen Präparaten schwer zu unterscheiden sind. An fixierten Präparaten beobachtete er folgende Elemente: 1) Mikrosomen, 2) mit Flüssigkeit erfüllte, schwach oder nicht färbbare Bläschen, 3) vitalfärbbare Bläschen, 4) Nahrungsvakuolen, 5) Bläschen mit kristallinen Einschlüssen, gewöhnlich nicht färbbar, 6) kleine Fettkörnchen, 7) große, fettähnliche Körnchen, 8) feste Eiweißkörnchen.

In den Darmzellen von *Stenostomum* gelang es mir, mit Hilfe der vitalen Färbung verschiedene Körner, Bläschen und Vakuolen zu unterscheiden, und zwar: 1) sehr kleine, nicht färbbare Körnchen, 2) sehr kleine, alkalisch reagierende Körnchen, 3) sehr kleine, sauer reagierende Körnchen, 4) Nahrungsvakuolen, 5) nicht färbbare Bläschen, 6) Vakuolen mit saurer Flüssigkeit, 7) Bläschen mit kristallinen Gebilden, welche eine saure Reaktion geben, 8) allerlei größere und kleinere, ein Nährmaterial bildende Tropfen.

Die von St.-Hilaire beschriebenen Fettkörnchen kommen bei *Stenostomum* nicht vor. Nicht alle diese Elemente treten gleichzeitig in einer Zelle auf.

In den Darmzellen der aus den Aquarien herausgenommenen Tiere findet man manchmal eine große Menge von kleinen, grünen Körpern. Wird ein solches Tier in reines Wasser übertragen, so verschwinden diese nach einigen Tagen aus den Zellen und an ihrer Statt bleiben nur kleine, braune Körnchen zurück, welche entweder direkt im Plasma liegen, oder in Vakuolen eingeschlossen sind.

Die grünen Körper in den Darmzellen geben nach Behandlung mit Jodjodkalium keine Zellulosereaktion, es sind also keine in Symbiose lebenden Zooxanthellen oder andere einzellige, pflanzliche Organismen, sondern es handelt sich hier wahrscheinlich um kleine, mit pflanzlichen Nahrungsteilen in den Darm aufgenommene Chlorophyllkörper.

#### Die chemische Reaktion der Darmflüssigkeit.

Zwecks Untersuchung der chemischen Reaktion der Darmflüssigkeit züchtete ich die Tiere in Uhrgläsern mit verdünnten Lösungen von Kongorot, Lackmus, Alizarin und Methylorange, oder fütterte sie mit verschiedenen, vorerst mit den erwähnten Farbstoffen gefärbten Nährsubstanzen. Nach 24 Stunden untersuchte ich diese Tiere *intra vitam*, konnte aber einen Farbenwechsel nicht bemerken. Die Nahrungspartikeln, zum Beispiel die mit Kongorot gefärbten Stärkekörner wurden ohne Farbenveränderung nach außen entfernt. Diese Beobachtungen weisen auf neutrale Beschaffenheit der Darmflüssigkeit hin.

Der Farbstoff gelangt ins Innere der Darmzellen und tingiert gewisse Körner und Vakuolen.

Bei Anwendung von Neutralrot färben sich im Zellplasma einige Körnchen violettrot, andere hellgelblichrot. Dieser Farbstoff tingiert auch die prismatischen Kristalle in den Bläschen intensiv violettrot, was auf ihre saure Beschaffenheit hinweist. Bei Anwendung von Lackmus färbt sich in den Darmzellen ein Teil der Körnchen rot, die übrigen blau. Mit diesem Farbstoffe nimmt die durchsichtige Flüssigkeit der Bläschen gewöhnlich rote Farbe an, oder aber sie bleibt ungefärbt. Die sich rot färbenden Bläschen enthalten eine saure Flüssigkeit, die möglicherweise zur Verdauung der Nahrung dient und zu diesem Zwecke in den Bläschen aufgespeichert wird, da man solchen Bläschen in den Zellen nur dann begegnet, wenn sich im Plasma keine unverdauten Nahrungsparti-

keln befinden. Sobald die Zelle jedoch Nahrung aufgenommen hat, verschwinden die sauer reagierenden Bläschen und an ihrer Statt entstehen wahrscheinlich die Nahrungsvakuolen.

Die Reaktion der Flüssigkeit in den Nahrungsvakuolen ist veränderlich: schwach sauer, neutral oder alkalisch.

Eine ähnliche Veränderung der Reaktion in den Nahrungsvakuolen im Laufe der Verdauung wurde von vielen Verfassern bei Protozoen beobachtet. So geht nach den Beobachtungen von Greenwood und Saunders die saure Reaktion der Verdauung zeitlich voraus und nimmt ab, sobald die Verdauung einsetzt. Im Laufe der Verdauung kommt es meist zu einer alkalischen Reaktion. Čelakovský fand bei einem und demselben Plasmodium Verdauungsvakuolen, welche teils sauer, teils neutral reagierten. Auch Nirenstein konstatierte bei den von ihm untersuchten Paramaecien im ersten Stadium der Verdauung die Anwesenheit einer Mineralsäure, im weiteren Laufe diejenige einer Base.

Bei *Stenostomum* verändert sich die Reaktion der Vakuolenflüssigkeit, wie schon oben erwähnt wurde, in ähnlicher Weise wie bei den Protozoen. Die Anwesenheit von verschiedenen reagierenden Körnern und Vakuolen beweist, daß sich im Zellplasma ähnlich wie bei den Protozoen zur selbständigen Tätigkeit befähigte Bestandteile befinden. Diese haben also für den Verdauungsprozeß die Bedeutung von zwar nicht scharf abgesonderten, aber doch ziemlich selbständig wirkenden Organen. Während der intrazellulären Verdauung bei *Stenostomum* wirken die Zellen nicht als Ganzes; die Verdauung geht in einzelnen Vakuolen vor sich und ist von dem Zustande der übrigen Zellbestandteile unabhängig.

Außer Körnern und Vakuolen in den Darmzellen färben sich bei Anwendung von Neutralrot sehr stark violettrot auch die zahlreichen, in den Hautzellen befindlichen Rhabditen. Beschädigt man ein auf solche Weise gefärbtes Tier an einem Ende, so fängt sein Körper an, in einzelne Zellen zu zerfallen. Die einen von diesen Zellen gehen sogleich zugrunde, während die anderen noch kurze Zeit selbständig weiter leben. Die zerfallenen Teile des Körpers verändern ihre violettrote Farbe in Hellgelbrot. Dieser Farbumschlag schreitet mit dem Zerfalle des Körpers immer weiter fort. Vielleicht wird dieser Wechsel der Farbe durch Auflösung der Rhabditen in dem umgebenden, alkalisch reagierenden Medium bedingt.

## Stärkeverdauung.

Im Darmlumen des *Stenostomum* begegnet man gewöhnlich Diatomeen, Algen und allerlei pflanzlichem Detritus. Da diese Nahrung gewöhnlich eine gewisse Menge von Stärke enthält, wollte ich erfahren, ob in den Darmzellen Stärke tatsächlich verdaut wird. Zu diesem Zwecke fütterte ich die Tiere mit Reis-, Weizen- und Kartoffelmehl, welches entweder rein war oder mit Kongorot, Alizarin und Methylorange gefärbt wurde. Diese Fütterungsversuche wurden in folgender Weise gemacht.

Versuch vom 14. VI. 1915.

12 Tiere übertrug ich in ein Uhrglas mit Wasser, in welches ich vorher eine kleine Menge von Kartoffelmehl eingeschüttet hatte.

15. VI. 1915. Nach 24 Stunden untersuchte ich diese Tiere auf Objektträgern mit Hilfe eines Mikroskops. Das Darmlumen war reichlich mit Stärkekörnern angefüllt, welche sich nach Behandlung mit Jodjodkalium blau färbten und keine Korrosionsspalten aufwiesen. In den Darmepithelzellen konnte ich keine Spur von Stärke nachweisen. Auch im Pharynx waren keine Stärkekörner zu finden. Einen Teil der Würmer übertrug ich nach sorgfältigem Abwaschen in ein anderes Uhrglas mit reinem Wasser, um zu sehen, was mit den im Darmlumen befindlichen Stärkekörnern geschehen wird. Nach Verlauf von zwei Stunden untersuchte ich die Tiere wieder. Es gelang mir dabei, ein Exemplar in dem Momente zu beobachten, in welchem es aus dem Darmkanal den ganzen Inhalt nach außen entfernte. Die herausgeworfenen Stärkekörner unterschieden sich von normalen in nichts.

16. VI. 1915. Alle Versuchstiere haben Stärke herausgeworfen. Ihr Darmlumen ist nur mit durchsichtiger Flüssigkeit erfüllt.

Denselben Versuch wiederholte ich mehrmals und machte hierbei immer die gleiche Wahrnehmung.

Aus diesen Versuchen geht klar hervor, daß die Darmflüssigkeit nicht imstande ist, Stärke zu verdauen.

Ganze Stärkekörner können aber schon wegen ihrer Größe von den Darmzellen nicht aufgenommen werden; um nun die Aufnahme dieses Nährstoffes in die Darmzellen zu ermöglichen, zerrieb ich Stärkekörner in einem Achatmörser zu einem so feinen Pulver, daß die Stäubchengröße kein Hindernis mehr in dieser Hinsicht bilden konnte, und verwendete es zu dem folgenden Versuche.

Versuch vom 28. VII. 1915.

Nachdem die Würmer mit zerkleinerten Stärkekörnern gefüttert worden waren, untersuchte ich sie mit Hilfe von Immersionslinsen auf Objektträgern nach Verlauf einer Stunde. Im Darmlumen befand sich noch keine einzige Stärkepartikel.

Nach drei Stunden bemerkte ich schon im Darmlumen die verschluckte Nahrung, in den Darmzellen konnte aber durch Jodreaktion keine Spur von Stärke nachgewiesen werden.

29. VII. 1915. Die Versuchstiere enthalten zwar im Darmlumen Stärkepartikeln, aber die Darmzellen bilden keine protoplasmatischen Fortsätze so, wie sie es beim Vorhandensein anderer Nahrung im Darm tun. Die Stärkepartikeln werden also durch die Darmzellen nicht aufgenommen.

30. VII. 1915. Derselbe Zustand, wie am vorigen Tag.

2. VIII. 1915. Die Tiere nehmen an Größe ab, wie bei längerem Hungern, und gehen zugrunde.

Mehrmals in ähnlicher Weise wiederholte Versuche führten zu demselben Endergebnis.

Alle diese Beobachtungen beweisen genügend, daß *Stenostomum* Stärke nicht verdaut. Meine Untersuchungen ergänzen und bestätigen die Ergebnisse der Beobachtungen von St. Hilaire und anderen Forschern, welche keine Amylasen im Darms der größeren Turbellarien-Arten gefunden haben.

#### Fettverdauung.

Zum Nachweis der Fettsubstanzen *intra vitam* im Körper von *Stenostomum* bediente ich mich des Sudan III. Diesen Farbstoff schüttete ich ins Kulturwasser. Die nach einem Tage untersuchten Tiere hatten bereits kleine Partikeln des Farbstoffes in die Darmzellen aufgenommen und enthielten sie zumeist direkt im Plasma. Nur ausnahmsweise erschienen einige Bläschen schwach hellrot tingiert, sonst fand ich keine Zellbestandteile, in denen sich der Farbstoff gelöst hätte. Bei Anwendung von alkoholischer Sudanlösung färben sich in der Gegend der Nervenganglien einige kleine Körnchen. In den Darmzellen befindet sich keine Spur von Fett, und zwar auch in gut genährten Tieren nicht. Diese Beobachtungen beweisen, daß in dem Körper von *Stenostomum* das Fett nur in geringen Mengen vorkommt. Im Gegensatz zu meinen Beobachtungen fand St.-Hilaire in den Darmzellen bei *Dendrocoe-*

lum Fetttropfen, welche einen Vorrat von Nährmaterial bilden und beim Hungern verbraucht werden.

Bei Fütterungsversuchen mit Fett bediente ich mich mit Sudan III oder mit Scharlach tingierter Emulsionen von Öl und Butter. Um eine stärkere Färbung des Öls zu erhalten, löste ich darin Sudan heiß auf und bereitete die Emulsion erst nach der Abkühlung.

Versuch vom 17. VII. 1915.

Zu dem Kulturwasser fügte ich mit Sudan III gefärbte Öl-emulsion hinzu.

18. VII. 1915. Nach Verlauf von 24 Stunden untersuchte ich die Tiere bei sehr starker Vergrößerung und fand in ihren Darmzellen so viele Fetttropfen, daß der ganze Darm rot gefärbt erschien (Fig. 2, *a, f*). Die Fetttropfen lagen vorwiegend direkt im Plasma und nur einige von ihnen waren in Vakuolen eingeschlossen (Fig. 2, *a, v*). Nach sorgfältigem Abwaschen übertrug ich die Versuchstiere in ein Uhrglas mit reinem Wasser, um das Schicksal der aufgenommenen Fetttropfen zu verfolgen.

19. VII. 1915. Mit Hilfe von Immersionslinsen untersuchte Tiere enthielten im Zellplasma, wie am vorigen Tage, Fetttropfen, man konnte aber schon einen Unterschied in der Intensität der Färbung derselben wahrnehmen. Die Fetttropfen in den Vakuolen waren kleiner geworden und hatten ihre rote Färbung verloren.

20. VII. 1915. Die Fetttropfen in den Darmzellen erscheinen bereits farblos. Nach Behandlung mit Sudanlösung färben sie sich wieder intensiv rot. Die Fetttropfen in den Vakuolen sind kleiner geworden.

23. VII. 1915. Die entfärbten Fetttropfen im Plasma haben keine Veränderungen erlitten. In kleinen Vakuolen befinden sich neben den Fettröpfchen nur unregelmäßige rote Körnchen (Fig. 2, *c, v*). Einige Vakuolen haben an Größe bedeutend zugenommen, und in ihrer Flüssigkeit konnte man schöne, sternförmige, intensiv rot gefärbte Kristalle wahrnehmen (Fig. 2, *d, v*).

24. VII. 1915. Die Versuchstiere nehmen an Größe ab und gehen zugrunde, obwohl sie im Zellplasma noch unverdautes Fett enthalten.

Anstatt Öl und Butter verwendete ich zur Fütterung der Tiere auch Emulsion von flüssigem Paraffin. Die Tiere verschluckten nur einige wenige Paraffintropfen, um sie nach einigen Stunden auszusecheiden.

Die Entfärbung von Sudan in den Fetttropfen hat bereits Staniewicz bei Infusorien beschrieben. Aus seinen Beobachtungen geht klar hervor, daß Infusorien Fetttropfen gern aufnehmen und entfärben, aber nicht verdauen. Die Entfärbung geht schneller in Vakuolen als im Endoplasma vor sich. Nach diesem Verfasser bildet die Entfärbung von Sudan keinen Beweis für Fettverdauung, denn dieser Farbstoff reduziert sich sehr leicht und geht dabei in eine farblose chemische Verbindung über. Auch Eisenberg hat bei Bakterien die Reduktion dieses Farbstoffes bemerkt. Es ist also wahrscheinlich, daß ähnlich wie in den eben angeführten Untersuchungen die Entfärbung der Fetttropfen in den Darmzellen bei *Stenostomum* als ein Resultat von Reduktionsprozessen zu deuten ist.

Die Entfärbung geht gleichzeitig in Vakuolen und im Plasma vor sich; während aber die im Plasma liegenden Fetttropfen nach der Entfärbung keine Veränderungen erleiden, werden die Fetttropfen in den Vakuolen verdaut. Als Endprodukte der Fettspaltung bleiben in den Vakuolen kleine, kristallinische, rot gefärbte Gebilde zurück (Fig. 2). Diese Kristalle erreichen manchmal in den größeren Vakuolen bedeutende Größe und bilden sternartige, aus zarten Nadeln bestehende Gruppen. Sie sind den Fettsäurekristallen ähnlich. Es unterliegt also keinem Zweifel, daß Fette in den Vakuolen zuerst entfärbt und hierauf verdaut werden. Da die als Zerfallsprodukte zurückbleibenden Kristalle rotgefärbt sind, so ist es sehr wahrscheinlich, daß nach der Fettverdauung der Farbstoff wieder oxydiert wird. Daraus, daß, wie bereits gesagt wurde, die Darmzellen nur die nicht sehr zahlreichen, in den Vakuolen befindlichen Fetttropfen verdauen, die ganze Masse von Fetttropfen im Zellplasma dagegen unverändert bleibt, folgt, daß bei *Stenostomum* die Verdauung der Fettsubstanzen sehr langsam und nur bei geringen Mengen vorstatten geht.

Auch St. Hilaire bemerkte bei *Dendrocoelum*, daß die in Bläschen liegenden Fetttropfen sehr schnell verdaut werden, dagegen die Verdauung im Zellplasma sehr langsam vor sich geht. Die Fetttropfen bei *Dendrocoelum* werden in den Darmzellen gespalten, und aus den Spaltungsprodukten entstehen synthetisch neue Fetttropfen, welche als Vorratsmaterial im Zellplasma liegen bleiben.

Bei *Stenostomum* geht der Fettverdauungsprozeß anders vor sich. Die aufgenommenen Fetttropfen verschmelzen nicht, wie bei *Dendrocoelum*, mit den schon in den Darmzellen vorhandenen Elementen,

sondern werden in abgesonderten Vakuolen gespalten. Ich konnte die Entstehung von Fett aus den Spaltungsprodukten, z. B. aus den Fettsäurekristallen, nicht wahrnehmen, bin also der Meinung, daß *Stenostomum* aus den Spaltungsprodukten sein eigenes Fett nicht auf dem Wege der Synthese bildet.

Stoppenbrink bemerkte, daß die durch die Darmzellen aufgenommenen Fetttropfen im Zellplasma zerfallen und als außerordentlich kleine Tröpfchen in die Hautzellen gelangen. Bei *Stenostomum* konnte ich einen solchen Übergang der zerkleinerten, aber unverdauten Fetttropfen aus den Darmzellen in andere Körperteile nicht konstatieren.

#### Eiweißverdauung.

Den größten Teil der vom *Stenostomum* aufgenommenen Nahrungspartikeln bildet ohne Zweifel das tierische und pflanzliche Plasma, welches vorwiegend aus Eiweißstoffen besteht.

Zum Nachweis der Eiweißverdauung in den Darmzellen bei *Stenostomum* fütterte ich diese Würmer mit gekochtem und gut zerriebenem Hühnereiweiß, welches entweder gefärbt oder auch ungefärbt gereicht wurde. Die Färbung mit Alizarin, Kongorot und Methylorange erleichterte mir die Erkennung der aufgenommenen Eiweißpartikeln in den Darmzellen; gleichzeitig wies der Farbenwechsel auf die chemische Reaktion hin, bei welcher der Verdauungsprozeß verlief.

Der Verlauf der Eiweißverdauung wird aus folgenden, hier beispielshalber angeführten Versuchen ersichtlich:

Versuch vom 13. X. 1915.

Als Futter reichte ich den Versuchstieren gekochte und sehr zerkleinerte, mit Alizarinsulfat violettrot gefärbte Eiweißpartikeln.

Zur Kontrolle übertrug ich einige Tiere in ein anderes Uhrglas mit sehr verdünnter Alizarinlösung, um die färbbaren Plasmabestandteile von den aufgenommenen Eiweißpartikeln in diesem Versuche unterscheiden zu können.

14. X. 1915. In den Darmzellen befinden sich schon aufgenommene, violettrote Eiweißteilchen. Diese Tiere wurden in ein anderes Uhrglas mit reinem Wasser übertragen.

Bei den Kontrolltieren erscheinen in den Darmzellen einige wenige kleine Körnchen tingiert. Auch diese Tiere wurden in reines Wasser übertragen.



15. X. 1915. Rings um die aufgenommenen Eiweißpartikeln haben sich kleine, mit violettrot gefärbter Flüssigkeit erfüllte Vakuolen gebildet. Im Zellplasma kommen kleine, stärker lichtbrechende, ungefärbte Tropfen zum Vorschein.

Die Kontrolltiere haben an Größe abgenommen. Das Protoplasma der Darmzellen verliert sein körniges Aussehen, wie gewöhnlich beim Hungern.

16. X. 1915. In einigen Darmzellen befinden sich noch Vakuolen mit kleinen, unregelmäßigen, violettrot gefärbten Körnchen. Die übrigen Darmzellen enthalten bereits keine Vakuolen mehr, ihr Plasma ist dagegen reichlich mit kleinen, stärker lichtbrechenden Tröpfchen angefüllt. Bei Anwendung von Sudanlösung färben sich diese neuentstandenen, kleinen Tropfen intensiv rot (Fig. 1). Sie lösen sich in Xylol, Chloroform und Alkoholäther auf. Durch Osmiumsäure werden sie schwarz gefärbt. Im Darmlumen schwimmen die aus den Nahrungsvakuolen ausgeschiedenen und unverdauten Nahrungsreste.

Die übrigen Versuchstiere übertrag ich wieder in reines Wasser, um sie nach 24 Stunden weiter zu untersuchen.

Die zur Kontrolle bestimmten Tiere gehen unter Hungererscheinungen zugrunde.

18. X. 1915. Kleine Tropfen, welche sich nach der Verdauung der Eiweißstoffe in den Darmzellen gebildet haben, gelangen jetzt in die Hautzellen. Es sind zweifellos Tropfen derjenigen Substanz, welche ich früher in den Darmzellen gesehen habe, weil sie dasselbe Aussehen besitzen, durch Sudan gefärbt werden und sich auch in Xylol, Äther und Chloroform auflösen.

20. X. 1915. Die Tropfen sind aus den Hautzellen verschwunden. Die Darmzellen sind kleiner geworden, wie bei hungernden Tieren.

Dieselben Ergebnisse erhielt ich auch bei Anwendung von fein zerriebenen Hefezellen, wie aus folgendem Versuche zu ersehen ist.

Versuch vom 29. X. 1915.

Einige Tiere übertrag ich in ein Uhrglas mit reinem Wasser und fütterte sie mit Hefezellen.

31. X. 1915. Im Darmlumen kann man lebende Hefezellen wahrnehmen, während sie in den Darmzellen fehlen. Bei Anwendung von alkoholischer Sudanlösung konnte keine Spur von Fettsubstanzen nachgewiesen werden.

Die Darmzellen sind nicht imstande, die Hefezellen wegen ihrer Größe aufzunehmen, zur Fütterung der Würmer eigneten sich also nur sehr gut zerriebene Hefezellen.

Versuch vom 1. XI. 1915.

Einige Tiere übertrug ich in ein Uhrglas mit Wasser, in welchem sich gut zerriebene Hefezellen befanden.

3. XI. 1915. In den Darmzellen der Versuchstiere sind bereits große Tröpfchen zu sehen, welche bei Anwendung von alkoholischer Sudanlösung rote Farbe annehmen. Einen Teil der Versuchstiere übertrug ich in reines Wasser.

5. XI. 1915. Die Tropfen sind aus den Darmzellen verschwunden. Die Tiere färben sich mit Sudanlösung nicht mehr.

Untersuchungen an Tieren, denen mit Alizarin gefärbtes Eiweiß als Nahrung verabreicht wurde, beweisen, daß die Eiweißverdauung in der Vakuolenflüssigkeit in alkalisch reagierendem Medium vor sich geht. Der Verdauungsprozeß verläuft in diesem Falle in ähnlicher Weise wie bei Protozoen. Bei Anwendung mit Kongorot gefärbten Hühnereiweißes kann man in den Darmzellen verschieden gefärbte Partikeln unterscheiden. Die einen von ihnen sind gelbrot, die anderen rot mit einem Stich ins Violette. Diese Farbenveränderung weist auf die Gegenwart einer schwachen Säure hin, welche vor Beginn der Verdauung in die Vakuolenflüssigkeit ausgeschieden wird. Auf Grund dieser Reaktionen vermute ich, daß die eiweißverdauenden Enzyme bei *Stenostomum* dem Trypsin ähnlich sein können, weil sie in neutralem, alkalischem oder aber auch in schwach saurem Medium ihre Wirkung entfalten können.

Die durch Darmzellen aufgenommenen Eiweißpartikeln lösen sich in den Nahrungsvakuolen auf. Diese Vakuolen werden dann kleiner, und gleichzeitig entstehen im Zellplasma kleine Tropfen, welche ähnliche Reaktionen aufweisen wie echte Fettsubstanzen. Die nach der Eiweißverdauung in den Darmzellen entstehende Substanz gelangt in andere Körperzellen und verschwindet nachher in kurzer Zeit.

Obwohl die Frage nach der Entstehung von Fett aus den Produkten der Eiweißverdauung noch nicht entschieden ist, kann ich auf Grund meiner Beobachtungen doch annehmen, daß sich in den Darmzellen bei *Stenostomum* Fett aus den Zerfallsprodukten der Eiweißstoffe synthetisch bildet.

Ähnliche Beobachtungen wurden bereits früher von anderen

BULLETIN INTERNATIONAL  
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE CRACOVIE  
CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES.

SÉRIE B: SCIENCES NATURELLES.

DERNIERS MÉMOIRES PARUS.

(Les titres des Mémoires sont donnés en abrégé).

- Wl. Szafer. Anatomische Studien über javanische Pilzgallen II . . . Mai 1915  
 F. Rogoziński. Beiträge zur Biochemie des Phosphors . . . . . Mai 1915  
 K. Klecki. Über mechanische Erscheinungen in der Gewebeskultur . . . Mai 1915  
 Wl. Szafer. Die pflanzengeographischen Anschauungen Pol's . . . Juin—Juill. 1915  
 A. J. Żmuda. Über die Vegetation der Tatraer Höhlen . . . . . Juin—Juill. 1915  
 St. Jentys. Gehalt des Hafers an Phosphorsäure . . . . . Juin—Juill. 1915  
 A. Wodziczko. Zur Kenntnis von *Trichomanes Asnykii* Rac. . . . . Juin—Juill. 1915  
 H. Hoyer, Wl. Michalski. Das Lymphgefäßsystem bei Fo-  
 rellenembryonen . . . . . Juin—Juill. 1915  
 J. Grochmalicki. Zur Kenntnis der Süßwasserfauna Javas . . . . . Juin—Juill. 1915  
 A. Wróblewski. Neue parasitische Pilzarten aus Polen . . . . . Oct.—Déc. 1915  
 A. Lityński. Litauische Cladoceren . . . . . Oct.—Déc. 1915  
 J. Wołoszyńska. Polnische Süßwasser-Peridineen . . . . . Oct.—Déc. 1915  
 S. Fedorowicz. Drüsenformen der Rhinanthoideae-Rhinantheae . . . . . Oct.—Déc. 1915  
 M. Raciborski. Pontische Pflanzen der polnischen Flora . . . . . Oct.—Déc. 1915  
 M. Kowalewski. *Marionina tatrensis* . . . . . Janv.—Mars 1916  
 A. Lityński. Extremitäten der Cladoceren . . . . . Janv.—Mars 1916  
 A. Wodziczko. Chemische Reaktion der Endodermiszellen . . . . . Janv.—Mars 1916  
 A. Żmuda. Auffallende Mutation von *Apera spica venti* . . . . . Janv.—Mars 1916  
 K. Kwietniewski. Längsteilung bei *Actinia Cari* . . . . . Janv.—Mars 1916  
 S. Minkiewicz. Neue und wenig bekannte Crustaceen . . . . . Avril—Mai 1916  
 L. Popielski. Die Sekretion des Pankreassaftes . . . . . Avril—Mai 1916  
 M. Kowalewski. *Amphichaeta leydigi* . . . . . Avril—Mai 1916  
 F. Rogoziński. Beiträge zur Biochemie des Phosphors, II . . . . . Avril—Mai 1916  
 Ed. Janczewski. Hybride du Groseillier . . . . . Avril—Mai 1916  
 N. Cybulski. Zur Thermodynamik der Muskeln . . . . . Avril—Mai 1916  
 A. J. Żmuda. Die polnischen *Gentiana*-Arten . . . . . Juin—Juillet 1916  
 L. Warchoń. Über den Einfluß des Adrenalins auf die se-  
 kretorische Tätigkeit der Unterkieferdrüse . . . . . Juin—Juillet 1916  
 Z. Tomaszewski. Chemische Erreger der Magendrüsen . . . . . Juin—Juillet 1916  
 K. Roupert. Pflanzliche Brennhaare . . . . . Juin—Juillet 1916  
 A. J. Żmuda. Die polnischen *Knautia*-Arten . . . . . Juin—Juillet 1916  
 W. Stefański. Freilebende Nematoden aus Polen. II. Teil . . . . . Juin—Juillet 1916  
 Z. Tomaszewski. Chemische Reize der Magendrüsen . . . . . Juin—Juillet 1916  
 F. Czubalski. Die chemischen Reize der Nerven . . . . . Juin—Juillet 1916

## TABLE DES MATIÈRES.

Octobre 1916.

	Page
F. CZUBALSKI. Die chemischen Reize der Nerven (Schluß) . . .	193
M. KOWALEWSKI. Some remarks upon the reproductive organs in the genus <i>Chaetogaster</i> v. Baer 1827 . . . . .	201
C. BASSALIK. Über die Rolle der Oxalsäure bei den grünen Pflanzen. I. Die Zersetzung der Oxalsäure bei <i>Rumex</i> <i>acetosa</i> . . . . .	203
S. JACEK. Untersuchungen über den Stoffwechsel der rhabdoco- len Turbellarien . . . . .	241

Le »*Bulletin International*« de l'Académie des Sciences de Cracovie (Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles) paraît en deux séries: la première (A) est consacrée aux travaux sur les Mathématiques, l'Astronomie, la Physique, la Chimie, la Minéralogie, la Géologie etc. La seconde série (B) contient les travaux qui se rapportent aux Sciences Biologiques. Les abonnements sont annuels et partent de janvier. Prix pour un an (dix numéros): Série A . . . 8 K: Série B . . . 10 K.

Les livraisons du »*Bulletin International*« se vendent aussi séparément.

Adresser les demandes à la Librairie »G. Gebethner & Cie«  
Rynek Gł., Cracovie (Autriche).

Prix 1 K. 50 h.