

In wie weit stimmen der Pflanzenkörper und der Tierkörper in ihrer chemischen Zusammensetzung überein und in wie fern gleicht der pflanzliche Stoffwechsel dem tierischen?

Von

E. Schulze.

(Der Naturforsch. Gesellschaft in Zürich vorgetragen am 26. Febr. 1894.)

Es gab bekanntlich eine Zeit, in welcher man der Ansicht war, dass die chemische Zusammensetzung der Pflanzen von derjenigen der Tiere sehr weit abweiche — so weit, dass man füglich von einem Gegensatz reden könne. Diese Anschauung findet ihren Ausdruck in der Art und Weise, in welcher man in den chemischen Lehrbüchern die organischen Verbindungen einzuteilen pflegte; man unterschied geradezu Pflanzenstoffe und Tierstoffe¹⁾. Wenn man auch auf Grund unseres gegenwärtigen Wissens diese Einteilung für ganz ungeeignet erklären muss, so kann man sich doch nicht darüber wundern, dass sie lange Zeit im Gebrauch war. Denn wenn man aller der Alkaloide, Glucoside, Gerbstoffe, Harze, ätherischen Oele, Bitterstoffe und Farbstoffe gedenkt, welche bis jetzt nur aus Pflanzen dargestellt werden konnten, wenn man sich ferner daran erinnert, dass auch der tierische Organismus so manchen eigenartigen Stoff einschliesst, so wird man es begreiflich finden, dass man früher die chemische Zusammensetzung des Pflanzen-

¹⁾ Diese Einteilung findet sich z. B. noch in der im Jahre 1854 erschienenen 5. Auflage des Leitfadens der organischen Chemie von F. Wöhler.

körpers für ganz verschieden von derjenigen des Tierkörpers hielt — es erklärt sich ferner, dass man auch dem pflanzlichen Stoffwechsel wenig Aehnlichkeit mit dem tierischen beimessen wollte. Die Unrichtigkeit dieser Anschauungen musste hervortreten, sobald man die Pflanzen nicht bloss auf die durch eigentümlichen Geschmack oder Geruch oder durch giftige oder heilkräftige Wirkung oder durch andere hervorstechende Eigenschaften ausgezeichnete Stoffe untersuchte, sondern die Aufmerksamkeit auch den Substanzen zuwendete, welche vorzugsweise als physiologisch thätig in den Pflanzen angesehen werden können oder andrerseits in der Zusammensetzung des Pflanzenkörpers der Quantität nach einen hervorragenden Anteil nehmen. Man fand, dass drei Gruppen organischer Stoffe, welche auch Hauptbestandteile des Tierkörpers bilden¹⁾, nämlich die Eiweisstoffe, die Kohlenhydrate und die Fette, hauptsächlich den Pflanzenkörper aufbauen und dass die Stoffwechselforgänge im pflanzlichen wie im tierischen Organismus vorzugsweise Glieder dieser Stoffgruppen betreffen. Man fand ferner, dass es auch im Wesentlichen die gleichen anorganischen Stoffe sind, welche bei der Ernährung und beim Aufbau des Pflanzen- wie des Tierkörpers eine Rolle spielen — dass hier wie dort den Alkalien, dem Kalk, dem Eisen, der Phosphorsäure grosse Wichtigkeit zukommt. Die Ueberzeugung, dass in diesen Punkten Uebereinstimmung zwischen Pflanze und Tier sich findet, ist schon lange die herrschende. Die neueren Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die Uebereinstimmung eine noch viel

¹⁾ Allerdings treten im Tierkörper die Kohlenhydrate gegenüber den beiden anderen Stoffgruppen der Quantität nach stark zurück.

weitergehende ist, dass es ausser den oben genannten Substanzen noch eine Anzahl anderer Stoffgruppen oder einzelner Stoffe giebt, welche sowohl in der Pflanze wie im Tier sich finden und dass der pflanzliche Stoffwechsel noch in manchen anderen Punkten Aehnlichkeit mit dem tierischen zeigt. Ich will nun darzulegen versuchen, wie nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen die Sache sich darstellt. Dass ich diesen Gegenstand zum Thema eines Vortrages gewählt habe, hat noch einen besonderen Grund; ich darf vielleicht behaupten, dass auch die aus meinem Laboratorium hervorgegangenen Untersuchungen eine Anzahl von Thatsachen ans Licht gebracht haben, welche hier mit in Betracht kommen können.

Was ich mitzuteilen habe, zerfällt naturgemäss in zwei Teile; zuerst habe ich die chemische Zusammensetzung des Pflanzenkörpers mit derjenigen des Tierkörpers, später den pflanzlichen Stoffwechsel mit dem tierischen zu vergleichen.

Da den Eiweisstoffen, den Kohlenhydraten und den Fetten im pflanzlichen wie im tierischen Organismus eine besonders grosse Wichtigkeit zukommt, so empfiehlt es sich, zunächst diese Substanzen ins Auge zu fassen und die Frage zu stellen, in wie weit die pflanzlichen Eiweisstoffe, Fette und Kohlenhydrate mit den tierischen übereinstimmen.

Was die Eiweisstoffe betrifft, so ist allerdings zu sagen, dass nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen keine der bis jetzt unterschiedenen und mit besonderen Namen belegten tierischen Eiweissubstanzen mit einem pflanzlichen Eiweisstoff identisch ist; man kann also behaupten, dass andere Eiweisstoffe im Tier vorkommen, als in der Pflanze. Andererseits aber zeigen die pflanz-

lichen Eiweisskörper sowohl in ihrer Zusammensetzung wie in ihren Eigenschaften die grösste Aehnlichkeit mit den tierischen; sie geben dieselben Reaktionen und liefern die gleichen Zersetzungsprodukte, wie diese — mag man nun die Zersetzung durch Säuren oder Alkalien oder andere Agentien bewerkstelligen. Hin und wieder ist vorübergehend eine gegenteilige Behauptung ausgesprochen worden; so wurde z. B. nach Entdeckung des mit dem Namen Glutaminsäure belegten Produktes der Eiweisspaltung anfangs angegeben, dass es nur aus pflanzlichen Eiweisstoffen entstehe; bald aber wurde diese Annahme als unrichtig erkannt. Aus der Uebereinstimmung der bei der Spaltung entstehenden Produkte wird man aber zu schliessen haben, dass die chemische Konstitution der tierischen und der pflanzlichen Eiweisstoffe die gleiche ist. Ferner sind Vertreter der Gruppen, in welche man die tierischen Eiweisstoffe wohl eingeteilt hat, nämlich der Albumine, Globuline und Nucleoalbumine¹⁾, auch in den Pflanzen gefunden worden. Zur ersten Gruppe rechnet man das aus klaren Pflanzensäften oder Pflanzenextrakten beim Erhitzen sich abscheidende Pflanzenalbumin, dessen Eigenschaften freilich, abgesehen von seiner Koagulierbarkeit, nur wenig untersucht sind. Dass in den Pflanzensamen Eiweissubstanzen vorkommen, welche mit den tierischen Globulinen die Löslichkeit in Kochsalzlösung sowie auch andere Eigenschaften teilen, ist durch Hoppe-Seyler und seine Schüler C. Schmidt und A. Weyl²⁾, später auch durch Andere, nachgewiesen

¹⁾ Doch rechnet R. Neumeister (Lehrbuch der physiol. Chemie, I., S. 34) die Nucleoalbumine nicht zu den eigentlichen Eiweisstoffen, sondern zu den Proteiden.

²⁾ Zeitschrift für physiologische Chemie, Bd. 1, S. 72. Es sei bemerkt, dass ich weder an dieser Stelle noch später voll-

worden. Zöller¹⁾ fand Globuline auch in den Kartoffelknollen vor. Auch das Vorkommen von Nucleo-Albuminen in den Pflanzen wird angegeben²⁾. Hält man alles zusammen, was man über die tierischen und pflanzlichen Eiweisstoffe bis jetzt weiss, so zeigt sich eine sehr grosse Aehnlichkeit dieser Substanzen. Man darf vielleicht annehmen, dass die pflanzlichen Eiweisstoffe von den im Körper eines höheren Tieres enthaltenen Stoffen dieser Art nicht mehr abweichen, als letztere von den in niederen Tieren vorkommenden Eiweissubstanzen.

Eine noch grössere Aehnlichkeit als zwischen den pflanzlichen und tierischen Eiweisstoffen zeigt sich zwischen den pflanzlichen und tierischen Fetten. Bekanntlich bestehen die letzteren aus Glyceriden, d. h. aus esterartigen Verbindungen des Glycerins mit Fettsäuren. Es ist nun darauf hinzuweisen, dass nicht nur die pflanzlichen wie die tierischen Fette Triglyceride sind, sondern dass auch diejenigen Fettsäuren, welche in den tierischen Fetten hauptsächlich mit dem Glycerin verbunden sind, nämlich die Stearinsäure, Palmitinsäure und Oelsäure, auch in den pflanzlichen Fetten in grosser Verbreitung vorkommen. In geringer Menge findet man in den tierischen Fetten aber noch manche andere Fettsäuren, denen man auch in den Fetten pflanzlichen Ursprungs begegnet. So kommt z. B. die Myristinsäure, welche aus dem Fett der Muskatnüsse (Frucht von *Mystica moschata*) isolirt wurde, auch im

ständige Litteratur-Nachweise zu geben beabsichtige, da solche einen zu grossen Raum beanspruchen würden.

¹⁾ Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, Bd. 13, S. 1064.

²⁾ Hammarsten, Lehrbuch der Physiologischen Chemie. Deutsche Ausgabe, 1891, S. 19.

Wallrath sowie nach Lassar-Cohn¹⁾ in der Rindsgalle vor; Arachinsäure und Caprinsäure, zwei aus dem Erdnussöl, bezw. aus dem Kokosnussöl darstellbare Fettsäuren, finden sich nach den Untersuchungen von Heintz auch im Butterfett. Dass daneben die pflanzlichen Glyceride noch manche andere Säuren einschliessen, welche im tierischen Fett bis jetzt nicht gefunden wurden, ist nur ein Beweis für die auch bei anderen Stoffgruppen hervortretende grössere Mannigfaltigkeit der pflanzlichen Produkte²⁾.

Was drittens die Kohlenhydrate betrifft, so weiss man schon seit langer Zeit, dass eine in den Pflanzen sehr verbreitete Zuckerart, nämlich der Traubenzucker, sich in geringer Menge auch im Tierkörper findet³⁾; im Uebrigen schien man früher annehmen zu müssen, dass in den Pflanzen andere Kohlenhydrate enthalten sind, als in den Tieren. In den letzteren fand man Glykogen und Milchzucker; ferner ist das Spaltungsprodukt des letzteren, die Galactose, zu nennen, welche im Gehirn enthalten ist⁴⁾, freilich nicht frei, sondern in Verbindung mit einem stickstoffhaltigen Atomkomplex. In den Pflanzen wurden dagegen Rohrzucker, Stärkemehl, Inulin, Cellulose und viele andere hier nicht zu erwähnende Kohlenhydrate gefunden. Die neueren

¹⁾ Berichte der Deutschen Chem. Gesellschaft, Bd. 25, S. 1829.

²⁾ Nahe verwandt mit den Fetten sind bekanntlich die wachsartigen Stoffe. Dass auch die tierischen und die pflanzlichen Wachssubstanzen in ihrer Konstitution übereinstimmen, soll hier nur beiläufig erwähnt werden.

³⁾ Den Inosit, welcher sowohl im Fleischsaft wie in manchen vegetabilischen Substanzen vorkommt, rechnet man jetzt nicht mehr zu den Kohlenhydraten.

⁴⁾ Nach Thierfelder, Zeitschrift für physiolog. Chemie, Bd. 14, S. 209.

Untersuchungen haben aber gezeigt, dass auch in Bezug auf die Stoffe dieser Gruppe zwischen Tieren und Pflanzen in einer Reihe von Punkten Uebereinstimmung stattfindet. Das Glykogen, früher auch als tierisches Stärkmehl bezeichnet, ist in niederen Pflanzen und zwar sowohl in Algen wie in Pilzen nachgewiesen worden. Hat man auch Galactose bis jetzt nicht fertig gebildet in Pflanzen vorgefunden, so weiss man doch, dass Anhydride dieser Zuckerart, d. h. Substanzen, welche bei der hydrolytischen Spaltung in Galactose übergehen, in den Pflanzen verbreitet sind; sie finden sich z. B. in den Zellwandungen. Auch kommen zuckerähnliche Stoffe vor, welche bei der Spaltung neben anderen Glucosen Galactose geben, wie z. B. die Raffinose und die Stachyose; es ist demnach wahrscheinlich, dass auch fertig gebildete Galactose in Pflanzensäften vorkommen kann, obwohl man sie bis jetzt noch nicht daraus isolirt hat. In dem Saft einer tropischen Pflanze soll nach einer Angabe, welche vielleicht noch der Bestätigung bedarf, auch Milchzucker vorkommen¹⁾. In niederen Tieren, nämlich in den Tunicaten, hat man sodann eine als Tunicin oder Tiercellulose bezeichnete Substanz gefunden, welche von verschiedenen Chemikern, zuletzt in meinem Laboratorium von E. Winterstein²⁾ untersucht wurde. Nach diesen Untersuchungen ist sie der pflanzlichen Cellulose sehr ähnlich und vielleicht sogar mit letzterer identisch; sie hat dieselbe Zusammensetzung, giebt dieselben Reaktionen und liefert die gleichen Umwandlungsprodukte, wie Pflanzencellulose. Das Vor-

¹⁾ Und zwar in den von Bouchardat untersuchten Früchten von *Achras sapota* aus Martinique, vgl. Tollens, Handbuch der Kohlenhydrate, S. 144.

²⁾ Zeitschrift für physiologische Chemie, Bd. 18, S. 43.

kommen der Tiercellulose beschränkt sich aber nach den Untersuchungen Ambronn's¹⁾ nicht auf die Tunicaten; die genannte Substanz findet sich vielmehr noch in manchen anderen Tieren vor z. B. in Cephalopoden, Crustaceen, Myriapoden, Bienen, Spinnen und Heuschrecken; allerdings ist sie aus diesen Tieren meistens nicht isolirt, sondern nur durch ihre Reaktionen nachgewiesen worden. Endlich kommt im menschlichen Gehirn²⁾ sowie in niederen Tieren eine Substanz vor, welche nach ihrem Verhalten, insbesondere nach der Blaufärbung durch Jod, als ein dem Stärkmehl ähnlicher oder vielleicht sogar mit letzterem identischer Stoff angesehen werden kann; einige Forscher bezeichnen sie als Paramylum. Nach einigen Notizen, welche ich der Gefälligkeit des Herrn Professor C. Keller verdanke, ist diese Substanz in Radiolarien, in Geisselinfusorien oder Flagellaten, in Spongien, Medusen und Würmern nachgewiesen worden. Allerdings ist sie bei einigen dieser Objekte Bestandteil der sogenannten gelben Zellen, welche man als eingewanderte einzellige Algen ansieht; doch gilt dies nicht für Geisselinfusorien und Spongien. Das chemische Verhalten dieser Substanz ist freilich noch nicht eingehend studirt worden.

Neben den Eiweissstoffen, Fetten und Kohlenhydraten lassen sich noch manche andere Stoffgruppen und einzelne Stoffe aufzählen, welche sowohl im Pflanzen- wie im Tierkörper vorkommen. Zunächst will ich drei Stoffgruppen nennen, denen man allgemeine Verbreitung in den pflanzlichen wie in den tierischen Zellen zuschreibt; es sind dies die Nucleine, die Lecithine und die Cholesterine.

¹⁾ Mittheilungen aus der zoologischen Station in Neapel, Bd. 9, S. 475. Jahresbericht für Tierchemie, Bd. 20, S. 318.

²⁾ L. Hermann, Lehrbuch der Physiologie, 10. Aufl., S. 24.

Die Nucleine sind bekanntlich kompliziert zusammengesetzte Verbindungen, welche Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Phosphor, meistens auch noch Schwefel, einschliessen. Von den Eiweissstoffen unterscheiden sie sich durch Unlöslichkeit in Pepsin-Salzsäure. Man teilt sie in drei Gruppen; die Glieder der beiden ersten Gruppen liefern bei der Zersetzung neben anderen Produkten Eiweissstoffe, die Glieder der dritten Gruppe dagegen nicht¹⁾. Die von L. Liebermann durch Einwirkung von Metaphosphorsäure auf Eiweissstoffe dargestellten nucleinartigen Substanzen scheinen mit den Gliedern einer der ersten Gruppen identisch zu sein²⁾. Die Nucleine bilden Hauptbestandteile der Zellkerne; sie werden aber auch aus den als Nucleo-Albumine bezeichneten Proteinsubstanzen abgespalten, wenn man die letzteren mit Pepsinsalzsäure behandelt. Die näher untersuchten Nuclein-Präparate sind vorzugsweise aus tierischen Substanzen und aus Hefe dargestellt worden, man hat jedoch auch konstatiert, dass die verschiedensten vegetabilischen Substanzen bei der Behandlung mit Verdauungsflüssigkeit stickstoffhaltige Rückstände geben und die bei Untersuchung der letzteren gemachten Beobachtungen entsprechen der Annahme, dass sie Nucleine einschliessen³⁾.

Was die Lecithine betrifft, so ist die Annahme von der grossen Verbreitung derselben im pflanzlichen wie im tierischen Organismus zuerst durch Hoppe-

¹⁾ Hoppe-Seyler, Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse, 5, Auflage, S. 303.

²⁾ M. vgl. Malfatti, zur Kenntnis der Nucleine, Zeitschrift für physiol. Chemie, Bd. 16, S. 68.

³⁾ M. vgl. z. B. die Arbeit von Klinkenberg, Zeitschrift für physiol. Chemie, Bd. 6, S. 566.

Seyler¹⁾ ausgesprochen worden. Diese Annahme stützte sich auf die Wahrnehmung, dass ätherische Pflanzenextrakte in der Regel phosphorhaltig sind und dass man bei der Verseifung derselben neben den Umwandlungsprodukten der Fette auch Produkte erhält, wie sie bei der Verseifung des Lecithins entstehen, insbesondere das leicht nachweisbare Cholin. Likiernik und ich²⁾ haben dann vor einigen Jahren ein Verfahren ausfindig gemacht, vermittelst dessen man aus vegetabilischen Substanzen, z. B. aus Pflanzensamen, Lecithin isolieren kann. Das so gewonnene Produkt stimmte in den wesentlichsten Eigenschaften mit dem tierischen Lecithin überein und gab die gleichen Zersetzungsprodukte wie dieses, nämlich Cholin, Glycerinphosphorsäure und fette Säuren.

Die dritte der oben genannten Stoffgruppen bilden die Cholesterine³⁾. Für diese Substanzen gilt etwas Aehnliches wie für die Eiweisssubstanzen; keines der aus Pflanzen bisher abgeschiedenen Cholesterine ist identisch mit dem gewöhnlichen tierischen Cholesterin, wie es z. B. aus der Galle und aus dem Gehirn dargestellt werden kann; man hat die ersteren daher auch mit besonderen Namen (Paracholesterin, Phytosterin, Paraphytosterin etc.) belegt. Aber die Verschiedenheit dieser Substanzen vom gewöhnlichen Cholesterin ist nur eine

¹⁾ Medicinisch-chemische Untersuchungen, I, S. 141, 215 und 219, sowie im Handbuch der physiol. Chemie, S. 79.

²⁾ Zeitschr. für physiol. Chemie, Bd. 15. S. 405.

³⁾ Für die Verbreitung der Cholesterine in den Pflanzen sind zuerst von Beneke (Ann. Chem. Pharm. Bd. 122, S. 249) und Hoppe-Seyler (Tübinger medicinisch-chemische Untersuchungen beigebracht worden. Später sind von vielen anderen Forschern aus den Pflanzen dargestellte Cholesterine näher untersucht worden.

sehr geringe; sie beschränkt sich fast nur auf Differenzen im Schmelzpunkt und im spezifischen Drehungsvermögen, während z. B. die Reaktionen überall fast die gleichen sind¹⁾.

Verbreitet im Tierkörper ist als Bestandteil des Lecithins auch das Cholin oder Trimethyläthoxyliumhydroxyd. Ob es frei im Tierkörper vorkommt, weiss man nicht bestimmt; doch ist dies insofern nicht unwahrscheinlich, als das in der tierischen Nahrung enthaltene Lecithin im Verdauungsprozess gespalten wird, wobei vermutlich Cholin entsteht. In den Pflanzen findet sich das Cholin nicht nur als Bestandteil des Lecithins, sondern auch in anderer Verbindung, wahrscheinlich in Form von Salzen, in grosser Verbreitung vor; insbesondere hat man es aus vielen Pflanzensamen isolieren können²⁾. Verwandt mit dem Cholin ist das Betain oder Trimethylglycocol, welches zuerst in *Lycium barbarum* und im Saft von *Beta vulgaris*, später auch in manchen andern Pflanzen gefunden worden ist. Betain ist nach

¹⁾ Die staunenswerte Mannigfaltigkeit der Pflanzenbestandteile zeigt sich auch bei den Stoffen dieser Art. Nicht nur ist die Anzahl der bis jetzt aus den Pflanzen dargestellten Cholesterine eine sehr beträchtliche, sondern es kommen auch neben denselben noch zwei nahe verwandte Stoffgruppen vor, deren Glieder im Molekül auf die gleiche Anzahl von Kohlenstoff-Atomen, teils weniger, teils mehr Wasserstoff enthalten, als die Cholesterine, so dass sie weder als Homologe noch als Isomere der letzteren angesehen werden können. Zu der einen dieser Stoffgruppen gehören das von A. Likiernik in meinem Laboratorium untersuchte Lupeol ($= C^{26}H^{42}O$), sowie Vesterberg's $\alpha =$ und $\beta =$ Amyrin ($= C^{30}H^{50}O$), zu der zweiten einige von O. Hesse beschriebene Körper (Quebrachol Cupreol etc.) sowie das von Likiernik untersuchte Phasol.

²⁾ M. vgl. z. B. Zeitschrift für physiol. Chemie, Bd. 12, S. 414, sowie Berichte der D. Chem. Gesellschaft, Bd. 26, S. 2151.

Liebreich¹⁾ auch im menschlichen Harn in geringer Menge enthalten. Brieger fand es in einer Muschelart (*Mytilus edulis*²⁾).

Verbreitet im pflanzlichen wie im tierischen Organismus sind auch die Körper der Xanthin- und Hypoxanthin-Gruppen, welche man häufig auch wohl zusammen als Xanthin-Stoffe bezeichnet. Es sind dies stickstoffreiche basische Substanzen, welche eine gewisse Verwandtschaft mit der Harnsäure zu haben scheinen. Die wichtigsten von ihnen sind Xanthin, Guanin, Hypoxanthin und Adenin. Nach A. Kossel's Untersuchungen entstehen sie bei der Zersetzung von Nucleinen; sie werden demgemäss auch wohl Nuclein-Basen genannt. Dass diese Stoffe auch in den Pflanzen verbreitet sind, ist sowohl durch Kossel³⁾ wie durch Andere⁴⁾ bewiesen worden. Verwandt mit diesen Stoffen sind zwei schon lange bekannte Pflanzenbestandteile, nämlich das Theobromin und das Caffein; das erstere ist, seiner Konstitution nach, Dimethylxanthin, das zweite Trimethylxanthin. Diesen Stoffen schliesst sich das

¹⁾ Berichte der D. Chem. Gesellschaft, Bd. 2, S. 12 und 167.

²⁾ Ueber Ptomaine, III, S. 77.

³⁾ Kossel's Arbeiten, denen wir einen grossen Teil unserer Kenntnisse über diese Stoffe verdanken, finden sich in der Zeitschr. für physiol. Chemie, Bd. 3—19.

⁴⁾ Ich verweise z. B. auf folgende Mitteilungen: G. Salomon, über das Vorkommen von Xanthin-Körpern in Keimpflanzen, (Verhandlungen der physiol. Gesellschaft in Berlin, 1880—81, No. 2 und 3), E. Schulze, über das Vorkommen von Hypoxanthin im Kartoffelsaft (Landw. Versuchsstat., Bd. 28, S. 111), E. Schulze und E. Bosshard, zur Kenntnis des Vorkommens von Allantoin, Asparagin, Hypoxanthin und Guanin in den Pflanzen (Zeitschr. für physiol. Chemie, Bd. 9, S. 420), Baginski, über das Vorkommen von Hypoxanthin und Xanthin im Thee (Zeitschr. für physiol. Chemie, Bd. 8, S. 395).

durch Kossel¹⁾ in den Theeblättern aufgefundenene Theophyllin an, welches gleichfalls ein Dimethylxanthin ist. In Beziehung zu den Substanzen der Xanthingruppe steht auch das in mehreren vegetabilischen Objekten vorkommende Vernin²⁾, welches beim Erhitzen mit Salzsäure Guanin liefert.

Häufig gefunden im tierischen Organismus werden auch manche Amidosäuren, insbesondere Leucin oder Amidocaprinsäure und Tyrosin oder Oxyphenylalanin; seltener kommt Butalanin oder Amidovaleriansäure vor. Diese Substanzen bieten insofern ein besonderes Interesse dar, als sie bei der Zersetzung von Eiweissstoffen auftreten; dass sie auch bei der Bildung von Harnstoff aus Eiweissubstanzen als Zwischenprodukte entstehen, ist wahrscheinlich, wenn es auch bis jetzt nicht mit Sicherheit bewiesen werden konnte. Auch diese Substanzen sind in den Pflanzen gefunden worden. So hat man z. B. Leucin und Tyrosin sowohl aus etiolierten Kürbiskeimlingen³⁾ wie aus dem Saft der Kartoffelknollen⁴⁾ isolieren können. Leucin ist auch in etiolierten Wickenkeimlingen⁵⁾, Tyrosin in den Stachys- und Dahlia-Knollen⁶⁾ gefunden worden. Amidovalerian-

¹⁾ Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 13, S. 298.

²⁾ E. Schulze und E. Bosshard, Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 10, S. 80, sowie A. von Planta und E. Schulze, ebendasselbst, S. 326.

³⁾ E. Schulze und J. Barbieri, Journ. f. prakt. Chemie, Bd. 20, S. 385, sowie Bd. 32, S. 433.

⁴⁾ Dieselben, Landw. Versuchsstationen, Bd. 24, S. 167.

⁵⁾ v. Gorup-Besanez, Ber. d. D. Chem. Gesellschaft, Bd. 7, S. 146 und 569; Cossa, ebendasselbst, Bd. 8, S. 2.

⁶⁾ A. von Planta, Berichte d. D. Chem. Gesellschaft, Bd. 23, S. 1699 und A. Leitgeb, Botan. Centralblatt, 1888 S. 356.

säure wurde in etiolierten Lupinen- und Wickenkeimlingen¹⁾ nachgewiesen²⁾).

Von den beim Zerfall der Eiweißstoffe oder anderer Bestandteile des Organismus entstehenden Stickstoffverbindungen sind stets fünf recht eigentlich als tierische Stoffe angesehen worden, nämlich der Harnstoff, die Harnsäure, das Allantoin, das Kreatin und das Kreatinin. Von diesen fünf Stoffen ist einer auch in Pflanzen nachgewiesen worden, nämlich das Allantoin — bekanntlich auch ein Produkt der Oxydation der Harnsäure. Von mir wurde dasselbe in den jungen Sprossen der Platane und zweier Ahorn-Arten aufgefunden³⁾; Richardson und Crampton⁴⁾ fanden es später auch im ruhenden Keim des Weizenkorns, und dieser Befund ist durch Versuche, welche S. Frankfurt in meinem Laboratorium ausführte, bestätigt worden. Dass in letzterem Falle das Auftreten des Allantoins sich, ebenso wie es im tierischen Organismus beobachtet wurde, an den Embryonalzustand knüpft, ist vielleicht nicht zufällig.

Wenn Harnstoff im Pflanzenorganismus noch nicht gefunden wurde, so kommt doch wenigstens das demsel-

¹⁾ E. Schulze und J. Barbieri, Journ. f. prakt. Chemie, N. F., Bd. 27, S. 337, sowie E. Schulze, Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 17, S. 193.

²⁾ Andere Angaben über das Vorkommen von Amidosäuren in Pflanzen finden sich noch bei Palladin (Ber. der D. Botan. Gesellschaft, Bd. 6, S. 296) und E. Belzung (Ann. Scienc. natur. Botanique, T. XV, p. 203).

³⁾ Journ. f. prakt. Chemie, N. F., Bd. 25, S. 145, sowie Zeitschrift f. physiol. Chemie, Bd. 9, S. 420. Die bezüglichen Untersuchungen wurden von mir unter Mitwirkung von J. Barbieri und E. Bosshard ausgeführt.

⁴⁾ Berichte d. D. Chem. Gesellschaft, Bd. 19, S. 1180.

ben verwandte Guanidin darin vor; ich habe das letztere aus etiolirten Wickenkeimlingen isolieren können¹⁾.

Dem Kreatin und Kreatinin aber kann man vielleicht eine in etiolirten Lupinen- und Kürbiskeimlingen vorkommende stickstoffreiche Substanz, nämlich das Arginin²⁾, an die Seite setzen. Dasselbe ist wie das Kreatinin eine Base und gleicht dem letzteren auch noch in einigen anderen Punkten; mit dem Kreatin stimmt es darin überein, dass es wie dieses beim Erhitzen mit Barytwasser neben anderen Produkten Harnstoff liefert³⁾. Die Vermutung, dass gleich dem Kreatin und Kreatinin das Arginin ein Guanidin-Derivat ist, darf vielleicht auf Wahrscheinlichkeit Anspruch machen.

Zum Beschluss dieser Angaben über das Vorkommen gewisser stickstoffhaltiger und stickstofffreier Verbindungen, sowohl im Tier- wie im Pflanzenkörper, will ich noch der in neuester Zeit nachgewiesenen Thatsache gedenken, dass eine der bekanntesten Pflanzensäuren, nämlich die Citronensäure, sich in der Kuhmilch als normaler Bestandteil vorfindet⁴⁾.

Die im Vorigen in aller Kürze zusammengestellten Ergebnisse wissenschaftlicher Forschungen, nach denen sowohl im pflanzlichen wie im tierischen Organismus Eiweisstoffe, Fette und Kohlenhydrate als physiologisch

1) Berichte d. D. Chem. Gesellschaft, Bd. 25, S. 658, sowie Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 17, S. 197.

2) E. Schulze und E. Steiger, über das Arginin, Zeitschrift f. physiol. Chemie, Bd. 11, S. 43.

3) M. vgl. Ber. der Deutsch. Chem. Gesellschaft, Bd. 24, Septemberheft.

4) Th. Henkel, Citronensäure als normaler Bestandteil der Kuhmilch, Landw. Versuchsstation, Bd. 29, S. 143.

thätige Stoffe vorkommen und hier wie dort von Nucleinen, Lecithinen, Cholesterinen, Xanthin-Stoffen, Amidosäuren etc. begleitet werden — sie führen schon für sich allein zu der Schlussfolgerung, dass der pflanzliche Stoffwechsel in manchen Stücken dem tierischen ähnlich sein muss. Dafür lassen sich denn auch leicht noch weitere Beweise beibringen.

Vergleichen wir den Gesamtstoffwechsel einer chlorophyllhaltigen Pflanze mit demjenigen eines Tieres, so zeigt sich freilich eine sehr grosse Verschiedenheit. Die chlorophyllhaltigen Pflanzen sind bekanntlich befähigt, sich mit unverbrennlichen Stoffen, nämlich mit Kohlensäure, Wasser und unorganischen Salzen, zu ernähren. Die Tiere vermögen dies nicht; ihnen müssen als Nahrung neben anorganischen Salzen kompliziert zusammengesetzte verbrennliche Stoffe, wie Eiweiss, Fett, Kohlenhydrate etc., zugeführt werden. In den grünen Pflanzen überwiegt demgemäss die Synthese, im Tierkörper die Spaltung hochmolekularer Kohlenstoffverbindungen. Der Gesamtstoffwechsel einer grünen Pflanze bietet ferner das Bild eines Reduktionsprozesses, derjenige des Tieres das Bild eines Oxydationsprozesses dar. Von dieser grossen Verschiedenheit verschwindet aber ein gutes Stück, wenn wir aus dem Stoffwechsel einer grünen Pflanze den im Chlorophyllapparat sich vollziehenden Assimilationsprozess uns wegdenken. Es hat bekanntlich eine gewisse Berechtigung, jede Zelle als ein einzelnes Lebewesen anzusehen. Fragt man, wo in einer Pflanzenzelle die Lebensvorgänge sich hauptsächlich abspielen, so ist zu antworten, dass dies im Protoplasma geschieht. Fragt man weiter, wie das Zell-Protoplasma (der Protoplast) lebt, so lautet die Antwort, dass es wie ein tierisches Wesen

für sein Fortbestehen freien Sauerstoff aufnehmen muss, dass dieser freie Sauerstoff auf organische Protoplasma-Bestandteile oxydierend wirkt und dabei Kohlensäure und Wasser erzeugt, dass demnach im pflanzlichen Protoplasma ein Prozess sich abspielt, welcher mit dem tierischen Atmungsprozess übereinstimmt — ein Prozess, dessen hohe Bedeutung auch für die Pflanze vornehmlich darin liegt, dass in demselben die für das Leben erforderliche Betriebskraft gewonnen wird. Für den Verlust an stickstoffreicher organischer Substanz, welchen das pflanzliche Protoplasma durch das Entstehen von Kohlensäure und Wasser im Atmungsprozess erleidet, muss ihm Ersatz beschafft werden — ganz ebenso, wie dies auch beim Tier der Fall ist. Ein sehr grosser Unterschied zeigt sich nun aber zwischen der grünen Pflanze und dem Tier hinsichtlich der Art und Weise, in welcher der Ersatz erfolgt; das Tier nimmt verbrennliche organische Stoffe von aussen als Nahrung in sich auf, während die grüne Pflanze sich diese Stoffe beschafft, indem sie dieselben mit Hülfe ihres Chlorophyll-Apparats im Assimilationsprozess unter Mitwirkung des Sonnenlichts auf Kosten von Kohlensäure und Wasser erzeugt.

Pflanzen, denen der Chlorophyllapparat fehlt, müssen gleich den Tieren verbrennliche organische Stoffe von aussen aufnehmen, um am Leben bleiben zu können.

Betrachten wir den Stoffwechsel einer chlorophyllfreien Pflanze, so lassen sich leicht noch andere Analogien mit dem tierischen Stoffwechsel auffinden. Nun giebt es bekanntlich im Leben einer jeden Pflanze eine Periode, in welcher das Chlorophyll entweder ganz fehlt oder doch wenigstens nicht wirksam ist, nämlich die

Keimungsperiode¹⁾. Der Pflanzenkeimling ist also anfangs nicht im Stande, Kohlensäure zu assimilieren; die in seinen wachsenden Teilen stattfindenden Neubildungen erfolgen auf Kosten der aus den Samenlappen oder aus dem Endosperm diesen Teilen zufließenden Stoffe. Den Zeitpunkt aber, in welchem in den Keimlingen die Assimilation beginnt, kann man beliebig hinausschieben, indem man sie im Dunklen lässt. Sehen wir nun zu, wie solche nicht assimilierende Keimlinge leben! Die wachsenden Teile derselben verwenden für ihre Ernährung die in den Cotyledonen oder im Endosperm enthaltenen Reservestoffe, welche im Wesentlichen ein Gemenge von Eiweißstoffen, Fetten und Kohlenhydraten sind. Diese Stoffe werden zunächst verflüssigt und fließen dann, gewissermassen als Muttermilch, den in Entwicklung begriffenen Teilen des Embryos zu²⁾. Der stickstofffreie Anteil dieser Nahrung wird teils veratmet, d. h. zu Kohlensäure und Wasser oxydiert, teils zur Bildung der Zellhäute und anderer Bestandteile des jungen Pflänzchens verwendet³⁾. Daneben werden aber, ebenso wie es im Tierkörper geschieht, auch Eiweißstoffe gespalten. In Keimlingen, welche geraume Zeit bei Lichtabschluss vegetiert haben, ist der Eiweißgehalt stark vermindert; an Stelle

¹⁾ Coniferen-Keimlinge enthalten bekanntlich von Anfang an Chlorophyll; aber dasselbe ist nicht wirksam, so lange die Keimlinge nicht vom Licht getroffen werden.

²⁾ Wollte man den Vergleich dieser Reservennahrung mit der Milch noch weiter führen, so könnte man darauf hinweisen, dass die in der Kuhmilch nachgewiesene Citronensäure auch Bestandteil vieler Pflanzensamen ist und dass in den letzteren im Wesentlichen die gleichen Mineralsalze enthalten sind, wie in der Milch.

³⁾ Ob dies direkt oder indirekt (etwa unter Mitwirkung der Eiweißstoffe) geschieht, ist ungewiss.

der zerfallenen Eiweisstoffe findet man in reichlicher Menge krystallinische, in Wasser lösliche Stickstoffverbindungen vor, insbesondere Asparagin und Glutamin, ferner Amidosäuren wie Leucin, Amidovaleriansäure, Tyrosin und Phenylalanin, endlich auch basische Kohlenstoffverbindungen¹⁾. Nun ist freilich für keinen dieser Stoffe mit Sicherheit bewiesen, dass er unmittelbar aus zerfallenen Eiweissmolekülen sich gebildet hat; aber es kann doch wenigstens für diejenigen Stickstoffverbindungen, welche hier in grösserer Quantität auftreten, mit Bestimmtheit behauptet werden, dass sie direkt oder indirekt auf Kosten von Eiweisstoffen entstanden sein müssen, und für manche andere von jenen Stoffen ist dies, wenn nicht völlig sicher, doch wenigstens wahrscheinlich. Unter jenen Stickstoffverbindungen finden sich nun neben Stoffen, die man im Tierkörper bis jetzt nicht gefunden hat,²⁾ auch Substanzen vor, welche im tierischen Stoffwechsel aus Eiweisstoffen entstehen und vielleicht Vorstufen des Harnstoffes sind,³⁾ wie z. B. Leucin und Tyrosin. Und dass in den Pflanzenkeimlingen, ebenso wie im Tierkörper, die regressive Stoffmetamorphose bis zur Bildung sehr einfach konstituierter Stickstoffverbindungen fortschreiten kann, dafür liefert das oben von mir erwähnte Auftreten von Guanidin⁴⁾ in etiolierten Wickenkeimlingen einen Beweis⁵⁾.

1) Z. B. das oben erwähnte Arginin.

2) Dies gilt z. B. für Asparagin und Glutamin.

3) M. vgl. darüber E. Drechsel, über den Abbau der Eiweisstoffe, Archiv f. Anatomie und Physiologie, physiolog. Abteilung, 1891, S. 248.

4) Ob das Guanidin aus Eiweisstoffen entsteht oder ob es eine andere Herkunft hat, weiss man freilich nicht.

5) Das Schicksal der in der regressiven Stoffmetamorphose entstehenden Stickstoffverbindungen ist freilich in der Pflanze

Noch in einem andern Punkte gleicht der Stoffwechsel der unter Lichtabschluss vegetierenden Pflanzenkeimlinge dem tierischen. Im Harn finden sich bekanntlich Sulfate vor und man hat anzunehmen, dass für die Bildung derselben der Schwefel der im Tierkörper zerfallenen Eiweissubstanzen verwendet wird. Sulfate bilden sich aber auch in Keimpflanzen, welche unter Lichtabschluss vegetieren¹⁾. Es darf für sehr wahrscheinlich erklärt werden, dass auch in letzterem Falle der Schwefel der Sulfate zerfallenen Eiweissmolekülen entstammt.

Verfolgt man die mit der Keimung verbundenen Stoffumwandlungen mit Hülfe der quantitativen Analyse, so tritt noch in einer anderen Beziehung Analogie mit dem tierischen Stoffwechsel hervor. Bekanntlich ist im Tierkörper die Grösse des Eiweissumsatzes nicht nur von der in der aufgenommenen Nahrung sowie in den Säften und Geweben vorhandenen Eiweissquantität abhängig, sondern auch von dem Mengenverhältnis zwischen den Eiweisstoffen und den daneben sich vorfindenden stickstofffreien Stoffen (Fetten und Kohlenhydraten). Je weiter dieses Mengenverhältnis ist, d. h. je mehr stick-

ein ganz anderes, als im Tier. Bei letzterem gehen sie in die Ausscheidungen über; in der Pflanze dagegen werden sie später zur Bildung von Eiweisstoffen verwendet. Das Entstehen solcher Stickstoffverbindungen kann also in der Pflanze zur Translokation der Eiweissubstanzen dienen.

¹⁾ Dass in etiolierten Lupinen-, Wicken- und Kürbis-Keimlingen die Menge der Sulfate mit der Vegetationsdauer der Keimlinge zunimmt, ist von mir (Landwirtsch. Jahrbücher, Bd. 7, S. 438) nachgewiesen. Dass das Gleiche für Erbsenkeimlinge gilt, ist von Kellner (Phytochemische Untersuchungen, herausgegeben von R. Sachsse, Leipzig 1880, Heft 1, S. 58) und von Tammann (Zeitschr. für physiol. Chemie, Bd. 9, S. 416) gezeigt worden.

stofffreie Stoffe auf die gleiche Eiweissmenge kommen, desto geringer ist unter übrigens gleichen Umständen der Eiweisszerfall (steigert man also die Zufuhr von stickstofffreien Stoffen in der Nahrung, während alle übrigen Verhältnisse gleich bleiben, so zerfällt weniger Eiweiss als vorher; das Gleiche tritt ein, wenn der Fettgehalt des Körpers sich vermehrt hat). Das Gleiche zeigt sich nun auch bei den Keimpflanzen. Bei den verschiedenen Pflanzensamen ist die Zusammensetzung der im Endosperm und in den Cotyledonen enthaltenen Reservennahrung eine sehr ungleiche; in manchen Samen, z. B. in denen der Cerealien, überwiegen der Quantität nach sehr stark die stickstofffreien Nährstoffe, insbesondere das Stärkmehl; in anderen Samen, z. B. in denen der Lupine, prävalieren dagegen die Eiweisssubstanzen, wieder andere, z. B. diejenigen der Erbsen und Wicken, stehen der Zusammensetzung nach in der Mitte zwischen jenen. Analysiert man nun die Samen und die etiolirten Keimlinge, so findet man, dass in letzteren unter übrigens gleichen Bedingungen um so mehr Eiweiss verloren gegangen ist, je stärker unter den Reservestoffen der Samen die Eiweisssubstanzen prävalierten; es zeigen sich in dieser Hinsicht z. B. zwischen Lupinenkeimlingen und Cerealienkeimlingen sehr grosse Verschiedenheiten. Eine gewisse Menge von Eiweissstoffen zerfällt aber in allen Keimlingen, mag nun die Quantität der stickstofffreien Reservestoffe so gross sein, wie sie wolle — ganz ebenso, wie es im Tierkörper der Fall ist. Es lässt sich wohl aus den vorliegenden Zahlen der Schluss ziehen, dass auch in den Keimpflanzen, ebenso wie im Tierkörper, hauptsächlich zwei Faktoren die Grösse des Eiweissverlusts bedingen — einerseits die absolute Quantität der vorhandenen

Eiweisstoffe und andererseits das Mengenverhältnis zwischen diesen und den stickstofffreien Nährstoffen¹⁾.

Sehr ähnlich der in den Keimpflanzen sich vollziehenden Stoffwechsel-Vorgängen sind allem Anschein nach diejenigen, welche in Blattknospen sich abspielen.

¹⁾ Diese Anschauungen habe ich in einer Abhandlung begründet, welche unter dem Titel „Ueber die Bildungsweise des Asparagins und über die Beziehungen der stickstofffreien Substanzen zum Eiweissumsatz im Pflanzenorganismus“ in den Landwirtschaftlichen Jahrbüchern, Bd. 17, S. 683 ff., zur Publikation gelangt ist. Ich stütze mich dort nicht nur auf die an Lupinen-, Sojabohnen- und Kürbis-Keimlingen von mir gemachten Beobachtungen, sondern auch auf Versuche, welche B. Schulze und E. Flechsig (Landwirtsch. Versuchsstationen, Bd. 32, S. 137) an keimenden Cerealien- und Leguminosen-Samen gemacht haben. Ich habe gezeigt, dass die Resultate dieser Versuche, aus denen die Versuchsansteller selbst Schlussfolgerungen nicht abgeleitet haben, mit den oben von mir ausgesprochenen Anschauungen vollständig in Uebereinstimmung stehen. Letzteres gilt auch für die Ergebnisse, welche D. Pryanischnikow neuerdings in meinem Laboratorium bei Untersuchung von etiolirten Wicklenkeimlingen erhielt. Der Eiweisszerfall war in den letzteren beträchtlich langsamer, als in etiolirten Lupinenkeimlingen; der Grund dafür ist darin zu suchen, dass die Wickensamen reicher an stickstofffreien Stoffen sind, als die Lupinensamen. Es wurde in diesem Falle auch die Grösse des Eiweisszerfalls in den verschiedenen Stadien der Keimung bestimmt. Dabei zeigte sich, dass der Eiweisszerfall anfangs stärker war, als in den letzten Stadien, obwohl doch mit dem Fortschreiten der Keimung auch der Gehalt der Keimlinge an Fett und Kohlenhydraten sich stark verringerte. Dies steht aber keineswegs in Widerspruch mit den oben von mir ausgesprochenen Ansichten. Denn auf den Eiweisszerfall ist ja auch die Grösse des vorhandenen Eiweissvorrats von Einfluss. Wenn nun der letztere mit dem Fortschreiten der Keimung sich stark verringert, so muss in Folge davon auch der Eiweisszerfall sinken. Es kommt auch noch in Betracht, dass vielleicht die in den Keimlingen vorhandenen Eiweisstoffe sich nicht ihrer ganzen Menge nach so vorfinden, dass sie zum Zerfall gelangen können. Denn auch wenn man die Keimlinge bis zum Absterben im Dunklen lässt, enthalten sie noch eine gewisse Menge von Eiweisstoffen.

Wenn wir Blattknospen an Zweigen sich entwickeln lassen, welche vom Stamme abgetrennt und mit dem unteren Ende in Wasser gesteckt sind, so sammelt sich in ihnen ebenso wie in den Keimen Asparagin an; daneben treten andere krystallinische Stickstoffverbindungen auf. Unter denselben findet sich das früher schon erwähnte Allantoin, ob dasselbe beim Zerfall von Eiweissstoffen entsteht oder ob es etwa gleich den Xanthinstoffen aus Nuclein sich bildet, weiss man bis jetzt nicht¹⁾.

Aber nicht allein in Keimlingen und Blattknospen ist der Stoffwechsel in manchen Stücken dem tierischen ähnlich. Das Gleiche gilt auch für andere Pflanzenteile, bezw. für andere Entwicklungsstadien der Pflanzen.

Eine im Tierkörper sehr oft vorkommende Stoffumwandlung ist die Spaltung kompliziert zusammengesetzter organischer Verbindungen unter Wasseraufnahme — ein Vorgang, welchen man als hydrolytische Spaltung zu bezeichnen pflegt. Dahin gehört z. B. die Umwandlung des in der Nahrung vom Tier aufgenommenen Stärkmehls in Maltose und Dextrin, des Glykogens in Traubenzucker, der Neutralfette in Glycerin und Fettsäuren; auch die Umwandlung der Eiweissstoffe in Peptone und in krystallinische Zersetzungsprodukte (z. B. Leucin und Tyrosin) wird meistens dazu gerechnet. Insbesondere bei der Verdauung der Nahrung spielt dieser Prozess im Tierkörper eine wichtige Rolle.

Hydrolytische Spaltungen kommen aber auch in den Pflanzen ohne Zweifel häufig vor, z. B. bei der Um-

¹⁾ Da Allantoin bei der Oxydation der Harnsäure entsteht, letztere aber mit den Xanthinstoffen verwandt zu sein scheint, so würde es möglich sein, dass der Bildungsprozess des Allantoins demjenigen der Xanthinstoffe ähnlich ist.

wandlung des Stärkmehls, des Inulins, der Reservecellulose und anderer Kohlenhydrate in Glucosen, bei der Zersetzung von Glucosiden u. s. w.

Das Tier vollbringt die hydrolytischen Spaltungen z. T. mit Hilfe der ungeformten Fermente oder Enzyme. Es kommen im Tierkörper sowohl Enzyme vor, welche Stärkmehl in lösliche Produkte umwandeln, wie z. B. das Ptyalin, als auch solche, die auf Eiweissstoffe wirken, wie Trypsin und Pepsin.

Solche Enzyme finden sich aber auch in den Pflanzen vor. Eines der am längsten bekannten Stärkmehlsplattend Enzyme, nämlich die Diastase, ist ja pflanzlichen Ursprungs. Der Rohrzucker wird hydrolytisch gespalten durch das in der Hefe enthaltene Invertin, die Trehalose durch die in den höheren Pilzen vorkommende Trehalase¹⁾. Andere pflanzliche Enzyme vermögen Glucoside zu spalten, wie z. B. die in den Mandeln neben Amygdalin vorkommende Synaptase. Aber auch eiweisslösende Enzyme, welche in ihrer Wirkung dem Pepsin gleichen, sind im Pflanzenorganismus gefunden worden, so z. B. im Saft von *Carica papaya*, in fleischfressenden Pflanzen, sowie neuerdings in jungen Pflänzchen der Gerste, des Weizens, des Mais, des Mohns und der Rüben²⁾. Doch sind eiweisslösende Enzyme nicht so verbreitet in den Pflanzen³⁾, wie man eine Zeit lang hat annehmen wollen. Auch lässt sich zur Zeit wohl

¹⁾ Nach Bourcquelot, Bulletin de la Societé mycologique de France, T. IX., 3. fasc.

²⁾ R. Neumeister, über das Vorkommen und die Bedeutung eines eiweisslösenden Enzyms in jugendlichen Pflanzen, Zeitschr. für Biologie, Bd. 30 (N. F., Bd. 12), S. 447.

³⁾ M. vgl. die Arbeit Krauch's, Landw. Versuchsstation, Bd. 23, S. 77 und Bd. 27, S. 383.

nichts Bestimmtes darüber aussagen, wie weit die Wichtigkeit solcher Enzyme für das Leben der Pflanzen geht¹⁾.

Viele in der Pflanze und im Tier vorkommende Stoffumwandlungen lassen sich aber auch auf einen Prozess zurückführen, welcher demjenigen der hydrolytischen Spaltung gerade entgegengesetzt ist; man bezeichnet ihn wohl als hydrolytische Synthese²⁾. Er besteht darin, dass mehrere Moleküle des gleichen Stoffes oder verschiedener Stoffe sich unter Wasseraustritt vereinigen. Auf diesem Vorgang beruhen, so viel wir wissen, die meisten der im tierischen Organismus sich vollziehenden Synthesen. Als Beispiele nenne ich die schon seit langer Zeit bekannte Bildung von Hippursäure aus Benzoesäure und Glycocoll³⁾, sowie die Entstehung von Neutralfetten aus Glycerin und Fettsäuren. Von den in den Pflanzen vorgehenden Prozessen sind z. B. die Bildung von Rohrzucker, Stärkmehl und ähnlichen Kohlenhydraten aus Glucosen, sowie das Entstehen der im Pflanzenkörper in so beträchtlicher An-

¹⁾ In seiner „Theorie der Gährung“ sagt Nägeli auf S. 12: „es sei ungewiss, ob der Organismus jemals Fermente bilde, welche innerhalb des Plasma's wirksam sein sollen; er bedürfe ihrer hier nicht, weil ihm in den Molekularkräften der lebenden Substanz viel energischere Mittel für chemische Wirkung zu Gebote stehen“. M. vgl. auch: W. Pfeffer, über die Ursachen der Entleerung der Reservestoffe aus Samen, Berichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Sitzung vom 3. Juli 1893, sowie A. Hansen, Pflanzen-Physiologie, Stuttgart 1890, S. 126.

²⁾ L. Hermann, Lehrbuch der Physiologie, 10. Auflage, Seite 22.

³⁾ Wenn Benzoesäure in den tierischen Organismus eingeführt wird, so tritt sie im Harn nach der Paarung mit Glycocoll als Hippursäure wieder aus. Die Bildung derselben kann nach der Gleichung $C^7H^6O^2 + C^2H^5NO^2 = H^2O + C^9H^9NO^3$ erfolgen.

zahl vorkommenden Glucoside als hydrolytische Synthesen aufzufassen. Die Abspaltung von Wasser kann aber auch im Innern eines Moleküls stattfinden und überhaupt nach verschiedenem Modus erfolgen¹⁾. Die Bedeutung dieser Vorgänge im pflanzlichen Stoffwechsel scheint auch daraus hervorzugehen, dass man eine sehr beträchtliche Anzahl von Pflanzenbestandteilen als Anhydride ansehen kann. Freilich haben wir über die Bildungsweise derselben in der Pflanze im Allgemeinen keine genauen Kenntnisse und wir wissen daher auch nicht mit Bestimmtheit, ob sie einem einfachen oder einem komplizierten Prozess ihre Entstehung verdanken.

Wie uns der Gesamtstoffwechsel der grünen Pflanze als ein Reduktionsprozess erscheint, so lassen auch unter den einzelnen Vorgängen, aus denen der Gesamtstoffwechsel sich zusammensetzt, leicht manche als Reduktionen zu bezeichnende Prozesse sich unterscheiden. Wenn z. B. bei der Bildung von Eiweisstoffen der dazu erforderliche Stickstoff aus Nitraten, der Schwefel aus Sulfaten genommen wird, so muss dies mit einer Reduktion der Nitrate und der Sulfate verbunden sein. Aber auch im Tierkörper finden Reduktionsvorgänge statt, wenn dieselben hier auch viel weniger häufig sind, als die Oxydationen; ich verweise z. B. auf eine vor Kurzem von R. Cohn²⁾ gemachte Mitteilung.

Endlich sei noch einmal darauf hingewiesen, dass einer der für den Tierkörper wichtigsten physiologischen

¹⁾ M. vgl. A. v. Baeyer, über Wasserentziehung und ihre Bedeutung für das Pflanzenleben, Berichte d. D. Chem. Gesellschaft, Bd. 3, S. 63. Je nach der Art und Weise, in welcher die Abspaltung von Wasser erfolgt, spricht man von äusserer oder innerer Anhydrid-Bildung oder Condensation.

²⁾ Zeitschr. für physiol. Chemie, Bd. 18, S. 133.

Prozesse, nämlich die Atmung, sich auch in der Pflanze wieder findet. Was die tierische Atmung betrifft, so dachte man sich früher, dass die mit derselben verbundenen Oxydationen sich in den Säften, insbesondere im Blut, abspielen; heutzutage aber glaubt man, dass sie an die Formelemente und Gewebe des Tierkörpers gebunden sei. Die mit der pflanzlichen Atmung verbundenen Oxydationen vollziehen sich ohne Zweifel im Protoplasma, dessen strömende Bewegung mit dem Sauerstoffabschluss aufhört. Wie aber im tierischen und im pflanzlichen Plasma das Respirationsmaterial zur Oxydation gelangt, ist bis jetzt nicht aufgeklärt. Dass jedoch in letzterer Hinsicht zwischen der Pflanze und dem Tier keine durchgreifende Verschiedenheit sich findet, darf wohl als eine berechtigte Vermutung bezeichnet werden.

Den im Vorigen dargelegten Aehnlichkeiten des tierischen und pflanzlichen Stoffwechsels stehen aber auch Unähnlichkeiten gegenüber. Es sei hier zunächst auf eine derselben hingewiesen. Die Pflanzen, und zwar sowohl die chlorophyllhaltigen als die chlorophyllfreien, vermögen Eiweissstoffe in der Weise synthetisch zu bilden, dass sie den dafür erforderlichen Stickstoff Nitraten und Ammoniaksalzen oder auch einfach konstituierten organischen Stickstoffverbindungen, wie Harnstoff, Asparagin etc., entnehmen. Die Tiere vermögen dies nicht. Freilich haben wir anzunehmen, dass auch im Tierkörper Eiweissstoffe synthetisch gebildet werden — diejenigen Eiweisssubstanzen nämlich, welche dem Tiere eigentümlich sind. Für diesen Zweck verwendet das Tier aber organische Stickstoffverbindungen, welche schon eine komplizierte Struktur besitzen, nämlich die im Verdauungsvorgang aus dem Nahrungseiweiss ent-

stehenden Peptone, und man wird kaum irren, wenn man den hier stattfindenden Prozess als eine hydrolytische Synthese betrachtet. Das Tier ist nicht im Stande, Eiweisstoffe auf Kosten von Amiden oder von Nitraten oder von Ammoniaksalzen zu bilden; der Beweis dafür liegt darin, dass ein Tier zu Grunde geht, wenn man in seiner Nahrung die Eiweissubstanzen durch die genannten Stickstoffverbindungen ersetzt.

Auch wenn im Tierkörper Substanzen sich bilden, welche eine noch kompliziertere Zusammensetzung besitzen, als die Eiweisstoffe, wie z. B. das Hämoglobin, so sind die bezüglichen Prozesse vermutlich nur hydrolytische Synthesen¹⁾.

Wie die Pflanze bei der Bildung von Eiweisstoffen eine viel schwierigere Synthese ausführt, als das Tier, so ist es auch in vielen anderen Fällen. Zum Beweise erinnere ich zunächst an den in der Natur fast einzig dastehenden synthetischen Prozess, welcher im Chlorophyll-Apparat der grünen Pflanze sich vollzieht — diesen Prozess, der im Haushalt der Natur eine so überaus wichtige Rolle spielt. Der Leichtigkeit, mit welcher die Pflanze offenbar komplizierte Synthesen ausführt, verdankt sie auch ihren Reichtum an eigenartigen Bestandteilen, an Alkaloiden, Bitterstoffen, ätherischen Oelen, Harzen, Farbstoffen etc. Die Mannigfaltigkeit dieser Produkte ist ja bekanntlich so gross, dass z. B. von manchen Pflanzengattungen jede Spezies ihr eigenes Alkaloid oder ätherisches Oel enthält. Es ist kaum zweifelhaft, dass diese Stoffe für den Lebensprozess der Pflanze eine weit geringere Bedeutung haben, als die

¹⁾ L. Hermann, Lehrbuch der Physiologie, 10. Auflage, Seite 220.

Eiweisssubstanzen, die Fette, die Kohlenhydrate, die Nucleine, die Lecithine und andere obengenannte Substanzen. Wir dürfen sie wohl als Nebenprodukte des Stoffwechsels ansehen, welche für die in der Pflanze stattfindenden physiologischen Prozesse im Allgemeinen keinen Wert mehr besitzen. Doch können manche dieser Produkte durch ihre Beziehungen zu den äusseren Lebensverhältnissen der Pflanzen für die letzteren von Nutzen sein; so vermögen z. B. scharf und widrig schmeckende Substanzen die ganze Pflanze oder Teile derselben gegen Insekten- und Schneckenfrass zu schützen; stark riechende Stoffe können Insekten zum Besuch der Blüten heranzulocken, Harze und Balsame den Verschluss und die Heilung von Verletzungen der Rinde bewirken. Reinitzer¹⁾ hat vor Kurzem die Vermutung ausgesprochen, dass manche dieser Pflanzenbestandteile als Ermüdungsstoffe anzusehen seien, d. h. als Substanzen, welche bei einem bestimmten Verlauf der chemischen Umsetzungen in der Pflanze mit zwingender Notwendigkeit gebildet werden, deren Anhäufung aber eine Ermüdung oder Ermattung in der Lebensthätigkeit des Protoplasmas zur Folge hat.

Ueberblicken wir alles, was im Vorigen mitgeteilt wurde, so müssen wir zu der Schlussfolgerung kommen, dass es ganz ungerechtfertigt sein würde, wenn man von einer prinzipiellen Verschiedenheit zwischen dem tierischen und dem pflanzlichen Stoffwechsel sprechen wollte²⁾. Man kann nur behaupten, dass in einzelnen

¹⁾ Berichte der D. Botanischen Gesellschaft, 1893, S. 531.

²⁾ Wenn dies auch noch in neuerer Zeit hin und wieder geschehen ist, so hat man sich vermutlich dazu vornehmlich durch die Verschiedenheit verleiten lassen, welche zwischen den chlorophyllhaltigen Pflanzen und den Tieren in Bezug auf die

Punkten ein Gegensatz hervortritt, so z. B. zwischen den grünen Pflanzen und den Tieren hinsichtlich der Art und Weise, in welcher die verbrennliche organische Nahrungssubstanz beschafft wird, ferner zwischen den Tieren und den chlorophyllhaltigen wie chlorophyllfreien Pflanzen in Bezug auf den Modus der Eiweissbildung. Den Unähnlichkeiten stehen aber, wie ich im Vorigen gezeigt habe, vielfach Aehnlichkeiten gegenüber, und es darf vermutet werden, dass solche sich in noch grösserer Zahl herausfinden liessen, wenn unsere Kenntnisse über die Funktionen der physiologisch thätigen Stoffgruppen und über ihre Bildungsweise vollständiger wären — wenn wir überhaupt einen tieferen Einblick in den Stoffwechsel der Organismen besässen. Was insbesondere den pflanzlichen Stoffwechsel betrifft, so wissen wir zwar, was für Materialien von aussen in denselben eingeführt werden, wir kennen auch die meisten Endprodukte; von den mannigfachen chemischen Umsetzungen aber, welche bis zur Bildung der Endprodukte im Protoplasma sich vollziehen, wissen wir bis jetzt doch nur sehr wenig. Wir dürfen vermuten, dass bei diesen Umsetzungen manche Zwischenprodukte auftreten, welche als sehr reaktionsfähige Körper sich im Organismus nicht an-

Beschaffung der verbrennlichen organischen Nahrung besteht. Dass man aber aus dieser Verschiedenheit eine solche Schlussfolgerung nicht ableiten darf, wird schon durch die Thatsache bewiesen, dass die chlorophyllfreien Pflanzen in Bezug auf die Art der Nahrungsbeschaffung den Tieren gleich stehen. Wie ungerechtfertigt es ist, von einer prinzipiellen Verschiedenheit zwischen dem Lebensprozess der Pflanzen und demjenigen der Tiere zu sprechen, darauf hat insbesondere W. Pfeffer (vgl. z. B. Landwirtschaftliche Jahrbücher, Bd. 7, S. 810, und Sitzungsberichte der Königl. Sächsischen Akademie der Wissenschaften, mathemat.-physikalische Klasse, Bd. XVIII, Nr. 3, S. 203) mit Nachdruck hingewiesen.

häufen können und daher in der Zeiteinheit nur in so geringer Menge vorhanden sind, dass wir sie nicht abzuschneiden und nicht nachzuweisen vermögen¹⁾. Es ist denkbar, dass darunter auch Stoffe sich finden, welche sowohl im pflanzlichen wie im tierischen Organismus eine Rolle spielen.

Zum Schluss will ich noch auf eine Analogie im Lebensprozess der Pflanzen und der Tiere hinweisen, welche erst in neuester Zeit genügend erkannt worden ist. Beim Tier spielt bekanntlich das Nervensystem eine sehr wichtige Rolle. Durch dasselbe wird eine funktionelle Verbindung zwischen tierischen Organen hergestellt, der Art, dass gewisse Vorgänge in einem Organ notwendig gewisse Vorgänge in einem andern nach sich ziehen²⁾. Man weiss, dass die auf die Nerven ausgeübten Reize auch die Stoffwechselforgänge vielfach beeinflussen; so z. B. rufen sie die Sekretion der beim Verdauungsprozess mitwirkenden DrüSENSÄFTE hervor. Ist nun auch bei der Pflanze eine dem tierischen Nervensystem gleichende Organverkettung bis jetzt nicht nachgewiesen, so unterliegt es doch andererseits keinem Zweifel, dass die Pflanzen in gleichem Sinne reizbar sind, wie

¹⁾ Wenn z. B., nach der von A. v. Baeyer ausgesprochenen Hypothese bei der Reduktion der Kohlensäure im Chlorophyll-Apparat Formaldehyd sich bildet, so wird derselbe ohne Zweifel so schnell in Zucker umgewandelt werden, dass er sich nicht nachweisen lässt. Denken wir uns, dass in der Pflanze bei der Oxydation von Ammoniak oder bei der Reduktion von Salpetersäure Hydroxylamin entsteht — eine Frage, welche von V. Meyer und mir (Ber. d. D. Chem. Gesellschaft, Bd. 17, S. 154 einer Diskussion unterworfen wurde — so wird dasselbe wegen seiner grossen Reaktionsfähigkeit sich doch schwerlich in der Pflanze in solcher Menge anhäufen können, dass man es nachzuweisen vermag.

²⁾ L. Hermann, Lehrbuch der Physiologie, 10. Auflage, S. 359.

die Tiere. Nach den von W. Pfeffer¹⁾ vor Kurzem gemachten Darlegungen hat man anzunehmen, dass das lebensthätige pflanzliche Protoplasma auf die durch chemische, thermische, elektrische und andere Einflüsse bewirkten Reize theils durch auffällige Bewegungen, theils durch Reaktionen antwortet, die äusserlich nicht oder doch nicht sogleich wahrnehmbar werden, und dass die durch solche Reize hervorgebrachten Wirkungen den Charakter von „Auslösungen“ tragen. Dass letztere auch die Stoffwechselforgänge beeinflussen, darf angenommen werden. In der Pflanze ist also, ebenso wie im Tier, das ganze lebendige Getriebe von den mannigfachsten Reizvorgängen durchweht und gelenkt.

¹⁾ M. vgl. W. Pfeffer, die Reizbarkeit der Pflanzen, ein auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte, 1893, gehaltener Vortrag, sowie die in dieser Abhandlung citierten Arbeiten Pfeffers.