[8] Kingsley, J. S. The Embryology of *Limulus*, Part II. Journal of Morphology, Vol. VIII, 1893.
[9] Kischinouye, K. On the development of *Araneina*. Journ. of the coll. of Sc. Imper. Univ. Japan, Vol. IV, 1, 1890.
[10] Korschelt E. und Heider K. Lehrbuch der vergleichenden Entwicklungsgeschichte der wirbellosen Tiere. Jena. 2. Heft, 1891.
[11] Kowalewsky A. und Schulgin M. Zur Entwicklungsgeschichte des Skorpions (*Androctonus ornatus*). Biol. Centralbl., 6. Bd., 1886—87.
[12] Metschnikoff, E. Embryologische Studien an Medusen. Wien 1886.
[13] Morin, J. Studien über die Entwicklung der Spinnen (Russisch). Зап. Новорос. Общ. Ест., T. XIII, 1888.
[14] Uljanin, W. Beobachtungen über die Entwicklung der Poduren (Russisch). Изв. Имп. Общ. Ест., T. XVI, 1875.
[15] Wagner, J. Die Embryonalentwicklung von *Ixodes calcaratus* Bir. (Russisch). Arbeiten aus dem zootom. Laborat. der k. Univ. zu St. Petersburg, Nr. 5, 1894.
[16] Wheller, W. M. A contribution to Insect Embryology. Journal of Morphology, Vol. VIII, 1, 1893.
[17] Will, L. Entwicklungsgeschichte der viviparen Aphiden. Zool. Jahrb., Abt. für Anat. etc., III. Bd., 1889
[18] Zograff, N. Materialien zur Kenntnis der Embryonalentwicklung von *Geophilus ferrugineus* L. K. und *G. protimus* L. K. (Russisch). Изв. Имп. Общ. Ест., T. XLIII, 1883.

Neuere physiologisch-chemische Untersuchungen über die Zelle.

Von **R. H. Chittenden.**

(Schluss.)

Die ursprünglich als Nuklein bezeichnete Substanz, zuerst von Hoppe-Seyler und Miescher als hauptsächlichster Bestandteil des Kerns der Eiterkörperchen nachgewiesen, wurde von einer Reihe von Forschern aus verschiedenem kernreichen oder kernsubstanzreichen Material dargestellt. Miescher stellte es dar aus den Spermatozoen verschiedener Tiere, Geoghegan aus dem Gehirn, Hoppe-Seyler aus Hefezellen, Plósz aus der Leber, und v. Jaksch aus dem menschlichen Gehirn. Aber die erhaltenen Produkte waren, trotz Uebereinstimmung in gewissen Punkten, doch einander in vielen Beziehungen unähnlich. Alle ähnelten einander durch den auffallend hohen Gehalt an Phosphor, aber die bei der Analyse gefundenen Mengen von Phosphor schwankten zwischen 1,8 und 9,5%. Weiter unterschieden sich die verschiedenen Produkte durch den Grad der Löslichkeit in Alkalien, in welchen die einen sehr leicht, die andern nur schwer löslich waren. Diese markanten Unterschiede sah man natürlich als Beweis dafür an, dass das sogenannte Nuklein keine chemische Einheit sei, vielmehr eine nicht konstante Mischung von organischen Phosphorverbindungen und Proteinstoffen; aber jetzt wissen wir, dank den mühevollen Arbeiten von Kossel u. A., dass es eine Gruppe sehr nahe verwandten von Körpern, „Nukleine“, gibt, welche in der Natur überall verbreitet sind, wo immer Zellelemente sich finden; die den Hauptbestandteil des Zellkerns ausmachen, aber auch in gewissen Substanzen, wie Milch und Eidotter, die jungen, sich entwickelnden Tieren als Nahrung dienen,

vorkommen. Die letztgenannte Körperklasse ist bekannter unter dem Namen der Nukleoalbumine, aus denen ein typisches Nuklein abgetrennt oder vielmehr dargestellt werden kann durch die eiweißverdauende Wirkung des Magensaftes[1]), der den Ueberschuss der Proteinsubstanz löst und das unverdauliche Nuklein übrig lässt. Die wesentlichen Punkte in der Unterscheidung zwischen den typischen Nukleinen werden deutlich durch das Studium ihrer Spaltungsprodukte. So gibt z. B. das Nuklein, das man im Karyoplasma der meisten Zellkerne findet, beim Kochen mit verdünnter Schwefelsäure als Spaltungsprodukte Phosphorsäure, Xanthinkörper und Acidalbumin. Anderseits gibt das Nuklein, das im Lachssperma vorkommt, überhaupt keine Eiweißkörper, sondern seine Spaltungsprodukte sind bloß Phosphorsäure und Hypoxanthin. Die dritte Gruppe von Nukleinen, die gewöhnlich als Nukleoalbumine bezeichnet werden, geben bei der Spaltung nur Phosphorsäure und Eiweißkörper; wenn Xanthinbasen vorkommen, so sind die Mengen doch zu klein, als dass eine genaue Untersuchung möglich wäre. Aus dem Nuklein der Hefezellen erhielt Liebermann durch Spaltung Metaphosphorsäure, und er war mit Pohl[2]) zusammen im Stande, eine Verbindung von Metaphosphorsäure mit Eieralbumin, auch mit Serumalbumin und mit Albumose herzustellen, die dem Nuklein in ihren Eigenschaften glich. Ferner ist es möglich, durch Variierung des Verhältnisses zwischen Säure und Albumin verschiedene Formen von Nuklein darzustellen, die verschieden viel Phosphor enthalten und verschieden löslich in Alkalien sind, ganz wie die natürlichen Nukleine, die man aus den Zellkernen darstellt. Dennoch ist es fraglich, ob diese synthetischen Produkte in jeder Beziehung den natürlichen Nukleinen gleichen, denn es ist wahrscheinlich, dass das Nukleinmolekül, das durch die Thätigkeit der lebenden Zelle entsteht, nach einem etwas anderen Bauplan hergestellt ist, wenigstens was die Anordnung der Atome anlangt. Altman[3]) hat zum Beispiel gezeigt, dass, wenn man auf Nuklein schwach spaltende Substanzen, also vielleicht ein Alkali bei gewöhnlicher Temperatur einwirken lässt, dasselbe in Albumin und eine eigentümliche, phosphorreiche Säure, die sogenannte Nukleinsäure, zerlegt wird. Ja, es ist sogar möglich, aus diesen zwei Komponenten von neuem Nuklein herzustellen, und der resultierende Körper zeigt alle Eigentümlichkeiten der ursprünglichen Substanz. Nukleine kann man daher, um Halliburton zu zitieren, als Verbindungen von Proteinen mit Nukleinsäure ansehen; die verschiedenen Glieder der Gruppe unterscheiden sich durch den verschiedenen Gehalt an Proteinstoffen und phosphorreicher Säure. So können wir uns eine Kette von Nu-

1) Vergl. Lilienfeld in: du Bois-Reymond's Archiv für Physiologie, 1892, S. 129.

2) Pflüger's Archiv für Physiologie, Bd. 43, S. 99.

3) du Bois-Reymond's Archiv für Physiologie, 1889, S. 524.

kleinen denken, deren eines Ende von Nukleinsäure selbst mit ihren 9—11 proz. Phosphor gebildet wird, ohne dass ein Protein beigemischt ist; hierfür ist ein Beispiel das aus den Köpfen der Spermatozoen hergestellte Nuklein, das zweifellos aus den Kernen der zu Spermatozoen werdenden Zellen stammt. In der Mitte der Kette treffen wir Nukleine, die hauptsächlich aus Proteinen bestehen und verschieden viel Nukleinsäure enthalten. Schließlich am andern Ende finden wir Nukleine, die bloß aus Proteinen bestehen und höchstens 0,5—1,0 proz. Phosphor enthalten; sie werden gewöhnlich Nukleoalbumine genannt.

Nukleine sind unverdaulich in künstlichem Magensaft, während ein Nukleoalbumin, wie schon gesagt, wenigstens zum Teil verdaut wird; der aus Proteinsubstanz bestehende Teil wird in lösliche Produkte verwandelt, als unlöslicher Rest bleibt ein typisches Nuklein übrig, das durch schwache Alkalien gelöst werden kann. Wenn man sich diese allgemeinen Charaktere der Nukleine klar gemacht hat, dann werden einem viele von den mikrochemischen Beobachtungen, an die von verschiedenen Forschern in der Zellenlehre erinnert wird, verständlich. Als Illustration hierfür denken Sie an die Arbeit von Zacharias über die Pflanzenzelle[1])! Wie Sie sich wohl erinnern, hat er eine ganze Reihe von Verdauungsexperimenten mit künstlichem Magensaft gemacht, und er konstatierte im Kern die Anwesenheit von zwei verschiedenen, in saurer Pepsinlösung unverdaulichen Substanzen, die sich von einander durch ihre Löslichkeit in Säuren und Alkalien unterschieden. Zacharias kam zu dem Resultat, dass der übrigbleibende Zellkern aus einer Grundsubstanz besteht, die zum großen Teil Nuklein enthält, während die Nukleoli von Albumin und Plastin gebildet werden. Wenn man das Albumin durch Verdauung aus dem Nukleus entfernt und das Nuklein in verdünntem Alkali löst, so bleibt ein Netzwerk von Plastin übrig. Weiter stellte Zacharias fest, dass Plastin ein wesentlicher Bestandteil des ganzen protoplasmatischen Zellinhaltes, einschließlich des Kerns und des Chromatins, ist. Nun beachten Sie den Unterschied zwischen Nuklein und Plastin, wie er von Zacharias definiert ist! Plastin löst sich zum Beispiel nicht in 10 proz. Kochsalzlösung, quillt auch nicht einmal in ihr auf; daher ist es kein Globulin oder einfaches Protein; auch verschwindet es nicht bei Behandlung mit mäßig starker Salzsäure, wie Nuklein. Ferner ist Plastin viel schwerer in Alkalien löslich als Nuklein. Nun ist es aber Thatsache, dass beide Körper außerordentlich nahe verwandt sind; beide sind Nukleine mit demselbem allgemeinen Strukturtypus; sie unterscheiden sich nur im Gehalt an Nukleinsäure und Protein. Das Plastin der Histologen ist daher einfach eine Art Nuklein von weniger saurem Charakter, weil es verhältnismäßig weniger Nukleinsäure und mehr Protein enthält;

1) Botanische Zeitung, 45. Jahrg., S. 281 u. 329.

infolge dessen enthält es auch weniger Phosphor, und aus demselben Grunde ist es weniger leicht in Alkalien löslich.

Im Allgemeinen können wir sagen: Der sogenannte Kernsaft oder die Kerngrundsubstanz besteht eigentlich aus einem globulinartigen Körper, demselben, den man im Cytoplasma findet, und der durch Verdauung mit künstlichem Magensaft in lösliche Produkte, wie Proteosen und Peptone, übergeführt wird. Der übrige Kern besteht aber aus Substanz, die in Magensaft unlöslich ist. Alle die Körper, die diesen unverdaulichen Rest ausmachen, sind phosphorhaltig; sie sind Nukleine von verschiedener Zusammensetzung. So besteht z. B. das sogenannte Chromatinnetzwerk, das sich von allen anderen Bestandteilen durch seine große Affinität zu verschiedenen Farben unterscheidet, aus sehr stark phosphorhaltigem Nuklein, nämlich einem Nuklein, das einen großen Gehalt an Nukleinsäure und einen entsprechend geringeren an Protein hat. Die Nukleoli anderseits, die eine weniger ausgesprochene Affinität zu Farbstoffen haben als das Chromatin, sind hauptsächlich sogenanntes Plastin, d. h. ein verhältnismäßig phosphorarmes und nicht leicht in Alkalien lösliches Nuklein. Mit anderen Worten — und das ist, denke ich, der Punkt, der mit besonderem Nachdruck zu betonen ist: der Kern aller Zellen setzt sich hauptsächlich aus Nukleinen zusammen, Verbindungen von Protein und Nukleinsäure, welche letztere reich an Phosphor ist; die einzelnen Teile des Kernes variieren etwas, je nach dem verschiedenen Charakter der Nukleine, der sich nach dem Verhältnis vom Protein zur Nukleinsäure richtet. Das heißt also: „Wie in allen metabolischen Prozessen fortwährende Schwankungen stattfinden, so wechseln auch in den Lebensvorgängen die Beziehungen zwischen den phosphorhaltigen Bestandteilen des Kerns; die einen Bestandteile werden neu gebildet, die anderen zerfallen in einfachere Produkte“ [1]). Wir dürfen aber nicht vergessen, dass diese Körper vielleicht Fragmente eines noch komplizierteren Moleküls sind, das im lebenden Karyoplasma der Zellkerne enthalten ist. In jedem Fall muss der Charakter dieser Fragmente, wenn es welche sind, uns einigen Aufschluss geben über die Natur der ursprünglichen Moleküle, und ganz konsequent können wir auf Grund der obigen Feststellungen es als wahrscheinlich annehmen, dass es verschiedene, wenn auch nahe verwandte chemische Varietäten von Karyoplasma gibt, die den Zellkernen der einzelnen Organe und Gewebe eigentümlich sind.

Lilienfeld [2]) der im Allgemeinen den entwickelten Ansichten beistimmt, spricht sich sehr für die Wahrscheinlichkeit aus, dass in der Regel ein deutlicher Unterschied zwischen dem Kern und dem Zellkörper vorhanden sei. Der erstere bestehe in jeder Phase des

1) Halliburton.

2) Verhandl. der Berliner physiol. Gesellschaft, du Bois-Reymond's Archiv für Physiologie, 1893, S. 391.

Lebens hauptsächlich aus Nukleinsubstanzen, d. h. Nukleoproteinen, Nuklein und in extremen Fällen Nukleinsäure, während der Zellkörper hauptsächlich aus reinen Proteinen und Nukleoalbuminen mit einem geringen Gehalt an Phosphor zusammengesetzt sei. Aber wie die Beziehungen zwischen diesen einzelnen Körpern schwankende seien, so sei auch der Farbenton, den man durch verschiedene Tinktionsmittel erhalte, deutlich mehr oder weniger veränderlich; doch in der Regel können wir feststellen, dass die nukleinhaltigen Verbindungen des Kerns die größte Affinität zu basischen Färbmitteln hätten, während die Proteine des Zellkörpers natürlich die sauren festhalten.

Ferner beschreibt Lilienfeld, der kürzlich die innere Struktur der Leukocyten gründlich studiert und dem charakteristischen Bestandteil des Kerns den Namen „Nukleohiston" gegeben hat, diesen Stoff als ein Nukleoprotein, das man, chemisch betrachtet, mit einem Salz vergleichen kann, in dem eine Proteinbase, Histon, und eine komplizierte Säure, Leukonuklein, enthalten ist, welches wiederum aus Nukleinsäure und Protein besteht. So finden wir auch in dieser letzten für uns in Betracht kommenden Arbeit, die zu prüfen ich Gelegenheit hatte, Resultate, welche unsere eben entwickelten allgemeinen Ideen unterstützen[1]). Endlich hat Lilienfeld bewiesen, dass es die Nukleinsäure des Kerns ist, die die angeführte Färbung, wie sie dieser Zellteil bei Behandlung mit Anilinfarben annimmt, bedingt.

Nachdem wir so die weite Verbreitung der Nukleine durch alle tierischen und pflanzlichen Zellen kennen gelernt haben, wollen wir den Charakter ihrer Zerfalls- oder Spaltungsprodukte etwas eingehender untersuchen, denn dadurch erhalten wir ein klareres Bild von ihrer allgemeinen Natur. Wie schon gesagt, geben die Nukleine, soweit sie bis jetzt bekannt sind, bei Behandlung mit verdünnten Mineralsäuren eine Reihe eigenartiger, krystallinischer stickstoffhaltiger Produkte, der sogenannten Xanthinbasen, als deren wahre Vorgänger Kossel die Nukleinsäuren kennen gelehrt hat. Daher hängt es von der Menge der in einem gegebenen Nuklein enthaltenen Nukleinsäure ab, wieviel von diesen Körpern, die, beiläufig gesagt, zur Harnsäuregruppe gehören, entsteht. Die weite Verbreitung derselben, besonders im tierischen Organismus, wo auch immer sich Zellthätigkeit bemerkbar macht, ihre nahen Beziehungen zur Harnsäure und ihr offenbarer Ursprung aus der Nukleinsäure der Zellnuklei sind Thatsachen von der höchsten physiologischen Bedeutung, sofern sie über die physiologische Funktion des Zellkerns Aufklärung zu bringen versprechen und zu gleicher Zeit auf einen genetischen Zusammenhang zwischen Nukleinbasen und Harnsäure deuten. Auf diesen Gedanken können wir uns jetzt aber nicht weiter einlassen, doch sind noch ein oder zwei Punkte zu erwähnen, die in Beziehung zu den Nukleinbasen stehen, und die wir unmöglich

1) Zeitschrift für physiol. Chemie, Bd. 8, S. 473.

übergehen können. Es gibt vier Xanthinbasen, nämlich: Adenin, Guanin, Xanthin, Hypoxanthin, sämtlich gut untersuchte Körper von bekannter chemischer Konstitution. Unter ihnen steht das Adenin obenan. Es ist freilich der am spätesten entdeckte dieser Körper, aber seine charakteristische chemische Natur und Konstitution geben ihm einen besonderen Vorrang vor den anderen. Es ist nicht bloß ein Produkt der durch verdünnte Säuren bewirkten Spaltung von reinem Nuklein, sondern es ist weit verbreitet in der Natur, und seine Verbreitung in den Organen und Geweben von Tieren und Pflanzen entspricht seiner genetischen Verwandtschaft mit dem charakteristischen Bestandteil des Zellkerns. So hat es Kossel[1]) aus dem Pankreas und aus der Milz, auch aus Hefezellen und Theeblättern dargestellt, dagegen fand er es nicht im Muskelgewebe, das ja arm an Kernen ist. F. Kronecker[2]) fand es in der Milz, in Lymphdrüsen und in den Nieren vom Rind, während Stadthagen[3]) seine Anwesenheit in der Leber und im Urin eines an Leukämie Leidenden konstatierte, also bei einer Krankheit, bei welcher die Zahl der weißen Blutkörperchen enorm vermehrt ist. Doch ist nicht anzunehmen, dass das Adenin in solchen Fällen ganz frei vorkommt. Im Gegenteil, es existiert in pflanzlichen und tierischen Geweben wenigstens zum Teil in loser Verbindung mit Albumin und Phosphorsäure. Diese Verbindung wird leicht gelöst durch die Wirkung verdünnter Säuren, besonders bei 100° C., aber auch durch spontanen Zerfall nach dem Tode, d. h. also: Adenin ist ein integrierender Bestandteil der Nukleinsäure, die in allen Zellkernen vorkommt, und unter Umständen kann es aus dem komplizierten Molekül, dessen integrierender Bestandteil es ist, abgespalten werden.

Das Adenin zeigt die Eigentümlichkeit, dass es keinen Sauerstoff enthält. Es ist nur aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff zusammengesetzt, und zwar in solchem Verhältnis, dass es als ein Polymeres der Blausäure, HCN, erscheint. Es zeigt in der That dieselbe prozentuale Zusammensetzung wie Blausäure, und seine leichte Umwandlung in Cyankalium beim Zusammenschmelzen mit Kaliumhydroxyd bei 200° C. beweisen die enge Verwandtschaft zwischen den beiden Körpern. Die Existenz von Cyanverbindungen im tierischen Organismus ist lange Zeit als theoretisch wahrscheinlich angenommen worden, die Auffindung des Adenins gibt dieser Hypothese eine feste Basis und deutet auf den Zellkern als den Sitz dieser Cyanverbindungen. Ferner ist Adenin nahe verwandt mit Hypoxanthin, einem uns geläufigeren Körper, mit dessen Ursprung wir uns noch zu befassen haben. Ja noch mehr, wir finden beim Studium der Verwandtschaften, dass überhaupt alle sogenannten Nukleinbasen enge Beziehungen zum Adenin haben, wie aus

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 12, S. 241.
2) Virchow's Archiv, Bd. 107, S. 207.
3) Virchow's Archiv, Bd. 109, S. 390.

den folgenden Formeln hervorgeht, welche die Analogien klar zur Anschauung bringen:

Adenin	$C_5H_4N_4$ NH	Guanin	$C_5H_4N_4O$ NH
Hypoxanthin	$C_5H_4N_4$ O	Xanthin	$C_5H_4N_4O$ O.

Adenin wie Hypoxanthin enthalten eine eigentümliche chemische Gruppe, $C_5H_4N_4$, die von Kossel und Thoiss[1]) Adenyl genannt worden ist, und wir können daher Adenin als Adenylimid ansehen, während Hypoxanthin entsprechend als Adenyloxyd bezeichnet werden könnte. Wie man auch bei der nahen Verwandtschaft der beiden Körper vermuten kann, lässt sich Adenin leicht in Hypoxanthin überführen; in ähnlicher Art und Weise kann man die hierhergehörige Base Guanin in Xanthin umwandeln. So fand zum Beispiel Schindler[2]) experimentell, dass Adenin, in Wasser gelöst und unter Ausschluss der Luft bei ungefähr 20° C. der Fäulnis ausgesetzt, mit der Zeit gänzlich verschwindet; an seiner Stelle erscheint zu gleicher Zeit eine große Menge Hypoxanthin und auch Spuren von Xanthin. Mit andern Worten: Sauerstofffreies Adenin wird durch diesen Prozess zur Verbindung mit Sauerstoff gebracht und geht dabei in den verwandten sauerstoffhaltigen Körper Hypoxanthin über unter Abgabe von Ammoniak. Guanin wird durch eine ähnliche Methode in Xanthin verwandelt. Die dabei entstehenden Reaktionen sind sehr einfach, wie folgende Gleichungen zeigen:

$$\underset{\text{Adenin}}{C_5H_5N_5} + H_2O = \underset{\text{Hypoxanthin}}{C_5H_4N_4O} + \underset{\text{Ammoniak}}{NH_3}$$

$$\underset{\text{Guanin}}{C_5H_5N_5O} + H_2O = \underset{\text{Xanthin}}{C_5H_4N_4O_2} + \underset{\text{Ammoniak.}}{NH_3}$$

Wir haben also alle Ursache zu glauben, dass, da Hypoxanthin bei dem Zerfall von Nuklein entsteht, es die Zwischenstufe des Adenins passiert. Oder mit andern Worten: Adenin ist ein primäres Spaltungsprodukt des Nukleins oder besser der Nukleinsäure, während Hypoxanthin ein sekundäres Produkt ist, das direkt aus dem Adenin hervorgeht. In ähnlicher Weise ist Guanin ein primäres Zerfallsprodukt von Nukleinsäure, und Xanthin ist in demselben Sinne ein sekundäres Produkt. Diese vier Basen sind ganz nahe verwandt und eng mit einander durch viele Beziehungen verknüpft, und alle sind in gleicher Weise Spaltungsprodukte des aus Zellkernen gewinnbaren Nukleins. Aber die primären Körper Adenin und Guanin sind offenbar für die in den Zellen vor sich gehenden Veränderungen viel empfänglicher als ihre Nachbarn Hypoxanthin und Xanthin. Doch sind alle vier des gänzlichen Zerfalls fähig unter Bildung verschiedener Zerfallsprodukte. In dieser Beziehung ist eine der instruktivsten Reihen von Veränderungen die, welche das Adenin außerhalb des Körpers durchmacht,

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 13, S. 396.
2) Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 13, S. 432.

wenn man es lange Zeit mit verdünnter Salzsäure erwärmt; es zerfällt dann ganz und gar in Ammoniak, Kohlensäure, Ameisensäure und Glykokoll oder Amidoessigsäure. Xanthin und Hypoxanthin geben bei gleicher Behandlung dieselben Körper:

$$\underset{\text{Adenin}}{C_5H_5N_5} + 8H_2O = 4NH_3 + CO_2 + 2\,\underset{\text{Ameisensäure}}{H.COOH} + \underset{\text{Glykokoll}}{CH_2(NH_2).COOH}$$

$$\underset{\text{Hypoxanthin}}{C_5H_4N_4O} + 7H_2O = 3NH_3 + CO_2 + 2\,H.COOH + CH_2(NH_2).COOH$$

$$\underset{\text{Xanthin}}{C_5H_4N_4O_2} + 6H_2O = 3NH_3 + 2\,CO_2 + H.COOH + CH_2(NH_2).COOH$$

Ferner kann Adenin leicht völlig in Kohlensäure und Ammoniak zerlegt werden. Aber die wunderbarste Erscheinung an diesem Körper tritt, wie schon konstatiert, uns darin entgegen, dass es leicht in Cyankalium umgewandelt werden kann; dadurch verrät es die nahen Beziehungen, in denen es zur Cyangruppe steht.

Beim Versuch, dem Adenin eine Funktion beizulegen, die der angenommenen Funktion des Zellkerns entsprechen soll, müssen wir beweisen, dass es, unter Bedingungen gebracht, wie sie im Körper bestehen, leicht in neue Formen übergehen kann, die sehr reaktionsfähig sind. Wie das Experiment ergeben hat, existieren in jeder Zelle die Bedingungen für kräftige Reduktion. Die Reduktion gibt den Anstoß dazu, dass das sauerstofffreie Adenin in einen neuen Körper umgewandelt wird, der eine außerordentliche Gier nach Sauerstoff hat, und der dann weiterhin durch Anlagerung von mehr Molekülen in einen der Azulminsäure ähnlichen, wenn nicht gar mit dieser identischen Körper übergeht. Wenn man zum Beispiel Adenin in verdünnter Salzsäure löst und mit Zink behandelt, so wird es leicht durch die reduzierende Wirkung des naszierenden Wasserstoffs zerlegt und offenbar in Azulminsäure, $C_4H_5N_5O$, ein Derivat des Dicyans, verwandelt. Wenn Dicyan $\begin{matrix}CN\\|\\CN\end{matrix}$ einfach in Wasser gelöst und der Luft längere Zeit ausgesetzt wird, so nimmt die Lösung allmählich eine dunkle Färbung an, infolge einer Dissoziation, bei der zugleich mit einer gewissen Menge von Azulminsäure Ameisensäure, Blausäure, Ammoniumoxalat und Harnstoff entstehen; abermals Reaktionen, die für den cyanartigen Charakter des Adeninmoleküls sprechen.

Inanbetracht dieser Eigenschaften des Adenins kann man nicht daran zweifeln, dass die aus ihm entstehenden Körper mit starken Affinitäten wichtige Faktoren bei den physiologischen und chemischen Prozessen sein müssen, besonders bei solchen synthetischer Art, die in allen Zellgeweben vorkommen. In dieser Beziehung sei daran erinnert, dass Pflüger aus rein theoretischen Gründen der physiologischen

Rolle, welche die Cyangruppe für das Molekül des lebenden Eiweißes durch Polymerisation u. ä. spielt, große Wichtigkeit beimaß. Totes Albumin, wie wir es im Eierweiß, im Blutfibrin u. dergl. vor uns haben, ist ein verhältnismäßig beständiger Körper, der gegen neutralen Sauerstoff indifferent ist, der nur wenig zu Veränderungen neigt und beim Zerfall Verbindungen gibt, die keineswegs mit den cyanartigen Körpern identisch sind, wie sie ein normaler Metabolismus von Proteinen[1]) liefert. Offenbar wird aber das tote Eiweiß der Nahrung während der Assimilation nach einem anderen Plan umgemodelt, die Atome werden neu angeordnet, und in dem nun lebenden Eiweißmolekül, wie im Zellprotoplasma, haben wir wohl eine enge Verbindung von Kohlenstoff und Stickstoff nach Art der verhältnismäßig unbeständigen Cyangruppe anzunehmen. In dem toten Protoplasma anderseits ist der Stickstoff des Proteins direkt an Wasserstoff zur Bildung einer Amidogruppe (NH_2) gebunden, aber in den anabolischen Prozessen, wie sie in allen lebenden Zellen vorkommen, wird der Stickstoff von Wasserstoff abgespalten und gezwungen, sich direkt mit Kohlenstoff zur unbeständigen Gruppe CN zu vereinen. So können als Zerfallsprodukte beim Proteinmetabolismus resultieren die uns bekannten, die Cyangruppe enthaltenden Verbindungen: Guanin, Harnsäure, Kreatin und der verwandte Harnstoff. Das sind Spaltungsprodukte aus dem lebenden Protoplasma, und mit der Entdeckung des Adenins und seiner nahen Verwandtschaft zu den typischen Xanthinbasen haben wir einen weiteren Beweis für die Existenz von cyanhaltigen Radikalen im Zellprotoplasma, besonders im Karyoplasma des Kerns. In allen diesen Xanthinkörpern finden wir eine eigentümliche Verbindung von Kohlenstoff, Stickstoff und Wasserstoff, wie sie im toten Protein nicht vorkommt. Die Struktur des Moleküls ist anders und bietet das Bild eines noch komplizierteren Moleküls, in dem die Atome ähnlich angeordnet sind.

Wir müssen uns daran erinnern, dass stets bei jeder Zersetzung eines zellreichen Organs mit verdünnter Säure niemals Adenin, Guanin, Xanthin und Hypoxanthin allein entstehen. Man findet sie nicht isoliert, sondern in jedem Gewebe, das unter seinen ursprünglichen Bedingungen geblieben ist, kommen z. B. die beiden eigentlichen Xanthinbasen mit andern Atomgruppen vereint vor, besonders mit Phosphorsäure und Albumin, den Bestandteilen einer höheren Verbindung, des Nukleins. Aus dieser höhern Verbindung können die einzelnen Komponenten nicht durch einfache Lösungsmittel extrahiert oder nach anderen ähnlichen Isoliermethoden gewonnen werden, sondern es muss erst ein Anstoß erfolgen, durch den das komplizierte Molekül zertrümmert wird, und durch den die einzelnen Teile frei gemacht werden, zum Beispiel durch

1) Drechsel, Der Abbau der Eiweißstoffe. du Bois-Reymond's Archiv, 1891, S. 248.

die Wirkung einer verdünnten Mineralsäure. Anderseits finden wir in Geweben, die an Kernelementen arm sind, wie im Muskelgewebe, nur die Zerfallsprodukte des Nukleins; das chemische Band zwischen den einzelnen Komponenten ist zerrissen, und die Phosphorsäure ist nicht mehr in einer organischen Verbindung vorhanden, sondern als lösliches Alkaliphosphat. Ebenso sind Xanthin und Hypoxanthin frei und können allein schon mit Wasser extrahiert werden.

Ferner ist möglicherweise die Umbildung von Adenin und Guanin in Hypoxanthin bezw. Xanthin unter Abspaltung der NH-Gruppe und Aufnahme von Sauerstoff ein Abbild von der Art und Weise, in der die Umwandlung der Amidogruppen im Albumin zum Harnstoff stattfindet; ein Prozess, der zweifellos in den Geweben und vielleicht in jedem Zellkern vor sich geht.

Sicherlich können wir im Sinne der gegebenen Darstellung annehmen, dass der Zellkern auf irgend eine Weise in nahen Beziehungen zu den Prozessen steht, die die Bildung der organischen Materie vermitteln. Was für andere Funktionen er auch sonst noch besitzen mag, jedenfalls ist er vermöge der Eigenschaften, welche die ihn aufbauenden Körper haben, befähigt, die metabolischen Prozesse, die in der Zelle vor sich gehen, zu überwachen und den Stoffwechsel zu modifizieren und zu regeln[1]). Und Sie wollen beachten, dass ich besonderes Gewicht auf die chemische Natur des Karyoplasmas lege; die charakteristischen Eigenschaften des Plasmas hängen von seinem molekularen Bau ab. Nicht die bloße Thatsache, dass das Karyoplasma sozusagen in eine ganz bestimmte Struktur hineingezwängt worden ist, erklärt, dass es solche charakteristische Eigenschaften besitzt, sondern den lebenden Molekülen selbst kommen jene Eigenschaften zu. Die lebenden Moleküle sind etwas Anderes als die toten Moleküle, weil sie eine andere chemische Konstitution haben, weil die Atome anders angeordnet sind. Ist dies Alles richtig, so können wir leicht einsehen, wie kernlose Zellen vielleicht bis zu einem gewissen Grade thätig zu sein vermögen, vorausgesetzt dass sie in ihrem Cytoplasma dieselben chemischen Gruppen enthalten.

Aber ich habe meine Zeit bereits überschritten, und doch wäre noch Vieles zu sagen. Indessen das Gesagte wird Ihnen einigermaßen gezeigt haben, dass hier in der Chemie der Zelle ein Arbeitsfeld liegt, das man auf die Dauer in der biologischen Forschung nicht unberücksichtigt lassen darf.

1) Vergl M. Verworn, Die physiologische Bedeutung des Zellkerns. Pflüger's Archiv für Physiologie, Bd. 51, S. 1.

Verlag von Eduard Besold (Arthur Georgi) in Leipzig. — Druck der kgl. bayer. Hof- und Univ.-Buchdruckerei von Junge & Sohn in Erlangen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Biologisches Zentralblatt

Jahr/Year: 1894

Band/Volume: 14

Autor(en)/Author(s): Chittenden Russel Henry

Artikel/Article: Neuere physiologisch-chemische Untersuchungen über die Zelle 375-384