

wichtige Frage hoffe ich deshalb bald studieren zu können.

v. Hahn (Hamburg): Frage, ob Eiweißlösungen, aus denen eine Fraktion elektrophoretisch entfernt worden ist, eine anaphylaktische Wirkung ausüben.

Frage, ob man die Wirksamkeit des Rekonvaleszenten-serums bei Poliomyelitis eventuell mit diesen Methoden ermitteln kann.

Tiselius (Upsala) Antwort: Versuche in dieser Richtung sind noch nicht angestellt.

Polarisationsoptische Analyse eines Eiweiß-Lipoid-Systems, erläutert am Außenglied der Sehzellen.

Von **W. J. Schmidt.**

(Eingegangen im September 1938)

(Aus dem Zoologischen Institut der Universität Gießen.)

Einleitung.

Noch nicht lange liegt die Zeit hinter uns, da man die Lösung der Rätsel des Lebens von einer eindringenden Kenntnis des Aufbaues der Eiweißmolekel erwartete (E. Pflüger's „lebens des Eiweiß“). Solche Hoffnung hat insofern nicht betrogen, als die Artspezifität der Eiweißkörper — wie sie etwa in den Unterschieden der Protein-komponente des Hämoglobins verschiedener Herkunft oder in den serologischen Reaktionen klar zutage tritt — eine innige Beziehung verrät zwischen dem Speziesbild eines Organismus und dem feineren Verhalten seiner Eiweißsubstanzen. Ja, seitdem man die Eiweißmolekel als Polypeptidkette erkannt hat, ist es sehr wahrscheinlich geworden, daß die lineare Folge der Erbanlagen im Chromosom durch die Art und Reihung der Seitengruppen (am mittleren Kohlenstoffatom der Aminosäurereste) verkörpert wird, welche die zum Chromosom gebündelten Eiweiß-fadenmolekeln tragen (Koltzoff, Przibram, Wrinch). Die bei den Hunderttausenden von Tier- und Pflanzenarten erforderliche Verschiedenheit eines solchen chromosomalen „Eiweiß-musters“, das, von einer Generation zur anderen weitergegeben, in jeder die Entfaltung des Artbildes bestimmt, ist durchaus gegeben, wenn man die Zahl der Isomeren der bekannten Aminosäuren und ihrer Kombinationen in der Eiweißmolekel in Rechnung setzt. Die in allen Kernen gleiche Alphathymonukleinsäure, die dem Histologen als die färbbare Substanz des Kernes so vertraut ist, scheint nur ein Hüll- und Stützgerüst für die Proteine zu liefern.

Aber trotz dieser offensichtlich großen Bedeutung der Proteine im Organismus hat es etwas Bedenkliches, eine Körperklasse aus dem ganzen so verwickelten chemischen Getriebe der Zelle als den eigentlichen „Träger des Lebens“ herauszuheben. Wissen wir doch z. B., daß der Organismus sehr wesentliche Energiebeträge nicht durch Veratmung von Eiweiß, sondern durch Oxydation

und Vergärung von Kohlehydraten gewinnt. Und nicht minder bekannt ist die große und unentbehrliche Rolle der anorganischen Ionen etwa für Wasserhaushalt, Quellungs-zustand und Erhaltung des osmotischen Druckes der Zellen. Solche Überlegungen warnen davor, nur in den Eiweißsubstanzen das eigentliche Lebende in der Zelle zu erblicken, und sie drängen dazu, nicht in dieser oder jener Stoffklasse, sondern in dem Zusammenwirken aller das Verständnis für die Lebensvorgänge zu suchen.

Die Zelle ist aber auch nicht etwa nur ein Gemisch der verschiedenen Baustoffe, wogegen schon die mikroskopisch sichtbare Differenzierung spricht. Und das Wesen selbst mikroskopisch-homogenen Zytoplasmas wird nicht genügend umschrieben, wenn man es angesichts seiner oft solartigen Beschaffenheit als ein hydrophiles Suspensionskolloid von Eiweißstoffen, Kohlehydraten, Lipiden usw. auffaßt, in dem das reichlich vorhandene Wasser das Dispersionsmittel für die Kolloide und das Lösungsmittel für die Elektrolyte darstellt. Sondern wir müssen annehmen, daß auch in optisch homogenem Zytoplasma die verschiedenen stofflichen Komponenten sich in einem dynamischen Abhängigkeitsverhältnis und also auch in einem geordneten submikroskopischen Gefüge befinden. Wie wäre es sonst verständlich, daß Protoplasma durch Druck abgetötet werden kann?

Wie nun die Eiweißkörper des Zellkerns, gemäß ihrer oben angedeuteten Rolle bei der Vererbung, sich als der ruhende Pol in der Erscheinungen Flucht erweisen, ein Verhalten, das mit ihrer verhältnismäßig großen chemischen Stabilität in Einklang ist, so wird man auch ähnlichen Gedankengängen über ihre Bedeutung für das Zellganze Raum geben wollen. R. A. Peters und J. Needham nehmen ein Eiweißskelett an, das Kern und Zytoplasma durchzieht und in innigem Kontakt mit den übrigen Bestandteilen den Ablauf der chemischen Reaktionen „kontrol-

liert“ (Zytoskeletttheorie). Dieses submikroskopische Eiweißskelett hat man sich im Zytoplasma als sehr zerbrechlich, aber wieder regenerierbar vorzustellen, ähnlich wie in einem thixotropen Gel nach Störung das alte Gefüge bald sich wieder herstellt. Die festesten Bereiche dieses Gerüsts dürften wohl an der Oberfläche der Zelle und den Grenzflächen zwischen Kern und Plasma und anderen Zellteilen als Proteinfolien liegen, von denen Ketten in das Zytoplasma hineinragen. Ein solches Gerüst erlaubt auch lokale chemische Reaktionen. Ähnliche Gedanken hat Frey-Wyssling in seiner Haftpunkttheorie des Protoplasmas zum Ausdruck gebracht, nach der Proteinfadenmolekeln ein zartes Molekulargerüst bilden, indem Haupt- und Seitenketten an den Berührungspunkten aneinander haften. Die Haftpunkte wechseln im Leben unaufhörlich, und so wird unter anderem verständlich, wie das Protoplasma trotz geregelter Lage seiner verschiedenen Bestandteile sich wie eine Flüssigkeit verhalten kann.

Zu den Stoffen, die mit dem Eiweißskelett in innigster Beziehung stehen, gehören die Lipide, die, mit jenem verglichen, eine labilere Phase der Zelle darstellen. Sie sind wie die chemisch verwandten Fette in organischen Solventien löslich, zugleich aber in Wasser quellbar. Diese seltsame Vereinigung von wasserfeindlichen und -freundlichen Eigenschaften erklärt sich aus der Anwesenheit von lipophilen und hydrophilen Gruppen in der Lipoidmolekel. Im Lezithin z. B., dem bekanntesten Vertreter der Lipide, trägt ein Glycerilrest 2 Fettsäureketten und eine hydrophile (stickstoff- und phosphorhaltige) Gruppe. Bei Zugabe von Wasser zu Lezithin ordnen sich die Lipoidmolekeln selbsttätig und liefern wasserreiche gelartige Systeme, die sogen. Myelinschläuche. In ihnen stehen die Lezithinmolekeln mit der großen Achse radial und sind zu bimolekularen Schichten geordnet, wobei die unimolekularen Partner ihre hydrophilen Molekelpole nach außen kehren, so daß auch die Oberfläche eines in Wasser entstandenen Myelinschlauches hydrophil ist. Als Baugruppen des Lipoids sind die wasserfeindlichen, chemisch trägen Fettsäuren — Neutralfette erscheinen im Betrieb der Zelle als Reservestoffe (Speicherfett) — auf eine Form gebracht, die beim Stoffwechsel leichter angreifbar und zur feinbaulichen Verwendung mit hydrophilen Komponenten, wie Eiweiß, geeignet ist (Zellfett).

Lipide sind in allen darauf näher geprüften Zellen vorhanden, manchmal in mikroskopisch sichtbaren kleinsten Gebilden (Liposomen);

auch die als „Golgi-Apparat“ und „Mitochondrien“ bezeichneten weitverbreiteten Zellorganelle enthalten reichlich Lipoid. In anderen Fällen freilich ist der Lipidgehalt so gering, daß er nur im Extrakt chemisch nachgewiesen werden kann. Solches Herauslösen der Lipide setzt manchmal stärkere chemische Eingriffe voraus, so daß man an Lipoideiweißverbindungen gedacht hat. Besonders reichlich vorhanden findet man die Lipide in den roten Blutzellen, im Sarkoplasma der Muskelzellen, in Eizellen und vor allem in den Nervenzellen und ihren Ausläufern, den Nervenfasern.

Die physiologische Rolle der Lipide läßt sich dahin kennzeichnen, daß sie auf der Zelloberfläche in Lipoideiweißmembranen einen wichtigen Anteil bei der Auswahl der aufzunehmenden Stoffe haben (Overton), im Zellinneren aber hydrophile Elemente gegeneinander abgrenzen, und es so z. B. möglich machen, daß Vakuolen mit wässrigem Inhalt in dem hydrophilen Zytoplasma sich erhalten. Die besondere Aufgabe der Lipide im Nervensystem ist noch nicht näher bekannt, aber zweifellos bedeutungsvoll, wie die Abhängigkeit der Leitungsgeschwindigkeit von der Dicke der Markscheide der Nervenfasern erkennen läßt. Zu solchen mehr physikalischen Leistungen kommen, wie schon angedeutet, chemische, indem die Lipide Durchgangsstufen für den Fettabbau darstellen.

Die bisherigen Betrachtungen waren mehr theoretischer Art; sie sollten erläutern, wie wichtig eine nähere Kenntnis von der feinbaulichen Beziehung zwischen Lipiden und Proteinen ist. Diese Verhältnisse können nun an lipidreichen Zellen und Geweben, in denen ein geordneter Feinbau sich auf mikroskopische Bereiche erstreckt, an Hand der Polarisationsoptik näher untersucht werden. Ein besonders geeignetes Beispiel hierfür geben die Außenglieder der Sehzellen (Stäbchen- und Zapfenzellen) bei den Wirbeltieren, insbesondere vom Frosch.

Polarisationsoptische Analyse des Außengliedes der Sehzellen vom Frosch.

1. Mikroskopischer Aufbau der Stäbchenzellen.

Bekanntlich lassen sich in der Netzhaut der Wirbeltiere und so auch des Frosches zweierlei Sehzellen unterscheiden, die Stäbchen- und die Zapfenzellen, von denen die ersten dem Dämmerungssehen, die zweiten dem Farbsehen dienen. Wir wollen uns hier an die Stäbchenzellen halten wegen der beträchtlicheren Größe ihres Außengliedes; doch möchte ich be-