

Über den Feinbau des Zytoplasmas

Autor(en): **Frey-Wyssling, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden
Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences
Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **127 (1947)**

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90457>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Über den Feinbau des Zytoplasmas

Von

A. FREY-WYSSLING, Zürich

Unter Zytoplasma verstehen wir das von allen im Lichtmikroskop sichtbaren korpuskularen Einschlüssen (Kern, Plastiden, Mitochondrien, Lipoidtröpfchen usw.) befreite Protoplasma. Die übrigbleibende homogene, hyaline und optisch leere Masse besteht neben Wasser zur Hauptsache aus Eiweißstoffen. MENKE findet in der Zytoplasmasubstanz von Spinatblättern nur 0,5 % und CHIBNALL beim selben Objekt 1,9 % Lipoide, neben 1,6 % Asche, so daß 96,5 % Eiweiß (Proteine und Proteide) vorhanden sind. Der Feinbau des Zytoplasmas hängt daher in erster Linie von der submikroskopischen Gestaltung der Eiweißmoleküle ab.

Wir kennen heute zwei extrem verschiedene Molekülformen der Proteine: einerseits kugelige Makromoleküle (globulärer Typus) und andererseits fadenförmige Makromoleküle (fibrillärer Typus). Beide Typen bestehen aus denselben Aminosäuren, so daß man keinen grundlegenden chemischen, sondern nur einen prinzipiellen morphologischen Unterschied feststellen kann. Die Kenntnis der Gestalt dieser Moleküle verdanken wir zum großen Teil ihrer Fähigkeit zu kristallisieren. Mit Hilfe von Röntgenuntersuchungen kann ihre Form aus dem Typus des Kristallgitters abgeleitet werden. Die globulären Eiweißstoffe bilden quellbare und färbbare, meist isodiametrische Kristalle (zum Beispiel rhomboedrisches oder kubisches System), die von den botanischen Zytologen als Kristalloide bezeichnet worden sind. Sie besitzen ein losegebautes Lückengitter, aus dem Hydratationswasser sehr leicht entweicht. Schon das Trocknen der Kristalle genügt, um den inneren Kristallbau zusammenstürzen zu lassen, wobei weitgehend amorphes Eiweiß entsteht. Im Gegensatz dazu kristallisiert fibrilläres Eiweiß in stark

anisotropen Kettengittern, die eine mikroskopische Fibrillär-, Faser- oder Fadengestalt bedingen.

Tabelle 1. Kristallisierte Eiweißstoffe

	Globuläres Eiweiß	Fibrilläres Eiweiß
Beispiele	Reserveeiweiß (Excelsin, Lactoglobulin) Fermente (Pepsin, Chymotrypsin)	Gerüsteiweiß (Keratin, Kollagen) Fasereiweiß (Seidenfibroin)
Kristalle	± isodiametrische Kristalle schwach anisotrop oder isotrop	Fibrillen, Fasern stark anisotrop
Kristallgitter	Lückengitter aus Kugelmolekülen große, intermolekulare Netzebenenabstände	Kettengitter aus Fadenmolekülen kleine, z. T. intramolekulare Netzebenenabstände
Besondere Eigenschaften	stark hydratisiert, labil leicht verdaulich	weitgehend dehydratisiert, stabil schwer verdaulich

In Tab. 1 sind einige Eigenschaften der beiden Eiweißtypen zusammengestellt; sie zeigt, wie sich globuläre und fibrilläre Eiweißstoffe in mancher Hinsicht gegensätzlich verhalten. Fragen wir uns, wo wir hier das Plasmaeiweiß einreihen sollen, so stoßen wir auf große Schwierigkeiten, da es nicht kristallisationsfähig ist. Man darf wohl annehmen, daß die beiden geschilderten Molekültypen Extremformen vorstellen, die eine Kristallisation erlauben, daß aber dazwischen noch alle möglichen Zwischenformen denkbar sind. Solche Übergangsformen müssen tatsächlich existieren, denn es sind Vorgänge bekannt, die offenbar auf molekularen Formveränderungen der Eiweißmoleküle beruhen: einerseits die Kontraktilität von Proteinfadenmolekülen, wobei sich die Kette irgendwie auffaltet; die Möglichkeit dieser Formveränderung ist eine

Grundeigenschaft des lebenden Zytoplasmaeiweißes. Andererseits können Proteinkugelmoleküle durch ungeeignete Dehydratisierung so verändert werden, daß im Röntgendiagramm an Stelle der weiten intermolekularen Lückengitterabstände die Interferenzen der intramolekularen Faserperiode der fibrillären Eiweißstoffe erscheinen. Da bei diesem Vorgang die Verdaulichkeit der Reserveeiweißstoffe in irreversibler Weise weitgehend verloren geht, wird er als *Denaturierung* der Proteine bezeichnet.

Die große Unlöslichkeit der Faserproteine wird verständlich, wenn wir von Eiweißlösungen ausgehen. Die globulären Eiweißstoffe bilden ein korpuskular disperses Sol, wobei die Makromoleküle weitgehend hydratisiert sind und namentlich auch in ihrem Inneren Hydratationswasser enthalten. Dadurch sind sie dem Angriffe von Fermenten leicht zugänglich. Bei den fibrillären Eiweißstoffen ist ein Sol mit unabhängig beweglichen Teilchen nur bei viel geringerer Konzentration denkbar. Bei etwas höherer Konzentration entsteht eine Gellösung, die durch Nahordnung (Ordnung in kleinsten Bereichen) der sich gegenseitig richtenden Fadenmoleküle ausgezeichnet ist. Eine solche Lösung verhält sich verglichen mit idealen Flüssigkeiten anomal, indem sie schwach elastische Eigenschaften (Non-Newtonian liquid) und Strukturviskosität aufweist. Es ist leicht ersichtlich, daß ein solches System bei weiterer Steigerung der Konzentration oder bei Gegenwart von überlangen Fadenmolekülen zu Gelbildung und eventuell zu Kristallisation neigt. Tritt Kristallisation ein, so entstehen Kettengitter, in welche sich die Fadenmoleküle im dehydratisierten Zustande einfügen.

Der Dispergierung oder Peptisierung von kristallisiertem Eiweiß geht ein Herausbrechen der Moleküle aus dem Kristallgitter voraus. Es ist verständlich, daß dies bei einem Kettengitter viel weniger leicht möglich ist als bei einem stark hydratisierten Lückengitter. Dazu kommt noch, daß sich die denaturierten Fadenmoleküle aus unbekannten Gründen *in vitro* nicht mehr hydratisieren lassen und daher eigentlich nur im unlöslichen, schwer verdaulichen Zustand bekannt sind.

Wie leicht die Denaturierung zustande kommt, zeigt das Verhalten von globulären Eiweißstoffen (zum Beispiel Albumine und Globuline) bei Spreitversuchen auf der Oberfläche von Wasser oder Salzlösungen. Die Kugelmoleküle nehmen in solchen Grenzflächen eine Oberfläche ein, die über 100mal größer ist als der

Kugelquerschnitt. Die Kugel denaturiert zu einer außerordentlich dünnen Scheibe. Man kann sich dies so erklären, daß alle hydrophilen Gruppen der Polypeptidketten mit dem Wasser in Kontakt bleiben und die hydrophoben Gruppen vom Wasser abgewendet werden. Das Unerwartete ist jedoch, daß dabei das intramolekulare Hydratationswasser verloren geht, denn die auf der Oberfläche schwimmende Scholle ist nun zu einer unlöslichen Haut geworden. Diese « Denaturierung » kann nicht rückgängig gemacht werden.

Solche Feststellungen machen es wahrscheinlich, daß die Eiweißstoffe, die zusammen mit Lipoiden die semipermeable Grenzschicht des Zytoplasmas bilden, nicht kugelige, sondern fadenförmige Moleküle sind. Aber auch im Inneren des Zytoplasmas und namentlich im gelartigen Ektoplasma müssen fädige Eiweißelemente vorhanden sein (Fadenziehen bei Plasmolyse, Doppelbrechung der Filipodien von Rhizopoden usw.). Dabei braucht man sich nicht extrem fibrilläre Proteine vorzustellen; wie bereits bemerkt, sind Zwischenformen zwischen den beiden extremen Eiweißtypen denkbar, die dann auch hinsichtlich ihrer Hydratation und Löslichkeit eine Mittelstellung einnehmen. Ferner besteht die Möglichkeit, daß das lebende Zytoplasma im Gegensatz zum Experiment *in vitro* die beiden Formen reversibel ineinander überführen kann. Jedenfalls dürfen wir uns aber in Plasmagel und Plasmafäden mehr oder weniger filiforme Eiweißmoleküle als Grundbausteine vorstellen. Die Bildung von Plasmafäden aus Kugelmolekülen, ähnlich einem Bündel von Perlenketten, scheint mir unmöglich; auch in einer Perlenkette braucht es als fibrilläres Element einen Faden, um die Perlenkugeln aufzureihen !

Fibrilläres Eiweiß ist ferner notwendig, um die Kontraktilität des Zytoplasmas und damit die Plasmaströmung zu verstehen. Soweit heute bekannt ist, beruht diese Grundeigenschaft der lebenden Substanz auf der Verkürzung von fadenförmigen Proteinmolekülen. Diese Verkürzung ist jedoch nicht eine Umkehrung der Denaturierung, die zu globulären, hydratisierten, löslichen Eiweißmolekülen und damit zu einer Dispergierung führen müßte, sondern es muß bei der Kontraktion im Gegenteil eine weitere gegenseitige Verknüpfung der Fadenmoleküle stattfinden, da sonst keine Formveränderung nach außen wirksam würde. Wird die Verkürzungstendenz nicht durch genügend große seitliche Bindekräfte (Haftpunkte) auf die Nachbarelemente übertragen, so kriechen

diese aneinander vorbei und gleiten voneinander ab. Diese Fragen werden ferner am Beispiele der Zellorganisation im Hinblick auf die Morphogenese diskutiert.

Die Beweglichkeit des Zytoplasmas ist an reversible Gel-Sol-Umwandlungen gebunden. Es ist jedoch nicht nur ein zeitliches *Nacheinander*, sondern eben so sehr ein ständiges örtliches *Nebeneinander* von Gel- und Solzuständen lebensnotwendig. Für das Zytoplasmaeiweiß kann keine bestimmte Molekülform angegeben werden, vielmehr ist es durch einen steten *Formwechsel* zwischen den beiden Extremen der kugeligen und der fadenförmigen Gestalt ausgezeichnet.

(Ausführlich publiziert mit 3 Abbildungen in *Chimia I*, 224, 1947.)