

## Werk

**Titel:** Die Messung der Plasnaviskosität lebender Pflanzenzellen

**Autor:** Weber, Friedl

**Ort:** Berlin

**Jahr:** 1917

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X\\_0005|log55](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0005|log55)

## Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

nach der einen und anderen Seite möglich erscheinen läßt.

Es handelt sich beim Durchlauf der Ordnungsstufen dieser Serie von Zuständen gewissermaßen um eine Metamorphose der Materie in der Aneinanderreihung Gas — Flüssigkeit — flüssiger Fastkristall — Kristall, eine Metamorphose, die am Stoff vor- und rückläufig und dazu beliebig oft ausgeführt werden kann. Ein Schema solcher Zustandsänderungen möge in Fig. 13a—d dargestellt werden. Es sind in ihr auch im Kristall Fig. 13d chemische Molekeln durch atomverknüpfende Striche umgrenzt; dabei ist jedoch die Raumgitterstruktur gewissermaßen als eine Überprägung des Molekelaggregates hinzuzudenken.

Im übrigen ist wahrscheinlich, daß beim Wachsen eines jeden Kristalls die *Oberflächenschichten* jeweils eine *unvollkommen geordnete Übergangszone* zum streng geordneten Raumgitterbau des

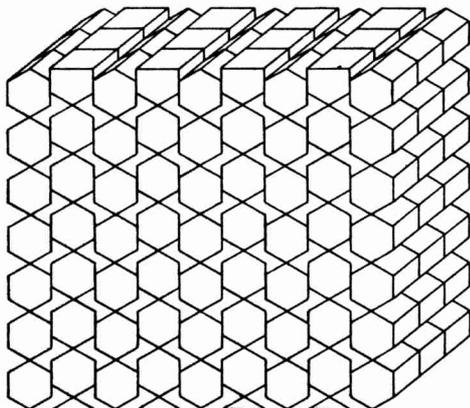


Fig. 13 d.

Fig. 13a—13d. Schema des Zustandes von Gasen, Flüssigkeiten, Fastkristallen und Kristallen.

unter ihr konsolidierten Kristallkörpers vorstellen. Man gelangt zu dieser Annahme in Ansehung des Umstandes, daß ein fundamentaler Raumteil, wie er für verschiedene Stoffe in den Fig. 7 und 8 dargestellt ist, im numerischen Verhältnis seiner Atome der chemischen Formel nicht entspricht. So hätte ersichtlich ein Flußspatwürfelchen der Fig. 7b (mit einer Kantenlänge von  $5,44 \cdot 10^{-8}$  cm), wenn es für sich existieren könnte, ein Verhältnis von Ca : F wie 14 : 8 statt von 14 : 28 entsprechend der Formel  $\text{CaF}_2$ . Bei einem Würfel von  $5,44 \cdot 10^{-7}$  cm wäre dieses Verhältnis 36,51 : 63,49 statt 33,33 : 66,66 und erst allmählich würde beim Wachsen des Kristalls in immer größerer Annäherung das ideale Verhältnis 1 : 2 erreicht. Diese Abhängigkeit der Zusammensetzung von der Größe des Kristalls<sup>1)</sup>, die gegen das Gesetz der einfachen multiplen

<sup>1)</sup> Die entsprechenden eigenartigen Umstände beim Spalten und Pulverisieren von Kristallen in sehr kleine Teile seien hier nur angedeutet.

Proportionen sich wenden würde, erscheint unmöglich. Hiernach muß angenommen werden, daß die *Grenzfläche des Kristalls gegen das umgebende Medium in atomistischen Dimensionen den Raumgitterforderungen nicht genügt*. Man wird von außen nach innen fortschreitend von kristallographisch nicht geordneten zu Schichten gelangen, die in kontinuierlichem Übergange die kristalline Raumgitterordnung erreichen. Erst durch diese vermittelnde Oberflächenschicht wird der Chemismus des wachsenden Kristalls von dessen Größe unabhängig.

Diese Eigenart der Oberfläche ist zugleich die *Triebfeder für das Wachstum der Kristalle*, die ständig wirkt, da sich ja durch Ablagerung neuer Substanz auf der alten die Oberflächenschicht mit ihrer Besonderheit stets wieder erneuert. Bereits K. Fajans und F. Richter<sup>1)</sup> sowie F. Paneth<sup>2)</sup> haben die Kristalloberfläche, auf der nach Habers<sup>3)</sup> und ihren Erörterungen ein Teil der Valenzen gewissermaßen frei in den Raum ragt, mit dem Kristallwachstum in Beziehung gebracht.

So erscheint denn im Überblick des Ganzen eine stetige Reihe der Materie; sie spannt sich von dem gasigen Zustande der Dinge mit seiner Wirrnis der Aggregation voneinander unabhängiger chemischer Teilchen zu den Flüssigkeiten, Fastkristallen und wahren Kristallen als dem in strengster geometrischer Architektur gehaltenen Endgliede.

Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Leipzig, 30. November 1916.

## Die Messung der Plasmaviskosität lebender Pflanzenzellen.

Von Dr. Friedl Weber, Graz.

Die Pflanzen reagieren auf Veränderungen bestimmter Faktoren der Umwelt, so z. B. auf Richtungsänderungen des Lichtes oder der Schwerkraft durch heliotropische bzw. geotropische Krümmungen. Diese makroskopisch sichtbaren *Reizreaktionen* stellen aber naturgemäß keineswegs die primäre Wirkung dieser Reize auf den Organismus dar, vielmehr ist wohl von vornherein die Annahme berechtigt, daß infolge des Reizes im *Protoplasma* der lebenden Zellen *primäre Zustandsänderungen* vor sich gehen, die wenigstens zeitlich als Vorläufer der Reizreaktionen aufzufassen sind. Ein Einblick in diese Zustandsänderungen der lebenden Substanz ist naturgemäß nicht leicht zu gewinnen.

Bedenkt man, daß alle Lebenserscheinungen sich in einem kolloiden System abspielen, daß im

<sup>1)</sup> K. Fajans und F. Richter, Das Verhalten der Radioelemente bei Fällungsreaktionen. II. Ber. chem. Ges. 700, 1915.

<sup>2)</sup> F. Paneth, Über Adsorbierung und Fällung der Radioelemente. Phys. Zeitschr. 15, 924, 1914.

<sup>3)</sup> F. Haber, Diskussion. Zeitschrift f. Elektrochemie 20, 521, 1914.

Protoplasma die kolloiden Anteile, wie Eiweißkörper, Fermente, Lipide usw. die entscheidende Rolle spielen, daß die wichtigsten Reaktionen, die im Plasma vor sich gehen, Kolloidreaktionen darstellen, so liegt es nahe, zur Erforschung der Zustandsänderungen des Protoplasmas die Methoden der Kolloidchemie anzuwenden.

Unter diesen Methoden steht die *Viskosimetrie*, die Messung der Zähigkeit oder inneren Reibung der Kolloide an erster Stelle. *Wo. Ostwald* (1913 und 1915) sagt diesbezüglich: „Die Messung der Viskosität ist ein hervorragendes, methodisches Prinzip zur Erforschung der Eigenschaften des kolloiden Zustandes, insbesondere aber für das Studium jener Vorgänge in kolloiden Systemen, die man als Zustandsänderungen zu bezeichnen pflegt. . . . Es wird ganz allgemein zu Indikatorzwecken diejenige Eigenschaft eines Kolloids am besten passen, welche einerseits möglichst starke Variationen bei schon geringfügigen Änderungen des kolloiden Zustandes zeigt und welche andererseits eine quantitative Messung, tunlichst noch bei nicht allzu komplizierter Methodik erlaubt. . . . Ferner müssen diese Meßmethoden es gestatten, den Verlauf einer Zustandsänderung an ein und demselben System zu charakterisieren, ohne daß dabei das Kolloid zerstört wird. . . . Diese Forderungen werden nun in hervorragendem Maße gerade von der Viskosität als Indikatoreigenschaft erfüllt.“

Die Messung der Viskosität in Molekulardispersoiden und kolloiden Lösungen kann relativ leicht auf zweierlei Weise erfolgen. Auf dem Prinzip der *Auslaufmethode* beruht das Viskosimeter *Wilh. Ostwalds* „ein U-förmiges Röhrchen, in welchem die Durchlaufzeit eines konstanten Flüssigkeitsvolumens durch eine Kapillare mit der Stechuhr gemessen wird. Proportional der Durchlaufzeit und der Dichte der Flüssigkeit ergibt sich die sog. relative Viskosität“. (*Wo. Ostwald* 1912.) Mit dieser Auslaufmethode brauchen wir uns hier nicht zu beschäftigen, da ihre Anwendung bei den von Zellwänden umschlossenen pflanzlichen Protoplasten nicht möglich ist. — Ein dem anderen Prinzip, der *Fallmethode*, angepaßtes Viskosimeter läßt sich in folgender einfacher Weise herstellen: Man füllt einen Glaszylinder mit der Lösung, deren Zähigkeit ermittelt werden soll, bringt daran in bestimmtem Abstände zwei Marken an und läßt eine Glaskugel durch die Flüssigkeit von einer Marke zur anderen sinken (bei Wiederholung des Versuches — nach Drehung des Apparates um 180°). Die Zeit, die zum Durchfallen dieser Wegstrecke verbraucht wird, verglichen mit der Zeit, welche die Kugel braucht, um die gleiche Strecke in Wasser zu durchfallen, gibt ein relatives Maß der Viskosität.

Nach dieser Fallmethode kann auch die Viskosität des lebenden Plasmas gemessen werden. *Haberlandt* und *Němec* haben nachgewiesen, daß sich in vielen Pflanzen in den sog. Statolithenzellen bewegliche Stärkekörner vorfinden, die der

Schwerkraft folgend stets der unteren Zellwand angelagert erscheinen. *A. Heilbronn* hat nun vor kurzem geeignetes Versuchsmaterial (insbesondere Stengelzellen von *Phaseolus multiflorus* und *Vicia faba*) ausfindig gemacht, bei welchem sich (an mikroskopischen Schnitten) in lebenden Zellen das Sinken dieser Stärkekörner beobachten läßt. Diese Methode *Heilbronn*s ist vollkommen der Fallmethode zu vergleichen. Wir erkennen leicht das lebende Viskosimeter: Die Wände der Zelle entsprechen dem Glaszylinder, der Plasmakörper ist die „Flüssigkeit“, deren Viskosität gemessen werden soll, und das einzelne Stärkekorn stellt die spezifisch schwerere Glaskugel dar.

Beobachtet wird die Sinkbewegung der Statolithenstärke im horizontal umgelegten Mikroskop. Durch Verwendung eines drehbaren Objektisches oder durch Befestigung des ganzen Mikroskopes an einer kräftigen Drehscheibe kann der auf einem gewöhnlichen Objektträger in Wasser liegende Pflanzenschnitt am Mikroskopisch beliebig oft um 180° gedreht und so wiederholt das Sinken (im mikroskopischen Bilde: das Aufsteigen) der Stärke gemessen werden. Man mißt entweder die Fallzeit für den ganzen Weg von der oberen bis zur unteren Zellwand oder besser nur für eine kürzere möglichst in der Mitte der Zelle gelegene Strecke, die durch Teilstriche eines Okularmikrometers begrenzt wird. *Heilbronn* berechnet auf diese Weise die Viskosität des Plasmas in den Stärkescheidezellen von *Vicia faba* mit 23,7 bezogen auf destilliertes Wasser von 18° C.

Auf Grund dieser Methode zur Viskositätsbestimmung des Plasmas lebender Pflanzenzellen konnte man daran gehen, die Gesetze der Viskositätsänderungen des lebenden Biokolloidkomplexes unter dem Einfluß äußerer Faktoren zu studieren. *Heilbronn* selbst hat Beobachtungen gemacht über weitgehende Viskositätszunahme, die das Plasma in einen Zustand physikalischer Starre versetzt, und zwar spricht *Heilbronn* dann von *Plasmastarre*, „wenn die Viskosität transitorisch den Grad erreicht hat, der nötig ist, um den Fall beweglicher Stärkekörner zu hemmen“. Derartige Plasmastarre tritt ein vor allem als eine Art Wundchokwirkung bei der Anfertigung der mikroskopischen Schnitte; diese Viskositätssteigerung geht aber in den unversehrten Zellen im Verlaufe von etwa 10 Minuten wieder zurück. Eine ebensolche *reversible* Starre des Plasmas wurde von *Heilbronn* erzielt durch 15 Minuten oder länger dauernde Einwirkung von Temperaturen von 40° bis 50° auf Keimlinge von *Avena sativa*. Auch unter dem Einfluß von Narkotica tritt nach *Heilbronn* Plasmastarre ein und zwar wenn die Schnitte in 10 bis 20 % Ätherwasser gelegt werden, während Ätherwasser geringerer Konzentration die Viskosität herabzusetzen vermag.

Man hat schon lange von „Starrezuständen“ der Pflanze gesprochen, wenn unter dem Einfluß

äußerer Faktoren gewisse Lebensvorgänge und insbesondere die Reaktionsfähigkeit auf äußere Reize vorübergehend gehemmt erscheinen. *Heilbronn* hebt nun mit Recht hervor, daß — wenigstens was die Narkose- und Wärmestarre betrifft — seine Untersuchungen den Nachweis erbracht haben: Die genannten Faktoren rufen nicht nur hinsichtlich der makroskopischen Lebenserscheinungen einen Starrezustand hervor, sondern auch eine bisher nicht bekannte physikalische Starre des Plasmas. Von der Perzeptions- und Reaktionsfähigkeit der Pflanze insbesondere auf *geotropische* Reize nimmt *Heilbronn* an, daß sie verloren geht, wenn die Zähigkeit des Protoplasmas den von ihm als „Starre“ charakterisierten Grad erreicht. Auch die Beziehungen der Hemmung der Protoplasmaströmung bei Erstickungs-, Wärme-, Kälte-, Narkosestarre zum Viskositätsgrad des Plasmas verdienen eingehendes Studium. (Vergl. *Ewart*, 1903.)

*K. Linsbauer* hat bereits 1910 darauf hingewiesen, die erste Zustandsänderung infolge der Reizwirkungen könne möglicherweise physikalischer Natur sein und ferner darauf, daß es von großem Interesse wäre, mit Hilfe der Methode *Heilbronn*s nach den primären Reizeffekten im lebenden Plasma zu forschen. Auf seine Anregung haben *G. und F. Weber* am pflanzenphysiologischen Institute der Universität Graz die *Wirkung der Schwerkraft auf die Plasmaviskosität* eingehend untersucht. Es sollte ermittelt werden, ob auf Lageveränderungen der Zellen hin, also als Reizeffekt der Schwerkraftwirkung eine Veränderung der Plasmaviskosität erfolgt und in welchem Sinne.

Das uns hier interessierende Hauptergebnis dieser Arbeit läßt sich so formulieren: Jede Veränderung einer gewöhnten Lage ruft in den Zellen der Stärkescheide von *Phaseolus multiflorus* eine Reizwirkung hervor, nämlich Abnahme der Viskosität des Plasmas. Dieser Reizeffekt wird geoviskosischer genannt. In der geotropischen Reizlage, z. B. in horizontaler Lage, äußert er sich auf den antagonistischen Flanken in gleichem Sinne, aber ungleich groß. Die Abnahme der Plasmazähigkeit ist unterseits größer als oberseits.

Auf die weiteren Ergebnisse der genannten Arbeit, die für die Analyse des geotropischen Reizvorganges von Interesse sind, soll hier nicht eingegangen werden. Hier interessiert hauptsächlich die Tatsache, daß sich auch für die Biokolloide die Viskositätsmessung als Forschungsmethode bewährt, wenn es sich um die Erforschung von Zustandsänderungen handelt, die derzeit mit keiner anderen Methode im Plasma lebender Zellen nachzuweisen sind. Wie in leblosen Kolloiden, so zeigt auch im Plasma die Viskosität relativ starke Variationen, und zwar bei Änderungen seines Zustandes, die wohl nur geringfügig sein können; diese Variationen lassen sich verhältnismäßig genau und leicht messen,

ohne daß das Plasma dabei zerstört, getötet zu werden braucht.

Aus der Physik der Kolloide ist bekannt, welchen enormen Einfluß äußere Faktoren auf die Zähigkeit kolloider Lösungen nehmen. Eine Untersuchung des Temperatureinflusses auf die Plasmaviskosität ist derzeit an dem Grazer Institut im Gange. Aber auch Eingriffe, die, wie man meinen sollte, weniger tief gehen, verändern die Viskosität der Kolloide: so genügt einfaches *Schütteln*, um die Viskosität mancher Emulsoide herabzusetzen; damit stimmt gut überein die Feststellung von *G. und F. Weber* (1916), daß durch „Schütteln“ mit einem geeigneten Apparate im Zellplasma von *Phaseolus*stengeln ebenfalls Viskositätsänderungen erzielt werden konnten. — Wie die Kolloidchemie lehrt, genügt der *Zeitfaktor* allein, um die Zähigkeit eines Kolloids zu ändern; speziell „verändern typische Emulsoide ihre innere Reibung häufig schon nach Minuten“ (*Wo. Ostwald* 1912) und zwar wächst die Viskosität emulsoider Lösungen in der Regel spontan mit der Zeit. Wenn *G. und F. Weber* auf Grund ihrer Beobachtung, daß jede Lage zu einer geoviskosischen Ruhelage werden kann, annehmen: „erfolgt eine bestimmte Zeit hindurch keine Lageveränderung (keine Reizung), so strebt das Plasma autonom einem spezifischen für die betreffende Zelle normalen Viskositätsgrad zu“, so kann bei dieser autonomen Regulation des Viskositätsgrades die allgemein erkannte „zeitliche Unbeständigkeit“ der Viskositätswerte kolloider Lösungen eine Rolle spielen.

Natürlich beeinflussen *Zusätze aller Art*, sowohl von Nichtelektrolyten als auch von Elektrolyten die Viskosität der Kolloide; es sei nur hingewiesen auf die Arbeiten *Wo. Pauli*s und seiner Schule über die Kolloidchemie der Eiweißkörper. (Literatur bei *Wo. Ostwald* 1912.) Nach *Pauli* erweist sich beim Eiweiß in vitro die innere Reibung als wesentlich abhängig von Säuren und Basen. „Die durch künstlichen Säure- oder Alkalizusatz zu Eiweißkolloiden erreichbare Ionisation läßt einen bedeutenden Zusammenhang erkennen mit den graduellen Variationen im flüssigen Zustand des Mediums, also mit den verschiedenen Abstufungen der inneren Reibung oder Viskosität.“ (*Tschermak*, 1916.) Die Möglichkeit, analoge Studien am lebenden Plasma zu machen, eröffnet ein weites Arbeitsgebiet.

Vereinzelte Beobachtungen liegen in dieser Beziehung übrigens bereits vor. So hat *Szücs* (1913) nachgewiesen, daß Aluminiumionen eine *Erstarrung* des Protoplasmas pflanzlicher Zellen bewirken. Auch diese Erstarrung ist gewiß nichts anderes als eine hochgradige Viskositätszunahme. *Szücs* äußert sich über diesen Starrezustand in folgender Weise: „Im erstarrten Protoplasma können die einzelnen Teilchen keine Verschiebungen erleiden... Die spiraligen Chloroplasten der Alge *Spirogyra* werden durch genügend große Zentrifugalkräfte in der Wirkungs-