

Werk

Titel: Ueber den Bau quellbarer Körper und die Bedingungen der Quellung

Autor: Bütschli, O.

Jahr: 1895

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?251726223_0040|log19

Kontakt/Contact

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

✉ info@digizeitschriften.de

Ueber den Bau quellbarer Körper und die Bedingungen der Quellung.

Von

O. Bütschli.

Mit 5 Textfiguren.

Vorgelegt in der Sitzung am 19. October 1895.

Schon seit einigen Jahren haben mich Untersuchungen über die besonderen, mikroskopisch feinen Bauverhältnisse der quellbaren Körper beschäftigt, worüber ich seit 1892 mehrfach berichtete. Natürlich mussten die hierbei gemachten Erfahrungen auch zu einer Vorstellung über den Vorgang und die Bedingungen der Quellungserscheinung selbst hinleiten. Ich hatte denn auch schon als Schlussabschnitt meines vorjährigen Berichtes (1894) eine Darlegung der Ansichten über die Quellung niedergeschrieben, zu welchen ich durch meine Erfahrungen geführt wurde. — Bei nochmaliger Durchsicht des Niedergeschriebenen schien es mir aber doch nothwendig, zuvor noch einige Fragen eingehender zu untersuchen, weshalb ich mich im Laufe des vergangenen Winters diesen Untersuchungen von Neuem zuwandte. Ueber das hierbei Gefundene soll in diesen Zeilen zunächst kurz berichtet werden. —

1. Versuche über die Eintrocknung von Gelatinegallerte, sowie die Einführung verschiedener Flüssigkeiten oder Luft in die Hohlräumchen quellbarer Körper.

Aus meinen früheren Mittheilungen geht hervor, dass ich einen äusserst feinen schaumartigen Bau für eine der wesentlichen Eigenthümlichkeiten der quellbaren Körper halte. Ich konnte zeigen, dass bei einer ganzen Anzahl solcher Körper im gequollenen Zustande eine derartige Structur nachweisbar ist, dass aber bei der Austrocknung die Sichtbarkeit der Structur meistens erlischt, indem eine mehr oder weniger glasig-durchsichtige, anscheinend

strukturlose Beschaffenheit angenommen wird. Erst nachträglich, bei dem Studium älterer Litteratur fand ich, dass schon vor langer Zeit Chevreul (1821) für eine ganze Reihe quellbarer Gewebe des Thierkörpers, für geronnenes Eiweiss u. A. auf diese eigenthümliche und charakteristische Erscheinung hingewiesen hat, soweit sie sich makroskopisch erkennen lässt.

Wie früher bemerkt wurde, beruht das durchsichtig- und glasigwerden der im gequollenen Zustand mehr oder weniger undurchsichtigen Körper darauf, dass die Flüssigkeit, welche die feinen Maschen- oder Wabenräume erfüllt, verdunstet und diese Räume selbst völlig oder doch nahezu völlig zusammenschrumpfen, obliteriren, aber bei erneuter Quellung sich genau in der früheren Weise wieder mit Flüssigkeit füllen. Beweise für diese Auffassung habe ich schon 1892 (2, p. 3 d. Sp. A.) und namentlich in meiner letzten Mittheilung (1894 p. 9 ff. d. Sp. A.) beigebracht. Wenn jedoch durch besondere Bedingungen das Zusammensinken der Wabenräume beim Eintrocknen verhindert wird, so tritt an Stelle der verdunstenden Flüssigkeit Luft; der eintrocknende gequollene Körper wird dann nicht glasig durchsichtig, sondern umgekehrt viel undurchsichtiger wie zuvor, d. h. in der R. kreideweiss. — Gleichzeitig behält er dann natürlich auch beim Trocknen annähernd das frühere Volumen, er schrumpft nicht oder doch viel weniger wie bei der glasigen Eintrocknung. — Schon 1892 (2 p. 2 d. Sp. A.) wurde namentlich für geronnenes Eiweiss, Gelatine und Gummi diese gelegentliche Luftefüllung unter gewissen Bedingungen geschildert und für die Richtigkeit meiner Vorstellung von dem Bau dieser und ähnlicher Körper verwertht.

Wie eine nähere Ueberlegung zeigt, muss das Zusammenschrumpfen der Wabenräume beim Eintrocknen solcher Körper wesentlich durch den Druck der äusseren Luft verursacht werden, der in dem Masse wie die Flüssigkeit aus dem Innern der Waben verdunstet, deren ungemein dünne und biegsame Wände zusammenpresst und daher schliesslich die Räume völlig oder nahezu völlig obliterirt.

Wenn diese Vorstellung richtig ist, so muss es gelingen, durch Verminderung oder Aufhebung des äusseren Luftdrucks und weiterhin durch geeignete Bedingungen, welche eine möglichst grosse Starrheit und Widerstandsfähigkeit des Gerüstwerks gegen äusseren Druck erzeugen, beim Eintrocknen solch' quellbarer Körper Luft in ihre Wabenräume einzuführen und sie undurchsichtig weiss zu machen. — Diesen Gedankengang habe ich einer näheren Prüfung unterworfen und ihn auch im Wesentlichen bestätigt gefunden. —

Gelatinegallerte von 5—20 % oder etwas höherem Gehalt bei gewöhnlichem Luftdruck oder unter der Luftpumpe eingetrocknet, wird stets glasig, scheint also die gemachten Voraussetzungen nicht zu bestätigen. Doch halte ich dies nicht für beweisend, da die mir zu Gebote stehenden Einrichtungen nur eine Luftverdünnung gestatteten, die nicht unter 6—10 cm Hgdruck ging. Bei der ungemeinen Nachgiebigkeit der minimal dünnen Wabenwände ist unter

diesen Umständen kaum zu hoffen, eine Lufterfüllung der wasserhaltigen Gelatine zu erzielen. —

Beim Eintrocknen der wasserhaltigen Gelatine in Luft zeigen sich jedoch einige Besonderheiten, welche wohl erwähnt zu werden verdienen. Wird ein freistehender, z. B. auf eine Nadelspitze aufgesetzter Gelatinewürfel eingetrocknet, so nimmt er eine ganz besondere, von der ursprünglichen Würfelgestalt abweichende Form an, welche, wenn die Austrocknung gleichmässig und ohne Störung verlief, eine nahezu geometrisch regelmässige ist. Wie leicht erklärlich, trocknen nämlich die Kanten des Würfels zuerst aus, da sie an den beiden anstehenden Flächen der Verdunstung unterliegen; sie werden daher bald so fest und unnachgiebig, dass sie bei der fortdauernden Trocknung als festes Gerüst stehen bleiben und sich nicht weiter oder doch nur sehr wenig verkleinern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich diese Kanten bei dem Trocknungsprocess nicht nach allen Richtungen gleichmässig zusammenziehen konnten, da sie daran durch die übrige, weniger eingetrocknete Masse des Würfels gehindert werden. Die Kanten müssen daher in ihrer Längsrichtung gespannt werden. Dies spricht sich denn auch einige Zeit nach Beginn der Trocknung deutlich dadurch aus, dass sich die ursprünglich ebenen Würfelflächen schwach convex hervorwölben und auch die Kanten selbst schwach convex gekrümmt sind. Nach einiger Zeit verliert sich jedoch diese Wölbung der Flächen und Kanten wieder und nun bilden die festgewordenen Kanten, wie gesagt, eine Art Gerüst, an dem die übrige eintrocknende Masse des Würfels gewissermassen aufgehängt ist. — Ohne genaueres Eingehen auf die Einzelvorgänge des weiteren Eintrocknungsprocesses wird es verständlich

sein, dass unter diesen Bedingungen jede der Würfelflächen zu einer vierseitigen Pyramide einsinken muss, deren Kanten gegen die 4 Ecken der Fläche verlaufen. Jede dieser ausgehöhlten Pyramiden zeigt gewöhnlich eine abgestutzte Spitze, deren Fläche zusammen mit den entsprechenden 5 anderen einen würfelförmigen Körper bildet, dessen Grösse natürlich von dem Wassergehalt der urspr. Gelatinegallerte wesentlich bedingt wird. — Die Regelmässigkeit des so entstandenen Körpers ist, wie bemerkt, häufig sehr überraschend. Zwei Gelatinewürfel (5 % G.) von 9 mm Kantenlänge ergaben nach 4 tägiger Eintrocknung einen der eben beschriebenen Körper von 4 mm Kantenlänge; ein ebensolcher Würfel (9 mm), im luftverd. Raume eingetrocknet, besass 5—6 mm Kantenlänge. — Natürlich wiederholen sich auch bei der Eintrocknung einer frei aufgehängten Gelatineplatte dieselben Erscheinungen an den Kanten, woraus resultirt, dass die eingetrocknete Platte einen relativ dicken wulstförmigen Rand besitzt, während ihre mittlere Partie viel dünner ist. So zeigte eine solche Platte von 5 % Gelatine, die eine urspr. Breite von 9 mm und eine Dicke von 3 mm besass, nach der Eintrocknung bei einer Br. von 4 mm jederseits einen Randwulst von

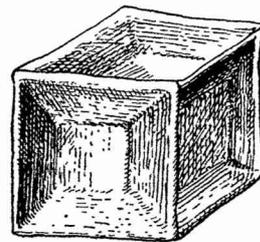


Fig. 1.

0,94 respect. 1,07 mm Dicke, während die mittlere Fläche nur 0,304 mm dick war (siehe Fig. 2).

Einige Versuche, die ich schon 1893 über die Eintrocknung von gegossenen Gelatinekügel (12 und 20 % Gel.) angestellt hatte, ergaben gleichfalls in gewisser Hinsicht interessante Resultate, weshalb ich darüber kurz berichten will.



Fig. 2.

Das Charakteristische bei der Trocknung der Kügel in freier Luft ist, dass sie zuerst ohne Deformation ihr Volum verkleinern, dass jedoch von einem gewissen Zeitpunkt an, d. h. wenn eine oberflächliche Schicht so stark eingetrocknet ist, dass sie der weiteren Zusammenziehung genügenden Widerstand leistet, luftgefüllte Hohlräume im Innern

der Kügel auftreten. Entweder bildet sich auf diese Weise eine ansehnliche grosse Höhle aus oder gleichzeitig mehrere kleinere und schliesslich sinkt die äussere Wand der Kugel über diesen Hohlräumen unregelmässig dellenartig ein, weshalb endlich eine starke Deformation eintritt. Irgendwelche Risse oder Sprünge, welche den Lufttritt ins Innere der trocknenden Kügel vermitteln hätten können, liessen sich nicht beobachten; ebenso erwies sich die Vermuthung, dass die Luft eventuell am Rande des feinen Seidenfadens, der in die Kügel eingeschmolzen, zu ihrer Aufhängung diente, eindrange, als nicht stichhaltig, da auch auf einem feinen Drathring frei aufgesetzte Kügel sich beim Eintrocknen ganz ebenso verhielten. — Es ist daher nicht abzuweisen, dass die Luft durch die relativ dicke Gelatinewand der eintrocknenden Kügel hindurch treten muss, obgleich sich in derselben zu keiner Zeit eine weissliche Trübung zeigte. Dass aber die erwähnten Hohlräume nicht etwa luftleer sind, ergibt sich leicht bei der Wiederaufquellung der Kügel, wobei sie nicht schwinden, sondern sich in den wieder regulär kuglig angeschwollenen Gelatinekörpern erhalten; ohne aber jetzt die stark vergrösserten innern Hohlräume völlig auszufüllen, da sich daneben noch Wasser ansammelt. Endlich ist die Lufterfüllung der Hohlräume leicht dadurch zu erweisen, dass man die Kügel in einem umgekehrten, mit Wasser gefüllten Reagenzrohr zum Schmelzen erhitzt und so die Luft befreit, was ohne merkbare Volumenänderung derselben geschieht.

Es ist nun sehr beachtenswerth, dass bei dem Wiederaufquellen in Wasser auch die oben beschriebenen Gestaltsänderungen der Würfel und Platten völlig ausgeglichen werden und sich die frühere Gestalt und Grösse wieder sehr genau herstellen¹⁾; hieraus folgt also, dass die in der erwähnten Weise

1) So einer der oben erwähnten Würfel nach 3 tägiger Quellung in destill. H₂O wieder ganz regelmässig und Kantenlänge 8—9. Ein herausgeschnittenes Querstück der oben erwähnten Platte nach 24 stündiger Quellung Breite = 8,57, Dicke = 3. Hinsichtlich der hier und in dem Folgenden angegebenen Beobachtungen bemerke ich, dass mir dazu keine weiteren Hilfsmittel zu Gebote standen, wie ein feiner Zirkel und ein Millimetermassstab. — Obgleich diese Mittel nur dazu aus-

deformirten eingetrockneten Körper sich bei der Quellung in den verschiedenen Richtungen sehr verschieden stark ausdehnen, was ja auch zu erwarten war. Auf diesen Punkt soll später noch näher eingegangen werden.

Dass die wasserhaltige Gelatine auch beim Eintrocknen im luftverdünnten Raum keine Luft eindringen lässt, kann, wie gesagt, auf der grossen Nachgiebigkeit und Biugsamkeit ihrer Wabenwände beruhen; lässt sich diese verringern, so würde sich die Wahrscheinlichkeit vergrössern, zu dem erwünschten Ziele zu gelangen. — Diese Biugsamkeit der Wände beruht, wie später noch genauer dargelegt werden soll, meiner Ansicht nach wesentlich auf ihrer Wasserhaltigkeit; ein Theil des Wasser ist in den Wänden mit der Gelatine verbunden. Durch wasserentziehende Mittel, welche gleichzeitig im Stande sind, das Wasser in den Wabenräumen zu ersetzen und so die Schrumpfung zu verhindern, kann es gelingen die Biugsamkeit zu vermindern, also z. B. durch Alkohol. In Alkohol ist die Gelatine unlöslich, jedoch verändert er sie chemisch in keiner Weise.

Werden Würfel von Gelatine (5—20 %) vorsichtig in Alkohol von allmählich steigender Concentration gehärtet, so erleiden sie gar keine Deformation und verkleinern ihr Volumen nur verhältnissmässig wenig. — So zeigte ein 5 % Würfel von 9 mm Kl. nach der Härtung 6—7 mm Kl. Zahlreiche 20 % Würfel von 8 Kl. nach der Härtung 7—8 Kl. — Anders ist dies, wenn man sofort in absoluten Alkohol überführt. Eine Kugel von 18 mm Dm. (20 % Gel.), welche 1893 an einem Faden in absoluten Alkohol gehängt wurde, zeigte bald eine starke Runzelung ihrer Oberfläche und verkleinerte sich ziemlich stark. Nach 24 h. hatte sie die Gestalt eines unregelmässigen Octaeders angenommen, dessen Axe nahezu mit der Aufhängungsaxe zusammenfiel. Während bei Ueberführung in schwachen Alkohol sofort schwache weissliche Trübung der Gelatine eintritt, unterbleibt dieselbe in starkem Alkohol; hier wird die Gelatine so glasartig durchsichtig wie beim Eintrocknen in Luft. —

Die Erklärung dieses verschiedenen Verhaltens dürfte nicht so schwer sein. Bei Ueberführung in absoluten Alkohol tritt sofort ein sehr energischer osmotischer Austausch zwischen dem Alkohol und dem Wasser der Wabenräume der Gelatine auf, wobei der Diffusionsstrom des Wasser zum Alkohol geht und daher ein energisches Zusammensinken der Wabenwände herbeiführt, ähnlich wie bei der Eintrocknung in freier Luft. Bei sehr allmählicher Härtung dagegen bleibt das Uebergewicht des zum Alkohol gehenden Diffusionsstroms stets sehr schwach. Dazu gesellt sich aber jedenfalls noch ein zweites Moment, das wohl darin besteht, dass bei der sofortigen Einwirkung von absoluten Alkohol die Erhärtung der Wabenwände relativ langsam gegenüber dem sehr energischen diffusionsellen Ausstrom geschieht, und sie daher dem Zusammensinken keinen oder nur sehr geringen Widerstand entgegensetzen. Bei der succesiven langsamen

reichten auf ca. $\frac{1}{2}$ mm genau die Längen zu bestimmen, glaube ich doch, dass zu einer ersten Orientirung auf diesem Gebiet die Genauigkeit ausreicht. Die erwähnten Würfel wurden mit möglicher Genauigkeit aus einer grösseren Partie Gelatinegallerte herausgeschnitten.

Erhärtung dagegen haben die Wabenwände Zeit, allmählich durch Wasserverlust eine grössere Starrheit anzunehmen, können daher offen bleiben und sich allmählich mit Alkohol erfüllen. —

Dass das richtige Verständniss dieser Vorgänge von bedeutender Wichtigkeit für die Conservirungstechnik organisirter Gewebe ist, bedarf wohl keine näherer Begründung und wurde auch schon lange erkannt.

Werden solche in absolut. Alkohol vorsichtig gehärtete Würfel an freier Luft getrocknet, so zeigen sie keine Luftaufnahme, sondern trocknen glasig ein, ähnlich wie die wasserhaltigen. — Bei der Eintrocknung in verdünnter Luft verhält sich der 5% Würfel nicht wesentlich anders, doch wird er im Anfang vorübergehend etwas weisslich, was sich aber bald wieder verliert. Die Flächen sinken stark ein, ähnlich wie bei Eintrocknung in freier Luft. Anders verhielten sich 20% Würfel von 8 mm Kl. Bei ihnen trat im luftverdünnten Raum sehr rasch Luft im Innern auf; es bilden sich im Innern kreideweiss erscheinende Partien, die sich allmählich vergrössern und vereinigen, unter Bildung einer centralen weissen Figur von eigenthümlicher Form (siehe die Fig. 3), die sich im Allgemeinen darauf zurückführen lässt, dass die Ecken des Würfels

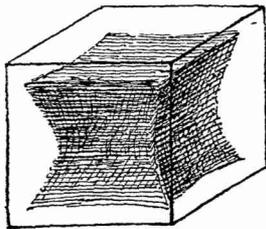


Fig. 3.

die besten Bedingungen für die Austrocknung und den raschesten Lufttritt darbieten, die schlechtesten hingegen die Mitten der Flächen, während die Mitten der Kanten in dieser Hinsicht einen mittleren Zustand repräsentiren. Diese weisse Partie des Innern vergrössert sich rasch, wobei ihre frühere eigenthümliche Gestalt allmählich in eine würfelförmige übergeht. Die Kanten sowie die gesammte oberflächlichste Schicht des Würfels bleiben lange durchsichtig und werden zwar schliesslich auch weiss, jedoch etwas durchscheinender wie das Innere. Bei einem der Würfel erhielt sich eine Fläche besonders hartnäckig durchsichtig, wurde jedoch schliesslich auch luftefüllt.

Bei der geschilderten Austrocknung der 20% Würfel unter der Luftpumpe trat sozusagen keine Volumenverkleinerung ein, denn die ausgetrockneten weissen Würfel zeigten bei der Messung mit den mir zu Gebote stehenden Mitteln dieselbe Kantenlänge von 7,5 mm wie nach der Alkoholbehandlung vor dem Austrocknen.

Bringt man einen solchen weiss gewordenen lufthaltigen Würfel (20%) in destillirtes Wasser, so dringt die Luft in feinen Bläschen reichlich aus und es tritt rasch Quellung der äusseren Schichten auf, wobei dieselben natürlich ganz glasig durchsichtig werden. Nach verhältnissmässig kurzer Zeit schreitet jedoch die Luftverdrängung im Innern des gequollenen Würfels nur sehr langsam weiter, wobei zu beobachten ist, dass die noch luftefüllte weisse Partie des Innern stets einen ganz regulären würfelförmigen Umriss bewahrt. Da die Beschleunigung der Luftverdrängung durch Auspumpen unter der Luftpumpe

sich wegen der dabei auftretenden inneren Risse nicht als zweckdienlich erwies, wurde versucht, durch Einlegen der Würfel in gut ausgekochtes und abgekühltes Wasser die weitere Verdrängung der Luft durch Absorption zu unterstützen. Bei mehrmaliger Erneuerung des ausgekochten Wassers schwand die Luftefüllung allmählich mehr und mehr, doch so langsam, dass noch am 6. Tage der innere weissliche Würfel ganz schwach angedeutet war. Die Kantenlänge des stark gequollenen Würfels betrug nun 13—14 mm. Beim Eintrocknen an freier Luft wurde er völlig glasig durchsichtig und nahm die bekannte, oben geschilderte Gestalt an.

Wurde ein solch' luftefüllter Würfel (20 %) in absoluten Alkohol eingetaucht, so liess sich kein Luftaustritt beobachten, auch in 24 h. keine merkbare Aufhellung. Als der Würfel hierauf in Xylol übergeführt worden war, ward ein Luftaustritt gleichfalls nicht wahrgenommen, dagegen zeigten sich die Kanten bald etwas aufgehellert und in 3 Tagen war vollkommen glasige Durchsichtigkeit eingetreten. Hierauf an der Luft getrocknet blieb der Würfel vollkommen klar durchsichtig; alsdann wurde die Trocknung im Wärmeschrank (bei 54° C) fortgesetzt, wobei am 2. Tage die Luftefüllung ganz in derselben Weise wie früher begann, indem sich anfänglich nur das Innere mit Luft erfüllte und die äussere Zone erst langsam und allmählich weiss wurde. Nach 15 tägiger Trocknung war der ganz reguläre Würfel durch und durch weiss und besass wie früher eine Kl. von ca. 7,5 mm.

Da, wie oben bemerkt wurde, bei der Eintrocknung der in absolutem Alkohol gehärteten 5 % Gelatine im luftleren Raum keine Luft eintrat, indem höchst wahrscheinlich die Biegsamkeit der Wabenwände wegen ihrer geringeren Dicke bedeutender ist als bei der 20 % Gelatine, so wurde versucht, ob sich durch Ueberführung solcher Würfel in anderweitige, rasch verdunstende Flüssigkeiten das gewünschte Ziel erreichen liess. Dies ist nun auch thatsächlich der Fall. — Werden derartige Würfel aus absolutem Alkohol in Terpent in öl übergeführt und darin so lange gelassen, bis völlige Durchdringung angenommen werden darf, so trat sowohl bei der Austrocknung im luftverdünnten Raum wie im Wärmeschrank (bei 54 %), unter anfänglich ziemlich beträchtlicher Schrumpfung, nach einiger Zeit Luft in die oberflächliche Schicht. Im Wärmeschrank wurden die Kanten und Ecken des Würfels weiss; unter der Luftpumpe dagegen schliesslich die ganze Oberfläche, wogegen sich das Innere durchscheinend erhielt.

Viel geeigneter für diese Versuche erwies sich Xylol. 5 % Würfel (5 Mm. urspr. Kl.), die allmählich in Xylol übergeführt worden waren, schrumpften unter der Luftpumpe nur mässig und wurden durch und durch kreideweiss. Beim Aufquellen in Wasser verhielt sich ein solcher Würfel ganz wie die oben beschriebenen von 20 %; die Luftefüllung war in 3 Tagen bis auf einen geringen Rest geschwunden. Hierauf an der Luft getrocknet, wurde der Würfel glasig-durchsichtig.

Ganz ähnliche Resultate ergaben die Trocknungsversuche mit anderen quellbaren Körpern. Schon früher habe ich über die Luftefüllung von geronnenem,

und mit absolutem Alkohol behandeltem Eiweiss kurz berichtet. Wird ein Würfel von geronnenem Hühnereiweiss unter der Luftpumpe (bei ca. 6—10 mm Hgdruck) eingetrocknet, so dringt keine Luft ein, der Würfel wird so glasig und gelblich-durchsichtig wie bei der Trocknung in gewöhnlicher Luft. — Nach vorheriger Erhärtung solcher Würfel in Alkohol erzielt man beim Trocknen in verdünnter und gewöhnlicher Luft kein wesentlich besseres Resultat, wenngleich die äusserste Schicht der Würfel etwas weisslich trübe wird, also zweifellos ein wenig Luft eindringt. — Etwas besser noch wird das Ergebniss, wenn zuvor aus Alkohol in Chloroform oder Terpentinöl übergeführt worden war und dann in freier Luft oder im Wärmeschrank (54° C) getrocknet wird. Am besten erwies sich auch hier wiederum Xylol. Würfel, die aus diesem kamen, wurden bei der Trocknung in freier Luft rasch weisslich trübe und bei fortgesetztem Trocknen im Wärmeschrank schliesslich kreideweiss, bei verhältnissmässig geringer Schrumpfung. Wurde ein solcher Würfel in dest. Wasser übertragen, so trat die Luft sofort in feinen Bläschen aus; in ca. 24 h. war beträchtliche Quellung eingetreten und der Würfel hatte wieder die Beschaffenheit gewöhnlichen geronnenen Eiweisses angenommen. Dann an freier Luft getrocknet, nahm der Würfel das glasige, gelblich hornartige Aussehen des gewöhnlichen geronnenen Eiweisses im getrockneten Zustand an.

Würfel von ca. 1 % Agar-Agargallerte, deren Kl. ca. 8 mm, schrumpfen bei vorsichtiger Erhärtung in Alkohol fast nicht, werden jedoch schon in 45 % Alkohol ziemlich weisslich opak, was sich in stärkeren Alkohol noch steigert. Die Kl. betrug nach völliger Erhärtung noch ca. 8 mm. — Derartige Würfel, die in Chloroform oder Xylol übergeführt worden sind, schrumpfen sowohl bei der Trocknung in verd. Luft als im Wärmeschrank sehr stark zusammen und werden ganz unregelmässig faltig. Schliesslich tritt jedoch in beiden Fällen Luft in den verschrumpften Rückstand ein, wie man deutlich daran erkennt, dass er stark weiss und undurchsichtig wird; wogegen beim Eintrocknen des wässrigen Agar eine durchsichtige hornartige Masse restirt, von dem gewöhnlichen Aussehen dieser Substanz. — Die Lufterfüllung folgt auch hier sicher aus dem Austritt zahlreicher Luftblasen beim Eintauchen solch' weiss gewordener Würfelreste in Wasser. Nach dem Aufquellen und dem Austritt der Luft trocknet schliesslich das in der angegebenen Weise behandelte Agar wieder in der gewöhnlichen halbdurchsichtigen Beschaffenheit ein.

Wie aus dem Mitgetheilten folgt, gelingt es bei den untersuchten Körpern meist schon durch Ueberführung in Chloroform, Terpentinöl oder Xylol (unter welchen, wie es scheint, das letztere den Vorzug verdient) und darauf folgende Austrocknung in freier Luft, das Eindringen von Luft in die Wabenräume hervorzurufen; leichter und sicherer, auch direct aus Alkohol, geschieht dies jedoch bei Austrocknung unter der Luftpumpe. — Es ist ersichtlich, dass das hier angewendete Verfahren, zu welchem ich durch die Vorstellungen, die ich mir von der Beschaffenheit quellbarer Körper allmählich gebildet hatte, durch Ueberlegung gelangte, thatsächlich ganz dasselbe ist, welches schon vor län-

gerer Zeit von Semper (1881) zur Herstellung von Trockenpräparaten organisirter Gewebe und Körper eingeführt wurde; es handelt sich ja bei diesen durchweg um die Präparation quellbarer Körper. Das kreideweisse Aussehen solch' Semper'scher Präparate verräth schon, dass sie gleichfalls durchaus luftefüllt sind, und dass in den obigen Erörterungen auch die Erklärung für den wesentlichen Vorgang bei der Herstellung solcher Trockenpräparate gegeben ist. In manchen, vielleicht den meisten Fällen mag auch, worauf meine Erfahrungen hinweisen, das Xylol vor dem Terpentinöl bei der Herstellung solcher Präparate Vorzüge haben und ebenso würde vermuthlich die Austrocknung in verdünnter Luft in schwierigen Fällen vortheilhaft sein¹⁾.

Es darf vielleicht besonders hervorgehoben werden, dass das Weiss- und Lufthaltigwerden der 3 oben geschilderten Körper bei der Austrocknung unter der Luftpumpe oder in gewöhnlicher Luft nicht etwa durch künstliche Rissbildungen hervorgerufen wird. Für die Austrocknung in gewöhnlicher Luft ist dies ja von vornherein höchst unwahrscheinlich; für die Trocknung in verdünnter Luft dagegen liesse sich eventuell dergleichen vermuthen. Es muss daher betont werden, dass sich nie etwas von Rissen oder Sprüngen wahrnehmen liess, auf welchen etwa die Luft in das Innere hätte dringen können und dass weiterhin auch nach dem Wiederaufquellen der luftefüllten Substanzen keine Spur von Zerreiassungen wahrzunehmen ist, die Stücke vielmehr das völlig normale Aussehen der gewöhnlichen in Wasser gequollenen Substanz besitzen. — Sowohl die lufthaltige 20 % Gelatine, wie das aus Xylol eingetrocknete 1 % Agar habe ich auf feinen Schnitten mikroskopisch untersucht und die äusserst feinschaumige, z. Th. etwas faserige Structur deutlich beobachtet, wie ich sie früher schon für geronnene quellbare Substanzen geschildert habe.

Für die Beurtheilung der quellbaren Körper dürften genauere Feststellungen von Interesse sein, in welcher Quantität sie bei geeigneter Manipulation Flüssigkeiten aufzunehmen vermögen, in denen sie eigentlich gar nicht quellbar sind. Weder trockene Gelatine noch Agar sind in wasserfreiem Alkohol, Chloroform oder Xylol irgendwie quellbar; welch' ansehnliche Quantitäten dieser Flüssigkeiten jedoch in diese Körper einzuführen sind, lässt sich aus einigen wenigen Bestimmungen entnehmen, welche ich hierüber vorgenommen habe. —

Ein Würfel von 5 % wässriger Gelatine erwies sich nach der vollkommenen Erhärtung in wasserfreiem Alkohol, der natürlich mehrmals gewechselt worden

1) Dass dieses Verfahren, zu dem ich durch theoretische Vorstellungen über die Bauverhältnisse quellbarer Körper geleitet wurde, jedoch auch für die Sichtbarmachung eben dieser feinen Strukturverhältnisse von ganz besonderem Werth sein muss, ist klar. Ich werde denn auch in einer besonderen kleinen Mittheilung darlegen, dass es durch Anwendung dieses Verfahrens leicht gelingt, in scheinbar ganz structurlosen thierischen Gallarten die vermuthete feine Structur deutlich nachzuweisen. — Da diese Dinge in den Rahmen vorliegender Mittheilung nicht recht passen, werde ich darüber demnächst besonders berichten. (Ist seither geschehen; s. Verh. d. naturh.-medic. Vereins zu Heidelberg N. F. Bd. V Hft. 4 „Ueber Structuren künstlicher und natürlicher quellbarer Substanzen“.)

war, zusammengesetzt aus 17,5 % trockner Gelatine und 82,5 % Alkohol¹⁾, es hatten sich bei der Erhärtung 0,6384 Wasser gegen 0,1578 Alkohol ausgetauscht.

Ein Würfel von ursprüngl. ca. 1 % wässrigem Agar, der in Alkohol gehärtet war, bestand aus 1,62 % trockenem Agar und 98,4 % Alkohol; derselbe Würfel darauf in Chloroform ergibt sich nun zusammengesetzt aus 0,97 % Agar und 99,3 % Chloroform. Es hatten sich ausgetauscht 0,3654 Alkohol gegen 0,6121 Chloroform²⁾; berechnet man nach diesem Umtauschverhältniss — unter der Voraussetzung, dass sich das Volum des Würfels nicht geändert habe, was ja annähernd richtig ist, sich also gleiche Volumina Alkohol und Chloroform ausgetauscht hätten — aus dem spezif. Gewicht des Alkohols = 0,794, das spezif. G. des Chloroforms, so erhält man die Zahl 1,564 an Stelle der richtigen 1,489, jedenfalls eine ziemlich weitgehende Annäherung. — Ein ebensolcher Würfel von 1 % Agar der aus Alkohol 0,4482 wog, wog nach 30 stündigem Aufenthalt in Terpentinöl 0,4450, während die spezif. G. von Alkohol und Terpentinöl 0,794 und 0,855 sind.

Jedenfalls geht aus diesen wenigen Erfahrungen hervor, dass solch' indifferente Flüssigkeiten sich innerhalb quellbarer Körper annähernd in gleichen Volumenverhältnissen austauschen, was mit der Auffassung, dass diese Körper im gequollenen Zustand von einem System feinsten wabiger Räume durchsetzt sind, wohl harmonirt. Nach den vorliegenden, obgleich, wie gesagt, nur wenig ausgedehnten Versuchen, lässt sich auch nicht bezweifeln, das es leicht sein wird, auf dem angegebenen Wege, ausser den schon verwendeten, die allerverschiedenartigsten Flüssigkeiten und Lösungen in ansehnlicher Menge ins Innere der gequollenen Substanzen einzuführen. Da nun diese Flüssigkeiten, wie bemerkt, gar kein irgend erhebliches Lösungs- oder Quellungsvermögen für die betreffenden quellbaren Substanzen besitzen, so müssen sie, wie gesagt, in ein Hohlraumssystem eindringen und dieses anfüllen, welches System auch in dem durch die eigentlichen Quellungsmittel erzeugten Quellungs Zustand schon vorhanden sein muss. Der quellbare Körper muss aus einem mikroskopisch-feinen Gerüstwerk fester Substanz bestehen, dessen Hohlräume von Flüssigkeit erfüllt sind. Die Auffassung der gequollenen Körper, als zusammengesetzt aus Micellen- oder Molekülgruppen, die von mehr oder weniger ansehnlichen Wasserhüllen umgeben sind, welche durch die spezif. Anziehung dieser Micellen zu den Wassermolekülen festgehalten werden, wie sie von Nägeli, Reincke u. vielen A. entwickelt wurde, scheint mir mit den geschilderten Thatsachen unverträglich. Denn, wenn wir an Stelle dieser micellaren Wasserhüllen eine Menge anderer Flüssigkeiten wie Alkohol, Chloroform, Xylol, Terpentinöl bringen können,

1) Gew. des v. Alkohol erf. Würfels = 0,1914
Gew. des bei 100° getr. Würfels = 0,0336

daher Alkohol = 0,1578.

2) Gew. d. 1 % Agarwürfels aus Alkohol = 0,3714
Gew. dieses Würfels nach 48 stünd. Behandl. mit Chloroform = 0,6181
Trockensubstanz dieses Würfels (bei 110° getr.) = 0,0060.

welche Flüssigkeiten für sich ganz unfähig sind Quellung der betreff. Substanzen hervorzurufen, auf welche daher auch die Micellen des quellbaren Körpers keine Anziehung ausüben können, so steht dies mit der erwähnten Theorie in Widerspruch. Wollte man dieselbe auch auf die Durchtränkung quellbarer Körper mit den indifferenten Flüssigkeiten ausdehnen, so müsste man eine erhebliche micellare Anziehung für diese Flüssigkeiten zugeben, was unmöglich erscheint.

Da die Versuche ergaben, dass der Luftdruck, wie es voraus vermuthet wurde, von Einfluss auf das Verhalten gequollener Körper bei der Eintrocknung ist, so liess sich fragen, ob nicht auch die Quellung dieser Körper durch den Druck der Luft beeinflusst werde, also im Vacuum eine stärkere Quellung stattfinde. — Ein in dieser Richtung angestellter Versuch ergab jedoch keinen nennbaren Unterschied. Von 2 nahezu gleichgrossen gewogenen Stücken trockener Gelatine, die nebeneinander aus einem grösseren Stück herausgeschnitten worden waren, wurde das erste in gewöhnlicher Weise in destillirtem Wasser, das zweite dagegen im Vacuum über der Quecksilbersäule einer Barometerröhre, welche über dem Quecksilber eine 7 cm hohe Säule von gut ausgekochtem destill. Wasser trug, gequellt. Nach einer Quellung von 6 h. wurden die beiden Stücke wieder gewogen. Beide Stücke hatten nahezu die gleiche Wassermenge aufgenommen: 1. enthielt nun 76,42 % H_2O , 2. 76,13 %, eine Differenz, welche kaum die Fehlergrenzen überschreiten dürfte und zudem in einer der erwarteten entgegengesetzten Richtung liegt. —

2. Versuche über die Bedingungen der verschiedengradigen Aufquellung eines Körpers in den verschiedenen Dimensionen.

In meinem Bericht von 1894 (p. 11 d. S.) wies ich schon darauf hin, dass meine Ansicht über den Bau der quellbaren Substanzen wohl auch eine Erklärung für die eigenthümliche Erscheinung geben könne, dass die Quellung manchmal in verschiedenen Richtungen von verschiedener Stärke ist, d. h., dass die Vergrösserung des quellenden Körpers in verschiedenen Dimensionen häufig sehr ungleich ist; ein Fall, welcher namentlich bei der Quellung pflanzlicher Zellmembranen gewöhnlich beobachtet wird und unter Umständen dazu führt, dass in gewisser Richtung überhaupt keine Vergrösserung, sondern Verkürzung eintritt. Ich suchte diese Erscheinung auf ungleichmässiges Austrocknen der wabig structurirten gequollenen Körper zurückzuführen. Wird nämlich bei der Trocknung die Verkleinerung der Waben in einer bestimmten Richtung durch gewisse Kräfte gehindert, so müssen sich die Waben bei der Eintrocknung in den beiden darauf senkrechten Richtungen stärker verkleinern und dem entsprechend auch bei der Wiederaufquellung in diesen Richtungen allein oder doch viel stärker aufquellen. Die oben geschilderten Versuche über die Quellung eingetrockneter Gelatinewürfel haben gezeigt, dass diese im Allgemeinen gleichmässig nach den verschie-

denen Dimensionen quellen, abgesehen von der Wiederherstellung der Deformationen. Eine Kugel hochprocentiger Gelatine vergrößert bei der weiteren Quellung in Wasser ihre Dimensionen allseitig gleichmässig, bleibt daher kuglig.

Es ist nun aber sehr leicht Gelatine herzustellen, welche in verschiedenen Richtungen verschieden stark quillt, ja sich in einer Richtung sogar verkürzt. Dazu ist nur nöthig einen Gelatinestreif freihängend und durch ein am unteren Ende angebrachtes hinreichendes Gewicht in gedehntem Zustand einzutrocknen. Zu diesem Zweck habe ich am oberen und unteren Ende solch' rechteckiger Streifen einen queren Streif von starkem Carton angeklebt, der sehr fest haftet; hierauf den oberen Cartonstreif in einer Klammer befestigt und an dem unteren eine Fadenschlinge angebracht, an welche die Gewichte gehängt werden konnten.

Die Resultate zweier solcher Versuche waren folgende:

I. Streif von 5 % Gelatine, unbelastet: L. = 69 mm
 Br. = 24 „
 D. = 2 „

Der Streif wurde nun aufgehängt und successive in dem Maasse, als er eintrocknete und daher tragfähiger wurde, mit 2 gr bis zu 60 gr belastet. In 1¹/₂ Tagen war die Trocknung vollzogen.

Die Dimensionen des getrockneten Streifs jetzt: L. = 69,5 mm
 in der Mitte Br. = 5,0 „
 „ „ „ D. = 0,48 „¹⁾

Hierauf wurde ein mittleres Stück des Streifs herausgesägt, von folgenden Dimensionen:

L. = 28,25
 in der Mitte Br. = 5,0
 an den Enden Br. = 7,25, resp. 6,0
 in der Mitte D. = 0,48 (0,54—0,61).

Nach 39 stündiger Quellung waren die Dimensionen:

L. = 27	=	4,4 %	Verkürzung	} der Dimensionen vor der Quellung.
Br. = 24,6	=	392 %	Verlängerung	
D. = 2,5	=	421 %	„	

II. Streif von 5 % Carbolgelatine (2 % Carbolwasser), ziemlich brüchig und dehnbar.

Dimensionen unbelastet: L. = 61 mm
 Br. = 32 „
 D. = 5,5 „

successive belastet mit 4—10 gr; am 3. Tage ganz eingetrocknet.

1) Da die Streifen, wie angegeben, oben und unten an quere Cartonstreifen angeklebt waren, so behielten sie natürlich bei der Trocknung die rechteckige Gestalt nicht bei; vielmehr wurde jede der Längsseiten eine concave Linie, da ja an dem Carton die aufgängliche Breite sich erhielt und von da aus die Breite bis zur Mitte successive abnahm. Die Dicke an den beiden Rändern ist gewöhnlich nicht ganz gleich, daher wurde das Mittel derselben eingesetzt.

D. BAU QUELLBARER KÖRPER U. D. BEDINGUNGEN D. QUELLUNG. 13

Besitzt nun folgende Dimensionen: L. = 69,5
in der Mitte Br. = 5,4
" " " D. = 0,8 (Randwulst 1,49).

Mittlerer herausgeschrittener Streif hat die L. = 31.

Nach 72 h. Quellung in destill. Wasser sind die Dimensionen dieses Streifs:

L. = 29,5 = 4,8 % Verkürzung	} der Dimensionen vor der Quellung
Br. = 18,0 = 233 % Verlängerung	
D. = 4,5 = 462 % " "	

Wenn die in Frage stehenden Vorgänge wirklich auf dem wabigen Bau der Gelatine beruhen, wie vorausgesetzt wurde, so war zu erwarten, dass sie sich noch dadurch vergrößern liessen, dass man diesen Bau gewissermassen künstlich steigerte. Man kann dies in der Weise ausführen, dass man eine feine Gelatineölemulsion herstellt in der früher von mir geschilderten Art (1892, 2, p. 3 d. Sp. A.), die also ein von Oel erfülltes gröberes Wabenwerk darstellt. — Streifen einer solchen Emulsion, die aus gleichen Volumina ca. 10 % Gelatine und Olivenöl dargestellt waren, erwiesen sich viel dehnbarer wie gewöhnliche Gelatine entsprech. Gehalts, was aus den gleich zu erwähnenden Zahlen im Vergleich mit den erstaufgeführten hervorgeht.

I. Streif von Gelatineölemulsion unbelastet liegend: L. = 78 mm
Br. = 24 "
D. = 2,3 "

frei aufgehängt (L. = 80), darauf successive mit 4—10 gr belastet; nach der Austrocknung die Dimensionen:

L. = 90,5
in der Mitte Br. = 15,8
" " " D. = 1,3—1,7.

II. Streif unbelastet liegend: L. = 65 mm
Br. = 15 "
D. = 2,3 "

darauf sofort mit 20 gr belastet und später 30; der Streif dehnt sich sehr stark aus und zeigt nach der Trocknung folgende Dimensionen:

L. = 116
in der Mitte Br. = 6
" " " D. = 1,1 ca.

Hierauf 2 Streifen aus der Mitte von II herausgeschnitten (IIa und IIb).

Dimensionen v. IIa L. = 29,3
am schmäleren Ende Br. = 6
" " " D. = 1,1
am breiteren Ende D. = 1,6—1,1

hierauf in destill. Wasser 72 h gequellt

$$\left. \begin{array}{l} \text{Dimensionen: L.} = 21,5 = 26,6 \% \text{ Verkürzung} \\ \text{Br.} = 14 = 133 \% \text{ Verlängerung} \\ \text{D.} = 3,3-2,6 = \text{ca. } 114 \% \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{der Dimensionen} \\ \text{vor der} \\ \text{Quellung.} \end{array}$$

Aus dem Streif IIb wurde durch hinreichend lange Behandlung mit einem Gemisch von Alkohol und Aether das Oel völlig entfernt und hierauf getrocknet; der lufttrockene, seidenartig weissglänzende Streif hatte darauf folgende Masse:

$$\begin{array}{l} \text{L.} = 28,6 \\ \text{Br.} = 7,5 \\ \text{D.} = 1,0 \text{ ca.} \end{array}$$

Nach 48 stündiger Quellung betragen die Masse:

$$\left. \begin{array}{l} \text{L.} = 22 = 23 \% \text{ Verkürzung} \\ \text{Br.} = 15 = 100 \% \text{ Verlängerung} \\ \text{D.} = \frac{2,2-2,8}{2,5-3} = 162 \% \text{ ca. } \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{der} \\ \text{Dimensionen} \\ \text{vor der} \\ \text{Quellung.} \end{array}$$

Wie zu erwarten war, ist es mit den Emulsionsstreifen möglich, weit grössere Differenzen der Quellung in verschiedenen Dimensionen zu erzielen, was nur auf der besonderen Beschaffenheit, welche ihnen der grob-wabige Emulsionscharacter verleiht, beruhen kann. Bei der Dehnung eines solchen Streifen durch den Zug des Gewichts müssen die Waben, denen wir im Allgemeinen eine polyedrisch-kuglige Gestalt zuschreiben müssen, eine Streckung erfahren, indem diejenigen Wände, welche nicht parallel oder senkrecht zu der Zugrichtung verlaufen, sich dieser mehr nähern, d. h. nun einen kleineren Winkel mit dieser Richtung bilden. — Ein eigentliches Zusammentrocknen der mit Oel gefüllten Wabenräume kann natürlich nicht stattfinden, da der Oelinhalt bei der Trocknung nicht schwindet. Dennoch findet eine Verringerung des Volums der erfüllten Wabenräume sicher statt, denn man beobachtet bei der Trocknung der gedehnten Emulsionsstreifen deutlich, daß Oel ausgepresst wird und langsam am unteren Ende des Streifs abtropft. Das dies stattfinden muss, ist ja erklärlich, da die Gelatinwände der Waben bei der Eintrocknung sich verkürzen müssen und daher der Oelinhalt unter Druck gesetzt wird, was eine Filtration des Oels durch die wasserhaltigen Gelatinewände hervorrufen muss. Endlich trocknen die Gelatinewände völlig aus und werden starr, so dass sich die mit Oel gefüllten Wabenräume, auch nach Aufhören des Zugs, in ihrer gestreckten Gestalt erhalten.

Bei erneuter Quellung in Wasser wird der frühere Quellungszustand der Gelatinewände wieder allmählich hergestellt, sie werden sich daher vergrössern und das Volumen der Waben sich ebenfalls entsprechend vergrössern, daher wird nun Wasser neben dem Oel in den Wabeninhalt eintreten. Da nun das eingetretene Wasser etwas Gelatine auflöst, so gesellt sich hierzu weiter ein endosmotischer Einstrom von Wasser in die Wabenräume und ein gewisser osmotischer Druck im Innern derselben. Dieser aber muss zur Wirkung haben, dass die gestreckte Gestalt der Waben sich wieder der ehemaligen zu nähern strebt,

D. BAU QUELLBARER KÖRPER U. D. BEDINGUNGEN D. QUELLUNG. 15

dass demnach eine Verkürzung in der früheren Streckungsrichtung der Wabenräume eintritt. Dass das Oel der Waben als solches keine Rolle spielt, geht ja auch daraus hervor, dass der von Oel befreite und getrocknete luftführende Streif IIb sich in ganz entsprechender Weise bei der Eintrocknung verkürzte (wenn auch etwas weniger). Dass nicht etwa die Wiederherstellung früherer Elasticitätsverhältnisse der im gedehnten oder gespannten Zustand eingetrockneten Wabenwände die Wiederherstellung der ursprünglichen Gestalt der Waben bedinge, scheint mir auch daraus hervorzugehen, dass die Verkürzung bei der Quellung, welche in den beiden Streifenstücken der Emulsion erzielt wurde, keineswegs der durch Dehnung hervorgerufene Verlängerung entspricht. IIa verkürzte sich von 29,3 auf 21,5, IIb von 28,6 auf 22 mm; berechnet man dagegen die Verkürzung entsprechend der Verlängerung von 65 auf 116 mm, so hätte sich IIa auf 16,4, IIb auf 16,6 mm verkürzen müssen, wobei noch zu berücksichtigen ist, dass die Streckung der Waben in der mittleren Region des Streifs jedenfalls die bedeutendste ist, wie aus seiner geringeren Breite in der Mitte folgt. — Hinsichtlich der so auffallenden Unterschiede in der Quellung gewöhnlicher getrockneter Gelatinestreifen nach verschiedenen Dimensionen, wie sie die beiden oben mitgetheilten Versuche ergeben haben, bin ich der Ansicht, dass sie wesentlich in derselben Weise zu erklären sind wie die Erscheinungen bei den Emulsionsstreifen. Hier handelt es sich nur ausschliesslich und allein, um die minutiösen Wabenräume der erstarrten Gelatinegallerte, deren Verhalten bei der Dehnung, Trocknung und Wiederaufquellung jedoch in derselben Weise zu beurtheilen ist, wie wir es oben für die gröberen ölerfüllten Wabenräume der Emulsionsstreifen versuchten. —

Von anderen quellbaren Körpern habe ich bis jetzt nur mit geronnenem Hühnereiweiss einen ähnlichen Versuch angestellt, der jedoch gleichfalls die sehr verschiedengradige Quellungsausdehnung unter den gleichen Bedingungen lehrt.

Ein Streif von geronnenem Hühnereiweiss, der eine ursprüngliche Breite von 18,5 und eine Dicke von 6,0 besass, wurde aufgehängt und belastet, riss jedoch mehrfach ab, weshalb ich leider die ursprüngliche Länge nicht anzugeben vermag. — Nach succesiver Belastung mit 10—30 gr und erfolgter Eintrocknung hatte der Streif folgende Maasse:

$$\begin{aligned} &L. = 45 \\ &\text{in der Mitte Br.} = 14 \\ &\text{„ „ „ D.} = 2,9. \end{aligned}$$

Der Streif war in der Querrichtung etwas gekrümmt und ohne seitlichen Randwulst. Darauf ein mittleres Stück von 21 mm Länge herausgesägt und gequellt, zeigte nach 24 h. folgende Masse:

$$\left. \begin{aligned} &L. = 29,5 = 40,5\% \text{ Verlängerung} \\ &\text{in der Mitte Br.} = 20 = 42,8\% \text{ „} \\ &\text{„ „ „ D.} = 5 = 72\% \text{ „} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{der} \\ \text{Dimensionen} \\ \text{vor der Quellung.} \end{array}$$

Wie aus den obigen Versuchen sich ergibt, besteht beim Aufquellen der unter den gegebenen Bedingungen getrockneten Streifen stets ein sehr bedeu-

tender Unterschied in dem Quellungsmaass der Dicke und der Breite, ein Unterschied, welcher im Allgemeinen parallel geht mit der in den betreffenden Dimensionen durch das Eintrocknen hervorgerufenen Verkleinerung. Diese erheblichere Verkleinerung und spätere Wiedernahme der Dicke steht nun einerseits in Zusammenhang mit der Einrichtung der Versuche, bei welchen die Streifen an Carton angeklebt waren, wodurch bei der Trocknung auch ein Widerstand gegen die Zusammenziehung in der Querrichtung gegeben war, der gegen die Mitte der Streifen ein Minimum erreichte, wesshalb hier auch die stärkste Abnahme der Breite eintrat. Dieser Umstand, wie auch die Bildung eines festeren Randwulstes bei den gewöhnlichen Gelatinestreifen, der wie ein Rahmen den Streifen umzieht, müssen bewirken, dass sich zu dem Zug in der Längsrichtung ein weiterer in der Querrichtung gesellt, durch deren Zusammenwirken sich erklärt, dass die Wabenräume beim Eintrocknen die bedeutendste Verkleinerung in der Dickenrichtung erfahren müssen. —

3. Versuche über das Verhalten gedehnter zelliger oder quellbarer Körper bei verschiedenen Temperaturen etc.

Oben wurde darauf hingewiesen, dass durch Dehnung gestreckte Wabenräume bei einem durch das Vergrösserungsstreben ihres Inhalts hervorgerufenen Druck sich der Normalgestalt wieder nähern, also verkürzen müssen. Diese Voraussetzung auf die quellbaren Körper angewendet, scheint die Möglichkeit zu ergeben, die Richtigkeit der Ansicht über deren wabigen Bau zu prüfen. — Ein durch Belastung gedehnter Körper, dessen Waben eine derartige gestreckte Gestalt angenommen haben, muss sich also verkürzen, wenn wir den Inhalt der Waben, sei es durch Temperaturerhöhung oder sonst wie, zur Ausdehnung bringen; ein solcher Körper muss daher im gedehnten Zustand die Eigenschaft zeigen, welche man zuerst bei Kautschuck wahrgenommen und die Engelmann (1893) neuerdings auch für gequollene Darmsaiten nachgewiesen hat: nämlich sich im gedehnten Zustand bei Temperatursteigerung nicht zu verlängern sondern zu verkürzen.

Es schien mir angezeigt, die allgemeine Richtigkeit der Voraussetzung an gewissen Körpern zu prüfen, welche einen bekannten grobzelligen Bau besitzen. Obgleich dies nicht die ersten derartigen Versuche waren, welche ich vornahm, glaube ich sie doch hier an erster Stelle besprechen zu sollen.

Als geeignet zu solcher Prüfung erschien mir das zellige Mark der Pflanzen, Hollunder- und Sonnenblumenmark. In Alkohol aufbewahrtes derartiges Mark wurde an der Luft völlig ausgetrocknet, so dass alle Zellräume mit Luft gefüllt waren und dann mit scharfem Rasirmesser daraus möglichst regelmässige, aus reinem Mark bestehende Streifen geschnitten. Die beiden Enden eines solchen Streifs wurden in flache, eigens zu diesem Zweck gefertigte Klammern fest eingespannt, von denen die obere aus Messing, die untere aus Aluminium bestand

(Gew. 5,5 gr). Jede Klammer war mit einem gebogenen Häkchen zum Aufhängen, respect. das der unteren zum Anhängen von Gewichten, versehen. Zur Messung der Längenänderung des Streifs diente ein an schwerem Eisengestell senkrecht verschiebbares horizontales Mikroskop; beobachtet wurde mit Seibert's Objectiv No. 0 und einem in 100 Theilstriche getheilten Ocularmicrometer, von dem 1 Theilstrich unter den gegebenen Verhältnissen eine Länge von 0,0175 mm anzeigte. Als Ablesungsmarke diente in der Regel der scharf sichtbare obere Rand der unteren Klammer; nur bei einzelnen, später zu beschreibenden Versuchen wurde auf den Streifen in der Nähe des unteren Endes eine besondere Marke angebracht, meist in der Weise, dass der flache Knopf einer feinen Stecknadel in den Streif eingesteckt wurde. In den meisten Fällen war es möglich, die Stellung der Marke auf einen halben Theilstrich des Mikrometers genau abzulesen. Das obere Ende der Streifen wurde mittels der Klammer an den Arm eines festen eisernen Retortenhalters sicher befestigt und der Streif in ein schmales leeres mit planen oder auch cylindrischen Wänden versehenes Glas eingehängt, so dass der untere Rand der oberen Klammer mit dem Rand des Gefässes abschnitt und die Oeffnung des Gefässes durch Pappdeckelstücke möglichst geschlossen. Ein Thermometer tauchte etwa bis in die Mitte des Gefässes ein.

Es war zunächst die Frage zu beantworten, wie sich ein solcher Markstreif in gedehntem Zustand bei Erhöhung der Temperatur verhält. Das Gefäss, in welches der Streif eintauchte, stand auf einem Sandbad und war von unten zu erhitzen; in einem Fall wurde es auch durch blosse Annäherung der Beleuchtungsflamme erwärmt.

Als Resultate ergaben sich bei einem Streif von Hollundermark, dessen L. = 87, Br. = 8 und D. = 6,5 mm und der am unteren Ende mit 15,5 gr belastet war:

- a. bei einer Erhöhung der Temp. von 27—40,2° 1,05 mm Verkürzung
 b. " " " " " " 23,5—50° 0,875 " "

Bei Belastung desselben Streifs mit 50 gr:

- c. bei Erhöhung der Temp. von 24—38° 0,682 mm Verkürzung.

Ein lufttrockener Streif von Sonnenblumenmark, dessen L. = 84, Br. = 9,5, D. = 1,5 mm, ergab bei einer Belastung von 15,5 gr bei Erhöhung der Tp. von 19—25,2° eine Verkürzung von 1,1550 mm¹⁾.

Die Resultate dieser Versuche standen demnach ganz in Einklang mit den Erwartungen. Da jedoch die Cellulosesubstanz der Zellwände der Markstreifen eine quellbare Substanz ist, über deren besondere Eigenschaften erst Aufklärung gesucht wird, so schien es mir angezeigt, zur weiteren Bestätigung, dass die gefundene Verkürzung bei Temperaturerhöhung thatsächlich auf der Ausdehnung der Luft im Innern der Zellräume beruhen kann, auch zu versuchen, die Aus-

1) Das Genauere über diese Versuche siehe im Anhang in den Tabellen I und II.

dehnung der Luft in anderer Weise, nämlich durch Verdünnung der umgebenden Luft zu bewirken.

Zu diesem Zweck wurde der oben erwähnte Streif von lufttrockenem Sonnenblumenmark (L. = 84, Br. = 9,5, D. = 1,5) in einer weiten Glasröhre an einem quer in derselben angebrachten Messingstäbchen bei 15,5 gr Belastung aufgehängt, das obere Ende der Glasröhre mit gut schliessendem Kautschuckpropf durch den eine rechtwinklig gebogene Glasröhre ging, geschlossen und diese mit der Wasserluftpumpe verbunden. In 2 Versuchen wurden folgende Resultate erhalten, die ich vollständig aufführe.

I. Versuch 27/XII. 94.

	Luftdr. cm Hg.	Stand d. unt. Rds. d. Strfs.	
	76	17	
Ausgep.	66	19	} Ges. Verkürz. 23 Thlstr. = 0,402 mm.
	56	21	
	46	24	
	36	27	
	26	30 (29)	
	16	32 (31)	
Zeit	6	40 (34)	
Luftzutr.			
5 h. 10 p.	76	-40	
ca. 5,30	76	-48	
7,10	76	-41	
28/XII. 10 h. a.	76	-32	

II. Versuch 28/XII. 94.

Zeit.	Luftdr.	Stand d. unt. Rds. d. Strfs.	
	76	28	
10 h. 3 a	66	30	} Ges. Verkürz. 37 Thlstr. = 0,647 mm.
	56	33	
	46	37	
	36	40	
	26	45	
10,32	16	52	
- 35		51	
- 37		65	
- 38	6	63	
- 40		59	
10,40	16	31	
- 50	15	28	
- 52	30		
- 55		16	
11,0	31	13	
11,0	36		
- 5	36	9	
11,5	47		
- 10	47	3	
- 10	56		
- 15		-2	
- 15	66		
- 20		-6	
- 20	76		
- 25	76	-9	
12,55 p.	76	-7	
6 h. p.	76	-2	

Wie die obigen Versuchsergebnisse zeigen, wurde die Erniedrigung des Luftdrucks successive um je 10 cm Hg vorgenommen und die Ablesung stets 5 Minuten nach der Herstellung des bezüglichen Drucks vorgenommen. Dabei

zeigte sich bei stärkerer Erniedrigung des Drucks (auf 16 u. 6 cm), dass die eingetretene Verkürzung nicht bestehen blieb, obgleich keine Aenderung des Drucks eintrat, sondern dass sie nach wenigen Minuten zurückzugehen begann. Dies wurde auch auf den beiden Tabellen angedeutet. Den Grund dieser Erscheinung wird man wohl unbedenklich im Luftaustritt aus den Zellräumen suchen dürfen.

Sehr bemerkenswerth erscheint das Verhalten der Streifen bei der Wiederherstellung des gewöhnlichen Luftdrucks, welche bei Versuch I plötzlich, bei Versuch II allmählich, successive geschah. In beiden Fällen verlängerte sich der Streifen beträchtlich über die ursprüngliche Länge hinaus, um sich darauf langsam wieder ein wenig zu verkürzen. In Versuch I betrug diese bleibende Verlängerung 0,957, in Versuch II bei langsamerer Wiederherstellung des normalen Drucks 0,525 mm.

Auch diese Erscheinung dürfte wohl mit dem bei der Luftverdünnung eingetretenen Luftaustritt aus den Zellräumen zusammenhängen; denn wenn das in den gestreckten Zellräumen enthaltene Luftvolum bei der vorhergegangenen Verdünnung durch theilweisen Austritt verringert wurde, so wird das Luftvolum in den Wabenräumen auch nach Wiederherstellung des gewöhnlichen Drucks ein verkleinertes sein und die Zellen werden daher eine noch gestrecktere Gestalt wie ursprünglich annehmen, d. h. die Gesamtlänge des Streifens wird eine grössere werden müssen.

Hinsichtlich des Einflusses der Temperatur habe ich nun Streifen von Gelatine (5 %) untersucht, die einige Zeit mit concentrirter wässriger Lösung von Chromalaun behandelt und darauf gut ausgewaschen worden waren. Durch diese Behandlung wird die Gelatine bekanntlich unlöslich, ohne ihre Durchsichtigkeit und Quellbarkeit zu verlieren und lässt sich daher in Wasser eingetaucht stark erhitzen, ohne sich zu lösen. In gleicher Weise wurden ferner Streifen der schon früher erwähnten Gelatineölemulsion untersucht, die ebenfalls durch Chromalaun unlöslich gemacht worden waren.

Einige Versuche endlich wurden mit gewöhnlicher gequollener Gelatine und mit geronnenem Eiweiss vorgenommen. Bei allen diesen Körpern trat bei Erhöhung der Temperatur (die jedoch nicht über 50—60° gesteigert wurde, eine ansehnliche Verkürzung ein. Ich will an dieser Stelle die Ergebnisse der Versuche nicht ausführlich darlegen, sondern verweise desshalb auf den Anhang. Beispielsweise führe ich an, dass sich ein Chromgelatinestreifen (5 %) von 34 mm L., 15 Br. und 5,5 D. bei der Erwärmung von 23° auf 40° insgesamt um 1,015 mm, bei einer zweiten Erwärmung von 18 auf 24,6° um 0,192 mm verkürzte. Ein Streifen von Gelatineölemulsion (L. 80,5, Br. 11, D. 3) verkürzte sich bei der Steigerung der Temperatur von 18,5—30° um 0,542 mm, bei einer zweiten Steigerung von 20,5—25° um 0,367 mm. Ein in Wasser aufgequollener Streifen gewöhnlicher Gelatine (L. 64, Br. 17, D. ca. 1,8) verkürzte sich bei Steigerung der Tp. von 2—19,9° um 0,385 mm, bei einer zweiten Steigerung von 18,2—23,9° um 0,228 mm. Bei einer Vergleichung der im Anhang mitgetheilten genaueren Tabelle (V) über

diesen Gelatinestreif ergibt sich, dass derselbe gegen sehr geringe Temperaturschwankungen so empfindlich ist, dass er ähnlich wie der trockne luftgefüllte Sonnenblumenstreif zu annähernden Temperaturbestimmungen bis auf $\frac{1}{10}^{\circ}$ dienen könnte. — Während bei den untersuchten Chromgelatine- und Chromgelatine-emulsionsstreifen bei der Wiederabkühlung in d. R. die Wiederausdehnung nicht unbeträchtlich hinter der Verkürzung zurückblieb, worüber die Tabellen näheren Aufschluss geben, dehnte sich dagegen der Streifen gewöhnlicher Gelatine in den Grenzen der untersuchten Temperaturintervalle wieder ziemlich genau auf die ursprüngliche Länge aus.

Bemerkenswerth verhielten sich in dieser Hinsicht mehrere Streifen von geronnenem Eiweiss, die zwar energische Verkürzung bei Erhöhung der Temperatur von ca. 20—50% zeigten, bei der Abkühlung dagegen keine oder nur geringe Wiederausdehnung. Der am eingehendsten untersuchte und auch sehr wohl gelungene Streif (L. 97, Br. 15, D. 8) zeigte nach der Aufhängung (unbelastet) in Wasser anfänglich unter fortdauernder Quellung sehr energische Verlängerung, welche hierauf in eine anhaltende, allmählich schwächer werdende Verkürzung überging. Da unter diesen Umständen die Wirkung einer Temperaturerhöhung nur unsicher zu beobachten gewesen wäre, studirte ich den Einfluss einer Temperaturverminderung, welche ein bestimmtes Resultat ergeben konnte. Obgleich sich daher der Streif innerhalb der letzten Stunden vor der Abkühlung noch langsam verkürzt hatte, was jedoch auch theilweise auf einer langsamen Steigerung der Temperatur von 14—17° beruht haben kann, dehnte er sich bei der darauf folgenden Abkühlung von 17—9,8° um 0,735 mm aus und nach eingetretener Steigerung der Temperatur auf 19° war wieder Verkürzung um 0,470 mm eingetreten. Eine zweite spätere Abkühlung von 20 auf 8°, während der Streif noch immer in langsamer Verkürzung begriffen war, ergab eine Ausdehnung um 0,420 mm, worauf bei Steigerung der Temperatur die Verkürzung wieder ziemlich energisch begann. — Der Streif, welcher die nun folgenden 2 Tage sich anhaltend weiter verkürzt hatte, wurde hierauf eine Nacht über bei geöffnetem Fenster der Februnarkälte ausgesetzt, wobei die Temperatur auf Null sank und eine zarte Eisdecke auf der Oberfläche des Wassers sich gebildet hatte. Der Streif aber hatte sich um nicht weniger wie 3,1 mm verlängert. In den folgenden 5 Tagen trat eine Verkürzung von im Gesamt 3,762 auf. — Nach elftägiger Aufhängung des Streifs in Wasser, dem zur Verhütung der Fäulniss etwas Thymol zugesetzt war, war die Länge ziemlich konstant geworden wie die Tabelle Vc ergibt. Eine Erhöhung der Temperatur von 18 auf 30° rief jetzt eine Verkürzung von ca. 0,96 mm hervor, die jedoch bei der Wiederabkühlung nicht völlig zurückging, sondern nur etwa um die Hälfte. Aus den Beobachtungen an dem Streif in dieser späteren Zeit ergibt sich für die Temperatur zwischen 17,7—19,7° pro 1° C. eine Längenveränderung des Streifs um durchschnittlich 0,0305 mm.

Beachtenswerth ist, dass sowohl die Verkürzungen aller untersuchten Streifen von Gelatine, Eiweiss etc. bei der Erwärmung, als auch die Verlängerungen bei

der Abkühlung nur sehr langsam der Temperatur des umgebenden Wassers folgen, so dass das Maximum der Verkürzung oder Verlängerung erst ziemlich spät nach dem Eintritt der betreffenden Temperaturen erreicht wird, d. h. wenn bei der von mir befolgten Versuchsanordnung die Temperaturen entweder schon wieder stark gesunken, oder bei Abkühlungsversuchen gestiegen waren. Diese Erscheinung erklärt sich wohl hauptsächlich aus dem schlechten Wärmeleitungsvermögen der betreffenden Substanzen, was bedingt, dass die Temperatur der Streifen sehr langsam dem Wechsel der umgebenden Temperatur folgt; wozu sich gesellt, dass die Temperaturunterschiede nur sehr langsam in das Innere der Streifen eindringen dürften.

Kein sicheres Ergebniss wurde bei der Untersuchung von Hollunder- und Sonnenblumenmarkstreifen erzielt, die völlig von Wasser durchdrungen und in Wasser untersucht wurden. Zwar beobachtete ich häufig mässige Verkürzungen bei Erhöhung der Temperatur, jedoch nicht konstant und in genügender Uebereinstimmung, weshalb ich mich schliesslich genöthigt sah, die betreffende Untersuchungsreihe ganz zu verwerfen.

Kein Ergebniss in dem erwarteten Sinn hatten endlich die Untersuchungen an Collodiumstreifen, welche durch Gerinnung von durch Trocknen mässig erhärteten gegossenen Streifen in Wasser hergestellt und hierauf in Wasser oder 40% Alkohol untersucht wurden. In beiden Flüssigkeiten zeigte sich im Gegentheil, bei einer Belastung von 25 gr und bei häufiger Wiederholung der Versuche, eine schwache Verlängerung bei Erhöhung und eine entsprechende Zusammenziehung beim Rückgang der Temperatur.

Wenn die Volumvergrößerung des Inhalts der gedehnten Waben eine Verkürzung hervorruft und eine Minderung eine Verlängerung, so war zu erwarten, dass sich, dieser Voraussetzung entsprechend, auch auf osmotischem Wege Ausdehnungen oder Verkürzungen der Streifen hervorrufen lassen müssen, welche die Voraussetzung bestätigen. In einigen Fällen hat die Beobachtung denn auch diese Annahme bestätigt, in anderen dagegen nicht, oder das erwartete Resultat wurde durch anderweitige, vorerst nicht sicher zu beurtheilende Verhältnisse verdeckt.

Wurde ein von Wasser völlig durchdrungener, schon längere Zeit in Wasser bei einer Belastung von 15,5 gr aufgehängter Streifen von Sonnenblumenmark (L. 111, Br. 6, D. 4,6) in 15% NaCl-lösung gebracht, indem das Wasser vorsichtig abgelassen und durch NaCl-lösung ersetzt wurde, so trat in ca. 5 h. eine Ausdehnung um 0,317 mm auf. Als hierauf die Salzlösung wieder durch Wasser ersetzt wurde, folgte einer kurzen Ausdehnung von 0,0875 mm eine Zusammenziehung um 0,0525 mm, die sich jedoch im Laufe des Tages wieder verlor. Dann wieder in 15% NaCl-lösung versetzt; in 10 h. eine Ausdehnung von 0,1400 mm. — Jetzt wurde der Streif nur mit 5,5 gr belastet und, nachdem er keine Verkürzung mehr zeigte, wieder in Wasser versetzt, was in 11 h. eine Verkürzung um 0,192 mm hervorrief.

Aehnliche Resulte gab ein in Wasser unbelastet aufgehängter, gequollener

Streif gewöhnlicher Gelatine (L. 64, Br. 17, D. ca. 1,8 mm). Ueberführung aus Wasser in 15 % NaCl-Lösung bewirkte hier in 7 h. eine Ausdehnung um 0,490 mm; wurde hierauf wieder in Wasser übergeführt, so trat in den ersten 2 Stunden eine bedeutende Ausdehnung von 2,695 mm ein, der in den folgenden 24 h. eine Wiederzusammenziehung von 1,295 mm folgte.

Schon früher hatte ein Versuch mit einem Streif von Hollundermark, der von gesättigter NaCl-Lösung durchdrungen und dann mit 55 gr belastet aufgehängt war ein ähnliches Resultat ergeben. Wurde dieser Streif in Wasser versetzt, so dehnte er sich sehr rasch um ca. 2,5 mm aus, um sich dann im Verlauf von 17 h. um 0,350 mm zusammenziehen. — Während demnach die Ergebnisse bei der Ueberführung des Sonnenblumen- und des Gelatinestreifs in 15 % NaCl-Lösung der Voraussetzung entsprachen dass durch eine osmotische Verkleinerung des Wabenvolums eine Verlängerung der gedehnten Streifen herbeigeführt werden müsse, hat sich die umgekehrte Erwartung nur in beschränkter Weise bestätigt, indem meist zuerst beträchtliche Ausdehnung eintrat und die erwartete Verkürzung sich erst später geltend machte. Es zeigt sich daher ein ähnliches Verhalten, wie es oben schon für den in Wasser unbelastet aufgehängten Eiweissstreif geschildert und schon dort als von energischer Quellung herrührend aufgefasst wurde.

Wenn bei schwach gedehnten Waben eine bedeutende Anschwellung des Inhalts eintritt, welche die, unter den gegebenen Bedingungen mögliche Verkürzung schnell hervorruft, jedoch eine darüber hinausgehende Volumvergrößerung des Wabeninhalts bewirkt, so muss mit letzterer eine Ausdehnung, wie bei der gewöhnlichen Quellung im ungedehnten Zustand, verbunden sein. Erst in dem späteren, allmählich sinkenden Stadium dieser Volumzunahme der Waben, und wahrscheinlich in Verbindung mit der durch dieselbe bewirkten Verdünnung der Wabenwände und der dabei wirksamer werdenden Dehnung, wird wieder eine langsame und verhältnissmässig geringere Zusammenziehung auf Grundlage der schon dargelegten Prinzipien eintreten können.

4. Einiges über die Auspressung von Flüssigkeit aus gequollenen Körpern.

Es unterliegt keiner Frage, dass für die Beurtheilung der besonderen Eigenthümlichkeiten gequollener Körper die Möglichkeit, aus ihnen auf mechanischem Wege einen beträchtlichen Theil der Quellungsflüssigkeit hervorzupressen, von besonderer Bedeutung ist. Die älteren Angaben hierüber beziehen sich auf gequollene thierische Gewebe; später hat J. Reinke (1879) bei seinen Untersuchungen über die Quellung des Laubes der Alge *Laminaria* einige Angaben gemacht, welche im Allgemeinen zeigen, dass hier sehr grosse Druckkräfte nöthig sind, um Flüssigkeit hervorzupressen und dass mit der Zunahme der Quellung der zur Auspressung nöthige Druck sinkt. — Ueber gleichmässig beschaffene quellbare Körper liegen, soviel mir bekannt überhaupt keine Angaben vor, so dass das Wenige, was ich darüber berichten kann, trotz seiner Unvollständigkeit

erwähnenswerth sein dürfte. Besondere Apparate und Vorrichtungen, wie sie zur systematischen Prüfung dieser Frage nöthig erscheinen, besitze ich nicht, weshalb ich namentlich höhere Druckkräfte, die bei der Untersuchung der schwächeren Quellungsgrade nothwendig werden, vorerst nicht anwenden konnte.

Gewisse gequollene Körper zeichnen sich dadurch aus, dass sie schon bei sehr mässigem Druck Flüssigkeit abgeben. Bekannt ist, dass geschmolzene Agar-Agargallerte bei dem Erstarren wässerige Flüssigkeit auspresst, während Gelatine dies nicht thut. In gleicher Weise lässt sich denn auch aus 5 % Agargallerte schon zwischen den Fingern durch verhältnissmässig nicht starken Druck wässerige Flüssigkeit hervorpressen. Noch auffallender ist dies, wenn 1 % Agargallerte in der oben geschilderten Weise in Xylol oder Chloroform übergeführt worden ist; dann genügt schon der schwächste Druck beim Anfassen, um die inhibierte Flüssigkeit in reichlicher Menge hervortreten zu lassen. Wesentlich verschieden verhält sich gewöhnliche Gelatinegallerte. Bei keinem der untersuchten Procentgehalte war es möglich, durch den Fingerdruck Flüssigkeit zu entleeren, stets barst und zerbröckelte die Gallerte, bevor sich Flüssigkeit zeigte. Die gleiche Erfahrung wurde auch mit 10 % Gelatine gemacht, die in einem unten halbkuglig abgerundeten und etwas geöffneten Rohr vor der Luftpumpe der Wirkung des bis 60 cm Hg ansteigenden Luftdrucks ausgesetzt wurde. Die Gelatine wurde allmählich durch die Oeffnung halbkuglig hervorgequetscht, doch keine sichtliche Spur ausgepresster Flüssigkeit wahrgenommen.

Eigenthümlicher Weise verhält sich dagegen die mit Chromalaun unlöslich gemachte Gelatinegallerte wesentlich anders. 5 % derartige Gallerte, welche sehr gut ausgewässert war, zeigte beim Pressen zwischen den Fingern ganz ebenso wie die gewöhnliche Agargallerte deutlichen Austritt von Flüssigkeit, die sich zuerst in feinsten Pünktchen bemerkbar machte, welche dann zu grösseren Tröpfchen zusammenschmolzen, so dass schliesslich die ganze Oberfläche der Gelatine von Flüssigkeit bedeckt war. — Die vorhin mitgetheilte Erfahrung über die gewöhnliche Gelatinegallerte erscheint um so eigenthümlicher, als es, wie ich schon früher kurz berichtete (1892, 2 p. 2—3), auf etwas anderem Wege leicht gelingt, ihr bei verhältnissmässig niederem Druck Wasser zu entziehen, wenn man nämlich die Gelatinegallerte in eine feuchte Thonzelle eingiesst, hier erstarren lässt und die gefüllte Thonzelle hierauf vor der Wasserluftpumpe der Absaugung unterwirft. Doch gelingt der Versuch auch, wenn man die Gelatinegallerte zu Brei zerreibt und diesen in die feuchte Thonzelle füllt. Erforderlich für das Gelingen des Versuchs ist jedoch, wie bemerkt, dass die Thonzelle mit Wasser getränkt ist; in eine völlig trockene Thonzelle eingefüllter Brei von 2½ % Gelatine gab wenigstens trotz langer Absaugung vor der Luftpumpe keine Spur von Flüssigkeit ab. Auf dem angegebenen Wege erhält man, wie gesagt, aus Gallerten, die bis zu 10 % Gelatine enthalten, reichlich Flüssigkeit vor der gewöhnlichen Wasserluftpumpe, also unter einen Druck der bis ca. 70 cm Hg betrug. — Bei genauerer Untersuchung einer 10 % Gelatine liess sich bei sehr allmählig steigendem Druck feststellen, dass der Austritt der

Flüssigkeit schon bei etwa 40 cm Hgdruck beginnt; bei 5 % Gallerte trat schon bei 10 cm Hgdruck die erste Flüssigkeit aus. Hieraus lässt sich wohl mit Bestimmtheit schliessen, dass auch Gallerten von wesentlich höherem Gehalt als 10 % vor der Wasserluftpumpe noch Flüssigkeit entzogen werden muss. Immerhin wird jedoch bei steigendem Procentgehalt bald der Punkt eintreten, wo dies nicht mehr möglich ist, da nämlich bei 20 % Gelatine der Druck einer Atmosphäre hierzu nicht mehr ausreicht. Ich habe versucht, durch Anwendung comprimierter Luft in einem zu diesem Zweck konstruirten primitiven Apparat, bei welchem eine gewöhnliche Luftpumpe als Compressionspumpe verwendet wurde, den Druck annähernd festzustellen, welcher zum Auspressen von Flüssigkeit aus 20 % Gelatine in einer Thonzelle nöthig ist. Leider gelang dies wegen der Mangelhaftigkeit des Apparates nicht nach Wunsch; doch liess sich bei ca. 2 $\frac{1}{2}$ Atmosphärendruck noch kein Austritt von Flüssigkeit aus der Thonzelle wahrnehmen. Es muss also bei höheren Procentgehalten der nothwendige Druck verhältnissmässig rasch zunehmen. — Die Quantität der auf die angegebene Weise auspressbaren Flüssigkeit ist sehr ansehnlich und hängt natürlich von dem Wassergehalt der verwendeten Gallerte ab. Während der Absaugung nimmt die Menge der austretenden Flüssigkeit allmählich sichtlich ab, doch dauert es verhältnissmässig lange bis der Wasseraustritt völlig aufhört. Bei 2 Versuchen mit 5 % und 10 % Gallerte musste beide Male ca. 48 Stunden andauernd abgesaugt werden, bis weiteres Saugen keinen Erfolg mehr hatte. Ich überzeugte mich von letzterer Thatsache dadurch, dass die Thonzelle aus dem Glaskölbchen, in dessen Hals sie durch ein passendes Stück dicken Kautschuckschlauchs luftdicht eingesetzt war, rasch herausgenommen, mit feinem Papier äusserlich schnell und gut abgetrocknet und sodann weiterer Absaugung unterworfen wurde. Im Allgemeinen halte ich dieses Verfahren für sicherer wie die Wägung der Thonzelle nebst Inhalt, was ich früher auch versucht habe; eine eigentliche Konstanz des Gewichtes liess sich, obgleich eine Verdunstung aus der Thonzelle dadurch möglichst vermieden war, dass ein Röhrchen mit Wasser derselben vorgelegt wurde, nicht erreichen. Bei jeder neuen Wägung zeigte sich ein kleiner Verlust (schliesslich von 1–2 Centigramm), obgleich jedenfalls die eigentliche Wasserauspressung schon aufgehört hatte. Um eine Vorstellung von der allmählichen Abnahme des Flüssigkeitsaustritts zu geben, führe ich hier die Resultate eines Versuchs mit 10 % Gallerte auf, der etwas Carbonsäure zur Verhütung von Fäulniss zugesetzt worden war.

10 % Gelatine angewendet 4,639 gr

1. Absaug.	21	Stunden	. . . . .	Verlust	1,420	gr
2. "	10 $\frac{3}{4}$	"	. . . . .	"	0,229	"
3. "	12 $\frac{1}{2}$	"	. . . . .	"	0,170	"
4. "	12	"	. . . . .	"	0,128	"
5. "	12	"	. . . . .	"	0,061	"
6. "	12	"	. . . . .	"	0,040	"
7. "	12	"	. . . . .	"	0,060	"
8. "	9	"	. . . . .	"	0,089	"

Wie bemerkt, möchte ich auf die Ergebnisse der späteren Absaugungen keinen besonderen Werth legen. Die Verdunstung war bei diesem Versuch durch ein vorgelegtes Wasserrohr möglichst gehindert und auch in den Kolben, in welchen die Thonzelle hineinragte, schon von Anfang an etwas Wasser gegeben worden, um auch hier Verdunstung zu hindern.

Die bei diesem Versuch in der Thonzelle schliesslich zurückgebliebene lederartige Gelatine wurde bei 80° C. getrocknet und gewogen, wonach sie einer 29,69 % Gallerte entsprach.

Bei den beiden schon oben erwähnten Versuchen mit 5 % und 10 % Gallerte, bei welchen die Absaugung so lange fortgesetzt wurde, bis kein Wassertritt aus der Thonzelle mehr zu bemerken war, wurde die Verdunstung aus der Thonzelle während der Dauer des Versuches, die ca. 48 h. betrug, dadurch möglichst zu verhindern gesucht, dass die obere Oeffnung der Zelle mit einem dichten Propf sterilisirter Watte dauernd verschlossen gehalten wurde. In diesen beiden Fällen stellte ich den Wassergehalt der rückbleibenden Gelatine durch Trocknen bei 120° C. fest, wobei sich ergab, dass aus der 10 % Gallerte eine solche von 24,97 %, aus der 5 % dagegen eine solche von 26,77 % geworden war. Da die Trocknung bei dem ersterwähnten Versuch nur bei 80° C. vorgenommen worden war, so liegt die Möglichkeit vor, dass hier der Procentgehalt der rückbleibenden Gallerte zu hoch gefunden worden war und die Annäherung zwischen den Ergebnissen der 3 Versuche dürfte daher, in anbetracht der mannigfachen Fehlerquellen, doch eine ziemlich auffallende sein. — Besonders bemerkenswerth scheint jedoch der Umstand, dass beim Auspressen der 5 % wie der 10 % Gallerte eine annähernd gleich wasserhaltige von ca. 25 % restirte, während wir früher fanden, dass schon aus einer 20 % Gallerte durch die verfügbaren Druckkräfte überhaupt keine Flüssigkeit hervorzupressen ist. Ich glaube, dass dieser Thatsache eine gewisse Wichtigkeit für die Beurtheilung der Form und Art, wie das Wasser in der Gallerte enthalten ist zukommt und ich werde darüber später noch einiges zu bemerken haben.

Wenn auch durch diese Versuche, welche nur mit relativ niederen Druckkräften angestellt werden konnten, die wichtige Frage nicht entschieden werden konnte, ob das Wasser der Gallerte sich gegenüber Druckkräften in verschiedener Weise verhält, d. h., ob nur ein Theil des Wassers durch Druck herausgepresst werden kann, während der andere dem Druck widersteht, so scheinen mir die Ergebnisse der mitgetheilten Versuche doch in diesem Sinne zu sprechen.

Schon bei früherer Gelegenheit (1892, 2, p. 2—3 und 1893 p. 3) konnte ich berichten, dass die aus gequollenen Körpern hervorgepresste Flüssigkeit stets eine gewisse, wenn auch geringe Menge der betreffenden Substanz gelöst enthält. Diese Thatsache wurde namentlich für Gelatine, weiterhin jedoch auch für geronnenes Eiweiss, Stärkergallerte und neuerdings auch für Agargallerte erwiesen. Ein Versuch mit in Wasser gequollener, zuvor gut gereinigter Baumwolle, aus welcher in einer Thonzelle Flüssigkeit abgesaugt wurde, ergab dagegen kein nennenswerthes Resultat, indem die gesammelten 3,640 gr Flüssigkeit nur 0,0006 gr

Trockensubstanz hinterliessen, was mir nicht genügend erscheint, um daraus auf eine schwache Lösung bei der Quellung zu schliessen. Bei den ersterwähnten vier quellbaren Substanzen hingegen liess sich sicher nachweisen, dass der beim Verdampfen der Flüssigkeit verbleibende Rückstand wirklich, wenigstens zu einem erheblichen Theil, aus der betreffenden Substanz besteht.

Die Menge der gelösten Substanz in dem abgesaugten Wasser ist stets eine verhältnissmässig geringe und auch ziemlich schwankend. So enthielt die aus 5 % Gelatinegallerte abgesaugte Flüssigkeit einmal 0,46 %, ein zweites Mal 0,16 % fester Substanz; die aus 2 $\frac{1}{2}$ % Gelatine abgesaugte sogar nur 0,085 %. Die aus filtrirtem und hierauf in der Thonzelle geronnenem Hühnereiweiss erhaltene Flüssigkeit enthielt 1,76 %, die aus einer 5 % Lösung von getrocknetem Hühnereiweiss auf dieselbe Weise erzielte Flüssigkeit 1,35 %. — Aus einer 5 % Gallerte von Weizenstärke wurde Flüssigkeit mit 0,24 % Trockensubstanz erhalten.

Es schien mir wichtig zu untersuchen, ob bei wiederholter Aufquellung und Absaugung das aufgenommene Wasser andauernd von der quellbaren Substanz auflöst. Da ein solcher Versuch längere Zeit fortgesetzt werden musste und die vorstehend erwähnten quellbaren Körper sich hierzu wenig eignen, da sie leicht in Fäulniss übergehen, so benutzte ich Agargallerte, welche viel beständiger ist. Eine 2—3 % Agargallerte wurde nach einander in der Thonzelle 5 Mal abgesaugt und zwar je 24 h. Zwischen je 2 Saugungen wurde die Thonzelle in ein Gläschen mit destillirtem Wasser eingestellt, bis die in ihr enthaltene Gallerte wieder völlig aufgequollen war, hierauf äusserlich sorgfältig abgetrocknet und auch etwa ins Innere gedrungenes Wasser sorgfältig entleert. Während dem Absaugen war die obere Öffnung der Zelle durch ein mit sterilisirter Watte gefülltes, fein ausgezogenes Röhrchen verschlossen, um das Eindringen von Bacterien möglichst zu verhüten. Es liess sich denn auch während der Dauer des Versuches keine Veränderung der Gallerte wahrnehmen. Die Ergebnisse dieses Versuches gibt die folgende Tabelle.

2—3 % Agargallerte:				
	Dauer.	Abges. Flüssigkeit.	fester Rückstand bei 120° getr.	% Gehalt an fest. Subst.
1. Absaugung	24 h.	1,4738 gr	0,0060 gr	0,4 %
2. „	„	1,3678 „	0,0036 „	0,26 %
3. „	„	1,5394 „	0,0026 „	0,17 %
4. „	„	2,1520 „	0,0028 „	0,13 %
5. „	„	1,5964 „	0,0020 „	0,125 %
Gesammt			0,0170 gr	

Aus diesem Versuch folgt demnach, dass auch bei fortgesetztem Aufquellen und Absaugen das abgesaugte Wasser aufgelöstes Agar enthält. Das erhebliche Sinken des Procentgehalts bis zur 4. Absaugung dürfte wohl darauf beruhen, dass bei der erstmaligen Bereitung der Gallerte, unter Anwendung von Wärme, das

eingeschlossene Wasser grössere Mengen von Agar gelöst enthält, die erst allmählich bei wiederholter Absaugung entfernt werden, während bei der gewöhnlichen Aufquellung in kaltem Wasser viel weniger Agar in Lösung geht. Immerhin zeigen die Ergebnisse der 4. und 5. Absaugung eine so nahe Uebereinstimmung, dass damit die Konstanz erreicht scheint ¹⁾.

5. Allgemeine Betrachtungen über die Bedingungen und Ursachen der Quellbarkeit.

Wie ich schon in den einleitenden Worten zu dieser Mittheilung hervorhob, entstanden die vorliegenden Untersuchungen im Hinblick auf die Frage nach dem Zusammenhang der Quellung mit den von mir nachgewiesenen oder wahrscheinlich gemachten besonderen Structuren quellungsfähiger Körper. Zur Verfolgung eines solchen Zusammenhangs hatte ich um so mehr Veranlassung, als es mir bei meinen Studien über die in besonderer Weise hergestellten Oel-seifenschäume von mikroskopisch feiner Structur zu zeigen gelungen war, dass derartig gebaute flüssige Körper sich wie quellbare verhalten, da es möglich ist, ihre kleinen, von wässriger Lösung erfüllten Wabenräume auf osmotischem Wege zu vergrössern oder zu verkleinern, d. h., dass man sie in geeigneten Flüssigkeiten unter Aufnahme von Wasser anschwellen und in umgekehrter Weise durch Wasserentziehung zusammenschrumpfen lassen kann (1892, p. 27). Der Entstehungsprocess solcher Schäume aus seifenhaltigem Oel, der sich als ein sogen. Entmischungsvorgang vollzieht, verläuft ja auch unter bedeutender Volumvergrösserung, also mit den Erscheinungen einer Aufquellung.

Schon diese Erfahrungen mussten es nahe legen, zu erwägen, ob nicht auch für die Quellbarkeit überhaupt ähnliche Bedingungen maassgebend seien, was um so wahrscheinlicher war, als eine Reihe von Beobachtungen vorlagen, welche für eine analoge feine Structur der quellbaren Körper sprachen.

Die Ansichten über die besonderen Eigenthümlichkeiten der quellbaren Körper, denen sie, im Gegensatz zu den nichtquellbaren, ihre charakteristischen Eigenschaften verdanken, und damit auch die Erklärungsversuche des Quellungsvorganges überhaupt, waren bis jetzt wesentlich zweierlei Art. Einerseits vermuthete man, dass diese Erscheinung durch eigenartige feinste Structurverhältnisse verursacht werde, nämlich dadurch, dass die Substanz des quellbaren Körpers nicht homogen, sondern von einem System feinsten, im trocknen Zustand mit Luft erfüllter Lückenräume durchsetzt sei, von Poren oder Porenkanälchen, deren Erfüllung und gleichzeitige Erweiterung durch die eindringende Quel-

1) Damit kein Zweifel besteht, ob der in der Pressflüssigkeit gelöste Körper wirklich Agar oder eine durch Wasserwirkung aus demselben entstehende verwandte Substanz ist, bemerke ich, dass sich der Rückstand im Wasser beim Erwärmen leicht löst, mit Alkohol oder Gerbsäure eine weisse Fällung gibt, von Bleizucker dagegen nicht gefällt wird. Mit Jod nahm die Lösung keine besondere Färbung an.

lungsflüssigkeit die Volumvergrößerung bei der Aufquellung hervorrufe. Bis zum Auftreten Nägeli's scheint diese Ansicht wohl allgemein verbreitet gewesen zu sein. Wir begegnen wenigstens überall der Vorstellung, dass die quellbaren Körper porös seien und dass ihre Flüssigkeitsaufnahme auf dieser Eigenschaft beruhe; sei es, dass die Flüssigkeitsaufnahme nur als eine Capillaritätserscheinung, d. h. als ein Eindringen in die Poren und Porenkanäle durch Capillaranziehung erklärt wurde, sei es, dass dazu noch besondere Anziehungskräfte zwischen der Flüssigkeit und den Molekülen der quellbaren Substanzen, die man sich ähnlich der chemischen Anziehung oder Affinität dachte, ins Spiel kämen. Von Vertretern dieser Anschauung möchte ich hier nur Chevreul (1821), Liebig (1848) und Ludwig (1849) anführen, die sich von den besonderen Eigenschaften der quellbaren Körper durch eigene Untersuchungen zu unterrichten suchten.

Die Vorstellung, welche man sich auf dieser Grundlage von den besonderen Strukturverhältnissen der fraglichen Substanzen bildete, war demnach im Allgemeinen die eines äusserst feinen schwammigen Gerüsts, in dessen Lückenträume die Quellungsflüssigkeit eindringe. Durch eine solche Vorstellung wurden also die quellbaren Körper einer Reihe anderweitiger Substanzen an die Seite gesetzt, wie Sand, Sandstein, Thon, poröser Gyps, Bimsstein, amorphe Kieselsäure und zahlreiche andere, bei welchen unter geeigneten Bedingungen gleichfalls eine Flüssigkeitsaufnahme und -abgabe nachweisbar ist, und für welche gleichzeitig, wenigstens in einer Anzahl Fälle, sicher gezeigt werden kann, dass diese Eigenschaft auf poröser Beschaffenheit beruht, nämlich auf dem Umstand, dass diese Substanzen aus lose zusammengelagerten kleinen Fragmenten oder durch Zusammenbacken solcher Fragmente, unter Erhaltung eines Systems feiner Lückenträume zwischen ihnen entstanden sind. — Ein wesentlicher Unterschied jedoch diese sicher porösen, Flüssigkeit aufnehmenden Körper von den eigentlich quellbaren, nämlich der, dass sie bei der Flüssigkeitsaufnahme- und -abgabe keine Volumschwankungen zeigen. Eine scharfe Scheidung dieser beiden Arten flüssigkeitsaufnehmender Körper finden wir schon bei Nägeli (1858 p. 332, p. 342); auch Fick (1866) betonte ihre Verschiedenheit. Letzterer hält zwei Arten der *Imbibition* scharf auseinander, nämlich 1) die capillare oder die der porösen Körper, wie sie der Badeschwamm¹⁾ und poröser Thon, ohne Volumzunahme und mit Austritt von Luft, zeigen und 2) die eigentliche Quellung, bei welcher keine Luft aus dem quellbaren Körper austrete und das Volum zunehme. Aehnlich spricht sich auch Reinke (1879) aus. — Wenn nun fernerhin berücksichtigt wird, dass in den eigentlichen quellbaren Körpern, selbst mit den stärksten Vergrößerungen keine poröse Struktur zu erkennen war, so ist erklärlich, dass sich die Ansicht von einer tieferen, principiellen Verschiedenheit der beiderlei flüssigkeitsaufnehmenden Körper allmählich ausbildete, wie sie von Nägeli (1858) bei seiner

1) Wie schon Nägeli (1858) richtig hervorhob, gehört jedoch der Badeschwamm zu den beiden Kategorien, da sein Gerüst aus einer quellbaren Substanz besteht.

umfassenden Untersuchung der quellbaren Stärkekörner zuerst mit viel Scharfsinn und Gelehrsamkeit entwickelt und auf die quellbaren Substanzen überhaupt ausgedehnt ja gewissermassen zu dem Charakter der organisierten Substanzen überhaupt erhoben wurde. In den biologischen Wissenschaften, insbesondere der Botanik, hat sich diese Nägeli'sche Molekulartheorie der Quellung und der quellbaren Substanzen grosse und weitverbreitete Anerkennung errungen, was bei dem Scharfsinn, mit welchem diese Lehre alle einschlägigen Fragen zu lösen bestrebt war, erklärlich ist. Die hervorragendsten physiologischen Botaniker, so Schwendener, Sachs, Pfeffer u. Andere, wie auch Reinke in seinen der Quellung besonders gewidmeten Studien, stellten sich auf den Boden dieser Hypothese. Bei den Physikern von Fach hingegen, welche sich zwar im Allgemeinen nicht viel mit diesen, meist leicht veränderlichen und unsicheren quellbaren Körpern beschäftigten, scheint dagegen die frühere Meinung festeren Bestand behalten zu haben. Wenigstens finde ich, dass Jamin (1860) die Ansicht von dem porösen Bau festhält, und Lehmann in seiner Molekularphysik die Annahme eines schwammigen Baues für wahrscheinlich erklärt (1888 I, p. 525)¹⁾, während Guthrie (1876) und Quincke (1889 p. 207, 1894 p. 616—619) geneigt sind, einen feinen schaumig-lamellosen Bau anzunehmen¹⁾. Eine Neigung, die Molekulartheorie Nägeli's und seiner Anhänger zu acceptiren, scheint auf physikalischer Seite nicht besonders hervorzutreten, vielleicht in der Erwägung, dass bei dem Mangel einer einigermaßen genügenden und allseitig befriedigenden Molekulartheorie der nichtquellbaren anorganischen Körper, die Aussichten für eine solche Theorie der zweifellos complicirteren quellbaren organischen und organisirten Substanzen noch viel geringere sein dürften.

Nägeli's Lehre der Quellung sucht diese Erscheinung in Zusammenhang zu bringen mit einer uns bekannten anderweitigen Beziehung zwischen festen und flüssigen Körpern, nämlich mit der Lösung der festen Körper in Flüssigkeiten. Wie hier eine Anziehung zwischen den Molekülen des Gelösten und des Lösungsmittels als Ursache angenommen werden müsse, so seien auch bei der Quellung derartige Molekularanziehungen das Wirksame. Es scheint gleichgültig, ob wir von Molekülen oder von zu höheren Gruppen vereinigten Molekülen, sog. Micellen oder Tagmen, als den kleinsten Theilchen der quellbaren Körper reden; ich werde die letzteren daher auch weiterhin als Moleküle bezeichnen. Die Quellungserscheinungen sind nach Nägeli nun etwa aufzufassen, wie eine Lösung der Quellungsflüssigkeit in dem quellbaren Körper; jedes Molekül des

1) Da ich bald nach Quincke's erster Mittheilung von 1889, nämlich 1892 (I. p. 216—218), den schaumartigen Bau der Gallerten zu erweisen suchte, so möchte ich nicht unterlassen, das, was Qu. darüber vor mir 1889 bemerkte, in extenso mitzutheilen. Es lautet (p. 207): „Ebenso glaube ich gelatinöse Substanzen wie Leim und andere Gallerte für Flüssigkeit, in der sich viele unsichtbare dünne Scheidewände von festen oder flüssigen Lamellen befinden, halten zu sollen“. Ich bemerke noch, dass Nernst in seiner „Theoretischen Chemie“ ähnlich Lehmann für einen schwammig gerüstförmigen Bau der quellbaren Substanzen eintritt und die Quellung auf capillares Eindringen des Quellungsmittels zurückführt.

letzteren umgebe sich bei der Aufquellung mit einer Anzahl Wassermoleküle, die eine Hülle um es bildeten. Die Dicke dieser Hülle werde unter den gegebenen Bedingungen dadurch bestimmt, dass die Anziehung der Moleküle des quellbaren Körpers zu denen des Wassers in der Entfernung rascher abnehme wie die jener Moleküle unter sich, wesshalb also, nachdem die Wasserhüllen eine gewisse Dicke erreicht haben, die Anziehung von Molekül zu Molekül der quellbaren Substanz grösser sein muss, wie die zu weiteren Wassermolekülen und daher ein weiteres Eindringen von Wassermolekülen oder das Wachsthum der Wasserhüllen aufhören muss. Aus dieser Darlegung ergibt sich also, dass Nägeli den Quellvorgang ähnlich einer Lösung der Quellungsflüssigkeit in dem quellbaren Körper auffasst und daher auch die gequollenen Körper bei der Zugrundelegung dieser Theorie als feste Lösungen hätten bezeichnet werden dürfen. Den festen Aggregatzustand des gequollenen Körpers, im Gegensatz zu dem flüssigen der in ihrer Molekularkonstitution nicht unähnlichen Lösungen sucht Nägeli, analog den Ideen über die Bedingungen des festen Aggregatzustands überhaupt, darin, dass die Anziehungskräfte zwischen den von ihrer Wasserhülle umgebenen Molekülen in verschiedenen Richtungen ungleich gross seien, was seinerseits wieder vermuthlich daher rühre, dass die Gestalt dieser Moleküle nicht kuglig sondern polyedrisch sei. — Als eine Consequenz dieser Theorie der quellbaren Körper scheint mir, hätte auch eine entsprechende der eigentlichen Lösungen gegeben werden müssen, worauf Nägeli nur wenig eingeht; und zwar hätte, um den Gegensatz zwischen den wirklichen Lösungen und den festen Lösungen der gequollenen Körper hervortreten zu lassen, diese Theorie der Molekularkonstitution der eigentlichen Lösungen den Unterschied der letzteren von den gequollenen Körpern consequenter Weise darin suchen müssen, dass bei den Lösungen den Molekülen des Lösungsmittels, also z. B. denen des Wassers, dieselbe Rolle zukomme, wie jenen des quellbaren Körpers bei der Quellung. Bei der wirklichen Lösung müssten sich die Wassermoleküle in ähnlicher Weise mit Hüllen aus Molekülen der gelösten Substanz umgeben. Dagegen halte ich es für unmöglich, wenn Nägeli sich vorstellt, dass auch in gewöhnlichen Lösungen die Substanzmoleküle mit Wasserhüllen umgeben seien (p. 341). Bei einer solchen Annahme würde nämlich eigentlich jeder Unterschied zwischen einer wirklichen Lösung und einem gequollenen Körper schwinden und es wäre einerseits nicht einzusehen, warum die Lösung einen flüssigen Aggregatzustand im Gegensatz zu dem gequollenen Körper besitzt und andererseits auch nicht zu begreifen, warum die löslichen Körper sich eben im Gegensatz zu den quellbaren lösen und nicht ebenfalls nur aufquellen. Indem ich diese Erörterungen hier einschalte, will ich damit in keiner Weise etwa aussprechen, dass ich eine solche Theorie der Lösungen für aussichtsvoll halte, sondern es schien mir nur angezeigt, dieses Verhältniss der Nägeli'schen Lehre zu der Auffassung der wirklichen Lösungen zu besprechen.

Für Nägeli's Theorie war es nothwendig zu begründen, wesshalb die frühere Meinung, dass die quellbaren Körper ihre besonderen Eigenschaften einem

schwammig-porösen Bau verdanken, nicht haltbar sei. Er geht auf diesen, meiner Meinung nach wichtigsten Punkt nur sehr kurz ein (p. 342), indem er namentlich auf den Mangel der Volumzunahme bei den imbibitionsfähigen Körpern wie Gyps, Kreide etc. hinweist. Ferner betont er besonders, dass sich aus den letzteren Körpern Flüssigkeit auspressen lasse, aus den gequollenen Gallerten dagegen nicht (speziell angeführt werden die von Algen) und endlich, dass die Voraussetzung eines „maschigen Gerippes“ in der quellbaren Stärke oder Cellulose einen hohen Grad von Dehnbarkeit dieser Substanzen bedingen müsse, was doch grade für Cellulose und Stärke nicht zutrefte. Was zunächst diesen letzteren Einwand betrifft, so kann ich seine Beweiskraft nicht verstehen, da es einerseits zahlreiche poröse imbibitionsfähige Körper gibt, die sich keineswegs durch besondere Dehnbarkeit auszeichnen und andererseits bekanntermassen grade die quellbaren Körper in der Regel im gequollenen Zustand eine sehr erhebliche Dehnbarkeit besitzen. Der Einwand bezüglich der Nichtauspressbarkeit der Quellungsflüssigkeit wäre gewiss entscheidend, wenn er richtig wäre. Als Nägeli seine Theorie aufstellte, war zwar durch die Untersuchungen von Chevreul (1821), Liebig (1848) und Ludwig (1849) schon bekannt, dass aus gequollenen thierischen Geweben, wie Sehnen, Bändern (Chevreul), und thierischen Häuten (ohne genauere Angabe, Ludwig) ein erheblicher Theil der Quellungsflüssigkeit ausgetrieben werden kann. — So konnte Chevreul mit einer Papierpresse aus 100 Gewichtsth. Sehnen 37,6, aus 100 Gewth. Ligamenta flava 35 Th. Wasser auspressen. — Immerhin liess sich gegen diese Erfahrungen einwenden, dass derartige Gewebe nicht einfache gequollene Körper seien, sondern schwammige oder poröse quellbare, d. h. also gemischter Natur, analog etwa dem Skeletgerüst des Badeschwamms, das Nägeli ganz richtig beurtheilt, wenn er ihm einen solch' gemischten Charakter zuschreibt, d. h. von schwammigem Gerüstbau und daher durchdringlich und imbibitionsfähig, dabei jedoch die Substanz des Gerüstwerks selbst quellbar. Auch Fick (1866) betonte, dass zahlreiche quellbare Gewebe des Thierkörpers wohl einen derartigen gemischten Character besässen. Reinke konnte später (1879) auch aus dem gequollenen Laub der Laminarien bei Anwendung relativ hoher Druckkräfte Wasser auspressen; doch lässt sich auch für dieses Material der Einwand erheben, dass es nicht aus einer gleichmässigen gequollenen Substanz bestehe, sondern möglicherweise einen gemischten Character besitze.

Anders liegt dies jedoch für die von mir untersuchten Substanzen wie Gelatine- und Agargallerte, aus welchen sich, wie wir sahen, Wasser in grossen Mengen auspressen lässt. Diese Gallerten bieten in denkbar vollkommenster Weise die Beschaffenheit gleichmässiger gequollener Substanzen dar; und wenn aus ihnen auf mechanischem Wege Quellungsflüssigkeit ausgepresst werden kann, so lässt sich schwerlich bezweifeln, dass diese Eigenthümlichkeit den quellbaren Körpern überhaupt zukommt.

Zu den von Nägeli betonten Unterschieden zwischen den imbibirbaren gerüstförmigen und den eigentlichen quellbaren Körpern hat Fick (1866), wie

oben bemerkt wurde, noch den weiteren gesellt, dass aus den ersteren bei der Imbibition Luft entweiche, welche die Porenräume vor der Imbibition erfüllte, während dies bei eigentlicher Quellung nicht der Fall sei. Ich glaube jedoch dem gegenüber durch meine oben mitgetheilten Versuche an Gelatine, Agar und Eiweiss gezeigt zu haben, dass auch bei gequollenen Körpern, wenn sie nur unter gewissen Vorsichtsmassregeln eingetrocknet werden, d. h. wenn man der Gerüstsubstanz zuerst durch wasserentziehende Flüssigkeiten möglichste Festigkeit gibt und wenn man weiterhin die Austrocknung im luftverdünnten Raum vornimmt, ganz in derselben Weise wie in poröse imbibirte Körper Luft in die Hohlräume der gequollenen eindringt und dass aus den in solcher Weise eingetrockneten gequollenen Körpern bei der Wiederaufquellung Luft in Mengen austritt wie aus den anorganischen imbibirbaren. — Bei geronnenem Eiweiss ist, wie ich früher betonte (1892, 1—3) der feinschaumige, gerüstartige Bau mit dem Mikroskop sicher nachweisbar. Wird das geronnene Eiweiss aber an der Luft getrocknet, so wird es gelblich, und glasartig durchsichtig, der früher so deutliche Bau ist kaum oder nicht mehr zu erkennen. Bei der Wiederaufquellung in Wasser tritt mit völliger Weisse und Undurchsichtigkeit die feinschaumige Structur wieder ebenso deutlich hervor wie früher. Wie ich später fand, hatte schon Chevreul (1821) die gleiche Beobachtung an coagulirtem Hühnereiweiss und Fibrin gemacht und auch für eine Anzahl thierischer Gewebe, wie Sehnen, Bänder, Knorpel und für die weisse Cornea gezeigt, dass sie getrocknet halbdurchsichtig werden und bei der Wiederaufquellung die frühere Undurchsichtigkeit von Neuem erhalten. — Für coagulirtes Eiweiss ist demnach klar, dass durch die Eintrocknung eine Structur unsichtbar wird und Durchsichtigkeit eintritt, weil aus den die ganze Masse durchsetzenden feinsten Hohlräumchen die wässerige Flüssigkeit verdunstet und diese Hohlräume sich zusammenfallend schliessen. In dem aufgequollenen käuflichen Agar konnte ich die feine Structur mikroskopisch nachweisen (1892, 3). — Bei Gelatinegallerte, in welcher bei gewöhnlicher mikroskopischer Betrachtung keine Structur erkennbar ist, wird es sich dagegen fragen, ob wir berechtigt sind, ebenfalls einen schaumig-gerüstartigen Bau anzunehmen. Dafür spricht nun einerseits die Möglichkeit, Quellungsflüssigkeit aus ihr mit verhältnissmässig geringen Druckkräften auszupressen, bei 5% Agargallerte mit den Fingern wie wir oben sahen. Andererseits spricht jedoch weiter dafür, dass sich in solchen Gallerten eine feinschaumige Structur leicht sichtbar machen lässt, wenn sie mit Alkohol behandelt werden. Bei Gelatinegallerte gelingt dies, wie ich früher zeigte, sehr schön auch durch Behandlung mit verdünnter Chromsäure. Indem ich die Wirkung der Chromsäure, als nicht genügend klar, hier bei Seite lasse, bespreche ich nur die des Alkohols. Sowohl für Gelatine wie Agar ist es klar, dass der Alkohol keine chemische Veränderung hervorruft, sondern dass diese Substanzen in ihm nur unlöslich, respect. nicht quellbar sind. Die Entstehung der feinen Schaumstructur unter dem Einfluss des Alkohols lässt nun unter diesen Umständen nur zwei Erklärungen möglich erscheinen: 1) könnte der Alkohol, der in die Gallerte eindringt, einen Entmischungsprocess hervorrufen,

d. h. das nun mit Alkohol gemischte Wasser der Gallerte würde von der Gelatine nicht mehr festgehalten werden und scheide sich in Gestalt feinsten Tröpfchen aus, welche die feinschaumige Structur bedingten; oder 2) könnte die Wirkung des Alkohols darauf beruhen, dass er eine vorhandene Structur deutlicher macht, indem er der Gerüstsubstanz Wasser entzieht und sie daher stärker lichtbrechend und sichtbar macht, was noch durch die herabgeminderte Lichtbrechung des nun mit Alkohol gemischten oder aus reinem Alkohol bestehenden Inhalts des Gerüstwerks unterstützt würde.

Ich habe schon früher betont (1892, 1—3), dass ich die zweite Erklärung für die bei weitem wahrscheinlichere erachte und zwar aus folgenden Gründen.

Die durch Alkohol hervorgerufene Schaumstructur zeigt ganz dieselben Gesetzmässigkeiten in der Anordnung der Waben, wie sie in flüssigen Schäumen auftreten, oder in festen, welche durch die Entmischung flüssiger Substanzen unter Erstarrung erzeugt wurden. Da nun aber die Gelatine- oder Agargallerte, welche mit Alkohol behandelt wird, nicht flüssig ist und sich auch nicht dafür anführen lässt, dass sie unter dem Einfluss des Alkohols vorübergehend verflüssigt wird, so spricht diese Thatsache dagegen, dass die fragliche Structur erst in der festen Gallerte durch den Alkohol hervorgerufen wird; vielmehr muss sie, aller Wahrscheinlichkeit nach, beim Uebergang der flüssigen Gelatine- oder Agarlösung in den festen gallerartigen Zustand entstehen, d. h. bei deren Coagulation vermittelt eines Entmischungsvorgangs, wie er auch, unter tiefergehender Veränderung, bei der Coagulation des Eiweisses stattfindet. Als weitere wesentliche Stütze dieser Auffassung habe ich noch darauf hingewiesen, dass Gelatinegallerte, in welcher man durch Alkohol die feinschaumige Structur deutlich gemacht hat, bei der Behandlung mit Wasser diese Structur wieder fast oder völlig einbüsst, worauf durch erneute Behandlung mit Alkohol die Structur wieder genau in derselben Beschaffenheit wie früher, mit allen Details hervorgerufen wird (1892, 2, p. 3). Da nun, wenn die Structur der mit Alkohol behandelten Gelatine auf einem durch die Wirkung des Alkohols hervorgerufenen Entmischungsvorgang beruhte, dieser durch die Verdrängung des Alkohols durch Wasser wieder rückgängig gemacht und daher, aller Wahrscheinlichkeit nach die Structur durch Wasser dauernd zerstört werden müsste, jedenfalls aber bei erneuter Alkoholbehandlung nicht genau mit denselben Details hervortreten könnte, so scheint mir die eben geschilderte Thatsache gleichfalls sehr entschieden zu Gunsten der zweiten Auffassung zu sprechen, welche die durch Alkohol hervorgerufene Structur der Gelatinegallerte als eine präformirte betrachtet.

Als ferneren Wahrscheinlichkeitsbeweis für die Richtigkeit dieser Erklärung betrachte ich das Verhalten von trockner Gelatine und Agar bei dem Aufquellen. Trockene reine Gelatine ist bekanntlich ganz glasartig durchsichtig, Agar hingegen erscheint etwas weisslich trübe. Bei der Aufquellung aber wird die glasartige Gelatine deutlich, wenn auch schwach weisslich trübe und ebenso auch Agar viel trüber und undurchsichtiger. Es wiederholt sich demnach auch bei diesen Substanzen die bei der Quellung des getrockneten coagulirten Eiweisses

so auffallende Erscheinung, nur in geringerem Grade, dass mit der Aufquellung ein Undurchsichtigwerden verbunden ist, was nur darauf beruhen kann, dass die gequollene Substanz nicht mehr homogen ist, sondern aus zwei verschieden lichtbrechenden, sich innig durchsetzenden Substanzen besteht, nämlich aus einem Gerüstwerk und darin eingeschlossener Quellungsflüssigkeit. Alle die aufgezählten Gründe, zu denen wir später noch weitere gesellen werden, sprechen dafür, dass auch anscheinend homogene Gallerten, wie Gelatine und Agar, den gerüstförmigen Bau besitzen und dass ihre Quellbarkeit damit im innigsten Zusammenhange steht.

Der schon mehrfach betonte Unterschied zwischen imbibitionsfähigen und quellbaren Körpern wurde auch von Schwendener (1886) erörtert, indem er untersuchte, was theoretisch, auf Grund unserer Kenntnisse von den Wirkungen der Capillarität, über das Verhalten gerüstförmig gebauter, von capillaren Hohlräumen durchzogener Körper in dieser Hinsicht ausgesagt werden könne. Unter Hinweis auf die bekannte Erfahrung, dass beim Eindringen adhärennder Flüssigkeit in den Hohlraum zwischen zwei genäherten Platten eine Annäherung der Platten stattfindet, kommt er zu dem, meiner Meinung nach unabweisbaren Schluss, dass durch Eindringen von Flüssigkeit in die capillaren Hohlräume eines imbibitionsfähigen Körpers nur dann Ausdehnung hervorgerufen werden könne, wenn diese Hohlräume ungemein eng sind, d. h. wenn sie enger sind wie der doppelte Radius der Wirkungssphäre der Molekularanziehungskraft zwischen den Molekülen des betreffenden Körpers und der eindringenden Flüssigkeit; dieser Radius aber übersteigt nach Quincke's und Plateau's Untersuchungen wahrscheinlich nicht $0,05 \mu$.

Wenn wir diese Betrachtung für richtig halten, so folgt aus ihr nach meiner Ansicht weiter, dass bei der Aufquellung eine Erweiterung der Lückenräume über den Betrag der doppelten Wirkungssphäre des Radius, also über $0,1 \mu$ hinaus nicht möglich sein kann, denn dann würde die anziehende Wirkung durch Capillarität zur Geltung gelangen und dem weiteren Aufquellen ein Ende machen. Die jene Lückenräume scheidenden Bälkchen der Gerüstsubstanz müssten bei stark quellenden Körpern unbedingt eine mindestens ähnliche Feinheit besitzen, da viele dieser Körper auf das mehrfache der ursprünglichen Dimension aufzuquellen vermögen und daher die Zahl der nur bis zu $0,1 \mu$ erweiterungsfähigen Lückenräume eine sehr erhebliche und die Breite der Balken ganz ungemein gering sein müsste¹⁾. Eine bestimmte Schätzung erscheint in dieser

1) Nehmen wir z. B. eine Gallerte an, die aus 80 % Wasser und 20 % fester Substanz besteht, also etwa nahezu das Maximum der Quellung zeigt, welche Gelatine in gewöhnlichem Wasser erreicht, und setzen einen wabenartigen Bau voraus, wie er, auf Grundlage der von mir hier erörterten Vorstellungen sich ergibt. Der Einfachheit wegen, sollen die Waben regulär würfelförmig gedacht werden. Wenn wir unter diesen Voraussetzungen das Verhältniss der Kantenlänge (a) der mit Wasser angefüllten würfelförmigen Hohlräume der Waben zu der Dicke (m) der Wabenwände durch Rechnung ermitteln (was leicht geschieht, indem wir die ganze Substanz uns aus lauter Hohlwürfeln zusammengesetzt denken können, deren äussere Kantenlänge = $a + m$ ist), so ergibt sich, dass $m = \sqrt[3]{100} - \sqrt[3]{80} = 0,332$, während $a = \sqrt[3]{80} = 4,309$ ist. Das Verhältniss $\frac{m}{a}$ ist also

Hinsicht unmöglich, da sich ja keine plausible Annahme darüber aufstellen lässt, welches die Minimalgrenze für die Weite der Lückenräume im nicht aufgequollenen Zustand sein mag. Jedenfalls geht aus dem Bemerkten hervor, dass keine Aussicht vorhanden sein dürfte, so feine Strukturverhältnisse mikroskopisch wahrzunehmen und dass die von uns gefundenen Strukturen der quellungsfähigen Substanzen, welche im Minimum Lücken- oder Wabenräume von ca. $0,5-1 \mu$ aufweisen, gröbere sind, als es die obige theoretische Betrachtung erfordert.

Aus capillaren Hohlräumchen von $0,1 \mu$ Weite aber Flüssigkeit herauszupressen, erforderte zweifellos einen sehr starken Druck, da z. B. nach Nägeli's Untersuchungen (1866) der konkave Meniscus schon in einer gläsernen Capillarröhre von 8μ Durchmesser einem Druck von 290 mm Quecksilber das Gleichgewicht hält. Diesem steht jedoch gegenüber, dass nach unseren Erfahrungen schon bei verhältnismässig sehr geringem Druck aus Gelatinegallerte in der Thonzelle Wasser ausgepresst wird; bei 5 % Gallerte begann der Wasseraustritt schon bei 100 mm Hg-Druck, also bei einem Druck, der weit unter dem für die 8μ weite Capillarröhre liegt. — Es ist hierbei zwar zu beachten, dass es nicht gelang, aus der Gelatine (10 %), die sich in einem unten etwas geöffneten Röhrchen befand, unter einem Druck von ca. 400 mm Hg., der in der feuchten Thonzelle Wasser austreibt, solches zu bewirken; auch die Steigerung des Drucks auf 700 mm Hg. genügte unter diesen Bedingungen nicht, Flüssigkeit hervorzutreiben. Leider verstehe ich vorerst nicht, worauf dies verschiedene Verhalten der Gallerte in und ausser der Thonzelle beruht. Die Meinung, dass hierbei eventuell die gröberen Porenkanäle der Thonzelle im Spiel sein könnten, die, indem sie sich in Verbindung mit den feineren der Gelatine setzen, den zum Auspressen nöthigen Druck verringerten, scheint mir unhaltbar; wenigstens ergab ein hierauf bezüglicher Versuch kein positives Resultat. Wurde nämlich dem Gelatinepfropf, welcher aus der unteren Oeffnung des Röhrchens frei hervorragte, ein Tropfen Wasser angehängt und dann wie früher das Absaugen versucht, so trat auch unter diesen Bedingungen keine Flüssigkeit aus, obgleich doch, wenn der obige Gedankengang richtig sein sollte, jetzt dieselben günstigen Bedingungen, ja wegen der viel flacheren Oberfläche des Tropfens eigentlich noch günstigere gegeben sein sollten.

Ich möchte daher annehmen, dass die Möglichkeit, in der Thonzelle bei verhältnismässig so niederen Druckkräften Wasser auszupressen, hauptsächlich darauf beruht, dass die Thonzelle unter diesen Bedingungen ein geeignetes Gegenlager für die Gelatine bietet, so dass der auf letztere wirkende Druck zur vollen Geltung kommt, während in dem unten geöffneten Rohr wesentlich abweichende Verhältnisse bestehen. Hier wird die Gelatine allmählich, wenn

ca. $\frac{1}{13}$, d. h. die Wände der Waben sind unter diesen Voraussetzungen in einer 20 % Gallerte ca. $\frac{1}{13}$ so dick wie die Breite der Wabenräume. Wenn nun diese Breite $0,1 \mu$ beträgt, so wäre die Dicke der Wände nur $= 0,009 \mu$. Eine Structur von dieser Feinheit könnte jedoch mikroskopisch unmöglich wahrgenommen werden. Bei der Berücksichtigung, dass die Wabenwände eine grössere Dichte wie das eingeschlossene Wasser besitzen, würde ihre Dicke natürlich relativ noch geringer.

auch langsam durch die Oeffnung des Röhrchens gepresst; es liegen daher die Bedingungen jedenfalls so, dass durch Deformation der Waben dem auflastenden Druck Widerstand geleistet wird, ohne dass dabei eine wesentliche Erhöhung des im Innern der Waben herrschenden Drucks stattfindet, wogegen dies eintreten muss, wenn die Gelatine im Innern der Thonzelle dem Druck ausgesetzt wird ¹⁾.

Auf Grund meiner Beobachtungen und Ueberlegungen habe ich mir über die besonderen Bedingungen der Quellbarkeit bis jetzt die im Nachstehenden kurz darzulegende und auch schon mehrfach angedeutete Ansicht gebildet. Zuvor möchte ich jedoch ausdrücklich bemerken, dass ich keineswegs glaube, dieses ebenso schwierige wie wichtige Problem damit einer definitiven Lösung sehr viel näher gerückt zu haben, da ich nicht verkenne, dass auch die Vorstellung, welche mir zur Zeit als die wahrscheinlichste erscheint, noch auf recht schwachen Füßen steht und zahlreiche Schwierigkeiten darbietet. Dennoch möchte ich annehmen, dass ihre Erörterung zur weiteren Förderung des Problems beitragen kann; in diesem Sinne möge daher das Nachfolgende beurtheilt werden.

Wie schon mehrfach betont wurde, geht meine Meinung dahin, dass die quellbaren Körper einen bestimmten feinen Bau besitzen, den ich in der Regel für einen mikroskopisch fein-wabenartigen halte; d. h. die Substanz der quellbaren Körper ist dicht durchsetzt von äusserst kleinen, in d. R. einen Durchmesser von ca. 1μ nicht überschreitenden Hohlräumchen, die nach den Gesetzen der Schaumbildung zusammengefügt sind, dem entsprechend also durch sehr zarte Lamellen der Substanz des quellbaren Körpers von einander geschieden werden. Die Dicke dieser Lamellen ist natürlich eine minimale und kann nicht direct gemessen, sondern nur geschätzt werden auf ca. $0,1 \mu$. Die Thatsache, dass in den getrockneten quellbaren Körpern von einem solchen Bau in d. R. nichts zu sehen ist, rührt in der Hauptsache daher, dass die Hohlräumchen bei der Eintrocknung zusammensinken oder schrumpfen und sich gänzlich oder fast gänzlich schliessen; je kleiner sie daher schon an und für sich sind, um so erklärlicher ist es, dass sie im Trockenzustand völlig unsichtbar werden, der betreffende Körper also glasartig durchsichtig und anscheinend structurlos oder homogen wird.

Weniger leicht ist dagegen die Frage zu beantworten, wesshalb im gequollenen Zustand häufig von einem solchen Bau selbst bei den stärksten Vergrösserungen nichts zu bemerken ist. Dieser Fall, der besonders bei der Gela-

1) Ich erwähne bei dieser Gelegenheit, dass ich ursprünglich auch durch Quecksilberdruck aus der Gelatinegallerte Wasser auspresste. Die Gallerte wurde in ein Röhrchen gethan, dessen untere Oeffnung durch aufgebundenes Pergamentpapier geschlossen war und das in ein kleines, ziemlich dicht schliessendes Glasnöpfchen hineinragte. An das Gelatinerohr war eine hohe Glasröhre angeschlossen, die mit Hg gefüllt wurde. — Bei 760 mm Hg-Druck liess sich auf diese Weise aus $2\frac{1}{2}\%$ Gallerte langsam eine ziemliche Quantität Wasser herauspressen. In den ersten 5 Tagen 0,168 gr, in den darauf folgenden 5 Tagen 0,109. Da diese Versuche sehr häufig misslangen, indem der Apparat leicht undicht wurde und das Hg gewöhnlich in die Gelatinegallerte eindrang, so habe ich sie nicht weiter fortgesetzt.

tingallerte hervortritt, beruht nach meiner Vermuthung hauptsächlich darauf, dass der Unterschied in der Lichtbrechung zwischen der Gelatinesubstanz und der in den Hohlräumchen eingeschlossenen Flüssigkeit zu gering ist, um die sehr feine Structur erkennen zu lassen. Einen Beweis für diese Annahme habe ich schon oben gegeben; dazu mag sich jedoch auch, in diesem wie in anderen Fällen, gesellen, dass die Hohlräumchen sehr klein sind und daher schon unter geeigneten Bedingungen an und für sich sehr schwierig wahrnehmbar. Denn ich habe schon früher (1894 p. 4–5 d. S. A.) in einer Reihe von Fällen wahrscheinlich gemacht, dass die Hohlräumchen sich zuweilen so verkleinern können, dass sie bei Erfüllung mit Wasser überhaupt nicht mehr erkennbar sind, es jedoch werden, wenn durch Ersatz des Wassers durch Luft der Brechungsunterschied zwischen dem Gerüstwerk und dem Inhalt stark vergrössert wird. Diese Erfahrung macht es daher wahrscheinlich, wenn nicht gewiss, dass wenn die Hohlräumchen relativ klein sind und die Substanz ihrer Wände relativ schwach lichtbrechend, ihre Wahrnehmbarkeit im gequollenen Zustand sehr beeinträchtigt oder ganz aufgehoben wird.

Durch eine Reihe von Untersuchungen (1892—94) habe ich zu zeigen versucht, in welcher Weise ein derartiger Bau durch einen sogenannten Entmischungsprocess zu entstehen vermag, indem aus einer Lösung der betreffenden Substanzen, unter dem Einfluss einer dritten Substanz oder sogar nur beim Eintrocknen, eine Ausscheidung des Lösungsmittels (in der Regel in Mischung mit der 3. Substanz) in unzähligen kleinsten Tröpfchen eintritt, um welche die sie einschliessende Masse, der ein ansehnlicher Theil ihres Lösungsmittels entzogen wurde¹⁾, allmählich erstarrt und so zu dem Gerüstwerk des Ganzen wird. Auf diese Weise entwickelt sich naturgemäss ein wabig-schaumiger Bau. Dennoch wird, bei der Feinheit der vorliegenden Structuren, sich durch einfache mikroskopische Untersuchung nie völlig sicher entscheiden lassen, ob die Hohlräumchen sämmtlich gegen einander abgeschlossen sind, oder ob sie nicht theilweise unter

1) In der Regel wird dieser Vorgang also folgendermassen verlaufen. Ein Körper A ist gelöst in B; wird nun ein Körper C zugesetzt, der von A nur eine sehr geringe Menge löst, sich jedoch mit B in beliebiger Menge mischt, so entstehen zwei von einander sich scheidende Lösungen: 1) viel A mit weniger B wie früher und sehr wenig C und 2) viel B + viel C und sehr wenig A. Ein fester Gerinnungsschaum kann nun aus diesem anfänglich flüssigen Gemisch dann entstehen, wenn die Lösung 1 bei fortgesetztem Zutritt des Körpers C endlich erstarrt. In der Regel wird die dritte Substanz C bei einem solchen Entmischungs- und Gerinnungsvorgang langsam von Aussen in die Lösung diffundiren und so den eben erwähnten Process allmählich hervorrufen. In dem Maasse als C Zutritt, wird sich die Lösung 2, bestehend aus viel B + viel C und sehr wenig A, von der Lösung 1, d. h. viel A + viel B + wenig C, sondern und in Form feinsten Tröpfchen ausscheiden. Natürlich könnte mit dem Zutritt der Substanz C auch ein chemischer Umwandlungsprocess verbunden sein. Als weitere Bedingung für die Entstehung guter Gerinnungsschäume auf diesem Wege ist jedoch erforderlich, dass der ganze Vorgang sich mit einer gewissen Schnelligkeit bis zum Erstarren des Gerüsts vollzieht, wesshalb auch meist nur dünne Schichten oder wenig voluminöse Partien auf diese Weise gute Gerinnungsschäume geben. Anders ist dies, wenn die Gerinnung durch Temperaturerhöhung hervorgerufen wird, da es dann leicht gelingt, den Vorgang auch in einer grossen Masse der zu gerinnenden Lösung gleichmässig hervorzurufen.

einander kommunizieren. Dies kann um so weniger völlig ausgeschlossen werden, als ja bei der Entstehung solcher Gerinnungsschäume, die Gerüstsubstanz zuerst ebenfalls flüssig ist und es daher wesentlich von der Schnelligkeit ihres Erstarrens und gewissen andren Bedingungen abhängt, ob die ausgeschiedenen feinen Tröpfchen ganz gesondert bleiben oder Zeit haben theilweis zusammenzuziessen.

Ausser auf diesen Bildungsgang derartig structurirter Substanzen habe ich weiterhin noch auf einen zweiten hingewiesen, welcher sehr wahrscheinlich gleichfalls zur Entstehung wabig gebauter Gerüste feinsten Art führt (1894). Es ist dies der Aufbau solcher Gerüste aus feinsten Globuliten, die sich zu kleinsten Hohlräumchen zusammenfügen, die, ihrerseits wieder aneinanderwachsend, schliesslich zu ähnlich structurirten Körpern führen. Einen solchen Entwicklungsgang habe ich für die Sphärokrystalle des Inulins und anderer Stoffe nachzuweisen gesucht, woraus weiter folgt, dass er auch für die ganz entsprechend gebauten der Stärke und der Cellulose gültig sein dürfte und daher vielleicht auch auf die übrigen, namentlich die natürlichen Cellulosegebilde ausgedehnt werden darf. — Eine besondere Frage ist es wohl, ob die grosse Aehnlichkeit, welche die feinen Structuren der auf diesen beiden Wegen entstandenen Arten von Körpern zeigen, nicht doch durch eine noch grössere Uebereinstimmung in ihrem Bildungsprocess bedingt wird, als es der Forschung bis jetzt aufzuklären gelang. — Für die zweite Kategorie solcher Körper ist es nun auf Grund ihrer vermuthlichen Bildungsweise sehr wahrscheinlich, dass die feinsten Hohlräumchen, welche sie durchsetzen unter einander grossentheils kommunizieren, dass der Bau dieser Körper daher ein mehr schwammartiger ist.

Jedenfalls halte ich aber, auf Grund meiner Erfahrungen das Vorhandensein eines solchen waben- bis schwammartigen Baues feinsten Beschaffenheit für eine Bedingung der Quellbarkeit. Unter den so beschaffenen Substanzen sind nun jedoch die einen quellbar, die anderen nicht und die Erkenntnis der Ursache der Quellung wird zunächst diese Verschiedenheit aufzuklären haben. Ein Sphärokrystall von Inulin, kohlensaurem Kalk oder anderen anorganischen Stoffen, die eingetrocknete Kieselsäuregallerte etc. quellen nicht, obgleich sich ihre Hohlräumchen bei dem Eintauchen in Wasser mit demselben erfüllen und die vorhandene Luft entweicht. Selbst wenn bei solchen Körpern unter diesen Umständen eine geringe Volumzunahme gelegentlich vorkommen sollte, wie dies ja von Famintzin (1884) für künstlich hergestellte Kieselsäuremembranen angegeben wird, so ist sie doch so geringfügig, dass sie mit den Verhältnissen bei der eigentlichen Quellung nur entfernt zu vergleichen ist.

Da nun im Uebrigen die Beschaffenheit dieser beiden Arten von Körpern, man denke nur an das so stark quellbare Stärkekorn und das Inulinkorn, so übereinstimmend ist, so muss eine Verschiedenheit der sie aufbauenden Gerüstsubstanz bestehen. Diese Verschiedenheit suche ich nun hauptsächlich darin, dass die Gerüstsubstanz der eigentlich quellbaren Körper durch die Quellungsflüssigkeit eine Veränderung erfährt, durch welche sie in hohem Maasse dehnbar wird, während bei nicht quellbaren Körpern keine solche Veränderung ein-

tritt. Dass die Quellungsflüssigkeit eine solche Veränderung der Substanz quellbarer Körper bewirkt, scheint mir schon dadurch angezeigt zu werden, dass sie im gequollenen Zustand so bedeutend an Dehnbarkeit und Biagsamkeit zunehmen. Im trocknen Zustand sind sie ja fast alle sehr wenig dehnbar und biagsam, spröde und brüchig. Zwar muss schon die Erfüllung der Hohlräumchen mit Wasser die Biagsamkeit und Dehnbarkeit sehr erhöhen. Denn denken wir uns einen eingetrockneten quellbaren Körper, z. B. geronnenes Eiweiss, dessen Hohlräumchen durch Zusammenschrumpfen und wahrscheinlich auch Verkleben der Wände fest zusammengepappt sind, so wird die Dehnbarkeit und Biagsamkeit gering sein, da wir nun den betreffenden Körper hinsichtlich dieser Eigenschaften mit einem gleich dicken homogenen festen Körper annähernd vergleichen dürfen. Wenn dagegen im gequollenen Zustand die überaus dünnen Wände der Hohlräumchen durch das eingedrungene Wasser auseinander gedrängt worden sind, so muss dadurch die Biagsamkeit und Dehnbarkeit stark vergrössert werden; besonders gilt dies für die Biagsamkeit, da die Biegung unter sonst gleichen Bedingungen (d. h. bei gleichem Gewicht als biegende Kraft und gleicher Breite) umgekehrt proportional der 3. Potenz der Dicke ist. Bei Berücksichtigung dieser Verhältnisse würde sich hieraus wohl theoretisch noch eine grössere Biagsamkeit der gequollenen Körper gegenüber dem trocknenen Zustand berechnen lassen, als sie die Beobachtungen von Reinke (1879) bei *Laminaria* thatsächlich nachwiesen. Wie gesagt, scheinen mir jedoch diese Bedingungen allein nicht genügend, die grössere Biagsamkeit der gequollenen Körper zu erklären. Ich schliesse dies auch aus dem Umstand, dass sich gequollene Körper, wie Gelatinegallerte, geronnenes Eiweiss etc. auch hart und wenig biagsam machen lassen, unter Erhaltung ihrer wabigen Hohlräumchen. Wie oben schon genauer dargelegt wurde, geschieht dies bei der vorsichtigen Erhärtung in allmählich steigendem Alkohol oder anderen geeigneten Flüssigkeiten und auch bei der Erfüllung der Hohlräumchen mit Luft, wie dies unter geeigneten Bedingungen, die früher näher auseinandergesetzt wurden, möglich erscheint. In diesen Fällen, ebenso aber auch, wenn der Alkohol durch geeignete Flüssigkeiten ersetzt wird, die keine directe Affinität zu der quellbaren Substanz haben, werden die betreffenden gequollenen Körper hart und wenig biagsam. Wenn es sich zwar um sehr wasserreiche Gallerten handelt, wie Gelatine von etwa 2 % und Agar von 1 % oder weniger, dann bleibt auch im gehärteten Zustand eine ziemliche Biagsamkeit, was sich daraus erklären wird, dass die Lamellen des Gerüstsystems bei diesen, durch Gelatiniren der Lösung entstandenen Gallerten um so dünner werden müssen, je wasserhaltiger die ursprüngliche Gallerte ist; ein Umstand der sich leicht verstehen lässt, wenn wir uns den Vorgang bei einem solchen Entmischungsprocess, wie er nach unserer Ansicht zur Bildung des wabigen Gerüstwerks führt, bei verschiedengradigem Wassergehalt der ursprünglichen Lösung näher überlegen. Auf dem Anschwellen der wabigen Hohlräumchen und dem Grösser- und Dünnerwerden der einzelnen Gerüstlamellen beruht nach meiner Meinung auch im We-

sentlichen die Erscheinung, dass die Gallerten mit steigendem Gehalt an Quellungsflüssigkeit so rasch an Festigkeit abnehmen.

Aus den vorgetragenen Gründen, bin ich daher der Ansicht, dass ein Theil Quellungsflüssigkeit von der Substanz des quellenden Körpers aufgenommen wird und es wird sich weiter fragen, in welcher Weise dies geschehen kann. Die einfachste Möglichkeit wäre die, eine chemische Verbindung zwischen der Quellungsflüssigkeit und dem quellenden Körper, insbesondere für die in Wasser quellenden Körper eine Hydratbildung der Substanz anzunehmen. Dass eine grosse Verwandtschaft zwischen quellenden Substanzen und der Quellungsflüssigkeit besteht, haben schon Liebig (1848) und Ludwig (1849) für thierische quellbare Gewebe, wie Blase u. dergl. hervorgehoben. So betont Ludwig die ausserordentliche Hygroskopie der trockenen thierischen Membranen, die sogar krystallisiertem Chlorcalcium und englischer Schwefelsäure Wasser entziehen (p. 16) und führt in dieser Hinsicht weiter den interessanten Versuch an, dass man durch Eintauchen einer trocknen Membran in gesättigte Kochsalzlösung einen Theil des NaCl zum Auskrystallisieren bringen kann. Diese Thatsachen, die sich wohl durch geeignete weitere Versuche noch erweitern und fester gestalten liessen, beweisen doch wohl sicher eine Verwandtschaft im Sinne der chemischen oder wenigstens derjenigen, welche sich bei Lösungsvorgängen zeigt. Eine Entscheidung der Frage nach der verschiedenen Art, in welcher die Quellungsflüssigkeit in den gequollenen Körpern enthalten ist, liesse sich wohl durch weitere Ausdehnung und exactere Durchführung der Auspressungsversuche erwarten; denn es ist wahrscheinlich, dass die von der Substanz selbst gebundene Flüssigkeit nicht auspressbar ist im Gegensatz zu der in den Hohlräumchen enthaltenen. — Ich habe schon oben darauf hingewiesen, dass die Versuche, welche ich in dieser Richtung mit Gelatinegallerte anstellte, kein sehr zuverlässiges Resultat ergeben haben. Immerhin ist es für die vorliegende Frage von einer gewissen Bedeutung, dass bei der Auspressung sehr verschiedenen wasserhaltiger Gelatinegallerten eine Gelatine restirte die ca. 75 % Wasser enthielt, ein Umstand, der die ausgesprochene Vermuthung wohl zu unterstützen geeignet sein dürfte.

Ausser der oben erwähnten Vermuthung, dass die Aufnahme der Quellungsflüssigkeit in die quellbare Substanz selbst, einer chemischen Verbindung nach Analogie der Hydratbildung vergleichbar sei, liesse sich auch die Ansicht vertreten, dass diese Aufnahme einer Lösung zu vergleichen sei. Die Quellungsflüssigkeit werde in der Substanz des Körpers gelöst, es bilde sich eine Vereinigung die man eine feste Lösung nennen könnte. Ein solcher Vorgang hat, wie ich nicht verkenne, eine grosse Uebereinstimmung mit der Anschauung, die sich Nägeli von dem Quellungsvorgang überhaupt bildete. Immerhin scheint mir dieser Gedanke nicht ganz abzuweisen zu sein. Ich möchte dies namentlich aus dem besonderen Verhalten der Lösungen jener Substanzen schliessen, die sich durch Quellbarkeit auszeichnen. Werden solche Lösungen, also z. B. die von Gummi, löslicher Gelatine, Eiweiss u. a., eingetrocknet, so wird bekanntlich

die Lösung immer dicker und zäher, bis sie schliesslich in den festen Zustand übergeht; und selbst dann ist das Wasser nur theilweis entwichen, denn es bedarf anhaltender Trocknung bei höherer Temperatur, um es völlig zu vertreiben. Man bemerkt bei dieser Eintrocknung auch nicht, wie bei der von Lösungen anderer, speziell krystallinischer Körper, die Ausscheidung fester Partikel; die eintrocknende Lösung trübt sich nicht, sondern geht ohne jede Trübung aus dem flüssigen in den festen Zustand über. Ob dieses Verhalten, welches darauf hinweist, dass beim Eintrocknen der Lösung jener quellbaren Körper kein Moment eintritt, wo die gesättigte Lösung die gelöste Substanz in fester Form ausscheidet, darauf beruht, dass hier ein solcher Sättigungspunkt nicht existirt, sondern die Lösung der festen Substanz, so zu sagen, allmählich in eine des Lösungsmittels in der festen Substanz übergeht, oder ob sich diese Erscheinung eventuell dadurch erklärt, dass sich aus den Lösungen dieser Substanzen nach Erreichung des Sättigungspunktes die gelöste Substanz in Form kleinster globulitischer Gebilde abscheidet, welche ihrer Kleinheit wegen keine Trübung hervorrufen, suche ich hier nicht zu entscheiden. Jedenfalls dürfte aber die Besonderheit der Lösungen dieser Substanzen auch die von uns vorausgesetzte Aufnahmefähigkeit für das Lösungsmittel wahrscheinlicher zu machen im Stande sein.

Schon Chevreul kam bei seiner Untersuchung der quellbaren thierischen Gewebe und des geronnenen Eiweisses zu einer ganz entsprechenden Vorstellung: dass das Wasser in diesen Körpern in zweierlei Form enthalten sei; worauf ich, wie gesagt, erst aufmerksam wurde, als ich mir diese Ansicht schon selbständig gebildet hatte. — Ein Theil des Wassers bemerkt Chevreul sei sicher durch Affinität festgehalten; dies gehe bestimmt daraus hervor, dass alle diese Stoffe sehr „hygrometrisch“ seien. Ein anderer Theil des Wassers dagegen werde durch Cohäsion zurückgehalten, wobei er auf die Verhältnisse des Badeschwamms hinweist. Die Opacität dieser Substanzen im wasserhaltigen Zustand mache es sehr wahrscheinlich, dass ein Theil des Wassers nicht durch Affinität festgehalten werde. Andererseits weise es auf chemische Affinität hin, dass solche Substanzen, im trockenen Zustand in Alkohol, Oel etc. eingetaucht, nicht geschmeidig und elastisch werden. Man sieht, es sind im Wesentlichen dieselben Argumente, welche auch ich in dieser Beziehung anführen musste.

Liebig (1848) spricht sich ganz ähnlich wie Chevreul aus, auf dessen Arbeit seine diesbezüglichen Ansichten jedenfalls im Wesentlichen beruhen, obgleich dies nicht genügend bemerkt ist. Er sagt direkt, dass bei der Auspressung dasjenige Wasser austrete, „welches nicht durch chemische Anziehung festgehalten werde“ (p. 5).

Ludwig ist jedenfalls zweifelhaft hinsichtlich der Beurtheilung der auch von ihm festgestellten grossen Verwandtschaft der thierischen Membranen zu Wasser. Er bemerkt darüber (p. 22): „Die kleinsten Theilchen der Membran haben eine ausgesprochene Verwandtschaft — ob chemische oder adhäsive wird uns die Chemie erläutern, wenn sie sich aus ihrem theoretischen Elend erhoben

hat — zu dem Wasser, wie durch ihre Condensationskraft der Wasserdämpfe und ihre Begierde aus Salzlösungen Wasser aufzunehmen, hervorgeht“. Da er sich jedoch auf den Boden der Brücke'schen Theorie der Endosmose stellt und seine Erfahrungen über die Membranen für eine Bestätigung dieser Theorie hält, so hat er jedenfalls der Ansicht, dass die Bindung des Wassers eine adhäsive sei, den Vorzug gegeben. Im Besonderen ist er der Meinung, dass seine Erfahrungen über die Imbibition der Membranen mit Salzlösung eine Bestätigung dieser Theorie bildeten. Bekanntlich wies er nach, dass trockene, in Salzlösungen gequollene Membranen stets Salz und Wasser in einem Verhältniss aufnehmen, das einer bedeutend minderprocentigen Lösung entspricht, also relativ mehr Wasser wie Salz. Diese Erfahrung steht nun auch mit der Ansicht der chemischen Bindung im Einklang.

Es schien mir angezeigt, auch die Aufnahmefähigkeit der trockenen Gelatine für NaCl-Lösung in analoger Weise zu prüfen, dabei ergab sich ein dem Ludwig's ganz entsprechendes Resultat.

Angewendet ein bei 120° getrockneter Gelatinestreif	= 0,0736 gr.
Derselbe 36 h. in 26,8 % NaCl-Lösung gequollen	= 0,2585 „
Der Streif hat daher aufgenommen NaCl und Wasser	= 0,1849 gr.
„ „ nach Trocknung bei 110°	= 0,0979 „
Er erhält daher NaCl	= 0,0243 gr.

Seine Zusammensetzung im gequollenen Zustand war also:

Gelatine = 0,0736 = 28,5 %
Wasser = 0,1606 = 62,1 %
NaCl = 0,0243 = 9,4 %
<u>0,2585.</u>

Das angenommene Wasser + NaCl entspräche einer Lösung von nur 13,4 %, während die zur Quellung verwendete Lösung 26,8 % NaCl enthielt.

Ludwig hat nun weiterhin das Verhalten der Salzlösung in der Membran dadurch geprüft, dass er sie in einer Handpresse auspresste und dabei fand, dass der Procentgehalt der Pressflüssigkeit den der ursprünglichen Salzlösung um 0,4—0,5 % überstieg. Aus diesen Ergebnissen schliesst er daher mit Brücke, dass die Salzlösung in den Porenkanälen der Membran durch die stärkere Anziehung, welche die Kanalwände auf das Wasser ausüben, gewissermaassen in 2 Zonen geschieden wird. In der nächsten Nähe der Kanalwände befände sich daher eine dünne Schicht reinen Wassers, die bis gegen die Axe der Kanäle fortgesetzt an Concentration zunehme.

Mir scheint diese Anschauung jedoch mit den ermittelten Thatsachen wenig zu harmoniren. Wenn die Vorgänge in der Membran thatsächlich auf diese Weise verliefen, so wäre meiner Ansicht nach zu erwarten, dass die ausgepresste Lösung, da sie nur aus den inneren, concentrirteren Partien der Kanäle hervorgehen soll, auch beträchtlich concentrirter wäre wie die ursprüngliche Lösung, was jedoch wie gesagt, nach Ludwigs Erfahrungen nicht

der Fall ist; ja er bemerkt sogar, dass die geringe Erhöhung des Procentgehaltes wohl nur durch die Aufnahme einer geringen Menge organischer Substanz bedingt sei. Weiterhin halte ich auch für wahrscheinlich, dass bei der Ludwig-Brücke'schen Annahme über die Vorgänge in der Membran eigentlich zu erwarten wäre, dass das von der Membran aufgenommene Wasser und Salz in dem Verhältniss eines beträchtlich geringeren Procentgehalts ständen wie die ursprüngliche Lösung. Dies folgt aus dem, was oben im Anschluss an Schwendener über die Maximalerweiterung der Porenkanäle auf das Doppelte des Radius der molekularen Wirkungssphäre bemerkt wurde und aus dem von Brücke und Ludwig gemachten Annahmen über die Wirkungsweise der Wand der Porenkanäle. Angesichts dieser Schwierigkeiten, die nur durch erweiterte und namentlich auch auf poröse, nicht quellbare Körper ausgedehnte Versuche gehoben werden könnten, glaube ich, die einfachere Vorstellung über die chemische Bindung des Substanzwassers als die wahrscheinlichere erachten zu müssen. Auch Pfeffer (1877, p. 40), der ein energischer Anhänger der Brücke-Ludwig'schen Theorie ist, gibt doch zu, dass die Ludwig'schen Versuche über die Wasseraufnahme der thierischen Membranen sich auch durch Aufnahme von Wasser in die sog. Tagmen, d. h. die Molekülgruppen der betreffenden Substanzen erklären liessen, was mit der von mir hier vertretenen Auffassung im Wesentlichen übereinstimmen würde. Dies geht noch entschiedener aus seiner Bemerkung auf p. 37 hervor: „Dass man wohl jeden Eintritt eines Stoffes in das Molekülaggregat eines Tagmas als einen Fall chemischer Bindung ansehen könne“. Ebenso ist er der Meinung, welche mit der unserigen sich eng berührt, dass wahrscheinlich alle Körper im colloidalen Zustand dem Krystallwasser analog gebundenes Wasser enthalten“ (p. 33).

Eine besondere Betrachtung bedürfen noch diejenigen quellbaren Körper, welche sich im gequollenen Zustand beim Erwärmen verflüssigen, wie Gelatine, Agar u. dergl. — Nach unserer Vorstellung muss dies darauf beruhen, dass die wasserhaltige Substanz der Wabenwände bei einer gewissen Temperatur schmilzt und in dem geschmolzenen flüssigen Zustand mit Wasser vollständig mischbar ist. Auf diesem Wege entsteht dann bei höherer Temperatur eine völlig flüssige Lösung der Substanz. Wird diese wieder abgekühlt, so tritt bei einem gewissen Zeitpunkt wieder eine Entmischung ein; es sondern sich von einander zwei Lösungen, von welchen die eine aus viel Wasser und wenig Gelatine, die zweite aus viel Gelatine und weniger Wasser besteht. Die letztere erstarrt hierauf, während die erstere flüssig bleibt; auf diese Weise bildet sich das feste Gerüst aus, welches den flüssig gebliebenen Theil in seine Wabenräume einschliesst. Es scheint mir wohl möglich, dass dieser Entmischungsvorgang, welcher sonst, wie oben erwähnt wurde, gewöhnlich nur bei gleichzeitiger Gegenwart dreier Substanzen beobachtet wird, noch dadurch unterstützt oder erklärlicher wird, wenn wir die Möglichkeit zugeben, dass die betreffenden Substanzen bei verschiedener Temperatur verschiedene Hydratzustände von differenter Löslichkeit haben, wie dies ja für gewisse anorganische Salze, insbesondere das schwefelsaure Natron, sicher erwiesen ist. Dann liesse sich also annehmen, dass die

Gelatine bei höherer Temperatur ein Hydrat bildet, das in Wasser beliebig löslich ist, und dass sich bei der Abkühlung, unter Rückbildung der Hauptmenge der Gelatine in das ursprüngliche Hydrat, das nur eine beschränkte Mischbarkeit mit Wasser besitzt, der oben geschilderte Entmischungsvorgang vollzieht, der zum wabigen Bau der Gallerte führt. Einen analogen Vorgang müssen wir ja wohl auch bei dem Gerinnungsprocess der Lösungen vieler kolloidaler Körper annehmen, wie Eiweiss, Kieselsäure und der grossen Zahl sog. kolloidaler Lösungen verschiedenartiger Verbindungen, welche Grimaux (1884) u. A. dargestellt haben. In allen diesen Fällen dürfte es sicher sein, dass die Gerinnung und Gallertbildung mit einer Veränderung des gelösten Körpers, sei es einer Condensation desselben unter Ausscheidung von Wasser oder einer Dissociation mit Aufnahme von Wasser, in Zusammenhang steht. Dennoch ist es auch nicht ganz ausgeschlossen, dass in einfachen Lösungen zweier Körper bei verschiedenen Temperaturen Entmischungsvorgänge statthaben, wenigstens ist darüber einiges bekannt geworden (vergl. Lehmann, Molekularphysik I, p. 614—615); wenn auch die dort aufgeführten Fälle nicht ausschliessen, dass die betreffenden Erscheinungen auf Aenderungen beruhen, welche diese Körper in ihrer Lösung bei verschiedenen Temperaturen erfahren.

Indem wir wieder zu der Erörterung unserer Ansicht über die Vorgänge bei der Quellung zurückkehren, nehmen wir also an, dass das Gerüstwerk der quellbaren Substanz bei der Einwirkung des Quellungsmittele einen Theil des letzteren aufnimmt und dadurch dehnbarer und biegsamer wird. Gleichzeitig wird diese Veränderung die Wabenwände wahrscheinlich auch ein wenig vergrössern und dazu beitragen, dass die Wabenhohlräume, welche wir uns in der trockenen Substanz ganz oder fast ganz geschlossen denken müssen, sich etwas öffnen und daher Quellungsflüssigkeit in die Hohlräume eindringt. Diese Annahme dürfte zwar nicht ganz nothwendig erscheinen, denn wenn, wie es sicher ist, die Wände der Hohlräume für die Quellungsflüssigkeit durchdringlich sind, so wird diese auch in das Innere der Waben gelangen und hier zu dem Rest der eingetrockneten Substanz treten, welche in dem gequollenen Zustand in der Flüssigkeit des Wabeninhalts gelöst war. Denn, wie oben dargelegt wurde, haben wir bei unseren Auspressungsversuchen, mit Ausnahme der Cellulose, stets gefunden, dass die auspressbare Flüssigkeit eine geringe Menge der quellbaren Substanz gelöst enthält. Es scheint mir auch nicht ausgeschlossen, obgleich dies nicht erwiesen ist, dass diese in der Pressflüssigkeit gelöste Substanz eine löslichere Modification ist. Das Zusammentreffen der eingedrungenen Flüssigkeit mit dieser vielleicht löslicheren Partie des Wabeninhalts (resp. auch unter der obigen Voraussetzung, die theilweise Füllung der Wabenräume mit Flüssigkeit) wird zur Folge haben, dass sich in den Wabenhohlräumen eine, wenn auch nur schwache Lösung der Substanz bildet, welche auf osmotischem Wege das Einströmen neuer Flüssigkeit bewirkt, so lange, bis der osmotische Druck in den Hohlräumen so gesteigert ist, dass sich Ein- u. Ausströmung das Gleichgewicht halten.

Es wurde oben vorausgesetzt, dass die dünnen Wände der Hohlräume für benetzende Flüssigkeiten leicht durchdringlich seien; dass dies zweifellos so ist und nicht etwa nur für die Quellungsflüssigkeit, sondern für benetzende Flüssigkeiten überhaupt gilt, geht ja schon aus den früher mitgetheilten Erfahrungen hervor, dass es möglich ist, das Wasser der Waben Hohlräume successive durch zahlreiche Flüssigkeiten zu ersetzen. — Es folgt dies andererseits aber auch aus den von mir früher geschilderten Beobachtungen an Gelatineölemulsionen und den Gerinnungsschäumen sehr verschiedenartiger Substanzen, deren Hohlräumen sich bei der Eintrocknung mit Luft erfüllen und bei Ueberführung in benetzende Flüssigkeiten wieder mit diesen, ohne dass die genaueste Untersuchung im Stande ist, Lücken oder Risstellen in den Wänden der Hohlräume nachzuweisen. Die Thatsache der leichten Durchgängigkeit der ungemein dünnen Wände solcher Schäume für Flüssigkeiten und Gase steht daher fest. Anders liegt aber die Frage, wie dies zu deuten ist. Es steht natürlich frei, eine Porosität der Wände anzunehmen; wobei aber zu beachten ist, dass selbst die stärksten Vergrößerungen davon vorerst nichts zeigen. Man könnte sich sogar diese Porosität entstanden denken durch einen Aufbau der Wände aus feinsten Globuliten. — Andererseits darf man jedoch, wie ich meine, nicht ausser acht lassen, dass die Lamellen, um die es sich hier handelt, von einer Dünne sind (in der Regel dürften sie, wie bemerkt, $\frac{1}{10} \mu$ nicht überschreiten), welche auch bei den uns bis jetzt als undurchdringlich geltenden festen Körpern vielleicht ähnliche Eigenschaften bedingen könnte. Es scheint mir wenigstens nicht ganz ausgeschlossen, dass Lamellen von dieser Dünne auch bei sonst undurchdringlichen Stoffen möglicherweise eine merkbare Durchlässigkeit für Flüssigkeiten und Gase zeigen dürften, ebenso wie sich in den feinen Oelschäumen die ungemein dünnen Oellamellen sehr durchgängig für wässrige Flüssigkeiten erweisen, während dickere Oelschichten Wasser nicht passieren lassen oder doch nur äusserst langsam und spärlich.

Auf dieser Durchgängigkeit der Wände für Flüssigkeiten beruht nach meiner Anschauung über den Bau der gequollenen Körper auch die Auspressbarkeit der Quellungsflüssigkeit aus den Wabenräumen. Wir haben oben gefunden, dass die Druckkräfte, welche im Stande sind, aus Gelatinegallerte Flüssigkeit herauszupressen, mit der Zunahme der Gallerte an fester Gelatine rasch anwachsen und dass bei 20 % Gallerte der Druck einer Atmosphäre nicht mehr ausreicht. Den Grund dieser Erscheinung suche ich in der verschiedenen Dicke der Wabenwände, welche, wie schon oben bemerkt wurde, bei der Gelatinegallerte um so geringer werden muss, je wasserhaltiger dieselbe ist. Je dicker aber die Wände sind, desto stärker wird jedenfalls der Druck sein müssen, der Wasser durch sie treiben kann. — Wir finden in dieser Anschauung auch eine Erklärung für die oben mitgetheilte eigenthümliche Erfahrung, dass sich sowohl aus der 5 % wie der 10 % Gelatinegallerte soviel Wasser auspressen liess, dass eine ca. 25 % Gallerte zurückblieb, während doch schon die 20 % bei den verwendeten Druckkräften keine Spur Wasser austreten liess. Die Erklärung

hierfür erblicke ich nämlich darin, dass bei der Auspressung der Gelatine in einer Thonzelle die Wände der Waben jedenfalls nicht verdickt, sondern eher durch Spannung verdünnt werden. Die zusammengepresste Gelatine wird nämlich nicht etwa an dem Boden der Zelle zusammengedrückt, sondern, da sie an der Wand der Zelle haftet, bleibt sie mit dieser dauernd in Zusammenhang; eine Verdickung der sich parallel der Wand der Thonzelle lagernden Wabenwände kann also unter diesen Bedingungen nicht wohl eintreten. Unter diesen Umständen erscheint es daher wohl möglich, dass aus der Gallerte noch Wasser ausgetrieben wird, auch wenn ihr Gehalt über 20 % gestiegen ist.

Oben wurde betont, dass die Anschwellung der Hohlräumchen bei der Quellung mit einer theilweisen Lösung der quellbaren Substanz zusammenhängen dürfte, welche osmotische Einströmung von Quellungsflüssigkeit in die Wabenträume bewirke. Hiefür spricht die Erfahrung, dass wir in der ausgepressten Flüssigkeit stets einen Antheil der Substanz gelöst fanden und dies bei Agargallerte bei mehrfacher Wiederholung der Auspressung und Aufquellung bestätigt fanden. Es wäre auch nicht unmöglich, dass die Quellungsflüssigkeit in den Wabenhöhlen einen erheblich höheren Gehalt an gelöster Substanz habe, als die ausgepresste Flüssigkeit, da es sehr wahrscheinlich ist, dass die Moleküle der gelösten Substanz die Wabenwände viel schwieriger passieren werden wie die des Wassers und die ausgepresste Flüssigkeit daher einen geringeren Gehalt hat ¹⁾.

Eine weitere Unterstützung der geäußerten Meinung, dass eine theilweise Lösung der quellbaren Substanz bei dem Quellungs Vorgang mitwirke, sehe ich in der Erfahrung, dass die Quellung, soweit bekannt, nur in solchen Flüssigkeiten stattfindet, welche wenigstens etwas lösend wirken. Stärke, Gummiarten, Eiweiss, Agar etc., für welche im Allgemeinen Wasser das Lösungsmittel ist, quellen darin auch, dagegen nicht in Alkohol und anderen Flüssigkeiten, die sich spezifisch nichtlösend gegenüber ihnen verhalten, obgleich es ja, wie wir gesehen haben, unter gewissen Bedingungen leicht ist, sie mit diesen Flüssigkeiten zu imbibieren. Harze, Kautschuk, Guttapercha dagegen zeigen sich gegenüber Wasser ganz indifferent, in Alkohol und anderen schwach lösenden Flüssigkeiten dagegen quellen sie. — Nur die Cellulose scheint dieser Auffassung zu widersprechen, da von ihrer Löslichkeit in Wasser nicht eigentlich die Rede sein kann, obgleich sie ja auch leicht in Modificationen oder Abänderungen übergeht, die in Wasser löslich sind. — Im Allgemeinen ist aber auch die Quellungs-fähigkeit der gewöhnlichen Cellulose in Wasser nicht gross ²⁾; stark quillt sie

1) Eine Abnahme der Concentration von Gummi- und Eiweisslösungen bei der Filtration durch thierische Membranen hat W. Schmidt (1861) genauer festgestellt. Siehe dort auch über frühere Versuche mit Eiweisslösungen von Valentin, Wittich und Funcke. Zu vergl. auch Gerstmann (1886).

2) Nach Schwendener (1887, p. 665) ist die Quellung der Bastfasern im Wasser sehr gering gegenüber den meisten quellbaren Körpern. Es beträgt die Zunahme in der Längsrichtung etwa 0,1 bis 0,2 %, in der Querriichtung 3—5 %, „und bei manchen Bastfasern noch beträchtlich mehr“.

erst in Flüssigkeiten, denen ein gewisses Lösungsvermögen für Cellulose zukommt, wie Kupferoxydammoniak, Säuren und Alkalien. Für Chitin und Spongiolin gilt Aehnliches wie für die Cellulose.

Dass osmotische Vorgänge bei der Quellung im Spiele sein dürften, lässt sich ferner daraus schliessen, dass sich die gequollenen Körper unter dem Einfluss osmotisch wirkender Flüssigkeiten entsprechend verhalten. In Salzlösungen oder Alkohol schrumpfen sie, wie zu erwarten, indem nun ein osmotisch wirksamer Stoff, oder ein osmotischer Druck von aussen auf sie wirkt und daher ein Theil des Wassers die Wabenhohlräume verlässt. — Gegen die hier vorgetragene Ansicht über die Mitwirkung des Osmose bei dem Quellungs Vorgang, liesse sich einwenden, dass nach Pfeffer's (1877) Erfahrungen die colloiden Substanzen, im Gegensatz zu den früheren Angaben Graham's, nur eine geringe osmotische Kraft entwickeln, wesshalb die sehr ansehnlichen Kraftleistungen, welche bei der Aufquellung auftreten, nicht auf die osmotische Wirkung solcher Substanzen zurückgeführt werden dürften. Ob sich dieser Einwurf vielleicht dadurch bis zu einem gewissen Grad entkräften lässt, dass die Pfeffer'schen Untersuchungen sich auf die osmotische Wirkung bestimmter Membranen, in dem besonderen Fall der in Thonzellen erzeugten Niederschlagsmembran von Ferrocyankupfer beziehen, während in unserem Fall wesentlich andere Membranen vorliegen, scheint mir nicht unmöglich. — Andererseits muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass nach meiner Ansicht auch bei der Quellung vor der osmotischen Wirkung noch eine andere Art der Aufnahme von Quellungsflüssigkeit in's Spiel kommt, über deren Einfluss auf die Volumverhältnisse schwierig etwas Bestimmtes zu sagen ist, die aber dennoch im Sinne einer Volumvergrösserung wirken kann und daher möglicherweise zur Erklärung der so erheblichen Kräfte, welche bei beginnender Quellung auftreten, beitragen könnte.

Da nach meiner Auffassung in den ersten Anfangsstadien der Quellung die Hohlräume der Waben jedenfalls eine unter den gegebenen Verhältnissen möglichst concentrirte Lösung enthalten, so ist ersichtlich, dass der osmotische Druck im Anfang auch eine bedeutende Höhe erreichen kann.

Ich hob früher schon hervor, dass ich in meiner Auffassung des feineren Baus der quellbaren Körper eine Erklärung der Thatsache finde, dass unter besonderen Verhältnissen die von der Quellung bewirkte Ausdehnung in verschiedenen Richtungen eine verschieden grosse ist. Die oben geschilderten Versuche überzeugten uns, dass ein beim Eintrocknen in bestimmter Weise deformirter gequollener Körper bei der Aufquellung im Allgemeinen wieder zur früheren Form zurückkehrt und daher auch die früheren relativen Dimensionen wieder annimmt. Die Resultate unsrer Versuche liessen sich dahin deuten, dass in denjenigen Richtungen, in welchen beim Eintrocknen eine Spannung¹⁾ entsteht,

1) Ich betone, dass hier und in dem Folgenden der Ausdruck Spannung nur in dem Sinne von Zugspannung, d. h. einer durch Dehnung oder durch Behinderung der Zusammenziehung hervorgerufenen Veränderung gebraucht ist.

beim Aufquellen eine geringere Ausdehnung, ja sogar eine Verkürzung auftritt, wenn diese Spannung einen gewissen Betrag erreicht hatte.

Nach unserer Vorstellung von dem Aufbau der quellbaren Substanzen beruht die Eintrocknung zunächst auf dem Verdampfen des Wassers oder der Quellungsflüssigkeit der Waben. Wenn dies vollkommen ungehindert geschieht, d. h. wenn der Verkleinerung der Waben in keiner Richtung ein Widerstand entgegentritt, müssen sich die Wabenräume zunächst soweit verkleinern, bis die Spannung, welche durch den Druck des flüssigen Inhalts in den Wänden bestand, aufhört; darauf aber müssen die Waben allseitig unregelmässig zusammenschrumpfen, etwa wie die nebenezeichnete schematische



Figur dies für eine Wabe zu versinnlichen sucht. Wird nun aber während des Eintrocknungsvorgangs dem Zusammenschrumpfen der Waben in einer bestimmten Richtung ein Hinderniss entgegengesetzt, so muss dies ihre Gestalt im völlig eingetrockneten Zustand modificiren. Da in dieser Richtung ein Zusammenschrumpfen nicht oder doch nur weniger möglich ist, so wird die Gestalt der eingeschrumpften Waben dementsprechend eine längliche werden oder richtiger bleiben müssen.

Stellen wir uns z. B. einen eintrocknenden Würfel von Gelatinegallerte vor, dessen Verhalten schon oben untersucht wurde, so trocknen, wie wir fanden, bei ihm zuerst die Kanten aus, welche im Verhältnis zu ihrem Volum der Luft die grösste Fläche darbieten; sie haben daher auch das Bestreben sich zusammenzuziehen, woran sie jedoch von der übrigen, nicht soweit eingetrockneten Gallerte gehindert werden. Daraus folgt, wie schon oben dargelegt wurde, dass sich im Beginn der Trocknung die Flächen des Würfels über die Kanten emporwölben. Die Kanten trocknen also unter diesen Bedingungen im gespannten Zustand bis zu völliger oder doch grosser Unnachgiebigkeit aus. Ihre Waben müssen sich daher in einem Zustand befinden, wie er oben erläutert wurde, d. h. sie müssen parallel den Kanten etwas länglich gestreckt sein. — In ähnlicher Weise ergeben sich die weiteren Deformationen des Gallertwürfels bei der Eintrocknung, wie sie schon oben beschrieben wurden und die ihnen entsprechenden Deformationen der Waben in den einzelnen Partien des Würfels. Auch folgt aus diesen Erfahrungen, dass das Eintrocknen eines gequollenen Körpers ohne Auftreten solcher Spannungen und Deformationen der Waben wohl überhaupt nicht möglich erscheint; denn selbst bei der Kugel, welche ja in dieser Beziehung die günstigsten Bedingungen darbieten müsste, tritt dies nicht ein, da die Oberfläche früher unnachgiebig wird und daher der Zusammenziehung des Inneren bei dessen weiterem Eintrocknen einen Widerstand entgegengesetzt, in Folge dessen schliesslich bei der Gelatinekuugel sogar ein luftgefüllter Raum im Centrum der Kugel auftritt. Die inneren Schichten der Kugel müssen daher parallel der Oberfläche gespannt sein; übrigens die oberflächlichen auch, da deren Zusammenziehung beim Eintrocknen an dem Innern der Kugel ein Hinderniss findet.

Wie gesagt, scheint mir aus diesen Erfahrungen und Ueberlegungen her-

vorzugehen, dass beim Eintrocknen jedes gequollenen Körpers solche Spannungen und Deformationen der Waben auftreten müssen und daher auch schwerlich ein eingetrockneter gequollener Körper zu finden sein wird, der sich beim Wiederaufquellen nach allen Dimensionen völlig gleich ausdehnt. Natürlich wird dies wenig oder nicht bemerkt werden, wenn man aus einem grösseren eingetrockneten solchen Körper ein kleines Fragment von gewisser Stelle herausnimmt, wo die Verschiedenheit wenig gross ist, z. B. eine Ecke des eingetrockneten Würfels; um so auffallender dagegen ist die Verschiedenheit in der Grösse der Ausdehnung, wenn man ein Fragment der Ecke mit einem des Würfelcentrums vergleicht.

Wenn nun solch' ein getrockneter Körper, dessen geschrumpfte Waben beim Eintrocknen in einer Richtung länger geblieben sind, wieder aufquillt, so werden sich die Waben allmählich füllen und dabei ihre frühere Gestalt wieder anzunehmen streben. Bei einer allseitig geschrumpften Wabe, wie sie oben (Fig. 4) gezeichnet ist, wird dies natürlich nur geschehen können unter allseitiger Ausdehnung, d. h. unter Vergrösserung nach allen Dimensionen.

Hat die Wabe jedoch bei der Eintrocknung eine verlängerte Gestalt angenommen, wie sie in Fig. 5 gezeichnet ist, so wird die Ausdehnung naturgemäss vorwiegend nach den Schmalseiten vor sich gehen, so lange bis die Wabenwände wieder prall geworden und eine Spannung in denselben eingetreten ist. — Dabei ist jedoch zu beachten, dass bei dieser Anschwellung zunächst überhaupt keine Spannungen in den Wabenwänden auftreten werden, da diese ja geschrumpft und gefaltet sind; es werden daher zunächst nur diese Faltungen wieder ausgeglättet, die Wände werden allmählich wieder prall; erst, wenn dieser Zustand eingetreten ist, tritt eine Spannung in den Wänden auf, welche von Einfluss auf die weiteren Vorgänge sein wird. — Aus dieser Darlegung folgt also, dass quellbare eingetrocknete Körper, deren Waben nach einer Richtung länger sind wie nach den darauf senkrechten, beim Aufquellen zunächst in der ersten Richtung weniger oder nicht quellen werden, was natürlich von dem Unterschied der Dimensionen der eingetrockneten Waben abhängig ist.

Wird dagegen eine Lamelle gequollener Substanz auf einer Unterlage, an welcher sie haftet, eingetrocknet, z. B. eine Gelatinelamelle auf Glas oder Holz, so hindert das Anhaften bei der Austrocknung die Verkürzung der Waben in den Dimensionen, die parallel der Unterlage liegen; die Waben schrumpfen daher nur in der dritten oder Höhendimension und in dieser allein findet daher auch beim Aufquellen eine Zunahme statt. — In ähnlichem Zustand befindet sich eine käufliche trockene Leim- oder Gelatinetafel, die bei der Quellung sehr stark in der Richtung der Dicke, verhältnissmässig wenig dagegen in den beiden anderen Dimensionen quillt. Bei der Herstellung werden diese Tafeln im Gallertzustand auf grobe Netze von Bindfaden gelegt und getrocknet, wobei das Anhaften an den Fäden, deren Abdrücke ja auf den trockenen Tafeln noch

Fig. 5.



deutlich zu sehen sind, die Verkürzung in den beiden Breitedimensionen wesentlich verhindert, so dass die Eintrocknung in der Dicke vorwiegend zur Geltung gelangt. Dieselbe wird aber noch weiter dadurch unterstützt, dass die zuerst eintrocknenden Ränder der Platte eine Art festen Rahmen bilden welcher die Zusammenziehung in den Breiterichtungen ebenfalls hindert. Daher rührt auch die Ausbildung eines verdickten Randwulstes an solchen Tafeln, wie wir ihn oben auch an den eingetrockneten Gelatinestreifen beobachtet haben und der sich erklärt, wenn wir die an dem eintrocknenden Würfel eintretenden Verhältnisse in Vergleich ziehen.

Wenn die sich erfüllenden Waben das frühere Volum und die frühere Gestalt wieder erlangt haben, die wir uns im Allgemeinen kuglig oder richtiger dodekaedrisch vorstellen dürfen, so wird eine weitere Aufquellung zu allseitiger Ausdehnung führen. War jedoch der gequollene Körper vor seiner Eintrocknung in einer Richtung gedehnt worden, so dass die Waben in gestreckt dodekaedrische Form übergingen und blieb diese Dehnung über das ursprüngliche Maass beim Eintrocknen erhalten, so wird, nachdem die Füllung der Waben bis zum Prallwerden der Wände gediehen ist, jede weitere Anschwellung derselben eine Verkürzung der in der Dehnungsrichtung verlängerten Waben herbeiführen müssen, wie wir dies auch oben für die Gelatinestreifen unter diesen Bedingungen beobachteten.

Nun wäre aber noch ein dritter Fall möglich, der mir im Hinblick auf das Verhalten gewisser natürlicher Objecte bei der Quellung von ziemlicher Wichtigkeit erscheint, nämlich der, dass die Waben schon bei ihrer Bildung, also im natürlichen Zustande, ohne besondere Dehnungsprocesse, eine längsgestreckte Form erhalten haben. Die Möglichkeit der Entstehung derartiger Waben ist ja vorhanden, da ich bei früheren Gelegenheiten mehrfach zeigte, wie faserig-wabige Structures mit verlängerten Waben entstehen, wenn in dem Moment der Gerinnung Strömungen oder Zugwirkungen in der zähflüssigen gerinnenden Substanz bestehen, die zur Bildung faserig-wabiger Schäume führen, welche durch rasches Erstarren der Gerüstsubstanz fixiert werden können (s. 1892, 2, 1894).

Wenn nun derartig strukturierte Körper eintrocknen, ohne dabei gedehnt zu werden, so wird bei ihrer Aufquellung zunächst eine Ausdehnung in allen Dimensionen eintreten, wobei sicher die Ausdehnung in der Längsrichtung der Waben geringer ist wie in der Querrichtung. Erst wenn aber die Waben ihre pralle Füllung erreicht haben und dann noch eine weitere starke Aufquellung unter Entwicklung von Spannungen in den Wänden stattfindet, wird eine Verkürzung in der Längsrichtung eintreten können.

Derartige Fälle scheinen mir nun in den pflanzlichen Zellmembranen speziell denen der Bastzellen gegeben zu sein, für die es sicher gestellt ist, dass sie sich bei starker Aufquellung, wie sie durch concentrirte Schwefelsäure und starke Kalilauge bewirkt wird, in der Längsrichtung verkürzen und zwar z. Th. in recht erheblichem Maasse, während der Durchmesser oder die Breite stark zunimmt. Die eigentliche Verkürzung geschieht in der Richtung der

Spiralstreifung, während in den auf dieser senkrechten Richtung eine Verlängerung statthat, ebenso wie in der Radial- oder Dickenrichtung der Wand (siehe Schwendener 1887). Die Untersuchungen, welche ich vor einiger Zeit über den feineren Bau der Zellmembranen, namentlich auch jener der Bastzellen, mitgeteilt habe (1894), führten mich nun auch zu dem Ergebniss, dass ein wabenartiger feinsten Bau vorhanden ist, mit der Spiralstreifung entsprechend aufgereihten Waben, die in der Richtung dieser Streifung längs gestreckt, in der Radialrichtung dagegen im aufgequollenen Zustand am niedersten sind. — Wie ich gezeigt habe, treten bei sehr starker Quellung eine grosse Zahl solcher Wabenschichten erst hervor, welche früher überhaupt nicht sichtbar waren, da ihre Grösse unter der Grenze des Wahrnehmbaren lag. — Mir scheint nun dieser Aufbau der pflanzlichen Zellmembran recht wohl mit der Ansicht zu harmoniren, dass die besonderen Eigenthümlichkeiten ihrer Quellung in diesen Bauverhältnissen zu suchen sind und dass sie im Wesentlichen auf den oben vorgetragenen Bedingungen beruhen dürften.

Schwendener bespricht in der citierten Abhandlung über die Quellung und Doppelbrechung vegetabilischer Membranen (1887), im Hinblick auf Strasburger's Ansicht, dass die Zellhaut aus Molekularnetzen aufgebaut sei, in deren Interstitien die Quellungsflüssigkeit eindringe, schon die Möglichkeit einer Verkürzung durch Aufquellung bei Annahme eines gestreckt-maschigen Baus. Er weist dabei auf einige Beispiele hin, bei welchen thatsächlich durch gesteigerten Turgordruck in verlängerten Zellen eine Verkürzung hervorgerufen wird. Dabei hebt er gleichzeitig und meiner Ansicht nach richtig hervor, dass es für das Resultat gleichgültig sei, ob die von der eindringenden Flüssigkeit ausgedehnte Substanz aus einem geschlossenen Wabenwerk oder einem offenen Balkengerüst bestehe. Sein Haupteinwand gegen die Zulässigkeit einer solchen Erklärung ist, dass bei der Annahme gestreckter Waben oder Maschen stets und bei jeder Aufquellung eine Verkürzung in der Streckungsrichtung eintreten müsse, wogegen die thatsächlichen Erfahrungen an den Zellhäuten und Stärkekörnern sprächen, da bei schwächerer Quellung stets Vergrösserung aller Dimensionen einträte und erst bei sehr starker, die mit Structuränderungen verknüpft sei, Verkürzung in der Längsrichtung der Bastfasern. Diesen Einwurf halte ich aus den oben dargelegten Gründen nicht für stichhaltig; denn so lange die Maschen oder Waben geschrumpft sind, d. h. so lange die Quellung noch nicht so weit gediehen ist, dass eine Spannung des Gerüstwerks eingetreten ist, so lange wird eine Vergrösserung nach allen Dimensionen eintreten können. Erst wenn das Gerüstwerk prall gespannt ist, wird bei weiterem Aufquellen Verkürzung in der Streckungsrichtung eintreten müssen. Schwendener bezeichnet die, mit Verkürzung in der Längsrichtung verlaufende starke Aufquellung der Bastfasern als eine Quellung mit Structuränderung¹⁾. Dass eine solche eintreten müsse, schliesst er daraus, weil diese starke Quellung durch Auswaschen mit Wasser nicht rückgängig gemacht werden könne. Obgleich ich nicht recht einsehe, weshalb die Quellung, auch wenn sie ohne Structurver-

1) d. h. Aenderung in der Anordnung der Micellen.

änderung geschieht durch Wasser erheblich zurückgehen sollte und auch, wie es scheint, keine Versuche über das Verhalten solcher in Wasser ausgewaschenen Fasern beim Austrocknen vorliegen, so muss auch ich annehmen, dass bei Einwirkung concentrirter Schwefelsäure oder concentrirter Alkalien Veränderungen der mikroskopischen Structur, theilweise Zerstörungen unter Auflösung in den Membranen eintreten werden. Dagegen vermag ich in der Hypothese Schwendener's, der, im Anschluss an die Nägeli'sche Theorie der Quellung, in diesen Structuränderungen die Ursache der Verkürzung sucht, keine befriedigende Erklärung zu finden. Man braucht seiner Meinung nach nur anzunehmen, dass „die länglichen Micellen oder fibrillenartigen Micellenverbände unter dem Einfluss starker Quellungsmittel in kleinere, namentlich kürzere Theilstücke zerfallen, welche sodann in der Längsrichtung mit ihren Enden an einander vorbeigleiten und eben dadurch die in Rede stehende Verkürzung bewirken“. Wie gesagt, vermag mich eine solche Hypothese, bei aller Anerkennung der scharfsinnigen Auseinandersetzungen und Beobachtungen Schwendener's, nicht zu befriedigen, da sie die zu erklärende Erscheinung nicht auf eine bekannte Naturerscheinung zurückführt oder daran anknüpft, sondern ihr hypothetische Vorgänge zu Grunde legt, von denen wir sonst nichts wissen und die selbst nur eine ganz ungefähre Vorstellung von dem Vorgang geben können.

Höhnel (1882) ist der Ansicht, dass die Verschiedenheit der Ausdehnung nach verschiedenen Dimensionen und namentlich die Verkürzung in einer Dimension bei der Quellung von molekularen Spannungen herrühren, welche bei der Bildung der Membran durch Zug oder Druck entstanden seien. Im gequollenen Zustand würden die Moleküle wieder beweglich und könnten daher diesen molekularen, positiven oder negativen Spannungen (d. h. Druck- oder Zugspannung) folgen, was eben der Grund der bemerkten Eigenthümlichkeiten der Quellung sei. — Zum Beweis, dass derartige Vorgänge, d. h. durch molekulare Spannungen bewirkte Verkürzungen, vorkommen, weist er auf Folgendes hin (p. 598): „Nähert man ein Stück eines lang und dünn ausgezogenen Siegellackfadens vorsichtig einer Bunsen'schen Flamme, so dass er weich wird ohne zu schmelzen, so verkürzt er sich in jedem seiner Punkte gleichzeitig und wird ein kurzer dicker Cylinder. Dasselbe geschieht mit einem Glaswollfaden; ohne zu schmelzen wird er kürzer. Erwärmt man einen solchen auf einem Deckglas und einem Platinblech bis zum Schmelzen, so erscheint er im angeschmolzenen Zustande um 10 Procent verkürzt. Macht man sich aus dickflüssiger Gummimasse dünne kurze Fäden, so zeigen dieselben, in Alkohol liegend, bei Wasserzusatz unter dem Mikroskope eine bis 50procentige Verkürzung, ganz so wie Bastfasern in Schwefelsäure“.

Wie Schwendener (1887), wenn auch z. Th. aus anderen Gründen, halte ich die von Höhnel gegebene Erklärung der Quellungsverschiedenheiten für nicht zutreffend. Zunächst ist es sehr unwahrscheinlich, dass bei dem Quellungsact einer Bastfaser zwei wesentlich verschiedene Ursachen im Spiel sind, wie Höhnel selbst angibt, nämlich 1) die eigentliche oder micellare Quellung, d. h. das Ein-

dringen des Quellungsmittels zwischen die Moleküle, welches eine allseitige gleichmässige Ausdehnung hervorrufe, die erst später 2) „wenn die Moleküle so weit von einander rücken, dass sie wie die einer Flüssigkeit beweglich werden“ (p. 601), in der Radialrichtung, in Folge der molekularen Druckspannung, die hier besteht, und die nun gelöst wird, in eine sehr starke Ausdehnung übergehe, in der Längsrichtung dagegen, wo eine Zugspannung besteht, in eine Verkürzung. Diese Erklärung scheint mir, wie gesagt, schon aus dem angeführten Grund unzulässig, weiterhin aber deshalb, weil es mit den Thatsachen in Widerspruch steht, wenn Hö h n e l die Moleküle eines stark gequollenen Körpers für beweglich wie die einer Flüssigkeit erklärt; denn auch stark gequollene Körper bewahren, worauf auch Quincke (1894, p. 616 und früher 1888) hinwies, ihre Gestalt, ihre Ecken und Kanten; sie verhalten sich daher wie feste Körper, nicht dagegen wie Flüssigkeiten.

Anders dagegen liegt, wie mir scheint, die Angelegenheit bei einem Theil der Fäden verschiedener Art, welche Hö h n e l zum Vergleich heranzieht. Den eigentlich quellbaren Körpern kommen die in Alkohol gebrachten Fäden zähflüssiger Gummimasse jedenfalls am nächsten. Diese Fäden besaßen sicher einen schaumigwabigen Bau, da ich gezeigt habe, dass sich bei der Gerinnung von Gummilösung in Alkohol ein solcher ausbildet (1892. 2). Wurden nun solche Fäden noch während ihrer Gerinnung gedehnt, was mir wahrscheinlich ist, so war ihr Bau gestreckt- oder faserig-wabig. Genaueres wird aber von Hö h n e l über die Bereitung der Fäden leider nicht mitgeteilt. Wenn derartige Fäden aus Alkohol in Alkohol mit Wasser gebracht werden, so kann der Gummi der Wabenwände verflüssigt oder doch biegsam werden, und gleichzeitig können die Wabenhöhlräume osmotisch anschwellen; beides muss aber dazu führen, dass eine Verkürzung der Fäden eintritt, ohne dass dabei molekulare Spannungen im Spiel sind, wie sie Hö h n e l annimmt¹⁾.

Ein aus zähflüssigem Glas ausgezogener Faden wird nach dem Erstarren zwar molekulare Spannungen zeigen, die aber wesentlich erst bei dem Erstarren selbst hervorgerufen werden müssen. Wenn diese Fäden sich bei der Annäherung an die Flamme zusammenziehen, also wenn sie wieder in einen zähflüssigen Zustand übergeführt werden, so vermag ich hierin nur eine Wirkung der sich geltend machenden Oberflächenspannung zu erkennen, welche die zähflüssig gewordenen Fäden zur Kugelgestalt überzuführen strebt und dies auch thut, wenn man den Fäden dazu die Zeit lässt, sie nicht zuvor aus dem Bereich der Flamme entfernt. Die Wahrnehmungen, welche ich an den der Flamme genäherten Fäden von Glaswolle oder an von mir selbst ausgezogenen feinen Glasfäden gemacht habe, sprechen wenigstens durchaus für die Richtigkeit dieser Auffassung. — Was die Siegellackfäden betrifft, so liegt die Angelegenheit vielleicht theilweise anders. Fäden aus Packlack von ca 1—2 mm Dicke, die ich anfertigte, sind dauernd sehr biegsam, so dass sie in horizontaler Haltung sich schnell herabkrümmen

1) Vergl. über die starke Contraction gedehnter Gelatinefäden beim Aufquellen auch den vorläufigen Bericht über meine neueren Untersuchungen in Verh. d. Naturhist.-medic. Verein Heidelberg N. F. Bd. V, Hft. 4, 1895.

Wurden sie nach ihrer Herstellung in der früher angegebenen Weise wie die Gelatinestreifen aufgehängt, so dass ein Theil ihrer Länge in das Gefäss mit Wasser eintauchte und mit dem Horizontalmikroskop beobachtet, so verkürzten sie sich 12—24 Stunden lang andauernd, bis sie zur Ruhe gelangten. Hierauf zeigte der Faden, über den im Anhang die genaueren Ergebnisse mitgetheilt sind, bei zweimaliger Erwärmung bis auf $32,9^{\circ}$ respect. 43° , beidemale ansehnliche Verkürzung ohne Wiederausdehnung bei der Abkühlung. Darauf zum 3. Mal bis auf 57° erwärmt, zeigt sich nun beträchtliche Ausdehnung, welche jedoch bis zum anderen Tag durch Verkürzung wieder völlig rückgängig geworden war. Bei einer 4. Erwärmung bis 57° verkürzte sich der Faden wieder. Da der Packlack und Siegellack jedenfalls keine reinen Materialien sind, halte ich es nicht für ausgeschlossen, dass möglicherweise an die Verhältnisse der quellbaren Körper sich anschliessende Bedingungen gegeben sind; doch wird erst eine eingehendere Untersuchung darüber Klarheit verschaffen können.

In principiell gleicher Weise wie die Quellungserscheinungen gestreckter Waben, die zur Verkürzung der quellenden Körper in der Streckungsrichtung des Gerüsts führen, dürften aller Wahrscheinlichkeit nach auch die von mir beschriebenen Contractionen quellbarer Körper bei Erhöhung der Temperatur zu erklären sein. Hier ist es die Wabenflüssigkeit die bei der Temperatursteigerung stärker ausgedehnt wird wie die Wabenwände und daher in der oben beschriebenen Weise eine Contraction oder Verkürzung hervorruft, die bei dem Sinken der Temperatur wieder zurückgeht.

Die eigenthümliche Erscheinung der Verkürzung eines gedehnten Körpers bei Erhöhung der Temperatur wurde bekanntlich zuerst bei Kautschukfäden beobachtet und hat zu vielen Erörterungen geführt. Schmulewitsch (1872) hat die Erscheinung dadurch zu erklären versucht, dass der Elasticitätscoefficient des Kautschuks bei Temperatursteigerung grösser werde, wodurch, ungeachtet der, wie bei den übrigen Körpern durch erhöhte Temperatur bewirkten Ausdehnung, bei hinreichender Dehnung durch Belastung eine Verkürzung bei der Erwärmung hervorgerufen werden könne. Diese Erklärung stand insofern im Widerspruch mit den Erfahrungen an anderen Körpern, als diese ergeben hatten, dass allgemein durch Temperatursteigerung der Elasticitätscoefficient verkleinert werde. — Exner²⁾ und später Russner (1882) haben denn auch gezeigt, dass sich der Kautschuk in dieser Hinsicht nicht anders verhält, wie die übrigen Körper, dass nämlich bei Temperaturerhöhung sein Elasticitätscoefficient kleiner wird; wogegen Grätz (1886) in einer Arbeit, die sich meiner Beurtheilung im Wesentlichen entzieht, durch die Untersuchung des Torsionsmoduls gespannter Kautschukfäden bei verschiedenen Temperaturen die von Schmulewitsch gegebene Erklärung, nämlich die Zunahme des Elasticitätsmoduls bestätigt. Dass bei der Erwärmung des belasteten Kautschuks eine Volumzunahme stattfindet, wie bei Temperaturerhöhung allgemein, haben so-

1) Die Arbeit Exner's konnte ich leider nicht auffinden; ich citire daher nach Russner.

wohl Lebedeff wie Russner festgestellt. — Lehmann bemerkt in seiner Molekularphysik bei der Besprechung dieser Eigenthümlichkeit des Kautschuks folgendes (Bd. 1 p. 532): „Würde man einem zelligen Körper im gestreckten Zustand erwärmen, so müsste er sich kontrahiren, da sich die Flüssigkeit in den Zellen stärker ausdehnt als die Wandungen, so dass die ellipsoidisch-gestreckten Zellen sich der Kugelgestalt nähern müssten, wodurch sie sich in der Richtung der grössten Axe, d. h. in der Richtung der Streckung contrahiren“; und weiterhin: „Bereits 1867 hat Gori die Theorie aufgestellt, dass diese eigenthümliche Erscheinung“ (d. h. die Zusammenziehung des gedehnten Kautschuks in der Wärme) „durch die in der Kautschukmasse enthaltenen Luftblasen bedingt sei, was aber von verschiedenen Physikern widerlegt wurde. Die obige Theorie der Zellstructur ist meines Wissens noch nicht geprüft worden“¹⁾. Obgleich Lehmann diese Vermuthung über den Kautschuk ausspricht, zu der ich für andere quellbare Körper ganz selbständig gekommen bin, kommt er gleich darauf (p. 533) auf die Theorie von Schmulewitsch und Grätz zu sprechen, die er, wie es scheint, für richtig hält.

Da ich nun glaube, die wabig-zellige Structur der quellbaren Körper sehr wahrscheinlich gemacht zu haben und gleichzeitig für Gelatine und geronnenes Eiweiss zeigen konnte, dass sie dieselbe Erscheinung wie Kautschuk in sehr guter Ausprägung zeigen, ferner früher schon Joule (1860) nachgewiesen hat, dass auch gequollenes Holz dieselbe Erscheinung darbietet, und ferner meine Versuche mit trockenem Sonnenblumenmark bei höherer Temperatur wie bei Luftverdünnung zeigen, dass ein gestreckter zelliger Körper bei Ausdehnung des Inhalts seiner Zellen sich wirklich in der vorausgesetzten Weise verhält, so bestärkt mich dies alles natürlich in der Annahme, dass die fragliche Erscheinung bei Eiweiss, Gelatine, Holz etc. auf dem wabig-zelligen Bau beruht und sich in der angegebenen Weise erklärt.

Da nun Kautschuk und Guttapercha ebenfalls quellbare Körper sind, so liegt auch für sie die Vermuthung nahe, dass ihr analoges Verhalten auf einer entsprechender Structur beruhe. Schon Exner hat s. Z. bemerkt, er halte es für wahrscheinlicher, dass das abnorme Verhalten des Kautschuks auf besonderen, durch die Bereitungsweise hervorgerufenen Structurverhältnissen beruhe, als auf abnormen physikalischen Eigenschaften des Materials.

Mit der vorgetragenen Ansicht scheint mir denn auch die Eigenthümlichkeit, welche Kautschuk und Gelatinegallerten, im Gegensatz zu der Mehrzahl der übrigen Körper, besitzen, zu harmoniren, die Eigenthümlichkeit nämlich, dass bei der Dehnung das Verhältniss zwischen Quercontraction und Längendilatation ein solches ist, welches dem sehr nahe kommt, das theoretisch zu erwarten ist, wenn der vorausgesetzte wabig-maschige Bau thatsächlich existirt. Die auffallende Dehnung eines derartig structurirten Körpers, bei mässiger Belastung durch ein angehängtes Gewicht wird im Wesentlichen auf einer Längsstreckung der Maschen- oder

1) Die hier von Lehmann angeführte Arbeit von Gori, sowie die gegen sie gerichteten Arbeiten anderer Physiker sind mir leider nicht zugänglich geworden.

Wabenräume beruhen, welche dabei zwar ihre Gestalt bedeutend, dagegen ihr Volum nur sehr wenig verändern. Die Berechnung ergibt, dass wenn eine kuglig gedachte Wabe, ohne Aenderung ihres Volums, durch Zug in ellipsoidische Form übergeführt wird, das Verhältniss zwischen der Zusammenziehung in der Querrichtung und der Ausdehnung in der Zugrichtung $1/2$ ist. Wir müssen daher erwarten, dass dies Verhältniss auch bei der Dehnung von gequollenen Gallerten annähernd besteht, wenn unsere Auffassung richtig ist. Dies ist nun auch der Fall. — Die Untersuchungen von R. Maurer (1886) über die Dehnung von Leim- und Gelatinecylindern haben ergeben, „dass für Gallerten aus Gelatine und 2 bis 5 mal soviel Wasser „ μ “ (das heisst dieses Verhältniss zwischen Quercontraction und Längendilatation) zwischen 0,4999 und 0,5 liegt. Auch für Kautschuk findet Pulfrich (1886) μ im Mittel seiner Versuche = 0,456. Dagegen beträgt dieses Verhältniss für Spiegelglas nur 0,21 nach den Untersuchungen von Voigt (1882).

Auch die grosse Dehnbarkeit der gequollenen Körper, im Gegensatz zu den nichtquellenden dürfte gleichfalls für meine Auffassung sprechen, wobei jedoch wieder gegenüber den nur imbibirbaren ähnlich gebauten Körpern zu beachten ist, dass dabei die durch Einwirkung der Quellungsflüssigkeit hervorgerufene grosse Biegsamkeit der Wände eine besondere Rolle spielt, da nur bei dieser Eigenthümlichkeit schon geringe Zugkräfte erhebliche Gestaltsveränderungen der Wabenräume hervorrufen werden können.

Ich sehe nachträglich, dass auch G. Quincke (1894) schon dieses Verhalten der Quercontraction zu der Längendilatation der Gallerten als wahrscheinlichen Beweis für deren schaumartigen Bau betont, zu welcher Ansicht ich ebenfalls und selbstständig gelangt bin. Er weist fernerhin auf E. du Bois-Reymond's Versuche hin, über die Wanderung des Wassers in Gallerten nach der Kathode beim Durchleiten eines electrischen Stroms, was an der Kathode eine Anschwellung der Gallerte hervorruft. Auch dies spreche für den gerüstartigen Bau der Gallerten.

Bei dieser Gelegenheit kann ich nicht umhin, mein Erstaunen darüber auszusprechen, dass Herr Quincke — der sich in der citirten Schrift so empfindlich darüber zeigt, dass ich in meinem Buch über das Protoplasma (1892, 1) seine Untersuchung über Emulsionsbildung (1879) nicht citirt habe da sie, wie er annimmt, mir ganz unbekannt gewesen sei — mit keinem Wort erwähnt, dass ich seit 1892 (1, p. 216—218) ebenfalls die Ansicht, dass die Gallerten einen schaumartigen Bau besitzen, in mehrfachen Mittheilungen (1892, 2, 3, 1893, 1894) auf Grund selbstständiger Untersuchungen vertreten habe. Das Nähere hierüber habe ich ja auch in dieser Arbeit kurz mitgetheilt. Unbekannt sind Herrn Quincke diese Untersuchungen nicht gewesen, da über sie, in seiner Gegenwart, in den Sitzungen des Naturhist.-medizinischen Vereins zu Heidelberg von mir berichtet wurde. Dass ich seine Arbeit über die Bildung von Emulsionen aus Oeltröpfchen in wässrigen alkalischen Flüssigkeiten in meinem Buch von 1892 nicht citirte, erklärt sich sehr einfach nicht aus Unbekanntschaft, sondern aus dem Grunde, weil sich meine Arbeit nirgends mit der Bildung derartiger Emulsionen beschäftigt, vielmehr umgekehrt mit Emulsionen oder Schäumen, die dadurch entstehen, dass Tröpfchen wässriger Flüssigkeit in dichter Menge in einer zusammenhängenden Oelmasse auftreten. Wie ich unter diesen Umständen eine Arbeit citiren sollte, welche sich mit einem ganz anderen Vorgang beschäftigt, vermag ich nicht einzusehen; die Arbeit Q.'s aber etwa wegen der Bewegungserscheinungen der Oeltröpfchen zu citiren, hielt ich nicht für angezeigt, da diese Dinge ja in Qu.'s Mittheilung von 1888, die ich ausführlich besprochen habe, viel eingehender erörtert sind.

Dennoch zwingt mich diese Erwähnung der Quincke'schen Arbeit von 1879 über Emulsionsbildung zu einer Bemerkung. Herr Quincke behauptet 1894 p. 624: „Hiernach habe ich zehn Jahre vor Herrn Bütschli die physikalischen Erscheinungen bei Zusammenbringen von Oel mit alkalischem Wasser beschrieben und erklärt und hatte gewiss nicht nöthig 1888 noch einmal auf diese Aehnlichkeit mit Seifenschäum hinzuweisen, wenn ich die Existenz von Oelhäutchen und Oellamellen an der Oberfläche und im Innern des Plasmas der Pflanzenzellen nachwies“. Hiernach könnte es scheinen, dass ich 1892 die physikalische Erklärung, die Quincke von der Emulsionsbildung des Oels in alkalischen Flüssigkeiten gab, bestritten hätte, was durchaus nicht der Fall ist, vielmehr habe ich in dieser Beziehung einfach auf seinen Resultaten weitergebaut. Andererseits muss jedoch bei dem mit den Gegenstand nicht näher vertrauten Leser durch diesen Passus die Meinung erweckt werden, als hätte Herr Qu. schon 10 Jahre vor mir solche „Oelseifenschäume“ hergestellt, untersucht und erklärt, wie ich sie in meinem Buch eingehender beschrieb. Das ist nun aber durchaus nicht der Fall; seine Untersuchungen beziehen sich ausschliesslich auf Emulsionen von Oeltröpfchen in wässriger Flüssigkeit; von Schäumen, deren Gerüst Oel und deren Inhalt wässrige Flüssigkeit ist, wird nirgends gesprochen. Auf den angeblich von Qu. schon 1888 erbrachten Nachweis von schaumartig geordneten Oellamellen im Plasma werde ich sofort eingehen.

Herr Quincke beschwert sich ferner darüber, dass ich seiner in einem Vortrag von 1891 über die Structur des Plasmas gar nicht gedacht habe. Dieser Vortrag beschäftigt sich nun ausschliesslich mit den mikroskopisch sichtbaren Structuren des Plasmas, die sicher nicht aus Oellamellen bestehen, da sie sich in jeder Hinsicht, physikalisch wie chemisch, anders wie Oel verhalten. Es ist mir heute noch ebenso unverständlich, wie ich in diesem Vortrag Veranlassung hätte nehmen sollen, die Quincke'sche Arbeit über die Bewegungserscheinungen der Plasma's zu erwähnen. Irgend eine Beobachtung über die Structur des Plasma's findet sich in Qu.'s Arbeiten von 1888 und 89 durchaus nicht und trotz der gegentheiligen Versicherung von Quincke bedaure ich, auch heute nicht meine Ansicht zurücknehmen zu können, dass Qu. in seiner Arbeit von 1888 das Protoplasma als eine homogene, äusserlich von einer zarten Oellamelle umschlossene Flüssigkeit ansah. Dass aus den damaligen Mittheilungen Qu.'s herausgelesen werden kann, dass die Substanz des Plasma's von Oellamellen schaumartig durchsetzt sei, wie er jetzt behauptet, halte ich nach nochmaliger Durchsicht einfach für unmöglich.

Es ist charakteristisch, dass Herr Qu. zwar jetzt (p. 623) behauptet, 1888 „nachgewiesen“ zu haben, dass das Plasma von Oellamellen durchsetzt sei, dass er aber keine Stelle dieser Schrift zu citiren weiss, aus welcher dies hervorgeht. Ich bedaure wie gesagt, auch keine solche Stelle auffinden zu können. Die einzige Stelle, welche allenfalls entfernt an etwas Derartiges erinnern könnte, findet sich bei der Erklärung der Circulationsbewegung auf p. 636 und lautet folgendermaassen: „Die Ausbreitung der Eiweissseife kann mit Oel benetzte feste Eiweissbänder von der Grenzfläche von Oel“ (d. h. der äusseren Oelhaut des Plasma's oder des sog. Plasmaschlauchs Quincke's) „und wässriger Flüssigkeit losreissen und in das Innere der wässrigen Flüssigkeit oder des schleimigen Plasma's hineinziehen, wie ich § 10 gezeigt habe. So entsteht ein Gerüst von festen mit Oel bekleideten Eiweissfäden im innern der Zelle“ (d. h. im Zellsafte der untersuchten Pflanzenzellen). „An der Oberfläche dieser freiständigen (!) mit Oel bekleideten Eiweissfäden, erfolgt die periodische Ausbreitung der Eiweissseife und erzeugt dadurch die Circulationsbewegung der Protoplasmas in ähnlicher Weise wie die periodische Ausbreitung an der Innenseite des Plasmaschlauchs die Rotationsbewegung des Protoplasmas hervorruft“. Nichts dürfte aber klarer sein, als dass die freiständigen ölbekleideten Fäden (nicht Lamellen!), von denen hier die Rede ist, die die Zellsafthöhle durchziehenden Plasmastränge sein sollen, an denen die Circulationsbewegung geschieht, dass sie demnach mit dem, was von Andern und mir als Plasmastructur beschrieben wird, nicht das Geringste zu thun haben.

Nicht nur in der Arbeit von 1888 aber, sondern auch in der kurzen Mittheilung von 1889 hat Herr Quincke von einem schaumartigen Bau des Plasmas nichts berichtet. In dieser Beziehung muss ich mich nämlich selbst eines Irrthums zeihen. — In der Stelle auf p. 6 meines Buches

über das Protoplasma (v. 1892), die Herr Quincke so aufregte, habe ich nämlich fälschlich angegeben, dass er 1889 „die Schaumstructur des Plasmas betont habe“ und mich ungerechtfertigter Weise darüber beschwert, dass er die von mir ausgegangene Anregung nicht anerkenne. Wie gesagt, beruht diese meine Beschwerde auf einer irrthümlichen Erinnerung über den Inhalt von Qu.'s Schrift von 1889, die ich leider versäumte, durch wiederholte Vergleichung des Originals zu berichtigen. Wie sich bei erneuter Durchsicht der Schrift ergibt, ist die Wahrheit, dass auch in ihr nirgends von dem schaumigen Ban des Plasmas die Rede ist, sondern nur von dem von „Leim und anderer Gallerte“.

Für unnöthig halte ich es eigentlich, die Möglichkeit zurückzuweisen, dass ich durch Quinckes Arbeit von 1888 zu meiner Ansicht von der schaumigen Structur des Plasma's geleitet worden wäre. Qu. wagt zwar auch nicht, dies zu behaupten, was ja gegenüber der von mir ausführlich dargelegten historischen Entwicklung dieser meiner Anschauung seit 1878 unmöglich gewesen wäre. Den mit dem Gegenstand natürlich wenig vertrauten Lesern der Annalen der Physik und Chemie glaubt er aber doch sagen zu dürfen (p. 624): „Herr Bütschli mag selbstständig auf anderem Wege, wie ich, zu ähnlichen Ansichten über die Structur des Plasmas gekommen sein“. Dieses „mag“ vermag ich leider nicht zu entschuldigen, sondern muss es als eine Verwirrung des wirklichen Verhalts auf das Bestimmteste zurückweisen. Die Ansicht über den schaumartigen Bau des Plasmas habe ich, wie auf p. 1—2 meines Buches dargelegt ist, seit 1878 in mehreren Arbeiten von 1884, 1885 und endlich 1888 in zwei ausführlicheren Darstellungen vertreten, die beide vor und ohne jede Kenntniss der Quincke'schen Untersuchungen erschienen.

Selbst wenn man zugeben könnte, dass Quincke wirklich, wie er jetzt ohne Grund behauptet, schon 1888 mitgetheilt habe, dass die Substanz des Plasmas von Oellamellen durchsetzt sei, so könnte doch Niemand zugestehen, dass, wie er weiterhin behauptet (p. 623), er dies „nachgewiesen“ habe. — Seine Ansicht über die äussere Oellamelle und die fraglichen durchsetzenden inneren Oellamellen ist rein hypothetisch; nirgends dagegen wird die Existenz dieser Oellamellen erwiesen, vielmehr werden sie lediglich zum Zweck der Erklärung der Bewegungserscheinungen supponiert.

Bei der Schilderung der Versuche mit gedehnten Gelatine- und Eiweissstreifen wurde hervorgehoben, dass die durch Temperatursteigerung bewirkte Verkürzung bei der Wiederabkühlung in der Regel nicht völlig zurückging, sondern eine schwache dauernde Verkürzung verblieb. Ob sich für diese Erscheinung eine Erklärung auf Grund unserer theoretischen Anschauung finden lässt, scheint mir etwas zweifelhaft; ich möchte jedoch wenigstens die Vermuthung aussprechen, dass sie vielleicht auf einer mit der Temperatursteigerung eintretenden Verstärkung der Gesamtquellung zusammenhängt, wobei also der Inhalt der Waben nicht nur durch die Wärmeausdehnung vergrößert würde, sondern gleichzeitig durch eine gewisse Zunahme der Flüssigkeitsmenge; unter diesen Umständen würde es verständlich, dass bei der Wiederabkühlung keine völlige Rückkehr auf die frühere Länge eintritt, sondern ein gewisser Betrag dauernder Verkürzung bleibt.

Bei den in verdünnter Luft untersuchten Streifen von Sonnenblumenmark fiel es, wie früher geschildert, sehr auf, dass bei der Wiederherstellung des gewöhnlichen Luftdrucks eine ziemlich ansehnliche Ausdehnung über die ursprüngliche Länge eintrat. Schon oben wurde versucht, diese Erscheinung dadurch zu erklären, dass bei der Luftverdünnung allmählich Luft aus den Zellen entweicht und dieselben daher bei Wiedereintritt des Normaldrucks eine gestrecktere Form wie ursprünglich annehmen müssen, d. h. dass sich die Gesamtlänge etwas ver-

grössern muss. — Bei seinen Versuchen mit gedehnten Kautschukfäden hat nun Joule¹⁾ beobachtet, dass bei der Abkühlung eine geringe Verlängerung der Fäden über das ursprüngliche Maass eintritt. Ob sich diese Verlängerung vielleicht gleichfalls auf eine, der bei dem Sonnenblumenmark vermutheten analoge Ursache zurückführen lässt, möge dahingestellt bleiben. Unmöglich scheint mir dies nicht.

Indem ich diese Mittheilung schliesse, bedauere ich, dass ich nichts Vollständigeres und Genügenderes über die behandelte wichtige Frage geben konnte. Wie meine früheren Arbeiten, welche zu dieser Fortsetzung geführt haben, wird auch diese mehr Widerspruch wie Zustimmung finden. Wenn ich auch so sehr überzeugt bin, wie irgend Jemand, dass wissenschaftliche Wahrheiten erst durch die wissenschaftliche Kritik gefestigt, richtig gestellt und zu allgemeinerer Anerkennung gelangen werden, so bin ich andererseits der Meinung, dass keine Berechtigung besteht zu wegwerfender, verletzender Kritik, so lange der Autor hierzu nicht durch anmassendes Auftreten oder wegwerfende Behandlung seiner Vorgänger und Mitforscher Veranlassung bietet. — Da ich mir in dieser Beziehung keine Vorwürfe machen zu müssen glaube, sondern meine Ansichten stets in voller Würdigung der Zweifel und Mängel vorgetragen habe, die ihnen einerseits wegen der Schwierigkeit der zu erörternden Fragen unvermeidlich verbleiben werden, und die ihnen andererseits wegen des beschränkten Wissens und Könnens ihres Verfassers anhaften, so erscheint mir, wie gesagt, die Tonart, in welcher sie von gewissen Kritikern besprochen werden, ebenso ungerecht wie ungerechtfertigt. Ich bin zu wenig Freund der Polemik, um auf alle diese Angriffe zu antworten; auch scheint es mir, dass ich der Wissenschaft besser dienen kann, wenn ich die verhältnissmässig geringe Zeit, welche die Berufsgeschäfte mir lassen, dazu verwende, auf dem betretenen Wege weiter zu forschen, als dazu, auf alle gegen mich gerichteten Angriffe zu antworten. Vielleicht wird sich später einmal Gelegenheit bieten, die wichtigsten erhobenen Einwände und Angriffe, soweit sie nicht nur von Uebelwollen dictiert sind, sondern einen Anspruch auf wissenschaftliche Beachtung haben, im Zusammenhange zu besprechen. — Dagegen möchte ich doch betonen, dass mein Stillschweigen vorerst nicht als ein Consentire zu deuten ist.

Heidelberg im Mai 1895.

1) Siehe die Tabellen bei Joule auf p. 106; dagegen zeigen die früher auf p. 103 von ihm mitgetheilten Versuche umgekehrt eine schwache Verkürzung nach der Rückkehr zu der niederen Ausgangstemperatur.

Anhang.

Genauerer über die Versuchsergebnisse bezüglich Verkürzung und Ausdehnung bei verschiedenen Temperaturen.

Den im Nachstehenden mitgetheilten genaueren Daten über einige der angestellten Versuche über Verkürzung und Ausdehnung der geprüften Substanzen bei Erhöhung und Erniedrigung der Temperatur, schicke ich folgende allgemeine Bemerkungen voraus. Die allgemeine Versuchsanordnung wurde schon oben p. 16 geschildert. Die gequollenen Streifen hatten vor ihrer Prüfung stets längere Zeit in der Quellungsflüssigkeit gelegen und wurden vor dem Versuch nochmals einige Zeit in der Quellungsflüssigkeit auf eine etwas höhere Temperatur erwärmt, als diejenige, zu der sie später bei der Untersuchung erhitzt wurden. — Die Streifen wurden dann in der angegebenen Weise mittels der oberen Klammer in Wasser aufgehängt, so dass das Wasser gerade bis an den unteren Rand der oberen Klammern reichte, der Streifen demnach gänzlich in Wasser eintauchte. Das Gefäß, in welches die Streifen eintauchten, war ursprünglich ein im Querschnitt etwa elliptisches mit abgeplatteten Breitseiten, später ein dünnwandiger Cylinder von 6,3 cm Durchmesser. Anfänglich wurde die Erwärmung so vorgenommen, dass das Gefäß auf einem Sandbad stand, das durch eine Flamme von unten erhitzt wurde. Von diesem Verfahren ging ich jedoch bald ab, da dabei in der Regel zu Beginn der Erwärmung kleine Verschiebungen der eingestellten Marke um 5—10 Theilstriche der Mikrometerskala auftraten, die daher rührten, dass das Glasgefäß beim Erwärmen des Sandbads seine Stellung etwas änderte, sich ein wenig neigte oder aufrichtete und die Marke daher durch die Lichtbrechung der Glaswand etwas verschoben wurde. Die meisten der hier mitgetheilten Versuche wurden in dem cylindrischen Gefäß ausgeführt, das auf einem festen Postament stand und dessen Wand direct mit der Flamme erwärmt wurde. Dabei fielen die oben erwähnten Störungen ganz weg.

Dass nicht durch andere Momente Störungen hervorgerufen wurden, ergibt sich daraus, dass Glasfäden, welche auf dieselbe Weise, in Wasser eintauchend, untersucht wurden, in den Versuchstemperaturen von ca. 15—60° gar keine sichere Verlängerung zeigten; doch wurden diese Beobachtungen mit dem weniger sicheren ersten Gefäß ausgeführt. Da die eintauchende Länge der Fäden ca. 60 cm betrug, so würde bei einer Temperatursteigerung von 50°, den Ausdehnungscoefficienten des Glases zu $\frac{1}{1200}$ genommen, eine Verlängerung von etwa 0,024, also wenig mehr als ein Theilstrich eingetreten sein, was unter den gegebenen Verhältnissen nicht sicher festzustellen war.

Die Angaben über die Temperatur des Wassers sind wenig genau, da ich nur ein Thermometer in dem Wasser hatte, das etwa bis zur Mitte des Streifs eintauchte. Bei der in allen Versuchen sehr auffallenden Erscheinung, dass die Längenänderung der Streifen der äusseren Temperatur sehr langsam folgte, die Verkürzung noch längere Zeit fort dauerte, während die äussere Temperatur sank und umgekehrt, scheint es mir, dass eine sehr viel genauere Feststellung der Temperatur des umgebenden Wassers oder der Luft auch kein erheblich bestimmteres Resultat ergeben hätte. Nur diejenigen Versuche, bei welchen die Temperaturen in sehr langen Perioden um wenige Grade zu- oder abnahmen, dürften hinreichende Sicherheit bieten, dass der Streif auch die Temperatur des umgebenden Wassers besass. Ich brauche endlich kaum zu erwähnen, dass ich als Nichtphysiker um Nachsicht bitten muss, bei der Beurtheilung von Versuchen, welche zur genaueren Durchführung bessere physikalische Hilfsmittel und bessere Übung und Schulung des Experimentators verlangen.

Dass die angegebenen Zahlen in der Columnne L, welche die Stellung des unteren Streifenendes auf der Scala angeben, bei der Verkürzung der Streifen zunehmen, bei der Verlängerung dagegen ab, beruht auf der Umkehr des Bildes durch das Mikroskop. Ein Theilstrich der Scala bedeutet 0,0175 mm.

D. BAU QUELLBARFR KÖRPER U. D. BEDINGUNGEN D. QUELLUNG. 61

I. Streifen lufttrocknen Sonnenblumenmarks (zuvor in Alkohol aufbewahrt).

L. des Streifs = 87, Br. = 8, D. = 6,5.

Belastung = 15,5 gr.

Belastung = 55,5 gr.

I a.			I b.				
Z.	Tp.	L.	Z.	Tp.	L.		
19/XII.	5,30	27	40	21/XII.	9,55	24	15
94.	p. m.	29	45	10,44	22,5	15	
		32	50		27	13	Erhitzt
		34	55		30	20	
		36	60		31,8	25	} Von 22,5—38° Gesamtverkürz. = 0,682 mm
		37	65		33	30	
		38	70	11,17	35,2	35	
		39	75		36,8	40	
		39,5	80		37,4	45	
	5,45	40	85		37,8	50	
		40,5	95		36	54	
		40,2	100	12,3	27	42	
		39	100	1,30	19,5	19	
		31	85	5,15	17,8	5	
	7 h.	24,5	58	12/XII.	11 h.	20	10
20/XII.	8 h.	21,5	35				
	a. m.						
	5,45	23,5	35				} Von 23,5—36,8° Gesamtverkürz. = 0,875 mm
	p. m.	34	50				
		36	65				
		36,5	75				
		36,8	80				
		36	82				
	6,13	35,2	85				
	6,52	27	65				
21/XII.	9 h.	23	35				
	a. m.						

II. Streifen lufttrocknen Sonnenblumenmarks. L. = 84, Br. = 9,5, D. = 1,5.

Belastung = 15,5 gr.

Derselbe Streif welcher zu dem auf p. 18 mitgetheilten Versuchen über den Einfluss der Luftverdünnung gedient hatte. Er war in der Glasröhre aufgehängt wie bei diesen Versuchen.

Z.	Tp.	L.	
28/XII.	6 h.	19	44
	6,20	25,2	110
	6,42	19	44
	6,51	19	36
	7,08	18,8	37

Erhitzt durch Annäherung einer Beleuchtungsflamme auf 16 cm von der Röhre in der der Streif aufgehängt war. Die Temperatur ist angegeben nach einem Thermometer das dicht neben der Röhre aufgehängt war in derselben Entfernung von der Flamme.

Gesamtverkürzung von 19—25,2 (6,2°) = 1,155 mm, also pro 1° = 0,182.

Es liesse sich also mit einer derartigen Vorrichtung die durch 1/10° bewirkte Veränderung noch gut ablesen und bei stärkerer Vergrößerung noch viel geringere Temperaturunterschiede.

III. Chromgelatine (5 %).

Streif: L. = 34, Br. = 15, D 5,5 mm; Belastung 15,5 gr.

1. Versuch 3/I. 95.

2. Versuch 4/I. 95.

III a.			III b.				
	Z.	Tp.	L.	Z.	Tp.	L.	
Erhitzt 3/I.	4,38	23	40	Erhitzt 4/I.	10,55	18	44
	p. m.	24	39	a. m.	18,5	45	
		27	46		19	46	
		30	47		23	50	
		31,5	50	gelöscht		23,5	51
		37	55			"	52
		40	60		11,6	24,5	53
gelöscht		40	65		11,9	"	54
	5,0	39,6	75		11,15	24,6	55
		39,3	80	Durch Ablassen u. Zugiessen v. kalt. Wasser gekühlt.	11,19	18,5	52
	5,5	39	85		11,26	"	51
	5,10	38,5	90	D. Zus. von Schnee gekühlt.	11,35	16	50
		37	95			11	49
		36,5	98		11,45	9	48
		31	96	Durch mehrf. Ablassen des Wassers u. Zusatz v. kaltem gekühlt	12,2 p.m.	11	47
	6,35	20	91		12,10	8,5	46
	6,50	20	87		1,0	11	45
	7,0	18	85		1,30	10	44
	7,17	19	83		4,55	17	47
	7,50	20	79				
4/I.	10,30	18	68				

Bei Temp. v. 23—40°
Gesamtverkürz. = 1,015 mm

Gesamt. d. Wiederausd. = 0,525 mm

Bei Temp. v. 18—24,6°
Gesamtverkürz. = 0,192 mm

Gesamt. d. Wiederausd. = 0,140 mm

IV. Gelatineölemulsion (Gleiche Volumina 10 % Gelatine und Olivenöl).

Streif: L. = 80,5, Br. = 11, D. = 3. Belastung 5,5 gr.

	Z.	Tp.	L.	
19/I. Erhitzt	9 a. m.	18,5	63	Bei Temp. v. 18,5—30° Gesamtverkürz. = 0,542 mm
		20	65	
		21,5	68	
		22	70	
		25	75	
		27,5	80	
		29	85	
gelöscht		30	87	Ges. d. Wiederausd. = 0,472 mm
	9,35	29,5	93	
	9,38	"	94	
Abgekühlt mit kaltem Wasser		"	"	Bei Temp. v. 20—24° Gesamtverkürz. = 0,367 mm
	9,45	16	76	
	10,50	18,5	67	
Erhitzt durch Beleuchtungsflamme		17,3	67	Ges. d. Wiederausd. = 0,262 mm.
	6,30	20,5	70,5	
	6,50	23	76	
	7,10	24,6	80	
	7,17	25	83	
gelöscht		23	88	
20/I. a. m.	10,55	16	73	

V. Streif gewöhnlicher Gelatine in Wasser gequollen. Unbelastet aufgehängt.

L. = 64, Br. ca. 17, D. ca. 1,8 mm.

Va.				Vb.			
	Z.	Tp.	L.		Z.	Tp.	L.
29/I. Erh. durch Beleuchtungsflamme	9 h.	14,8	32	26/I. a. m. Erh. d. Beleuchtungsflamme	9 a. m.	18,2	3
	a. m.	15,5	34		19,5	4	
		16,4	35		20	5	
		17,1	36		20,5	6	
		17,6	37		21	7	
		18,6	39		22	9	
		18,2	40		23,1	13	
	gelöscht	18,1	41		23,9	16	
		18,7	44		23,1	17,5	
		8,30	19,9		20,8	11	
p. m.			1,30 p.	19	-1		
30/I. a. m.	8 h.	15,4	34	Temp. 2—19,9° Gesamtverkürz. = 0,385 mm.			
		16,3	37				
		18,3	42				
		19	45				
		19,7	48				
		16,9	39				
		13,5	29				
	p. m. ca. 31/I. a. m. Abkühlung durch Öffnen d. Fensters	4,0	27				
		2	26				
		8,4	28				
9,6		29					
10,8		31					
12,8		32					
16		37					
17		39					
p. m. ca.	8 h.	17,5	40				
1/II. a. m.	9 h.	16,2	32				

Temp. 18,2—23,9°
Gesamtverkürz.
= 0,228 mm.

Beobachtet wurde der freie untere Rand des Streifs.

Dem Wasser, in welchem der Streif aufgehängt war, war etwas festes Thymol zugesetzt, um die Fäulnis bei den über mehrere Tage sich erstreckenden Versuchen zu verhindern. — In der Versuchsreihe Va wurde am 30/I. die Stellung des unteren Streifenrandes bei den wechselnden Temperaturen im Laufe des Tages abgelesen; da dieser Temperaturwechsel sich sehr langsam vollzog, so ist anzunehmen, dass diese Zahlen zwischen 15,4° und 19,7° die Längenänderung des Streifs richtig angeben. Hieraus folgt pro 1° zwischen 15—19° eine Verkürzung von 0,0717 mm.

VI. Streif von geronnenem Eiweiss. Unbelastet in Wasser mit etwas Thymol.

L. = 97, Br. = 15, D. = 8 mm, liegend in ungedehntem Zustand gemessen.

Aufgestellt 7 1/2 h. Abends 11. II/95.

Der Streif dehnt sich zuerst sehr rapid aus, vom 11/II. 7 h. p. bis 12/II. 9 h. a. m. um nicht weniger wie 10 mm. Hierauf zeigt sich bei weiterer Beobachtung eine anhaltende Verkürzung, die anfänglich pro Stunde ca. 0,113 mm beträgt, am 13/II. pro 1 h. ca. 0,07—0,08; im Gesamt betrug die Verkürzung vom Morgen des 12/II. bis 13/II. 11 h. 20 2,257 mm. —

Hierauf das Wasser von 17,9° C abgelassen und durch Schneewasser ersetzt, trat sofort statt weiterer Verkürzung Ausdehnung auf, wie die folgende Tabelle zeigt:

VI a.	Z.	Tp.	L.	
13/II. a. m.	11,20	17,9	90	} Gesamtausdehnung = 0,735
	11,36	9,8	83	
	11,39	10,2	81	
	11,45	10,8	77	
	12,5	12,5	67	
	12,49	14,8	54	
	1,45	16,1	48	
	5,58	18	62	} Verkürzung = 0,470.
	8,10	19	76	

Bis zum 14/II. 9 h. 30. a. m. hat sich der Streif sehr stark, um ca. 1,4 mm, verkürzt und fährt darin langsam fort, indem er sich von 9,30—11,25 a. m. um 0,437 mm verkürzt. Hierauf ein zweites Mal durch Schneewasser abgekühlt, gibt folgendes Resultat:

VI b.	14/II. a. m.	Z.	Tp.	L.	
		11,25	20,9	74	} Gesamtausdehnung = 0,42.
		11,45	8	73	
		11,47	8	70	
		12,28	12	53	
		12,45	12,8	50	
		3,22	20,3	63	
		5,46	22	100	

Bis zum 15/II. 8 h. a. m. hat sich der Streif wiederum um ca. 1,3 mm verkürzt und fährt darin den 15. und 16. fort, so dass er sich im Gesamt bis zum 16. Abends 6 h. um 1,89 mm zusammengezogen hat. Hierauf wurde das Fenster geöffnet, so dass die ziemlich starke äussere Kälte auf den Streif einwirkte. Den nächsten Morgen d. 17/II. 10,40 zeigte sich die Oberfläche des Wassers mit sehr dünner Eisdecke bedeckt und die Temperatur des Wassers auf 0° gesunken. Der Streifen aber hatte sich um nicht weniger wie 3,1 mm. verlängert.

Hierauf begann vom Morgen des 17/II. ab wieder eine zuerst sehr rasche Verkürzung die von 10,40 a. bis 3 h. p. m. des 17. 1,57 mm betrug und die bis zum 22/II. 9 h. a. m. verfolgt wurde; im Gesamt betrug die Verkürzung bis dahin 3,762, in den letzten 24 h. jedoch im Ganzen nur 0,245.

Die erste ansehnliche Verlängerung des Streifs nach dem Aufhängen in Wasser muss wohl in der Hauptsache auf die natürliche durch das Eigengewicht des aufgehängten Streifs hervorge-rufene Dehnung bezogen werden; die darauf einsetzende anhaltende Verkürzung dagegen kann ich nur als eine Wirkung fortdauernder weiterer Aufquellung beurtheilen, obgleich der Streif längere Zeit vor seiner Aufhängung in Wasser gelegen und zuvor noch 10 Minuten in bis zum Kochen erhitzten Wasser sich befunden hatte. — Unter den vorliegenden Verhältnissen ergab sich daher die Methode der Abkühlung als die sicherere, welche denn auch bei dreimaliger Wiederholung ein ganz unzweideutiges Resultat ergab.

Besonders zu betonen ist, dass dem Wasser, in dem der Streif aufgehängt, Thymol zugesetzt war und daher trotz der langen Beobachtungsdauer keine Fäulnis des Streifs eintrat. Frühere, weniger ausgedehnte Versuche, die auch mit weniger gut gelungenen Eiweisstreifen angestellt worden waren, hatten im Allgemeinen ergeben, dass bei der Erwärmung ausgiebige Verkürzung eintritt, welche bei der Wiederabkühlung nicht oder doch nur wenig wieder zurückging; eine Erscheinung, die mit den obigen Ergebnissen im Allgemeinen harmonirt.

D. BAU QUELLBARER KÖRPER U. D. BEDINGUNGEN D. QUELLUNG. 65

Den 22/II. 9. h. 20 a. m. wurde das Wasser in dem der Streif aufgehängt war, durch 15 % NaCl-Lösung ersetzt, worauf der Streif sich sehr energisch zu verkürzen begann; die Contraction dauerte fort bis um 7 h. Abends und betrug im Ganzen nicht weniger wie 5,36 mm. Jetzt war Konstanz eingetreten, da die Länge bis zum 23/II. 9 h. a. m. dieselbe geblieben war. — In den nun folgenden Beobachtungen, die theils nur bei der wechselnden Zimmertemperatur, theils mit Hülfe schwacher Erwärmung durch die herangerückte Beleuchtungsflamme angestellt wurden, zeigte sich der Einfluss der Temperatur auf die Länge des Streifs deutlich (siehe die nachf. Tabelle VI c). Bemerkenswerth ist jedoch auch hier die Eigenthümlichkeit, dass der Streif nach der Verkürzung durch die Temperatursteigerung auf 38° sich nur etwa um die Hälfte der Verkürzung wieder ausdehnte.

	Z.	Tp.	L.	
VI. c. 22/II. p. m.	7	ca. 17—20	45	
23/II. a. m.	9	17,7	45	
p.	1	20,9	52	
p.	7	16,8	50	
24/II. a. m.	11	18,1	50	
	11,55	19	51	Erhitzt d. Beleuchtungsflamme
	12,5	26,8	55	
	12,35	34,7	65	
	1,30	38,0	90	
	7,30	18,6	90	gelöscht, sinkt in der Zwischenzeit bis über 100 herab.
25/II. a.	9	15,6	80	
p.	1	19	85	
26/II. a.	11	17,7	83	
p.	1	19,5	86	
p.	8	19,7	86	

VII. Packlackfaden vor der Lampe ausgezogen.

Gesamtlänge = 100 mm, wovon 64 mm in das Wasser des Gefässes eintauchen;
Dicke = 1–2 mm.

	Z.	Tp.	L.	
14/XII. a. m.	10,11	18	2	} Gesamtverkürzg. von 18°—32,9° = 2,83 mm
	10,17	18	3	
1. Erhitzg.	10,30	23	4	
	— 32	25	5	
	— 35	27	10	
	— 39	29,5	20	
gelöscht	— 42	32	40	
	— 45	32,4	60	
	— 48	32,9	80	
	— 52	32,8	100	
	11,27	29,3	137	
p. m.	1,24	22,5	150	
	7,30	19	159	
15/XII. a. m.	9,0	19,5	164	} Gesamtverkürzg. von 19,5°—43° = 0,997 mm.
2. Erhitzg.	9,15	22	164	
	9,28	31	164	
	— 34	35,5	165	
		38,5	168	
gelöscht	9,45	42	174	
		43	179	
	10,38	35,5	189	
p. m.	12,45	25	217	
	5,30	20	221	
3. Erhitzg.	5,55	21	221	} Gesamtverlängerg. von 20°—57° = 1,96 mm.
	6,08	32	211	
	6,25	50	195	
	6,33	55,5	181	
gelöscht	6,37	57	164	
	6,53	53	109	
16/XII. a. m.	11,40	18,5	229	

Bei einer 4. Erhitzung, welche bis zu 57° ging verkürzte sich der Faden wiederum beträchtlich, nachdem die Temperatur über 47° gestiegen war, schliesslich riss jedoch der Faden ab.

Litteratur.

- 1892 (1). Bütschli, O., Untersuchungen über mikroskopische Schäume und das Protoplasma. Leipzig 1892. (Siehe dort p. 216).
- 1892 (2). Bütschli, O., Ueber die künstliche Nachahmung der karyokinetischen Figur. Verh. des naturhist.-medic. Vereins. Heidelberg. N. F. Bd. V. p. 28—41.
- 1892 (3). — Ueber die Schaumstructur geronnener Substanzen. *Ibid.* p. 42—43.
1893. — Ueber den feineren Bau der Stärkekörner. *Ibid.* p. 89—102.
1894. — Vorläufiger Bericht über fortges. Untersuchungen an Gerinnungsschäumen, Sphärökrystallen u. die Structur von Cellulose- und Chitinmembranen. *Ibid.* p. 230—292. 2. Tf.
1821. Chevreul, De l'influence que l'eau exerce sur plusieurs substances azotées solides. *Annales de chimie et de physique.* T. 19. 1821. p. 32—57.
1893. Engelmann, Th. W., Ueber den Ursprung der Muskelkraft. 2. Aufl. Leipzig.
1884. Famintzin, A., Ueber Kieselsäuremembranen und geschichtete Myelingegebilde. *Bullet. Acad. St. Petersbourg.* T. 29. p. 414—416.
1866. Fick, A., *Medicinische Physik.* 2. Aufl.
1886. Gerstmann, Strömung von Flüssigkeitsgemischen und Salzlösung durch Capillarröhrchen. — *Tageblatt der 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte.* p. 409—410.
1886. Grätz, L., Ueber die Abhängigkeit der Elasticität des Kautschuks von der Temperatur und ihre Beziehung zum thermischen Ausdehnungscoefficienten. *Pogg. Annalen.* Bd. 264. p. 354—364.
1884. Grimaux, E., Sur la coagulation des corps colloïdaux. *Compt. rend. Ac. Paris.* T. 98. p. 1578. (s. auch die beiden früheren Artikel *ibid.* p. 1485 u. p. 1540, sowie die Arbeit in *Bullet. soc. chimique.* Paris. Bd. 42, 1884, p. 74—82).
1876. Guthrie, Fr., On salt solution and attached water. V. *Philosoph. magaz. and J. of sc.* (5) Vol. 2. p. 211—225.
1882. Höhnel, Fr. v., Beiträge z. Pflanzenanatomie u. Physiologie. VI. Ueber die Mechanik des Aufbaues der vegetabilischen Zellmembranen. *Botan. Zeitung.* 40. Jg. p. 595—605 und 616—622.
1860. Jamin, J., Mémoire s. l'équilibre et la mouvement des liquides dans les corps poreux. *Compt. rend. Ac. Paris.* T. 50. p. 172—176 u. 311—335.
1860. Joule, J. P., On some Thermo-dynamic properties of solids. *Philosoph. Transact. Roy. Soc. London.* Vol. 149. p. 91—131.
1888. Lehmann, O., *Molecularphysik.* 2 Bde.
1848. Liebig, J., Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung im thierischen Organismus. Braunschweig.
1849. Ludwig, C., Ueber die endosmotischen Aequivalente und die endosmotische Theorie. *Zeitschr. f. rationelle Medicin.* Bd. 8. p. 1—52.

1886. Maurer, R., Ueber das Verhältniss der Quercontraction zur Längendilatation bei Stäben von Leimgallerte. *Annalen der Physik u. Chemie.* Bd. 264. p. 628—653.
1858. Nägeli, C., Die Stärkekörner. *Pflanzenphysiologische Untersuchungen.* Von Nägeli und Cramer. 2. Heft.
1866. Nägeli, C., Ueber Versuche, betreff. die Capillarwirkungen bei verändertem Luftdruck. *Sitzungsber. d. bayr. Akademie. Math.-physik. Kl.* 1866. p. 553—576.
1877. Pfeffer, W., *Osmotische Untersuchungen.* Leipzig.
1886. Pulfrich, C., Ueber die elastische Nachwirkung eines Kautschukschlauchs und deren Einfluss auf die Constante μ . *Annalen d. Phys. u. Chemie.* Bd. 264. p. 87—107.
1879. Quincke, G., Ueber Emulsionsbildung u. den Einfluss der Galle bei der Verdauung. *Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiologie.* Bd. 19. p. 129—144.
1888. Quincke, G., Ueber periodische Ausbreitung von Flüssigkeitsoberflächen und dadurch hervorgerufene Bewegungserscheinungen. *Annalen der Physik u. Chemie. N. F.* Bd. 35.
1889. Quincke, G., Ueber Protoplasmabewegung und verwandte Erscheinungen. *Tagebl. der 62. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte* p. 204—207.
1894. Quincke, G., Ueber freiwillige Bildung von hohlen Blasen, Schaum etc. *Annalen der Physik u. Chemie. N. F.* Bd. 53. p. 593—632.
1879. Reinke, J., Untersuchungen über die Quellung einiger vegetabilischer Substanzen. *Hanstein's botanische Abhandlungen.* Bd. IV. Heft 1.
1882. Russner, J., Ueber das scheinbar abnorme Verhalten des gespannten Kautschuks und der Guttapercha. *Repertorium für Experimentalphysik etc.* Bd. 18. p. 206—216.
1861. Schmidt, W., Ueber die Beschaffenheit des Filtrats bei Filtration von Gummi-, Eiweiss-, Kochsalz-, Harnstoff- und Salpeterlösung durch thierische Membran. *Annalen d. Phys. u. Chemie.* Bd. 114. p. 337—392.
1872. Schmulewitsch, G., Ueber den Einfluss der Wärme auf die Elasticität des Kautschuks. *Annalen d. Phys. u. Chemie.* Bd. 144. p. 280—287.
1886. Schwendener, S., Ueber das Saftsteigen. *Sitzber. d. Berliner Akademie.* 1886. p. 588.
1887. Schwendener, S., Ueber Quellung und Doppelbrechung vegetabilischer Zellmembranen. *Sitzungsber. der Berliner Ak. f. d. J. 1887.* 2. p. 659—702.
1881. Semper, C., Neue Methode anatomische Präparate herzustellen. *Verh. der physik.-medic. Gesellsch. Würzburg. N. F.* Bd. 15. (Siehe auch *Zoolog. Anzeiger* Bd. V. 1882.)
1882. Voigt, W., Ueber das Verhältniss der Quercontraction zur Längsdilatation bei Stäben von isotropem Glas. *Annalen d. Phys. u. Chemie.* Bd. 251. p. 497—513.