

### 53. A. Zimmermann: Ueber die Jamin'sche Kette.

Eingegangen am 6. October 1883.

Unter einer Jamin'schen Kette versteht man bekanntlich ein System von Luftblasen und Wassertropfen, die in einer Capillarröhre abwechselnd hinter einander gereiht sind. Der Erste, der auf die eigenthümlichen Eigenschaften einer solchen Kette aufmerksam wurde, war übrigens nicht Jamin, vielmehr sind bereits von Montgolfier Versuche damit angestellt worden. Leider ist es mir jedoch nicht gelungen, die Originalarbeit des genannten Autors aufzufinden. Das einzige, was ich darüber habe in Erfahrung bringen können, ist der bereits von Meyen<sup>1)</sup> citirte Satz in der Agriculturchemie Davy's<sup>2)</sup>: „Die Versuche von Montgolfier haben gezeigt, dass man das Wasser beinahe zu einer unbestimmten Höhe durch eine geringe Kraft erheben könne, wofern man den Druck desselben durch fortgesetzte Theilungen in der Säule der Flüssigkeit aufhebt.“

Wo Montgolfier diese Versuche publicirt hat, wird weder von Meyen noch von Davy angegeben. Uebrigens scheint es mir schon nach dez Angaben Davy's unwahrscheinlich, dass Montgolfier bereits die Eigenthümlichkeiten der Jamin'schen Kette richtig erkannt haben sollte, und wir werden ihm daher wohl kein Unrecht zufügen, wenn wir auch fernerhin nicht von einer Montgolfier'schen, sondern von einer Jamin'schen Kette reden.

Der Hauptinhalt der Jamin'schen Arbeit<sup>3)</sup> lässt sich nun in folgende Worte zusammenfassen:

Befindet sich in einer Capillarröhre eine Jamin'sche Kette, so setzt dieselbe einer jeden bewegenden Kraft — gleichgiltig, in welcher Richtung dieselbe wirkt — einen oft ganz beträchtlichen Widerstand entgegen. Das abgekehrte Ende der Kette bleibt vollständig unbeweglich, wenn jene Kraft nicht einen in jedem Falle ganz bestimmten Grenzwert erreicht. Die Grösse dieses Grenzwertes ist proportional der Anzahl der eingeschlossenen Luftblasen, ist ferner unabhängig von der Länge der Wassertröpfchen, sie nimmt zu, wenn die Luftblasen kleiner werden und wächst sehr schnell, wenn der Durchmesser der Röhre kleiner wird. Betreffs der absoluten Grösse des genannten Wertes führt Jamin nur ein Beispiel an, indem er angiebt, dass derselbe

1) Pflanzenphysiologie, Bd. 2, S. 81.

2) Uebersetzt von F. Wolff, Berlin 1814, p. 270 f.

3) Comptes rendus, 1860, p. 172 seq.

für eine Luftblase 54 mm Wasser betrug in einer Röhre, in der sich die capillare Steighöhe auf 200 mm belief. Es ist dies überhaupt die einzige genaue numerische Angabe über die Grösse jenes Grenzwertes, die ich in der Literatur habe auffinden können.

Da nun die Jamin'sche Kette bei der Bewegung des Saftes im Lumen der pflanzlichen Gefässe ohne Zweifel eine grosse Rolle spielt, so erschien mir eine etwas eingehendere Untersuchung derselben nicht ohne einiges Interesse. Es wäre nun allerdings für den Pflanzen-Physiologen wünschenswerth gewesen, mit vegetabilischen Gefässen zu operiren, aber leider schienen mir zur Zeit die experimentellen Hindernisse zu gross, so dass ich mich auf Glasröhren beschränken musste, die, wenn sie auch nicht imbibitionsfähig sind, doch in Folge ihrer vollständigen Benetzung durch Wasser Analogieschlüsse gestatten dürften.

Im weiteren Verlaufe meiner Arbeit habe ich dann noch mit verschiedenen anderen Flüssigkeiten Versuche angestellt. Diese stehen mit den Problemen der Pflanzen-Physiologie zwar in keiner directen Beziehung; da sie jedoch die von Naegeli<sup>1)</sup> aufgestellte Theorie der einschlägigen Erscheinungen in schönster Weise bestätigen, glaubte ich dieselben gleichfalls an dieser Stelle publiciren zu dürfen.

Bevor ich zur Besprechung meiner Versuche übergehe, möchte ich noch einen Punkt kurz erörtern, der mehrfach mit meiner Frage zusammen geworfen wurde. Ich meine die Erscheinungen, die man beobachtet, wenn die benutzte Röhre eine conische Gestalt hat oder gar abwechselnd dicker und dünner wird. Es können dadurch Bewegungserscheinungen hervorgerufen werden, die lediglich auf Capillarität beruhen und auch in jedem einigermaßen ausführlichen Lehrbuche der Physik mehr oder weniger eingehend besprochen werden. Zur Orientirung für den mit physikalischen Fragen weniger Vertrauten mag Folgendes dienen.

Die Wirkung der Capillarität können wir uns wohl am Einfachsten so vorstellen, dass wir in jedem concaven Meniscus eine ziehende Kraft annehmen, die dem Durchmesser desselben umgekehrt proportional ist. Haben wir aber in einem conischen Capillarrohre einen Wassertropfen, der an einem Ende von einem kleineren Meniscus begrenzt ist als am anderen, so wird der von diesem ausgeübte Zug grösser sein als der des grösseren Meniscus, und der Wassertropfen wird sich in Folge dessen nach dem engeren Ende der Röhre hinbewegen.

Wechseln aber in der Röhre dickere und dünnere Stellen und ist dieselbe nur zum Theil mit Wasser erfüllt, so werden sich offenbar die Wassertropfen nach den feineren Stellen der Röhre hinbewegen; und zwar wird, wenn wir uns die Unterschiede in der Spannung der eingeschlossenen Luft durch Diffusion ausgeglichen denken, erst dann ein Ruhestand eintreten

1) Sitzungsber. d. k. k. Acad. d. Wiss. 1866, p. 597 seq.

können, wenn die beiden Meniscen an beiden Enden eines jeden Wassertropfens gleich gross sind. Denken wir uns nun auf eine solche Röhre einen Druck ausgeübt, so werden — wie aus Obigem leicht ersichtlich — durch ein geringes Zurückweichen der vordersten Tropfen Kräfte wachgerufen, welche sämmtlich dem vorhandenen Drucke entgegen wirken, und es können diese Kräfte, wenn die Dickenunterschiede der Röhre genügend gross sind im Verhältniss zu dem von aussen wirkenden Drucke, offenbar ein weiteres Zurückweichen der Wassertropfen gänzlich verhindern. Wenn nun auch die Berechnung der resultirenden Bewegungen in einem concreten Falle auf beträchtliche Schwierigkeiten stossen dürfte, so ist doch soviel ohne Weiteres klar, dass ein solches System von Wassertropfen und Luftblasen einer bewegenden Kraft unter Umständen einen sehr beträchtlichen Widerstand entgegen zu setzen vermag. In der That beschreibt Jamin einen Versuch, bei dem in einem rosenkranzartigen Capillarrohre, das 8 sehr feine Stellen besass, die in diesen enthaltenen Wassertropfen einem Drucke von 2 Atmosphären das Gleichgewicht hielten. Da jedoch ähnliche Verhältnisse in der Pflanze schwerlich eine grosse Rolle spielen dürften, habe ich es unterlassen, diesen Punkt theoretisch oder experimentell weiter zu verfolgen.

Meine Absicht war es vielmehr, zu entscheiden, einen wie grossen Widerstand die Jamin'sche Kette in einem Rohre mit gleichmässigen Querschnitt einem auf sie wirkenden Drucke entgegenzusetzen vermag. Die Beantwortung dieser Frage liefert natürlich zugleich die Antwort auf die für den Botaniker wichtige Frage: Wie lang können in einer vertical gehaltenen Jamin'schen Kette die Wassertropfen sein, ohne durch ihre Schwere hinabzusinken oder auf die eingeschlossenen Luftblasen zu drücken?

Wenn es mir nun leider nicht gelang, die Grösse jenes Widerstandes durch eine einfache Zahl oder eine genaue mathematische Formel auszudrücken, so glaube ich dieselbe doch wenigstens bis zu dem Grade der Genauigkeit bestimmt zu haben, als dies für die Anwendung auf pflanzenphysiologische Probleme erforderlich ist.

Als eine Hauptfehlerquelle dürfte die ungleichmässige Gestalt des Röhrenlumens in Betracht kommen. Es musste jedoch der hierdurch hervorgerufene Fehler, weil ich nie das dickere oder dünnere Ende der Röhren bevorzugte, gleichmässig nach beiden Seiten hin ausschlagen und es liess sich somit durch Häufung der Versuche auf ein sichereres Resultat hoffen. Uebrigens werden wohl auch andere Umstände, wie mangelhafte Benetzung, Temperaturschwankungen etc., trotz der alsbald zu erörternden Vorsichtsmassregeln, mehrfach das Resultat beeinflusst haben.

### Untersuchungsmethode.

Anfangs verfuhr ich in der Weise, dass ich den kürzeren Schenkel eines ca. 1 *cm* dicken U-förmigen Glasrohres in eine Capillare auszog und nachdem ich durch Saugen eine Jamin'sche Kette in dieselbe hineingebracht hatte, in den anderen Schenkel Quecksilber eingoss, bis die Jamin'sche Kette hinausgetrieben wurde. Es stellte sich jedoch bald heraus, dass hier der Stoss des herabfallenden Quecksilbers grosse Fehlerquellen veranlasste; auch war der Apparat, da ich doch stets nur frisch ausgezogene Röhren verwenden konnte, etwas complicirt, so dass ich später eine andere Methode einschlug.

Ich benutzte nämlich als treibende Kraft die Capillarität und untersuchte, eine wie grosse Anzahl von Luftblasen erforderlich war, um ein Steigen der Jamin'schen Kette zu verhindern. Da ja die Grösse der Capillarkraft bekannt ist, so lässt sich auf diese Weise die Grösse des Widerstandes einer einzelnen Luftblase leicht berechnen.

Bezüglich der Einzelheiten der Versuche erwähne ich noch Folgendes:

Es wurden stets nur frisch im Bunsen'schen Brenner ausgezogene Capillaren verwandt, und zwar wurden die hierzu benutzten ca. 2 — 3 *mm* dicken Röhren vor dem Ausziehen stets noch durch successive Behandlung mit Salzsäure, Wasser, Alkohol und Aether gereinigt. Die beiden meist stark conischen Enden wurden stets abgebrochen und das übrige in gewöhnlich ca. 2 — 3 *dm* lange Stücke zerlegt, die dann sofort verwandt wurden.

Das Einbringen der Jamin'schen Kette geschah vermittelt eines befeuchteten Glasstabes dadurch, dass derselbe dem oberen Ende des vertical gehaltenen Röhrchens in schneller Folge abwechselnd genähert und wieder davon entfernt wurde. Es gelang so bei einiger Uebung Wassertropfen und Luftblasen von jeder beliebigen Anzahl und Länge zu erhalten.

Das verwandte Wasser war stets destillirtes, das ausserdem vor jeder Verunreinigung durch Staub oder dergl. geschützt war.

Sollten die Röhren dem Druck der Capillarkraft ausgesetzt werden, wurden sie in einem zum Theil mit Wasser gefüllten Wasserglase oder auch in einer flachen Krystallisirschale vertical oder in der Weise schief aufgestellt, dass der oberste Meniscus der Jamin'schen Kette mit der äusseren Wasserfläche ungefähr in gleichem Niveau stand; allerdings war hier keine allzugrosse Genauigkeit erforderlich, da ja ein daraus entspringender Fehler im Vergleich zu den übrigen nur sehr gering ausfallen konnte.

Ob nach einiger Zeit ein Steigen der Jamin'schen Kette stattgefunden hatte, liess sich deshalb um so leichter constatiren, als dieselbe, wenn sie einmal in Bewegung gesetzt ist, durch eine viel geringere Kraft darin erhalten werden kann. In Folge dessen wurde

nämlich die Jamin'sche Kette, wenn sie sich überhaupt von der Stelle bewegte, fast stets bis nach dem obersten Ende der Röhren hinaufgetrieben.

Wollte ich längere Zeit warten, bevor ich die Untersuchung vornahm, so verweilten die Röhren diese Zeit über in möglichst dunstgesättigtem Raume.

Sollte endlich die Weite des Röhrenlumens gemessen werden, so geschah dies mit Hülfe des Mikroskopes, doch in der Weise, dass sich sowohl ausserhalb wie innerhalb der Röhren Glycerin befand, so dass die sonst durch Brechung zwischen Wasser und Glas entstehenden Fehler vermieden wurden.

### 1. Versuche mit Wasser.

Als erstes Resultat stellte sich nun heraus, dass nicht nur, wie bereits von Naegeli (a. a. O.) hervorgehoben wurde, ein grosser Unterschied zwischen dem ruhenden und dem in Bewegung begriffenen Meniscus besteht, sondern dass auch die Widerstandsfähigkeit der Jamin'schen Kette ganz bedeutend davon abhängig ist, wie lange Zeit sich die Kette zuvor in Ruhe befand.

Sogleich nach der Bildung der Jamin'schen Kette ist die Widerstandsfähigkeit derselben ganz verschwindend klein. Dies geht unter anderem daraus hervor, dass es bei schneller Handhabung leicht gelingt, eine ganz enorme Anzahl von Luftblasen in der angegebenen Weise in eine Capillarröhre hinein zu bringen.

So erhielt ich z. B. eine Kette von 95 Luftblasen in einer Röhre, bei der die Weite des Lumens 0,06 *mm* betrug; in einem anderen Falle waren 126 Luftblasen noch beweglich in einer Röhre von 0,09 *mm* innerem Durchmesser.

Ähnliche Resultate ergaben zahlreiche Versuche. Zuweilen liess sich jedoch keine so grosse Anzahl von Luftblasen in die Röhre hineinbringen; doch dürfte dies in Unregelmässigkeiten des Querschnitts der Röhre seinen Grund gehabt haben. Es erfolgte wenigstens stets ein früheres Aufhören der Beweglichkeit — aus leicht zu begreifenden Gründen — wenn die Röhre sich nach Unten hin sichtbar verdickte.

Hierauf wurde nun untersucht, wie gross die Widerstandsfähigkeit der Jamin'schen Kette geworden, nachdem sich dieselbe eine Minute lang in Ruhe befunden hatte. Sie wurde diese Zeit über vertical gehalten.

Es zeigte sich, dass der Widerstand noch sehr gering war. War die Anzahl der Luftblasen kleiner als 20, so fand in allen Fällen (13), sobald die Röhre in Wasser gestellt wurde, ein Steigen der Jamin'schen Kette statt. Bei einer Anzahl von Röhren, wo die Zahl der Luftblasen zwischen 20 und 30 lag, fand hingegen bald Bewegung statt, bald nicht. In einem Falle wurde sogar noch bei 40 Luftblasen eine

Bewegung beobachtet, es befand sich jedoch hier die Jamin'sche Kette im dickeren Ende eines conischen Röhrchens.

Etwas mehr war der Widerstand bereits nach 5 Minuten angewachsen. Indem jetzt 20 Luftblasen in allen Fällen genügten um die capillare Steighöhe zu überwinden. Lag die Zahl der Luftblasen zwischen 13 und 20, so erfolgte bald Steigen bald nicht; lag dieselbe unter 13, so trat stets Bewegung ein.

Nun wurde 30 Minuten gewartet, bevor die Röhren in Wasser gestellt wurden, und es bildeten nun 8 und 10 Luftblasen die Grenzen, zwischen denen ein Steigen der Jamin'schen Kette bald erfolgte, bald ausblieb. Bei weniger als 8 Luftblasen trat in den 28 beobachteten Fällen stets Bewegung ein, während, sobald die Zahl derselben 12 überstieg, die Jamin'sche Kette am unteren Ende der Röhre verblieb.

Eine Anzahl von Versuchen, bei denen die Jamin'sche Kette erst nach einer Stunde dem Druck der Capillarkraft ausgesetzt wurde, lieferten im Allgemeinen noch dieselben Resultate wie die letztgenannten.

Es wurde nun der Jamin'schen Kette eine etwas längere Zeit der Ruhe gewährt, und zwar machte ich Versuche, wo dieser Zeitraum zwischen 16 und 48 Stunden lag. Da diese Versuche im Wesentlichen dieselben Resultate ergaben, will ich sie gleich zusammen besprechen.

Die Ergebnisse der 257 Bestimmungen sind in der beistehenden Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1.

Anzahl der Luftbl.	Zahl der Fälle, wo ein Steigen beob. wurde	Zahl der Fälle, wo die Jamin'sche K. nicht stieg	Anzahl d. F. wo ein Steigen stattfand in pCt. der Gesamtmf.
1	9	0	100
2	17	0	100
3	30	8	79
4	26	15	68
5	12	23	34
6	12	20	37
7	3	21	12
8	4	16	20
9	1	15	6
10	0	7	0
11	0	5	0
12—21	0	9	0

Es bedeuten in derselben die Zahlen der ersten Colonne die Anzahl der Luftblasen in der Jamin'schen Kette. In der zweiten Co-

lonne ist dann die Anzahl der Fälle angegeben, wo bei der in der Colonne 1 bemerkten Anzahl von Luftblasen ein Steigen der Jamin'schen Kette beobachtet war. In der dritten Colonne findet sich dagegen die Zahl der Fälle, wo das Gegentheil der Fall war, wo also die Capillarkraft nicht im Stande war, die Widerstandsfähigkeit der Jamin'schen Kette zu überwinden. In der letzten Colonne ist ferner angegeben, in wieviel Procent der gesammten bei der betreffenden Anzahl von Luftblasen beobachteten Fälle ein Steigen der Jamin'schen Kette stattgefunden hat.

Sind wir nun auch nicht im Stande, aus obiger Tabelle eine genaue Bestimmung des Widerstandes der beiden eine einzige Luftblase umgebenden Meniscen in der Jamin'schen Kette abzuleiten, so geht doch soviel aus derselben mit aller Sicherheit hervor, dass die gesuchte Grösse zwischen  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{1}{6}$  der Capillarkraft der betreffenden Röhren liegen muss. In einigen Fällen waren allerdings bereits 3 Luftblasen im Stande, die Capillarkraft zu überwinden, in anderen reichten aber wieder 7—9 Luftblasen hierzu nicht aus. Es ist jedoch die Zahl der Abweichungen verhältnissmässig gering, wenn man die bereits erwähnten Fehlerquellen bedenkt. Dass die obige Grösse jedoch ungefähr  $\frac{1}{3}$  der Capillarkraft betragen sollte, scheint mir nach den erhaltenen Resultaten nicht unwahrscheinlich, doch dürften zu einem Beweise dieser Annahme die angeführten Beobachtungen nicht ausreichend sein. Dass dieselben mindestens  $\frac{1}{6}$  der Capillarkraft beträgt, glaube ich indessen mit aller Bestimmtheit bewiesen zu haben.

An der Hand meiner Beobachtungen möchte ich nun aber noch zwei andere Fragen entscheiden. Zuerst die Frage, in welchem Verhältniss die Widerstandsfähigkeit der Jamin'schen Kette sich ändert, wenn der Durchmesser der betreffenden Röhren kleiner und kleiner wird. Findet, wie ich dies bislang stillschweigend angenommen, eine umgekehrte Proportionalität zwischen Röhrenweite und der gesuchten Grösse statt, oder wächst die letztere mit abnehmendem Durchmesser des Röhrenlumens schneller als dieser, wie dies von Jamin und Naegeli behauptet wird?

Ich habe zu diesem Zwecke das Lumen der sämtlichen 257 Röhren in der angegebenen Weise gemessen, fand aber, dass innerhalb der Grenzen, die ich untersucht habe (0,2—0,02 mm) — die übrigens mit der Weite der meisten vegetabilischen Gefässe zusammenfallen — keine bedeutende Abweichung von der Proportionalität stattfinden kann. Selbst in denjenigen Fällen, wo die Anzahl der Luftblasen zwischen 3 und 9 lag, fanden sich dicke und dünne Röhren unter denjenigen, wo ein Steigen erfolgte und unter denen, wo dasselbe unterblieb, ungefähr gleichmässig vertheilt.

Ein zweiter Punkt, der mir der Untersuchung werth zu sein schien, war die Bemerkung Jamin's, dass die Widerstandsfähigkeit der

Jamin'schen Kette um so grösser sein soll, je kleiner die Luftblasen sind. Ich erzeugte zu diesem Zwecke theils nur grosse, theils nur kleine Luftblasen in dem benutzten Rohre und verfuhr in der bekannten Weise. Es stellte sich hier heraus, dass sich ein Unterschied in der Wirkung der grossen und kleinen Luftblasen nicht constatiren liess. Mithin glaube ich die Unrichtigkeit der Jamin'schen Angabe, deren theorethische Deutung übrigens auch sehr schwierig sein würde, nachgewiesen zu haben. Leider giebt Jamin selbst nicht an, durch welche Beobachtungen er zu obiger Annahme gekommen ist.

Die gewonnenen Resultate lassen sich mithin in folgende Sätze zusammenfassen:

Der Widerstand, den eine Jamin'sche Kette einem einseitigen Drucke entgegensetzt, ist proportional der Anzahl der Luftblasen, aber unabhängig von ihrer Länge, ebenso auch unabhängig von der Länge der Wassersäulen. Er ist minimal, wenn die Jamin'sche Kette sich in Bewegung befindet und um so grösser, je länger dieselbe zuvor in Ruhe war. Seinen grössten Werth erreicht derselbe erst nach einigen Stunden, wo derselbe für Glasröhren von 0,2 bis 0,02 innerem Durchmesser und destillirtes Wasser  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{8}$  der Capillarkraft erreicht. Innerhalb der genannten Grenzen findet mithin auch eine umgekehrte Proportionalität zwischen Röhrenweite und der gesuchten Grösse statt.

Mit Hülfe dieser Resultate ist es nun leicht, auch die zweite der oben aufgeworfenen Fragen zu beantworten; nämlich die, wie gross die Wassersäulen in einer Jamin'schen Kette sein können, ohne auf die eingeschlossenen Luftblasen in Folge ihrer Schwere einen Druck auszuüben. Da z. B. die capillare Steighöhe in einer Röhre von 0,1 mm ca. 300 mm beträgt, so würde eine Wassersäule von  $\frac{1}{8}$  dieser Grösse, von 50 mm jedenfalls noch getragen werden. Bei engeren Röhren — und die meisten Gefässröhren sind in der That enger — können natürlich noch längere Wasserfäden vorkommen. So wurde z. B. in einer Röhre von 0,05 mm, Durchmesser eine beliebig lange Wassersäule existiren können, ohne hinabzusinken, wenn dieselbe nur alle 100 mm durch eine Luftblase unterbrochen ist.

Ob sich freilich imbibitionsfähige Cellulosemembranen in dieser Beziehung ebenso verhalten wie Glas, lässt sich natürlich a priori nicht entscheiden; doch scheint mir ein ähnliches Verhalten Beider um so wahrscheinlicher, als bei den genannten Erscheinungen, wie wir gleich sehen werden, nicht die zwischen Wand und Flüssigkeit bestehenden Molecular-Kräfte, sondern vielmehr die Constitution der Meniscen hauptsächlich in Frage kommt; und diese wird doch wohl in beiden Fällen dieselbe sein.

## 2. Versuche mit anderen Flüssigkeiten und Theoretisches.

Eine ausführliche Theorie der schweren Beweglichkeit der Jamin'schen Kette wurde zuerst von Naegeli gegeben. Dieselbe fusst im Wesentlichen auf der Annahme, dass das Wasser an seiner Oberfläche eine Schicht von grösserer Festigkeit oder Zähigkeit (Viscosität) als im Innern besitzt, das sogenannte Flüssigkeitshäutchen. Dasselbe ist sowohl beim Contact mit Luft, als auch bei der Berührung mit festen Körpern vorhanden. Bewirkt werden soll dasselbe durch eine Verminderung der Beweglichkeit der Molecüle, die er mechanisch begründet, wie pag. 606 und 607 des Originals nachgesehen werden kann. Der Umstand, dass zu dieser Umlagerung der Molecüle Zeit erforderlich ist, macht es begreiflich, dass eine grössere Kraft nothwendig ist, um einen ruhenden Meniscus in Bewegung zu setzen, als um einen in Bewegung befindlichen darin zu erhalten.

Beim Durchmustern der physicalischen Literatur fand ich nun eine Arbeit von Plateau<sup>1)</sup>, in der dieser auf Grund ganz anderer Beobachtungen dem Wasser und verschiedenen anderen Flüssigkeiten ebenfalls ein zäheres Oberflächenhäutchen zuschreibt, während er aber auf der anderen Seite eine Anzahl von Flüssigkeiten anführt, bei denen das Entgegengesetzte der Fall sein soll. Bei den letzteren besitzen also nach Plateau die Oberflächenschichten gerade eine geringere Viscosität als die inneren<sup>2)</sup>.

Als ich nun mit Rücksicht hierauf aus den verschiedensten Flüssigkeiten Jamin'sche Ketten darstellte und dieselben auf ihre Widerstandsfähigkeit prüfte, stellte sich heraus, dass eine vollständige Uebereinstimmung besteht zwischen der aus den Angaben Plateau's hervorgehenden Zähigkeit der Oberfläche und der Widerstandsfähigkeit der Jamin'schen Kette. Die hierbei auftretenden Unterschiede sind sogar so bedeutend, dass sie mit aller Sicherheit ganz ausserhalb der Beobachtungsfehler liegen und dass ich mich in den meisten Fällen auf wenige Beobachtungen beschränken konnte.

---

1) Mémoires de Bruxelles, T. XXXVII.

2) Plateau wurde auf diese Annahme durch Beobachtung der Consistenzfähigkeit der feinen Lamellen der verschiedenen Flüssigkeiten und der an ihnen auftretenden Interferenzfarben geführt. Es gelang ihm jedoch auch durch ein sehr einfaches Experiment, die grössere oder geringere Viscosität der Oberfläche bei verschiedenen Flüssigkeiten direct nachzuweisen. Es geschah dies in der Weise, dass er die Zeit bestimmte, welche eine Magnetnadel, die durch einen Magnet aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt war, nöthig hatte, um, sobald der Magnet entfernt war, wieder in dieselbe zurückzukehren. Indem er nun die Magnetnadel sich bald auf der Oberfläche, bald ganz im Inneren der Flüssigkeit bewegen liess, erhielt er die angegebenen Resultate. Bezüglich der Einzelheiten verweise ich auf die Originalarbeit, von der sich übrigens auch in Poggendorf's Annalen d. Phys. u. Chem. (Nr. 141, p. 44) ein ausführlicher Auszug befindet.

Was zunächst die Flüssigkeiten anbetrifft, denen Plateau — ebenso wie dem Wasser — eine grössere Viscosität der Oberfläche zuschreibt, so habe ich von diesen folgende untersucht: concentrirte reine Schwefelsäure, conc. reine Salpetersäure, conc. reines Ammoniak, Weinsäure in 10 pCt. Lösung und Saponin in 1 pCt. Lösung. Die Resultate dieser Beobachtungen sind auf Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2.

	Grösste Anz. v. Luftb. b. d. Steigen beob.	Kleinste A. v. L. b. d. kein Steigen beobachtet	Ruhezeit	Zahl der Beobacht.
Schwefelsäure . . . . .	7	2	4	20
Salpetersäure . . . . .	5	6	17	8
Weinsäure . . . . .	14	7	2,7	19
Ammoniak . . . . .	13	11	2,5	10
Saponin . . . . .	6	7	2	17

Und zwar bedeuten die Zahlen in der zweiten Columne die grösste Anzahl von Luftblasen bei der noch Steigen beobachtet wurde, während in der dritten die kleinste Anzahl von Luftblasen vermerkt ist, bei der kein Steigen erfolgte. In der vierten Columne findet sich dann die Zeit, welche verstrichen war, bevor die betreffenden Jamin'schen Ketten dem Drucke der Capillarkraft ausgesetzt wurden, in Stunden ausgedrückt. Die letzte Columne giebt die Zahl der Beobachtungen an.

Sind nun die angestellten Versuche auch nicht zahlreich genug, um darüber sichern Aufschluss zu gestatten, in welchem Verhältniss die Widerstandsfähigkeiten der Jamin'schen Ketten dieser Flüssigkeiten unter einander stehen, so sind sie doch genügend, um zu zeigen, ein wie grosser Unterschied besteht zwischen ihnen und denjenigen Flüssigkeiten, deren Oberflächenzähigkeit nach Plateau eine geringere ist als die im Innern.

Die an Letzteren gewonnenen Resultate sind in Tabelle 3 dargestellt. (Tabelle 3 siehe S. 394).

Da ich bei ihnen stets ein Steigen der Jamin'schen Kette beobachtet habe, habe ich bei ihnen nur in Columne 2 die grösste Anzahl von Luftblasen angegeben, deren Beweglichkeit ich beobachtete, nachdem sie die in der Columne 3 vermerkte Zeit über (ebenfalls in Stunden ausgedrückt) sich in Ruhe befunden hatten. Ohne Kenntniss der Plateau'schen Untersuchungen würden diese Ergebnisse sehr wunderbar erscheinen, um so mehr, da sich unter den hierher gehörigen Flüssigkeiten auch solche befinden, die wie das Terpentinöl und die Milchsäure eine viel bedeutendere Viscosität als das Wasser besitzen. Bei der Milchsäure würde das gewonnene Ergebniss um so mehr auf-

T a b e l l e 3.

	Grösste Anzahl v. L. B. b. d. Steigen beobachtet	Ruhezeit
Alkohol. . . . .	131	15
Aether . . . . .	59	17
Benzol . . . . .	82	19
Essigsäure. . . . .	168	16
Terpentinöl . . . . .	148	4
Milchsäure . . . . .	68	25

fallen müssen, als sich diese ganz bedeutend langsamer in Capillarröhren bewegt als Wasser.

Ob nun bei den Flüssigkeiten dieser Gruppe der genannte Widerstand überhaupt nicht vorhanden oder nur ganz minimal ist, vermag ich nicht mit aller Sicherheit zu entscheiden. Ist er jedoch vorhanden, so folgt aus obiger Tabelle, dass er mindestens 10—20 mal kleiner ist für die genannten Flüssigkeiten als beim Wasser.

Auch glaube ich nicht, dass die in Tabelle 3 angegebenen Zahlen bereits die grösste Anzahl der noch durch die Wirkung der Capillarkraft beweglichen Luftblasen angeben; da es mir jedoch nur darauf ankam zu constatiren, dass zwischen den Flüssigkeiten dieser beiden Klassen ein ganz bedeutender Unterschied besteht, habe ich es unterlassen, in dieser Richtung weitere Untersuchungen anzustellen.

Betreffs der Untersuchungsmethode bei dieser Klasse von Flüssigkeiten bemerke ich noch, dass es hier bei den meisten nothwendig wurde, sie die Zeit über, bevor bei ihnen die Jamin'sche Kette auf ihre Widerstandsfähigkeit geprüft werden sollte, noch besonders vor Verdunstung zu schützen. Es geschah dies in der Weise, dass ich in beide Enden derselben einen Glycerintropfen hineinbrachte, der durch Abbrechen der betreffenden Stückchen der Röhre jederzeit leicht wieder entfernt werden konnte. Ausserdem wurden die Röhren um Temperaturschwankungen möglichst zu vermeiden nicht direct mit der Hand sondern mit einer Pincette angefasst.

Die Ergebnisse dieses zweiten Theiles meiner Untersuchung lassen sich füglich in folgende Sätze zusammenfassen:

Bezüglich ihrer Beweglichkeit in der Jamin'schen Kette lassen sich die Flüssigkeiten in 2 Klassen eintheilen, von denen die eine lauter Flüssigkeiten enthält, die, wie das Wasser, eine ziemlich beträchtliche Widerstandsfähigkeit gegen äusseren Druck besitzen, während bei den anderen die Grösse des Widerstandes der Jamin'schen Kette ganz

minimal sein kann. Wie Plateau constatirt hat, besitzen die Flüssigkeiten der ersten eine grössere Viscosität an der Oberfläche wie im Innern, während bei denen der zweiten Klasse umgekehrt die Viscosität der Oberfläche eine kleinere ist als die des Innern. Die von Nägeli aufgestellte Theorie, dass die Unbeweglichkeit der Jamin'schen Kette bei Wasser in einer grösseren Viscosität der Oberfläche ihren Grund hat, findet also durch die von mir angestellten Versuche ihre volle Bestätigung.

Bot. Institut der königl. landwirthschaftl.  
Hochschule in Berlin.

---

## 54. J. Reinke: Die optischen Eigenschaften der grünen Gewebe und ihre Beziehungen zur Assimilation des Kohlenstoffs.

Eingegangen am 19. October 1883.

---

Die Reduction der Kohlensäure, das Fundament aller Lebensvorgänge, ist eine Function des Lichts und des Chlorophylls lebender Zellen; eine wirkliche Einsicht in diesen Process hat deshalb zur Voraussetzung die Kenntniss der Beziehungen zwischen Licht und Chlorophyll, unter denen die optischen Eigenschaften des Chlorophylls lebender Zellen voranstehen.

Wenn wir daran gehen, das optische Verhalten des Chlorophylls in lebenden Geweben festzustellen, müssen wir die optische Wirkung der übrigen Bestandtheile der Gewebe mit in den Kauf nehmen, weil sich das Chlorophyll von diesen nicht trennen lässt. Allein da z. B. in einem rein grünen Blatte die übrigen Theile aus farblos-durchsichtigen Substanzen bestehen, können wir dieselben der optischen Wirkung des Chlorophylls gegenüber vernachlässigen. Zudem wissen wir aus vorhandenen Untersuchungen über die Transparenz farbloser Gewebe,<sup>1)</sup> dass ihre Lichtabsorption im Allgemeinen derjenigen des Chlorophylls ähnlich, aber weit schwächer ist, während scharf begrenzte Absorptionsmaxima fehlen, so dass sie neben der Absorption des Chlorophylls

---

1) Vgl. Sachs, Ueber die Durchleuchtung der Pflanzentheile. Sitzber. d. W. Acad. Bd. 43, S. 265 ff, 1861.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Zimmermann Albrecht

Artikel/Article: [Ueber die Jamin'sche Kette 384-395](#)