© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Mitteilungen.

45. A. Ursprung: Dritter Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion.

(Mit Tafel XV.)

Eingegangen am 29. Juli 1916.

Im Jahre 1913 habe ich eine einfache Versuchsanordnung beschrieben[1]), die in der Vorlesung im Verlaufe weniger Minuten die Kohäsion fließenden Wassers überzeugend zu demonstrieren erlaubt. Über einem kapillaren Steigrohr aus Glas war ein Verdunstungskörper aus künstlichem porösem Material befestigt, der seinen Wasserbedarf aus dem Kapillarrohr deckte und dadurch Quecksilber in kurzer Zeit bedeutend über das Barometerniveau emporhob. Die Verhältnisse in der Pflanze waren hier soweit nachgeahmt, als dies bei einem einfachen, rein physikalischen Demonstrationsapparat leicht möglich erschien. Später[2]) verwendete ich als Verdunstungskörper ein *Thuja*-Holzstück und ersetzte damit die künstliche poröse Substanz durch imbibierte Zellwände, wodurch der Apparat für die Physiologie an Interesse gewonnen hatte. Aber auch diese Anordnung ließ noch mehrfach zu wünschen übrig: 1. bestand der Apparat nicht ausschließlich, sondern nur zum Teil aus pflanzlichem Material, 2. war der Zweig nicht im lebenden, natürlichen Zustand, sondern er hatte eine besondere Präparation erfahren, 3. ließ sich die Methode auf gefäßführende und interzellularenreiche Pflanzen nicht anwenden.

Besser näherte sich den natürlichen Verhältnissen eine schon früher beschriebene Modifikation[3]), bei welcher ich einen lebenden, beblätterten *Thuja*-sproß über dem Steigrohr befestigt hatte. Auch hier stieg das Quecksilber über Barometerhöhe. Die Handhabung war jedoch weniger einfach und eine Demonstration in der Vorlesung nicht zu empfehlen; zudem enthielten die Leitungsbahnen

1) A. URSPRUNG, Zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 31, S. 388; 1913.

2) A. URSPRUNG, Zweiter Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion. Diese Berichte Bd. 33, S. 253; 1915.

3) A. URSPRUNG, Über die Bedeutung der Kohäsion für das Saftsteigen. Diese Berichte Bd. 31, S. 401; 1913.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zum Teil ausgekochtes Wasser an Stelle des natürlichen Inhaltes. Über eine Abänderung dieses Apparates hat kürzlich Jost[1]) berichtet; als Versuchsmaterial waren aber auch nur Coniferen brauchbar und der Aufstieg erfolgte ebenfalls in einem Glasrohr.

Ohne weitere Präparation ist die Kohäsion des Wassers im Farnannulus nachweisbar[2]) und erreicht zudem weitaus die höchsten Werte, die bisher experimentell erhalten worden sind (ca. 300 Atm.). Es handelt sich hier aber um ruhendes Wasser und nicht um einen leicht überzeugenden Vorlesungsversuch. Außerdem besitzt dieses für den Farnannulus so wichtige Resultat für das Saftsteigen und selbst für andere Öffnungsmechanismen nicht das gleiche Interesse, denn von entscheidender Bedeutung ist nicht die Kohäsion, sondern die Blasenbildung. Selbst eine Kohäsion von Tausenden von Atmosphären könnte, trotz ihrer physikalischen Wichtigkeit, dem Physiologen nichts helfen, wenn aus irgendeinem andern Grunde dennoch Blasen auftreten. Dieser andere Grund ist aber tatsächlich vorhanden, und so erfolgt denn die Blasenbildung in Glasgefäßen gewöhnlich bei relativ kleinen Zugspannungen; in *Equisetum*sporangien und verschiedenen Coniferentracheiden sah ich Blasen über bedeutend verdünnterer Schwefelsäure entstehen als im Annulus. Diese Versuche wurden schon vor $1^1/_2$ Jahren zusammen mit den Annulusexperimenten ausgeführt, aber noch nicht publiziert, da ich damals nur feststellte, daß zur Blasenbildung ein Zug ausreicht, der kleiner als 24 bzw. 17 Atm. ist. Genauere Angaben sollen in anderem Zusammenhang erfolgen.

Eine neue Versuchsanordnung erschien daher wünschenswert, welche die Kohäsion fließenden Wassers in den Gefäßen der Angiospermen überzeugend zu demonstrieren erlaubt und wenn möglich auch als Vorlesungsexperiment benützt werden kann. Um das Steigrohr zu vermeiden und das Quecksilber in der Pflanze selbst über Barometerniveau heben zu können, sind Objekte mit langen Gefäßen nötig; dadurch werden auch die sonst so störenden Interzellularen bedeutungslos. Da es für einen Demonstrationsversuch erwünscht ist zu jeder Jahreszeit geeignetes Material zu finden, habe ich mit toten und lebenden Pflanzen operiert. Letztere

---

[1]) L. Jost, Versuche über die Wasserleitung in der Pflanze. Zeitschr. f. Botanik. 8. Jahrgang, S. 38; 1916.

[2]) A. Ursprung, Über die Kohäsion des Wassers im Farnannulus. Diese Berichte Bd. 33, S. 153; 1915.

Renner, O., Theoretisches und Experimentelles zur Kohäsionstheorie der Wasserbewegung. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 56, S. 617; 1915.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

besitzen natürlich das größere Interesse, erstere sind aber stets leicht erhältlich.

Versuche mit toten Lianen.

Durch *Calamus*-sprosse von 5 Meter Länge, die an dem einen Ende in Wasser tauchen, an dem andern mit einer Druckpumpe in Verbindung stehen, kann man leicht Luft pressen und damit das Vorhandensein langer Gefäße demonstrieren. Ausgehend von diesem beliebten Vorlesungsversuch wählte ich zu der ersten Serie von Experimenten *Calamus*, und zwar, um die Verdunstung möglichst zu erleichtern, entrindete Sprosse. Die käuflichen Rohrstücke sind gänzlich ausgetrocknet, führen also in allen Gefäßen Luft. Um dieselbe zu verdrängen, verwendete ich im Prinzip das schon früher beschriebene Verfahren: Behandlung mit heißem, luftfreiem Alkohol[1]) und darauf mit heißem, luftfreiem Wasser. Statt jedoch diese Flüssigkeiten durchzusaugen, genügt es hier sie aus einem höher stehenden Gefäß einfach durch das Rohrstück filtrieren zu lassen. Um einen seitlichen Austritt der Flüssigkeit aus dem entrindeten Rohr nach Möglichkeit zu verhindern ohne die Verdunstung zu benachteiligen ist es zweckmäßig, die peripheren Gefäße am oberen Ende des Rohres durch einen geeigneten Kitt, z. B. Plastizin, zu verstopfen. Nachdem auf diese Weise die Gefäße mit Wasser gefüllt sind, müssen sie oben verschlossen und unten in Quecksilber getaucht werden. Das geschieht am zweckmäßigsten in der Weise, daß man das Stämmchen noch während der Wasserfiltration mit der unteren Schnittfläche unter Quecksilber taucht und hierauf das obere Ende zwischen den Backen eines Schraubstockes so stark als möglich zusammenpreßt. Dieser Verschluß, der erfahrungsgemäß ausreicht, hat neben seiner Einfachheit noch den Vorteil, daß der Gefäßinhalt nicht mit Kittsubstanzen oder anderen Fremdkörpern in Berührung kommt. Um ein rasches Steigen des Quecksilbers zu ermöglichen, muß natürlich alles überschüssige Wasser (an der Außenseite der Liane, über dem Niveau des Standgefäßes) entfernt werden. Die Untersuchung des Inhaltes der Gefäße erfolgt entweder durch Zerschneiden des sorgfältig horizontal gelegten Stämmchens oder aber, sofern eine entsprechende Einrichtung zur Verfügung steht, mit Röntgenstrahlen[2]). Von den zahlreichen Versuchen sei einer kurz beschrieben.

---

1) Auch längeres Filtrieren von kaltem Alkohol hatte guten Erfolg.

2) Herrn Prof. Dr. P. JOYE und Herrn CH. JOYE spreche ich für die Überlassung des Instrumentariums und gütige Hilfeleistung meinen besten Dank aus.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ein 1 Meter langes, 1 cm dickes, entrindetes Rohrstück wurde nach längerer Vorbehandlung mit Alkohol und kochendem Wasser nachmittags 3 Uhr vor der Röntgenröhre vertikal aufgestellt. Nach drei Stunden ließ sich mit Hilfe des Bariumplatincyanyr-Schirmes in keinem Gefäß Quecksilber nachweisen. Am folgenden Morgen (9 Uhr) war das Quecksilber in manchen Gefäßen am oberen Ende aufzufinden. Der Aufstieg war jedoch noch nicht beendigt, denn in einem weiteren, zentralen Gefäß befand sich der Hg-meniskus in 65 cm Höhe und bewegte sich in 10 Minuten um 25 cm aufwärts. Eine an dieser Stelle, also in 75 cm Höhe ausgeführte Photographie ist in Fig. 1 Taf. XV wiedergegeben. Sie zeigt ungefähr in der Mitte des Sprosses als kontinuirlichen breiten schwarzen Strich den Quecksilberfaden, dessen Steiggeschwindigkeit wir gemessen hatten. Links und rechts davon finden sich engere Gefäße, welche Quecksilber weit höher hinauf führen aber in zerrissenen Säulchen. Das Quecksilber stieg also in den peripheren Gefäßen bedeutend rascher aber nicht als kontuierlicher Faden. Die Ursache für die raschere Bewegung in den peripheren Partien ist eine mehrfache: einmal setzt hier die seitliche Wasserabgabe durch Verdunstung früher ein als im Zentrum, dann sind die in Betracht fallenden Bahnen in diesem Rohrstück an der Peripherie enger, was ceteris paribus eine größere Geschwindigkeit bedingt und endlich sind die dünnen Fäden gerissen, wodurch das zu hebende Gewicht geringer wird. Daß das Reißen vornehmlich in den dünneren Gefäßen erfolgt, ist zweifellos durch den größeren Reibungswiderstand bedingt. Messen wir den Widerstand durch die zu seiner Überwindung nötige Kraft, so ist nach POISEUILLE der Widerstand umgekehrt proportional der vierten Potenz des Radius. Die Gefäße sind aber nicht nur relativ eng, sondern besitzen auch rauhere Wände als die früher benützten Steigröhren. Wie man aus der Photographie ersehen kann, sind die kurzen, im vertikalen Gefäße hängenden Quecksilberfadenstücke vielfach am unteren Ende etwas verdickt.[1]) Dies mag eine Wirkung der Schwerkraft sein, doch sind auch noch andere Ursachen denkbar. Da die Röntgenstrahlen bekanntlich Schattenbilder geben und die Platte dem Stämmchen dicht angelegt war, so ist aus der Photographie auch die Dicke der Quecksilbersäule und damit annähernd die Weite des Gefäßes zu entnehmen. Dieselbe betrug für die kontinuierliche Säule etwas über 0,4 mm, was mit direkten Messungen übereinstimmt. Die wichtigste Frage, ob die im oberen Teil photographierte Quecksilbersäule ohne Unterbrechung bis an das untere Ende des Stamm-

1) Anm. bei der Korrektur. Die Tafel zeigt dies leider viel weniger deutlich als das Original.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

stückes kontinuierlich weiter lief, ist, soweit sich das beurteilen ließ, mit ja zu beantworten. Bei dünnen Quecksilberfäden sind kurze Unterbrechungen auf dem Bariumplatincyanyr-Schirm allerdings nicht mit Sicherheit zu erkennen; dagegen ist bei einem dicken Faden, wie er hier vorliegt, das Übersehen einer Rißstelle kaum anzunehmen. Der ganze Faden sah auf dem Schirm genau so aus, wie die obere photographisch wiedergegebene Strecke und damit ist der Schluß berechtigt, daß der Rest sich nicht anders verhielt. Absolute Sicherheit bringt allerdings nur die Photographie der ganzen Quecksilbersäule.

Wo keine Röntgeneinrichtung zur Verfügung steht und eine genauere Untersuchung nicht beabsichtigt ist, wird man sich am einfachsten darauf beschränken Quecksilber in ca. 1 Meter Höhe nachzuweisen. Das gelingt sehr leicht, wenn man das sorgfältig vorbehandelte Stammstück, das mit dem untern Ende in Quecksilber taucht, etwa 24 Stunden lang transpirieren läßt und dann vorsichtig horizontal legt. Aus der abgeschnittenen Spitzenpartie kann man durch Ausklopfen leicht Quecksilber aus zahlreichen Gefäßen erhalten.

Die mir zur Verfügung stehenden berindeten Rohrstücke sind für derartige Versuche nicht zu empfehlen, da bei ihnen die Verdunstung zu langsam vor sich geht.

Versuche mit lebenden Lianen.

Eine über 5 Meter lange, oben reich beblätterte *Clematis Vitalba* wurde Ende Juni ohne Lostrennung von den Wurzeln im Walde zusammengerollt, in ein neben der Pflanze gegrabenes Loch gelegt und mit feuchter Erde zugedeckt. Während mehrerer vorhergehender Tage war viel Regen gefallen. Nach 2×24 Stunden schnitt ich die Basis des Stämmchens unter ausgekochtem Wasser ab und tauchte sie, unter Verhinderung von Luftzutritt[1]), sofort in Quecksilber. Nach dem Ausgraben und Übertragen ins Laboratorium wird der Sproß von der anhängenden Erde befreit[2]), an einem Stativ vertikal aufgerichtet und vor die Röntgenröhre gebracht. $1^1/_2$ Stunden nach dem Eintauchen in Quecksilber ist letzteres bereits 1,60 Meter hoch im Stämmchen deutlich nachweisbar (Bariumplatincyanyr-Schirm). Bis zu einer Höhe von 1,4 Metern ließ sich in mehreren Gefäßen mit Hilfe des Schirmes keine

1) Die Übertragung in das Quecksilbergefäß erfolgt mittelst ca. 2 cm hohen Zylindergläschens, an dem ein Draht befestigt ist.

2) Dies ist nötig um ein klares Röntgenbild zu erhalten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Unterbrechung der Quecksilbersäule erkennen, womit eine absolute Sicherheit für deren Kontinuität allerdings noch nicht gegeben ist. Daneben fanden sich auch mehrfach zerrissene Fäden. (Fig. 2 Taf. XV) Zahlreiche weitere Versuche führten zu ähnlichen Resultaten, so daß sie zusammen besprochen werden können.

Steighöhe. In meinen früher publizierten Experimenten mit der Filterkerze stieg das Quecksilber mehr als 81 cm über Barometerniveau und machte hier oft jedenfalls nur deshalb Halt, weil es am oberen Ende des Apparates angelangt war. Bei den seitherigen vielfachen Wiederholungen habe ich keine längere Steigröhre verwendet und auch auf die Elimination des Atmosphärendruckes auf das untere Steigrohrende keinen Wert gelegt. Zur überzeugenden Demonstration der Kohäsion fließenden Wassers reicht eine Steighöhe von über 1 Meter vollständig aus und jede Komplikation des Apparates kann die Einfachheit und Uebersichtlichkeit eines Vorlesungsversuches nur beeinträchtigen. Der tote *Thuja*holzzylinder hatte das Quecksilber mehr als 135 cm über Barometerniveau gehoben, der lebende *Thuja*zweig 19 cm. Diese 19 cm bildeten, wie ich schon früher bemerkte, einen rein zufälligen, durch die Länge des Steigrohres bedingten Grenzwert, der bei jeder sorgfältigen Wiederholung übertroffen werden kann; tatsächlich ist JOST auch einige cm weiter gekommen. — Als ich das Quecksilber direkt in den Gefäßen aufsteigen ließ, fand ich es bei *Calamus* jeweils bis zum oberen Ende des Stammstückes vorgedrungen, d. h. in der Regel 1 Meter, in einem Falle 1,5 m. In den *Clematis*gefäßen war Quecksilber sogar in 2 Meter Höhe nachweisbar. Diese Beobachtung beweist das Vorhandensein von mindestens 2 m langen Gefäßen; für weitere Schlüsse ist es nötig zu wissen, ob die Quecksilbersäulen kontinuierlich sind oder nicht. Soweit der Schirm dies erkennen läßt, scheint in einigen Gefäßen die Kontinuität ca. 70 cm über Barometerniveau empor zu reichen, weiter hinauf waren große Risse vorhanden und in 2 m Höhe fanden sich nur noch isolierte, kurze Fadenstücke. Der Versuch eine anscheinend kontinuierliche Säule ihrer ganzen Länge nach zu photographieren glückte nicht, da der Faden zwischen der Schirmkontrolle und der nachfolgenden Aufnahme zerriß. Damit das Quecksilber in den *Clematis*gefäßen im Juni 1916 anscheinend ohne Riß über Barometerniveau stieg, war es nötig den Sproß einzugraben und längere Zeit im feuchten Boden zu lassen. Wurde dies unterlassen, der transpirierende Sproß also direkt unter gestandenem Wasser durchschnitten und wie früher in Quecksilber übertragen, so erreichte der Meniskus das Barometerniveau nicht.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Bekanntlich erzielte auch v. HÖHNEL[1]) die größten Steighöhen mit blutenden Sprossen. So schreibt er (p. 107), daß in einen blutenden Zweig von *Cornus mas* das Quecksilber 61,5 cm weit eindrang, während am 3. Juli kein Aufstieg erfolgte. (p. 111.)

Zur richtigen Beurteilung der Steighöhe muß man die Widerstände in zusammenhängenden und unterbrochenen Säulen kennen. Stellen wir ein weites Glasrohr mit dem unteren Ende in Quecksilber und saugen wir am oberen Ende mit der Pumpe, so steigt eine kontinuierliche Quecksilbersäule rund auf Barometerhöhe. Dagegen werden Luftquecksilberketten bedeutend über dies Niveau emporgehoben, was z. B. in der KAHLBAUMschen Pumpe praktische Verwendung findet. In engen Kapillaren werden die Verhältnisse etwas komplizierter. Wir wissen seit v. HÖHNELs Untersuchungen, daß die zur Bewegung nötige Kraft eine andere ist, je nachdem die Quecksilbersäule beidseitig an Luft grenzt oder unten mit einer größeren Quecksilbermasse in Verbindung steht. So war ein isolierter 13 cm langer Faden bei Luft- oder Wasserüberdruck von 35 cm unbeweglich, während in Verbindung mit dem Quecksilbergefäß der Reibungswiderstand so gut wie fehlte und neben dem Eigengewicht nur die Kapillardepression von 8 cm zu überwinden war (p. 94).

Wie hoch in *Clematis* das Quecksilber durch bloße Luftdruckdifferenzen gehoben werden kann, zeigt folgender Versuch. Ein über 1 m langes Stammstück mit frischen Schnittflächen wird an beiden Enden entrindet, vertikal gestellt und unten in Quecksilber getaucht, oben aber luftdicht mit Manometer und Pumpe verbunden. Bei Verwendung trockener Sprosse stieg das Quecksilber in mehreren Gefäßen ca. 60 cm hoch; in vereinzelten, kurzen durch lange Luftblasen getrennten Säulchen sogar bis zum oberen Ende (1,25 m). Ein wesentlich weiteres Steigen kontinuierlicher Säulen wäre auch nicht möglich, da der Barometerstand 71,3 cm, der Manometerstand 5,5 cm und die Kapillardepression mindestens 5—6 cm betrug. Die 60 cm langen Fäden wiesen jedoch meistens, wenn nicht immer Rißstellen auf. Während solche Luftquecksilbersäulen in weiten Röhren bedeutend über Barometerniveau gehoben werden, ist das hier nicht der Fall. Die Ursache mag vielleicht in einigen Gefäßen in zufällig vorhandenen Querwänden bestehen, kann aber im allgemeinen nur auf Reibungswiderstand beruhen. Dies tritt klar zu Tage, wenn wir die Pumpe abstellen und am

1) v. HÖHNEL, Beiträge zur Kenntnis der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze. Jahrb. f. wiss. Bot. 1879 p. 47.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

oberen Sproßende den Atmosphärendruck einwirken lassen; in manchen Gefäßen erfolgt dann überhaupt kein Sinken, in andern nur um einen relativ kleinen Betrag. Noch deutlicher wird die Sache, wenn wir jetzt am unteren Ende die Pumpe saugen lassen, während oben der Atmosphärendruck erhalten bleibt; selbst bei diesem bedeutenden Ueberdruck sind die meisten Quecksilberfäden unbeweglich. Verwenden wir zu diesem Versuch nicht ausgetrocknete, sondern frische *Clematis*-stämmchen, deren Gefäße Saft führen, so bleibt das Resultat im wesentlichen dasselbe. Aus der Tatsache, daß in einem *Clematis*sproß, der unten in Quecksilber taucht, der Atmosphärendruck kontinuierliche oder nur kurze Unterbrechungen aufweisende Quecksilbersäulen nicht über Barometerniveau heben konnte, folgt, daß bei dem bedeutend höheren Ansteigen solcher Säulen in lebenden transpirierenden Sprossen noch andere Faktoren hinzukommen müssen. Soweit wir die Verhältnisse kennen, kann es sich hierbei nur um den Zug des negativ gespannten Gefäßinhaltes handeln. Wir dürfen daher die eingangs gestellte Aufgabe als gelöst betrachten, wenn der Inhalt der Gefäße der natürliche geblieben ist. Nun haben wir allerdings die Sprosse unter ausgekochtem Wasser abgeschnitten, doch ist dies unbedenklich, wenn man nach Vorschrift bei Regenwetter experimentiert und den Sproß vor dem Abschneiden genügend lange gegen Transpiration schützt; wenn außerdem das Uebertragen in Quecksilber so rasch erfolgt, daß die Schnittfläche nur Bruchteile einer Minute mit dem ausgekochten Wasser in Berührung bleibt. Sollte auch etwas Wasser eingedrungen sein, so kann es sich doch nur um Spuren handeln, die für das Resultat bedeutungslos sind; dafür spricht außer der Methodik auch der Umstand, daß 20 Minuten nach dem Eintauchen der Schnittfläche unter Quecksilber, dasselbe in den Gefäßen noch nicht über das Niveau im Standgefäß aufgestiegen war. Wer jede Berührung mit Wasser vermeiden will, wird direkt unter Quecksilber abschneiden, doch sind dabei — mit Ausnahme der Blutungsperiode — Mißerfolge leichter möglich. Denn ein beblätterter in Wasser gestellter Zweig ist auch nach längerer Ausschaltung der Transpiration noch nicht vollständig gesättigt, so daß infolge des Abschneidens und der Kapillardepression eine Blasenbildung zwischen Saft und Quecksilber nicht ausgeschlossen ist.[1]) Daß der Versuch nicht glückte, als ich zwar unter Wasser abschnitt, aber das Eingraben (Juni Regenwetter) unterließ, wird auf dem Fehlen der nötigen kontinuierlichen Säulen beruhen; dabei

1) Vgl. einen Versuch mit Glaskapillaren. Diese Berichte 1913 S. 409.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

kann die Unterbrechung schon in der intakten Pflanze entstanden gewesen sein oder erst beim Abschneiden zwischen Saft und Wasser bzw. später zwischen Wasser und Quecksilber sich gebildet haben. Auf dieselbe Ursache sind offenbar auch die negativen Resultate meiner früheren Experimente mit *Quercus*[1]) zurückzuführen. Zu erwähnen ist an dieser Stelle auch die folgende Beobachtung. In einem vorher eingegrabenen *Clematis*sproß wurde das Quecksilber in einem bestimmten Gefäß 90 cm hoch gehoben und blieb dann stehen; als nach einigen Stunden wieder untersucht wurde, war ein apikales, mehrere dm langes Fadenstück weiter gestiegen, das basale aber in Ruhe geblieben. Bis zur Hebung auf 90 cm genügte der Luftdruck und die anfängliche Zugspannung. Infolge andauernder Transpiration hatte dann der Zug der gespannten Wassersäule offenbar zugenommen und reichte nun aus um das apikale Fadenstück von einem schon früher vorhandenen oder erst jetzt entstandenen Riß an höher zu heben.

Da v. HÖHNEL auch mit blutenden Zweigen operierte, so ist nach Obigem in seinen Versuchen ein Ansteigen über das korrigierte Barometerniveau apriori wahrscheinlich. Tatsächlich dürfte dies der Fall gewesen sein an einem blutenden Zweig von *Cornus mas*, in dem das Quecksilber 61.5 cm in angeblich zusammenhängender Säule emporgestiegen war. Denn alle von mir geprüften Zweige von *Cornus mas* zeigten eine Kapillardepression, welche die noch fehlende Steighöhe bei weitem übertrifft. Hiernach hätte also schon v. HÖHNEL im Jahre 1879 unbewußt den Beweis erbracht für das Vorhandensein zusammenhängender negativ gespannter Saftfäden in den Gefäßen abgeschnittener lebender Zweige. Ob allerdings alle Quecksilberfäden kontinuierlich waren, ist wenig wahrscheinlich. Die theoretischen Betrachtungen, auf die sich v. HÖHNEL stützt, sind nicht ausreichend, da die Röntgenbilder in entsprechenden Fällen bei *Calamus* und *Clematis* (Fig. 1—3, Taf. XV) zahlreiche Unterbrechungen aufweisen und daher in den engen *Cornus*gefäßen noch viel weniger zusammenhängende Fäden erwarten lassen. Tatsächlich habe ich auch bei der mikroskopischen Untersuchung zahlreiche Rißstellen aufgefunden.

Auf welche Zugspannungen kann man nun aus den vorliegenden Versuchen schließen? Anscheinend kontinuierliche Quecksilbersäulen waren in lebenden *Clematis*sprossen ca. 1, 0 m hoch nachweisbar. Um das Quecksilber in den *Clematis*gefäßen auf diese Höhe zu heben, muß man — nach meinen Versuchen — auf das

1) Diese Berichte 1913 S. 408

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Quecksilber des Standgefäßes einen Druck von 1,49 m ausüben. Wir können also aus der beobachteten Steighöhe eine Zugspannung von ca. 1 Atm. und natürlich auch die Anwesenheit zusammenhängender Saftsäulen ableiten. Daß keine größeren Spannungen sich nachweisen ließen, das Quecksilber also nicht höher stieg, beruht nicht auf dem Vorhandensein von Querwänden; es muß daher auf Blasenbildung zurückgeführt werden, die jedoch nicht durch Ueberwindung der Kohäsion (die ja viel größer ist) bedingt sein kann. Ob die Blasen in den zusammenhängenden Saftsäulen oder zwischen Saft und Quecksilber auftreten, ist nicht zu sagen, so daß in der intakten Pflanze höhere Zugspannungen nicht ausgeschlossen erscheinen. — Zerrissene Säulen steigen weiter als 1,4 m. Für sie ist die zur Hebung nötige Zugkraft jedoch nicht so leicht anzugeben. Die Kohäsion kann natürlich nur bei der Bewegung solcher Quecksilberfäden mitspielen, welche selbst kontinuierlich sind und mit kontinuierlichen Wassersäulen zusammenhängen. Sobald in einem solchen Faden ein Riß auftritt, fällt nur noch das obere Stück in Betracht. Da nun cet. par. in meinen Sprossen kontinuierliche Quecksilbersäulen stets weniger hochgehoben wurden als Fadenstücke, so dürfen wir aus der größeren Steighöhe der letzteren nicht auf größere Zugspannung schließen.

Höhere Werte als bei *Clematis* erhielt ich bei *Cornus*. Am 22. Juli wurde ein Zweig von *Cornus mas* in Luft abgeschnitten, sofort in Wasser getaucht und ins Laboratorium gebracht. Hier stellte ich 10 cm über der alten Schnittfläche unter Leitungswasser eine neue her und tauchte sie ohne Berührung mit Luft unter Quecksilber. Am 24. Juli war das Quecksilber bei vertikaler Stellung des Zweiges in einigen Gefäßen bis 45 cm hoch gestiegen. Da der Barometerstand ca. 71 cm, die Kapillardepression bis 170 cm betrug, so gelangen wir zu Zugspannungen von ca. 2 Atm. Im Vergleich zu den Apparaten mit Steigrohren aus Glas, ist in den pflanzlichen Leitungsbahnen die Kontrolle der Quecksilbersäulen schwieriger; sie sind nicht direkt sichtbar und fallen bei Rißbildung nicht oder nur wenig nach unten. Wer über lebendes Material verfügt, dessen Gefäße bei ausreichender Länge noch weiter sind als bei *Clematis*, wird dasselbe vorziehen. Denn wenn enge Gefäße (*Cornus*) auch höhere Werte liefern können, so eignen sie sich doch weniger zur Demonstration vor physikalisch wenig geschulten Hörern. Natürlich brauchen die Zugspannungen in einem abgeschnittenen, in Wasser gestellten Zweig nicht die oben gefundenen Werte zu erreichen, da in unseren Versuchen der Wassernachschub durch die Schnittflächen unmöglich war.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Steiggeschwindigkeit. In den Apparaten mit kapillarem Steigrohr aus Glas hängt sie vornehmlich von physiologisch bedeutungslosen Faktoren ab. Bei *Calamus* und im beblättertem *Clematis*proß, wurde sie im Dunkelzimmer, ohne Ventilator ermittelt, durch Verfolgung des Quecksilbermeniskus auf dem Bariumplatincyanürschirm. Daß der Aufstieg in verschiedenen Gefäßen desselben Sprosses verschieden rasch erfolgt, ist mit Hilfe des Schirmes schon bei oberflächlicher Beobachtung zu erkennen. *Calamus* ergab für ein weites Gefäß 25 cm in 10 Minuten. Bei *Clematis Vitalba* war in einem bestimmten Falle in der Nähe der unteren Schnittfläche die Geschwindigkeit während der 10 Minuten dauernden Beobachtung gleichmäßig und zwar 3,5 mm pro Minute Eine Stunde später sah ich in 1,5 m Höhe ein isoliertes, kurzes Fadenstück in 1 Minute 5,5 cm zurücklegen. Diese große Differenz kann nicht von dem verschiedenen Gefäßdurchmesser herrühren, da derselbe annähernd gleich war.

Bei gleicher Gefäßweite und gleich langen, kontinuierlichen Quecksilbersäulen ist eine verschiedene Steiggeschwindigkeit auf mehrere Arten denkbar. Einmal muß sie entstehen, wenn den verschiedenen Gefäßen nicht dieselben Wassermengen entzogen werden; sie wird aber auch bei gleichem Wasserentzug auftreten, wenn die einen Gefäße Blasen enthalten, die anderen nicht. Bei dem erwähnten raschen Steigen des kurzen Fadenstückes dürfte sowohl die geringere Reibung, als auch der — infolge andauernder Transpiration und fehlender Absorption — gesteigerte Wasserentzug aus dem Gefäß mitgespielt haben. Schon früher [1]) zeigte ich an einem Apparat mit Steigrohr aus Glas, daß cet. par. die plötzliche Verkürzung der Quecksilbersäule eine plötzliche Steigerung der Geschwindigkeit zur Folge hat. An derselben Stelle wies ich ferner ein Sinken der Geschwindigkeit bei Zunahme der Steighöhe nach. Letzteres ist auch beim Eindringen des Quecksilbers in die *Clematis*-gefäße zu erwarten, doch fehlen entsprechende Messungen. Konstatiert habe ich nur, daß die Geschwindigkeit des Meniskus oft auf Null sinkt bevor eine Querwand erreicht ist. Entweder wurde hier die momentan erreichbare Zugspannung der Wassersäulen durch den Bewegungswiderstand des Quecksilberfadens äquilibriert, oder es trat im Safte Blasenbildung auf. Beide Fälle glaube ich beobachtet zu haben. Wenn z. B. der bereits bedeutend über Barometerniveau befindliche Meniskus nach einer gewissen Ruhezeit wieder weiter-

1) A. URSPRUNG, Zweiter Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion. Diese Berichte 1915 S. 259.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

stieg, so hatte offenbar die Zugspannung der Wasserfäden wieder zugenommen. Wenn dagegen das Steigen, trotz fehlender Querwand und fortdauernder Transpiration für immer aufhört, so scheint mir das nur durch Blasenbildung erklärbar zu sein. In einer Glaskapillare fällt der Meniskus plötzlich und stark im Momente der Rißbildung; für pflanzliche Gefäße liegen mir keine Beobachtungen vor; jedenfalls könnte es sich, wegen des Filtrationswiderstandes nur um eine schwächere Fallbewegung handeln.

Was nun die Ursache der Blasenbildung betrifft, so kommt nach meinen bisherigen Erfahrungen die Kohäsion nicht in Betracht. Nach früheren Versuchen, die bereits eingangs erwähnt wurden, treten im Farnannulus, Equisetensporangium und verschiedenen Koniferentracheiden die Blasen bei stark abweichenden Zugspannungen auf, obwohl die Zellen gleichzeitig mit Wasser aus der gleichen Flasche gefüllt wurden, das zweifellos dieselben physikalischen Eigenschaften besaß. Außerdem erhielt ich mit dem Farnannulus annähernd dieselben Resultate gleichgültig ob luftarmes oder kohlensäurereiches Wasser zur Füllung seiner Zellen gedient hatte. Daraus folgt, daß nicht die Kohäsion, sondern ein anderer Faktor maßgebend ist. Natürlich ist bei fehlender Kohäsion auch keine Zugspannung möglich und eine negative Spannung von 300 Atm. kann nur auftreten, wenn die Kohäsion mindestens denselben Wert erreicht. Da jedoch die Blasenbildung in der Regel bei viel geringeren Spannungen erfolgt, so gibt die Kohäsion nicht den Ausschlag.

Die Geschwindigkeit, mit der Quecksilber im abgeschnittenen Sproß aufsteigt, erlaubt natürlich keinen Schluß auf die Geschwindigkeit der im abgeschnittenen, in Wasser stehenden Sproß erfolgenden Wasserhebung. Letztere ist mit unserer Methode am besten dadurch zu finden, daß man statt Quecksilber eine Lösung von Uranylnitrat aufsteigen läßt. Daß dadurch eine genügende Absorption erreicht werden kann zeigen Fig. 4 und 5, die Röntgenphotographien zweier *Calamus*sproße, von denen der eine (5) Uranylnitrat aufgenommen hatte, der zweite (4) nicht. Feinere Aufschlüsse, z. B. über Ort und Zeit des Auftretens mikroskopisch kleiner Blasen, sind jedoch mit Röntgenstrahlen nicht zu gewinnen, da diese keine Brechung zeigen und somit keine optischen Bilder liefern.

Zur Messung der Gefäßlänge wird die Quecksilberinjektion schon lange benützt. In manchen Fällen wird man sich mit Vorteil auch der Röntgenstrahlen bedienen. Besonders leicht ist hierdurch oft der Verlauf der Gefäße festzustellen, worüber man Fig. 2 und 3 vergleichen wolle.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Will man endlich demonstrieren, daß in Zellen und Tonometern die Zugspannung längere Zeit erhalten bleibt, vgl. JOST. (l. c.) so kann man folgendermaßen verfahren.

Wenn wassergefüllte Annuli in Zimmerluft austrocknen, so springen sie bekanntlich unter Blasenbildung. Bringt man dieselben wassergefüllten, blasenfreien Annuli in die früher [1]) beschriebenen Exsikkatoren über H_2SO_4 vom spez. Gew. 1,160 so krümmen sie sich (nach Versuchen aus dem Jahre 1914) halbkreisförmig zurück, springen aber nicht. Diese Rückkrümmung bleibt stunden- und tagelang erhalten. Solange dabei die Wand ihre Elastizität beibehält, muß natürlich auch die Zugspannung des Wassers erhalten bleiben. Mit der Zeit verliert die Wand allerdings die anfänglichen physikalischen Eigenschaften, gewinnt sie aber nach Einlegen in Wasser wieder zurück. Dieser Versuch gelingt stets mit Sicherheit, dürfte aber einen physikalisch ungeschulten Hörer nicht so leicht überzeugen.

An meinen Tonometern hatte ich schon früher die Beobachtung gemacht, daß die über Barometerniveau gehobene Quecksilbersäule bei Unterdrückung der Verdunstung stehen bleibt. Zur näheren Prüfung ließ ich kürzlich in einem Tonometer mit kapillarem Glassteigrohr und Verdunstungskörper aus entrindetem *Thuja*zweig [2]) den Hg-meniskus 90 cm hoch steigen (Barometerstand ca. 71 cm). Darauf wurde über den Zweig ein Reagensglas gestülpt, so daß nur noch eine ganz schwache Verdunstung möglich war. Von 90 cm Steighöhe am 6. Juli erhob sich der Hg-meniskus bis zu 107 cm am 11. Juli und behielt diese Stellung unter beständigen Schwankungen bis zum 16. Juli bei. Bei der Kontrolle am 17. Juli war der Meniskus unter Barometerniveau gefallen infolge Blasenbildung im wasserführenden Teil des Apparates. Am 25. Juli stand übrigens das Quecksilber immer noch 55 cm hoch. Da die Blase während meiner Abwesenheit entstand, läßt sich über Art und Ursache ihres Auftretens nichts Näheres angeben. Erwähnt sei noch, daß der Hg-meniskus auch bei Erreichung von 107 cm Steighöhe nicht ruhig blieb, sondern stets größere oder geringere, Niveauveränderungen (mehrere cm im Verlaufe eines Tages) ausführte. Für diese Schwankungen ist besonders die Temperatur von Bedeutung, wie die folgende Tabelle zeigt.

---

1) A. URSPRUNG, Über die Kohäsion des Wasser im Farnannulus. Diese Berichte 1915 S. 153.

2) A. URSPRUNG, Diese Berichte 1915 S. 254.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

	Steighöhe in cm	Lufttemperatur neben dem Verdunstungskörper.
9h 35	102,45	19,1
9h 38	98,8	22,5 } Annäherung einer
9h 40	95,2	25,2 } Flamme.
9h 42	97,6	23,0
9h 45	101,9	21,1
9h 47	103,7	20,5
9h 50	106,3	20,2
9h 52	107,3	20,1

Diese Methode ist etwas umständlicher als die vorige, aber jedenfalls überzeugender und bietet, wenn nach Vorschrift verfahren wird, keine Schwierigkeiten. *Calamus* und *Clematis* sind für diesen Zweck natürlich nicht brauchbar, da das aufgestiegene Quecksilber in den Gefäßen hängen bleibt.

---

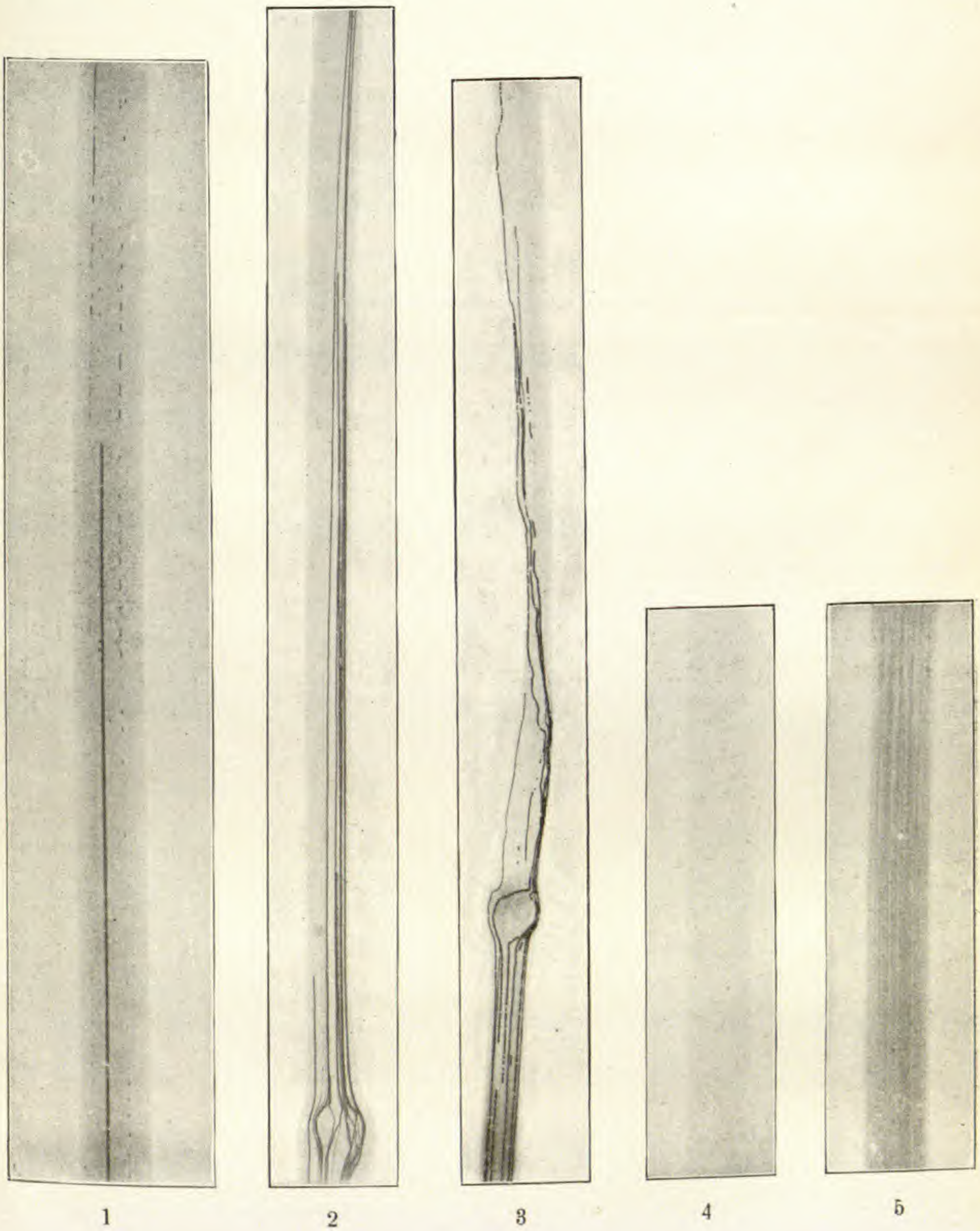
46. Theo. J. Stomps: Über Vergrünung der Blüte bei Solanum Lycopersicum.

(Mit 1 Abb. im Text.)

(Eingegangen am 7. August 1916.)

Kürzlich machte Herr H. OLIÉ, Gärtnereibesitzer in Rockanje auf der Insel Voorne in Holland, mich auf eine sehr merkwürdige Mißbildung an einer seiner Tomatenpflanzen, wie er sie nie zuvor gesehen hatte, aufmerksam. Dort, wo — zu urteilen nach einem Vergleich mit anderen Pflanzen — der erste Blütenstand aus dem Stengel hätte zum Vorschein kommen sollen, saß nun ein becherförmiges Gebilde mit einem dicken Stiel und von ansehnlicher Größe. Ich habe es, nachdem es wider unseren Willen — da wir die weitere Entwickelung gerne verfolgt hätten — durch ein Versehen eines Gärtnerburschen abgeschnitten worden war, als Ganzes photographiert und bringe die Aufnahme hier zur Darstellung. Unsere Photographie gibt das Gebilde in etwa $^3/_4$ der natürlichen Größe wieder. Die wirkliche Länge der grünen, blattartigen Zipfel, in die der Becher geteilt war, betrug im Durchschnitt 8,5 cm. Den Stiel hat man sich natürlich etwas länger zu denken, als in der Photographie dargestellt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at



1 2 3 4 5

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1916

Band/Volume: 34

Autor(en)/Author(s): Ursprung Alfred

Artikel/Article: Dritter Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion. 475-488