

Marienbad. Beide sind aber über 100 *km* in Luftlinie entfernt und ausserdem durch den Kamm des Erzgebirges getrennt. Trotzdem könnten Wasservögel die Pflanze von dorthier verschleppt haben. Jedenfalls ist auf diese interessante Schlamm-pflanze in trockenen Jahren zu achten. Vielleicht finden sich dann noch mehr Standorte in Deutschland.

80. C. Steinbrinck: Zur Kohäsionstheorie des Saftsteigens.

Mit einer Abbildung.

Eingegangen am 24. Oktober 1904.

In einer Auseinandersetzung: „Über dynamische Wirkungen innerer Spannungsdifferenzen von Flüssigkeiten und ihre Beziehung zum Saftsteigeproblem der Bäume“ habe ich im Heft I des laufenden Jahrgangs der „Flora“ S. 127 ff. einige Fragen des Saftsteigeproblems vom physikalischen Standpunkte aus zu beleuchten gesucht. Dabei musste ich auch zwei rein physikalische Kapitel, nämlich die Theorie des Hebers und der Osmose in die Erörterung einbeziehen. Meine dabei hervorgehobenen Ausstellungen an der landläufigen Theorie des Hebers haben inzwischen in der Ztschr. für den Phys. u. Chem. Unterr. von POSKE (1904, Heft 3, S. 153) durch WEINHOLD eine Kritik erfahren, die ich aber durch meine Antwort im Heft 5 dieser Zeitschrift für widerlegt halte. Dieselbe Zeitschrift wird ferner demnächst noch einen Aufsatz bringen, der für meine Auffassung der Osmose ebenfalls eine weitere, die Floraabhandlung ergänzende Begründung liefern soll.

Nach vorläufiger Erledigung dieser theoretischen Grundfragen habe ich mich nun auch bemüht, das oben genannte botanische Problem experimentell in Angriff zu nehmen. In bezug auf dieses steht seit STRASBURGER's Aufsehen erregenden Versuchen und seit ASKENASY's, DIXON's und JOLY's Bestrebungen, dieselben zu deuten, die Kohäsionstheorie bekanntlich im Vordergrund des Interesses. Zwar schien es zeitweise, als ob dieselbe durch SCHWENDENER's Manometerbeobachtungen, weil diese die Existenz kontinuierlicher Wasserfäden oder eines zusammenhängenden Wassernetzes in den Leitungsbahnen der Pflanzen ausschliessen, bereits widerlegt sei; jedoch habe ich in der Floraabhandlung darauf aufmerksam gemacht, dass die Unterbrechung der Wasserfäden durch die Versuchsanstellung selbst verursacht sein und ihre Kontinuität daher vorher im unverletzten Stamm doch vielleicht bestanden haben könnte.

Somit scheint mir eine erneute Prüfung der Kohäsionstheorie nicht zu umgehen. Da aber das Experimentieren an lebenden Gewächsen nach dem eben Gesagten zunächst keinen entscheidenden Erfolg verspricht, so dürfte es gerechtfertigt sein, dass man die Leitungsbahnen der Pflanzen durch tote Objekte nachzuahmen sucht, also etwa in Glasröhren möglichst lange und möglichst stark gespannte strömende Flüssigkeitsfäden erzeugt und ihre Existenzbedingungen, z. B. ihre Abhängigkeit von dem Betrage ihrer Spannung, von der Höhe der Temperatur, von der Enge der Lumina, sowie von dem Masse ihrer Eigenbewegung und äusserer Erschütterungen feststellt.

Vielleicht kann man hierdurch einen Aufschluss darüber erhalten, ob so überaus lange gespannte Wasserfäden, wie wir sie in hohen Bäumen nach der Kohäsionstheorie anzunehmen gezwungen wären, unter den Verhältnissen, wie sie das Pflanzenleben bietet, überhaupt bestandfähig sind.

Bei der Lösung dieser Aufgabe ist es von nebensächlicher Bedeutung, wodurch man diese strömenden Fäden hervorbringt. In der Natur ist ja wohl als erste Ursache des Wasseraufstiegs die Transpiration und die durch sie, sowie durch den Stoffwechsel erregte osmotische Betriebskraft der lebenden Zellen anzusehen. Für das Experiment kann man aber diese bewegende Kraft der Flüssigkeitssäulen durch irgend eine andere, z. B. durch den Zug einer längeren Flüssigkeitssäule in einem Heberrohr ersetzen. Diesen Weg habe ich in der Tat eingeschlagen, und zwar habe ich hierbei den Vakuumheber benutzt, den WEINHOLD auf meine Anregung hin konstruiert hat.

Die Fig. 1 stellt diesen Heber, von EMIL GUNDELACH in Gehlberg mit einer Sicherheitsvorrichtung gegen Zerschneiden ausgestattet¹⁾,

1) Dieselbe findet sich in Gestalt eines gebogenen eingeschmolzenen Glasröhrchens in der Kugel *a*. Wäre dasselbe nicht vorhanden, so würde die zugeschmolzene Spitze der Kugel bei Stößen des Bahntransportes durch das anprallende Quecksilber sehr leicht abgesprengt werden. Durch das von GUNDELACH angebrachte Glasröhrchen wird jene Stelle aber vor Stoss geschützt, und die anprallende Flüssigkeit verteilt sich, ohne Schaden zu tun, an der Wölbung der Kugel entlang. In dieser Weise ist der Apparat erst versendbar geworden. — Im Text ist nur der Quecksilberheber berücksichtigt. Selbstverständlich lässt sich der Vakuumheber aber auch mit Wasser betreiben. Ein solcher Heber funktioniert übrigens u. a. auch dann, wenn seine Schenkel beträchtliche Differenzen im Lichten haben, so dass das Übergewicht der Flüssigkeitssäulen (in Gramm gemessen) auf seiten des weiteren Schenkels liegt, obwohl dieser der kürzere ist. Da die Flüssigkeit auch in diesem Falle durch den längeren Schenkel abfließt, so liefert dieser Versuch eine interessante Ergänzung zum Gesetze der kommunizierenden Röhren von ungleicher Weite. Er zeigt, dass bei solchen Niveaugleichheit vorhanden sein muss nicht bloss, wenn die Röhren unten geschlossen und oben offen

in der Form dar, wie ihn die Gehlberger Glashütte liefert. Wie man sieht, endigt das Heberrohr unten beiderseits in ein kugeliges Gefäss und bildet mit diesem ein geschlossenes Ganze, dessen Innenraum möglichst luftleer gekocht und zum Teil mit Quecksilber und Wasser gefüllt ist. Die Zugabe des Wassers, die dem bekannten Transpirationsversuch ASKENASY's zu verdanken ist, hat den Zweck, das Quecksilber an der Glaswand stärker haften zu lassen, als es bei trockenem Metall der Fall wäre.

Um den Heber in Betrieb zu setzen, umfasse man etwa die Holzplatte, auf der er montiert ist, mit der rechten Hand so, dass der Daumen bei *c* und die übrigen Finger zwischen *d* und *e* liegen, und drehe den Apparat etwas über die wagerechte Lage hinaus, so dass die Kugel *a* nach oben kommt und die Flüssigkeit in die untere Kugel hineinläuft. Wenn man den Apparat nun vorsichtig zurückbewegt, kann man beobachten, wie der Heber trotz des fehlenden Luftdruckes ruhig weiter funktioniert, die Flüssigkeit also über den höchsten Punkt *g* hinweg nach dem tieferliegenden Gefässe gezogen wird. Dabei herrscht natürlicherweise innerhalb der Flüssigkeit die stärkste Spannung in der Nähe des Gipfels *g*, weil dort das beiderseits anhängende Gewicht am grössten ist; jedoch ist eine geringere Spannung mit nach unten abnehmender Stärke selbstverständlich auf der ganzen Länge der Säulen vorhanden. Die strömende Flüssigkeit besteht hierbei bei weitem vorwiegend aus Quecksilber; stellenweise ist aber der Metallfaden oft von Wassersäulchen unterbrochen, die, bis gegen 1 *cm* Länge, das Fliessen jedoch nicht beeinträchtigen, sondern mitwandern.



Die Maximalspannung der Flüssigkeit bei diesem Versuche hängt nun von der Länge des Hebers ab. Bei dem zuletzt gefertigten Apparat, mit dem ich operiert habe, beträgt die Länge des aufsteigenden Heberschenkels 1,50 *m*, so dass die Flüssigkeit am Gipfel des Hebers während des Fliessens einem Zuge von etwa zwei Atmosphären ausgesetzt ist. Übrigens kann man sich leicht überzeugen, dass nicht bloss das Quecksilber, sondern auch das Wasser diesen Spannungs-

sind, sondern auch bei der umgekehrten Lage derselben, wobei die Flüssigkeiten in Zugspannung stehen. Und zwar gilt dies unabhängig vom Luftdruck.

betrag aushält. Zu diesem Zwecke braucht man nur den Apparat während des Fliessens so zu neigen, dass eins der längeren mitgerissenen Wassersäulchen, die, wie oben gesagt, den Quecksilberfaden stellenweise unterbrechen, in die Biegung des Gipfels zu liegen kommt. Bei geeigneter Wahl des Neigungswinkels des Hebers kann man dann das Säulchen dort festhalten; man kann es aber auch durch Hin- und Herschwenken des Apparates nach rechts oder links über den Gipfel hinweg oscillieren lassen, ohne dass die Flüssigkeit reisst.

Dieses Ergebnis entspricht nun ungefähr der Höhengrenze von einigen 20 *m*, bis zu der STRASBURGER bei seinen Versuchen an Bäumen aufgestiegen ist. Da aber die Bäume zum Teil eine mehrfach beträchtlichere Höhe aufweisen, so ist mit der soeben mitgeteilten Erfahrung am Heber noch nicht viel erreicht; man wird die Röhrenlänge desselben noch erheblich steigern müssen, um dem Massstab der Baumriesen halbwegs zu entsprechen.

Ist damit eine Richtung, nach der diese Heberversuche eventuell fortzuschreiten haben, gekennzeichnet, so sind in dieser Hinsicht noch eine Reihe anderer Gesichtspunkte zu erwähnen. Zunächst ist zu beachten, dass das Funktionieren der bis jetzt hergestellten Heber in hohem Grade von der Temperatur bedingt ist. In einem stark geheizten Zimmer, ja schon bei ungefähr 20° C., gelingt es oft nicht, den Heber senkrecht aufzurichten, ohne dass der Faden reisst. Diese Tatsache fällt aber sehr ins Gewicht, wenn man bedenkt, dass nach PFEFFER (Pflanzenphys. II, 1904, S. 849) die Innentemperaturen von Bäumen bis auf 40° C. steigen sollen. Ferner ist der Vakuumheber aber auch schon bei kühlerer Temperatur gegen gewisse Stösse empfindlich.¹⁾ Man darf zwar selbst den langen Heber von über 1½ *m* während des Fliessens an der obersten Öse aufhängen und um diesen Drehpunkt pendeln lassen; man darf ihn auch in freier Hand hin- und herwiegen, ja oft selbst so kräftig schütteln, dass die Flüssigkeit in den Kugeln spritzt und klirrt; dagegen verträgt der Heber einen kurzen „harten“ Anstoss, namentlich einen Längsruck

1) Diese Empfindlichkeit erschwert oft das freihändige Experimentieren mit den langen Hebern, namentlich wenn die Hand nicht ganz „sicher“ ist. In solchen Fällen empfiehlt es sich, den Heber mit dem gerundeten unteren Ende seines Tragbrettes mit Tuch- oder Filzunterlage auf einen Tisch zu stützen und wie eine Wiege auf diesem abwärts zu neigen und wieder aufzurichten. Oder man hängt den gefüllten Heber mit seiner Öse an einem Nagel auf, der zur Verminderung der Reibung mit einer beweglichen Holzrolle umgeben ist, hebt das untere Ende so hoch, dass die Flüssigkeit aus dem oberen Gefässe *a* in das untere laufen kann und lässt ihn dann, indem man das Brett mit der Rechten in der Gegend von *b* fasst, mit sanftem Schwunge herab.

meist nicht; vielmehr reisst dann gewöhnlich der Faden, was ja in Anbetracht der heftigen Windstösse, denen die Blattstiele und Zweige oft ausgesetzt sind, von erheblicher Bedeutung ist.

Nun darf man aber andererseits nicht ausser acht lassen, dass die bisherigen Versuche nur mit Heberrohren angestellt sind, die im Lichten 1,5—2,3 *mm* messen, dass aber WEINHOLD einen deutlichen Einfluss der Lumenweite auf den Betrieb der „Überheber“ (so genannt, weil ihre Hubhöhe die barometrische Grenze überschreitet) konstatiert hat. Er fand nämlich, dass Heber, die bei 2 *mm* Lumenweite sicher arbeiteten, versagten, wenn das Lumen grösser genommen war. Auch aus theoretischen Gründen lässt sich ja mutmassen, dass die Kohäsion der Flüssigkeiten in engen Röhren weit mehr gesichert ist als in weiten.

Hiernach ist es denkbar, dass enge Kapillarröhren auch die Temperaturen und die Erschütterungen, denen der lebende Pflanzenkörper ausgesetzt ist, vertragen. Somit scheint also der Weg, auf dem die besprochenen Versuche fortzuschreiten haben, gekennzeichnet. Man hat mit engen Kapillarröhren zu operieren und mit diesen zu immer grösseren Höhen aufzusteigen. In dieser Richtung denke ich vorzugehen, wenn die mir zur Verfügung stehenden Mittel es gestatten.

Bei der Beurteilung solcher Versuchsreihen ist allerdings noch ein Umstand in Betracht zu ziehen, der bisher mit Stillschweigen übergangen ist. Vielleicht hat sich aber einer oder der andere Leser schon selbst gefragt, ob nicht die Substanz der Wandungen, von denen die gespannten Fäden der Flüssigkeit umschlossen werden, auf den Ausfall der Versuche von Einfluss sein dürfte. Und diese Frage scheint mir in gewisser Beziehung, vom theoretischen Standpunkte aus, als Antwort ein Ja zu beanspruchen. Um dies klarzulegen, möchte ich wieder ein Experiment VAN DER MENSBRUGGHE's heranziehen, der sich um die Theorie gespannter Flüssigkeiten überhaupt sehr verdient gemacht hat (vgl. zwei andere Experimente von VAN DER MENSBRUGGHE in POSKE's Ztschr. l. c. S. 279). Derselbe stellte nämlich einen Heber aus zwei Glasröhren her, die in der Nähe der oberen Biegung durch einen Kautschukschlauch mit seitlicher feiner Öffnung verbunden waren, und beobachtete, wie die äussere Luft durch dieses Loch mit zischendem Geräusch eindrang und von dem vorbeiströmenden Wasser im Heber in glänzenden Perlenreihen mitgerissen wurde¹⁾.

1) Bullet. de l'Ac. Roy. de Belgique 1889, S. 10. Der Versuch lässt sich sehr leicht wiederholen. Man durchbohrt den Schlauch mit einer dicken Nadel. Anfänglich bleibt die Öffnung durch die Elastizität ihrer Kautschukränder geschlossen,

Die Erklärung hierfür liegt auf der Hand. Der Saugvorgang beruht auf dem Unterdruck (dem Dehnungszustande), der in jedem Heberquerschnitt nach Massgabe des anhängenden Gewichtes vorhanden ist, und den VAN DER MENSBRUGGHE eben auf die angegebene Weise hat anschaulich machen wollen. Unzweifelhaft würde infolge dieses Unterdruckes statt der Luft auch ebensogut Wasser eingesogen werden, wenn man den oberen Teil des Hebers, während die Flüssigkeit in ihm strömte, etwa mittels einer porösen Scheidewand mit einem kleinen Wasserbehälter in Verbindung setzte, dessen Inhalt unter normalem Drucke stände.

Möglicherweise ist aber eine analoge Einrichtung im Pflanzenkörper verwirklicht. Wenn man nämlich die Annahme festhält, dass die Stabilität gespannter Flüssigkeitssäulen mit der Enge des Lumens zunimmt, so kann man sich leicht vorstellen, dass in einem beliebigen Zeitpunkt in den engen Leitungsbahnen solche kontinuierliche Wasserfäden noch vorhanden sind, während in weiteren unmittelbar benachbarten Gefässzügen diese Fäden in einzelne Säulen zerfallen sind, die, von ihren Menisken getragen, die kontinuierlichen Fäden reihenweise begleiten. Da diese Säulchen durch ihren Zerfall ihren negativen Spannungszustand grossenteils verloren haben, so müssten sie sich gegenüber den langgedehnten Fäden ähnlich verhalten wie unser oben angenommener kleiner Wasserbehälter zu dem Flüssigkeitsfaden des Hebers, mit dem er durch eine durchlässige Membran verbunden gedacht war, d. h. die Reihen von Wassersäulchen müssten in das engere Rohr Wasser einpressen und dadurch den Spannungszustand in demselben vermindern, somit die Gefahr des Zerreißens für seinen flüssigen Inhalt abwenden. Vielleicht könnte man vom Standpunkte der Kohäsionstheorie auch auf diese Weise zu erklären versuchen, warum die bisherigen Heberversuche mit Glasröhren für diese Theorie nicht günstiger ausgefallen sind.

Es ist hier nicht der Ort, um diese Frage weiter zu verfolgen. Ich möchte nur noch auf zweierlei aufmerksam machen, nämlich zunächst darauf, dass STRASBURGER auch mehrfach die engen Gefässe vorzugsweise als die eigentlichen Leitungsbahnen, die weiteren mehr als Wasserspeicher angesprochen hat (vgl. z. B. STRASBURGER, Leitungsbahnen S. 769), und ferner, dass die vorgetragene Vermutung in gewissem Sinne einer theoretischen Forderung entspricht, die NÄGELI und SCHWENDENER bereits 1877 im „Mikroskop“ (S. 382) ausgesprochen haben. Diese besagt nämlich, es müssten beim Aufstieg des Saftes Druckkräfte mitwirken, die auf zahlreiche einander naheliegende

sie wird aber frei, wenn man den Schlauch etwas in die Länge zieht. Geschieht das, während der Heber fliesst, so kann man den von V. D. M. beschriebenen Vorgang deutlich wahrnehmen.

Punkte im Verlaufe des ganzen Stammes verteilt seien. Das „Mikroskop“ findet es am natürlichsten, jede einzelne saftführende Zelle mit solchen Kräften auszustatten. Ob nun überhaupt ernstlich daran gedacht werden kann, statt deren oder neben ihnen den Wassersäulchen diese Rolle zuzusprechen, muss ich hier dahingestellt sein lassen. Meine Absicht war ja wesentlich nur die, die Versuchsbedingungen bei Glaswänden und Pflanzenmembranen miteinander zu vergleichen.

81. A. Zimmermann: Das Kaiserliche Biologisch-Landwirtschaftliche Institut Amani.

Eingegangen am 29. Oktober 1904.

Nachdem die Laboratorien und Wohnräume des Biologisch-Landwirtschaftlichen Instituts Amani nahezu vollendet und auch die Pflanzungen desselben bereits eine beträchtliche Ausdehnung erlangt haben, dürfte wohl eine kurze Mitteilung über die Einrichtung und Aufgaben dieses Instituts auf allgemeineres Interesse rechnen können, um so mehr als in Amani durch wohlwollende Unterstützung der Wohlfahrtslotterie auch ein Gebäude geschaffen werden konnte, das speziell zur Aufnahme von Gelehrten und Männern der Praxis bestimmt ist, die das Institut zu wissenschaftlichen Untersuchungen oder auch zu ihrer eigenen Orientierung besuchen wollen.

Um nun sogleich mit der Einrichtung dieses sogenannten „Fremdenhauses“ zu beginnen, so sei erwähnt, dass dasselbe ausser dem zur gemeinsamen Benutzung dienenden Ess- und Gesellschaftszimmer drei Logierzimmer enthält, von denen das eine mit zwei Betten versehen ist. Für Speise und Trank sorgt im Fremdenhause ein Goanese, dessen Preise durch Vereinbarung mit der Direktion des Biologisch-Landwirtschaftlichen Instituts festgesetzt sind, dessen Leistungen zwar mit denen der grösseren europäischen Hotels nicht konkurrieren können, der aber doch allen einigermaßen bescheidenen Ansprüchen gerecht werden dürfte. Sollten aber auch die Besucher von Amani an äusserem Komfort manches vermissen, so werden hierfür alle diejenigen, die Sinn für Naturschönheiten haben und ernste Studien machen wollen, sicher reichlich entschädigt. Kann man doch bereits von der Veranda des Fremdenhauses aus einen grossen Teil der Usambaraberge mit ihren prächtigen Urwäldern überblicken, zwischen denen in zwei tiefen Einschnitten die Steppe mit dem bald silber-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [22](#)

Autor(en)/Author(s): Steinbrinck Carl

Artikel/Article: [Zur Kohäsionstheorie des Saftsteigens. 526-532](#)