2,5 *mm* diametro. Perianthium viride extrinsecus patenti-pilosum, intus ad commissuras parce strigosum, in $^2/_5$—$^1/_2$ alt. coalitum, inferne 4-nerve, nervis ad lobos versus palmatim v. subramose 4—5-partitis; lobi ovato-triangulares, apice incurvati. Filamenta linearia glabra 1—1,5 *mm* longa; antherae ovatae, cr. 1 *mm* longae, apice plus minus emarginatae, sub medio affixae et usque ad insertionem bicrures; pollinis granula aquae immersa globosa, 21—24 $\mu$ diametro. Ovarium obovatum, brevissime patenti-pilosum; stigmatis lobi flavi triangulares v. triangulari-semiorbiculares. Ovula ovata, ante anthesin jam inaequalia. Fructus suboblique obovatus. sectione transversa suborbiculatus, obtusissimus, apice ipso stigmatibus coronatus, viridis sublaevis brevissime et dense albido-patenti-pilosus, 0,9—1 *cm* longus, 5,5 6 *mm* diametro, carne 1—1,3 *mm* crassa, endocarpio viridi-albescente papillas semiglobosas, conicas v. conico-lineares numerosissimas emittente. Semen subovale, 5 *mm* longum, 2 *mm* crassum, subirregulariter foveolato-exsculptum brunnescens, chalaza subfungosa, raphe filiformi tenuiter adnata.

*Habitat in terris Somalensibus, unde cel. J. M. Hildebrandt a. 1875 plantas vivas horto botanico Berolinensi misit.*

Genus dubiae sedis, nulli ex monochlamydeis familiae affine, ad interim juxta *Olacacearum* tribum *Phytocreneas* sub titulo „anomalum" collocari potest. De affinitatibus in „Jahrbuch des Königl. botanischen Gartens und botanischen Museums zu Berlin vol. III" iconibus adjectis amplius disputabo.

---

## 25. A. Zimmermann: Zur Kritik der Böhm-Hartigschen Theorie der Wasserbewegung in der Pflanze.

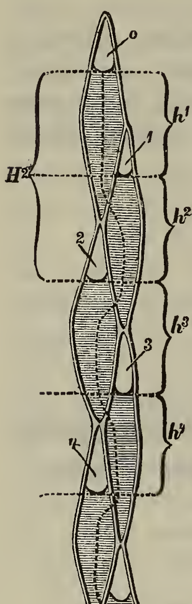
Eingegangen am 14. April 1883.

---

Nachdem durch die Untersuchungen von Elfving, Böhm, R. Hartig u. a. die Unhaltbarkeit der Sachs'schen Imbibitionstheorie immer mehr zu Tage getreten ist, scheint es, dass in neuster Zeit die sogen. Gasdrucktheorie mehr Anhänger für sich gewinnt. Dieselbe wurde bekanntlich schon vor längerer Zeit von J. Böhm aufgestellt und wird mit einigen Modifikationen auch in den neusten Publicationen R. Hartig's vertheidigt. Wenn nun auch bereits von verschiedenen Seiten das Unzureichende dieser Theorie behauptet wurde, so ist ein einfacher und zwingender Beweis dafür, soviel mir bekannt, noch nicht geliefert worden. Es sei mir daher gestattet, im Folgenden, ohne auf Versuche und Details näher einzugehen, in aller Kürze zu beweisen, dass die Gasdrucktheorie allein nicht im Stande ist, den Wasserstrom in der Pflanze in genügender Weise zu erklären.

Da scheint es mir nun zunächst von Wichtigkeit, zu entscheiden, durch welche Kraft das Wasser im Holz festgehalten wird, so dass es der Schwerkraft enthoben zu sein scheint: welche Kraft es ist, die auf der einen Seite es möglich macht, dass wir in den Tracheen und Tracheiden am Grunde eines hohen Baumes trotz der darauf lastenden Wassersäule keine merklich comprimirte Luft antreffen, die es auf der andern Seite verhindert, dass aus einem vertical gehaltenen beliebig langen Zweige, auch wenn er der Spitze beraubt ist, das Wasser nicht durch die Schwere hinausgepresst wird.

Böhm verweist in dieser Beziehung bei den Tracheen — und dies wohl ohne Zweifel mit Recht — auf die schwere Verschiebbarkeit der Jamin'schen Kette. Wenn er jedoch glaubt, dass die Länge, die die Wassersäulen besitzen dürfen, um von den Luftblasen gleichsam getragen zu werden, der capillaren Steighöhe in dem betreffenden Gefässe gleich sei, so dürfte er sich in einem kleinen Irrthum befinden; wenigstens ist mir in der Literatur hierüber nur eine Angabe bekannt geworden (in Jamin's Abhandlung), nach der die betreffende Länge etwa ein Viertel der capillaren Steighöhe betragen würde, und eine grosse Anzahl eigener Versuche mit capillaren Glasröhren, über die ich an einer anderen Stelle zu berichten gedenke, ergaben dieselbe zu ca. $\frac{1}{6}$—$\frac{1}{7}$ der capillaren Steighöhe.



Bezüglich der safterfüllten Zellen bemerkt nun Böhm ferner, genügt es, „wenn der Filtrationswiderstand der Querwand von der in jeder einzelnen Zelle enthaltenen Flüssigkeit nicht überwunden werden kann. In Folge des theilweisen Luftgehaltes der saftleitenden Tracheiden ist eine durch die Schwere bedingte Filtration der in ihnen enthaltenen Flüssigkeit völlig ausgeschlossen.“ Hartig hingegen, der nur die Tracheiden in Betracht zieht, behauptet, die Capillarität sei im Stande, das Wasser in diesen zu halten. Im weiteren Verlaufe der Abhandlung sagt er jedoch, dass wir dieser Annahme gar nicht einmal bedürften: man könnte ebenso gut annehmen, dass der Filtrationswiderstand des zarteren Theiles der Tüpfelschliessbaut gerade so gross wäre, als erforderlich sei, um die in der betreffenden Zelle auf ihr lastende Wassersäule zu tragen.

Ich glaube nun, unter Benutzung der vorstehenden Figur, die ganz nach dem Hartig'schen Schema gezeichnet ist, einen einfachen Beweis liefern zu können, dass die Capillarität hier nicht herangezogen werden kann. Es ist nämlich aus der Figur unmittelbar ersichtlich, dass wir es, wenn der Filtrationswiderstand der Membran $= 0$ gesetzt wird, in derselben mit einem zusammenhängenden Wasserfaden zu thun haben, der in der Richtung der punktirten Linien schlangenförmig verläuft. Diese ganze Wassersäule muss dann aber von dem obersten Meniscus gehalten werden, was natürlich nur so lange möglich ist, als die Länge derselben die der Weite der Tracheide entsprechende capillare Steighöhe nicht übersteigt. Diese ist aber eine zu geringe Grösse, als dass sie hier in Betracht kommen könnte.

Wir werden somit, wenn wir wenigstens die Vertheilung von Luft und Wasser in den Tracheiden, so wie sie Hartig darstellt, zugeben, zu der Annahme eines Filtrationswiderstandes in der Membran gezwungen, der mindestens gleich ist der in jeder Tracheide auf ihr lastenden Wassersäule. Ich will deshalb bei den folgenden Betrachtungen zunächst die Annahme machen, dass der Filtrationswiderstand der Membran eine Grösse besitzt, welche gleich ist der in der Zelle enthaltenen Wassersäule, ohne jedoch damit behaupten zu wollen, dass nicht auch bei den Tracheiden ähnliche Verhältnisse wie bei der Jamin'schen Kette im Spiele sein könnten.

Erörtern wir nun, wie sich unter obiger Annahme eine Längsreihe Tracheiden (s. Figur), die sämmtlich, wie im Hartig'schen Schema, am oberen Ende eine Luftblase enthalten, verhalten wird, wenn in der obersten die Luft durch Wasserentziehung verdünnt wird: Die Luftblase in der unteren Tracheide (1) wird offenbar so lange Wasser in die obere Tracheide (0) hineinpressen, bis die Spannungsdifferenz der beiden Luftblasen nur noch gleich ist der Höhe der Wassersäule, die sich über dem Meniscus in der unteren Tracheide befindet ($h^1$), vermehrt, um den Filtrationswiderstand der Membran. Denn wenn die untere Luftblase sich soweit ausgedehnt hat, dass ihre Spannung die der oberen nur noch um diese Grösse übertrifft, so verhindern ja der Filtrationswiderstand der Membran und die zu hebende Wassersäule eine weitere Ausdehnung.

Um eine gleiche Einheit zu erhalten, wollen wir nun die Spannung der Luft, anstatt durch die Quecksilbersäule, welcher sie das Gleichgewicht halten würde, durch die gleich schwere Wassersäule ausdrücken, so dass also ein Atmosphärendruck 10,3 *m* Wasser betragen würde. Die Spannung in der Luftblase 0, 1, 2 .... sei ferner mit $S^0, S^1, S^2 \ldots$ bezeichnet. Drücken wir nun den Filtrationswiderstand der Membran ebenfalls in der Weise aus, dass wir ihn der Wassersäule gleich setzen, deren Hebung eine gleiche Kraft erfordern würde wie die Ueberwindung jenes Widerstandes und bezeichnen denselben mit $w^1, w^2 \ldots$, so erhalten wir für den obigen Gleichgewichtszustand zwischen den beiden obersten Luftblasen die Gleichung:

$$S^1 = S^0 + h^1 + w^1.$$

Nach unserer obigen Annahme ist aber der Filtrationswiderstand der Membran gleich der darauf lastenden Wassersäule, mithin

$$h^1 = w^1, \text{ und folglich } S^1 = S^0 + 2\,h^1.$$

Ebenso würde sich nun die darunter liegende Luftblase (2) verhalten. In ihr würde sich die Luft so lange ausdehnen, bis der Druckunterschied zwischen den Luftblasen 0 und 2 folgender Gleichung entspricht:

$$S^2 = S^0 + 2\,(h^1 + h^2).$$

Es ist aber $h^1 + h^2$, wie aus der Figur unmittelbar ersichtlich, gleich dem Abstande der Meniscen in 0 und 2, der mit $H^3$ bezeichnet werden mag (siehe die Figur). Es ist dann also:

$$S^2 = S^0 + 2\,H^2.$$

Ebenso weiter schliessend würden wir für eine vierte Tracheide die Gleichung:

$$S^3 = S^0 + 2\,H^3$$

erhalten und für eine $n^{te}$ Tracheide die Gleichung:

$$S^n = S^o + 2\,H^n,$$

wobei $H^n$ den verticalen Abstand des $n^{ten}$ Meniscus von dem oberen bedeutet.

Man sieht also, dass die Spannung der Luft nach unten hin nothwendiger Weise immer mehr zunehmen muss; es wird aber, wenn die Reihe der Tracheiden genügend lang ist, die Bewegung einmal eine Luftblase erreichen, die nur noch so wenig ausgedehnt wird, dass sie nicht mehr im Stande ist, auf die unter ihr befindlichen Luftblasen einzuwirken. Es ist dies offenbar der Fall, wenn die Spannungsdifferenz zwischen ihr und der darunter befindlichen Luftblase geringer ist als die Wassersäule in der oberen Tracheide, vermehrt um den Filtrationswiderstand der beide trennenden Membran.

Es ist nach dem Obigen auch leicht zu berechnen, wie tief die Bewegung in einer Längsreihe von Tracheiden hinabreichen wird, wenn in irgend einer derselben die Luft um eine bestimmte Grösse verdünnt wird. Nehmen wir z. B. einmal an, dass die Tracheiden ursprünglich sämmtlich Luft von der Spannung x *cm* Wasser enthalten und dass dann die Spannung in der obersten Tracheide durch Wasserentziehung um a *cm* Wasser vermindert wird, so dass dieselbe jetzt nur noch x—a *cm* beträgt, so wird offenbar nach der Gleichung $S^n = S^o + 2\,H^n$ schon $\frac{1}{2}$ a *cm* unter dem obersten Meniscus die Spannung der Luft x *cm* Wasser betragen, d. h. der ursprünglichen Spannung gleich sein, und unterhalb dieser Grenze wird mithin keine Bewegung mehr stattfinden.

Die obigen Auseinandersetzungen lassen sich folglich in den Satz zusammenfassen, dass, wenn von einer Reihe von Tracheiden, die sämmtlich Luft von ursprünglich gleicher Spannung enthalten, in der obersten die Luft um a *cm* Wasser verdünnt wird, die dadurch bewirkte Bewegung nur $\frac{1}{2}$ a *cm* tief hinabreicht.

Hieraus geht nun aber unmittelbar hervor, dass die durch Transpiration bewirkte Luftverdünnung in der Krone hoher Bäume nicht ausreicht, um aus den Wurzeln das Wasser emporzusaugen. Denn da comprimirte Luft bis jetzt in der Pflanze noch nicht nachgewiesen ist, so können wir am unteren Ende nur Luft vom Atmosphärendruck annehmen. Die Spitze wird ferner wohl nie ganz luftleer sein; selbst wenn wir dies aber auch einmal annehmen, so ist die grösste mögliche Druckdifferenz nur 1 Atmosphäre oder ca. 10 *m* Wasser. Es kann hierdurch nach obigem Satze aber nur eine Bewegung bewirkt werden, die 5 *m* weit hinabreicht; eine Länge, die mit der Höhe unserer Bäume verglichen, ganz verschwindend ist.

Zum Schluss nur noch einige Worte über den Filtrationswiderstand der Membran. Es ist dies allerdings eine Grösse, die sich mit einiger Gewissheit auch nicht einmal annähernd bestimmen lässt. Ich will nur hervorheben, dass diese Unsicherheit an der Beweiskraft der obigen Deductionen Nichts ändert. Denn, ist der Filtrationswiderstand grösser, als wir bisher angenommen, so wird offenbar die Spannung der Luft nach unten hin noch schneller zunehmen und die Bewegung noch weniger tief hinabreichen; ist derselbe jedoch kleiner, so wird die Bewegung allerdings sich tiefer hinab erstrecken, aber selbst wenn derselbe auch ganz verschwindend klein wäre, so würde dennoch die Bewegung bei einer Spannungsdifferenz von einer Atmosphäre höchstens 10 *m* tief hinabreichen können. Denn es verwandeln sich dann die Gleichungen:

$$S^1 = S^0 + 2\,H^1;\; S^n = S^0 + 2\,H^n$$

in die Gleichungen:

$$S^1 = S^0 + H^1;\; S^n = S^0 + H^n,$$

und für diese gelten vollständig dieselben Deductionen, wie für die ersteren.

Ebenso wenig kann aber durch Heranziehung der Tracheen, vielleicht unter Benutzung des Böhm'schen Schemas, die Schwierigkeit aus dem Wege geräumt werden. Der Wasserstrom hat dann einfach nur einige Membranen weniger zu passiren; aber die zu hebende Wassersäule ist doch immer dieselbe, so dass auch in diesem Falle die Bewegung nur im allergünstigsten Falle 10 *m* weit hinabreichen würde.

Im Obigen glaube ich also den zwingenden Beweis geliefert zu haben, dass die Gasdrucktheorie allein nicht im Stande ist, die Wasserbewegung in der Pflanze genügend zu erklären. Dass die Spannung der im Holz enthaltenen Luft aber dennoch eine grosse Rolle spielt bei der Emporschaffung des Wassers in der Pflanze, kann wohl zur Zeit nicht mehr zweifelhaft erscheinen, und es werden somit auch die Experimente und Untersuchungen von Böhm und Hartig für eine jede neue Theorie der Wasserleitung von der grössten Wichtigkeit sein.