

DER
SOGENANNTEN „WURZELDRUCK“

ALS

HEBENDE KRAFT FÜR DEN AUFSTEIGENDEN
BAUMSAFT.

VON

OBERFORSTMEISTER PROFESSOR DR. BORGGREVE.



In der Sitzung des Nassauischen Vereins für Naturkunde vom 18. Februar d. J. gab Herr Oberforstmeister Prof. Dr. Borggreve im Anschlusse an den in einer früheren Sitzung desselben Vereins von Herrn Leonhardt gehaltenen, im wesentlichen auf J. Sachs fussenden Vortrag über die Ursachen des Saftsteigens im Baume eine bis jetzt wohl neue und gleichwohl sehr nahe liegende Erklärung für die bisher noch dunkel gebliebene Antheilsleistung, welche J. Sachs u. A. mit »Wurzelkraft« oder »Wurzeldruck« bezeichnen. Diese Antheilsleistung ist bisher entweder (z. B. J. Boehm) gar nicht anerkannt, oder (J. Sachs u. A.) auf noch dunklere Hypothesen — die osmotische Hebung wegen verschiedener Dichtigkeit des in den Wurzelzellen bereits vorhandenen Saftes und der Bodennährstofflösung, auf »Gewebespannung« (Dutrochet) etc. zurückgeführt. Eine Erscheinung »erklären« heisst aber dieselbe auf andere bereits genügend erkannte und erklärte Erscheinungen, nicht jedoch dieselbe auf ebenso dunkle oder noch dunklere andere Vorgänge bezw. unbewiesene Hypothesen zurückführen. Jeder weiss, dass sich die Physiologie seit einem halben Jahrhundert nicht mehr auf den Sammelbegriff der »Lebenskraft« stützen kann und darf, vielmehr die Aufgabe verfolgt, dasjenige, was die älteren Physiologen mit diesem Wort als die Ursache derjenigen in und an den Lebewesen beobachteten Vorgänge bezeichneten, welche von den einfacheren physikalisch-chemischen in der unorganischen Natur abweichend erscheinen, wenigstens thunlichst auf die letzteren zurückzuführen. Dabei aber bildete die »Wurzelkraft« auch nach den schon in den 60er Jahren unseres Jahrhunderts bekannten hochverdienstlichen Arbeiten von Jamin, Hoffmeister und J. Sachs bis heute noch eine Lücke in der übrigens rein physikalischen Erklärung derjenigen Ursachen, welche im Stande sind, in unseren höchsten Fichten und Tannen, wie selbst in den californischen Wellingtonien und australischen Gummibäumen für Wassersäulen von 50 bis 100 m Höhe die Schwerkraft zu paralsiren und gar noch eine aufsteigende Bewegung zu ver-

mitteln. Die »Wurzelkraft« blieb trotz jener werthvollen Untersuchungen und Folgerungen der genannten Forscher immer noch ein Stück »Lebenskraft« und hätte mit gleichem Recht noch durch diesen letzteren Ausdruck bezeichnet werden können; sofern einmal die sonstigen am Stammholz nicht mehr lebender Bäume in die Erscheinung tretenden physikalischen Wirkungen, den Versuchen gemäss, auch bei ihrer Summirung nicht genügten, um die höchsten in der Natur vorkommende Saftsteigungen zu erklären; und sofern weiter der an frisch abgeschnittenen Stämmen und Stöcken stets in etwa, und bei gewissen Holzarten (Birke, Hainbuche, Ahorn, Rebe) so auffallend durch Ausfliessen von Saft in die Erscheinung tretende »Wurzeldruck« doch eben thatsächlich vorhanden ist, mithin als mitwirkende Ursache in Betracht kommen muss.

Es sei nun zunächst gestattet, für diejenigen Leser dieser Blätter, denen die wesentlichsten baumphysiologischen Vorgänge nie besonders geläufig waren oder doch im Laufe der Zeit etwas abhanden gekommen sind, hier kurz nach J. Sachs dasjenige zu recapituliren, was gemäss den Untersuchungen der oben genannten Forscher über die physikalischen Ursachen der steigenden Saftbewegung im Baum bis in die neueste Zeit hinein als ziemlich allgemein anerkannt galt.

1. Ein oben und unten frisch abgeschnittener Stamm oder Zweig zeigt im Frühjahr bei Zunahme der Temperatur auf beiden Schnittflächen nicht bloss ein Abdunsten, sondern auch ein directes Ausfliessen des Saftes, auch wenn er horizontal liegt, so dass also die Schwerkraft einen nennenswerthen Antheil an dieser Wirkung nicht haben kann. Die Erklärung derselben ist vielmehr naheliegend einmal in der durch die Temperaturzunahme bewirkten Ausdehnung sämtlicher im Holz vorhandenen Cellulose-, Luft- und Wasser-Theilchen, dann auch durch die von den Schnittflächen her aufgehobene Gewebespannung bezw. deren beseitigten Gegendruck zu erklären. Erheblich aber kann offenbar die durch die blosser Temperatursteigerung bewirkte Wasserhebung nicht sein, weil die Ausdehnung der fraglichen Stoffe durch die bei uns in der Natur realisirten Temperatursteigerungen nie eine bedeutende, kaum je bis zu einem Zehntel des Gesamtvolumens betragende wird.

2. Die insbesondere von Jamin und Hoffmeister angestellten Versuche an todten, beiderseitig abgeschnittenen, mit dem oberen und unteren Ende ins Wasser getauchten Zweige haben nun aber gezeigt, dass die einfache Capillaritätswirkung der Hohlräume des Holzes

— Gefäße und Tüpfelzellen — einen Druck von bis zu 2 Atmosphären das Gleichgewicht halten kann, sofern der Saft dort nicht in kontinuierlichen Säulen, sondern in einzelnen, durch Luftblasen unterbrochenen Tröpfchen bezw. Fädchen (»Jamin'sche Ketten«) vorhanden ist.

3. Von dieser Capillarität der mikroskopisch sichtbaren communicirenden Hohlräume des Holzes unterscheiden die mehrgenannten Forscher nun noch die »Imbibition der Zellwandungen«, also der Cellulose als solcher, welche sie auch mit dem Ausdruck »Molecular-Capillarität« bezeichnen. Dieselbe kann aber als etwas von der Capillarität essenziell verschiedenes nicht angesehen werden, vielmehr nur ebenfalls als eine Capillarität gelten, die sich gemäss der bekannten physikalischen Thatsache, dass alle Stoffe porös sind, auch in solchen Stoffen vollziehen kann (wenn auch nicht zu vollziehen braucht!), in welchen wir, wie in der Cellulose, diese Hohlräume mittelst der bisherigen Mikroskope nicht für das Auge nachweisen können.

Diese Imbibition soll nach dem — immerhin für unseren Fall sehr anfechtbaren — Ergebniss der bezw. Untersuchungen Jamin's für sich allein mehreren, bis zu 4 Atmosphären das Gleichgewicht halten können.

Nähme man aber auch wirklich diese 4 Atmosphären an und gäbe selbst ein summirendes Zusammenwirken jener beiden Sorten von Capillarität und der Temperaturexension zu, so käme man doch immer nur bis auf bestenfalls 5—6 Atmosphären = rund 50—60 m = die zwar für unsere Fichten und Tannen genügen würden, immer noch nicht aber für die Sequoien und Eucalypten. Es bleibt also auch dann noch eine Lücke.

Da aber ferner die Imbibitionshebung keinesfalls schnell genug wirkt, um den Transpirationsverlust warmer Vorsommertage auszugleichen, so muss offenbar für diese Voraussetzung von der durch die genannten Forscher eingeführten Imbibition abgesehen werden. Wir haben dann nur noch die Capillarität mit ein bis zwei Atmosphären, die Erwärmung des aus dem kälteren Erdraum nachgestiegenen Wassers mit ihrer ganz unbedeutenden Volumenausdehnung und — den thatsächlich nicht wegzuleugnenden Wurzeldruck, von J. Sachs auch Wurzelkraft genannt. Diese Kraft galt als vorläufig nicht weiter zerlegbar, aber die genannten Forscher meinten, dass nach Versuchen mit dem Manometer dieselbe nur höchstens mit einem Effect zu arbeiten vermöge, welcher dem Druck einer Atmosphäre gleichkomme.

Hierbei dürfte wohl eine nicht ganz richtige Folgerung aus an sich richtigen Beobachtungen vorliegen. Dasjenige was lediglich auf Rechnung der Zeit zu schreiben war, ist wohl auf Rechnung der Grösse der Kraft gesetzt worden. Ein in der Vegetationszeit geköpfter Baum wird schon nach kurzer Zeit die Fähigkeit zur ferneren Aufnahme von Bodenwasser einbüssen, weil in die functionirenden Wurzelzellen keine Neubildungsstoffe mehr von oben gelangen können und die eigentliche Aufnahme nur mittelst der Epiblasten und Wurzelhaare tragenden Neubildungen erfolgt. Ferner entstehen bei demselben an und unter der Schnittfläche nicht mehr die Vacua in den Hohlräumen, welche der lebende Baum in seinem oberen Theil durch die Transpiration und nachsaugende Capillarität immer wieder erzeugt und welche für die Wiederfüllung dieser Hohlräume durch einen von unten ausgehenden Druck unabweisliche Vorbedingung ist.

Wir haben also, wie bei der sog. Saug- und Druckpumpe unzweifelhaft im Baum eine combinirte Saug- und Druckwirkung. Beide bleiben abhängig von der Schaffung neuer Vacua durch die Transpiration in der Baumkrone. Fällt diese fort, so kommt zunächst durch die Capillarität eine steigende Bewegung nicht mehr zur Geltung. Die Capillarität kann dann nur noch halten. Es verhält sich damit ähnlich wie mit einem unten im gefüllten Wasserglase hängenden Streifen Fliesspapier. Aus demselben fliesst eben kein Wasser aus und es steigt stets nur genau so viel nach, wie oben durch Verdunstung verloren geht. Giebt man einem solchen Streifen Fliesspapier aber eine Biegung über den Rand des Glases und leitet den äusseren längeren Schenkel desselben in ein tieferstehendes leeres Glas, so wirkt er nicht mehr bloss capillar, sondern auch als Heber und führt das gesammte Wasser aus dem höherstehenden vollen Glase über den Rand hinüber in das tieferstehende, bisher leere Glas. Aber auch diese Heberwirkung geht naturgemäss und bekanntlich nicht über die Höhe der Wassersäule, welche einem Atmosphärendruck entspricht, also rund 10 m hinaus!

Hiernach muss für ein genügend schnelles Nachsteigen des Wassers in den communicirenden Hohlräumen des Holzes an einem vegetationskräftigen Vorsommertage bei einem hohen Baume dasjenige, was Sachs etc. »Wurzelkraft« nannten, einen **viel grösseren** Antheil an der Gesamtwirkung haben und in der Hauptsache **alles** das leisten, was an Hebung über die Wirkung eines 2—3fachen Atmosphärendruckes — Capillarität und Saugpumpe — zu leisten bleibt. Dafür genügt aber

nicht Dutrochet's Gewebespannung, die eine mässig hebende Wirkung nur äussern kann, wenn sie — wie am Wurzelstock abgehauener Stämme — einseitig aufgehoben ist. Noch viel weniger aber genügt dafür die geltend gemachte Diosmose durch das Epiblemma der jüngsten Wurzelzellen und Wurzelhaare, die überhaupt als eine hebende Ursache nur sehr bedingt angesehen werden kann.

Es fragt sich also, welche nicht hypothetische, sondern an sich physikalisch zweifellose Ursache bezw. Kraft kann hier wirken; und es bleibt wunderbar, dass seitens der oben genannten und wohl auch aller sonstigen Physiologen hier einmal wieder so lange in der Ferne gesucht ist, während »das Gute so nahe lag«. Man grübelte über Luftdruck-Differenzen, Osmose, rechnete nach Atmosphärendruck und übersah ganz, dass auf den Wurzeln des Baumes etwas drückt, was ein hohes Vielfaches der Wirkungen eines Atmosphärendrucks erzeugen muss, nämlich eine Schicht von Erde oder Bodenkrume von 0,3—2,0 m, durchschnittlich allermindestens 0,5 m Stärke und der Quadratfläche des i. d. R. wiederum allermindestens der Kronen-Traufe entsprechenden, in manchen Fällen — am handgreiflichsten bei den Pyramiden-Pappeln und bei Wurzelbrut treibenden Aspen, Elzbeeren, Rüstern etc. — ein hohes Vielfaches der Kronen-Traufe betragenden Wurzelraums. Und wenn man nur 0,5 m drückende Bodenkrume annimmt, so repräsentirt diese bei ihrem specifischen Gewicht von ca. 2,0 (im feuchten Zustand) den Gewichtsdruck von eben so viel Cubikmetern Wasser, à 20 Centner, wie der Wurzelraum Quadratmeter hat — ein enormes Gewicht, welches dasjenige der im Baum vorhandenen Wassermenge (= ca. 0,5 seines Cubikgehaltes) stets erheblich übertrifft!

Diese ganze Erdmasse mit ihrem specifischen Gewicht drückt factisch auf die Wurzeln, welche — wie Erbsen, welche, angefeuchtet, durch Quellung die festeste Einschliessung sprengen — zwar capillar Wasser aufnehmen müssen, dasselbe aber dahin wieder abgeben, wo der geringste Druck oder gar ein Saugen stattfindet — — also in den Stamm hinein!

* * *

Schliesslich noch einige Worte über die neuesten Arbeiten Josef Boehm's in den Verhandlungen der k. k. geologisch-botanischen Gesellschaft in Wien, Jahrgang 1890, S. 149 ff. und bezw. im Generalversammlungs-Heft des VII. Bandes der Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft.

Der genannte Forscher stimmt in dieser seiner Arbeit soweit mit dem Obigen ganz überein, als er die von den älteren Forschern eingeführte »Imbibition«, Temperatúrausdehnung, Luftdruck-Differenz und Osmose als bei der Wasserhebung für die Deckung des Transpirations-Verlustes überhaupt oder doch (Temperatur) erheblich mitwirkende Kräfte verwirft. Er lässt vielmehr **nur** die **Capillarität** gelten, sowohl als Ursache der Wasseraufnahme durch die Wurzeln wie als diejenige des Saftsteigens. Es wäre von hohem Werth, wenn H. Boehm die hier wohl zuerst veröffentlichte ungezwungene Erklärung des thatsächlich doch nicht fortzuleugnenden Wurzeldrucks a priori und experimentell prüfen und sich dann gelegentlich darüber äussern wollte, ob nicht doch für hohe Bäume die Capillarität (zur Wiederfüllung der durch die Blattverdunstung in den oberen Hohlräumen der Pflanze geschaffenen Vacuen) durch die Druckwirkung der auf den Wurzeln auflagernden Erdmassen die nothwendige Ergänzung zu finden hat. Wie gross der letztere Druck ist, beweisen alle flachen Stollenbauten, welche nicht durch anstehendes Gestein, sondern durch lockere Erde geführt werden. Weiterhin aber wirkt die blossе Capillarität doch nur bis zu gewisser Höhe — je nach der Grösse der Capillar-Hohlräume und der capillar leitenden und geleiteten Stoffe —, aber nachweislich nicht bis zu solchen Höhen, wie sie unsere ältesten Tannen oder gar die Araukarien, Sequoien und Eucalypten erreichen.

Fasst man hiernach die vorstehende Ergänzung bezw. Berichtigung mit dem zusammen, was bisher schon bekannt war über die physikalischen Ursachen des zur Ersetzung des starken und schnellen Blattverdunstungs-Verlustes in warmen Vorsommertagen unabweislich durch die Gefässe und Tüpfelzellen der Bäume schnell steigenden Saftstroms, so verwirft der Vortragende hierfür mit Boehm

- a) die sog. »Imbibition« der Zellwandungen,
- b) die Ausdehnung des Saftes und der Luft in den Jamin'schen Ketten durch die Wärmesteigerung*),

*) Wenigstens schlechthin, wie sie gewöhnlich hingestellt und gedacht wurde. Diese Temperaturzunahme ist in ihrer Wirkung jedenfalls zu unerheblich, und könnte nur im ersten Frühling hervortreten. Etwas anders läge die Sache allerdings, wenn etwa Morgens und Vormittags ein Steigen, Nachmittags und Abends ein Wiedezurücksinken der Jamin'schen Ketten constatirt wäre! Das könnte in der die Regel bildenden Tagestemperatur-Schwankung und durch Dampfbildung in den Luftbläschen während des Vormittags, Con-

- c) die Osmose*),
 d) die »Gewebespannung«**).

hält aber gegenüber Boehm für ungenügend die blosse
 Capillarität —

und erklärt die Ueberwindung des von den Wassersäulen in den communicirenden Hohlräumen der höchsten Bäume geleisteten hydrostatischen Druckes durch

- a) den Druck einer Atmosphäre gegenüber dem durch die Blattverdunstung in den oberen Hohlräumen fortwährend geschaffenen neuen Vacuum.
 b) die nach den Versuchen von Hoffmeister etc. bis zu zwei Atmosphären betragende Capillaritätswirkung,
 c) die auf den capillar einsaugenden Wurzeln ruhende Erblast von durchschnittlich mindestens 0,5 m Stärke und einem specifischen Gewicht von ca. 2.0, welche allein das längere »Nachbluten« am Wurzelstock abgeschnittener Bäume erzeugen kann und vielleicht allein genügen würde, die ganze Wirkung zu erzeugen.

Soweit aber diese 3 Ursachen mit ca. 3 Atmosphären und einigen Hundert Centnern auch nicht zu genügen scheinen, könnte

- d) die durch den Chemismus in der Pflanze bewirkte anderweitige Zusammensetzung der aufgenommenen Rohstoffe, insbesondere Uebergänge aus dem tropfbar flüssigen in den gasförmigen Zustand, die Restwirkung zunächst wenigstens hypothetisch erklären: sofern jede Aenderung in der chemischen Zusammensetzung auch Aenderungen des Volumens bedingt — freilich durchaus nicht immer und nothwendig eine Vergrößerung des letzteren herbeizuführen braucht.

Sache der mit Laboratorien und Musse für solche Arbeiten ausgerüsteten Physiologen unserer Hochschulen wird es nun sein, das Neue

condensation der Dämpfe während des Nachmittags begründet sein und würde den Transpirationsphasen entsprechen.

*) Als unbewiesene und schwer zu beweisende Hypothese.

**) Sie kann nicht als einfach physikalische Ursache anerkannt werden, ist vielmehr zunächst die Wirkung anderer Ursachen und kommt erst, und zwar mit wenig nachhaltigem Effect rückwirkend zur Geltung, wenn sie einseitig (durch Verwundung etc.) aufgehoben ist.

in der vorstehenden Erklärung einer experimentellen Prüfung zu unterziehen, bei welcher vielleicht auch die Luft- und Wasser-Wurzeln der tropischen Bäume, Pandanen, Mangroven etc., wichtige Gesichtspunkte ergeben würden.

* * *

Schliesslich und beiläufig — weil das Gewicht der Bodenkrume einmal zur Discussion steht — sei hier noch eines, wohl zuerst vom Vortragenden bekämpften Trugschlusses, eines endemisch gewordenen Falsums gedacht, welches sich durch fast alle unsere physiologischen Lehrbücher zieht. Es lautet:

»Die Richtung des Wurzelwachsthums wird durch die Schwerkraft bestimmt. Beweis: Das bekannte Experiment des an einem ad hoc in den Laboratorien gehaltenen Rotationsapparate keimenden Samens, dessen Keime dort natürlich in centrifugaler Richtung sich entwickeln.

Dieser Analogie-Beweis ist ebenso unhaltbar wie die Behauptung! Denn erstens wächst die Wurzel in hundert nachweisbaren Fällen (Borggreve's Moorkiefer*), Bäume an Hängen, Saugwurzeln der Humusschicht etc.) gar nicht durchweg nach unten. Und zweitens ist das specifische Gewicht der Wurzel viel geringer als das der Erdkrume: Man könnte also mit gleichem Recht behaupten: Die Schwerkraft bewirke das Untergehen eines Propfens im Wasser, eines Nagels im Quecksilber. Schade um die vielen theueren Rotationsapparate unserer physiologischen Institute!

*) Mitth. d. V. z. Förd. d. Moorcultur 1889, Nr. 2, S. 20 ff.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde](#)

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: [45](#)

Autor(en)/Author(s): Borggreve Bernhard Robert

Artikel/Article: [Der sogenannte Wurzeldruck als hebende Kraft für den aufsteigenden Baumsaft 129-138](#)