

Brauchen Pflanzen Herzen, um Wasser zu transportieren?

KIM Yangmin
Lehrstuhl Pflanzenökologie
Universität Bayreuth

Für ihre Entwicklung benötigen Pflanzen nicht nur viel Licht, sondern auch große Mengen Wasser. Pflanzen nehmen das Wasser aus dem Boden auf und geben es durch Transpiration an die Atmosphäre ab. Die Frage, die ich kurz diskutieren möchte ist, wie das Wasser in der Pflanze transportiert wird. Haben Pflanzen, wie höhere Tiere, Herzen, um das Wasser zu transportieren? Hält ein solches pochendes „Pflanzenherz“ einen Wasserkreislauf aufrecht analog zum Blutkreislauf? Nein, ein Herz haben Pflanzen nicht. Sie verfügen über eine eigene Strategie, mit der sie das Wasser mithilfe der Wurzeln „trinken“ und es dann über die Blätter wieder „ausscheiden“. Dies bedeutet, dass wir keinen geschlossenen Kreislauf haben, sondern einen Wasserstrom aus dem Boden in die Atmosphäre.

Die größten Bäume, die derzeit im Pflanzenreich den Höhenweltrekord halten, sind die Küstenmammutbäume (*Sequoia sempervirens*, z. B. in Kalifornien), die bis zu 150 m hoch und 2.200 Jahre werden.¹ Wie schafft es der hohe Baum, das Wasser über solche Entfernungen von der Wurzel bis in die Spitzen zu heben? Liegen in den Wurzeln oder im Stamm etwa geheimnisvolle, leistungsstarke Pumpen? Die Gelehrten vergangener Jahrhunderte haben die Frage oft durch die Annahme von Pumpmechanismen beantwortet. Das war nicht völlig falsch. Aber es zeigte sich bei Versuchen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, dass der größte Teil der Wassertransportarbeit mit Hilfe eines ganz anderen, einfachen Systems geleistet wird.² Pflanzen sind so gebaut, dass Wasser in ihnen „von selbst“ nach oben fließt. Eine Pflanze arbeitet wie eine sonnengetriebene

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Sequoia_sempervirens
s. a. Nase, D.: Unser Wald. München: CBJ Verlag, 2006.

² s. Taiz L, Zeiger E.: Plant Physiology. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, 1998; s. a. Lüttge U, Kluge M, Bauer G.: Botanik. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft 1994.

Saugpumpe. Diese Pumpe besteht aus der Wurzel, dem Stamm und den Blättern. Die wichtigste Funktion besitzen die Blätter. Blätter enthalten viel mehr Wasser als die umgebende Luft. Wenn das Wasser aus den Blättern verdunstet, „diffundieren“ die Wassermoleküle als unsichtbarer Dampf durch regelbare Spaltöffnungen in den Blättern. Wenn die Sonne die Blätter bescheint, öffnen sich die Spaltöffnungen und die Blätter verdunsten Wasser. Durch diese Verdunstung entsteht ein ungeheurer Sog in der Pflanze. Pflanzen haben wassergefüllte Röhrensysteme, durch welche sich der Sog durch die gesamte Pflanze fortsetzt. Dieses wasserleitende Röhrensystem nennen die Botaniker „Xylem“, nach dem griechischen Wort für Holz.³ Das Xylem entsteht zwar aus lebenden Zellen, fertig ausgebildet sind die Zellen aber tot. Sie stellen Kapillaren mit einem Durchmesser von 20 bis 800 µm dar (je nach Art der Pflanze).⁴ Mithilfe des Xylem können Pflanzen viel Energie sparen, um das Wasser zu transportieren. Die treibende Kraft für den Transport wird letzten Endes durch die Sonne bereitgestellt. Aber dieses einfache System hat auch Nachteile. Sehr viel Wasser geht dabei an die Atmosphäre verloren. Nur etwa 1 % des über die Wurzel aufgenommenen Wassers verbleibt in der Pflanze (Wachstum, Photosynthese etc.).⁵ Der ganze Rest wird verschwendet. Außerdem kann es passieren, dass es im wassergefüllten Röhrensystem auf Grund des großen Soges zu Unterbrechungen der Verbindung zwischen den Wassermolekülen kommt, was zu erheblichen negativen Drücken führt. Pflanzen brauchen zusätzliche Strategien, um dieses schwierige Problem zu lösen.

Das Xylem ist ein totes Kapillarsystem. Daneben existieren aber auch die lebenden Zellen, die sich am Wassertransport beteiligen. Das Röhrensystem des Xylem ist für den Langstreckentransport verantwortlich, während die lebendigen Zellen das Wasser über kurze Distanzen transportieren. Hier ist eine Regulation des Wasserhaushaltes durch den Stoffwechsel möglich. Die Pflanzenzellen besitzen eine Membran, und diese Membran hat Wasserkanäle, durch die das Wasser vor allem hindurchtritt. Die Wasserkanäle heißen „Aquaporine“. Sie wurden Anfang der 90er Jahre durch Peter Agre und seine

³ Paulsen S.: Sonnenfresser. Wie Pflanzen leben. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag 2003.

⁴ Lüttge, Kluge, Bauer, Anm. 2

⁵ Lüttge, Kluge, Bauer, Anm. 2

Mitarbeiter entdeckt und erstmals beschrieben. Für diese Entdeckung erhielt Peter Agre 2003 den Nobelpreis für Chemie.⁶

Durch Öffnen und Schließen der Kanäle wird der Wassertransport durch die Membran gesteuert.⁷ Pflanzen öffnen oder schließen die Kanäle in Abhängigkeit von verschiedenen Umweltbedingungen, z. B. Trockenheit oder niedrige Temperatur.⁸ Die Steuerung des Wassertransportes auf der Zellebene ist auch wichtig für die Nachfüllung der Xylem-Elemente, in denen der Wasserfaden durch den hohen Sog u. U. gerissen ist.⁹ Es ist von großem Interesse für die Pflanzenforscher, wie die Zellen unter verschiedenen Umweltbedingungen ihren Wassertransport regulieren. Dieses Fachgebiet hat, besonders seit den Arbeiten von Peter Agre, weltweit erheblich an Interesse gewonnen.

Um ein paar dieser Geheimnisse zu lüften, ist Anwendung der Zelldruckmesssonde (ZDMS)¹⁰ eine gute Wahl. Mit der ZDMS kann man den Zelldruck (Turgordruck) und den Wassertransport durch die Zellmembranen intakter Pflanzen messen. Das Gerät wurde an der Universität Bayreuth von meinem Doktorvater, Prof. Dr. E. Steudle, und seinen Kollegen entwickelt. Die Methode wurde immer wieder verbessert. Sie wird mittlerweile weltweit eingesetzt. Dieses Jahr habe ich jeweils eine ZDMS am Max-Planck-Institut in Golm, nahe Potsdam, in Montpellier (Frankreich) sowie an der Université Catholique de Louvain (Belgien) aufgebaut. Man kann die Methode auf verschiedenste Pflanzenzellen anwenden und dann den Wasserhaushalt studieren. Interessant ist dabei oft die Frage, wie sich der Wasserhaushalt unter verschiedenen ökologischen Bedingungen ändert. Meine Doktorarbeit beschäftigt sich damit, wie Blattzellen von Maispflanzen den Wassertransport ändern, vor allem bei verschiedenen Lichtintensitäten. Bis jetzt habe ich beobachtet, dass, je höher

⁶ http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2003/index.html

⁷ Steudle E, Henzler T.: Water channels in plants: do basic concepts of water transport change? *Journal of Experimental Botany* 46, 1995, 1067–1076; s. a. Maurel C, Chrispeels MJ.: Aquaporins. A molecular entry into plant water relations. *Plant Physiology* 125, 2001, 135–138.

⁸ Maurel, Chrispeels, Anm. 7

⁹ Holbrook NM, Zwieniecki MA.: Embolism Repair and Xylem Tension: Do We Need a Miracle? *Plant Physiology* 120, 1999, 7–10.

¹⁰ Steudle E.: Pressure probe techniques: basic principles and application to studies of water and solute relations at the cell, tissue and organ level. In: Smith JAC, Griffiths H, eds.: *Water deficits: plant responses from cell to community*. Oxford, UK: BIOS Scientific Publishers, 1993, 5–36.

die Lichtintensität ist, desto schneller der Wassertransport durch die Zellmembranen verläuft. Wahrscheinlich werden die Wasserkanäle durch Licht reguliert. Die Frage, die noch weiter erforscht werden muss, ist, mit welchem Mechanismus Licht den Wassertransport der Zellen beeinflusst.

Zum Schluss bleibt festzuhalten, dass Pflanzen im Unterschied zu Tieren kein Herz besitzen, die das Wasser durch einen geschlossenen Kreislauf pumpen. Sie besitzen ein einfaches offenes Wasserleitungsröhrensystem. Angetrieben wird der Transport durch die Verdunstung an den Blättern. Außer den toten Wasserleitungsröhren haben Pflanzen lebendige Zellen, um den Wassertransport zu optimieren. Es bleiben immer noch Geheimnisse in der Wassertransport-Optimierung der Pflanzen, die auf eine Erforschung durch Pflanzenforscher warten. Hierbei spielen die Wasserkanäle (Aquaporine) eine wichtige Rolle.