



Wasseraufnahme von Wurzeln bei räumlich heterogener Wasserverteilung

Urs Schmidhalter, Institut für Pflanzenwissenschaften,

ETH Zürich, Eschikon 33, 8315 Lindau

Die Wasseraufnahme von Wurzeln bei räumlich variablen Bodenmatrixpotentialen wurde quantifiziert. Solange der evaporative Bedarf durch Wasseraufnahme von Wurzeln, die sich in feuchteren Bodenschichten finden, gedeckt werden kann, erfolgt die Wasseraufnahme primär aus diesen Schichten. Ist der Wasserstress nicht zu stark, equilibrieren Wurzeln und Spross über Nacht mit feuchten Bodenzonen. Wurzeln, die sich in trockeneren Zonen befinden werden mit Wasser aus feuchteren Kompartimenten versorgt, vorausgesetzt es findet sich dort eine genügend grosse aktive Wurzelmasse. Wird der evaporative Bedarf im Verlauf des Tages grösser als durch Nachlieferung des Wassers aus feuchteren Bodenschichten gedeckt werden kann, werden die Wasserpotentiale von Spross und Wurzel soweit erniedrigt, dass eine Aufnahme von Wasser aus trockeneren Kompartimenten erfolgen kann.

Einleitung

Wasser und Nährstoffe sind meistens nichthomogen in der Rhizosphäre verteilt. Vertikale Gradienten in der Verteilung von Wasser und Nährstoffen resultieren aus der Aktivität der Wurzeln, aus Bewirtschaftungsmassnahmen oder sind bedingt durch orts- und klimaspezifische Faktoren. Vertikale Gradienten in der Wasserverteilung sind besonders bei Austrocknung und Wiederbefeuchtung der Böden ausgeprägt. Bis anhin fehlen aussagekräftige Experimente, die die Prinzipien der Wasseraufnahme durch Wurzeln aus dieser Normalisierung aufzeigen.

Die Wasseraufnahme durch Wurzeln bei räumlich verschiedenen Bodenmatrixpotentialen wurde in dieser Arbeit untersucht. Um ein besseres Verständnis dieser Situation zu gewinnen, wurden diskontinuierliche Wasserverteilungen in vertikal getrennten Bodenkompartimenten mit verschiedenen Bodenmatrixpotentialen geschaffen. Aus diesen Kompartimenten wurde die

Wasseraufnahme quantifiziert und Beziehungen zwischen Bodenwasserstatus und Pflanzenwasserstatus ermittelt.

Material und Methoden

Für die Versuche wurde eine neu entwickelte Technik zur vertikalen Trennung von Wurzelsektionen verwendet (Schmidhalter and Oertli, 1992b). In längsweg halbierten PVC-Röhren (Höhe 38 cm, Durchmesser 10,4 cm), die mit Kleband verbunden waren, wurden vier, vertikal durch 0,8 cm dicke Sandschichten (Korndurchmesser 2-3 mm) getrennte Schichten eines schluffreichen Bodens (Aquic Ustifluent) mit verschiedenen Schichtkombinationen des Wassergehalts eingefüllt. Auf die oberste Bodenschicht wurden sechs vorgekeimte Maissamen gepflanzt, die nach dem Aufaufen auf vier reduziert wurden. Die Versuche wurden unter kontrollierten Bedingungen in einer Klimakammer ($760 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 12 Stunden Tag/Nacht, $20^\circ\text{C}/18^\circ\text{C}$ Tag/Nacht, 70 % rLF) durchgeführt. Nach 10, 13, 18 und 20 Tagen wurden die Bodensäulen aufgetrennt und die Wasseraufnahme und Bodenwasserverteilung bestimmt. Die Potentiale des Sprosses wurden mit Scholanderbombe und Osmometer bestimmt und die Wurzelpotentiale mit einer neu adaptierten Technik (Schmidhalter et al., 1992a). In regelmässigen Abständen wurde auch das Wurzelwachstum gemessen.

Resultate und Diskussion

In Abbildung 1 ist beispielhaft der Bodenwasserstatus und der Wasserstatus der Pflanzen eines Verfahrens zu Beginn des Versuchs und nach 10, 13, 18 und 20 Tagen angegeben. Das Bodenmatrixpotential (\approx Wasserpotential in diesem Versuch) in den oberen Bodenschichten ist tiefer als das Wasserpotential in den Pflanzen. Diese nur scheinbar paradoxe Situation würde dazu führen, dass das Wasser, mindestens in den oberen Schichten, aus der Pflanze in den Boden fließen sollte. Dieses Phänomen, das als hydraulischer Lift, einem Transport von Wasser aus unteren feuchteren Schichten via Wurzeln in obere trockenere Schichten, beschrieben worden ist, wurde auch in diesen Versuchen beobachtet, war jedoch quantitativ an der gesamten Wasseraufnahme nur von untergeordneter Bedeutung. Eine Reduktion der in Wurzelhöhe in trockenem Boden vorhandenen steilen Potentialgradienten könnte bei der Nährstoffaufnahme von Bedeutung sein. Bedingt durch die Abnahme des Bodenwassergehalts geht nicht nur der Beitrag der Anlieferung der Nährstoffe durch Massenfluss sondern auch durch Diffusion wesentlich zurück.

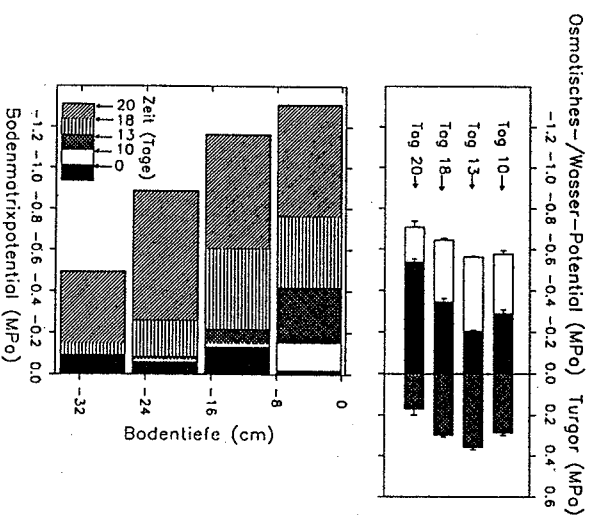


Abb. 1. Beziehung zwischen den in verschiedenen Tiefen und verschiedenen Zeiten gemessenen Bodenmatrixpotentialen (unten) und den pre-dawn Werten des Wasserpotentials, osmotischen- und Turgorpotentials in Maispflanzen (oben).

Aufgrund der in Abbildung 1 dargestellten Situation sollte in den mittleren Schichten keine weitere Austrocknung stattfinden, da die Gradienten in umgekehrte Richtung weisen. Dieser augenscheinliche Widerspruch kann jedoch leicht aufgelöst werden, da der Zeitpunkt der Messung des Pflanzenwasserpotentials von entscheidender Bedeutung ist. Da es sich hier um pre-dawn-Werte handelt, d.h. die Messung erfolgte vor Beginn des Tages, widerspiegeln diese Werte die Veränderung der Saugspannung in der Pflanze während der Nacht. Da während der Nacht fast keine Wasserabgabe erfolgt, vermögen die Pflanzen über Nacht mit tieferliegenden Bodenschichten zu equilibrieren, die ein höheres Wasserpotential als die oberen Bodenschichten aufweisen. Abbildung 1 zeigt, dass nach wie vor zwischen dem Bodenmatrixpotential der untersten Schicht und dem Wasserpotential der Pflanze ein Gradient in Richtung vom Boden zur Pflanze besteht. Während in der obersten Bodenschicht eine Austrocknung auch durch Verdunstung des Wassers vom Boden erfolgen kann, muss die Abnahme des Bodenwassergehalts in den unteren, voneinander getrennten, Bodenschichten durch Wasseraufnahme der Pflanzen erklärt werden. Dies wiederum heisst, dass das

Wasserpotential der Pflanze im Verlauf des Tages genügend stark erniedrigt werden muss, so dass ein Fließen des Wassers vom Boden in die Pflanze ermöglicht wird. Abbildung 2 zeigt, dass im Verlauf des Tages das Wasserpotential in der Pflanze genügend stark absinkt, so dass auch eine Wasseraufnahme aus mittleren Bodenschichten möglich ist, mit der Konsequenz, dass dort das Bodenwasserpotential absinkt. Analog wie beim Spross erfolgt auch bei Wurzeln über Nacht eine Equilibrierung mit den feuchteren Bodenkompartimenten (Abb. 3). Dieser Versuch zeigt, dass während der Nacht Wurzeln, die sich in trockenen oberen Kompartimenten finden, die ein wesentlich tieferes Wasserpotential als die Wurzeln aufweisen, mit Wasser aus feuchteren Kompartimenten versorgt werden (Abb. 3).

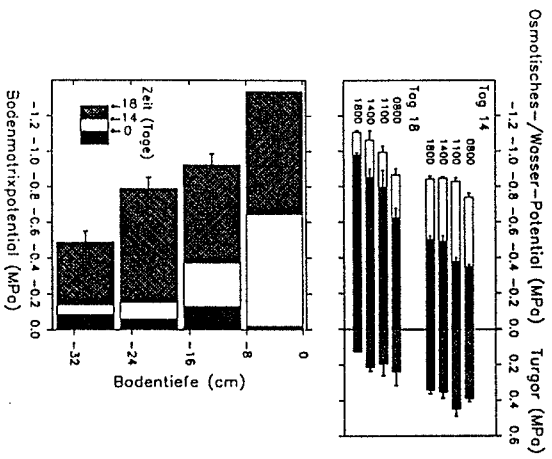


Abb. 2. Diurnale Veränderungen des Wasserpotentials, osmotischen- und Turgorpotentials von Maispflanzen (oben) in Abhängigkeit von den in verschiedenen Tiefen gemessenen Bodenmatrixpotentialen (unten).

Wie für den Spross kann auch für die Wurzeln eine diurnale Veränderung des Wasserpotentials postuliert werden, dass das Wasserpotential in den Wurzeln soweit abgesenkt wird, dass auch aus trockeneren Kompartimenten Wasser aufgenommen werden kann. Solange das Sättigungswasserdefizit durch Wurzeln, die sich in feuchteren Kompartimenten finden, gedeckt werden kann, erfolgt die Wasseraufnahme dort. Sinkt das Wasserpotential im Spross und in den Wurzeln aufgrund eines höheren evaporativen Bedarfs, kann eine Wasseraufnahme aus trockeneren Kompartimenten erfolgen.

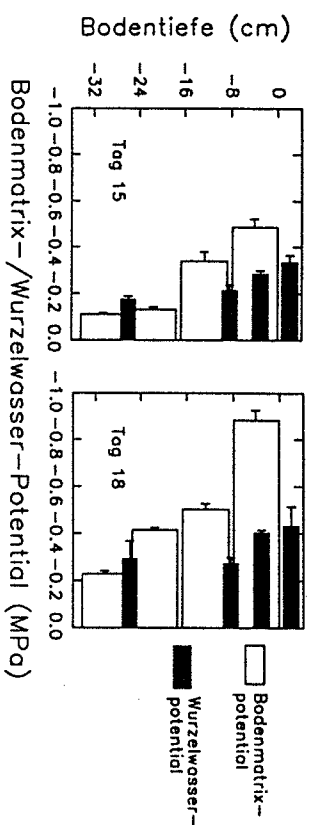


Abb. 3. Abhängigkeit der (pre-dawn) Wurzelwasserpotentiale von den in verschiedenen Tiefen gemessenen Bodenmatrixpotentialen am 15. und 18. Tag nach Versuchsbeginn.

In diesen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Wasseraufnahme der Wurzeln bei sehr verschiedenen Bodenwasserverteilungen sehr gut durch ein einfaches Modell (Schmidhalter et al., 1992c) beschrieben werden kann, das auf einem einfach messbaren Parameter, der Wurzelmasse, einem Zeitfaktor, der die Aktivität der Wurzeln beschreibt, und dem Wasserpotentialgradienten im Boden-Pflanzen-Kontinuum beruht, beschrieben werden kann.

Summary

Water uptake by roots at spatially variable soil matrix potentials was quantified. As long as the evaporative demand can be met by roots present in zones with high matrix potentials, water uptake will essentially occur there. If the water stress is not too severe, roots and shoots tend to equilibrate during the night with the wetter zones. Roots in drier zones are supplied with water from roots growing in wetter zones. If the evaporative demand exceeds the amount of water supplied by the roots, leaf and root water potentials decrease, thus enabling the roots to extract water from drier zones, provided that a sufficiently steep gradient exists from the soil to leaves.

Literatur

- Schmidhalter U., M. Evéquez and J.J. Oertli, 1992a. Osmotic adjustment of roots and shoots. In: Kutschera L. et al. (eds.), *Root Ecology and its Practical Application*. Klagenfurt, 93-96.
- Schmidhalter U. and J.J. Oertli, 1992b. Divided root section techniques. In: Kutschera L. et al. (eds.), *Root Ecology and its Practical Application*. Klagenfurt, 767-768.
- Schmidhalter U., Besson A., and J.J. Oertli, 1992c. Water uptake by roots at spatially variable soil matrix potentials. In: Kutschera L. et al. (eds.), *Root Ecology and its Practical Application*. Klagenfurt, 133-136.