

Wurzel- und Wassermanagement bei Mais

Auf Bodenbearbeitung und Bodenstruktur achten

Extreme Trockenjahre führen die Bedeutung der Lebensgrundlage Wasser für den Pflanzenbau immer wieder deutlich vor Augen: Die Getreideernte 2012 brachte vielerorts Mindererträge von über 50 Prozent aufgrund Wassermangels. Für eine hochproduktive Kulturpflanze wie den Mais ist das Wissen um Wasserhaushalt und Wassermanagement für ein erfolgreiches Produktionssystem in Trockenregionen entscheidend. Wie regelt die Pflanze ihren Wasserhaushalt unter Stressbedingungen, was macht trockenresistente Sorten aus, gibt es Managementlösungen, um auch in Trockenjahren gute Erträge zu erzielen?

Gernot Bodner und Margarita Himmelbauer, Wien

Aus pflanzenbaulicher Sicht bezeichnet Trockenheit ein Ungleichgewicht zwischen Wasserangebot und Wasserbedarf der Pflanzen, welches sich in Ertragseinbußen niederschlägt. Quellen der Angebotsseite sind die aktuell fallenden Niederschlagsmengen und der Wasserspeicher des Bodens. Deren jeweilige Bedeutung für die Pflanzenwasserversorgung unterscheidet verschiedene Klimaregionen, aber auch einzelne Jahre. Für die Höhe des Bodenwasserspeichers zu Vegetationsbeginn sind die Niederschlagsmengen während der vegetationsfreien Zeit im Spätherbst und Winter sowie die Speicherkapazität des Standortes (nutzbare Feldkapazität) ausschlaggebend. Auch die Vorfrucht kann sich im Füllungszustand des Bodenspeichers und damit der Versorgung der Nachfrucht widerspiegeln: der schlechte Rüb-Weizen 2012 in Trockengebieten war ein Beispiel dafür. Für die Niederschläge in der Vegetationszeit – der Hauptquelle der Pflanzenwasserversorgung im gemäßigten Klimaraum Mitteleuropas mit sommerlichem Niederschlagsmaximum – gilt: nicht nur die Menge ist wichtig, vor allem das zeitgerechte Auftreten ist ertragsentscheidend.

Ist Trockenheit zu managen?

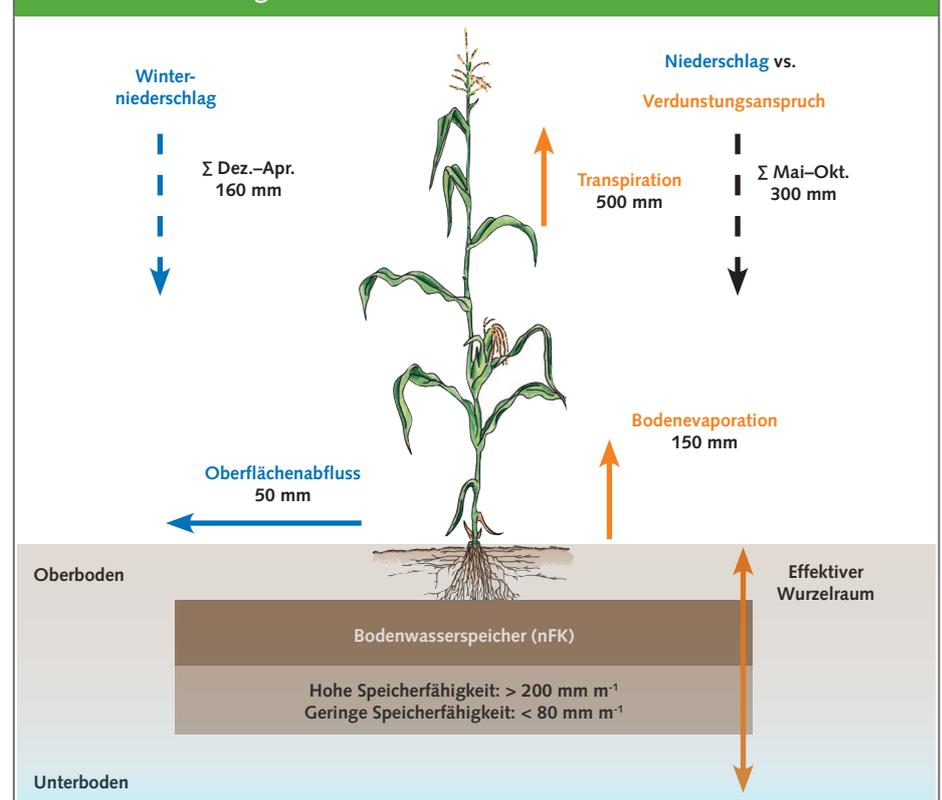
In diesem Jahr kamen die Regenfälle im Juni und Juli für das Getreide viel zu spät, für Mais und Zuckerrübe noch rechtzeitig. Darauf folgte jedoch im August wiederum eine ausgeprägte Trockenperiode mit hohen Temperaturen.

Ein geschlossener Maisbestand mit einem Blattflächenindex > 5 hat tägliche Verdunstungsraten von 8 bis 10 mm. Auf Böden mit geringer Speicherkapazität oder bei geringen Wasserreserven im Unterboden können Stresssymptome bereits nach etwa einer Woche auftreten.

Ist Trockenheit nun zu managen? Abbildung 1 fasst die wichtigsten Kompo-

nenten des Wasserkreislaufs in einem Maisbestand zusammen. Das Wetter (Niederschlag, Verdunstungsanspruch) unterliegt den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit. Einflussmöglichkeiten auf den Wasserhaushalt gibt es jedoch über den Boden (Speicherkapazität, Unterbodenfeuchte, Regenverdaulichkeit, Bodenverdunstung) und die Kulturpflanzenart so-

Abb. 1: Komponenten des Wasserkreislaufes. Die Mengenangaben sind Richtwerte aus langjährigen Messungen und Beobachtungen im östösterreichischen Trockengebiet



wie Sorte (Wurzeltiefe, Wassernutzungseffizienz). Hier können die Auswirkungen der Trockenheit zwar nicht wettgemacht, aber zumindest abgepuffert und die Ertragsstabilität des Standortes erhöht werden.

Reaktionen der Maispflanze auf Wasserstress

Der Mais ist von Natur aus ein höchst effizienter Wassernutzer. Als tropische C4-Pflanze kann er bei hohen Temperaturen (30 °C) optimal Kohlenstoff assimilieren, seine spezielle Blattanatomie verhindert Veratmungsverluste. Damit ist der Gasaustausch (CO₂-Aufnahme vs. Wasserdampf-Abgabe) mit etwa

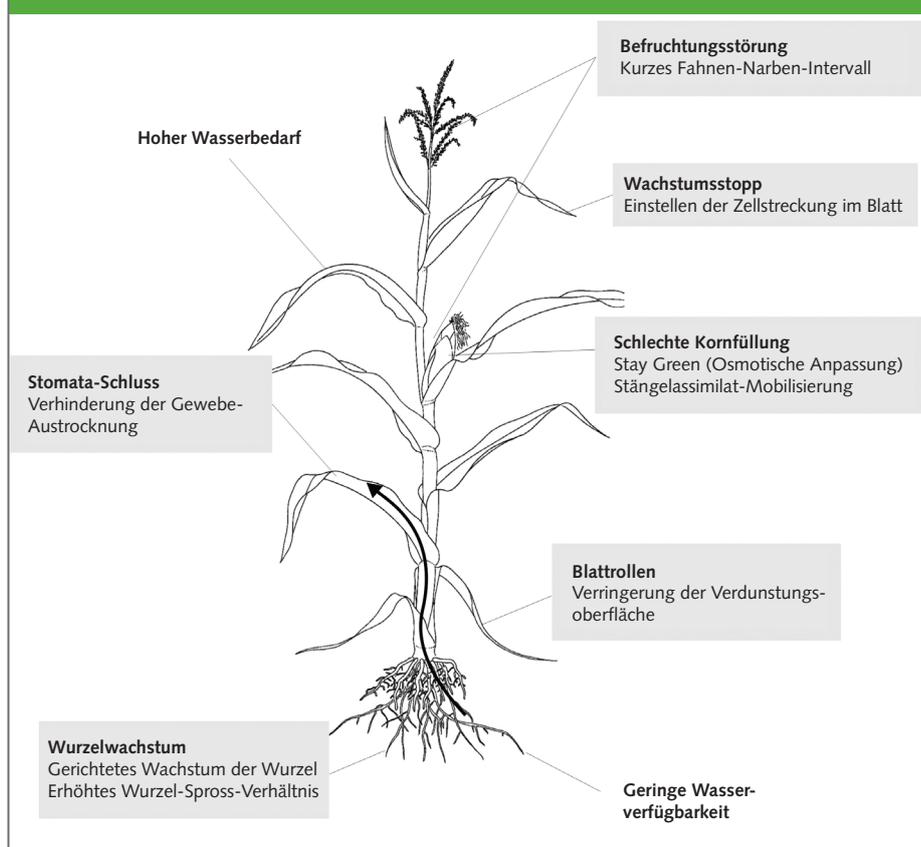


Die höchsten Ertragseinbußen durch Wassermangel treten zwischen Blüte und Kornfüllung auf *Foto: DSV*

300 l H₂O pro kg Trockenmassebildung sehr effizient. Die Tabelle zeigt, dass der Wasserbedarf der Kulturen sowohl von deren Effizienz der Wassernutzung (Transpirationskoeffizient) als auch der Vegetationsdauer abhängt. Kulturen mit längerer Vegetationszeit wie der Mais kommen zu kritischen Entwicklungsstadien für die Ertragsbildung bereits in eine Zeit, wo der Wasservorrat trotz im Mittel der Jahre günstiger Niederschlagsverteilung aufgrund der warmen Witterung (hohes „Sättigungsdefizit der Atmosphäre“) rasch knapp werden kann.

Die höchsten Ertragseinbußen durch Wassermangel treten zwischen Blüte

Abb. 2. Auswirkungen und Reaktionen der Maispflanze bei Wassermangel



(gestörte Befruchtung, circa -45 bis -50 Prozent Ertrag) und Kornfüllung (circa -25 bis -30 Prozent Ertrag) auf. Bessere Trockenresistenz wurde bei Maisgenotypen gefunden, die ein kürzeres Zeitintervall zwischen Fahrenschieben und Narbenfäden-Schieben aufweisen und daher bei Stress besser befruchteten. Für die Stressresistenz in der Kornfüllungsphase ist vor allem die fortgesetzte Assimilat-Nachlieferung zum Korn trotz Wassermangels wichtig. Genotypen mit längerer grüner Blattflächendauer („Stay-Green-Typen“) sind hier überlegen. Zugrunde liegt diesem Phänomen die „osmotische Anpassung“: eine Anreicherung von osmotisch aktiven Substanzen in der Zelle verbessert die Wasseraufnahmefähigkeit

der Pflanze aus dem trockenen Boden. Eine gute Kaliumversorgung ist hierfür wichtig.

Pflanzliche Reaktionen, die auf Wassersparen („konservative Wassernutzung“, z. B. über rasches Schließen der Spaltöffnungen bei beginnender Trockenheit) setzen, sind in der natürlichen Vegetation verbreitete Schutzmechanismen. Für einen leistungsstarken Ackerbau sind sie aber nur die zweite Wahl. Entscheidend ist vielmehr die bestmögliche Ausnutzung der im Boden vorhandenen Vorräte. Dafür ist das Wurzelsystem ausschlaggebend. Abbildung 2 fasst die wichtigsten Trockenstress-Wirkungen und Reaktionen bei Mais zusammen.

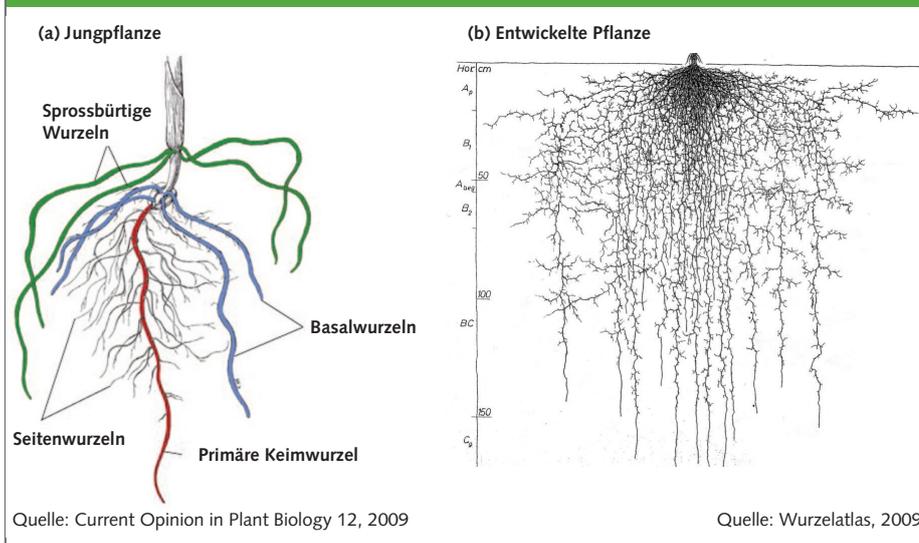
Wasserbedarf ausgewählter Kulturpflanzen*

Kultur	Wasserbedarf (mm)	Transpirationskoeffizient (l H ₂ O kg ⁻¹ TM)	Kritisches Stadium
Mais	550–800	300	Blüte – Kornfüllung
Zuckerrübe	550–750	350	Reihenschluss
Winterweizen	450–550	400	Schossen, Blüte – Kornfüllung
Sommergerste	350–450	400	Schossen, Blüte – Kornfüllung
Kartoffel	550–700	500	Blüte, Knollenbildung
Raps	600–800	600	Schossen, Blüte
Sonnenblume	600–800	600	Vor Blüte – frühe Reife
Körnererbse	350–500	650	Blüte – frühe Reife

*Quellen: FAO Land and Water Division, Ehlers (1996), Geisler (1988)

Abb. 3: Wurzelsystem einer jungen und entwickelten Maispflanze

(aus: Hochholdinger und Tuberosa, 2009: Current Opinion in Plant Biology; Kutschera et al., 2009: Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. DLG-Verlag, Frankfurt/Main)

**Das Wurzelsystem von Mais**

Mais hat ein vielfältiges Wurzelsystem (Abb. 3). Nach der primären Keimwurzel treten aus dem Samen weitere 3 bis 5 samenbürtige Wurzeln („Basalwurzeln“) aus. Diese Wurzelachsen sind für die Verankerung und Versorgung der jungen Pflanzen zuständig. Sie sollten einen möglichst spitzen Winkel zueinander haben und so rasch in die Tiefe vordringen. Wenige Wochen nach Feldaufgang entwickelt sich von den knapp unter der Bodenoberfläche lie-

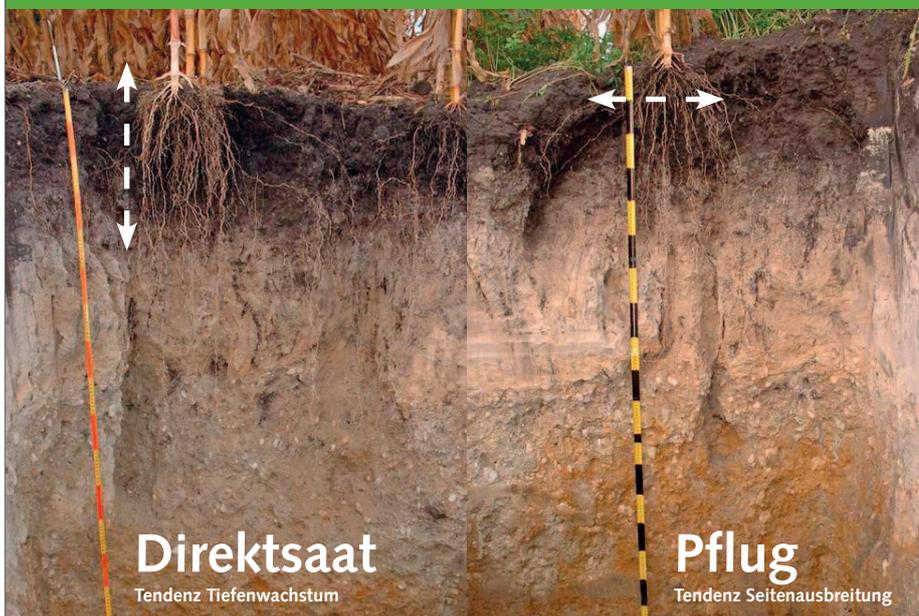
genden, gestauchten Knoten das dominante sprossbürtige Wurzelsystem. Am 2. und 3. Stängelknoten entstehen dann noch Stützwurzeln. Das Feinwurzelsystem besteht aus kurzlebigen Seitenverzweigungen höherer Ordnung (< circa 0,6 mm im Durchmesser) und Wurzelhaaren. Die jungen Teile des Wurzelsystems, oft schwer wahrnehmbar und messbar, sind für die Wasser- und Stoffaufnahme entscheidend. Die älteren Wurzelachsen übernehmen Verankerung, Weitertransport zum Spross und Speicherung.

Das Gros der Wurzeln findet sich in den obersten 30 cm Bodentiefe, während die Durchwurzelungsdichte mit der Tiefe exponentiell abnimmt. Wiederum sollte man sich jedoch nicht durch die Masse täuschen lassen: gerade für den Wasserhaushalt ist der Tiefgang der Wurzeln wichtig. Wenn der Oberboden austrocknet, kann auch ein dichtes Wurzelsystem (circa 10 cm Wurzel pro cm³ Boden) die Wassernachlieferung nicht mehr sichern. Dann werden die tieferen Wurzelachsen für die Versorgung entscheidend: liegen sie in Bodenschichten mit noch ausreichender Wasserverfügbarkeit (> 75 Prozent Feldkapazität), so reicht eine Wurzellängendichte von nur 1 cm pro cm³, um die Pflanze ausreichend mit Wasser zu versorgen.

Die Wurzel ist ein ausgesprochen dynamisches Pflanzenorgan, da sie mit rasch wechselnden Verhältnissen auskommen muss. Sie passt sich an die Ressourcenverfügbarkeit sowohl morphologisch als auch biochemisch an. Das Streckungswachstum der Wurzel hält einer Austrocknung länger stand als das Blattwachstum. Trockenheit regt Wurzeln zum gezielten Vordringen in feuchtere Schichten in der Tiefe an (Hydrotropismus). Verstärkte Exsudation verringert den Reibungswiderstand in trockenem Boden und verbessert darüber hinaus die Nährstoffverfügbarkeit. Kann nun ein derart dynamisches Organ gezielt durch ackerbauliche Maßnahmen gesteuert werden?

Abb. 4: Freilegung von Maiswurzelsystemen bei zwei Bodenbearbeitungssystemen

(Durchgeführt unter Leitung von Dr. Monika Sobotik, Andau, September 2009)

**Wasser- und Wurzelmanagement bei Mais**

Für die Praxis gibt es drei Möglichkeiten, sich der Trockenheit zu stellen: Bewässerung, Bodenmanagement bzw. Fruchtfolge sowie Sortenwahl. Über die Bewässerung entscheidet meist die Betriebswirtschaft. Vom Standpunkt eines nachhaltigen, sparsamen Wassermanagements ist die richtige Abschätzung des Zeitpunkts (Bodenfeuchte, Entwicklungsstadium der Pflanze) und der Menge der Beregnung entscheidend. Die Kenntnis des Bodens am Standort ist in jedem Fall die Basis jedes Wassermanagements, sowohl über die Bewässerung als auch über das Bodenbearbeitungssystem. Bei Mais können bis Reihenschluss hohe Wasserverluste als Oberflächenabfluss (Hanglagen, bis zu 15 Prozent des Jahresniederschlags) und unproduktive Bodenverdunstung (bis zu 100 mm) auftreten. Dem Oberflächenabfluss kann ef-

fizient über Mulchsaatsysteme entgegengetreten werden. Die Reduktion der Bodenverdunstung erfordert jedoch sehr hohe Mulchauflagen, die andere Managementprobleme (Saat, Krankheiten, Schädlinge) mit sich bringen können. Fruchtfolgeüberlegungen sind für Mais besonders relevant, da die Ertragsbildung in Trockenjahren von Wasservorräten in tieferen Bodenschichten abhängt. Dennoch konnten in mehrjährigen Untersuchungen im österreichischen Trockengebiet keine negativen Wirkungen einer im Herbst wachsenden abfrierenden Begrünung durch Wasserkonkurrenz gefunden werden. Vielmehr ist eine Zwischenfruchtmaßnahme für die Standortqualität förderlich, da sie Bodenstruktur und Humushaushalt positiv beeinflusst sowie vor Oberflächenabfluss schützt. Wurzelbeobachtungen in einem Praxisfeld mit intensivem Zwischenfruchtbau und Minimalbodenbearbeitung zeigten über mehrere Jahre einen stärkeren Wurzeltiefgang (+ 20 cm = ca. 20 bis 40 mm mehr Wasser) im Vergleich zu einer konventionellen Pflugvariante, wo die Wurzeln sich vor allem in den

oberen Schichten seitlich ausbreiteten (Abb. 4). Diese Überlegenheit minimierter Bearbeitungssysteme konnte jedoch nicht in allen Studien bestätigt werden.

Entscheidend sind jedenfalls alle Maßnahmen, die die Bodengare fördern und jegliche Schadverdichtung vermeiden. Je besser die Bodenstruktur, desto besser die Durchwurzelung aufgrund eines günstigen Luft- und Wärmehaushalts und kontinuierlicher Grobporen, die Regen rasch in die Tiefe ableiten und den Wurzeln das Vordringen in den feuchten Unterboden erleichtern.

Angesichts der zunehmenden Klimaextreme investieren die Global Player im Saatgutgeschäft in Sorten mit besserer Stressresistenz für die großen Trockengebiete der südlichen Kontinente. Im gemäßigten Klimagebiet braucht es Sorten, die bei mittlerem Stressniveau bessere und stabile Leistungen erbringen. Zumeist sind das ohnehin jene mit dem höchsten Ertragspotenzial unter optimalen Feuchtebedingungen. Im Wurzelsystem liegt zweifellos noch ungenutztes Potenzial, das bisher eher ein Randthema ist und

noch kaum über die Forschung hinausgefunden hat. Für den Landwirt bleibt der Fokus im „Wurzelmanagement“, als Teil eines nachhaltigen Bodenwassermanagements, daher auf Bodenstrukturförderung über Zwischenfrucht, Fruchtfolge und reduzierte, strukturschonende Bodenbearbeitung gerichtet. <<

■ KONTAKT ■■■

Dr. Gernot Bodner

Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Universität für Bodenkultur Wien
A-1180 Wien, Österreich

Telefon: +43 147654 3331
Telefax: +43 147654 3342
gernot.bodner@boku.ac.at

Dr. Margarita Himmelbauer

Institut für Hydraulik und
Landeskulturelle Wasserwirtschaft
Universität für Bodenkultur Wien