

Wie viel Wasser braucht der Mais?

Einordnung physiologischer und physikalischer Kenngrößen

Wenn der Wasserverbrauch von Kulturpflanzen angesprochen wird, gibt es viele verschiedene Messgrößen und Einflussfaktoren. Um die Frage zu beantworten, wie viel Wasser der Mais im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen benötigt, muss zuvor geklärt werden, welche Vergleichsgröße verwendet wird.

Wilfried Ehlers, Waake

Der Wasserverbrauch von Kulturpflanzenbeständen ist im Gegensatz zur Mineralstoff-Aufnahme schwierig zu messen. Die Pflanzen geben nämlich ohne große Zwischenspeicherung das von der Wurzel aufgenommene Wasser über die Spaltöffnungen des Blattes unverzüglich an die Atmosphäre weiter, also durch Transpiration. Im pflanzlichen Gewebe selbst verbleibt nur ein Bruchteil des Wassers. Dennoch weiß man heute einiges über die Wassermenge, die im Zuge der Vegetationszeit von Pflanzenbeständen verdunstet wird und deshalb nicht versickert. Das können 300 bis 400, sogar bis 500 mm sein (1 mm entspricht 1 l pro m²). Hochgerechnet ergibt das eine Wassermenge von 3.000 bis 5.000 t pro ha! Diese Menge muss der Boden aus seinem Wasserspeicher den Pflanzen stetig zur Verfügung stellen können, wenn Wassermangel den Ertrag nicht begrenzen soll. In unserem gemäßigten Klima wird der Boden durch Niederschlag nicht nur über Winter, sondern auch während der Wachstumszeit mehr oder weniger wieder gefüllt. Man kann mit Recht behaupten, dass Mutter Natur den Pflanzen einen

sehr großzügigen Umgang mit dem Wasser einräumt. Der stete Verlust an Transpirationswasser schafft nämlich Kühlung und die Voraussetzung zur Aufnahme des Kohlendioxids (CO₂) aus der Atmosphäre. Die CO₂-Aufnahme ist eine Grundbedingung für Photosynthese und Substanzproduktion, für Wachstum und Ertrag. Führt Wassermangel auch nur vorübergehend zur Spaltenverengung, hat das stets eine Minderung des Gesamtertrages zur Folge. Je länger aber der Wassermangel andauert, desto stärker erleiden die Pflanzen Trockenstress und umso krasser sinkt der Ertrag an Gesamtmasse und an Korn.

Wenn wir ganz unabhängig vom Zustand der Wasserversorgung vom Wasserverbrauch der Pflanzen sprechen, meinen wir das von den Pflanzen transpirierte, aber auch das vom Boden evaporierte Wasser. Den größeren Anteil an dieser „Evapotranspiration“ nimmt in unserem Klimaraum die Transpiration ein. Sie stellt den produktiven Anteil des Wasserverbrauchs dar. Nur in der Jugendphase des Pflanzenbestandes mit geringer Bodenbedeckung überwiegt die unproduktive Evaporation

Ist Mais günstiger als andere Kulturpflanzen zu werten?

Wie viel Wasser verbraucht denn nun der Mais? Stimmt die These vom geringen Wasserverbrauch? In der deutschen Literatur finden sich Verbrauchswerte, die für die Vegetationszeit bei 350 bis 500 mm (l pro m²) liegen. Daraus lassen sich Gesamt-Trockenmasse-(TM-)Erträge von 15 bis 25 t pro ha realisieren. Das erscheint mir nicht ganz verschieden von den Werten für andere Kulturpflanzen, z. B. für Winterweizen. Von ihm werden circa 350 bis 450 mm (l pro m²) verbraucht, allerdings bei etwas geringeren TM-Erträgen (10 bis 18 t pro ha).

Häufig wird der Wasserverbrauch einer Kulturpflanze nicht auf die Einheit Bodenfläche, sondern auf die Einheit (oberirdischer) TM bezogen. Das ist der Evapotranspirationskoeffizient (ETK), der angibt, wie viel Liter Wasser pro Kilogramm produzierter TM verbraucht wurde. Für den Mais ergibt sich aus obigen Zahlen ein ETK von 140 bis 330, für Weizen zwischen 190 und 450 l pro kg TM. Für den Transpirationskoeffizienten (TK) als Maß physiologischer Leistungsfähigkeit muss natürlich die unproduktive Evaporation vom Wasserverbrauch abgezogen werden. Das wird meist nicht getan, weil die Bodenevaporation eine schwierige Messgröße darstellt. Wegen der vergleichsweise spät einsetzenden Jugendentwicklung dürfte die Evaporation beim Mais mit 50 bis 100 mm höher liegen als beim Winterweizen, bei dem sie 40 bis 70 mm betragen dürfte. Der TK für den Mais liegt dann zwischen 100 und 300, für den Weizen zwischen 156 und 410 l pro kg TM.

Auf die Flächeneinheit bezogen unterscheidet sich also der Wasserverbrauch vom Mais nicht so sehr vom Weizen, stärker hingegen, wenn der Wasserverbrauch als Transpirationswasser auf die produzierte TM bezogen wird. Auf diese

Auswirkungen des Sättigungsdefizites der Luft

Berechnung des Transpirationskoeffizienten TK, des benötigten Transpirationswassers für eine vorgegebene Ertragsleistung und des aus 300 mm Transpirationswasser produzierten Gesamttrockenmasse-Ertrages an vier Orten mit unterschiedlichem Sättigungsdefizit der Luft. Winterweizen als C₃-Pflanze und Mais als C₄-Pflanze unterscheiden sich im k-Faktor.

Feldfrucht	k (Pa)	Ort	Δe (Pa)	TK (l/kg)	Ertragsleistung (t/ha)	Transpirationswasser (mm)	Ertrag aus 300 mm (t/ha)
Winterweizen	4,5	Heide	700	156	16	249	19,3
		Göttingen	950	211		338	14,2
		Erfurt	1050	233		373	12,9
		Freiburg	1350	300		480	10,0
Mais	8,0	Heide	700	88	20	175	34,3
		Göttingen	950	119		238	25,3
		Erfurt	1050	131		263	22,9
		Freiburg	1350	169		338	17,7

Jahreswerte für Niederschlag und Temperatur: Heide: 823 mm, 8,3 °C; Göttingen: 644 mm, 8,7 °C; Erfurt: 502 mm, 7,9 °C; Freiburg: 930 mm, 9,7 °C



Je trockener die Luft, desto mehr Wasser entzieht sie dem Pflanzenbestand

Foto: iStockphoto

Weise zeigt sich die günstigere Wasserverwertung oder Wassernutzungseffizienz des Mais als C4-Pflanze gegenüber dem Weizen als C3-Pflanze. Unter anderem besitzen die C4-Pflanzen ein anderes Enzymsystem, das eine stärkere Anziehungskraft auf das CO₂-Gas ausübt als jenes der C3-Pflanzen.

Starker Einfluss durch Wasserdampf-Sättigungsdefizit der Luft

Sowohl bei den Erträgen als auch beim Wasserverbrauch wurde eine erhebliche Datenbreite vorgestellt. Die Abweichungen können verursacht werden durch Sorten, Saatzeit, Düngung, Vorfrucht, Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, Bodentyp, Niederschlag, nutzbares Bodenwasser, aber auch Tiefe der Durchwurzelung. Einen systematischen Einfluss auf die Höhe des TK hat man im Sättigungsdefizit der Luft (Δe) gefunden. Die Beziehung lautet: $TK = \Delta e / k$. Die Größe k ist ein pflanzenspezifischer Faktor, der in aufwendigen Feldversuchen bestimmt wurde. Er beträgt circa 8 Pa (Pascal) beim Mais und circa 4,5 Pa beim Weizen. Man kann sofort erkennen, dass der TK mit Lufttrockenheit, mit Δe steigt, aber mit größerem k sinkt. Dieser starke Einfluss des Wasserdampf-Sättigungsdefizits der Luft auf Transpiration und TM-Ertrag soll für vier Orte in Deutschland an Zahlen verdeutlicht werden. Wohlgeachtet, es geht hier um die Trockenheit der Luft, die den Pflanzenbestand überstreicht, nicht um das flüssige Wasser aus Boden und Niederschlag. Mit steigendem Defizit kann die trockene Luft mehr Wasser in der Form von Wasserdampf aufnehmen und dem Pflanzenbestand entziehen. In der Tabelle S. 8 wird das mittlere Sät-

tigungsdefizit für die Hauptwachstumszeit von Winterweizen und Mais angegeben. Vier Orte sind aufgeführt: Heide an der Nordsee, Göttingen im Leinetal, Erfurt im Süden des Thüringer Beckens und Freiburg im Oberrheintiefland. Die Werte beziehen sich auf den Strahlungstag mit Photosynthese (Nachtstunden ausgeschlossen). Nach obiger Gleichung wird 1. der TK ($\Delta e / k$), 2. das für eine bestimmte Ertragsersparnis P benötigte Transpirationswasser T ($T = P \times \Delta e / k$) und 3. der Gesamtertrag P ($P = k \times T / \Delta e$), produziert aus 300 mm Transpirationswasser, berechnet. Unproduktive Evaporation wird nicht einbezogen.

Die Tabelle zeigt eindrücklich: 1. Mais hat im Vergleich zu Weizen den niedrigeren TK. 2. Mit der Trockenheit der Luft steigt der TK von der Nordseeküste bis zum Oberrheingraben fast auf das Doppelte. 3. Zur Ertragsbildung braucht Mais weniger Transpirationswasser als Winterweizen. 4. Aus einem bestimmten Wasservorrat kann Mais einen erheblich höheren Ertrag realisieren als Weizen.

Das Beispiel macht die große Spannweite des TK allein aufgrund der Wasserdampf-Sättigung der Luft deutlich. Es zeigt, dass im süddeutschen Raum Wasser zur Erzeugung eines hohen Ertrages reichlicher bemessen sein muss (und wie in Freiburg auch ist, siehe Tabelle) als an der Küste, dass im maritimen Klima das Ertragsniveau höher liegt als im Binnenland und dass Mais im Vergleich zu Weizen die höhere Wassernutzungseffizienz besitzt.

Fazit

Je höher der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre ist, desto wichtiger ist

die im Boden gespeicherte Menge an „pflanzenverfügbarem“ Wasser. Noch viel wichtiger ist das Bodenwasser, das in der Vegetationszeit über die Wurzel tatsächlich aufgenommen werden kann. Die Menge an „aufnehmbarem“ Wasser hängt vom Tiefgang der Durchwurzelung ab, der mit dem „effektiven Wurzelraum“ gekennzeichnet wird. In einem leichten Sandboden liegt der Wurzelraum für Weizen und Mais bei nur 60 bis 70 cm Tiefe und enthält auch nur 60 bis 80, vielleicht 100 mm an aufnehmbarem Wasser, während bei einem Lösslehm der effektive Wurzelraum circa 110 cm tief ist, der 200 bis 250 mm an aufnehmbarem Wasser gespeichert halten kann.

Wichtig ist zu begreifen, dass eine für hohe Erträge ausreichende Wasserversorgung abhängig ist von der Bodengüte, der Niederschlagshöhe und der Wasserdampfsättigung der Atmosphäre. Je trockener die Luft und je geringer der Wasserspeicher des Bodens, desto stärker wird der Ertrag von der Niederschlagshöhe und der gleichmäßigen Verteilung in der Vegetationszeit bestimmt. Bei mangelndem Wasserangebot werden geeignete Anpassungsstrategien zur möglichen Vermeidung und Überwindung von Stress-Situationen immer wichtiger. <<

■ KONTAKT ■ ■ ■

Dr. Wilfried Ehlers, Prof. i. R.

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität, 37075 Göttingen
Privat: Gartenweg 5, 37136 Waake
Telefon: 05507 2304
Wilfried-Ehlers@gmx.de