

Foto: Fotolia

## Klimawandel: Vorteil Mais oder Sorghum?

Wie wirken sich unterschiedliche Wasserversorgung und atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration auf das Wachstum aus?

Seit einigen Jahren wird Sorghum alternativ zu Mais als Energiepflanze angebaut. Sorghum hat einen ähnlichen Habitus und Stoffwechsel wie Mais. Als Vorteil von Sorghum wird die hohe Trockentoleranz der Pflanze angeführt und daher ihr Anbau an Grenzertragsstandorten diskutiert, um die Konkurrenz zwischen Teller und Tank zu entschärfen. Angesichts der langfristigen Perspektive für den Energiepflanzenanbau sollte auch die Reaktion der Pflanzen auf den Klimawandel berücksichtigt werden. Am Thünen-Institut wurden daher die Auswirkungen des Klimawandels auf das Wachstum verschiedener Sorghum-Sorten im Vergleich zu Mais untersucht.

Remy Manderscheid, Braunschweig

Nach dem Energiekonzept der Bundesregierung soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergie-

verbrauch drastisch erhöht werden. Dabei soll die Bioenergie den größten Beitrag leisten. Die C4-Pflanze Mais hat derzeit die höchsten Biomasseerträge und spielt daher eine herausragende Rolle als Energiepflanze. Weitere C4-Pflanzen mit einem ähnlich hohen Wachstumspotenzial und einem ähnlichen Habitus wie Mais sind Sorghumhirsen. Aufgrund ihres natürlichen Verbreitungsgebiets in Ostafrika ist die Pflanze gut angepasst an warme und trockene Standorte. Mittlerweile wird Sorghum weltweit als Kulturpflanze verwendet. Beim gleichzeitigen Anbau mit Mais unter mediterranem Klima liefert Sorghum bei Sommertrockenheit deutlich höhere Biomasseerträge. Die höhere Trockentoleranz von Sorghum im Vergleich zu Mais wird auf Unterschiede in der Bodendurchwurzelung und in der Wassernutzungseffizienz zurückgeführt. Mittlerweile wird auch in Deutschland Sorghumhirse (Sorghum bicolor, Sorghum bicolor x sudanense) angebaut, um die Fruchtfolge aufzulockern. Ein weiteres Argument ist die Verlagerung der Anbauflächen für Energiepflanzen auf Grenzertragsstandorte, um die Konkurrenz zwischen Nahrungsproduktion und Energieproduktion zu entschärfen.

Angesichts der langfristigen Perspektive für den Energiepflanzenanbau ist es sinnvoll, das Wuchsverhalten von Sorghum nicht nur unter Trockenheit und den hiesigen kühlen Witterungsbedingungen zu testen, sondern auch unter den atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die in Zukunft zu erwarten sind.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration ist im vergangenen Jahrhundert um etwa 40 Prozent angestiegen und beträgt heute fast 400 ppm. In den nächsten 50 Jahren ist nach den Prognosen des Weltklimarates eine Zunahme auf bis zu 600 ppm durchaus realistisch. Damit verbunden sind ein Temperaturanstieg und für Mitteleuropa eine Abnahme der Sommerniederschläge. CO, ist ein wesentliches Ausgangssubtrat für die pflanzliche Stoffproduktion. Eine Änderung der Konzentration dieses Spurengases hat weitreichende Folgen für die Pflanzen. Aufgrund früherer Feldexperimente am Thünen-Institut wissen wir bereits, dass eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf 550 ppm beim Mais in erster Linie die Transpiration des Bestandes um circa 20 Prozent verringert. Dadurch wird die Wassernutzungseffizienz verbessert und bei mangelnder Wasserversorgung kommt es zu einem relativen Ertragszuwachs unter erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration. Bei guter Wasserversorgung hat ein CO,-Anstieg keinen Einfluss auf das Wachstum. Dies hängt mit dem besonderen C4-Stoffwechsel bei Mais zusammen, der keine direkte Stimulation der Fotosynthese durch mehr CO, nach sich zieht. Es



Abb. 1: Versuchstechnik zur Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration.

stellt sich die Frage, ob der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration die Überlegenheit von Sorghum im Vergleich zu Mais unter Wassermangel noch verstärkt oder nicht.

## Feldexperimente zum Wachstum von Mais und Sorghum

Auf dem Versuchsfeld des Thünen-Instituts in Braunschweig haben wir verschiedene Sorghum-Sorten angebaut und ihr Wachstum mit einer mittelspäten Energiemaissorte ("Simao") verglichen. Zur Simulation der zukünftigen Klimabedingungen wurde die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration mithilfe einer Freiland-Begasungstechnik (free air carbon dioxide enrichment = FACE)

von derzeit 390 ppm auf 600 ppm erhöht. Dabei wird das CO, über ringförmig angeordnete senkrechte Verteilungsrohre computergesteuert in den Pflanzenbestand geblasen (Abb. 1) und durch den Wind innerhalb des Versuchskreises mit 20 Meter Durchmesser gleichmäßig verteilt (Abb. 2). Die beiden CO,-Varianten wurden mit unterschiedlicher Wasserversorgung kombiniert. Mithilfe von Regenausschlusszelten (Abb. 2) haben wir ein Viertel der Sommerniederschläge abgehalten und so auf der Hälfte der Versuchsparzellen eine deutliche Trockenheit herbeigeführt, sodass die Bodenfeuchte bis zum permanenten Welkepunkt abfiel. Die andere Hälfte der Versuchsparzellen hatte über eine Tropfbewässerung eine ausreichende Wasserversorgung. Die trockenen Versuchsflächen erhielten über die ganze Vegetationsperiode nur halb so viel Wasser (170 mm) wie die bewässerten Flächen (330 mm).

# Erschließung der Wasserressourcen im Boden und Minderung der Transpiration unter erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration

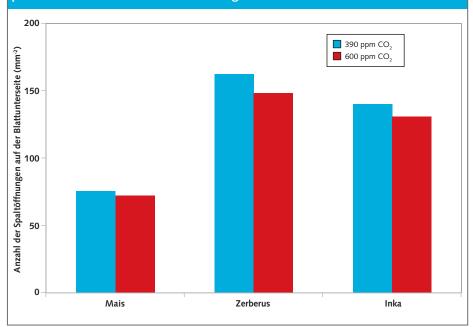
Hohe Biomasseerträge bei wenig Sommerniederschlag kann man erzielen durch die Erschließung zusätzlicher Wasserressourcen im Boden und durch eine Verringerung der Transpiration unter erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration. In unserem Versuch haben wir bei den Sorghum-Sorten in den tieferen Bodenschichten (60 bis 120 cm) ein stärkeres



Abb. 2: Versuchsfeld des Thünen-Instituts mit sechs ringförmigen Teilflächen, auf denen Mais und vier Sorghum-Sorten bei unterschiedlicher Versorgung mit CO<sub>2</sub> (390 ppm, 600 ppm) und Wasser (feucht, trocken) angebaut wurden. Im Vordergrund ist ein FACE-Versuchsring in größerem Maßstab dargestellt.

Fotos: Auto

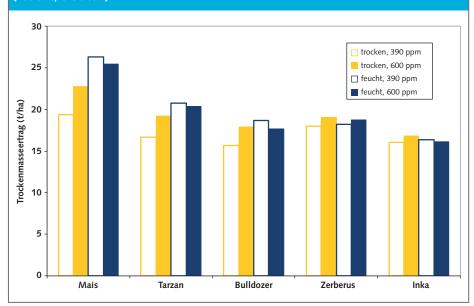
Abb. 3: Einfluss der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf die Anzahl der Spaltöffnungen pro Blattfläche bei Mais und zwei Sorghum-Sorten



Wurzelwachstum gefunden als bei Mais. Passend dazu war in den Trockenstressvarianten die Wasserentnahme aus tieferen Bodenschichten bei Sorghum etwas größer als bei Mais. Anhand der Änderung der Bodenfeuchte in den trockenen Parzellen konnten wir den Wasserverbrauch der Pflanzen bei unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Konzentration ermitteln. Von August bis September haben wir bei Mais (-25 Prozent) und Sorghum (-27 Prozent) eine gleich starke Reduktion der Transpiration durch die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration festgestellt. Dieser Effekt be-

ruht primär auf einer Verringerung der Öffnungsweite der Spaltöffnungen der Blätter. Daneben können sich die Pflanzen in einem gewissen Umfang langfristig an die Transpirationsbedingungen anpassen, indem sie bei hohem Transpirationsbedarf etwas mehr Spaltöffnungen pro Blattfläche anlegen und umgekehrt. In dem Feldversuch hatten beide Pflanzenarten unter erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration 6 Prozent weniger Spaltöffnungen pro Blattfläche (Abb. 3).

Abb. 4: Biomasseertrag von Mais und vier Sorghum-Sorten im Herbst 2011 in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub>- (390 ppm, 600 ppm) und Wasserversorgung (feucht, trocken)



### Trockenmasseerträge von Sorghum und Mais

Mais hatte unter Bewässerung einen Biomasseertrag von 26 t/ha. Eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration hatte unter diesen Bedingungen keine Bedeutung (Abb. 4). Die Halbierung der Wasserversorgung verringerte die Stoffproduktion um 26 Prozent, aber unter erhöhter CO<sub>3</sub>-Konzentration betrug der Verlust nur noch 10 Prozent. Sorghum zeigte insgesamt niedrigere Biomasseerträge und eine schwächere Reaktion auf die unterschiedliche Versorgung mit Wasser und CO<sub>2</sub>. Die Sorghum-Sorte "Tarzan" hatte bis zu 20 Prozent und die Sorte "Inka" bis zu 38 Prozent weniger Gesamtbiomasse als Mais.

Was sind die Gründe für diese Differenzen? Bei optimaler Wasser- und Nährstoffversorgung ist die Gesamtbiomasse das Produkt aus der Strahlungsmenge (SM), die über die grünen Blätter aufgenommen wurde, und der Strahlungsausnutzungseffizienz (SNE), d. h. die Effizienz, mit der diese Strahlung in Trockenmasse umgewandelt wird. SNE ist relativ ähnlich zwischen C4-Pflanzen bei normalen Temperaturbedingungen. Wir haben daher bei unserem Feldversuch SM und SNE gemessen, um der oben genannten Frage nachzugehen.

#### Mais nimmt mehr Strahlung auf

In der Fachliteratur wird für Sorghum eine etwas höhere Basistemperatur angegeben als für Mais, oberhalb der das Blattwachstum beginnt. Erwartungsgemäß haben wir bei Aussaat der beiden Kulturpflanzen in der zweiten Maihälfte für Mais ein schnelleres Blattwachstum festgestellt. Dies führte in der Summe über die Vegetationsperiode dazu, dass der Mais circa 20 Prozent mehr Strahlung aufgenommen hat als die Sorghum-Sorten. Bei der Aussaat im Juni mit höheren Temperaturen waren kaum Differenzen nachweisbar. Bei den vorgestellten Biomasseerträgen (Abb. 4) wurden die Pflanzen im Mai gedrillt. SM lag bei allen Sorghum-Sorten um 20 Prozent niedriger als bei Mais. Folglich lässt sich die bei "Tarzan" beobachtete Reduktion der Trockenmasse um 20 Prozent im Vergleich zu Mais auf die Unterschiede im Blattwachstum bzw. der Strahlungsaufnahme erklären. Die anderen drei Sorghum-Sorten hatten jedoch mehr als 20 Prozent Minderertrag im Vergleich zu Mais.

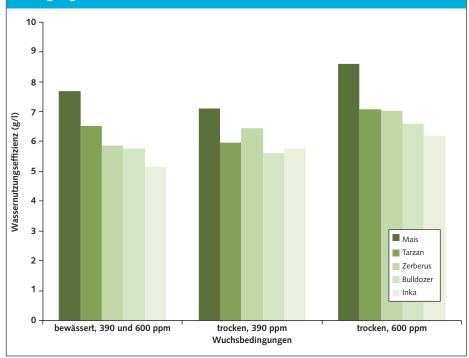
#### Einzelne Sorghum-Sorten können die Strahlung bei kühlen Sommertemperaturen nicht voll ausnutzen

Die bei Bewässerung ermittelte SNE ist bei Mais und "Tarzan" (3,4 bis 3,5 g/ MJ) gleich. Aber bei den anderen Sorghum-Sorten ist SNE kleiner und "Inka" hat den niedrigsten Wert (2,6 g/MJ). Daten aus verschiedenen Feldversuchen legen nahe, dass kühle Sommertemperaturen für den Abfall von SNE bei einzelnen Sorghum-Sorten verantwortlich sind. Bei den in Abb. 4 dargestellten Biomasseerträgen ist die SNE für "Inka" um 20 Prozent niedriger als die von "Tarzan" oder Mais. D.h., der um fast 40 Prozent niedrigere Biomasseertrag bei der Sorghum-Sorte "Inka" im Vergleich zu Mais beruht offensichtlich auf einem höheren Temperaturbedarf von "Inka" für das Blattwachstum und für die Stoffproduktion.

#### Mais hat eine höhere Wassernutzungseffizienz als Sorghum

Die Wassernutzungseffizienz (WNE) ist der Quotient aus der produzierten Trockenmasse geteilt durch die Wassermenge aus Regen, Bewässerung und Änderung der Bodenfeuchte. Der Nenner enthält nicht nur den "produktiven" (Transpiration), sondern auch den "unproduktiven" Wasserverbrauch, der in unserem Versuch vor allem die Evaporation beinhaltet. Die WNE ist in allen Behandlungsvarianten für Mais besser als für Sorghum (Abb. 5). Mais kommt auf eine WNE von knapp über 7 g/l bei optimaler Wasserversorgung. Der schwache CO<sub>2</sub>-Effekt auf WNE unter Bewässerung beruht wohl darauf, dass die Reduktion der Transpiration gekoppelt ist mit einer Steigerung der Evaporation. Bei Bodentrockenheit ist die Evaporation stark vermindert. Entsprechend sieht man hier den CO<sub>2</sub>-Effekt auf WNE. Das Ausmaß variiert zwischen den Pflanzen und es zeigt sich eine Beziehung zum Biomasseertrag: bei Mais mit der höchsten Biomasse steigt WNE unter CO<sub>2</sub>-Anreicherung um 21 Prozent und bei der Sorghum-Sorte "Inka" nur um 8 Prozent.

Abb. 5: Wassernutzungseffizienz von Mais und vier Sorghum-Sorten im Herbst 2011 in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub>- (390 ppm, 600 ppm) und Wasserversorgung (feucht, trocken)



#### **Fazit**

Die hier untersuchten Sorghum-Sorten haben für ihre Blattentwicklung einen etwas höheren Temperaturanspruch als Mais, der sich vor allem bei früher Aussaat im Mai oder kühler Frühsommerwitterung bemerkbar macht. Zusätzlich zeigt insbesondere die Sorte "Inka" bei kühler Sommerwitterung einen Leistungsabfall in der Stoffproduktion. Mais und Sorghum profitieren in gleichem Maße vom Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration durch eine Verringerung der Blatttranspiration. Wegen des niedrigeren Temperaturanspruchs von Mais und seine dadurch bedingte bessere Wüchsigkeit im Vergleich zu Sorghum unter den heutigen Klimabedingungen hat Mais eine etwas höhere Wassernutzungseffizienz als Sorghum. Damit verbunden ist auch, dass Mais die Wasserersparnis unter erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentration bei Sommertrockenheit besser ausnutzen kann und so eine größere Zunahme der Wassernutzungseffizienz aufweist als Sorghum. Sorghum zeichnet sich aus durch eine tiefere Bodendurchwurzelung. Ein im Vergleich mit Mais ähnliches oder sogar besseres Wachstum bei mangelnder Wasserversorgung ist voraussichtlich erst nach züchterischer Anpassung an kühle Witterung möglich.

Bedanken für die Unterstützung durch fachliche Beiträge möchte ich mich bei meinem Kollegen Martin Erbs und dem Institutsleiter Hans-Joachim-Weigel.

#### ■ KONTAKT ■■■

#### Dr. Remy Manderscheid

Thünen-Institut für Biodiversität 38116 Braunschweig

Telefon: 0531 5962579 Telefax: 0531 5962599 remy.manderscheid@ti.bund.de