

Spektrale Augen im Mais

Welche Möglichkeiten bietet der Einsatz von optischen Sensoren?

Eine weitere Steigerung der Ertragsleistung und die Anpassung an ein begrenztes Wasser- und reduziertes Nährstoffangebot erfordert die Bewertung des Wachstums von Maispflanzen in verschiedenen Anbausituationen. Destruktive Erfassungen des Biomassewachstums sind sehr aufwendig und werden häufig nur zum Zeitpunkt der Ernte durchgeführt. Eine berührungslose Erfassung wertgebender Eigenschaften von Maispflanzen ist nicht nur in der Züchtung, sondern generell im Feldversuchswesen sehr vorteilhaft. Diese Arbeit beschreibt Ansätze zu einer effizienten, nicht destruktiven Erfassung von Leistungsmerkmalen von Mais im Hochdurchsatz.

Loïc Winterhalter, Bodo Mistele und Urs Schmidhalter, Freising



Abb. 1: Sensorsystem und Trägerfahrzeug zur Erfassung von Eigenschaften von Maispflanzen in Beständen. Versuchsstation Dürnast des Lehrstuhls für Pflanzenernährung der Technischen Universität München

Optische Sensoren besitzen das Potenzial, pflanzliche Eigenschaften schnell und berührungslos zu erfassen. In mehrjährigen Feldversuchen wurde ermittelt, ob eine dynamische Erfassung des pflanzlichen Wasserstatus und der Bestandestemperatur sowie der Biomasse und der Stickstoffaufnahme von verschiedenen Maishybriden mittels nicht destruktiven Methoden möglich ist. Bessere Kenntnisse auf diesem Gebiet können zu Optimierungen von Managemententscheidungen beitragen wie beispielsweise zur standortangepassten Bewässerung und Düngung. Aber auch in der Pflanzenzüchtung könnten solche

Informationen für eine verbesserte Selektion genutzt werden und sie ermöglichen es zudem, genomische Informationen besser zu bewerten. Die Entwicklung von Hochdurchsatz-Systemen zur Erfassung von phänotypischen und physiologischen Bestandesmerkmalen führt zu schnellen und kostengünstigen Methoden, die im Feldversuchswesen wie auch in Züchtungsprogrammen eingesetzt werden können. Dadurch können Eigenschaften wie die Stickstoffeffizienz und die Trockenstresstoleranz von Mais bewertet werden und damit zu Verbesserungen in der Qualität und in der Ertragsleistung von Mais beitragen.

Wie präzise sehen Sensoren?

Die Feldversuche wurden in den Jahren 2006 bis 2009 auf der Versuchsstation des Lehrstuhls für Pflanzenernährung der Technischen Universität München und beim National Corn and Sorghum Research Center in Thailand während der regenfreien Trockenzeit durchgeführt. Für die Versuche wurden vom Lehrstuhl für Pflanzenernährung der Technischen Universität München neu entwickelte spektrale Sensorsysteme in Kombination mit Hochdurchsatz-Trägerfahrzeugen (Abb. 1 und 2) eingesetzt. Der Vorteil dieser Messmetho-



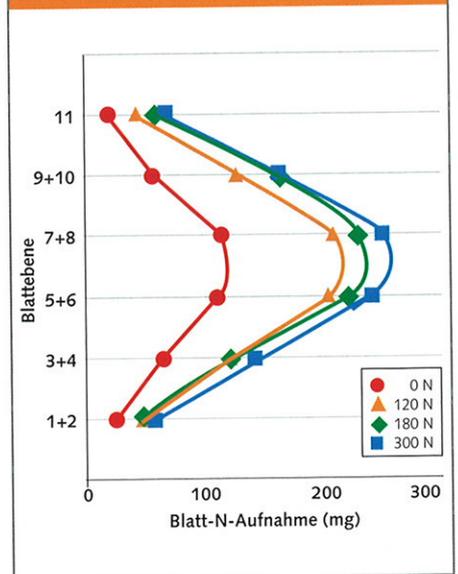
Abb. 2: Sensorsystem und Trägerfahrzeug auf der Versuchsstation des National Corn and Sorghum Center in Thailand
Fotos: Autoren

dik ist die daraus resultierende schnelle Hochdurchsatz-Erfassung von Bestandesparametern auf einer großen Fläche und die gleichzeitige Verknüpfung mit GPS-Informationen. Die eingesetzten Reflektionssensoren messen in einem Wellenlängenbereich von 300 bis 1700 nm das vom Pflanzenbestand reflektierte Sonnenlicht und die Globalstrahlung, um Veränderungen des eingestrahnten Lichts zu kompensieren. Die schräge und mehrfache Anordnung der Sensorgeometrie ermöglicht es, eine große Messfläche bei den einzelnen Parzellen zu erhalten und gleichzeitig den Bo-

deneinfluss auf die Sensormessungen zu minimieren.

Die Sensorik erfasste die Biomasse und die Stickstoffaufnahme (Abb. 3) der Maisbestände bis in die untersten Blättetagen und differenzierte dabei ebenfalls verschiedene N-Düngungsstufen. Dies konnte durch eine schrittweise von unten heraus fortschreitende Entblätterung der Maispflanzen und darauffolgende Sensormessung aufgezeigt werden. Durch das Entfernen der Blätter im Messfeld des Sensors verringerten sich die erfasste Gesamt-Biomasse und die Stickstoffaufnahme der Blätter. Dieser Sachverhalt wurde

Abb. 4: Vertikales glockenförmiges Stickstoffaufnahmeprofil von Maispflanzen bei vier Düngungsstufen



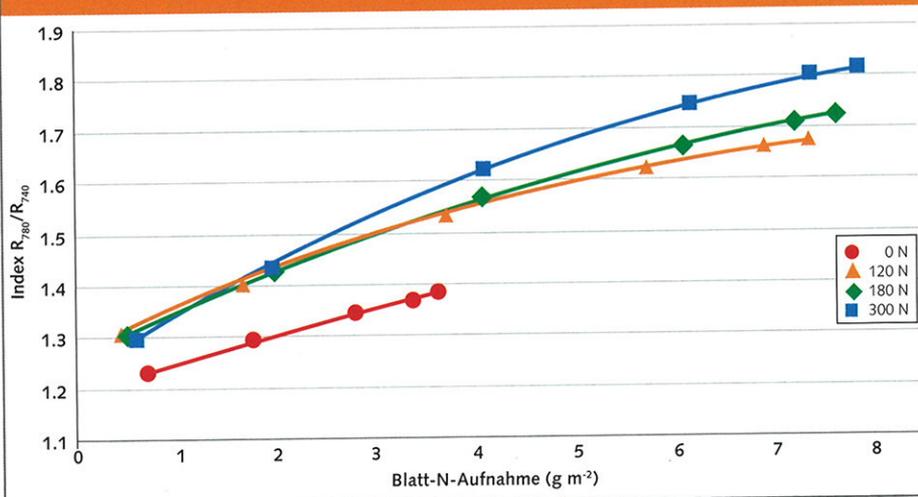
durch eine Reduzierung des Sensorwertes bestätigt. Die Verteilung der Blattfläche, Biomasse und Stickstoffaufnahme (Abb. 4) der einzelnen Blättetagen entlang der Maispflanzen wurde ermittelt und es zeigte sich, dass im Bereich des Kolbens die höchsten Werte erreicht werden konnten. Die Sensorik war somit in der Lage, die Biomasse und den N-Status der gesamten Maispflanze zu erfassen.

Welche Bestandeseigenschaften erfassen Sensoren?

Das Sensorsystem erfasste bei den Feldversuchen den pflanzlichen Wasserstatus und die Bestandestemperatur sowie die Biomasse und die Stickstoffaufnahme. Spektralindizes (Verhältnisse von zwei oder mehr Wellenlängen) sowie die begleitend mit Infrarotmessung erfasste Temperatur der Pflanzenbestände korrelierten eng mit dem Wasserstatus der Maispflanzen. Der Spektralindex war umso höher, je höher die Bestandeswassermenge war (Abb. 5). Die Biomasse und die Stickstoffaufnahme wurden ebenfalls verlässlich durch Spektralindizes erfasst und die verschiedenen Trockenstressverfahren konnten deutlich differenziert werden. Die Maishybriden konnten sowohl durch die nicht destruktiven Sensormessungen wie auch durch begleitende Biomassernten konsistent in drei Gruppen (unterdurchschnittliche, durchschnittliche und überdurchschnittliche Gesamtpflanzen-Wassermenge) unterteilt werden (Abb. 6) und wiesen zu-

Abb. 3: Zusammenhang zwischen Blattstickstoffaufnahme und Sensorwert (Indexwert) bei fortschreitender Entblätterung von Maispflanzen von unten beginnend

Die höchsten Werte repräsentieren die Gesamtpflanze, die niedrigsten die verbleibenden Stängel und Kolben. Es wurden jeweils zwei Blättetagen entfernt. Die Pflanzen wurden mit vier verschiedenen N-Düngungsstufen von 0–300 kg N/ha versorgt



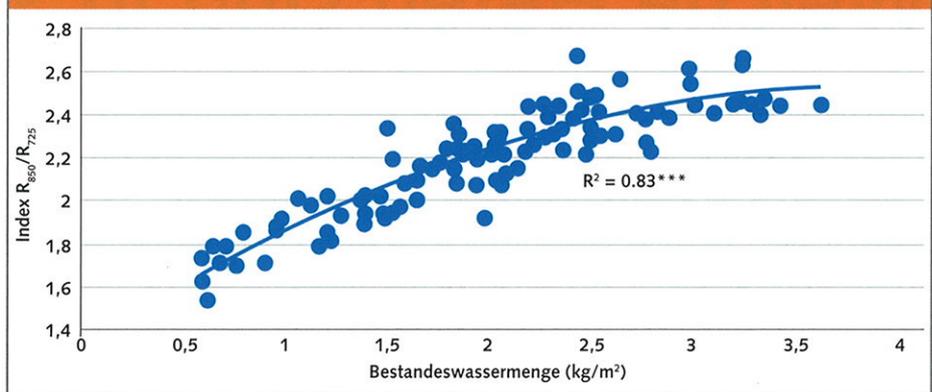
dem ein konsistentes Ranking in der Biomasse und in der Stickstoffaufnahme bei den verschiedenen Trockenstress-Szenarien auf. Somit konnte das Sensorsystem den Wasserstatus, die Biomasse und den Stickstoffstatus verschiedener Maishybriden erfassen.

Welche Einsatzmöglichkeiten bieten Sensoren?

Die Forschungsergebnisse zeigen somit erstmalig die Möglichkeit auf, im Feldversuchswesen phänotypische und physiologische Bestandesmerkmale von Maissorten durch Hochdurchsatzsysteme zu erfassen. Einsatzbereiche eröffnen sich bei der Optimierung von Managemententscheidungen, wie z. B. für eine optimierte Stickstoffdüngung oder auch ein effizienteres Bewässerungsmanagement. Darüber hinaus wird das Potenzial zu einer verbesserten Selektion in der Pflanzenzüchtung aufgezeigt. Generell können solche Systeme zur dynamischen Erfassung und Bewertung des Wachstums von Maispflanzen im Feldversuchswesen eingesetzt werden.

Im Precision Farming werden Sensoren bereits eingesetzt, beispielsweise zur standortangepassten Düngung. Aufgrund der Schlepperhöhe ist dieser Einsatz auf das Jugendstadium beschränkt, während Anwendungen in der Pflanzenzüchtung bisher noch nicht erfolgt sind. Die Hochdurchsatz-Erfassung von Pflanzenparametern mittels optischer Sensoren, kombiniert mit der Anbringung an Trägerfahrzeuge, stellt einen neuen

Abb. 5: Spektralsensorische Erfassung des Wasserstatus von Maisbeständen



und vielversprechenden Ansatz dar. Der kombinierte Ansatz von Hochdurchsatz-Phänotypisierung und -Genotypisierung könnte zu Fortschritten im Verständnis der genetischen Grundlagen der N-Effizienz wie auch der Trockenstresstoleranz beitragen. Die Bereitstellung stickstoffeffizienter und trockenstresstoleranter Sorten wird zu verbesserten Ertragsleistungen von Silo-, Körner- und Energiemais beitragen können. Anwendungspotenziale ergeben sich auch in einer vereinfachten Krankheitserfassung.

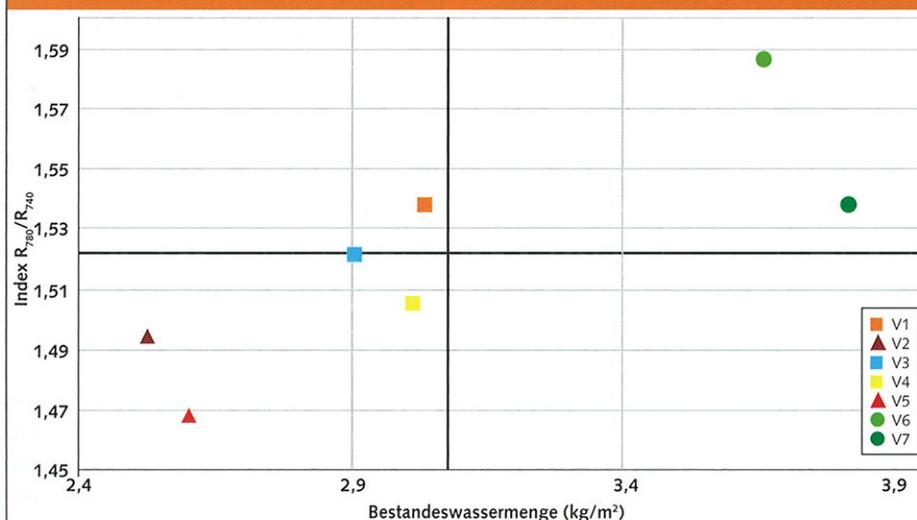
Die Entwicklung von solchen Messsystemen und die praktische Umsetzung befinden sich jedoch noch in den Anfängen. Die Durchführung einer erfolgreichen Machbarkeitsstudie stellt einen ersten Schritt auf diesem Wege dar. Verschiedene Aspekte wie eine Optimierung der Sensoren, die Weiterentwicklung von Algorithmen zur Erfassung der Pflanzenarchitektur oder auch die Verwendung optimierter Trägerplattformen

müssen weiter verbessert werden, bevor eine systematische Anwendung in der Praxis der Pflanzenzüchtung erfolgen kann. <<

Fazit

Die Hochdurchsatz-Phänotypisierung ermöglicht die sensorische Erfassung von diversen Bestandesmerkmalen sowie die Differenzierung bezüglich der N-Aufnahme, der Trockenstresstoleranz und eine diesbezügliche Klassierung von Maishybriden oder -linien. Die eingesetzte Reflexionssensorik ist ebenfalls in der Lage, die Biomasse und Stickstoffaufnahme von Maispflanzen bis zu den untersten Blattetagen zu erfassen sowie Düngungsstufen zu unterscheiden und somit die gesamte Pflanze spektral abzubilden. Die Weiterentwicklung der Sensorsysteme und Algorithmen ermöglicht einerseits die sensorgestützte Optimierung von Managemententscheidungen und zeigt andererseits das Potenzial zur verbesserten Selektion in der Pflanzenzüchtung auf.

Abb. 6: Differenzierung von Maishybriden mittels spektraler Algorithmen aufgrund der unterschiedlichen Gesamtwassermengen in den Pflanzen. Die untersuchten sieben Maishybriden können deutlich in drei Gruppen klassiert werden



KONTAKT

Prof. Dr. Urs Schmidhalter
 Lehrstuhl für Pflanzenernährung
 Technische Universität München,
 85354 Freising
 Telefon: 08161 713390
 Telefax: 08161 714500
 schmidhalter@wzw.tum.de