



DR. HEIKE THIEL  
K+S KALI GmbH,  
Research and Advisory,  
Kassel



BÁLINT JÁKLI  
Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter, Institute of  
Applied Plant Nutrition  
(IAPN), Universität  
Göttingen

# Kalium erhöht die Wassernutzungseffizienz pflanzlicher Systeme

Grundlagen der Forschung am Institute of Applied Plant Nutrition

Das Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) hat sich zur Aufgabe gesetzt, aktuelle Fragestellungen der Landwirtschaft zu bearbeiten und dabei nachhaltige Managementstrategien für die Pflanzenproduktion zu entwickeln. Die Funktionen von Nährstoffen in Pflanzen besser zu verstehen, besonders in Hinsicht auf Trockenstress und Wassernutzungseffizienz (WUE), zählen zu den wichtigsten Zielen der Wissenschaftler(innen) und Studierenden des IAPN. In diesem Artikel möchten die Autoren einen Einblick in die Forschung am IAPN geben. Dabei werden besonders der Nährstoff Kalium (K) und seine Bedeutung für die WUE von Kulturpflanzen in den Mittelpunkt gerückt. Die WUE beschreibt das Verhältnis aus Biomasseproduktion und Wasserverbrauch von pflanzlichen Systemen. Die Rolle von K bei der Regulierung der WUE hängt dabei stark von der räumlichen und zeitlichen Skala ab, auf der das System betrachtet wird. So zeigt sich, dass die Versorgung mit K keinen Einfluss auf die WUE individueller Blätter hat. Betrachtet man die WUE aber auf der Ebene einzelner Pflanzen bis hin zu agrarwirtschaftlichen Pflanzenbeständen, so zeigt sich eine deutliche Steigerung der WUE mit zunehmendem Kaliumangebot. Schon geringer, nicht sichtbarer K-Mangel kann dadurch zu Ertragseinbußen führen, insbesondere unter Stressbedingungen wie Trockenheit. Das IAPN konnte in den letzten Jahren mit seiner Forschungsarbeit dazu beitragen, die der WUE zugrunde liegenden Prozesse besser zu verstehen und sie aus der Perspektive der Pflanzenernährung zu beschreiben. Die Ergebnisse sollen helfen die weltweite Pflanzenproduktion standortangepasster und nachhaltiger zu gestalten.

***Increase of water-use efficiency by potassium in plant systems – Research at the Institute of Applied Plant Nutrition*** The Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) focuses on current issues in agriculture and the development of sustainable management solutions for plant production. A better understanding of the manifold interactions between plant nutrition, drought stress and water-use efficiency (WUE) is the aim of researchers and students at IAPN. In this article, the authors want to give insight into some of the research activities of the IAPN team. The focus is on the special role of the mineral nutrient potassium (K) in the WUE of crops. WUE can be defined as the ratio of biomass production to water consumption of a plant system. The function of K in the regulation of WUE strongly depends on the spatial and temporal perspective. IAPN scientists could show that, on the level of individual leaves, WUE is not affected by K nutrition. However, increasing K supply significantly improves the WUE of single plants or even entire crop canopies. Mild K deficiency might not show any visible symptoms under optimal environmental conditions, but will reduce crop yield under stress conditions like drought. From the perspective of plant nutrition, the research at IPAN during the recent years could contribute to a better understanding of the processes that determine the WUE of crops. This detailed research work will help to enhance our knowledge about the role of K in WUE, to develop new ideas for a more sustainable plant production and to improve food security by a more efficient use of water in many regions of the world.



Die Transpiration von Pflanzen kann mithilfe einer Wärmebildkamera (im Bild das Modell T640 der Firma FLIR Systems im Gewächshaus des IAPN) sichtbar gemacht werden: Verdunstet Wasser aus den Spaltöffnungen an der Blattunterseite hat das einen kühlenden Effekt, ähnlich dem menschlichen Schwitzen. Je mehr Wasser durch die Blätter transpiriert wird, desto kühler ist die Blattoberfläche im Vergleich zur Umgebungsluft.

### Landwirtschaft im globalen Wandel

Die wohl größte Herausforderung unserer Zeit ist das schnelle Anwachsen der Weltbevölkerung. Der immer größere Einfluss des Menschen auf das Klimasystem unseres Planeten führt bereits jetzt zu stärkeren Veränderungen, als ohne menschliches Zutun zu erwarten wäre. Mit diesem Klimawandel einher gehen u. a. die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperaturen, ein Anstieg des Meeresspiegels sowie Veränderungen in der regionalen Verteilung von Niederschlägen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich diese Phänomene in Zukunft weiter verstärken werden. Unzertrennlich mit dem anthropogenen Klimawandel verknüpft ist der sogenannte Landnutzungswandel: Durch immer höhere Bevölkerungsdichten werden unsere

Umweltsysteme immer tiefgreifender durch menschliche Aktivitäten beeinflusst. Das hat wiederum Auswirkungen auf das globale Klima. Um den steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln auch in Zukunft decken zu können, ist eine Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion um bis zu 50 % bis 2050 notwendig. Etwa ein Drittel der Landoberfläche unseres Planeten wird bereits landwirtschaftlich genutzt. Da der Mensch auch in zunehmendem Maße Flächen für Siedlung und Infrastruktur benötigt, ist eine Ausweitung der Agrarflächen kaum mehr möglich. Des Weiteren sind weite Teile der Erdoberfläche von Wüsten, Gletschern und Gebirgen geprägt und entziehen sich somit einer Nutzung. Ein Großteil des zusätzlichen Bedarfs an landwirtschaftlichen Produkten muss also auf

bereits genutzten Flächen produziert werden. Bezogen auf die Nutzpflanzenproduktion bedeutet das, dass der Ertrag pro Einheit Produktionsfläche weiter gesteigert werden muss. Und zwar auch auf Flächen, auf denen die Bedingungen nicht immer ideal für den Ackerbau sind, zum Beispiel weil im Jahresverlauf regelmäßig Trockenperioden auftreten. In der konventionellen Landwirtschaft wurde eine Ertragssteigerung in den letzten Jahrzehnten zumeist durch eine Intensivierung der Aufwandmengen an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln in Kombination mit neu gezüchteten Sorten erreicht. Soll allerdings die Produktivität unserer landwirtschaftlichen Systeme langfristig aufrechterhalten werden, müssen diese Inputs in Zukunft eher verringert als gesteigert werden. Agrarkonzerne



versuchen deshalb immer leistungsfähigere Sorten, immer effizientere Düngemittel und immer gezieltere Pflanzenschutzmittel auf den Markt zu bringen. Es wird dabei zunehmend wichtiger, die Toleranz unserer pflanzlichen Produktionssysteme gegenüber unvorteilhaften Umweltbedingungen zu verbessern. Die Grundlagen zum Verständnis um die Eigenschaften, welche die Widerstandsfähigkeit unserer Kulturpflanzen gegen Dürre, Hitze oder Starkregenereignisse verstärken und dabei ein möglichst hohes Ertragsniveau aufrechterhalten, liefert die Forschung. Vor diesem Hintergrund ist eine Eigenschaft von Kulturpflanzen besonders interessant: ihre Wassernutzungseffizienz (WUE, vom Englischen *water-use efficiency*). Die WUE beschreibt das Verhältnis zwischen

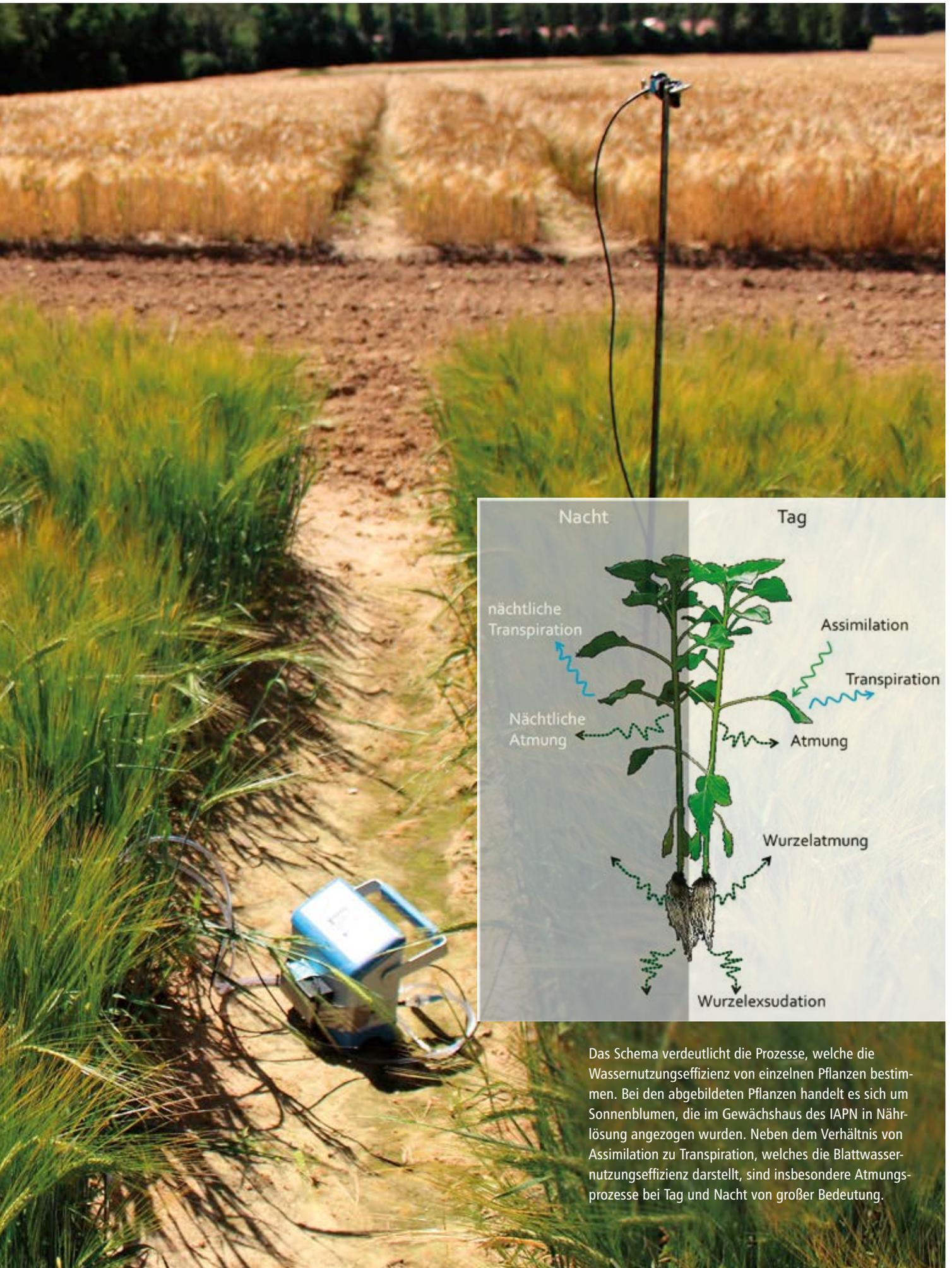
der gebildeten Biomasse und dem dafür verbrauchten Wasser. Je höher die WUE, desto effizienter nutzen pflanzliche Systeme das vorhandene Wasser für die Biomasseproduktion. Besonders unter Umweltbedingungen, in denen die Wasserverfügbarkeit den limitierenden Faktor für den Pflanzenbau darstellt kann eine hohe WUE die Grundlage für eine maximale Ausschöpfung des Ertragspotentials bilden. Eine Vielzahl von Faktoren können die WUE positiv beeinflussen: Neben der richtigen Sortenwahl und einer an das jeweilige Umweltsystem angepassten Managementpraktik spielt die Verfügbarkeit von mineralischen Nährelementen eine entscheidende Rolle.

Die Erforschung der Wechselwirkung zwischen der WUE und einer

optimierten Versorgung verschiedenster Kulturpflanzen mit den wichtigen Elementen Kalium und Magnesium hat sich das Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) in Göttingen zur Aufgabe gemacht (siehe Infobox). Dazu wurden in den letzten Jahren umfassende Versuchsreihen an wichtigen Kulturpflanzen wie Weizen, Gerste, Mais, Zuckerrüben und Sonnenblumen sowohl unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus als auch im Freiland durchgeführt. Im Folgenden werden die Grundlagen der Forschung am IAPN dargestellt und einige der wichtigsten Forschungsergebnisse erläutert. Da Kalium von zentraler Bedeutung für den pflanzlichen Wasserhaushalt ist, soll dessen Rolle bei der Regulierung der WUE erläutert werden.



Zur Bestimmung der Wassernutzungseffizienz in landwirtschaftlichen Beständen kommt ein mobiles Kammer-System aus Plexiglas zum Einsatz, das von Mitarbeitern des IAPN in Zusammenarbeit mit der Firma Hecker Kunststofftechnik entworfen wurde. Ein hochpräzises Messgerät (EGM-5, PP Systems) zeichnet dabei CO<sub>2</sub>-Aufnahme und Transpiration des Pflanzenbestandes auf. Die Messung im Bild wurde in einem Sommergerstenbestand durchgeführt.



Das Schema verdeutlicht die Prozesse, welche die Wassernutzungseffizienz von einzelnen Pflanzen bestimmen. Bei den abgebildeten Pflanzen handelt es sich um Sonnenblumen, die im Gewächshaus des IAPN in Nährlösung angezogen wurden. Neben dem Verhältnis von Assimilation zu Transpiration, welches die Blattwassernutzungseffizienz darstellt, sind insbesondere Atmungsprozesse bei Tag und Nacht von großer Bedeutung.

### Wassernutzungseffizienz ist nicht gleich Wassernutzungseffizienz

Die Definition der Wassernutzungseffizienz eines pflanzlichen Systems ist abhängig von der räumlichen und zeitlichen Skala, die beide stark von der Perspektive des Betrachters abhängen. So kann die WUE auf der Ebene von individuellen Blättern beschrieben werden, auf der Ebene einer einzelnen Pflanze, auf der Ebene von Pflanzenbeständen und sogar von ganzen Ökosystemen. Auch die zeitliche Skala kann unterschiedlich sein: von wenigen Minuten über Tage bis hin zu einer kompletten Wachstumsperiode. Je größer die räumliche Skala und je länger die Zeitspanne, die dabei betrachtet wird, desto vielfältiger und komplexer sind die Faktoren, von denen die WUE bestimmt wird. Es ist egal, welche Perspektive man zur Betrachtung wählt: Die WUE beschreibt immer das Verhältnis von produzierter Biomasse (als Trockengewicht, Ernteertrag oder aufgenommenes CO<sub>2</sub>) zu dem dafür benötigten Wasser. Wie die WUE auf unterschiedlichen Skalen von Kulturpflanzen reguliert wird und in welchem Zusammenhang diese Regulierungsprozesse mit deren Kaliumhaushalt stehen, ist eine der wichtigsten Forschungsfragen am IAPN. Am einfachsten ist die Beschreibung der WUE als Verhältnis zwischen der gebildeten Biomasse einzelner Pflanzen und dem dabei verbrauchten Wasser (z.B. ausgedrückt als Gramm Trockenmasse/Liter Wasser). Für die Landwirtschaft ist hauptsächlich der geerntete Ertrag pro Einheit verbrauchtem Wasser von Bedeutung (als t/ha Ertrag pro mm Wasser). Dieses Verhältnis wird auch als agronomische WUE bezeichnet. Besonders in Regionen mit geringer Wasserverfügbarkeit oder regelmäßigen Dürreperioden ist eine Maximierung der agronomischen WUE von großer

Bedeutung. Die wichtigsten Prozesse, welche die WUE eines pflanzlichen Systems bestimmen, laufen aber auf viel kleineren Skalen ab.

### Die kleinste Einheit: Blatt-Wassernutzungseffizienz

Während der Photosynthese nehmen Pflanzen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre auf und wandeln es mit Hilfe von Licht in energiereichen Zucker um, ein Vorgang der Assimilation genannt wird. Dabei gelangt das CO<sub>2</sub> durch winzige Spaltöffnungen an der Blattunterseite (sogenannte Stomata) in das Blattinnere. Gleichzeitig verdunstet über die Stomata auch Wasser. Dieser Prozess wird Transpiration genannt. Die Öffnungsweite der Stomata ist aber nicht festgelegt, sondern kann von der Pflanze dynamisch an die jeweiligen Umweltbedingungen angepasst werden. Wasser ist essentiell für den pflanzlichen Stoffwechsel. Es steht im Boden aber nur begrenzt zur Verfügung. Pflanzen begehnen also zu jeder Zeit ihres Wachstums eine Gratwanderung: Zum einen wollen sie ihre Assimilation maximieren, also mehr Zucker aufbauen und somit schneller wachsen. Deswegen sind Pflanzen bestrebt, ihre Stomata möglichst weit zu öffnen, um möglichst viel CO<sub>2</sub> für die Assimilation in das Innere der Blätter einströmen zu lassen. Je weiter aber die Stomata geöffnet sind, desto mehr Wasser geht der Pflanze durch Transpiration verloren. Eine gesunde Pflanze passt die Öffnung ihrer Stomata immer so genau wie möglich an die Verfügbarkeit von Wasser im Boden an, um das Verhältnis zwischen CO<sub>2</sub>-Aufnahme und Wasserverlust zu optimieren. Dieses Verhältnis zwischen Assimilation und Transpiration wird als die Blatt-Wassernutzungseffizienz (Blatt-WUE) bezeichnet, da die zu Grunde liegenden Prozesse auf Bruchteilen der Fläche einzelner Blätter reguliert

werden. Auf dieser Ebene spielt Kalium eine zentrale Rolle: Es ist für das Öffnen und Schließen der Stomata und somit für die Optimierung der Blatt-WUE mitverantwortlich. Fehlt das für die Pflanze energetisch „billige“ Kalium, muss sie „teure“ organische Verbindungen produzieren, die die Rolle des Kaliums bei der Optimierung der Blatt-WUE übernehmen. Das geht zu Lasten des Wachstums und vermindert letztendlich die Produktivität und den Ertrag. Dass Pflanzen ihre Spaltöffnungen aber auch unter Kaliummangel effizient regulieren können, konnte am IAPN in intensiven Messreihen an verschiedensten Kulturpflanzen gezeigt werden. Das Ergebnis ist eindeutig: Die Blatt-WUE unterscheidet sich nicht signifikant bei Pflanzen, die unterschiedlich mit Kalium versorgt sind.

### Von der einzelnen Pflanze zum Pflanzenbestand

Die Wassernutzungseffizienz lässt sich aber nicht nur aus der Perspektive einzelner Blätter definieren. Eine Beschreibung ist auch auf der Ebene einzelner Pflanzen und sogar gesamter Pflanzenbestände möglich. Im Gegensatz zur Blatt-WUE wird die WUE von einzelnen Pflanzen und auch von Pflanzenbeständen durch eine gute Kaliumversorgung eindeutig verbessert. Auch bei Betrachtung der WUE ganzer Pflanzen ist das Verhältnis aus Assimilation und Transpiration, also die Blatt-WUE, ein wichtiger Einflussfaktor. Zusätzlich wird aber die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Pflanzen durch Atmungsprozesse verringert, die sowohl am Tag als auch in der Nacht in der grünen Biomasse und in den Wurzeln ablaufen und die den Stoffwechsel der Pflanzen aufrechterhalten. Sowohl die Bestimmung der Blatt-WUE als auch die messtechnische Erfassung der Pflanzen-WUE lassen sich am ein-

fachsten unter kontrollierten Bedingungen durchführen. Dazu wurden im Gewächshaus des IAPN einzelne Pflanzen in Nährlösung angezogen und mit unterschiedlichen Mengen an Kalium versorgt. Dieses einfache System bietet eine einzigartige Möglichkeit, gezielt wichtige pflanzliche Reaktionen auf ein reduziertes Kaliumangebot zu erforschen. Allerdings darf man bei der Analyse und Interpretation solcher Experimente nie vergessen, dass unsere wichtig-

sten Kulturpflanzen nicht unter kontrollierten Bedingungen angebaut werden. Sie wachsen stattdessen in großen Monokulturen auf Feldern, wo sie nicht nur in ständiger Interaktion mit Atmosphäre und Boden stehen, sondern sich auch wechselseitig beeinflussen. Auch diese Interaktionen werden durch die Kaliumversorgung der Pflanzen beeinflusst. Ist beispielsweise der Kaliumgehalt des Bodens gering, so muss die Pflanze mehr Energie aufwenden, um ausreichend

Kalium aufnehmen zu können. Das geht mit einer erhöhten Wurzelatmung einher. Zusätzlich geben Pflanzen permanent organische Verbindungen über die Wurzeln in die Bodenlösung ab (Wurzelexsudation), um sowohl mit der belebten als auch der mineralischen Bodenumwelt zu interagieren. Unter Kaliummangel können Pflanzen diesen Vorgang nur unzureichend kontrollieren und die Exsudation nimmt zu, ohne einen direkten Nutzen für die Pflanze zu

# Das IAPN

## Forschung für eine nachhaltige Pflanzenernährung

Das Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) wurde im Jahr 2010 gegründet. Das Forschungsinstitut ist eine Kooperation zwischen der Georg-August Universität Göttingen und der K+S KALI GmbH. Ziel des IAPN ist es, mittels wissenschaftlicher Forschung und Lehre im Bereich der angewandten Pflanzenernährung einen Beitrag zur Landwirtschaft der Zukunft zu leisten. Denn aufgrund des ökonomischen, ökologischen und demographischen Wandels ist es eine wichtige Aufgabe, dass der Bevölkerung auch zukünftig ausreichend landwirtschaftliche Produkte guter Qualität zur Verfügung stehen. Dies muss langfristig durch hohe Effizienz mit möglichst geringen Auswirkungen auf die Umwelt erreicht werden.

Die Forschungsarbeiten des IAPN zielen darauf ab, das Grundlagenwissen um die Mineralstoffernährung von Nutzpflanzen zu erweitern und damit die effizientere Nutzung von eingesetzten Ressourcen, insbesondere von Pflanzennährstoffen, Wasser und Boden, zu optimieren. Das langfristige Ziel des IAPN ist die Entwicklung von standortangepassten, intelligenten Dünge-managementsystemen, vor allem in Bezug auf die Nährstoffe Kalium, Magnesium und Schwefel. Um wachsende Pflanzenbestände unbeschädigt analysieren zu können, werden am IAPN berührungslose Verfahren zur Früherkennung von Stresssituationen entwickelt. Dazu zählen insbesondere das Auftreten von Trockenheit und

Nährstoffmangel bei Kulturpflanzen. Dafür wurden technische Ansätze wie z.B. die Bestimmung von Pflanzentemperaturen mittels Thermografie, die Analyse von Photosynthese-, Atmungs- und Transpirationsprozessen mittels Gaswechsellmessungen sowie die Stressdetektion mittels Chlorophyllfluoreszenz auf verschiedenen Ebenen – vom einzelnen Blatt bis in den landwirtschaftlichen Bestand – etabliert. Dazu zählt auch der Einsatz von Drohnentechnik zur Übersichts-analyse von größeren Feldbeständen. Der wichtigste Forschungsschwerpunkt des IAPN liegt bei den Funktionen von Nährstoffen, insbesondere von Kalium und Magnesium, in Hinblick auf die Stresstoleranz von Pflanzen. Neben den Arbeiten im Gewächshaus und im Feld werden im IAPN umfassende Laboranalysen durchgeführt. Beispielsweise wird die Produktion von Phytohormonen bei unterschiedlichen Intensitäten von abiotischem Stress auf genetischer und enzymatischer Ebene untersucht..

Die Besonderheit des IAPN ist der enge Kontakt zur landwirtschaftlichen Praxis, um aktuelle Fragen grundlegend zu erforschen und das neu erarbeitete Wissen möglichst rasch in die landwirtschaftliche Praxis zu übertragen. Im IAPN entsteht dabei ein Dialog zwischen Forschung und Praxis, in dem neue Fragestellungen erarbeitet und für die Zukunft wichtige Themen identifiziert werden. Die anwendungsorientierte Forschung auf dem Gebiet der Pflanzenernährung

und Düngung soll so gestärkt werden, um Optimierungen im Bereich der Pflanzennährstoffe zu entwickeln und Beiträge für einen nachhaltigen Pflanzenbau weltweit zu erwirken.

Natürlich spielt der Bereich der Lehre dabei eine wichtige Rolle. Das IAPN als universitäres Forschungsinstitut bietet Studierenden ein gutes Studienprogramm der Ernährungs- und Stressphysiologie von Kulturpflanzen. Dazu gehören neben klassischen Vorlesungen, Seminaren und Praktika auch innovative Lehrformen, die die universitäre Lehre eng mit der aktuellen Forschung und Praxis verknüpfen. Damit ergeben sich für die Studierenden Möglichkeiten, eine Übersicht über die globalen Fragen der Pflanzenernährung zu erhalten. Der Austausch zwischen den Mitarbeitern des IAPN und den Studierenden der Universität sowie mit internationalen Gastwissenschaftlern ist ein weiterer Schwerpunkt des Wissenstransfers am IAPN. Diese bringen oftmals aktuelle Fragestellungen der heimatischen landwirtschaftlichen Praxis zur wissenschaftlichen Bearbeitung mit und erweitern damit den Erfahrungshorizont unserer heimischen Studierenden. Internationale Vernetzung und internationaler Wissenstransfer im Bereich der angewandten Pflanzenernährung sind die Ziele des IAPN, um auch in Zeiten des globalen Wandels einen Beitrag zur Sicherung der Ernährungsgrundlage für möglichst viele Menschen weltweit zu leisten.

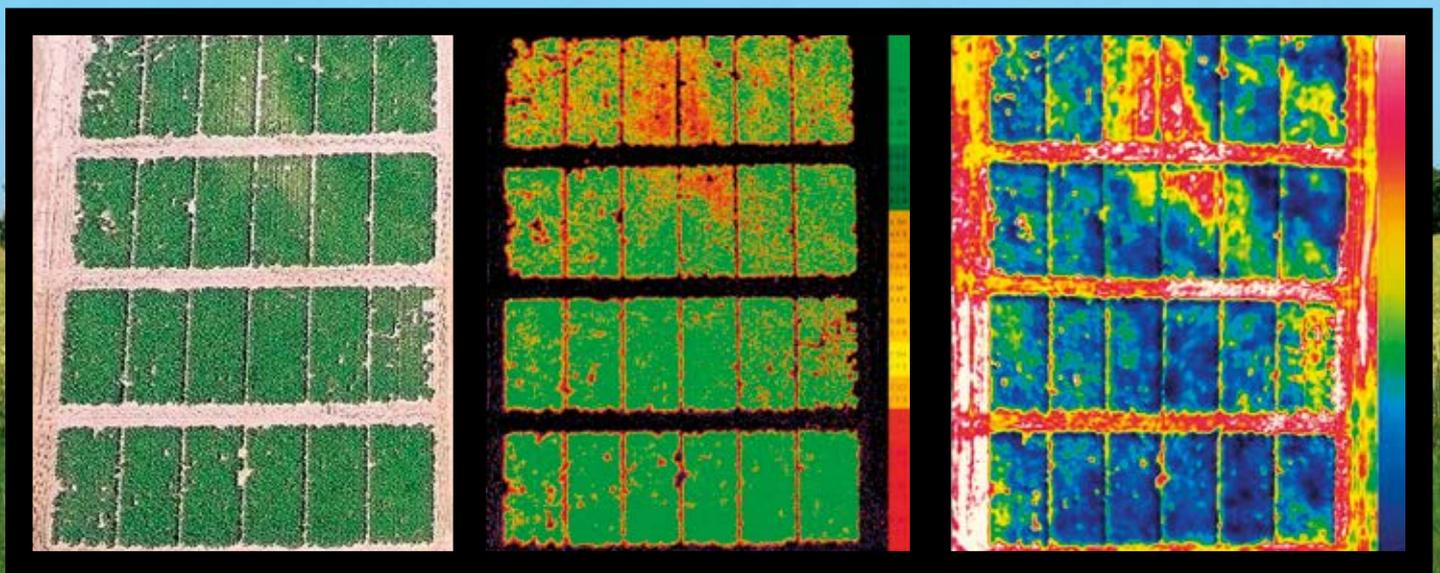
haben. Dieser Vorgang trägt weiterhin dazu bei, die CO<sub>2</sub>-Bilanz von Pflanzen und somit deren WUE bei unzureichender Kaliumversorgung zu verringern.

**Kalium beeinflusst die Transpiration von Pflanzenbeständen**

Für Pflanzen, die in einem Feldbestand wachsen, wirkt sich unzureichende Kaliumversorgung auch auf deren Wasserverbrauch durch Transpiration aus. Vier Prozesse sind für die Menge an Wasser verantwortlich, die ein Pflanzenbestand über die Transpiration verliert: die Wasserverfügbarkeit im Boden, die Öffnungsweite der Stomata, die relative Feuchte der

Luft im und über dem Bestand und die Blattfläche des Bestandes pro Flächeneinheit Boden. Kalium beeinflusst in hohem Grade das Wachstum der Blätter, und bereits milder Kaliummangel führt zu einer geringeren Blattfläche des Bestandes. Unter guter Kaliumversorgung bedeutet eine höhere Blattfläche eine größere Fläche, die für die Transpiration zur Verfügung steht. Dadurch wird der Wasservorrat des Bodens effizienter genutzt als bei Kaliummangelbeständen, was zu einem Absinken des Wassergehalts im Wurzelraum führt. Die Pflanzen nehmen jede noch so kleine Veränderung des Wasserangebots wahr und reagieren mit einer Optimierung der

Stomataöffnung in den Blättern. Somit führt ausreichend Kalium zu einer verringerten Transpiration pro Einheit Blattfläche und somit zu einem verbesserten Verhältnis von Assimilation zu Transpiration und dadurch zu einer verbesserten Blatt-WUE. Ein weiterer Effekt kann die Transpiration in gut mit Kalium versorgten Beständen gegenüber Mangelbeständen verringern. Wegen der höheren Blattfläche ergibt sich eine höhere Dichte der pflanzlichen Biomasse im Bestand. Je dichter der Bestand, desto mehr ist der Austausch von Luft zwischen dem Inneren des Bestandes und der Atmosphäre beeinträchtigt. Das führt zu einem Unterschied im



Mikroklima zwischen dem gut mit Kalium versorgten, dichten Bestand und dem unter Kaliummangel leidenden, weniger dichten Bestand: Der dichte Bestand hält den durch die Blätter transpirierten Wasserdampf sozusagen „gefangen“, die relative Luftfeuchte ist also gegenüber dem weniger dichten Bestand erhöht. Eine geringere Transpiration der Blätter im Bestand ist die Folge. Pflanzenbestände, die gut mit Kalium versorgt sind, verlieren also pro Einheit Blattfläche weniger Wasser. Zusätzlich produzieren solche Bestände mehr Biomasse, da mit einer größeren Blattfläche mehr CO<sub>2</sub> assimiliert werden kann. Dadurch steigt der Ertrag. Alles in

allem führt also eine gute Kaliumversorgung zu mehr Ertrag pro Einheit transpirierten Wassers und damit zu einer Verbesserung der agronomischen WUE. Diese Verbesserung der agronomischen WUE durch Kalium lässt sich auf der Ebene einzelner Blätter nicht wiederfinden. Sie wird durch Atmungsprozesse beeinflusst und durch komplexe Wechselwirkungen von Pflanzenbeständen mit der belebten und der unbelebten Umwelt hervorgerufen. Kalium spielt dabei eine große Rolle. Wir stehen aber gerade erst am Anfang, die vielseitigen Funktionen, die Kalium bei der Regulierung der Wassernutzungseffizienz innehat, zu verstehen.

## Quellen

JÁKLI B, TRÄNKNER M, SENBAYRAM M, DITTERT K (2016): Adequate supply of potassium improves plant water-use efficiency but not leaf water-use efficiency of spring wheat. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* in press. DOI: 10.1002/jpln.201600340

JÁKLI B, SENBAYRAM M, MEYER ZUR MÜDEHORST J, FUCHS M, BÖTTCHER F, HERTWIG F, LINGNER A, DITTERT K (2016) Drone-based remote screening of water-use efficiency. 75th Congress of the International Institute for Beet Research (IIRB), 16.–17.02.2016, Brussels, Belgium.



Drohnen können mit unterschiedlichen Kamerasystemen ausgerüstet werden und eröffnen so neue Perspektiven auf landwirtschaftliche Produktionssysteme. Der Quadrocopter Raptor (EagleLive Systems) bei der Befliegung eines Versuchsfeldes bei Cunnersdorf nahe Leipzig. Die Drohne liefert hochauflösende Aufnahmen im sichtbaren Bereich (links), im NDVI-Spektrum (Mitte) sowie als Wärmebild (rechts).