

Einfluss von Bodenbearbeitung und N-Düngung auf den Wasserverbrauch von Wintergetreide

Carl zu Eulenburg^{1*}, Jörg Michael Greef¹ und Martin Kücke¹

Zusammenfassung

Zur Beantwortung der Frage, ob und in welchem Umfang durch Sortenwahl, Bodenbearbeitung und Düngung die Effizienz der Wassernutzung gesteigert werden kann, wurden 2008 (Versuchspflanze Wintergerste) und 2009 (Winterweizen) Datensätzen aus der Lysimeteranlage des Instituts für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn Instituts in Braunschweig ausgewertet.

Die Anlage besteht aus 8 wägbaren Lysimetern, in denen seit 2006 ein 3-faktorieller Vegetationsversuch mit den Faktoren „Bodenbearbeitung“ (Pflug vs. Mulchen), „Düngung“ (oberflächlich konventionell mit Kalkammonsalpeter vs. N- Flüssigdüngerinjektion) und „Sorte“ (Bestandestyp vs. Einzelährentyp) durchgeführt wird. Neben den kontinuierlich gemessenen Gewichtsveränderungen der Lysimeter wurden die Sickerwassermengen sowie die Ertragsparameter ausgewertet.

Für Winterweizen (2009) konnte nach Ammoniumflüssigdüngerinjektion eine signifikant erhöhte Produktivität der Wassernutzung bezogen auf den Kornertrag ($\text{g TM L}^{-1} \text{ ETP m}^{-2}$) ermittelt werden als nach breitwürfiger Düngung mit Kalkammonsalpeter. Für die Wintergerste 2008 wurde dies ebenfalls, aber nicht signifikant, festgestellt. Bei den geprüften Winterweizensorten wies 2009 die Sorte Hermann eine signifikant höhere Produktivität der Wassernutzung auf als die Sorte Türkis.

Summary

To answer the question, if and to which extend the water use efficiency of winter cereals and be improved by choose of variety, soil cultivation and fertilization, data sets from the lysimeter station of the Institute of Crop and Soil Science of the Julius Kühn Institute in Braunschweig were evaluated.

The station consists of 8 lysimeters, in which since 2006 a 3 factorial experiment is conducted with the factors soil cultivation (conservation tillage vs. plough), fertilisation (solid broadcast on soil surface vs. fluid N injection) and variety (high stem density variety vs. low stem density variety). Beside the continuously monitored lysimeter weights, seepage water amounts and yield data were analysed.

For winter wheat 2009, a higher productivity for grain yield of water use was found after fluid N injection compared to broadcast solid N application of calcareous ammonium nitrate. As a trend, this was also found for winter barley in 2008. A higher grain yield productivity of water use was also found for the winter wheat variety “Hermann” than for “Tuerkis”.

Einleitung

Ökologische und ökonomische Rahmenbedingungen (z.B. Klimawandel, Preissteigerungen, steigende Schutzbestimmungen für die Umwelt) machen trotz der in der Vergangenheit bereits erzielten Fortschritte weitere Optimierungsmaßnahmen für den Faktoreinsatz in der Pflanzenproduktion unverzichtbar. Dies gilt insbesondere für die Produktionsfaktoren Wasser und Nährstoffe, wo zur Erhaltung der Produktivität eine Steigerung der Wasser- und der Nährstoffnutzungseffizienz erfolgen muss. Längeren Trockenphasen und/oder geringeren Niederschlägen kann durch steigenden Beregnungseinsatz, aber auch durch eine Verminderung unproduktiver Wasserverluste und eine effizientere Nutzung der im Boden gespeicherten Wasservorräte begegnet werden, während steigenden Düngerpreisen und zunehmenden Umweltauflagen durch eine Steigerung der Nährstoffnutzungseffizienz entgegen gewirkt werden muss.

Während Bodenbearbeitungsverfahren zur Verminderung unproduktiver Wasserverluste bereits vielfach erprobt und

in die Praxis eingeführt wurden und es auch Sorten- und Anbauempfehlungen für unterschiedlich feuchte Standorte gibt (z.B. über Aussaat- und Bestandesdichten), werden Düngempfehlungen und Düngeverfahren bisher nicht gezielt zur Erhöhung der Wassernutzungseffizienz eingesetzt.

Es ist bekannt, dass in Gefäß- und Modellversuchen eine ammoniumbetonte Stickstoffernährung zu einer Steigerung der Wassernutzungseffizienz führt, also weniger Wasser für die Produktion von Biomasse gegenüber einer äquivalenten Nitraternährung benötigt wird (MARSCHNER 1999). Wegen der rasch ablaufenden Stickstoffumsetzungsprozesse im Boden (Hydrolyse, Nitrifikation) erfolgt bei breitwürfiger und oberflächlicher N-Düngung die N-Versorgung von Kulturpflanzen überwiegend in Form von Nitrat. Da bei platzierter NH_4 -Ablage im Boden (Unterfußdüngung, Injektion) die Nitrifikation aber verzögert ist (PETERSEN and MORTENSEN 2002), ist bei diesen Verfahren auch unter Feldbedingungen mit einem höheren Beitrag von

¹ Julius Kühn Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50, D-38116 BRAUNSCHWEIG

* Ansprechpartner: Dr. Martin Kücke, martin.kuecke@jki.bund.de

Tabelle 1: Anbautechnische Angaben für die Versuchsjahre 2008 und 2009 in der Lysimeteranlage Braunschweig

Sorten	2008 Wintergerste				2009 Winterweizen			
	Finesse		Fridericus		Hermann		Türkis	
Dünge- verfahren	fest, oberfl.	flüssig, inj.	fest, oberfl.	flüssig, inj.	fest, oberfl.	flüssig, inj.	fest, oberfl.	flüssig, inj.
Aussaattermin	24.09.07		24.09.07		12.11.08		12.11.08	
Aussaatzstärke	350 Körner/qm		300 Körner/qm		400 Körner/qm		400 Körner/qm	
Termine	05.03.08	10.03.08	05.03.08	10.03.08	11.03.09	15.04.09	11.03.09	15.04.09
N-Düngung und N-Mengen (kg N/ha)	KAS (50)	NTS (160)	KAS (50)	NTS (160)	KAS (60)	ASL (150)	KAS (60)	ASL (150)
	28.04.08		28.04.08		21.04.09		21.04.09	
	KAS (70)		KAS (70)		KAS (30)		KAS (30)	
	16.05.08		16.05.08		27.05.09		27.05.09	
	KAS (40)		KAS (40)		KAS (60)		KAS (60)	
EC-Stadium bei N-Düngung	21 30 49	21	21 30 49	21	13 30 51	21-25	13 30 51	21-25
Termine Beregnung (Wassermenge in L m ⁻²)	05.06.08 26	05.06.08 25	05.06.08 25	05.06.08 23	05.06.09 27 29.06.09 28	05.06.09 24 29.06.09 28	05.06.09 31 29.06.09 30	05.06.09 21 29.06.09 26
Termin Ernte	02.07.08		09.07.08		27.07.09		27.07.09	

KAS = Kalkammonsalpeter; NTS = Ammoniumnitrattharnstofflösung mit Thiosulfat; AS = Ammoniumsulfatlösung

NH₄-N an der Stickstoffernährung und mit einer höheren Wassernutzungseffizienz zu rechnen.

Durch Injektion von Ammoniumflüssigdüngern (CULTAN-Verfahren, SOMMER 2000, 2003) wird eine Erhöhung der Ammoniumernährung gezielt angestrebt.

Ziel dieser Arbeit die Beantwortung der Frage, ob die Produktivität der Wassernutzung von Winterweizen und Wintergerste durch Einsatz einer Ammoniumflüssigdüngerinjektion gegenüber einer konventionellen, breitwürfigen N-Düngung erhöht werden kann.

Material und Methoden

Die Lysimeteranlage des Instituts für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn Instituts in Braunschweig, Deutschland, besteht aus 8 Lysimetern, die jeweils im Zentrum einer Versuchspartelle (45 m x 32 m) liegen. Die Lysimeter wurden 1983 schichtweise geschüttet, waren bis zum Jahr 1992 in Betrieb und wurden nach einer über 20jährigen Nichtnutzung mit dem Bau einer neuen Lysimeteranlage 2004 reaktiviert und 2006 wieder in Betrieb genommen. Kontinuierlich ermittelt werden Sickerwassermengen (Kippwaagen), die Lysimetergewichte sowie in 2 Lysimetern Wasserspannung und Wassergehalte (KÜCKE 2006). Niederschläge wurden von der agrarmeteorologischen Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Braunschweig ermittelt, die sich ca. 300 m südlich der Lysimeteranlage befindet. Der Boden ist ein beregnungsbedürftiger lehmiger Sand mit Ackerzahl 30 (SAUERBECK 2005).

Die 8 Lysimeter und Versuchspartellen beinhalten die Versuchsfaktoren Bodenbearbeitung (Pflug vs. Mulchsaat),

Düngeverfahren (oberflächlich konventionell mit Festdünger vs. N-Flüssigdüngerinjektion mit N-Flüssigdünger) und Sorten (2008 Wintergerste „Finesse (zweizeilig) vs. „Fridericus“ (mehrzeilig), 2009 Winterweizen „Türkis“ vs. „Hermann“ (Kompensationstyp) (8 Varianten). Die breitwürfige Düngung mit festem Kalkammonsalpeter erfolgte gesplittet in 3 Teilgaben (Tabelle 1), während bei der Injektionsdüngung die gesamte N-Düngung in 1 Gabe appliziert wurde. Zum Schwefel ausgleich erhielten alle Varianten 2008 30 kg S/ha (28.3.09) und 2009 22 kg S/ha (17.3.09) in Form von Kieserit.

Auswertung

Die Gewichtsveränderungen der Lysimeter wurden 5minütlich, die Sickerwassermengen wöchentlich im Winterhalbjahr und 14tägig im Sommerhalbjahr ermittelt. Aus der Wasserhaushaltsgleichung $N = A + S \pm \Delta R + E + TP + I$ wurde die Evapotranspiration ETP als Summenparameter ermittelt. Fehlende Datensätze durch technische Störungen wurden, sofern sie alle Lysimeter betrafen, durch Interpolation ermittelt, und wenn sie einzelne Lysimeter betrafen, durch Mittelwertbildung aus den 3 verbliebenen Bodenbearbeitungsvarianten.

Die varianzanalytische Auswertung (ANOVA) erfolgte mit dem Programm SPSS über Vergleich der monatlichen Mittelwerte der Versuchsfaktoren (Bodenbearbeitung, Düngung Sorten) und nachfolgendem Tukey-Test. Da die Sickerwassermessungen in unregelmäßigen Abständen erfolgten, wurden die Zeitintervalle zwischen den Messungen mittels Kovarianzanalyse (ANCOVA) adjustiert.

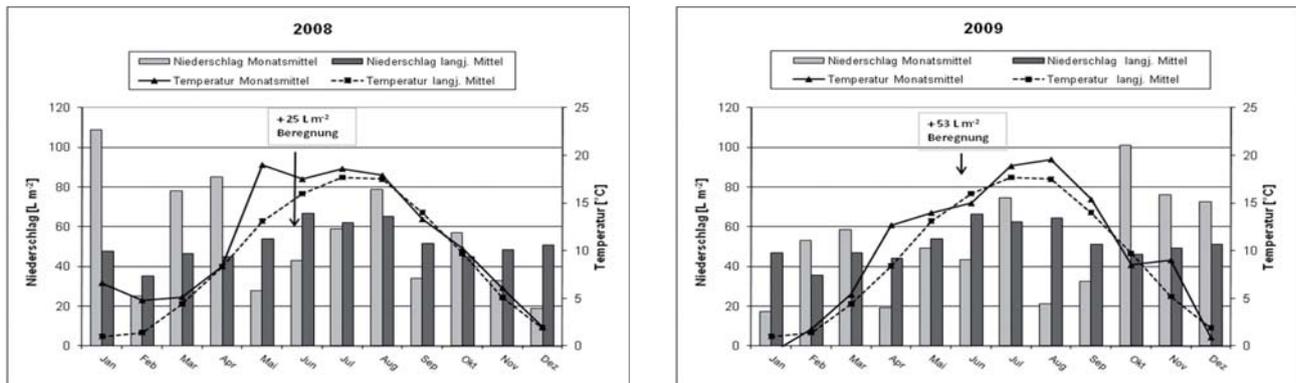


Abbildung 1: Monatliche Niederschlagssummen ($L m^{-2}$) und Durchschnittstemperaturen ($^{\circ}C$) 2008 und 2009 für den Standort Braunschweig im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt

Tabelle 2: Jahreswasserbilanz der Lysimeter in Mittel der Versuchsfaktoren Bodenbearbeitung, Düngung und Sorten 2008 und 2009 ($L m^{-2}$)

2008	Mulch	Pflug	oberfl.	injiziert	Finesse	Fridericus	MW
Niederschlag	649	649	649	649	649	649	649
Beregnung ¹⁾	23	26	25	24	25	24	25
Sickerwasser	315	331	340	305	333	313	323
ETP	367	392	381	378	367	392	380
Zufuhr	602	605	604	603	604	603	604
Abfuhr	682	723	721	683	700	705	702
Bilanz (Zu - Abfuhr)	-80	-118	-117	-80	-96	-102	-99
2009	Mulch	Pflug	oberfl.	injiziert	Hermann	Türkis	MW
Niederschlag	619	619	619	619	619	619	619
Beregnung ¹⁾	54	52	57	49	53	52	53
Sickerwasser	179	230	229	230	210	199	213
ETP	481	465	462	484	458	489	473
Zufuhr	680	678	683	675	679	678	679
Abfuhr	660	695	691	714	668	688	686
Bilanz (Zu - Abfuhr)	20	-17	-8	-39	11	-10	-7

¹⁾Die Beregnungsmenge wurde für jedes Lysimeter aus der Gewichtsveränderung individuell ermittelt

Ergebnisse

Jahreswasserbilanz

2008 betrug der Jahresniederschlag $649 L m^{-2}$, 2009 $619 L m^{-2}$ bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von $619 L m^{-2}$. Hinzu kamen die in *Abbildung 1* angegebenen Beregnungswassermengen. 2008 waren die Monate Mai und Juni, 2009 die Monate April, Mai, Juni und August überdurchschnittlich trocken. Die langjährige Jahresdurchschnittstemperatur beträgt $9,2^{\circ}C$, die Jahresdurchschnittstemperatur 2008 betrug $10,8^{\circ}C$ und 2009 $10,0^{\circ}C$.

Die Wasserbilanz war 2008 negativ (*Tabelle 2*, $-99 L m^{-2}$) und 2009 weitgehend ausgeglichen ($-7 L m^{-2}$). Im Vergleich zu 2008, wo auf der Lysimeteranlage Wintergerste angebaut wurde, wurden 2008 beim Anbau von Winterweizen höhere Evapotranspirationen und geringere Sickerwasserspenden festgestellt.

Evapotranspiration

Die Bodenbearbeitung hatte in beiden Jahren keinen eindeutig erkennbaren Einfluss auf die Jahressumme der

Evapotranspiration (*Abbildung 2*). Im Vergleich der Monatssummen wurden nur im Wintergerstenjahr 2008 nach der Getreideernte statistisch absicherbare Effekte ermittelt, die auf eine höhere ETP in den Pflugvarianten hindeuten.

Nach breitwürfiger Oberflächendüngung wurde in beiden Versuchsjahren im Frühjahr eine signifikant höhere Evapotranspiration gefunden als nach N-Flüssigdüngereinjektion (*Abbildung 3*; März 2008: $p=0,042$; April 2009 $p=0,047$). Auffällig ist, dass unmittelbar nach breitwürfiger Oberflächendüngung die Evapotranspiration in beiden Jahren in den Monaten März und April über der nach Injektionsdüngung liegt, während sie im Mai und Juni, also in der Phase der höchsten Biomassebildung von Wintergetreide, nach Injektionsdüngung tendenziell höher lag.

Einen Einfluss der Sorten auf die monatliche Evapotranspiration lassen die Daten von 2008 und 2009 nicht erkennen (*Abbildung 4*).

Produktivität der Evapotranspiration

Der Kornertrag des Winterweizens war 2009 in der Pflugvariante ($48,2 dt TM ha^{-1}$) höher als bei der Mulchvariante ($39,0 dt TM ha^{-1}$) (*Tabelle 3*), hinsichtlich des Stroh- und

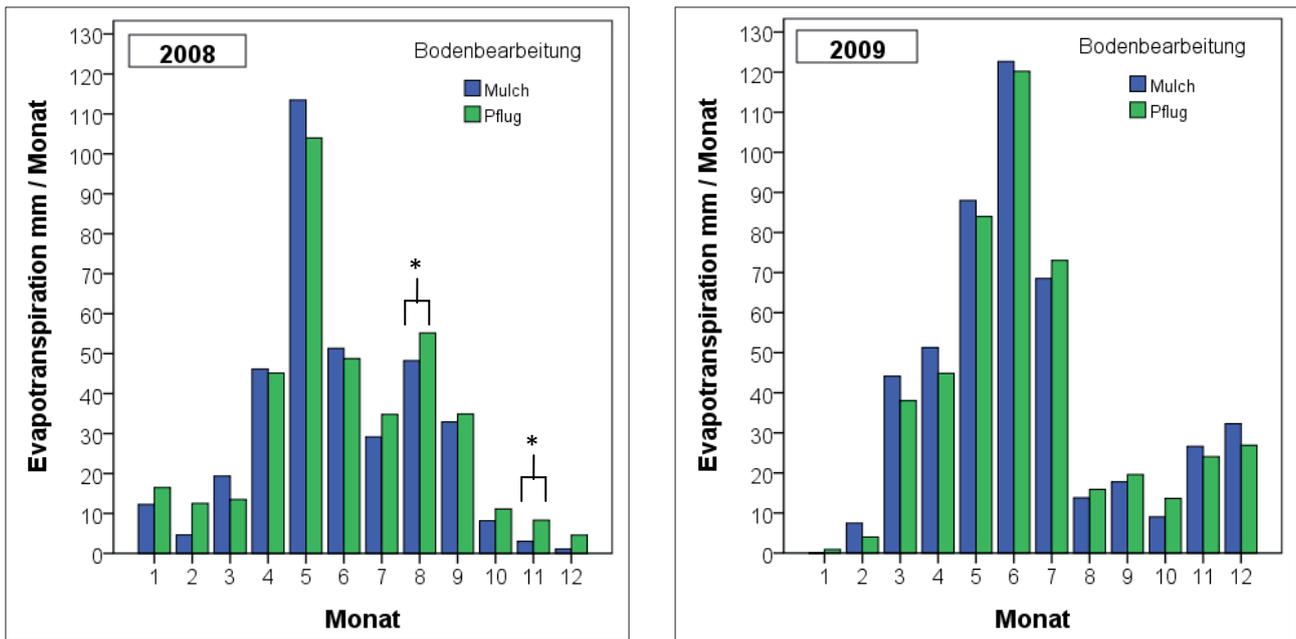


Abbildung 2: Monatliche Evapotranspiration ($L\ m^{-2}$) nach konservierender (Mulch) und Pflugbodenbearbeitung in 2008 (Wintergerste) und 2009 (Winterweizen) in der Lysimeteranlage Braunschweig. Signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren sind mit einem p-Wert $< 0,05$ sind durch * gekennzeichnet.

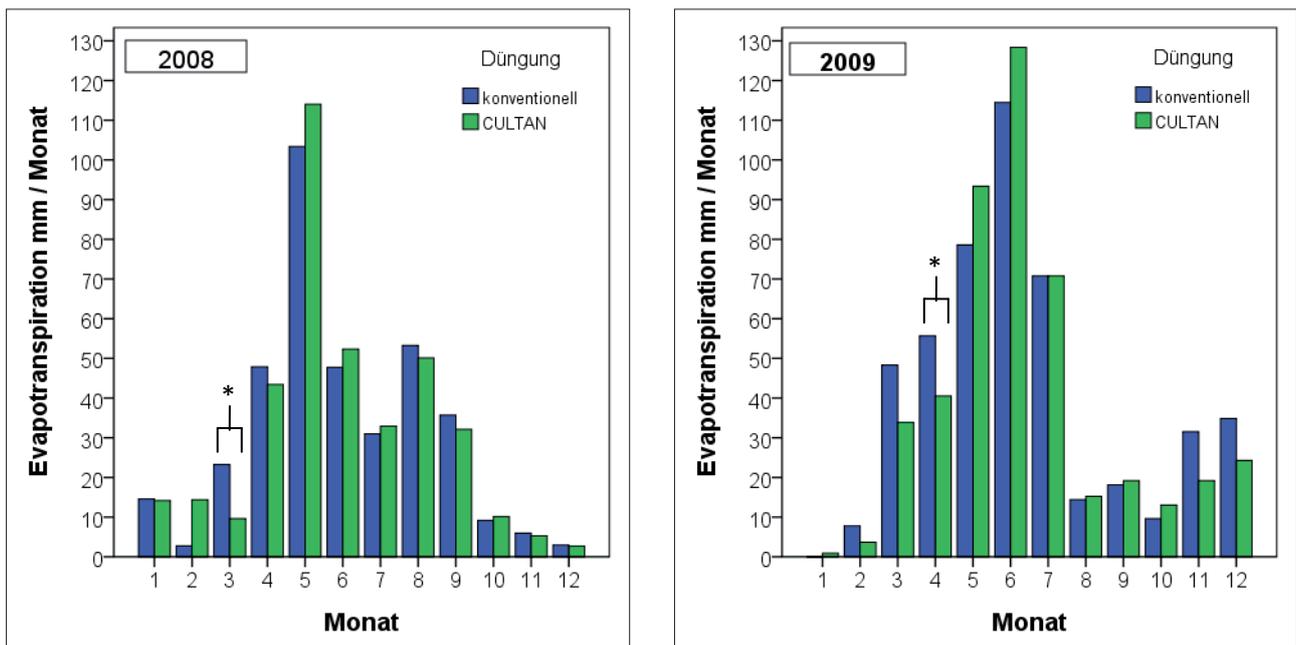


Abbildung 3: Monatliche Evapotranspiration ($L\ m^{-2}$) nach breitwürfiger Oberflächendüngung und Injektionsdüngung in 2008 (Wintergerste) und 2009 (Winterweizen) in der Lysimeteranlage Braunschweig. Signifikante Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten sind mit einem p-Wert $< 0,05$ sind durch * gekennzeichnet.

Gesamtbiomasseertrages waren die Verhältnisse allerdings umgekehrt. Nach Injektionsdüngung war die Korn- und Biomasseproduktion höher als nach breitwürfiger Düngung (signifikant für den Kornertrag), und die Sorte „Hermann“ wies beim Korn-, Stroh- und den Biomasseertrag immer höhere Werte auf als die Sorte „Türkis“. Die Evapotranspiration während der Wachstumszeit des Winterweizens war zwischen den Versuchsfaktoren nicht signifikant verschieden.

Hinsichtlich der Kornertragsproduktion pro Liter Wasserverbrauch (ETP), also der Produktivität der Evapotranspiration für den Kornertrag, führte diese Auswertung zu dem Ergebnis, dass die CULTAN-Düngung ($1,34\ g\ TM\ L^{-1}m^{-2}$) zu signifikant höherer Evapotranspirationsproduktivität als die konventionelle Düngung ($1,1\ g\ TM/Lm^2$) geführt hat. Ebenso wies die Sorte „Hermann“ ($1,35\ g\ TM\ L^{-1}m^{-2}$) eine signifikant höhere Produktivität der Evapotranspiration auf als die Sorte „Türkis“ ($1,09\ g\ TM\ L^{-1}m^{-2}$).

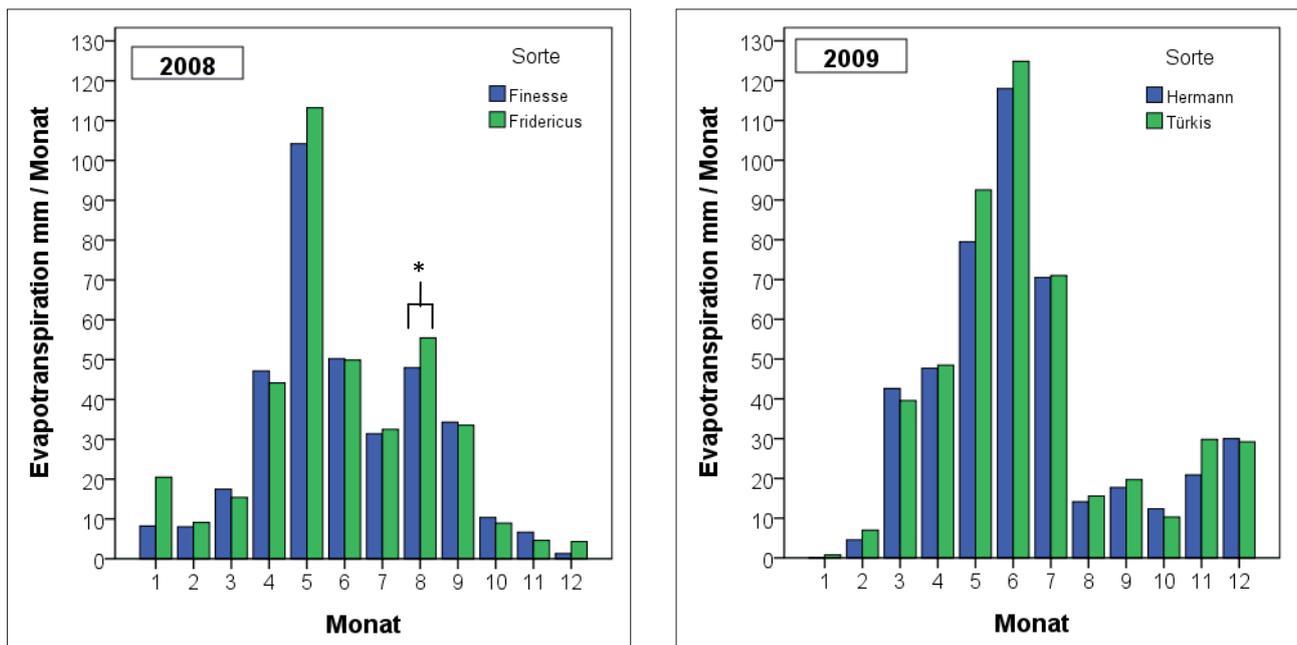


Abbildung 4: Monatliche Evapotranspiration ($L m^{-2}$) bei unterschiedlichen Sorten (2008 Wintergerste „Finesse“ und „Fridericus“; 2009 Winterweizen „Türkis“ und „Hermann“) in der Lysimeteranlage Braunschweig. Signifikante Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten sind mit einem p-Wert $< 0,05$ sind durch * gekennzeichnet.

Diskussion

Die gefundene, statistisch gesicherte höhere Produktivität der Wassernutzung für die Kornertragsbildung bei Winterweizen, tendenziell auch für Wintergerste, nach N-Flüssigdüngerinjektion ist dadurch entstanden, dass bei nahezu identischer Evapotranspiration bei beiden N-Düngeverfahren (Differenz 1 %) nach der N-Flüssigdüngerinjektion ein 20 % höherer Kornertrag ermittelt wurde. Derartig große Ertragsdifferenzen sind in Lysimeteruntersuchungen nicht ungewöhnlich, und die Effekte der Versuchsfaktoren sind i.d.R. in den Lysimetern stärker ausgeprägt als in den umliegenden, gleich bewirtschafteten Versuchspartzellen mit ungestörtem Boden. In allen Fällen besteht der Nachteil derartiger Untersuchungen darin, dass jede Versuchsvariante ohne echte Wiederholung angelegt ist, so dass für die statistische Auswertung 4 Wiederholungen pro Hauptfaktor zur Verfügung stehen, wobei die Mittelwerte hieraus durch die Einflüsse der anderen Versuchsfaktoren naturgemäß eine größere Varianz aufweisen als Mittelwerte aus echten Wiederholungen und somit erst große Differenzen zwischen Behandlungen statistisch absicherbar sind.

Der höhere Kornertrag des Wintergetreides und auch die tendenziell höhere Gesamtbiossembildung nach der N-Flüssigdüngerinjektion bei annähernd gleichem Wasserverbrauch lässt den Schluss zu, dass es bei dem CULTAN-Verfahren zu der von SOMMER (2000, 2003) angestrebten Ammoniumernährung der Kulturpflanzen unter Feldbedingungen kommt, die zu einer höheren Ertragsbildung bei nicht adäquat steigendem Wasserverbrauch führt. Damit ist die dieser Arbeit zugrunde liegende Hypothese, dass das CULTAN-Verfahren die Produktivität der Evapotranspiration positiv beeinflussen kann, bestätigt. Legt man die bei MARSCHNER (1999) zitierten Gefäßuntersuchungen zugrunde, wo bei Ammoniumversorgung wie auch bei

NH_4/NO_3 -Mischernährung, eine Reduzierung der Transpirationsrate durch die Pflanzen bei gleichzeitig gesteigerten CO_2 -Assimilationsraten festgestellt wurden, lässt sich somit schlussfolgern, dass dies bei Ammoniumflüssigdüngerinjektion auch unter Feldbedingungen erreichbar ist.

Nach diesen Untersuchungen lässt sich somit nicht nur die Stickstoffaufnahmeeffizienz (SOMMER 2000, KÜCKE 2003, BECK 2004, BOELKE 2003, RICHTER 2010), sondern auch die Wassernutzungseffizienz von Kulturpflanzen bei Anwendung der NH_4 -Injektionsdüngung gegenüber einer breitwürfigen Oberflächendüngung offensichtlich steigern.

Hinsichtlich des Sorteneinflusses zeigte 2009 die Sorte Hermann, die nach beschreibenden Sortenliste des Bundesortenamtes (2010) eine mittlere bis hohe Bestandesdichte ausweist, eine signifikant höhere Produktivität der Wassernutzung als die mit niedriger bis mittlerer Bestandesdichte angegebenen Sorte Türkis. Die Bestandesdichten beider Sorten waren entsprechend der Sortenbeschreibungen auch in unseren Untersuchungen deutlich verschieden (Hermann 491 Ähren/ m^2 , Türkis 392 Ähren/ m^2). Die höhere Bestandesdichte führte somit nicht erkennbar zu einem höheren Wasserverbrauch, wohl aber zu einem höheren Kornertrag, woraus sich die höhere Wassernutzungseffizienz ergibt.

Bereits heute zeigen zahlreiche Untersuchungen, dass höhere Erträge und N-Entzüge nach N-Flüssigdüngerinjektion unter praktischen Anbaubedingungen möglich sind (BOELKE 2003, KÜCKE 2003, BECK 2004, WEIMAR 2003, RICHTER 2010, WALTER 2010). Hinzu kommen Untersuchungen, die zeigen, dass die N-Flüssigdüngerinjektion zu niedrigerer Nitratauswaschung führen kann (WALTER 2003, 2010, KÖHLER et al. 2003). So stellte WALTER 2010 in einer mehrjährigen Feldversuchsstudie in den Winterhalbjahren eine um 50 geringere Nitratauswaschung nach N-Flüssigdüngerinjektion fest.

Tabelle 3: Erträge (dt TM ha⁻¹), Evapotranspiration (L m⁻²) sowie die Produktivität der Evapotranspiration (g TM/Lm²) für die Biomasse- und die Kornertragsbildung in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung, Düngung und Winterweizensorte 2009

Kornertrag (dt TM ha ⁻¹)				
Mittelwerte	Mulch	50,9,0	Pflug	48,2
	KAS oberfl.	45,0A	CULTAN	54,2 B
	Hermann	52,8	Türkis	46,3
Strohertrag (dt TM ha ⁻¹)				
Mittelwerte	Mulch	33,4	Pflug	28,4
	KAS oberfl.	32,0	CULTAN	29,8
	Hermann	32,7	Türkis	29,1
Gesamt Biomasseertrag (dt TM ha ⁻¹)				
Mittelwerte	Mulch	84,3	Pflug	76,7
	KAS oberfl.	77,0	CULTAN	84,0
	Hermann	85,5	Türkis	75,5
Evapotranspiration (L m ⁻²)				
Mittelwerte	Mulch	415	Pflug	403
	KAS oberfl.	412	CULTAN	406
	Hermann	393	Türkis	426
Produktivität der ETP (g TM L ⁻¹ m ⁻²) für die Biomasse				
Mittelwerte	Mulch	2,04	Pflug	1,91
	KAS oberfl.	1,87	CULTAN	2,07
	Hermann A	2,18	Türkis B	1,77
Produktivität der ETP (g TM L ⁻¹ m ⁻²) für den Kornertrag				
Mittelwerte	Mulch	1,23	Pflug	1,20
	KAS oberfl. B	1,10	CULTAN A	1,34
	Hermann A	1,35	Türkis B	1,09

Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Die Ergebnisse erklären, warum in Feldversuchen höhere Erträge nach N-Flüssigdüngerinjektion im Vergleich zu breitwürfiger Düngung besonders in Jahren mit Frühsommertrockenheit festzustellen sind (BECK 2004, RICHTER 2010).

Literatur

- BECK, W., 2004: N-Düngung nah dem CULTAN-Verfahren. Kartoffelbau 4, 116-121.
- BOELKE, B., 2003: Effekte der Injektionsdüngung auf Ertrag und Qualität von Getreide und Raps in Mecklenburg-Vorpommern. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 47-53.
- BUNDESSORTENAMT, 2010: BESCHREIBENDE SORTENLISTE 2010. ISSN 2190-6130.
- KÖHLER, S., W.-A. BISCHOFF und H.-P. LIEBIG, 2003: CULTAN-Düngung – Ein Beitrag zum Grundwasserschutz durch Verringerung des Nitrataustrages. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 117-127.
- HORCHANI, F.R., S. HAJRI and S. ASCHI-SMITI, 2010: Effect of ammonium or nitrate nutrition on photosynthesis, growth, and nitrogen assimilation in tomato plants. J. Plant Nutr. Soil Sci 2010, 173, 610-617.
- KÜCKE, M., 2003: Ertrag und Kornqualität von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 69-80.
- KÜCKE, M., A. BRAMM, F. HÖPPNER und W. LAWS, 2006: Aufbau und Zielsetzung der neuen Lysimeteranlage des Instituts für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der FAL (Braunschweig) In: Deutsch-Türkische Agrarforschung, 8. Symposium.
- MARSCHNER, H., 1999: Mineral Nutrition of Higher Plants, Fourth Edition, Academic Press.
- RICHTER, V., 2010: Prozessorientierte Modellierung und Feldversuche zur ammoniumbetonten Injektionsdüngung. Dissertation der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der TU Braunschweig. Der andere Verlag, ISBN: 978-3-86247-050-1.
- PETERSEN, J. and J.V. MORTENSEN, 2002: Dry Matter production and 15N recovery in spring wheat as affected by placement geometry of the fertilizer band. Commun. soil sci. plant anal. 33(1&2) 2002 S. 163-178.
- SAUERBECK, G., 2005: Bodenkundliche Detailkartierung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. Erläuterung zum geographischen Informationssystem zu Boden und Nutzung des Geländes. FAL-Braunschweig.
- SCHITTENHELM, S. and U. MENGE-HARTMANN, 2006: Yield formation and Plant metabolism of Spring Barly in response to locally injected ammonium. J. Agronomy & Crop Science 192, 434-444.
- SOMMER, K., 2003: Grundlagen des „CULTAN“-Verfahrens. Landbauforschung Völkenrode – FAL Agricultural Research. Sonderheft 245. 1-22. Forschungsanstalt für Landwirtschaft. Braunschweig.
- SOMMER, K., 2000: „CULTAN“-cropping system: Fundamentals, state of development and perspectives. In: Nitrogen in a sustainable ecosystem: From the cell to the plant. Ed. M.A. Martins-Loucao and S.H. Lips, pp 361-375. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- WALTER, E., 2010: Konventionelle mineralische und N-Injektionsdüngung in Feldversuchen 1991-2005 – Einfluss auf Nitratauswaschung und Getreideproduktion -. Dissertation der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim.
- WEIMAR, S., 2003: Untersuchungen zur N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren bei Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln in Rheinland-Pfalz. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 23-44.