

DOK-Versuch: Nährstoffversorgung in Winterweizen – Wo wird es eng?

Lucie Gunst¹, Walter Richner¹, Paul Mäder² und Jochen Mayer¹

¹Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich, Schweiz

²Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, 5070 Frick, Schweiz

Auskünfte: Lucie Gunst, E-Mail: lucie.gunst@art.admin.ch, Tel. +41 44 377 74 31



Winterweizen im DOK-Versuch. (Foto: ART)

Einleitung

Das Ziel des seit 1978 durchgeführten DOK-Systemversuchs in Therwil BL ist der Vergleich zwischen einem biologisch-dynamischen (D), einem organisch-biologischen (O), einem konventionellen (K; organisch-mineralische Düngung) und einem konventionell-mineralischen (M; ausschliesslich mineralische Düngung) Anbausystem im Hinblick auf nachhaltigen Pflanzenbau und Bodenfruchtbarkeit (Tab. 1). Der Versuch verfügt über zwei Düngungsniveaus (Tab. 1) und erlaubt die Untersuchung der Einflüsse unterschiedlicher Nährstoffversorgung auf die Ertragsbildung und Aussagen zu Limitierungen einzelner Pflanzennährstoffe.

Die Erträge differenzieren deutlich zwischen den Düngungsniveaus als auch zwischen biologischen und konventionellen Anbausystemen. Bei Winterweizen wurden Ertragsunterschiede von rund 15 % zwischen biologischen und konventionellen Verfahren beobachtet (Gunst *et al.* 2007). Die Ertragsunterschiede waren zwischen den Düngungsniveaus innerhalb der konventionellen Verfahren (K1 vs. K2) etwas weniger ausgeprägt

als zwischen den biologischen Verfahren (O1/D1 vs. O2/D2; Jossi *et al.* 2009; Abb. 1). Im biologischen Landbau wird angenommen, dass Stickstoff (N) der begrenzende Faktor für die Ertragsbildung ist und die weiteren Hauptnährstoffe wie Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und Kalzium (Ca) über Hofdünger zu einem Grossteil wieder zurückgeführt werden beziehungsweise aus dem Boden nachgeliefert werden können (Berry *et al.* 2002).

Ziel dieser Studie war, die Nährstoffversorgung von Winterweizen im DOK-Versuch während der ersten vier Fruchtfolgeperioden, 1978 bis 2005, zu untersuchen und Hinweise auf nährstoffbedingte Ertragsbegrenzungen in den biologischen Anbausystemen zu erhalten. Dazu wurden die Nährstoffaufnahme und die Nährstoffgehalte von Körnern und Stroh analysiert und verglichen. Ergänzend wurden die Gehalte an pflanzenverfügbarem P, K und Mg im Oberboden herangezogen.

Material und Methoden

Im DOK-Systemvergleich sind Fruchtfolge, Sortenwahl und Bodenbearbeitung in allen Verfahren gleich. Düngung, Pflanzenschutz und Unkrautkontrolle erfolgen in den konventionellen und biologischen Verfahren systemspezifisch (Details zum Versuch siehe Gunst *et al.* 2007 und Tab.1).

Der mittlere jährliche Einsatz an Gesamt-N, -P und -K betrug bei den biologischen Systemen D2 und O2 60 bis 65 % der Inputs im konventionellen Anbausystem K2, der Einsatz von mineralischem N jedoch nur 30 bis 35 % im Vergleich zu K2.

Bewirtschaftung des Winterweizens

In den untersuchten Jahren wurden die Winterweizensorten Probus (1979, 1983), Sardona (1986, 1989, 1990), Ramosa (1993), Tamaro (1996, 1997, 2000, 2002) und Titlis (2003) angebaut. Das Saatgut der Systeme K und M wurde gebeizt, bei den Bio-Systemen D und O und dem Verfahren N0 wurde stattdessen die Saatgutmenge um 5 bis 20 % erhöht. Ausgewertet wurden nur die Weizenschläge mit der Vorkultur Kartoffeln, da diese Fruchtfolge

gesequenz über den gesamten Zeitraum verfolgt werden konnte. In den Jahren 1979, 1983, 1986, 1989, 1990 folgte eine Gründüngung nach Kartoffeln.

Im Durchschnitt wurden zu System D2 Mistkompost und Gülle (10 t/ha/Jahr; 21 m³/ha/Jahr), zu System O2 Gülle (20 m³/ha/Jahr) und in den ersten drei Jahren Rizinusschrot (763 kg/ha/Jahr) ausgebracht. Die Systeme K und M erhielten NPK-Dünger in mineralischer Form (Tab. 2), wobei die applizierte Menge an mineralischem N beim System K um 65 % höher war als bei den Systemen D und O. Die ausgebrachte N-Menge bei der ersten N-Gabe wurde unter Abzug des Nmin-Vorrates im Boden zu Beginn der Vegetationsperiode bemessen. Der Pflanzenschutz beschränkte sich bei den Systemen D, O und im Verfahren N0 auf die mechanische Unkrautbekämpfung mit dem Striegel und die Anwendung biologisch-dynamischer Präparate in D und N0. In den Systemen K und M erfolgten je eine Herbizid- und Wachstumsregler-Applikation sowie ein bis zwei Fungizid-Behandlungen.

Probenahme und Analysen

Die Probenahme erfolgte jeweils bei der Ernte. Nach Trocknung und Reinigung von Schmutzteilen, Grannen und Spelzen wurden die Körner und das Stroh gemahlen und die Nährstoffgehalte analysiert. Der N-Gehalt wurde nach Dumas, die Gehalte von P mittels Spektrofotometrie, von K, Mg und Ca mittels ICP-OES nach HCl-Extraktion der Asche bestimmt. Die verfügbaren Nährstoffgehalte im Boden (0–20 cm) wurden gemäss den Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope für P und K im CO₂-Auszug, für Mg im CaCl₂-Auszug bestimmt (Agroscope 2011). >

Zusammenfassung

Im DOK-Langzeit-Systemvergleich wurde die Nährstoffversorgung von Winterweizen in den Jahren 1978 bis 2003 untersucht, um Hinweise auf nährstoffbedingte Ertragsbegrenzungen in den biologischen Anbausystemen zu erhalten. Deutliche Ertragsunterschiede zwischen den Anbausystemen «biologisch» und «konventionell» und den Düngungsniveaus konnten hauptsächlich auf die Nährstoffversorgung der Pflanzen, vor allem mit Stickstoff, zurückgeführt werden. Phosphor konnte als kolimitierender Faktor ausgeschlossen werden, da die Phosphorversorgung des Bodens über den gesamten Versuchszeitraum in allen DOK-Verfahren ausreichend war. Die Pflanzenanalysen von Stroh und Körnern wiesen für Phosphor hohe Werte und eine geringe Differenzierung auf und bestätigten damit die Bodenbefunde. Kalium hingegen konnte in den Bioverfahren auf dem niedrigen Düngungsniveau und in der ungedüngten Kontrolle als Faktor für eine Ko-Limitierung zu Stickstoff identifiziert werden. Darauf wiesen die Differenzierung der Kaliumgehalte in der oberirdischen Biomasse und die verfügbaren Boden-Kaliumgehalte hin. Jedoch zeigten sowohl das biologisch-dynamische als auch das biologisch-organische System auf dem hohen Düngungsniveau eine ausgeglichene K-Versorgung. Beide Biosysteme können auf diesem Düngungsniveau deshalb als nachhaltig betrachtet werden.

Tab. 1 | Übersicht über Standort, Versuchsdesign, Anbausysteme und Fruchtfolge des DOK-Versuches

Anbausysteme	D	O	K	M
Bewirtschaftung	biologisch-dynamisch	organisch-biologisch	konventionell ²	konventionell ² , nur mineralisch gedüngt ¹
Hofdüngerform	Mistkompost / Gülle	Rottemist / Gülle	Frischmist / Gülle	Kein Hofdünger
Düngung nach Richtlinien der GRUDAF (2), 1,4 DGVE ³	D2	O2	K2	M2
halbe Düngung (1), 0,7 DGVE	D1	O1	K1	
ohne Düngung	N0			

¹seit 1985, vorher ohne Düngung, ²seit 1985 integriert und seit 1999 nach Richtlinien des Ökologischen Leistungsnachweises bewirtschaftet, ³1. und 2. Fruchtfolgeperiode (1978–1991): 1,2 bzw. 0,6 DGVE, ⁴untersucht: Winterweizen 1 mit einheitlicher Vorfrucht Kartoffeln, 1978–2005.

Fruchtfolgeperioden (FFP) 1978 bis 2005:

1. FFP 1978–1984	2. FFP 1985–1991	3. FFP 1992–1998	4. FFP 1999–2005
Kartoffeln	Kartoffeln	Kartoffeln	Kartoffeln
Winterweizen 1 ⁴	Winterweizen 1 ⁴	Winterweizen 1 ⁴	Winterweizen 1 ⁴
Weisskohl	Randen	Randen	Soja
Winterweizen 2	Winterweizen 2	Winterweizen 2	Silomais
Wintergerste	Wintergerste	Kunstwiese 1	Winterweizen 2
Kunstwiese 1	Kunstwiese 1	Kunstwiese 2	Kunstwiese 1
Kunstwiese 2	Kunstwiese 2	Kunstwiese 3	Kunstwiese 2

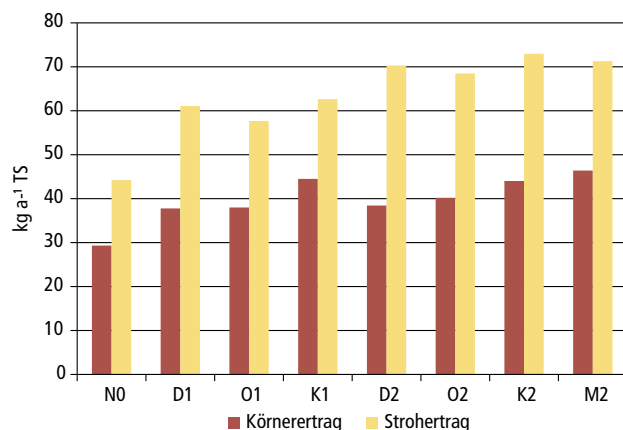


Abb. 1 | Durchschnittliche Körner- und Stroherträge von Winterweizen 1 mit Vorfrucht Kartoffeln in den Jahren 1979 - 2003.

Auswertung der Versuchsdaten

Aus den Nährstoffgehalten von Körnern und Stroh wurde ein Gesamtgehaltswert der oberirdischen geernteten Biomasse gebildet, der aus den gewichteten, mittleren Gehalten von Körnern und Stroh berechnet wurde. Die Systeme D1/O1 und D2/O2 sowie K2/M2 wiesen auf dem jeweiligen Düngungsniveau keine Gehaltsunterschiede auf. Deshalb wurden die Gehalte gemittelt dargestellt. Die jährliche Veränderungsrate der verfügbaren Bodennährstoffe P, K und Mg wurde anhand der Differenz zwischen den mittleren Bodengehalten der Jahre 2000, 2002 und 2003 nach Winterweizen und dem Anfangsgehalt von 1977 ermittelt. Die Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens bei den verschiedenen Anbausystemen erfolgte nach den GRUDAF-Richtlinien 2009. Die Nährstoffgehalte des Weizens wurden anhand einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (Faktoren Jahr x Anbausystem) ausgewertet. Der Vergleich der Mittelwerte erfolgte mit dem Newman-Keuls-Test.

Resultate und Diskussion

Düngung und Nährstoffaufnahme

Die Systeme K2, M2 und D2 erhielten insgesamt die höchsten Nährstoffmengen (Tab. 2), wobei die vergleichsweise nährstoffreichen Hofdünger im System D, die von Bauernhöfen in einem Gebiet mit kalkreichen Böden stammten, zu höheren durchschnittlichen N-, K- und Mg-Einträgen in D2 als in K2 führten. Im Jahr 1999 wurde in K1, K2 und M2 mittels Kalkgabe (2680 kg CaCO₃ ha⁻¹; Tab. 2) eine Korrektur der pH-Werte durchgeführt. Ohne diese zusätzliche Kalkgabe wären auch die düngerbedingten Ca-Einträge im Verfahren D2 am höchsten. Die Zufuhr an mineralischem N zu System O entsprach derjenigen zu System D, hingegen waren die Gaben an Gesamt-N und K um 50 %, an P um 70 %, an Ca

und Mg um rund 85 % geringer als zu System D. Dies ist die Folge des Einsatzes von Mistkompost zu System D und der in der 3. Fruchtfolgeperiode (1993, 1996, 1997) eher nährstoffarmen Gülle zu System O.

Auch bei der Nährstoffaufnahme der oberirdischen Biomasse (Körner und Stroh; Abb. 2 a–f) zeigten die Systeme K2 und M2 oft die höchsten und das Verfahren N0 die geringsten Werte. Die Nährstoffaufnahme in den beiden Bio-Systemen unterschied sich im Gegensatz zur Nährstoffzufuhr kaum. Von den Elementen Ca und Mg wurden trotz Ertragsunterschieden in allen Systemen annähernd die gleichen Mengen aufgenommen. Generell, über alle Nährstoffe betrachtet, erhöhte sich die Nährstoffaufnahme von Düngungsniveau 1 auf 2. Dies war bei System K stärker ausgeprägt (Niveau 1: 81 % von Niveau 2) als bei den beiden Bio-Systemen (Niveau 1: 87 % von Niveau 2). Bei Verfahren N0 betrug die Nährstoffaufnahme noch 65 % der Systeme D2 und O2 und 52 % der Systeme K2 und M2. Bei K war der Unterschied zwischen den Düngungsstufen am grössten; weniger gross bei N und P und klein bei Ca und Mg. Eine erhöhte Düngung bewirkte also eine höhere K-, P- und N-Aufnahme, während die Aufnahme von Ca und Mg wenig beeinflusst wurde. Die geringen System- und Düngungsunterschiede bei der Aufnahme von Ca und Mg können mit einer guten Versorgung des Bodens erklärt werden (Tab. 6). Denkbar sind bei erhöhter K-Düngung auch antagonistische Wechselwirkungen (Ionenkonkurrenz), die zu einer relativ verringerten Ca- und Mg-Aufnahme in den hoch mit K gedüngten Verfahren K2 und M2 geführt haben (Spiess et al. 1993).

Die Berechnung der Beziehungen zwischen Nährstoffzufuhr und Nährstoffaufnahme über alle Verfahren

Tab. 2 | Gedüngte Nährstoffmengen (Mittelwerte im Zeitraum 1979–2003) zu Winterweizen 1 mit Vorfrucht Kartoffeln in verschiedenen Anbausystemen des DOK-Versuchs.

	Nährstoffmenge kg ha ⁻¹					
	N	N	P	K	Ca	Mg
	total	mineralisch				
N0	0	0	0	0	0	0
D1	40	10	9	56	70	9
O1	20	10	3	29	5	2
K1	30	30	18	51	88*	4
D2	80	20	18	112	139	19
O2	40	21	5	58	10	4
K2	59	59	35	101	175*	8
M2	81	81	30	118	165*	11

* In den Verfahren M2, K2, K1 wurden im Jahr 1999 in zwei Gaben insgesamt 2680 kg ha⁻¹ CaCO₃ als kohlensaurer Kalk (= 1070 kg ha⁻¹ Ca) ausgebracht.

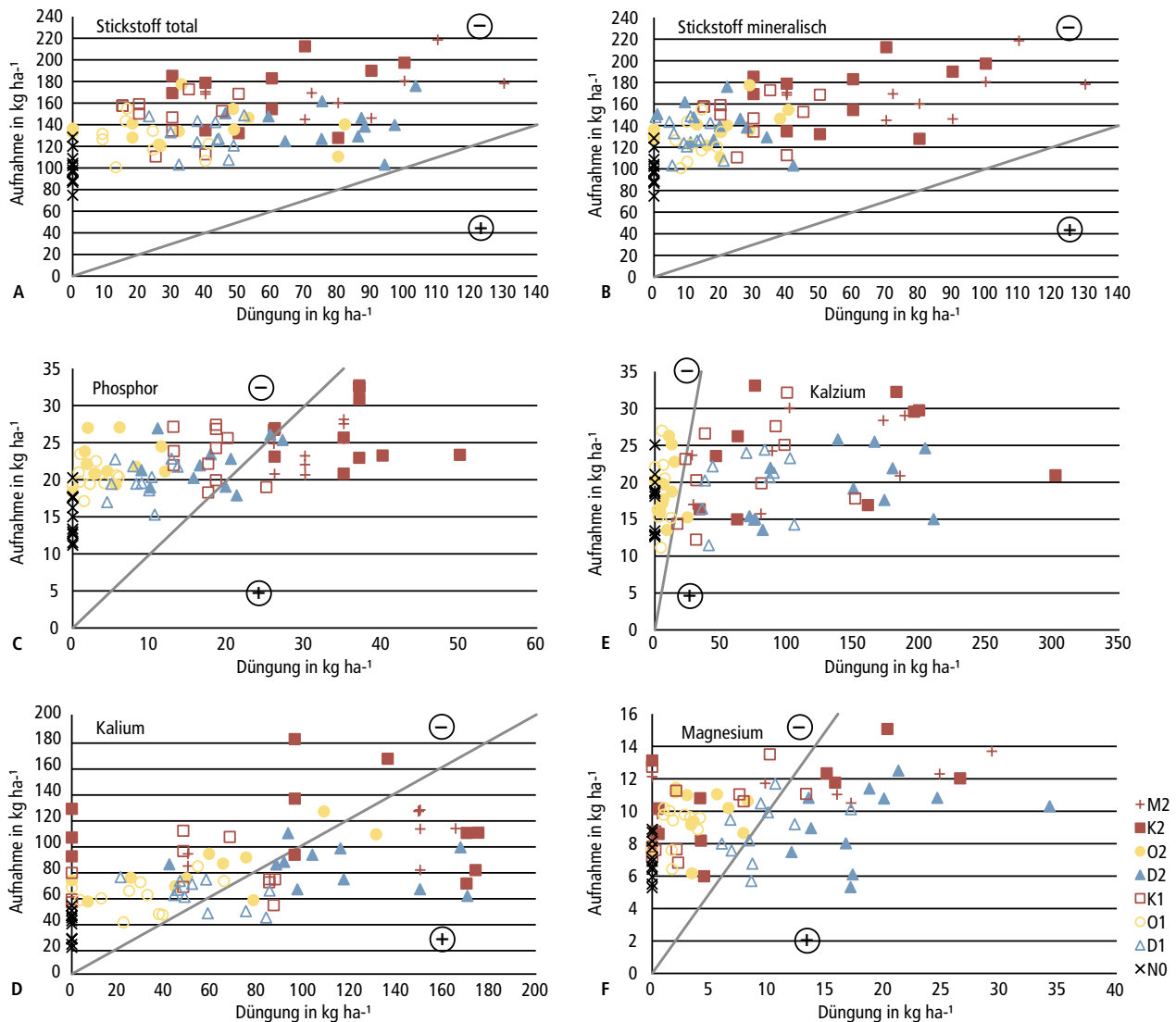


Abb. 2 a-f | Jährliche zugeführte Nährstoffmengen und Nährstoffaufnahme von Winterweizen in verschiedenen Anbausystemen des DOK-Versuchs. ("+" -Seite der Linie entspricht positiver, "-" -Seite negativer Nährstoffbilanz)

gerechnet unterstützen die vorangegangenen Aussagen. Sie zeigen für Gesamt-N, mineralischen N, P und K signifikante Korrelationen, mit Korrelationskoeffizienten zwischen $r = 0,53$ bis $r = 0,65$ (Tab. 3). Die Beziehung war für Mg und Ca schwächer ($r = 0,44$ bzw. $r = 0,29$). Die Zufuhr-Entzugs-Bilanzen für Weizen, (Abb. 2 a-f) geben Aufschluss darüber, ob die Düngung den Nährstoffbedarf decken konnte. Im Fall von negativen Bilanzsalden (Werte die oberhalb der Trennlinie liegen) müssen weitere Nährstoffquellen herangezogen werden, wie Bodenvorräte oder Leguminosen-N. Die Bilanzsalden waren für N immer negativ, was durch zusätzliche N-Einträge durch Leguminosen-N, die indirekt über die N-Nachlieferung aus dem Boden verfügbar werden und atmosphärische N-Deposition zu erklären ist. Die P-Bilanzsalden waren positiv bei K2 und M2. Das niedrigere Düngungsniveau 1

sowie die Bio-Systeme zeigten durchweg negative P-Salden. K und Mg zeichnen ein ähnliches Bild: Die Systeme K2 und M2 zeigen positive sowie negative Salden, während die Systeme O2 und O1 negative Salden aufweisen. Die Bilanzsalden bei D2 hingegen sind fast immer positiv, was durch die deutlich höheren Düngereinträge begründet ist. Ca differenziert sehr deutlich zwischen den Systemen K1, K2, M2, D2 und D1 mit durchweg positiven und O1 und O2 mit negativen Salden. Dies ist auf Kalkgaben in System K und M und den Ca-reichen Kompost in D zurückzuführen.

Werden die Befunde zur Nährstoffaufnahme mit den Bilanzsalden verknüpft, so sind ertragsbegrenzende Limitierungen der Nährstoffversorgung bei N, P und K wahrscheinlich. Dies müsste sich einerseits in den Nährstoffgehalten der Ernteprodukte als auch in den verfügbaren Bodennährstoffen widerspiegeln. ➤

Tab. 3 | Korrelationskoeffizienten der Beziehung zwischen gedüngter Nährstoffmenge und Nährstoffaufnahme in der oberirdischen Biomasse von Weizen.

Nährstoff	Korrelationskoeffizient
N total	0,53
N mineralisch	0,65
P	0,62
K	0,55
Ca	0,29
Mg	0,44

Nährstoffgehalte in Körnern und Stroh

Abgesehen vom P-Gehalt unterschieden sich die durchschnittlichen Nährstoffgehalte der oberirdischen Biomasse (mittlere Gehalte in Korn und Stroh) über den gesamten Versuchszeitraum gerechnet bei allen Systemen signifikant voneinander (Tab. 4, Abb. 3 a–e). Am deutlichsten sind die Systemeinflüsse bei K zu beobachten. Hier folgen die K-Gehalte der Bewirtschaftungsintensität: K2/M2 haben mit 9,3 g kg⁻¹ TS den höchsten Gehalt, während die Gehalte in D2/O2 nur 82 %, in D1/O1 68 % und in N0 54 % von K2/M2 betragen. Die P-Gehalte werden überraschenderweise nur von K2/M2 beeinflusst, während die übrigen Systeme und Verfahren N0 dieselben Konzentrationen aufweisen. Ca und Mg reagieren indifferent und zeigen die höchsten Gehalte im Verfahren N0. Mit der Steigerung der Intensität ist tendenziell eine Abnahme von Ca und Mg in den Bioverfahren von Düngungsniveau 1 zu 2 zu beobachten. Die hohen Ca-Gehalte in K2/M2 sind durch die Kalkgaben zu erklären. Die mit steigender Intensität geringen Ca- und Mg-Gehalte können mit Verdünnungseffekten

aufgrund höherer Biomasserträge erklärt werden und dürften bei hoher K-Düngung (D2/O2; K2/M2) zusätzlich mit antagonistischen Effekten gekoppelt sein.

Die N-Gehalte zeigen kleinere Unterschiede, wobei das Verfahren N0 die zweithöchsten Gehalte aufweist. Zum Zeitpunkt der Druschreife geben sie nur bedingt Aufschluss über die Nährstoffversorgung der Pflanzen. So waren K2/M2 insgesamt am besten versorgt, aber das seit 1978 ungedüngte Verfahren N0 wies relativ hohe N-Gehalte auf, obwohl die Kornerträge im Durchschnitt nur 67 % von K2 betragen (Abb. 1). Dies kann mit der Ertragsbildung bei Weizen erklärt werden. Im Verfahren N0 und den Bioverfahren führte die mässige Stickstoffversorgung der jungen Weizenpflanzen zu Vegetationsbeginn zu einer geringen Bestandesdichte, in späteren Entwicklungsstadien standen den Einzelpflanzen jedoch eine hinreichende Menge N zur Verfügung. Das führte zu relativ hohen N-Gehalten bei sehr geringen Erträgen. Gleichermassen kann der höhere N-Gehalt in den Bio-Systemen mit niedrigerem Düngungsniveau (D1/O1) im Vergleich zum höheren (D2/O2) erklärt werden.

So weisen in erster Linie die Unterschiede bei den K-Gehalten auf eine Ko-Limitierung der Weizenerträge von Kalium mit Stickstoff hin. Um diese Hypothese erhärten zu können, wurden die P-, K- und Mg-Gehalte mit Richtwerten der Schweizer Landwirtschaft verglichen (GRUDAF, Flisch et al. 2009). Bei den dort in Tabelle 60a veröffentlichten Nährstoffgehalten handelt es sich um die mittleren Werte aus den gesammelten Datensätzen von Forschungsanstaltsversuchen. Der angegebene Gehaltsbereich zeigt, in welchem typischen Bereich Nährstoffgehalte der in der Schweiz angebauten Kulturen liegen. P und Mg werden mehrheitlich in Körnern, K hingegen mehrheitlich im Stroh eingelagert. Die P- und

Tab. 4 | Mittlere Gesamtnährstoffgehalte der oberirdischen Biomasse, berechnet als gewichtete Nährstoffgehalte von Winterweizenkörnern und -stroh der Jahre 1979–2003, in verschiedenen Anbausystemen des DOK-Versuchs.

	N		P		K		Ca		Mg						
	g/kg TS	%	g/kg TS	%	g/kg TS	%	g/kg TS	%	g/kg TS	%					
N0	13,64	b	94	2,06	b	93	5,03	d	54	2,39	a	100	0,97	a	100
D1/O1	13,22	c	91	2,08	b	94	6,27	c	68	1,94	c	81	0,92	b	95
D2/O2	12,92	d	89	2,07	b	93	7,59	b	82	1,81	d	76	0,87	d	90
K2/M2	14,51	a	100	2,21	a	100	9,28	a	100	2,04	b	85	0,90	c	92
Varianzanalyse: ** P<0,01; Newman Keuls-Test: P=0,05															
Verfahren		**			**			**			**			**	
Jahr		**			**			**			**			**	
Verf*Jahr		**			**			**			**			**	

Dargestellt sind die Mittelwerte der Systeme D1/O1, D2/O2 und K2/M2. Verschiedene Buchstaben in Spalten zeigen signifikante Mittelwertsunterschiede.

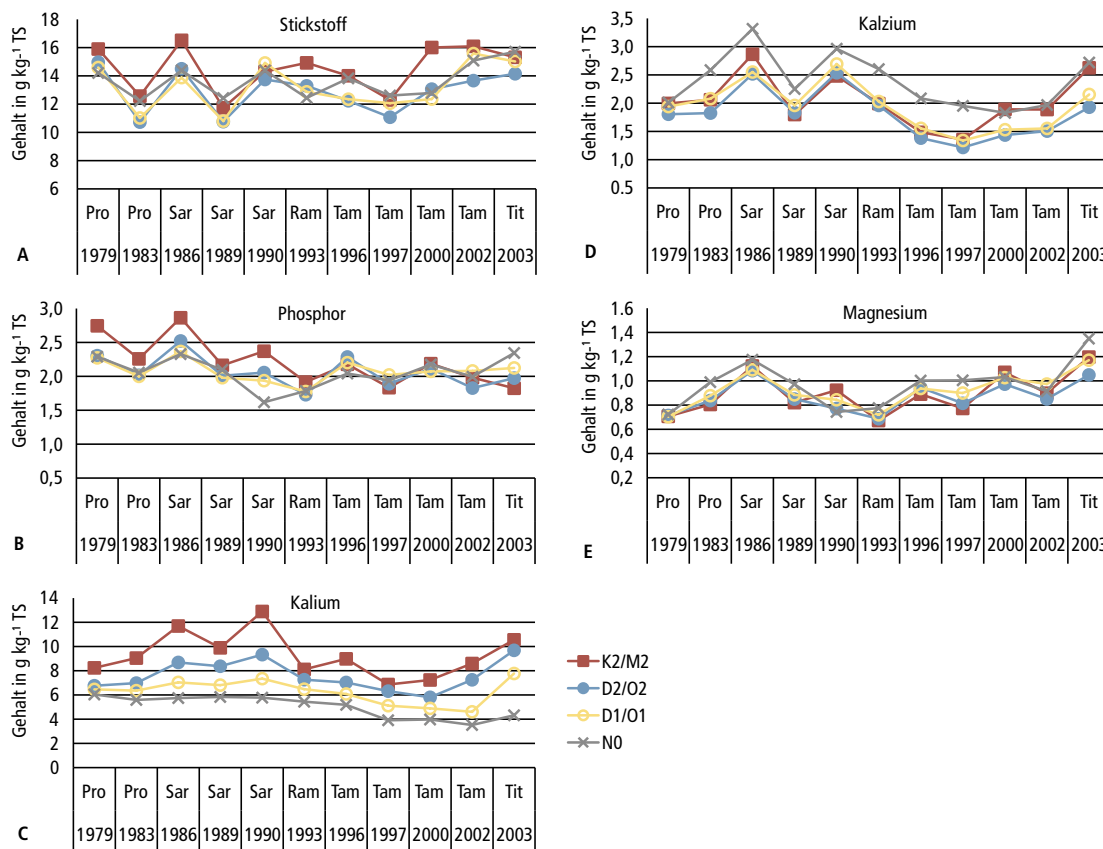


Abb. 3 a-e | Zeitlicher Verlauf der Gesamtnährstoffgehalte der geernteten oberirdischen Biomasse, berechnet als gewichtete Nährstoffgehalte von Winterweizenkörnern und -stroh, in verschiedenen Anbausystemen des DOK-Versuchs. Dargestellt sind die Mittelwerte der Systeme D1/O1, D2/O2 und K2/M2 pro Jahr. Pro: Probus, Sar: Sardona, Ram: Ramosa, Tam: Tamaro, Tit: Titlis

Mg-Gehalte der Körner lagen in allen Verfahren nahe am GRUDAF-Mittelwert, in jedem Fall innerhalb der beobachteten Spannweite unter Schweizer Feldbedingungen (Tab. 5; Spiess et al. 1995). Die K-Gehalte im Stroh lagen hingegen im Verfahren N0 mit 5,3 g kg⁻¹ TS deutlich unter dem Minimumgehalt von 6,8 g kg⁻¹ TS. In den Verfahren D1/O1 mit 7,4 g kg⁻¹ TS und D2/O2 mit 9,4 g kg⁻¹ TS lagen sie, trotz hoher K-Einträge in D2, unter dem mittleren Wert von 10,5 g kg⁻¹ TS.

Pflanzenverfügbare Bodennährstoffe

Die verfügbaren Bodennährstoffe bestätigen die Befunde der Pflanzenanalysen. Bei P liegen die gemittelten Gehalte der Jahre 2000 bis 2003 auf Düngungs niveau 2 in allen Systemen in Versorgungsklasse C (genügend; Fleisch et al. 2009; Tab. 6). Auf Düngungs niveau 1 und selbst im Verfahren N0 erreichen die Werte Versorgungsklasse B (mässig), die unter dem Ertragsniveau im Biolandbau in der Regel als hinreichend angesehen wird

Tab. 5 | Durchschnittliche Nährstoffgehalte in Körnern und Stroh und Vergleichswerte der GRUDAF 2009 (Fleisch et al. 2009)

		Körner N	Körner P	Körner K	Körner Ca	Körner Mg	Stroh N	Stroh P	Stroh K	Stroh Ca	Stroh Mg
		g/kg TS					g/kg TS				
	N0	24,3	4,0	4,7	0,6	1,3	6,6	0,7	5,3	3,6	0,8
	D1/O1	24,8	4,2	4,5	0,5	1,4	5,9	0,8	7,4	2,9	0,6
	D2/O2	25,1	4,2	4,4	0,4	1,3	6,1	0,9	9,4	2,6	0,6
	K2/M2	26,7	4,2	4,4	0,4	1,3	7,1	1,0	12,3	3,0	0,7
GRUDAF	mittlerer Wert	23,8	4,2	4,2	-	1,4	3,6	0,9	10,5	-	0,8
GRUDAF	min	17,6	3,6	2,9	-	0,9	3,5	0,5	6,8	-	0,7
GRUDAF	max	29,4	5,2	5,9	-	1,4	8,2	1,5	14,7	-	1,2

Tab. 6 | Bodennährstoffgehalte in mg/kg und Versorgungsklassen nach GRUDAF 2009 (Flisch *et al.* 2009) des Jahres 1977 und des Mittels der Jahre 2000–2003 sowie jährliche Veränderung der Gehalte von 1977–2003.

	P:					K:					Mg:				
	1977	Versorgung	2003	Versorgung	Veränderung	1977	Versorgung	2003	Versorgung	Veränderung	1977	Versorgung	2003	Versorgung	Veränderung
	mg/kg	Klasse	mg/kg	Klasse	Rate/J	mg/kg	Klasse	mg/kg	Klasse	Rate/J	mg/kg	Klasse	mg/kg	Klasse	Rate/J
N0	2,4	D	0,3	B	-0,08	7,1	B	3,0	A	-0,15	95,4	C	60,6	B	-1,29
D1	2,4	D	0,5	B	-0,07	7,0	B	5,7	A	-0,05	100,2	C	82,0	C	-0,67
O1	2,7	D	0,4	B	-0,08	8,1	B	5,5	A	-0,10	94,3	C	79,8	C	-0,54
K1	2,8	D	0,6	B	-0,08	7,8	B	5,0	A	-0,10	94,2	C	72,3	C	-0,81
D2	2,5	D	1,0	C	-0,05	6,9	B	10,7	B	0,14	101,5	C	97,8	C	-0,14
O2	2,6	D	0,9	C	-0,06	7,7	B	10,3	B	0,10	92,9	C	99,0	C	0,23
K2	2,6	D	1,4	C	-0,04	7,5	B	8,8	B	0,05	94,2	C	91,7	C	-0,09
M2	2,4	D	0,9	C	-0,06	6,8	B	9,8	B	0,11	98,3	C	101,3	C	0,11

Die Nährstoffversorgung des Bodens wurde anhand der Versorgungsklassen dargestellt: A=arm, B=mässig, C=genügend, D=Vorrat; durchschnittlicher Tongehalt 15–20 %

(Kolbe und Schuster 2011). Dies überrascht nicht, da die Boden-P-Gehalte zu Versuchsbeginn 1977 auch auf einem sehr hohen Niveau lagen (Versorgungsklasse D, Vorrat). Allerdings ist auf Düngungsniveau 2 gegenüber dem Ausgangszustand eine kontinuierliche Abnahme zu beobachten. Es wird deshalb eine Frage der Zeit sein, bis die P-Versorgung limitierend für das Pflanzenwachstum wird (Tab. 6). Eine deutliche Abnahme des verfügbaren Mg konnte im Verfahren N0 und bei Düngungsniveau 1 beobachtet werden, während die Werte auf Düngungsniveau 2 annähernd konstant blieben. Dennoch waren die Böden so gut mit Mg versorgt, dass sie heute noch in Versorgungsklasse C eingestuft werden. Nur in Verfahren N0 sanken die Gehalte auf Versorgungsklasse B. Völlig anders ist die Situation bei K. Schon zu Beginn des Versuches lagen die verfügbaren K-Gehalte auf einem niedrigen Niveau (Versorgungsklasse B). Auf Düngungsniveau 2 konnten die Gehalte sogar leicht erhöht werden, wobei beachtlich ist, dass dies am deutlichsten bei den beiden Bio-Systemen D2 und O2 ausfällt. Allerdings sanken die Gehalte auf Düngungsniveau 1 und im Verfahren N0 deutlich in die Versorgungsklasse A. Sie erreichten auf Düngungsniveau 1 nur noch etwa 50 %, im Verfahren N0 30 % der Werte von Niveau 2.

Schlussfolgerungen

Im Winterweizen des DOK-Versuches haben sowohl die verschiedenen Anbausysteme (D, O, K, M) als auch die unterschiedlichen Düngungsniveaus einen deutlichen Einfluss auf die Ertragsbildung. Die Unterschiede können, neben Faktoren wie Pflanzenschutz (Gunst *et al.* 2006) und Unkrautkontrolle (Dubois *et al.* 1998), die in dieser Studie nicht betrachtet wurden, zu einem wesent-

lichen Teil auf die Nährstoffversorgung zurückgeführt werden. Am stärksten beeinflusst wird die Ertragsbildung durch die N-Versorgung der Pflanzen, wobei vor allem die mineralisch gedüngten N-Formen zur Ertragsdifferenzierung beitragen. P konnte als ko-limitierender Faktor ausgeschlossen werden, da die P-Versorgung zu Beginn des Versuches auf einem hohen Niveau lag und trotz kontinuierlicher Abnahme der verfügbaren Bodennährstoffe im Jahr 2003 auf dem höheren Düngungsniveau eine gute, auf dem tieferen noch eine hinreichende Versorgung zeigte. Dies wird durch die geringe Differenzierung der P-Gehalte in Stroh und Körnern bestätigt.

K hingegen konnte bei geringer Zufuhr in den Bioverfahren auf Düngungsniveau 1 und im Verfahren N0 als Faktor für eine Ko-Limitierung zu N bei Weizen identifiziert werden. Darauf weisen die Differenzierung der K-Gehalte in der oberirdischen Biomasse und die verfügbaren Boden-K-Gehalte hin. Oberson *et al.* (2012) kommen in ihrer Studie zur biologischen N₂-Fixierung und Nährstofflimitierungen für das Kleewachstum der Kunstwiese des DOK zu vergleichbaren Ergebnissen. Zu betonen ist allerdings, dass die Bioverfahren auf dem Düngungsniveau 2 (entsprechend 1,4 DGVE/ha) eine ausgeglichene K-Versorgung aufwiesen und beide Biosysteme auf diesem Düngungsniveau als nachhaltig betrachtet werden können. Verbesserungen der Ertragsbildung können dort vor allem durch eine Verbesserung der N-Ernährung erreicht werden. ■

Riassunto**Esperimento DOC: approvvigionamento in sostanze nutritive nelle colture di frumento autunnale - dove si evidenziano limitazioni?**

Il confronto tra sistemi su lungo periodo DOC si è concentrato anche sull'analisi dell'approvvigionamento in sostanze nutritive delle colture di frumento autunnale dal 1978 al 2003, al fine di fornire indicazioni sulle limitazioni di resa riconducibili alle sostanze nutritive nei sistemi agricoli biologici.

I notevoli scarti di resa tra sistemi agricoli «biologici» e «convenzionali» e il livello di concimazione hanno potuto essere essenzialmente ricondotti all'approvvigionamento in sostanze nutritive delle piante, soprattutto in azoto. È stato escluso il ruolo di fattore co-limitante del fosforo, poiché il tenore di fosforo del suolo risultava sufficiente per tutta la durata dell'esperimento in tutti i processi DOC. Le analisi effettuate su paglia e chicchi indicano valori elevati di fosforo e una bassa differenziazione, confermando quindi i risultati ottenuti dall'analisi del suolo.

Il potassio, invece, è stato identificato quale fattore co-limitante dell'approvvigionamento in azoto nei processi biologici a basso livello di concimazione e nelle superfici di controllo non concimate. Ciò è confermato dalla differenziazione dei tenori di potassio nella biomassa superficiale e quelli disponibili nel suolo. Tuttavia il sistema biologico-dinamico e quello biologico-organico indicavano un approvvigionamento di potassio equilibrato a un livello di concimazione elevato. Entrambi i sistemi biologici possono pertanto essere ritenuti sostenibili a questo livello di concimazione.

Literatur

- Agroscope, 2011. Schweizerische Referenzmethoden der Eidg. landw. Forschungsanstalten, Band 1.
- Berry P. M., Sylvester_Bradley S., Philipps L., Hatch D. J., Cuttle S. P., Rayns F. W. & Gosling P., 2002. Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use and Management* **18**, 248–255.
- Dubois D., Scherrer C., Gunst L., Jossi W. & Stauffer W., 1998. Effect of different farming systems on the weed seed bank in the long-term trials Chaiblen and DOK. *Journal of Plant Diseases and Protection* **16**, 67–74.
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung* **16** (2), 89–91.
- Gunst L., Jossi W., Zihlmann U., Mäder P. & Dubois D., 2007. DOK-Versuch: Erträge und Ertragsstabilität 1978 bis 2005. *Agrarforschung* **14** (11–12), 542–547.
- Gunst L., Krebs H., Dubois D. & Mäder P., 2006. DOK-Versuch. Pilzkrankheiten und Ertrag bei Winterweizen. *Agrarforschung* **13** (10), 430–435.
- Jossi W., Gunst L., Zihlmann U., Mäder P. & Dubois D., 2009. DOK-Versuch. Erträge bei halber und praxisüblicher Düngung. *Agrarforschung* **16**, 296–301.
- Kolbe H. & Schuster M., 2011. Bodenfruchtbarkeit im Öko-Betrieb. Untersuchungsmethoden. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden. Zugang: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11877>.
- Oberson A., Frossard E., Bühlmann C., Mayer J., Mäder P. & Lüscher A., 2012. Nitrogen fixation in grass-clover leys under organic and conventional cropping systems. *Plant and Soil*, submitted.
- Spiess E., Daniel R., Stauffer W., Niggli U. & Besson J.M., 1995. DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-Dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell. V. Qualität der Ernteprodukte: Stickstoff- und Mineralstoffgehalte, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung*, Sonderheft DOK Nr. 3, 1–33.
- Spiess E., Stauffer W., Niggli U. & Besson J. M., 1993. DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-Dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell. IV. Aufwand und Ertrag: Nährstoffbilanzen, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* **32**, 565–579.

Summary**DOC trial: nutrient supply in winter wheat – where is the deficit?**

The nutrient supply of winter wheat was one of the topics investigated by the DOC long-term system comparison from 1978 to 2003. The aim of this trial is to provide evidence of nutrient-related yield limitations in organic farming systems. Substantial differences in yield between «organic» and «conventional» farming systems and different fertilisation intensities were primarily attributed to the delivery of nutrients – in particular, nitrogen – to the plants. Because the soil phosphorus supply was adequate in all DOC systems over the entire trial period, phosphorus was ruled out as a co-limiting factor. The plant analyses of straw and grain exhibited high figures and a low differentiation for phosphorus, thus confirming the soil findings. By contrast, potassium was identified along with nitrogen as a co-limiting factor in the organic systems at the low fertilisation intensity and in the unfertilised control. This was indicated by the differentiation of potassium content in the above-ground biomass and the available soil potassium content. Despite this, both the bio-dynamic and bio-organic system exhibited a balanced potassium supply at the high fertilisation intensity. Both bio-systems may therefore be considered sustainable at this fertilisation intensity.

Key words: farming systems, organic farming, wheat, plant nutrition, nutrient limitation.