

Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Pflanzen in Mischfruchtanbausystemen mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau

Nutrient content and nutrient uptake of plants in organic mixed cropping systems with oil crops

HANS MARTEN PAULSEN und MARTIN SCHOCHOW¹

Zusammenfassung

In Mischfruchtanbausystemen mit Ölpflanzen wurden die N-, P-, K-, Mg- und S-Gehalte in Korn und Stroh der Pflanzen bestimmt und die Nährstoffentzüge berechnet. Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen aus ökologischem Anbau erreichten die Grenzwerte, die für eine ausreichende Versorgung von Pflanzen in konventionellen Anbausystemen angegeben werden, in der Regel nicht. Wenn es in den geprüften Mischfruchtanbausystemen zu veränderten Nährstoffgehalten gegenüber den jeweiligen Pflanzen im Reinsaat kam, waren die Gehalte eher verbessert. Die Nährstoffaufnahme der Pflanzen stieg in den Mischfruchtanbausystemen, verglichen mit den Nährstoffbedürfnissen der Komponenten in Reinsaat, mindestens gegenüber einer Art an. Fruchtfolgeplanung und Düngung sollten diesen erhöhten Nährstoffbedarf der Anbausysteme berücksichtigen.

Schlüsselworte: Nährstoffgrenzwerte, Flächenproduktivität, Nährstoffentzug, ökologischer Landbau

Abstract

Seeds and straw of plants from mixed cropping systems with oil crops were analysed for N, P, K, Mg and S. The nutrient uptake of the crops was calculated. Thresholds given for nutrient contents in plant material from conventional production were generally not reached in cereals, legumes or oil crops from organic production. Nutrient concentrations of plants from mixed cropping systems were frequently elevated compared to sole cropping systems. Nutrient uptake of mixed cropping systems increased, compared to the values reached at least in one sole

cropped component of the mixtures. This elevated nutrient demand of mixed cropping should be considered in the planning of crop rotations and fertilisation.

Keywords: nutrient thresholds, area productivity, nutrient uptake, organic farming

1 Einleitung

Im Forschungsprojekt zum Anbau von Mischkulturen mit Ölsaaten war Arbeitshypothese, dass der Mischfruchtanbau sich auf die Nährstoffversorgung der Pflanzen im Vergleich zur Reinsaat auswirkt. Denkbar sind hier einseitige Veränderungen in den Nährstoffgehalten der Pflanzen zu Lasten eines Mischungspartners (BALSCHUN und JACOB 1972, KRANTZ und JACOB 1977 a und b). Aber auch eine verbesserte Versorgung der Pflanzen in Mischkultur könnte auftreten. Andere Nährstoffaufnahmezeiten unterschiedliche Durchwurzelungstiefen oder ein anderer Wurzelaufbau der Mischungspartner können dazu führen, dass die Bodennährstoffe im Vergleich zur Reinsaat einer Kultur besser ausgenutzt werden. Die Ergebnisse zur N-, P-, K-, Mg- und S-Versorgung der Pflanzen in den Mischfruchtanbausystemen mit Ölpflanzen sind im Folgenden dargestellt.

2 Material und Methoden

Die Nährstoffversorgung der Pflanzen in Korn und Stroh wurde mit den im Abschnitt 'Hintergrund und Projektbeschreibung' dieses Bandes genannten Methoden bestimmt. Im Sommerraps, der auf den meisten Standorten nicht maschinell beerntbar war, wurden die Analysen im Material der Quadratmeterbeerntung durchgeführt.

¹Institut für ökologischen Landbau, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Trenthorst

Tab. 1: Bodenkennwerte und Versorgungsstufen an den Versuchsstandorten

		pH	mg 100g ⁻¹			Mg	C _{org} %	N _{Ges} %	Bodenart
			P	K					
Trenthorst	2004	6,5 B	10 D	14 C	17 E	1,4	0,14	Tu2	
	2005	6,5 B	6 C	12 C	10 D	1,9	0,11	Lt3	
Wilmersdorf	2004	6,1 B	5 C	12 C	13 D	2,1	0,11	Ls3	
	2005	6,7 D	19 E	18 D	4 B	2,5	0,14	Sl3	
	Winterungen 2005	6,5 B	20 E	20 D	6 C	2,6	0,14	Sl3	
Pfaffenhofen	2004	6,2 B	7 C	13 C	9 C	1,9	0,10	Ls3	
	2005	6,1 B	9 C	11 C	5,3 B	2,1	0,10	Lt2	
	Winterungen 2005	5,9 C	6 C	11 C	7 C	1,1	0,06	Ls3	
Gülzow	2004	6,4 B	15 D	17 D	5,3 B	2,3	0,13	Sl2	
	2005	6,1 B	5 C	13 C	13 D	2,1	0,11	Sl2	
	Winterungen 2005	6,2 C	4 B	8 B	3 B	1,2	0,08	Sl2	

2.1 Nährstoffversorgung der Böden an den Standorten

Die schwach humosen bis humosen Versuchsstandorte wiesen nach Bodenanalyse eine ausreichende Versorgung mit den Nährstoffen P, K und Mg auf (Tab. 1). Aufgrund der Fruchtfolgegestaltung der Versuche nach Klee gras war mit einer guten N-Versorgung der Pflanzen zu rechnen. Zu erwarten war, dass die Nährstoffgehalte der Pflanzen an den Standorten und Jahren aufgrund der unterschiedlichen Bodengehalte und der klimatischen Bedingungen ein unterschiedliches Niveau aufweisen.

3 Ergebnisse

3.1 Nährstoffversorgung der Pflanzen an den Standorten

Die Nährstoffgehalte der Pflanzen in den Reinsaatparzellen an den Standorten werden in den Abbildungen 1 - 4 mit für den konventionellen Landbau angegebenen normalen Nährstoffgehalten von Pflanzen, die für die Erstellung von Nährstoffbilanzen und Düngelplänen angegeben sind, eingeordnet (MLUV BRANDENBURG 2000, LFL 2006 (blaue Lupine), TLL 1999 (S)). Die angegebenen Gehaltswerte wurden in der Regel von den ökologisch angebauten Pflanzen nicht erreicht. Nur Öllein, Lupinen und Senf wiesen bei den N-, P- und K-Gehalten der Körner ein Niveau über den Richtwerten auf. Bei den Ölsaaten waren z. B. die im Vergleich zu den Richtwerten hohen P- und K-Gehalte der Körner auffällig. Die N-, K- und Mg- und

S-Gehalte im Stroh lagen deutlich unter der angegebenen normalen Versorgung. Beim Saflor, für den keine Angaben zu normalen Nährstoffgehalten in Korn und Stroh existieren, fiel die im Vergleich zu anderen Kulturen relativ gute P-Versorgung des Strohs auf (Abb. 1). Weiterhin wurde deutlich, dass die Nährstoffgehalte an N, P, K, Mg und S ein standort- und jahrestypisches Niveau aufweisen.

Bei den Kreuzblütlern waren erwartungsgemäß höhere S-Gehalte in Korn und Stroh zu verzeichnen als in den übrigen Kulturen. Leindotter lag hier aufgrund seiner höheren Glucosinolatgehalte etwas über den Werten des geprüften 00-Winterrapses, aber weit unter den Werten der geprüften Senfsorte. Es wurde in den Versuchen auch kein glucosinolatärmer Senf verwendet. Die N-Gehalte von Leindotter- und Senfsaat lagen deutlich über den N-Gehalten von Winterraps. Die P-, K- und Mg-Gehalte der Senfkörner waren höher, die K-Gehalte des Senfstrohs jedoch geringer als die angegebenen Richtwerte (Abb. 2). Auffällig war weiterhin die weite Streuung der K-Gehalte im Stroh bei Senf und Leindotter an den Standorten sowie der deutliche Unterschied in der Versorgung des Leindotterstrohs mit N, K und S zwischen den Jahren 2004 und 2005 (Abb. 2).

Beim Getreide wurden die angegebenen Nährstoffrichtwerte nur in einem Fall erreicht. Die Überschreitung des verwendeten

N-Richtwertes bei den Körnern von Sommerweizen erklärt sich dadurch, dass beim Sommerweizen die Richtwerte für Winterweizen angesetzt wurden, Sommerweizen aber typischerweise höhere N-Gehalte aufweist (BERG et al. 2003). Das durchgängige Unterschreiten der konventionellen Richtwerte beim Getreide weist auf das hohe Düngungsniveau im konventionellen Landbau hin. Die hier gemessenen niedrigeren Gehalte in Getreide können als typisch für die ökologische Produktion angesehen werden (KOLBE et al. 2003, ZIMMER und

DITTMANN 2003).

Bei den Erbsen ist das deutliche Unterschreiten der Richtwerte für N in Korn und Stroh nicht zu erklären. Hier muss angenommen werden, dass die zur Ermittlung der Richtwerte herangezogene Datenbasis aufgrund der geringeren Anbaubedeutung von Erbsen im konventionellen Landbau nicht das Standortsspektrum abdeckt. Bei den Lupinen entsprechen die gefundenen Nährstoffgehalte im Korn den Richtwerten besser.

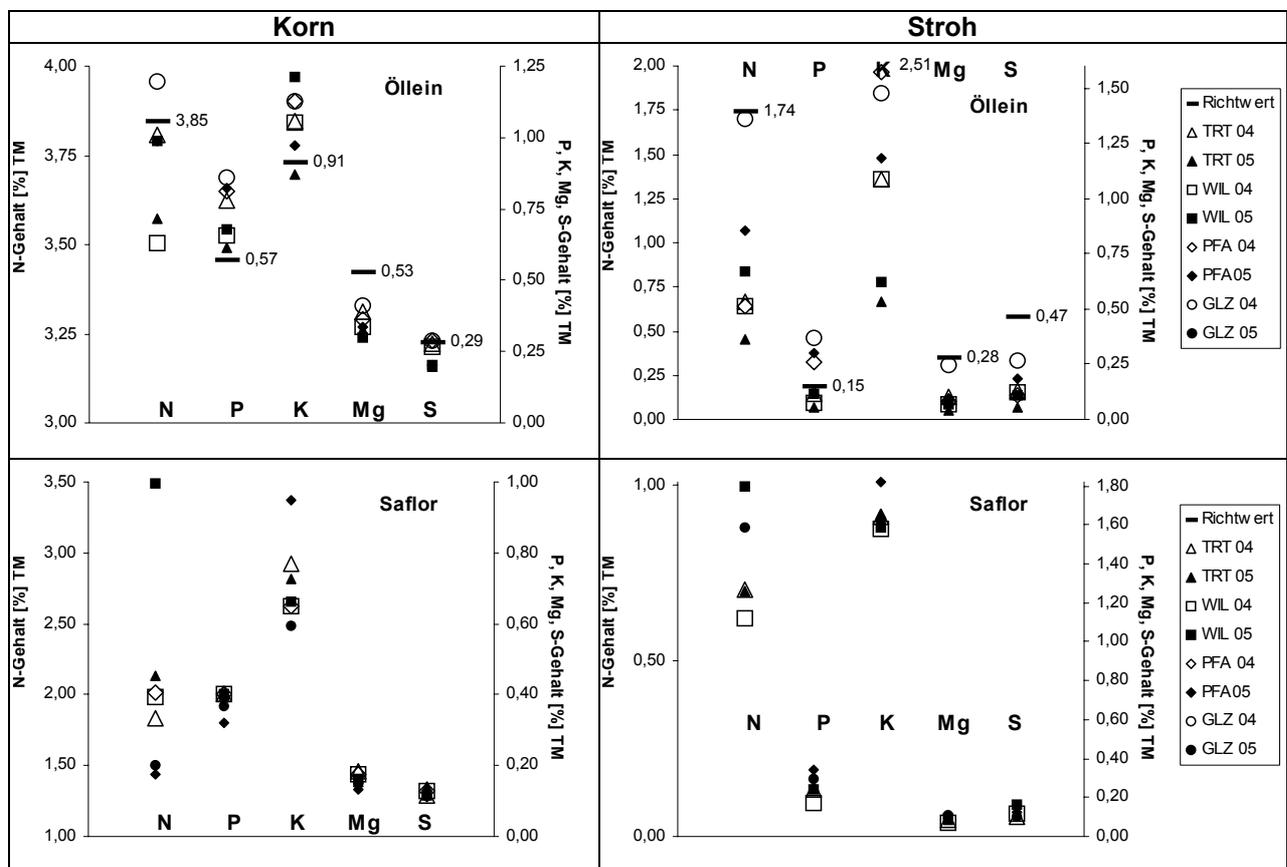


Abb. 1: Nährstoffgehalte in Korn und Stroh der Reinsaaten von Öllein und Safflor an den Versuchsstandorten im Vergleich zu durchschnittlichen Nährstoffgehalten von Kulturen nach Richtwerten (soweit vorhanden) konventioneller Produktion

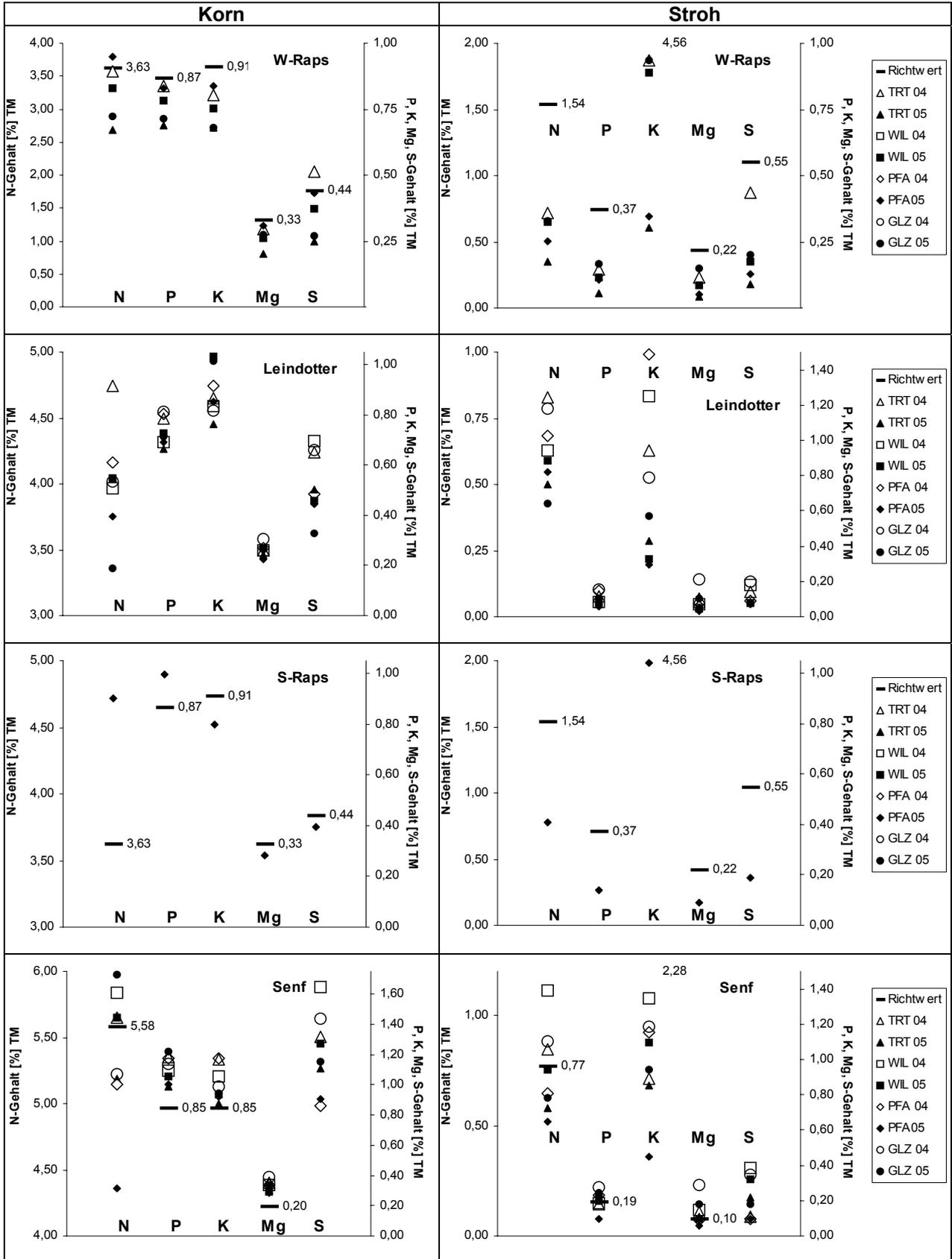


Abb. 2: Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Winter- und Sommerraps, Leindotter und Senf in Reinsaat an den Versuchsstandorten im Vergleich zu durchschnittlichen Nährstoffgehalten der Kulturen nach Richtwerten (soweit vorhanden) konventioneller Produktion

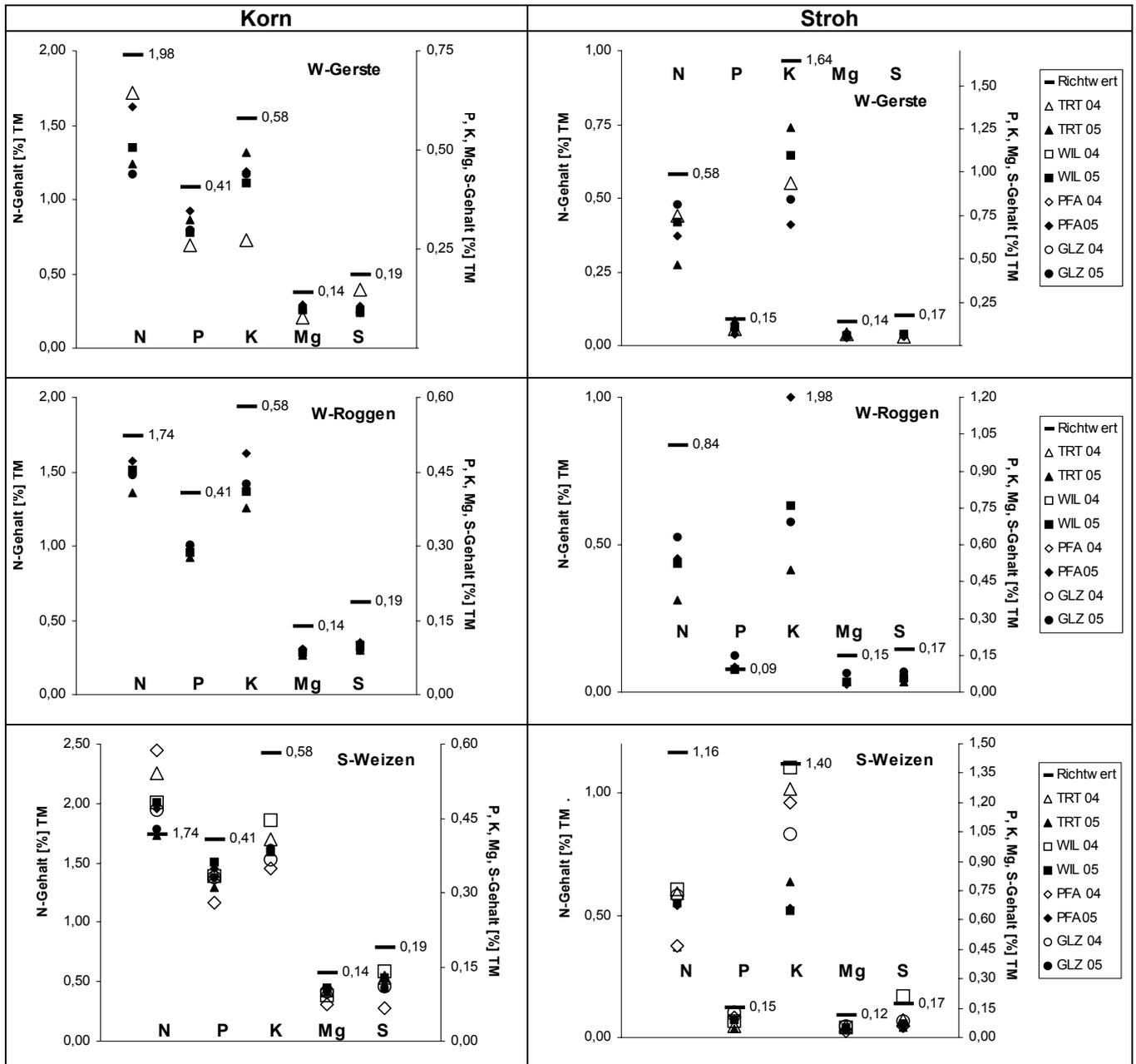


Abb. 3: Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Getreide in Reinsaat an den Versuchsstandorten im Vergleich zu durchschnittlichen Nährstoffgehalten von Kulturen nach Richtwerten konventioneller Produktion

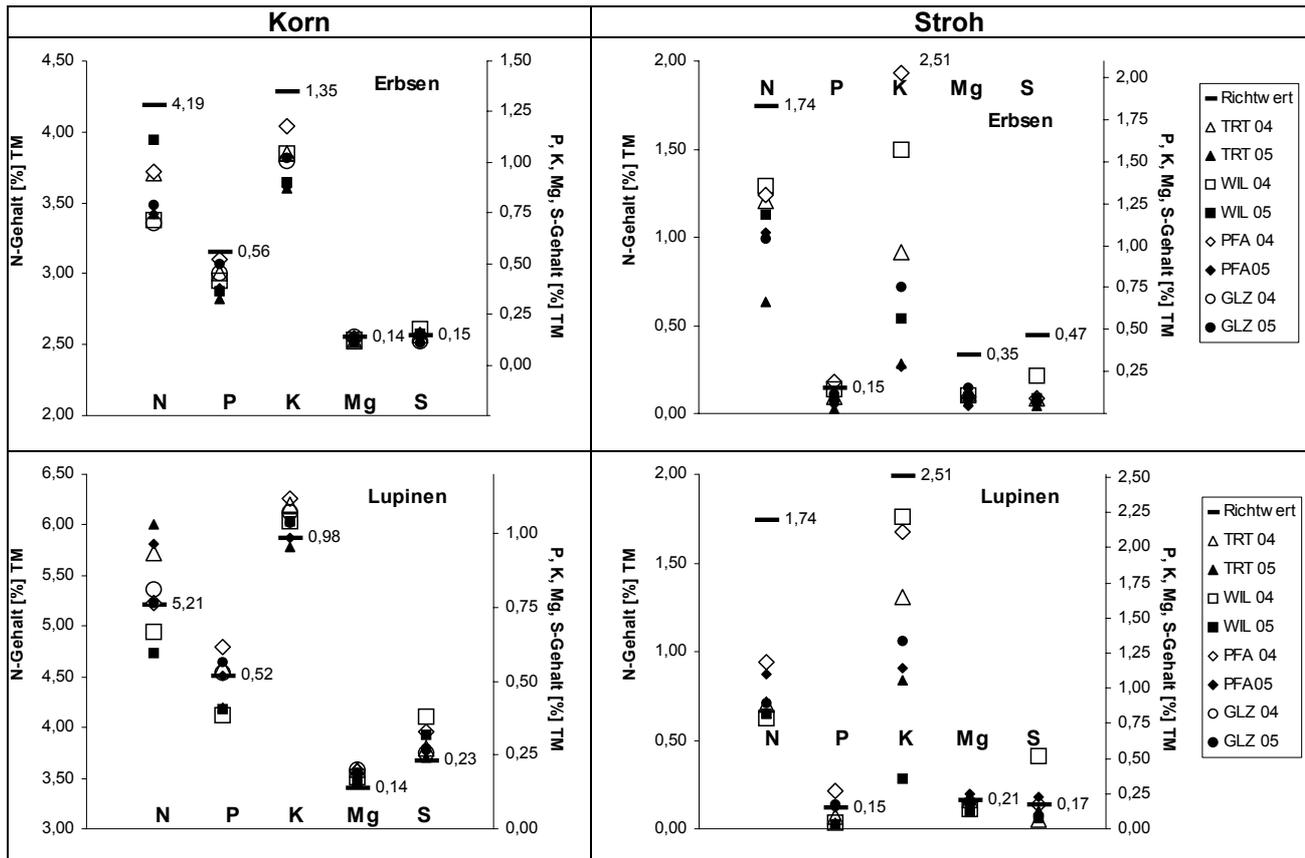


Abb. 4: Nährstoffgehalte der Reinsaat in Korn und Stroh von Erbsen und Lupinen an den Versuchsstandorten im Vergleich zu durchschnittlichen Nährstoffgehalten von Kulturen nach Richtwerten konventioneller Produktion

3.2 Nährstoffversorgung der Pflanzen im Mischfruchtanbau

Es fiel auf, dass die Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Pflanzen im Mischfruchtanbau mit denen ihrer Reinsaat überwiegend positiv korreliert waren (Tab. 2). Bei hohen Nährstoffgehalten eines Partners lagen auch hohe Nährstoffgehalten des anderen Partners vor. Das lässt darauf schließen, dass das Nährstoffniveau vom Standort und nicht vom Mischungspartner bestimmt wird. Die vereinzelt auftretenden negativen Korrelationskoeffizienten zum Nährstoffgehalt der Mischkulturen weisen auf Verdrängungsprozesse hin, die die Nährstoffversorgung eines Mischungspartners verschlechtern.

3.2.1 Nährstoffgehalte der Pflanzen in Abhängigkeit vom Mischungspartner

Betrachtet man die gemessenen Nährstoffgehalte in Korn und Stroh der Mischungspartner zur Ernte, zeigten sich nur bei

bestimmten Mischungen Effekte gegenüber den Reinsaatvarianten. In den nachfolgenden Vergleichen der Mittelwerte der Nährstoffgehalte in den Tabellen 1 - 14 sind nur die Standorte und Jahre einbezogen, die bei der jeweiligen Mischung eine gute Ausbildung beider Mischungspartner zeigten.

3.2.1.1 Mischfruchtanbau von Winterraps mit Wintergetreide oder Wintererbsen

Die Nährstoffgehalte von Winterraps wurden in der Regel nicht signifikant durch den Mischfruchtanbau mit Wintergerste, Wintererbsen oder Winterroggen beeinflusst. Wintergerste (Tab. 3) und Winterroggen (Tab. 4) wiesen allerdings in Mischkultur mit Winterraps höhere N-Gehalte im Korn auf als in der Reinsaat. Auch die S-Gehalte waren leicht erhöht. Bei den N-, P-, Mg- und S-Gehalten im Stroh war ebenso eine verbesserte Versorgung des Getreides in Mischung mit Winterraps zu verzeichnen. Die Wintererb-

sen waren in Reinsaat besser mit K, Mg und S versorgt als in Mischung mit Winterraps (Tab. 5).

	Stroh					Korn				
	N	P	K	Mg	S	N	P	K	Mg	S
WR x WG				0,75 ***	0,58 *					0,5 *
WR x WE			-0,98			0,78				0,58
WR x WRo	-0,82 *								0,52 *	
E x SR	0,54 *									
E x WS			0,52 ***	0,46 *	0,4 *	0,59 ***	0,81 ***	0,82 ***	0,72 ***	0,7 **
E x LD			0,69 ***	0,70 ***	0,68 ***		0,61 ***		0,81 ***	0,47 ***
E x LDbreit			0,65 ***	0,74 **		0,57 *	0,94 ***	0,64 **		0,63 **
Lu x FD		0,46 *				-0,42 *				
Lu x LD			0,63 ***		0,65 ***					
SW x LD	0,72 ***	0,39 *	0,69 ***	0,72 ***	0,74 ***	0,58 ***			-0,55 **	
SW x OL	0,40 *	0,53 **	0,64 ***	0,55 **		0,58 **				
OL x LD	0,64 ***	0,39 *	0,59 ***	0,85 ***	0,51 **		0,59 ***	0,43 *	0,78 ***	0,56 **

Tab. 2: Zusammenhang der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh der Gemengepartner beim Mischfruchtanbau mit Ölsaaten, Pearsonsche Korrelationskoeffizienten (nur signifikante Werte), vier Standorte 2004 und 2005 mit: *** = 0 ≤ P < 0,001, ** = 0,001 ≤ P < 0,01, * = 0,01 ≤ P < 0,05

Tab. 3: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Winterraps und Wintergerste im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche in TRT 04, PFA 04, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

	W-Raps		W-Gerste	
	Rein	mit W-Gerste	Rein	mit W-Raps
Korn N	3,7	3,9	1,7	1,8 *
P	0,83	0,83	0,30	0,31
K	0,82	0,81	0,36	0,34
Mg	0,3	0,3	0,09	0,09
S	0,48	0,47	0,13	0,14
Stroh N	0,65	0,72	0,41	0,5
P	0,13	0,13	0,08	0,12 *
K	0,74	0,83	0,82	0,91
Mg	0,09	0,11 *	0,05	0,06 ***
S	0,31	0,33	0,05	0,08 ***

*** = 0 ≤ P < 0,001, ** = 0,001 ≤ P < 0,01, * = 0,01 ≤ P < 0,05
fett: signifikant höhere Werte

Tab. 4: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Winterraps und Winterroggen im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche in TRT 05, PFA 05, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

	W-Raps		W-Roggen	
	Rein	mit W-Roggen	Rein	mit W-Raps
Korn N	3,1	3,2	1,48	1,70 ***
P	0,75	0,76	0,29	0,3 ***
K	0,74	0,74	0,43	0,42
Mg	0,26	0,26	0,09	0,09
S	0,32	0,35	0,09	0,11 ***
Stroh N	0,56	0,56	0,43	0,50 *
P	0,12	0,14	0,11	0,13 ***
K	0,69	0,66	0,79	0,71
Mg	0,09	0,09	0,05	0,06 ***
S	0,16	0,16	0,05	0,08 ***

^a*** = 0 ≤ P < 0,001, ** = 0,001 ≤ P < 0,01, * = 0,01 ≤ P < 0,05
fett: signifikant höhere Werte

Tab. 5: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Winterraps und Wintererbsen im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche in WILM 05, PFA 05, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

		W-Raps		W-Erbsen	
		Rein	mit W-Erbsen	Rein	mit W-Raps
Korn	N	3,5	3,8	3,9	3,8
	P	0,80	0,81	0,46	0,41
	K	0,79	0,85 *	1,1	1,0 *
	Mg	0,28	0,3	0,14	0,12 **
	S	0,4	0,45	0,16	0,14 **
Stroh	N	0,60	0,56	1,3	1,1 *
	P	0,11	0,12	0,11	0,12
	K	0,71	0,81	0,91	0,51
	Mg	0,08	0,08	0,10	0,08
	S	0,16	0,17	0,09	0,09

**** = $0 \leq P < 0,001$, ** = $0,001 \leq P < 0,01$, * = $0,01 \leq P < 0,05$
fett: signifikant höhere Werte

3.3.1.2 Mischfruchtanbau von Erbsen mit Ölsaaten

Sommererbsen waren im Mischfruchtanbau mit Leindotter, Senf und Sommerraps zur Ernte nicht schlechter mit Nährstoffen versorgt als in der Erbsen-Reinsaat. (Tab. 6 - 9).

Tab. 6: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Erbsen und Sommerraps im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche in TRT 04/05, PFA 05, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

		Erbsen		S_Raps ¹	
		Rein	mit S-Raps	Rein	mit Erbsen
Korn	N	3,6	3,5	4,7	4,7
	P	0,38	0,39	1	0,9
	K	0,93	0,95	0,8	0,71
	Mg	0,12	0,12	0,28	0,27
	S	0,13	0,12	0,39	0,40
Stroh	N	0,96	0,95	0,78	0,85
	P	0,06	0,06	0,14	0,14
	K	0,51	0,59 *	1,04	0,99
	Mg	0,08	0,08	0,09	0,1
	S	0,06	0,06	0,19	0,24

¹ nur Pfaffenhofen 2005

**** = $0 \leq P < 0,001$, ** = $0,001 \leq P < 0,01$, * = $0,01 \leq P < 0,05$
fett: signifikant höhere Werte

Senf (Tab. 7) und Leindotter (Tab. 8) wiesen im Mischfruchtanbau mit Erbsen höhere N- und S-Gehalte in Korn und Stroh auf. Leindotter im Mischfruchtanbau mit Erbsen hatte darüber hinaus im Stroh höhere K- und Mg-

Gehalte. Eine bessere N-Versorgung der Leindotterpflanzen im Mischfruchtanbau mit Erbsen wurde auch schon in früheren Wachstumsstadien nachgewiesen (PAULSEN et al. 2007).

Tab. 7: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Erbse und weißem Senf im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte aller Standorte in 2005, Vergleich F-Test ANOVA^a

		Erbse		Senf	
		Rein	mit Senf	Rein	mit Erbse
Korn	N	3,6	3,5	5,1	5,4 ***
	P	0,40	0,43 ***	1,05	1,01 ***
	K	0,96	0,99 *	0,98	0,97
	Mg	0,13	0,13	0,31	0,30
	S	0,13	0,14	1,0	1,09
Stroh	N	1,0	1,0	0,62	0,78 **
	P	0,09	0,03	0,19	0,20
	K	0,79	0,72 ***	0,89	0,95
	Mg	0,08	0,08	0,09	0,1
	S	0,07	0,07	0,18	0,3 ***

**** = $0 \leq P < 0,001$, ** = $0,001 \leq P < 0,01$, * = $0,01 \leq P < 0,05$
fett: signifikant höhere Werte

Tab. 8: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Erbse und Leindotter im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche aller Standorte und Jahre, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

		Erbse		Leindotter	
		Rein	mit Leindotter	Rein	mit Erbse
Korn	N	3,7	3,5	4,2	4,5 ***
	P	0,41	0,41	0,73	0,73
	K	0,97	0,97	0,89	0,91
	Mg	0,12	0,12	0,25	0,25
	S	0,14	0,13 ***	0,51	0,54 *
Stroh	N	1,1	1,1	0,63	0,77 **
	P	0,09	0,10	0,10	0,11
	K	0,83	0,89	0,7	0,96 ***
	Mg	0,09	0,09	0,06	0,07 **
	S	0,05	0,07 *	0,09	0,11 *

**** = $0 \leq P < 0,001$, ** = $0,001 \leq P < 0,01$, * = $0,01 \leq P < 0,05$
fett: signifikant höhere Werte

Tab. 9: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Erbsen und Leindotter im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau bei Breitsaat des Leindotters, Mittelwerte der Versuche in TRT 04/05, PFA 04/05, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

		Erbsen		Leindotter breit	
		Rein	mit Leindotter breit	Rein	mit Erbsen
Korn	N	3,5	3,6	4,2	4,5 *
	P	0,42	0,41	0,74	0,74
	K	0,99	0,96	0,85	0,85
	Mg	0,12	0,12	0,25	0,25
	S	0,13	0,12 *	0,52	0,55
Stroh	N	1,02	0,94	0,64	0,78 *
	P	0,09	0,09	0,10	0,12
	K	0,89	0,93	0,79	1,23 ***
	Mg	0,08	0,09	0,06	0,08 **
	S	0,07	0,05 **	0,09	0,11 *

*** = 0 ≤ P < 0,001, ** = 0,001 ≤ P < 0,01, * = 0,01 ≤ P < 0,05
fett: signifikant höhere Werte

3.3.1.3 Mischfruchtanbau von blauen Lupinen mit Ölsaaten

Beim Mischfruchtanbau von blauen Lupinen mit Leindotter sanken die Nährstoffgehalte der Lupine im Vergleich zur Reinsaat ab (Tab. 10).

Tab. 10: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von blauen Lupinen und Leindotter im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche in TRT 04/05, WILM 04/05, PFA 04, GLZ 05, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

		Lupine		Leindotter	
		Rein	mit Leindotter	Rein	mit Lupine
Korn	N	5,3	5,1	4,1	4,0
	P	0,49	0,42 ***	0,73	0,71 *
	K	1,05	0,94 ***	0,91	0,86 *
	Mg	0,18	0,16 ***	0,26	0,26
	S	0,30	0,28 ***	0,52	0,50
Stroh	N	0,72	0,70	0,61	0,60
	P	0,11	0,09	0,10	0,1
	K	1,42	1,25 **	0,83	0,70 *
	Mg	0,17	0,18	0,07	0,08
	S	0,16	0,16	0,11	0,11

*** = 0 ≤ P < 0,001, ** = 0,001 ≤ P < 0,01, * = 0,01 ≤ P < 0,05
fett: signifikant höhere Werte

Vor allem die Gehalte im Korn zeigten hier signifikante Effekte. Leindotterreinsaat waren besser mit P und K versorgt als in Mischsaat mit Lupinen. Beim Mischfrucht-

anbau mit Saflor waren die Lupinen schlechter mit Kalium versorgt. Saflor wies im Gegensatz dazu in Mischung mit Lupinen eine bessere Versorgung mit P, K und S auf (Tab. 11).

Tab. 11: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von blauen Lupinen und Saflor im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche in TRT 04/05, WILM 04, PFA 05, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

		Lupine		Saflor ¹	
		Rein	mit Saflor	Rein	mit Lupine
Korn	N	5,6	5,6	1,9	2
	P	0,47	0,46	0,38	0,4 **
	K	1,01	0,96 *	0,77	0,8 *
	Mg	0,18	0,17	0,16	0,17
	S	0,29	0,32 *	0,12	0,14 *
Stroh	N	0,72	0,82	0,80	0,87
	P	0,08	0,09	0,25	0,28
	K	1,47	0,88 ***	1,68	1,7
	Mg	0,2	0,2	0,08	0,09
	S	0,21	0,17	0,12	0,12

¹Strohproben ohne Wilmersdorf 2004

*** = 0 ≤ P < 0,001, ** = 0,001 ≤ P < 0,01, * = 0,01 ≤ P < 0,05
fett: signifikant höhere Werte

3.3.1.4 Mischfruchtanbau mit Sommerweizen und Ölsaaten und von Öllein mit Leindotter

Sommerweizen im Mischfruchtanbau mit Leindotter wies im Korn höhere N- und S-Gehalte auf als in der Reinsaat (Tab. 12).

Tab. 12: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Sommerweizen und Leindotter im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche aller Standorte und Jahre, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

		S-Weizen		Leindotter	
		Rein	mit Leindotter	Rein	mit S-Weizen
Korn	N	2,0	2,1 ***	4,0	4,0
	P	0,32	0,35	0,74	0,73
	K	0,39	0,42	0,89	0,87
	Mg	0,1	0,11	0,26	0,27
	S	0,11	0,12 ***	0,53	0,60 ***
Stroh	N	0,50	0,46 *	0,62	0,62
	P	0,08	0,07	0,10	0,11
	K	0,99	1,27 ***	0,76	0,77
	Mg	0,05	0,04	0,09	0,09
	S	0,09	0,09	0,11	0,14 **

*** = 0 ≤ P < 0,001, ** = 0,001 ≤ P < 0,01, * = 0,01 ≤ P < 0,05
fett: signifikant höhere Werte

Im Stroh war die Reinsaat demgegenüber besser mit N versorgt. Das Stroh der Reinsaat wies geringere K-Gehalte auf als das des Mischfruchtanbaus (Tab. 12).

Beim Leindotter waren Unterschiede in den Nährstoffgehalten zwischen Rein- und Mischfruchtanbau bei S gegeben. Leindotter weist aufgrund seiner Glucosinolatgehalte typische hohe S-Gehalte auf. Die S-Versorgung der Pflanzen im Mischfruchtanbau war besser als im Reinanbau.

In Mischung mit Öllein wies Sommerweizen eine etwas schlechtere Versorgung des Strohs mit P und S auf als in Reinsaat. Die übrigen Nährelemente im Stroh und in den Körnern blieben gegenüber der Reinsaat unverändert (Tab. 13). Öllein zeigte im Mischfruchtanbau mit Sommerweizen gegenüber der Reinsaat einen angestiegenen P-Gehalt im Korn sowie eine erhöhte Konzentration aller untersuchten Nährelemente im Stroh. Hier muss es aufgrund des starken Biomasserückgangs des Ölleins im Mischfruchtanbau zu einer Aufkonzentration der Nährstoffe in den vegetativen Pflanzenteilen gekommen sein.

Tab. 13: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Sommerweizen und Öllein im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche in TRT 04/05, WILM 04/05, PFA 04/05, GLZ 04, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

		S-Weizen		Öllein	
		Rein	mit Öllein	Rein	mit S-Weizen
Korn	N	2,1	2,08	3,8	3,8
	P	0,33	0,33	0,75	0,80 ***
	K	0,39	0,39	1,06	1,07
	Mg	0,1	0,1	0,35	0,36
	S	0,11	0,13	0,25	0,25
Stroh	N	0,52	0,48	0,86	0,98 ***
	P	0,09	0,07 ***	0,18	0,27 ***
	K	1	1	1,09	1,28 ***
	Mg	0,05	0,04	0,1	0,14 ***
	S	0,09	0,08 ***	0,14	0,19 ***

*** = $0 \leq P < 0,001$, ** = $0,001 \leq P < 0,01$, * = $0,01 \leq P < 0,05$
fett: signifikant höhere Werte

Beim Mischfruchtanbau von Öllein und Leindotter zeigte der Öllein gegenüber seiner Reinsaatvariante verringerte P-Gehalte und

erhöhte S-Gehalte im Korn (Tab. 14). Das Stroh des Ölleins wies im Mischfruchtanbau höhere P-, Mg- und S-Gehalte auf. Leindotter, der das Gemenge dominierte, blieb im Mischfruchtanbau in den Nährstoffgehalten nahezu unverändert. Einzig die Kaliumgehalte im Stroh sanken gegenüber der Reinsaatvariante ab.

Tab. 14: Vergleich der Nährstoffgehalte in Korn und Stroh von Öllein und Leindotter im Reinanbau mit denen der jeweiligen Kultur im Mischfruchtanbau, Mittelwerte der Versuche in TRT 04/05, WILM 04/05, PFA 04/05, GLZ 04, Vergleich F-Test ANOVA^a [% i. TM]

		Öllein		Leindotter	
		Rein	mit Leindotter	Rein	mit Öllein
Korn	N	3,8	3,9	4,1	4,1
	P	0,75	0,7 ***	0,74	0,73
	K	1,06	1,06	0,87	0,86
	Mg	0,35	0,36	0,26	0,26
	S	0,25	0,26 ***	0,56	0,55
Stroh	N	0,86	0,92	0,65	0,65
	P	0,18	0,23 ***	0,10	0,1
	K	1,08	1,13	0,79	0,65 *
	Mg	0,10	0,12 **	0,08	0,08
	S	0,14	0,16 *	0,11	0,12

*** = $0 \leq P < 0,001$, ** = $0,001 \leq P < 0,01$, * = $0,01 \leq P < 0,05$
fett: signifikant höhere Werte

3.3 Nährstoffaufnahmen der Pflanzen in Misch- und Reinkultur

Die Nährstoffaufnahme der Pflanzen in Korn und Stroh ist abhängig von der spezifischen Nährstoffaneignung der Pflanzen und ihrem Massenwachstum. In Mischfruchtanbau von Erbsen mit Sommerraps, weißem Senf oder Leindotter stiegen die Aufnahmen von P, K, Mg und S auf der Fläche gegenüber der Erbsenreinsaat (Tab. 15). Sie lagen auf oder über dem Niveau der jeweiligen Ölsaaten im Reinanbau. In diesen Anbausystemen ist die Nährstoffaufnahme eher additiv bzw. steigt mit der Einführung eines Gemengepartners mit höheren Nährstoffansprüchen. Bei N wird der Effekt durch die N-Bindung der Erbsen überlagert. Diese Ergebnisse waren auch unabhängig von den verglichenen Saatverfahren 'Erbsen-Leindotter in alternierenden Reihen (ELD)' und 'Erbsen mit Leindotter-Breitsaat (ELDbreit)' (Tab. 15), denn vor

Tab. 15: Nährstoffaufnahme von Korn und Stroh von Mischkulturen mit Sommerungen im Vergleich mit den jeweiligen Reinkulturen [kg ha⁻¹]

	N	P	K	Mg	S
ESR	100a	13a	55a	7,8a	8,6a
E	87a	8,0b	31b	4,4b	4,1b
SR	-	-	-	-	-
F-Test	ns	**	**	**	**
EWS	91a	16a	50	7,7a	14a
E	89a	9,4b	37	4,5b	4,0b
WS	65b	15a	44	7,0a	14a
F-Test	**	**	ns	**	**
ELD	105a	14a	53a	6,5a	9,8ab
E	85b	8,5b	35b	4,1b	4,0c
LD	62c	11b	30b	4,7b	9,0b
F-Test	***	***	***	***	***
ELDbreit	136a	29	65a	7,1a	8,3a
ELD	133a	17	63a	7,3a	9,8a
E	117a	12	48b	5,5b	5,1b
LD	70b	12	30c	5,0bB	9,3a
F-Test	***	ns	***	**	**
LuLD	108a	13a	44	7,7a	13a
Lu	109a	9,3b	42	6,9a	7,6b
LD	73b	12a	34	5,4b	11a
F-Test	**	**	ns	**	**
LuFD	117a	19 a	89b	8,6a	11
Lu	128a	11b	51c	8,2a	9,0
FD	70b	20a	107a	7,0b	8,4
F-Test	***	***	***	*	ns
SWLD	108a	16a	70a	6,2a	9,9a
SW	103a	17a	66a	5,9a	7,5b
LD	56b	9,5b	24b	4,2b	7,5b
F-Test	***	***	***	***	*
SWOL	91b	15a	62a	5,8A	8,0a
SW	104a	17a	69a	6,0A	8,3a
OL	44c	8,4b	29b	4,5B	4,4b
F-Test	***	***	***	**	***
OLLD	65a	12a	32	5,4a	9,4a
OL	44b	8,4b	29	4,5b	4,4b
LD	60a	10a	30	4,6ab	9,0a
F-Test	***	***	ns	*	***

Mittelwerte der Standorte bei ESR: TRT04/05, WIL05; EWS: TRT, PFA04/05, WIL, GLZ05; ELD: TRT, WIL, PFA04/05, GLZ04; ELDbreit: TRT, PFA04/05; LULD: TRT, WIL04/05, PFA05; LUF: TRT04/05, WIL04, PFA05; SWLD: TRT, PFA04/05, W05, GLZ04; SWOL: TRT, WIL, PFA04/05, GLZ04 und bei OLLD: TRT, WIL, PFA04/05, GLZ04. Mittelwertvergleich: LSD5% nach signifikanter ANOVA, *** = 0 ≤ P < 0,001, ** = 0,001 ≤ P < 0,01, * = 0,01 ≤ P < 0,05, ns = nicht signifikant P > 0,05

allem im Jahr 2004 stieg die geerntete Biomasse in beiden Mischfruchtanbauvarianten gegenüber den Erbsen in Reinsaat deutlich an (vgl. auch den Abschnitt zu den „Erträgen“ in diesem Band).

Auch beim Mischfruchtanbau von Lupinen mit Leindotter oder Saflor stiegen die P-, K-, Mg- und S-Aufnahme gegenüber den Lupinen in Reinsaat. Beim Anbau von Sommerweizen mit Öllein oder Leindotter veränderte sich die Aufnahme der Elemente gegenüber dem Sommerweizen in Reinsaat in der Regel nicht signifikant (Tab. 15). Gegenüber Öllein in Reinsaat bedeutete der Mischfruchtanbau mit Sommerweizen oder Leindotter jedoch einen erheblich höheren Nährstoffentzug auf der Fläche.

Beim Mischfruchtanbau von Winterraps mit Wintergerste sanken die N-, P-, K- und Mg-Aufnahmen gegenüber der Wintergerste und stiegen gegenüber dem Winterraps im Reinsaat (Tab. 16). Aufgrund des typischen hohen S-Gehaltes von Rapspflanzen nahm die S-Aufnahme im Mischfruchtanbau gegenüber der Rapsreinsaat ab und gegenüber der Wintergerstenreinsaat zu.

Tab. 16: Nährstoffaufnahme von Korn und Stroh von Mischkulturen mit Winterraps im Vergleich mit den jeweiligen Reinkulturen [kg ha⁻¹]

	N	P	K	Mg	S
WRWG	47b	10	33b	4,8	8,9a
WR	42b	9,2	29b	5,0	12a
WG	59a	12	45a	4,8	5,3b
F-Test	*	ns	*	ns	*
WRWRO	58b	12b	43b	4,4b	6,8b
WR	28c	6,0c	14c	2,6c	4,3c
WRO	108a	23a	93a	7,4a	9,0a
F-Test	***	***	***	***	**
WRWE	56a	9	34	4	6
WR	15b	3,0	14	1,6	2,9
WE	71a	6,7	46	4,6	3,9
F-Test	*	ns	ns	ns	ns

Mittelwerte der Standorte bei WRWG: TRT04, WIL, PFA, GLZ05; WRWRO: TRT, WIL, PFA05 und bei WRWE WIL05. Mittelwertvergleich: LSD5% nach signifikanter ANOVA, *** = 0 ≤ P < 0,001, ** = 0,001 ≤ P < 0,01, * = 0,01 ≤ P < 0,05, ns = nicht signifikant P > 0,05

Die Nährstoffaufnahme im Mischfruchtanbau von Winterraps und Winterroggen nahm

bei allen Nährstoffen eine Zwischenstellung zwischen der der Reinsaat der Mischungs-komponenten ein (Tab. 16). Ähnlich war dies beim Gemenge von Winterraps mit Wintererbsen. Bei den wenigen vorliegenden Daten zu dieser Kombination waren diese Effekte jedoch nicht statistisch zu sichern.

4 Diskussion

Bei der Einstufung der Nährstoffversorgung der Reinkulturen an den Standorten wurde deutlich, dass im ökologischen Landbau bei den Nährelementgehalten eine enorme Bandbreite in den Pflanzen zu erwarten ist. Die heute existierenden Richtwerte für eine ausreichende Versorgung von Pflanzen beziehen sich auf gedüngte konventionelle Systeme. Bei der überwiegenden Zahl der hier betrachteten Pflanzenarten wurden unter ökologischen Produktionsbedingungen diese Richtwerte nicht erreicht. Da in den Versuchen in den Reinsaat durchaus typische Erträge für den ökologischen Landbau erzielt wurden, muss diskutiert werden, ob die angegebenen Grenzwerte zu erreichen sind und ob die Nährelemente die ertragslimitierenden Faktoren sind. Diese Fragestellung konnte im Rahmen dieser Studie nicht behandelt werden. Die Daten können als Grundlage für weitere Arbeiten zur Nährstoffversorgung ökologisch angebaute Pflanzen herangezogen werden.

Wenn in den durchgeführten Versuchen Unterschiede in den N-, P-, K-, Mg- oder S-Gehalten zwischen den gleichen Kulturen in Reinsaat oder Mischkultur messbar waren, war die Versorgung in der Mischkultur in der Regel besser (Tab. 3-14). Die interspezifische Konkurrenz in den Mischkulturen war offensichtlich geringer als die intraspezifische Konkurrenz in den Reinkulturen. Dieses Erkenntnis entspricht den Erwartungen, die eingangs an den Mischfruchtanbau gestellt wurden.

Werden die Nährstoffentzüge betrachtet, zeigt sich, dass die Mischungen in der Regel höhere Werte aufweisen als die Mischungs-komponenten mit den geringeren Nährstoff-

ansprüchen in der Reinsaat. Dies kann eine pure Ergänzung des spezifischen Nährstoffentzuges durch die zusätzlich gebildete Biomasse im Mischfruchtanbau sein. Der Nährstoffentzug der Gemenge nimmt dann eine Zwischenstellung verglichen mit den Entzügen der beiden Reinsaat der Komponenten ein. Dies war bei den Mischungen aus Winterraps und Wintergetreide deutlich (Tab. 16). Ein Effizienzgewinn gemessen am RYT wurde bei diesen Mischungen dann auch nicht gefunden (vgl. Kapitel zu den „Erträgen“ in diesem Band).

In den geprüften Mischungen mit Erbsen und Lupinen stieg die Nährstoffaufnahme auch oft auf oder über das Niveau der Mischungs-partner, die in Reinsaat die höheren Nährstoffansprüche zeigten (EWS, ELD, ELDbreit, LuLD in Tab. 15). In diesen Gemengen wurden auch deutlich erhöhte Flächenproduktivitäten gemessen am RYT gefunden.

Beim Sommerweizen stieg die Nährstoffaufnahme im Mischfruchtanbau mit den Ölsaaten gegenüber der Sommerweizenreinsaat nicht an. Auch Öllein im Gemisch mit Leindotter übertraf die Nährstoffentzüge der Leindotterreinsaat nicht. Hier können die Mischungs-partner die Standortressourcen offensichtlich nicht durch räumliche oder zeitliche Unterschiede bei der Nährstoffaufnahme besser ausnutzen. Das Ertragniveau der Ölsaaten in Sommerweizen und das des Ölleins in Leindotter blieb daher auch nur gering.

Festzuhalten bleibt, dass die Einführung von Mischfruchtanbausystemen mit Ölpflanzen die Nährstoffvorräte in vielen Fällen zusätzlich beansprucht. Da mit dem Anbausystem eine verbesserte Flächenproduktivität angestrebt wird, ist dies auch erwünscht und naheliegend. Bei der Fruchtfolgeplanung und Düngung müssen eventuell erhöhte Nährstoffansprüche der Mischkulturen mit Ölsaaten gegenüber Reinsaatssystemen berücksichtigt werden.

5 Literatur

- Balschun H, Jacob F (1972) Interspecific competition among *Linum-usitatissimum* L. and species of *Camelina*. *Flora* 161 (1-2):129ff
- Berg M, Schenke H, Eisele J, Leisen E, Paffrath A (2003) Getreidebau. Dokumentation 10 Jahre „Leitbetriebe Ökologischer Landbau NRW“ 10 Jahre Netzwerk Ökologischer Landbau in NRW: Wissenschaft – Beratung – Praxis Herausgeber: Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft" Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Band 105:45-63 [online]. Zu finden in <http://www.oekolandbau.nrw.de/pdf/leitbetriebe/dokumentation_10_jahre/getreidebau.pdf> [zitiert am 6.6.2007]
- Graf T, Degner J, Kerschberger M, Malarski O (2003) Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Öllein. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena [online] <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/oell0702.pdf>> [zitiert am 6.6.2007]
- Kranz E, Jacob F (1977a) Competition of *Linum* with *Camelina* for minerals. 1. Uptake of sulphate-S-35. *Flora* 166 (6):491-503
- Kranz E, Jacob F (1977b) Competition of *Linum* with *Camelina* for minerals. 2. Uptake of P-32-phosphate and Rb-86. *Flora* 166 (6):505-516
- LFL (2006) Nährstoffgehalte von Haupt- und Zwischenfrüchten. (Stand: November 2006) Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising [online] Zu finden in <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/10536/linkurl_0_1_0_0.pdf> [zitiert am 6.6.2007]
- MLUV Brandenburg (2000) (Hrsg.) Rahmenempfehlungen zur Düngung 2000 im Land Brandenburg. Ministerium für Landwirtschaft Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg [online]. Zu finden in <<http://www.mluv.Brandenburg.de/cms/media.php/2331/duengbro.pdf>> [zitiert am 6.6.2007]
- Paulsen H M, Schochow M, Behrendt A, Rahmann G (2007) N-requirement of mixed-cropping systems with oilcrops in organic farming. In: 14th World Fertilizer Congress: fertilizers and fertilization; stewardship for good security, food quality, environment and nature conservation, 22-27 January 2006, Chiang Mai, Thailand; Conference proceedings (im Druck)
- TLL (1999) Merkblatt Schwefelgehalte in landwirtschaftlichen Kulturpflanzen und organischen Düngestoffen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena [online]. Zu finden in <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/sgeh0699.pdf>> [zitiert am 6.6.1999]
- Zimmer J, Dittmann B (2002) Nährstoffbilanzen im ökologischen Landbau unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme, LVL Brandenburg, Güterfelde [online]. Zu finden in <<http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2331/oeknaehr.pdf>> [zitiert am 6.6.2007]