

Stickstoffdüngung von Öllein beeinflusst Samenertrag und Ölqualität

Christine Herzog, Jonas Anderegg, Carolin Luginbühl, Patrick Stettler und Jürg Hiltbrunner
Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Jürg Hiltbrunner, E-Mail: juerg.hiltbrunner@agroscope.admin.ch



Obwohl Lein hinsichtlich Stickstoff wenig anspruchsvoll ist, braucht es dennoch ein gewisses Quantum an Stickstoff, um den Ertrag abzusichern: Kleinparzellenversuch mit Sommerölleinsorten in Dietikon.

(Foto: Jürg Hiltbrunner, Agroscope)

Einleitung

Nachdem der Lein Mitte des letzten Jahrhunderts vom Raps verdrängt wurde, nimmt die Anbaufläche von Öllein in der Schweiz seit 2002 wieder stetig zu und betrug 2013 rund 200 ha (FAO 2017). Der Inlandbedarf kann aber aktuell nicht mit Schweizer Lein gedeckt werden; die Leinimporte betragen 2015 rund 7000t (EZV 2017).

Der Anbau von Winteröllein sowie der Schwadbrusch können wichtige Elemente im erfolgreichen Ölleinbau sein, ebenso wie die an den Standort angepasste Saattiefe, die aber nicht tiefer als 500 Samen/m² sein sollte (Luginbühl *et al.* 2015). Versuche mit Sommerölleinsorten haben gezeigt, dass Umwelt- und Bewirtschaftungsfaktoren den Ertrag stärker beeinflussen als die Sorte.

Lein gilt grundsätzlich bezüglich Stickstoff(N)-Bedarf als wenig anspruchsvolle Kultur. Bei einem N-Überangebot wird die Standfestigkeit negativ beeinflusst mit negati-

ven Konsequenzen für die mechanische Ernte und den Samenertrag. Dennoch bleibt N auch ein limitierender Nährstoff für die Ertragsbildung. Entsprechend wird in der aktuellen Düngungsempfehlung der Schweiz für einen Referenzsamenertrag von 20 dt/ha bei Öllein 80 kg N/ha und bei Faserlein mit einem Referenzsamenertrag von 15 dt/ha 60 kg N/ha empfohlen (Flisch *et al.* 2009).

Die in der Literatur vorhandenen Ergebnisse zur N-Verfügbarkeit und zum N-Düngungsoptimum sind teilweise widersprüchlich (z.B. 60 kg/ha in Bramm und Dambroth 1992, 80 kg/ha in Diepenbrock und Pörksen 1992, 200 kg/ha in Berti *et al.* 2009). Je nach Standort (z.B. Niederschlagsmenge, N-Mineralisierungsvermögen des Bodens) führt eine erhöhte N-Düngung zu höheren Erträgen ohne negative Auswirkungen auf die Standfestigkeit beziehungsweise den Ertrag (Pageau *et al.* 2006; Berti *et al.* 2009), oder aber eine erhöhte Düngung ver-

schlechtert die Standfestigkeit und führt zu keiner Ertragssteigerung (Pellet und Vuilloud 2004; Pageau *et al.* 2006). Informationen über den zum Zeitpunkt der Saat oder nach der Ernte im Boden verbleibenden N wurden nicht oft mitgeliefert, und somit ist eine gesamtheitliche Betrachtung der N-Düngung selten möglich.

In den meisten Fällen werden aktuell die Leinsamen zur Ölgewinnung genutzt und aufgrund des hohen Anteils an Omega-3-Fettsäuren als gesund beworben. Deshalb wurde in den durchgeführten Versuchen nicht nur die Auswirkung von unterschiedliche N-Mengen auf den Samenertrag von neuen Sommeröleinsorten untersucht, sondern auch der Einfluss auf den Ölgehalt und die Fettsäuren analysiert.

Material und Methoden

In den Jahren 2009 bis 2012 wurden auf vier zertifizierten Knospe-Betrieben insgesamt sechs Kleinparzellenversuche angelegt, wobei der Versuch am Standort Suhr im Jahr 2011 nicht geerntet werden konnte (Tab. 1). Die Versuche wurden als zweifaktorielle, komplett randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen angelegt. Erster Faktor: drei braunsamige Sommeröleinsorten (Princess, GieLinea, Grandvilliers [F]; Baladin und Récital, Laboulet Semences, Airaines [F]), zweiter Faktor: N-Düngung in fünf Stufen (0, 30, 60, 90 und 120 kg N/ha). Zur Saat beziehungsweise drei bis fünf Wochen nach der Saat wurde je die Hälfte der entsprechenden N-Menge in Form von Biorga-Quick 12% (Hauert HBG Dünger AG, Grossaffoltern) gedüngt. Der Reihenabstand betrug jeweils 18 cm und die Parzellenfläche rund 24 m². Es wurden jeweils 500 keimfähige und unbehandelte Samen pro m² gesät. Die Saat erfolgte in der ersten Hälfte April mit Ausnahme des Versuches in Zürich, der am 23. März gesät wurde. Die Ernte erfolgte an allen Standorten Anfangs September mit Ausnahme des Versuches in Zürich. Die Regulierung der Begleitarten erfolgte mit Striegel und/oder Hackgerät (Tab. 1).

In allen Versuchen wurde der Feldaufgang, der Blühbeginn, die Pflanzenlänge zum Zeitpunkt der Blüte, die Standfestigkeit zum Zeitpunkt der Ernte und der Wassergehalt in den Samen zum Zeitpunkt der Ernte erfasst. Geerntet wurde mit einem Kleinparzellenmähdrescher (Hege 125C). Nach der Reinigung wurde der Samenertrag sowie das Tausendkorngewicht (TKG) bestimmt. Basierend auf einer vorgängig zur maschinellen Ernte geschnittenen Probe (auf einer Fläche von 0,5 m²) wurde der Strohertrag erfasst und der Gehalt von N, Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) in den Samen beziehungsweise im Stroh im Labor bestimmt. Zusätzlich wurde für alle drei Sorten und für jede Düngungsstufe

Zusammenfassung

Lein ist in der Schweiz trotz des Ölsaatenbeitrags eine wenig bedeutende Ölpflanze geblieben. Die Düngung mit Stickstoff (N) ist im Leinanbau ein zentrales Element, da Lein als wenig anspruchsvoll, aber gleichzeitig als lageranfällig bei N-Überdüngung gilt. Mit dem Ziel, die Reaktion von neueren Sorten auf unterschiedliche Stickstoffniveaus zu untersuchen, wurden Kleinparzellenversuche mit den drei Sommeröleinsorten Baladin, Princess und Récital durchgeführt. Die Ergebnisse veranschaulichen vor allem die Bedeutung der Standortfaktoren auf die Variabilität des Samenertrages. Trotzdem kann, basierend auf dem aktuellen Bio-Produzenten- und Biorga-Düngerpreis, ein wirtschaftliches Düngungsoptimum von 36 kg N/ha abgeleitet werden. Da zudem ein negativer Zusammenhang der N-Düngungsintensität mit dem α -Linolensäuregehalt beobachtet wurde, empfiehlt sich für die Produktion von qualitativ wertvollem Leinöl ebenfalls eine mässige N-Düngung. Signifikante Unterschiede der Fettsäuremuster zwischen den drei untersuchten Sommeröleinsorten zeigen aber, dass für die Herstellung eines qualitativ wertvollen Öls auch die Sortenwahl ein wichtiges Element ist.

der Ölgehalt sowie die Fettsäuremuster bestimmt. Vor der Saat (Mischprobe über die gesamte Versuchsfläche) und nach der Ernte (Mischprobe pro Verfahren) wurde der Gehalt des Boden an verfügbarem mineralisierten Stickstoff (N_{min}) im Horizont von 0–90 cm bestimmt. Zur Schätzung des mittleren Samenertrages in Abhängigkeit der Düngungsstufe wurde eine Varianzanalyse über alle Umwelten durchgeführt. Dabei wurden die Haupteffekte der Sorte, der Umwelt, der Wiederholung und der Düngungsstufe sowie die Interaktionen zwischen Sorte und Düngungsstufe und zwischen Umwelt und Düngungsstufe betrachtet. Analog zum Vorgehen der Erarbeitung der Grundlagen für die Düngung der Ackerkulturen (Richner *et al.* 2010) wurden für die Ermittlung der Produktionsfunktionen und der ökonomisch optimalen N-Düngung verschiedene Funktionen (Bélanger *et al.* 2000) getestet und anhand visueller und statistischer Beurteilung selektiert. Für die Berechnung des ökonomischen Düngungsoptimums wurden folgende Preise verwendet: Fr. 2.–/kg N für synthetischen N-Dünger, Fr. 8.–/kg N für Biorga-Dünger, Fr. 120.–/dt

Tab. 1 | Übersicht über die Standortinformationen und Bewirtschaftungsmassnahmen sowie den mittleren Samenertrag (dt/ha mit 10% H₂O) der Stickstoffsteigerungsversuche mit Sommerölein in den Jahren 2009 bis 2012.

Jahr	Standort				Boden				Vorfrucht	Saat	Düngungs-gaben		Unkraut-bekämpfung ²	Ernte	Mittlerer Samen-ertrag
	Ort	Höhe	Nieder-schlag kumuliert ¹	Tempera-tursumme (Basis: 0°C) ¹	Bodenart	pH	Humus	N _{min} zur Saat			Erste Gabe	Zweite Gabe			
	[m.ü.M.]	[mm]	[°C]			[%]	[kg N/ha]								[dt/ha]
2009	Urdorf	450	463	2366	Lehm (26% Ton/35% Schluff)	7,7	2,5	110	Weizen (Zwi-schenfrucht Luzerne/Klee)	15.04.	15.04.	07.05.	1 × S und H (20.5.)	01.09.	24,0
2009	Dietikon	380	468	2349	Lehm (24% Ton/35% Schluff)	6,5	2,0	62	Kunstwiese	09.04.	09.04.	07.05.	1 × S (7.5.), 2 × H (7.5.; 20.5.)	08.09.	26,2
2010	Suhr	397	594	2323	Lehm (28% Ton/38% Schluff)	7,2	3,2	75	Gemüse	09.04.	01.04.	18.05.	1 × S und H (25.5.)	02.09.	17,8
2010	Dietikon	380	588	2234	Lehm (24% Ton/35% Schluff)	6,5	2,0	59	Weizen (Zwi-schenfrucht Phacelia/Klee)	08.04.	08.04.	18.05.	1 × S und H (25.5.)	03.09.	16,4
2012	Zürich	440	479	2065	–	–	–	15	Weizen, Kunstwiese	23.03.	23.03.	30.04.	3 × S und H (16.3.; 23.3.; 27.5.)	08.08.	15,9

¹ während der Vegetationszeit. ² H = Hacken, S = Striegeln.

Lein im konventionellen Anbau, Fr. 290.–/dt Lein im Bioanbau (Produzentenpreis Biofarm Genossenschaft, Kleindietwil).

Die Varianzanalyse und die Grafiken wurden in R (R Core Team 2016) gemacht. Die Verfahrensmittelwerte sowie die Unterschiede zwischen den Verfahren wurden bei signifikanten Effekten mit dem Tukey-Test (Funktion HSD. test des R-Packets agricolae) bestimmt.

Resultate und Diskussion

In keinem Jahr trat während der Kornfüllungsphase eine längere Trockenperiode auf, womit klimabedingte Ertragsreduktionen unwahrscheinlich sind. Hingegen war am Standort Dietikon (2009) und am Standort Zürich (2012) der Unkrautdruck vergleichsweise hoch, weshalb die Begleitflora zwei- bis dreimal mechanisch reguliert werden musste. N_{min} zum Zeitpunkt der Saat war auf den Versuchspartellen sehr unterschiedlich und schwankte zwischen 15 kg/ha (Zürich) und 110 kg/ha (Urdorf).

Wirtschaftlichkeit der N-Düngung

Die mittleren Ertragsniveaus waren sehr unterschiedlich und variierten von 15,9 dt/ha (Zürich) bis 26,2 dt/ha (Dietikon, 2010), was im Mittel der Versuche dem Referenz-ertrag von Lein in den GRUDAF 2009 entspricht (Flich et al. 2009). Ähnlich wie bei Pageau et al. (2006) wurde

auch in diesen Versuchen je nach Jahr und Ort eher ein linearer, ein quadratischer oder kein Zusammenhang zwischen Samenertrag und der N-Düngung beobachtet, wobei an keinem Standort eine signifikante Wechselwirkung zwischen Sorte und Düngung festzustellen war. Entsprechend wurden die Sorten für die weiteren Analysen gemeinsam betrachtet. Obwohl aufgrund der beobachteten Interaktionseffekte zwischen Düngungsstufe und Umwelt die über die Versuche gemittelten Resultate mit Vorsicht zu interpretieren sind, konnte in der Gesamtanalyse mit der quadratischen Funktion die beste Annäherung erreicht werden. Dabei resultierte mit einer N-Düngung von 103 kg/ha das Ertragsmaximum von 21 dt/ha (Abb. 1). Das ökonomische Düngungsoptimum liegt mit einem günstigen Dünger (Fr. 2.–/kg N) und einem Produzentenpreis von Fr. 120.–/dt bei 63 kg N/ha und mit Preisen wie im Bioanbau bei 36 kg N/ha (Biorga-Düngerpreis: Fr. 8.–/kg N, Bio-Produzentenpreis Biofarm Genossenschaft: Fr. 290.–/dt).

Nährstoffgehalte in den Samen und im Stroh

Die Nährstoffgehalte im Samen liegen bei rund 32 g/kg Trockensubstanz (TS) für N und bei rund 6 g für P, bei 7 g für K bzw. 3 g Mg (Tab. 2). Im Stroh sind die Gehalte für N, P und Mg rund dreimal tiefer als im Samen, während mit rund 8 g/kg TS für K ein leicht höherer Wert im Stroh als im Samen gemessen wurde. Der N-Gehalt von Samen

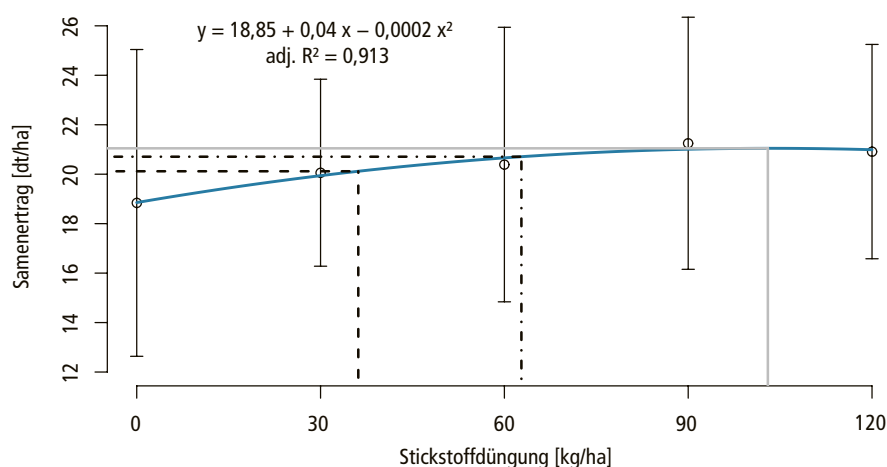


Abb. 1 | Samenertrag von Öllein als Funktion der N-Düngung. Graue Linie: Ertragsmaximum, strichgepunktete Linie: ökonomisch optimale N-Düngung mit tiefen Preisen (synthetischer N-Dünger: Fr. 2.–/kg N, Produzentenpreis: Fr. 120.–/dt), gestrichelte Linie: ökonomisch optimale N-Düngung mit hohen Preisen (Biorga-Dünger: Fr. 8.–/kg N, Bio-Produzentenpreis: Fr. 290.–/dt). Fehlerbalken entsprechen den Standardfehlern (n = 60).

und Stroh liegt somit bei Lein in einem ähnlichen Bereich wie bei Sonnenblumen, während er bei P, K und Mg ähnlich ist wie bei Sommerraps. Die in diesen Versuchen in den Samen gemessenen N- und die im Stroh gemessenen K-Gehalte sind tiefer als in den GRUDAF 2009 für Lein aufgeführt (Flisch *et al.* 2009). Im Gegensatz dazu wurden in diesen Versuchen höhere Mg-Gehalte in den Samen gemessen. Die in diesen Versuchen gemessenen Gehalte sind ähnlich wie in anderen Versuchen (Racz *et al.* 1965; Hocking und Pinkerton 1993).

Einfluss von Sorte und Standort

Von den drei untersuchten Sommerölleinsorten zeichnete sich Princess durch einen etwas früheren Blühbeginn als die anderen beiden Sorten aus (–1,5 Tage, Tab. 3). Mit 67 cm war Princess rund 10 cm kürzer als die anderen beiden Sorten, wobei Récial noch minim länger war als

Baladin. An den Standorten mit einem höheren Ertragsniveau zeigte sich deutlich, dass mit zunehmendem N-Düngungsniveau die Lagerneigung zunahm – insbesondere bei der Sorte Récial und in einem etwas weniger ausgeprägten Umfang auch bei Princess. Gemittelt über alle Versuche resultierte ein signifikanter negativer linearer Zusammenhang zwischen der Standfestigkeit zum Zeitpunkt der Ernte und dem steigenden Düngungsniveau ($r = -0,2$, $p < 0,001$). Der Harvest Index (HI) variierte nur minim über die N-Stufen, aber zwischen den Sorten konnten Unterschiede festgestellt werden: Princess wies mit einem HI von 0,38 einen deutlich höheren Samenanteil an der oberirdischen Biomasse auf als die anderen beiden Sorten (je 0,31).

Der nach der Ernte im Boden verbleibende Stickstoff war bei höherer N-Düngung nicht systematisch höher als bei tieferen N-Gaben; viel grösser waren die Standortunter-

Tab. 2 | Gehalte (g/kg Frischsubstanz) von Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) im Samen und Stroh von Sonnenblumen und Sommerraps (Flisch *et al.*, 2009) im Vergleich zu Sommeröllein. Mittelwerte (Minimum und Maximum).

Kultur	Produkt	TS (%)	N (Min.; Max.)	P (Min.; Max.)	K (Min.; Max.)	Mg (Min.; Max.)
Sommeröllein neu ¹	Samen	90	31,6 (26,6; 38,4)	6,1 (5,0; 6,7)	7,2 (5,4; 8,7)	3,0 (2,3; 3,6)
	Stroh	85	9,0 (5,3; 17,4)	1,9 (1,1; 3,4)	8,5 (1,9; 15,9)	1,1 (0,6; 1,9)
Sommeröllein alt	Samen	90	54,5 (45,0; 64,0)	5,2 (3,9; 6,5)	7,9 (5,8; 10,0)	0,5 (0,3; 0,7)
	Stroh	85	6,0 (4,0; 8,0)	2,2 (1,7; 2,6)	14,9 (10,8; 19,1)	0,9 (0,5; 1,2)
Sonnenblumen	Samen	85	31,5 (28,0; 35,0)	4,8 (3,9; 5,7)	7,0 (5,8; 8,3)	3,0 (2,3; 3,7)
	Stroh	60	9,0 (8,0; 10,0)	1,2 (0,9; 1,3)	51,0 (45,7; 56,4)	7,5 (6,5; 8,5)
Sommerraps	Samen	90	26,1 (26,0; 34,0)	6,4 (5,7; 8,3)	7,1 (6,6; 9,1)	2,6 (2,0; 3,2)
	Stroh	85	7,0 (5,0; 10,0)	0,9 (0,9; 1,7)	10,3 (10,0; 14,9)	1,5 (1,0; 2,0)

¹ neu = Werte aus den aktuellen Untersuchungen, alt = Werte aus Grudaf 2009 (Flisch *et al.*, 2009).

Tab. 3 | Blühbeginn (Tage nach der Saat), Pflanzenlänge (cm), Standfestigkeit (Note), Wassergehalt zum Zeitpunkt der Ernte (%), Samenertrag (dt/ha mit 10% H₂O), Strohertrag (dt/ha), Harvestindex und Tausendkorngewicht (TKG, g) der drei Ölleinsorten Baladin, Princess und Réctal bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung (0, 30, 60, 90, 120 kg/ha) an den Standorten Urdorf (2009), Dietikon (2010) und Zürich (2012). Ebenso dargestellt sind N_{min} nach der Ernte (0–90 cm Bodentiefe) sowie der N-Saldo zum Zeitpunkt der Ernte (kg/ha).

Jahr	Ort	Sorte	N-Stufe	Blühbeginn	Pflanzenlänge	Standfestigkeit Ernte ¹	Wassergehalt im Samen zum Erntezeitpunkt	Samenertrag	Strohertrag	Harvestindex	TKG	N _{min} nach der Ernte	N-Saldo ²
				[Tage nach der Saat]	[cm]	[Note]	[%]	[dt/ha mit 10% H ₂ O]	[dt/ha]	[g]	[kg/ha]	[kg/ha]	
2009	Urdorf	Baladin	0	54,3	71,5	1,5	11,5	23,4	65,0	0,27	8,9	50,10	-82,96
			30	54,8	73,8	1,5	12,0	23,6	72,5	0,25	8,9	40,30	-55,53
			60	54,3	69,8	1,0	14,0	26,5	62,0	0,30	9,0	30,90	-3,24
			90	54,5	71,5	2,5	13,8	24,4	68,5	0,27	9,0	44,90	3,33
			120	54,5	73,8	3,0	13,0	24,1	73,0	0,25	9,1	53,00	12,17
		Princess	0	52,0	59,8	1,0	13,2	22,4	46,5	0,33	7,7	61,00	-65,44
			30	52,0	59,3	2,0	14,5	23,7	52,0	0,31	7,7	53,50	-43,39
			60	52,0	58,0	2,5	11,5	24,4	52,5	0,32	7,5	43,20	-1,68
			90	52,3	58,8	2,0	13,8	24,1	61,5	0,28	7,6	58,00	-8,79
			120	52,5	60,8	3,5	12,9	23,1	52,5	0,31	7,7	39,30	49,65
		Réctal	0	53,3	73,3	2,5	11,2	23,7	63,0	0,28	7,7	61,00	-65,44
			30	53,8	72,8	3,0	12,1	25,1	80,0	0,24	7,8	53,50	-43,39
	60		53,8	73,0	5,0	13,8	22,6	67,0	0,25	7,9	43,20	-1,68	
	90		53,8	74,8	4,5	12,6	25,8	68,5	0,29	7,9	58,00	-8,79	
			120	54,0	77,8	6,0	16,8	23,6	64,0	0,27	7,7	39,30	49,65
		V.K. (%) ³		1,2	4,9	53,2	19,1	11,2	19,2	14,8			
	kgD 5%		0,9	4,8	2,1	3,6	3,8	17,3	0,06				
2010	Dietikon	Baladin	0	64,0	64,0	1,0	11,6	10,9	24,5	0,31	8,6	24,40	-23,20
			30	63,0	72,3	1,0	11,9	14,0	26,5	0,35	8,6	36,80	-14,41
			60	63,3	72,0	1,0	10,9	16,1	30,4	0,35	8,5	27,70	18,47
			90	62,8	75,8	1,0	11,6	17,6	35,8	0,33	8,6	39,30	26,17
			120	62,5	73,5	1,5	12,7	19,5	36,9	0,35	8,5	39,10	47,69
		Princess	0	62,5	55,8	1,0	11,0	12,5	17,0	0,42	7,8	27,70	-21,91
			30	62,3	61,8	1,0	10,9	14,1	21,8	0,39	7,7	22,10	6,02
			60	62,0	62,3	1,0	12,1	16,1	20,1	0,44	7,7	33,00	21,09
			90	62,0	65,0	1,0	11,4	19,2	22,7	0,46	7,6	33,00	38,46
			120	61,0	65,3	2,0	13,0	20,2	28,8	0,42	7,2	47,80	48,88
		Réctal	0	63,3	50,8	1,0	12,5	13,0	24,7	0,35	7,5	34,30	-33,06
			30	62,5	68,3	1,0	11,5	14,9	25,0	0,37	7,4	26,50	-0,90
	60		62,5	70,0	1,0	13,2	17,6	29,3	0,39	7,5	30,70	17,20	
	90		62,0	74,8	1,5	12,3	20,6	33,6	0,39	7,4	31,90	30,88	
		120	62,5	75,0	1,0	12,3	20,3	29,6	0,41	7,4	32,70	68,40	
		V.K. (%) ³		1,4	13,8	56,0	9,6	10,7	17,7	10,0			
	kgD 5%		1,3	13,5	0,9	1,6	2,5	6,8	0,05				
2012	Zürich	Baladin	0	70,5	82,7	1,0	14,1	11,9	23,8	0,34	8,6	22,90	-83,59
			30	70,5	89,0	1,0	13,4	14,5	24,6	0,37	8,4	45,50	-88,17
			60	70,3	89,3	1,0	13,1	14,9	31,3	0,32	8,5	26,40	-46,23
			90	70,0	89,7	1,3	11,8	15,5	29,0	0,35	8,3	39,50	-31,13
			120	69,5	87,7	1,7	12,1	15,7	32,6	0,33	8,2	35,60	-5,61
		Princess	0	68,5	76,0	1,3	13,7	15,7	25,1	0,39	7,6	43,00	-113,61
			30	68,5	79,3	1,0	10,3	19,9	28,0	0,42	7,6	29,10	-91,95
			60	68,0	80,0	1,3	11,5	20,0	26,2	0,43	7,4	24,60	-56,42
			90	68,0	80,0	2,0	9,9	18,4	28,5	0,39	7,5	37,70	-38,76
			120	68,3	81,0	3,0	11,1	19,6	28,7	0,41	7,5	35,10	-9,13
		Réctal	0	70,5	87,0	1,3	12,6	13,4	32,6	0,29	7,1	37,60	-108,76
			30	71,0	89,0	1,0	15,2	14,0	34,4	0,29	7,4	23,60	-74,07
	60		70,8	91,7	1,0	13,0	15,2	37,8	0,29	7,3	39,80	-65,09	
	90		70,3	93,3	2,7	12,9	15,7	35,2	0,31	7,1	38,40	-34,38	
		120	71,0	91,0	3,0	12,2	14,5	34,0	0,30	7,0	42,90	-6,84	
		V.K. (%) ³		1,6	2,7	55,4	20,5	8,6	14,6	10,7			
	kgD 5%		1,9	3,9	1,5	4,3	2,3	7,4	0,06				

¹ Note 1 = kein Lager; Note 9 = 100% Lager.

² Differenz zwischen Summe (N_{min} (Saatzeitpunkt), Düngung) und Summe (N im Lein, N_{min} Ernte).

³ V. K. (%) = Variationskoeffizient; kgD 5% = kleinste gesicherte Differenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%.

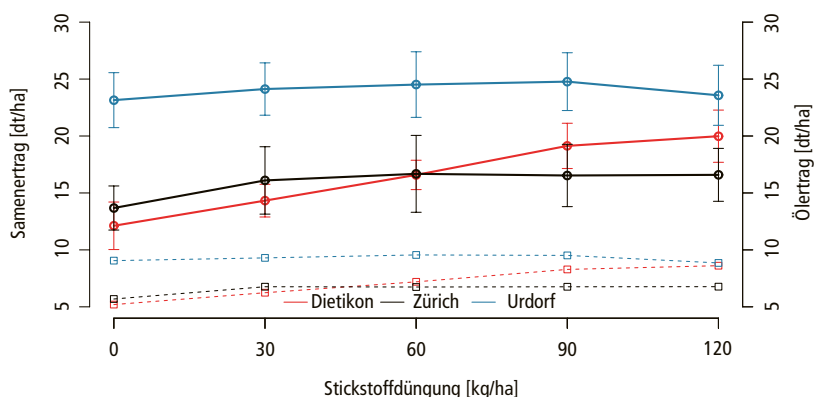


Abb. 2 | Mittlerer Samenertrag (dt/ha mit 10% H₂O, durchgezogene Linien) und Ölertrag (dt/ha, gestrichelte Linien) der Ölleinsorten Baladin, Princess und Réctal bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung (0, 30, 60, 90, 120 kg N/ha) an den Standorten Dietikon (2010, rot), Urdorf (2009, blau) und Zürich (2012, schwarz). Balken entsprechen den Standardabweichungen (n = 12).

schiede (25 beziehungsweise 30 kg N/ha in Dietikon 2009 und 2010, 30 kg N/ha in Zürich, 45 kg N/ha in Urdorf und 55 kg N/ha in Suhr). Obwohl ein gewisser Zusammenhang zwischen dem im Boden zu Beginn der Vegetation vorhandenen N mit dem Ertragsniveau besteht, konnte kein eindeutiger Zusammenhang mit diesem und der Wirkung der N-Düngung auf den Samenertrag festgestellt werden. Andere Faktoren, wie z. B. der Unkrautdruck (Standort Zürich) oder der durch die mechanische Unkrautregulierung zusätzlich mobilisierte N haben wahrscheinlich die Düngerwirkung überlagert (Abb. 2). Wird jedoch der zu Vegetationsbeginn im Boden verfügbare N und der ausgebrachte Dünger ins Verhältnis zu dem nach der Ernte im Boden erfassten und den in der oberirdischen Biomasse fixierten N gesetzt, so wird deutlich, dass meistens erst ab N-Düngungsmengen von 90 kg/ha Verluste aufgetreten sind (Tab. 3).

Das Tausendkorngewicht wurde vor allem durch die Sorte beeinflusst (z. B. Baladin bildete die grössten Samen aus), wobei in zwei Versuchen (Zürich, Dietikon 2010) eine Abnahme des Samengewichtes mit zunehmender Düngungsintensität festgestellt wurde, wie es auch Pageau *et al.* (2006) beobachtet haben.

N-Düngung und agronomische Eigenschaften

In Übereinstimmung mit den Resultaten von Dordas (2010) verringerte eine höhere N-Düngung tendenziell die Anzahl Tage von der Saat bis zur Blüte, wobei Réctal eine Ausnahme bildete. Wie bei Pageau *et al.* (2006) wurde beobachtet, dass mit zunehmender Düngung die Standfestigkeit schlechter wurde, wobei auch der Standort und die Sorte wichtige Faktoren waren (Tab. 3). Der basierend auf der geschnittenen Halmprobe ermittel-

te Strohertrag wurde nicht nur vom Standort, sondern auch von der Sorte beeinflusst und variierte zwischen 25 und 80 dt/ha (Tab. 3). Während am Standort Dietikon (2010) der Strohertrag mit zunehmender Düngung anstieg, wurde an den Standorten Urdorf und Zürich keine Wirkung der Düngung auf den Strohertrag festgestellt.

Einfluss auf Ölertrag und Fettsäuremuster

Der Ölgehalt wurde durch die Düngungsintensität nicht beeinflusst (Abb. 2); er variierte aber zwischen 40 und 48% je nach Standort und Jahr und war somit vergleichbar mit den Gehalten der Winterölleinsorten (Luginbühl *et al.* 2015). Auch in anderen Versuchen hatte eine zunehmende N-Düngung keinen Effekt auf den Ölgehalt (Diebenbrock und Pörksen 1992; Pageau *et al.* 2006; Dordas 2010). Berti *et al.* (2009) beobachteten hingegen eine signifikante, lineare Abnahme des Ölgehaltes mit zunehmender N-Düngung bis zu 300 kg N/ha. Übereinstimmend mit anderen Ergebnissen konnten Ölerträge zwischen 5 und 9 dt/ha erzielt werden, wobei eine Zunahme mit zunehmender N-Düngung beobachtet wurde. Dies ist in Übereinstimmung mit Diepenbrock und Pörksen (1992) und Berti *et al.* (2009).

Im Unterschied zum nicht entdeckten Effekt auf den Ölgehalt wurde ein Einfluss der N-Düngung auf die Ölqualität beobachtet. Mit zunehmender Düngung wurde der Anteil der Ölsäure auf Kosten der Linol- und der α -Linolensäure vergrössert (Abb. 3). Unabhängig davon, konnte ein Sorteneinfluss auf die Fettsäuremuster beobachtet werden: Die Sorte Réctal hat im Mittel (\pm Standardfehler; n = 3) einen etwas höheren Gehalt an Palmitinsäure (5,6 \pm 0,26%) als die Sorten Baladin (5,4 \pm 0,26%) und Princess (5,5 \pm 0,29%). Der Gehalt

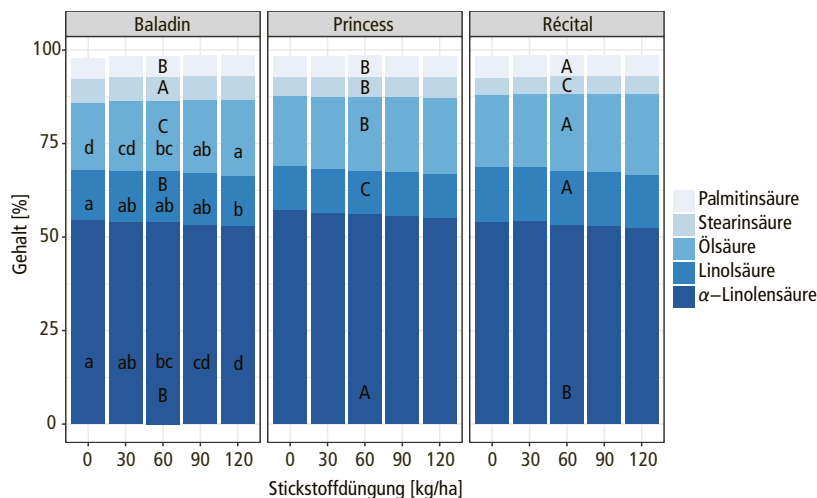


Abb. 3 | Mittlerer Gehalt an Palmitinsäure (C16:0), Stearinsäure (C18:0), Ölsäure (C18:1), Linolsäure (C18:2) und α -Linolensäure (C18:3) im Öl der drei Ölleinsorten Baladin, Princess und Réctal bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung (0, 30, 60, 90, 120 kg N/ha) an den Standorten Dietikon (2010), Urdorf (2009) und Zürich (2012). Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Düngungsniveaus (Kleinbuchstaben) beziehungsweise zwischen den Sorten (Grossbuchstaben, $P < 0,05$, Tukey HSD) für jeweils entsprechend über Sorten bzw. über Düngungsniveaus gemittelte Werte.

an Stearinsäure ist am höchsten bei der Sorte Baladin (6,5 \pm 0,74%), gefolgt von Princess (5,4 \pm 0,57%) und Réctal (4,6 \pm 0,60%). Leichte Sortenunterschiede ergeben sich auch für den Ölsäuregehalt: Am höchsten ist dieser bei der Sorte Réctal (20,5 \pm 1,51%), gefolgt von Princess (19,6 \pm 1,43%) und Baladin (19,0 \pm 1,31%). Ebenso wurden auch Sortenunterschiede für den Linolsäuregehalt festgestellt: Réctal wies den höchsten (14,4 \pm 0,47%) und Princess den tiefsten Gehalt auf (11,8 \pm 0,57%). Im Gegensatz dazu wurde bei den Samen der Sorte Princess von den drei Sorten der höchste Gehalt an α -Linolensäure (56,1 \pm 2,24%) festgestellt, gefolgt von Baladin (53,8 \pm 2,61%) und Réctal (53,5 \pm 2,00%). Im Vergleich zu den Gehalten der Winterölleinsorten erzielte somit nur Princess ähnliche Werte (Luginbühl *et al.* 2015). Solche Veränderungen des Fettsäuremusters konnten in anderen Studien nicht festgestellt werden – vermutlich auch weil ein anderes Sortenspektrum verwendet wurde, und die Unterschiede im Fettsäuremuster je nach Jahr, Wachstumsbedingungen und gewählter Düngungsstufen nicht erfasst werden konnten (Berti *et al.* 2009; Wondolowska-Grabowska 2014).

Schlussfolgerungen

Die N-Düngung ist im Leinanbau ein zentrales Element. Obwohl hinsichtlich N als wenig anspruchsvolle Kultur

bekannt, kann Lein unter bestimmten Umständen (Vorfrucht, Bodeneigenschaften, tiefer N_{\min} -Gehalt zu Vegetationsbeginn) ohne Nachteile mit 120 kg N/ha gedüngt werden. Im Mittel der Versuche wurde bei N-Gaben > 90 kg/ha aber ein Verlustrisiko eruiert. Obwohl das aus der Optimumsfunktion abgeleitete Ertragsmaximum bei einer Düngungsmenge von 103 kg N/ha liegt, kann mit den aktuellen Produzentenpreisen für Öllein beziehungsweise dem Düngerpreis ein ökonomisches N-Optimum (N_{opt}) bei 36 kg N/ha (Bio) beziehungsweise bei tieferen Preisen bei 63 kg N/ha abgeleitet werden. Aufgrund des negativen Zusammenhangs der N-Düngungsintensität mit dem α -Linolensäuregehalt bietet sich zudem eine moderate Düngung im Sinne der Qualitätsstrategie bei N_{opt} an. Für die Herstellung eines qualitativ wertvollen Öls ist die Sortenwahl ein ebenso wichtiges Element wie die N-Düngung. Da der Ölgehalt nicht durch die N-Düngung beeinflusst wird, ist der Landwirt zur Erreichung eines guten Ölertrages gefordert, für die Leinpflanzen insgesamt günstige Wachstumsbedingungen für einen möglichst hohen Samenertrag zu schaffen. ■

Dank

Wir danken der Stiftung Hauser (Weggis) und BioSuisse für die finanzielle Unterstützung sowie den Landwirten der Versuchsstandorte (Familien Götsch, Weidmann, Baumann und Spahn) für die gute Zusammenarbeit. Das Saatgut wurde freundlicherweise von den Züchtern zur Verfügung gestellt. Die Bestimmung der Ölgehalte und der Fettsäuremuster durch die Firmen Laboulet semences und Oleificio Sabo sowie die Bestimmung der Gehalte im Stroh und in den Samen sowie des N in den Bodenproben im Labor von Agroscope am Standort Reckenholz werden an dieser Stelle ebenfalls herzlich verdankt.

Riassunto**La concimazione azotata del lino da olio ne influenza la resa in semi e la qualità dell'olio**

Nonostante i contributi per la produzione di oleaginosi, il lino riveste poca importanza in Svizzera. La concimazione con azoto (N) è un elemento centrale nella coltivazione del lino essendo questa pianta poco esigente ma nel contempo sensibile all'allettamento in caso di concimazione azotata eccessiva. Allo scopo di analizzare la reazione delle nuove varietà a diversi livelli di azoto, sono state eseguite prove su piccoli appezzamenti con le tre varietà di lino da olio primaverile Baladin, Princess e Récital. I risultati illustrano soprattutto l'importanza dei fattori locali sulla variabilità della resa in semi. Considerando gli attuali prezzi dei concimi Biorga ed il prezzo del lino bio pagato ai produttori, è possibile dedurre che, dal punto di vista economico, la concimazione ottimale è di 36 kg N/ha. Siccome inoltre è stata osservata una relazione inversa tra l'intensità di concimazione azotata e il tenore di acido α -linolenico, per la produzione di olio di lino di qualità elevata si raccomanda una concimazione azotata moderata. Le differenze importanti nei profili degli acidi grassi tra le tre varietà di lino da olio primaverile studiate mostrano però che per la produzione di un olio di elevata qualità è importante anche la scelta della varietà.

Summary**Nitrogen fertilisation of linseed influences seed yield and oil quality**

Despite the oilseed production payment, linseed has remained a relatively unimportant oil plant in Switzerland. Nitrogen (N) fertilisation is a core component of linseed cultivation, since linseed is considered to be a fairly undemanding crop, yet one that is susceptible to lodging when over-fertilised with N. With the aim of studying the reaction of recently released varieties to different nitrogen levels, small-plot trials were conducted with the three summer linseed varieties Baladin, Princess and Récital. Above all, the results illustrate the importance of site factors for the variability of seed yield. Despite this, and based on the current organic-producer price as well as the Biorga fertiliser price, an economically efficient fertilisation optimum of 36 kg N/ha can be deduced. Since a negative correlation was also observed between N-fertilisation intensity and α -linolenic acid content, moderate N-fertilisation is likewise recommended for the production of high-quality linseed oil. However, significant differences between the fatty-acid profiles of the three linseed varieties studied show that the choice of variety is also an important element in the production of a high-quality oil.

Key words: linseed, *Linum usitatissimum* L., organic farming, nitrogen level, fatty acid.

Literatur

- Bélanger G., Walsh J.R., Richards J.E., Milburn P.H. & Ziadi N., 2000. Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* **92** (5), 902–908.
- Bramm A. & Dambroth M., 1992. Influence of genotype, crop density and nitrogen fertilization on the yield capacity of linseed. *Landbauforschung-Völkenrode* **42**, 193–198.
- Diepenbrock W. & Pörksen N., 1992. Effect of stand establishment and nitrogen fertilization on yield and yield physiology of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Industrial Crops and Products* **1** (2–4), 165–173.
- Dordas C., 2010. Variation of physiological determinants of yield in linseed in response to nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products* **31**, 455–465.
- EZV, 2017. Schweizerische Aussenhandelsstatistik. Eidgenössische Zollverwaltung, Bern. Zugang: <https://www.swiss-impex.admin.ch/> [26.1.2017].
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. GRUDAF 2009 – Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung Schweiz* **16** (2), 1–97.
- FAO, 2017. FAOSTAT database collections. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom. Zugang: <http://faostat.fao.org> [3.2.2017].
- Hocking P.J. & Pinkerton A., 1993. Phosphorous-nutrition of linseed (*Linum usitatissimum* L.) as affected by nitrogen supply – effects on vegetative development and yield components. *Field Crops Research* **32** (1–2), 101–114.
- Luginbühl C., Herzog C., Stettler P. & Hiltbrunner J., 2015. Ansätze zur Optimierung des Ölleinbaus in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz* **6** (7–8), 304–311.
- Pageau D., Lajeunesse J. & Lafond J., 2006. Effet du taux de semis et de la fertilisation azotée sur la productivité du lin oléagineux. *Canadian Journal of Plant Science* **86** (2), 363–370.
- Pellet D. & Vullioud P., 2004. Winter- und Sommerlein: eine bemerkenswerte Kultur. *Agrarforschung Schweiz* **11** (8), 1–8.
- Racz G.J., Webber M.D., Soper R.J. & Hedlin R.A., 1965. Phosphorous and nitrogen utilization by rape, flax, and wheat. *Agronomy Journal* **57** (4), 335–337.
- R Core Team, 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien.
- Wondolowska-Grabowska A., 2014. Effect of diversified fertilization with nitrogen, sulphur and boron on fatty acids profile in oil flax seeds. *Journal of Elementology* **19** (4), 1131–1142.