

Bodenfruchtbarkeit und Produktivität der Kulturen: Auswirkungen von organischen Einträgen und Pflug

Alexandra Maltas, Raphaël Charles und Sokrat Sinaj,
Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon

Auskünfte: Alexandra Maltas, E-Mail : alexandra.maltas@acw.admin.ch, Tel. + 41 22 363 47 43



Oberflächliche Bodenbearbeitung mit dem Schälgrubber.
(Foto: P. Vullioud)

Einleitung

Die intensive Bodenbewirtschaftung bei Betrieben ohne Viehhaltung führt zu einem Rückgang des organischen Materials in den Böden, sofern keine Vorkehrungen getroffen werden. Bei viehhaltenden Betrieben stellt sich jedoch vermehrt die Frage, wie die grosse Menge an anfallendem Hofdünger bestmöglich verwertet werden kann. In der Schweiz liegen diese beiden Betriebstypen im Allgemeinen in unterschiedlichen, weit voneinander entfernten Regionen. Die Überführung von überschüssigem Hofdünger an Betriebe ohne Viehhaltung ist demzufolge schwierig, auch wenn die vom BLW entwickelte Web-Applikation HODUFLU die Hofdüngerflüsse vereinfacht und harmonisiert (BLW 2010).

Die reduzierte Bodenbearbeitung und die Gabe von Hofdünger sind Techniken, die für ihre positive Wirkung auf die Speicherung von organischem Material in den landwirtschaftlichen Böden (Lal 2009) bekannt sind. Nicht geklärt ist jedoch die Frage nach ihrer Fähigkeit, die Bodenfruchtbarkeit aufrechtzuerhalten und die Kul-

turen unter Schweizer Bedingungen versorgen zu können. In einem Langzeitversuch haben Vullioud *et al.* (2006) die Wirkung verschiedener organischer Stickstoff- und Mineralgaben auf die Bodenfruchtbarkeit, die Erträge der Kulturen und die Nährstoffbilanz untersucht. Die Auswirkung der Bodenbearbeitung sowie der Düngereffekt von organischen Düngern je nach Düngungsverfahren bleiben jedoch offene Fragen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Auswirkung der Bedingungen der Bodenbearbeitung und der Hofdüngergaben auf die Bodenfruchtbarkeit (i), die Produktion von Trockenmasse der Kulturen (ii) und das Ansprechen der Kulturen auf die Stickstoffdüngung (iii) über die zwölf Jahre zu quantifizieren.

Material und Methoden

Versuchsbeschreibung

Mit dem Versuch wurde im Jahre 1997 in Changins (VD, 430 m) begonnen. Die wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften des Bodens sind in Tabelle 1 beschrieben.

Tab. 1 | Wichtigste physikalisch-chemische Eigenschaften des Bodens im Jahre 1992 und der Hofdünger (gesamte, durchschnittliche Konzentrationen in den Jahren 1997 bis 2008). Die Werte in Klammern entsprechen den Standardabweichungen.

	Boden		Mist (kg t ⁻¹ Frisch- material)	Gülle verdünnt (kg m ⁻³ Frisch- material)
Bodentyp	Parabraunerde	N	4,59 (3,74)	1,43 (0,74)
Ton (%)	23	N-NH₄	0,25 (0,22)	0,83 (0,34)
Sand (%)	36	P	1,33 (1,38)	0,23 (0,16)
pH-H₂O	7,9	K	5,83 (5,75)	1,70 (0,61)
OM (%)	2,05	Ca	4,56 (7,38)	0,63 (0,50)
P-AAE (mg kg⁻¹)	132	Mg	0,89 (0,81)	0,22 (0,16)
K-AAE (mg kg⁻¹)	198			
Nutzbare Tiefe (cm)	70–100			

Die Untersuchungen wurden gemäss Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope durchgeführt (FAL *et al.* 2004)

Bei der Fruchtfolge wechseln sich Sommer- und Winterkulturen ab. Während fünf bis sechs Jahren setzen sie sich zu 60 bis 70 % aus Getreide zusammen. Raps steht am Anfang der Fruchtfolge. Das Getreidestroh wird systematisch geerntet, während das Maisstroh (im Jahre 2000 und 2005) und Rapsstroh (in den Jahren 1997, 2003 und 2008) dem Boden zurückgeführt werden. Nach der Ernte der vorangehenden Kultur findet mit dem Schälgrubber eine flache Stoppelbearbeitung (10 bis 15 cm) des Bodens statt. Vor der Aussaat wird der Boden je nach Verfahren (Tab. 2) ein zweites Mal mit dem Schälgrubber oder dem Pflug bearbeitet. Schliesslich wird der Boden für die Aussaat mit der Kreiselegge bearbeitet.

Die Versuchsanordnung besteht aus einer Split-Plot-Anlage mit fünf Verfahren und zwei Unterverfahren, die vier Mal wiederholt werden (Tab. 2). Die 40 einheitlichen Parzellen sind je 63 m² gross. Die direkte Wirkung der Hofdünger (Ryser *et al.* 1987) wird abgezogen, um die mineralische Stickstoffmenge (N) zu bestimmen, die es je nach der Art der Behandlung (Tab. 3) zuzuführen gilt. Die gesamten (mineralischen und organischen) Phosphor-Kalium-Gaben sind nicht begrenzend. Die mineralische Düngung richtet sich nach den geltenden Normen und berücksichtigt den Düngewert durch Rückführung der Ernterückstände, des Mists und der Gülle (Ryser *et al.* 1987). Die mittleren N-, P- und K-Gaben der verschiedenen Behandlungen sind in Tab. 3 ersichtlich.

Messungen und statistische Auswertung

Der gesamte N-, P-, K-, Ca- und Mg-Gehalt von Mist und Gülle wird jährlich vor seinem Ausbringen bestimmt (Tab. 1). Im Jahre 2009 wird eine Bodentiefe von 20 Zentimetern untersucht (Tab. 4). Die Gesamtmenge der

Zusammenfassung

Ein in Changins zwischen 1997 und 2009 durchgeführter Versuch befasste sich mit den kombinierten Auswirkungen der Dünger (NPK, Mist + NPK und Gülle + NPK), der Aufteilung der Mistgaben (jährlich oder dreijährlich) und der Bodenbearbeitung (Pflügen oder pflugloser Anbau) verbunden mit zwei Stickstoffdosen (100 oder 60 % der optimalen Dosis) auf die Bodenfruchtbarkeit und die Produktion von Trockensubstanz der Kulturen. Die nach zwölf Versuchsjahren untersuchten Bodenfruchtbarkeitskomponenten weichen zwischen den Unterverfahren der Stickstoffdüngung nicht voneinander ab, und einzig der Gehalt an organischem Material und an Gesamtstickstoff im Boden weicht zwischen den Verfahren signifikant ab. Unter nicht begrenzenden Stickstoffdüngungsbedingungen produzieren die Kulturen der Verfahren mit Hofdünger signifikant mehr Trockenmasse als die Kulturen der Verfahren mit ausschliesslicher Mineraldüngung. Eine Unterversorgung mit Stickstoffdünger, die 60 % des Bedarfs abdeckt, führt je nach Verfahren zu einer Produktionsenkung um 7 bis 13 %. Bei fehlenden Hofdüngergaben kann eine reduzierte Bodenbearbeitung den Vorrat an organischem Material im Boden aufrechterhalten. Jedoch sollte gleichzeitig die Stickstoffdüngung intensiviert werden. Die Aufteilung des Mists in geringe, jährliche Dosen verbessert die Wirksamkeit des Mists nicht.

Tab. 2 | Beschreibung der Verfahren und Unterverfahren

Verfahren				Unterverfahren	
Abkürzung	Bodenbearbeitung	Art der ausgebrachten Düngemittel	Dosis und Fraktionierung der Hofdünger	Abkürzung	Stickstoffdüngung
EminPL	Pflugloser Anbau: Schälgrubber in 10–15 cm Tiefe	Mineraldünger NPK	Keine Beigabe	N100	Stickstoffbedarf [†] , vollständig gedeckt durch organische und/oder mineralische Düngung
Fu3PL	Pflugloser Anbau: Schälgrubber in 10–15 cm Tiefe	Mist [‡] von Rindern im Freilaufstall und Mineraldünger NPK	36 t ha ⁻¹ alle 3 Jahre (1997, 2000, 2003 und 2006)		
Fu1PL	Pflugloser Anbau: Schälgrubber in 10–15 cm Tiefe	Mist [‡] von Rindern im Freilaufstall und Mineraldünger NPK	12 t ha ⁻¹ alle Jahre		
Fu1La	Klassisches Pflügen: in 20–25 cm Tiefe	Mist [‡] von Rindern im Freilaufstall und Mineraldünger NPK	12 t ha ⁻¹ alle Jahre		
Li1PL	Pflugloser Anbau: Schälgrubber in 10–15 cm Tiefe	Gülle [§] von Rindern, verdünnt und Mineraldünger NPK	22 m ³ ha ⁻¹ alle Jahre	N60	Stickstoffbedarf [†] , zu 60 % gedeckt durch organische und/oder mineralische Düngung

[†] Vor der Bestellung der Kultur auf nacktem Boden ausgebracht

[‡] Auf dem durch die Kultur bedeckten Boden ausgebracht. Die Gülle wurde mit Waschwasser verdünnt (Verdünnung 1:1).

[§] Gemäss Methode der korrigierten Normen festgelegt (Ryser *et al.* 1987)

Tab. 3 | Durchschnittsmengen (kg ha⁻¹ Jahr⁻¹) an Nährstoffen, die durch die chemischen und/oder organischen Dünger in den Verfahren und Unterverfahren in den Jahren 1997 bis 2008 zugeführt wurden

Verfahren	Unterverfahren	N		P		K	
		Chemisch [†]	Organisch	Chemisch	Organisch	Chemisch	Organisch
EminPL	N100	132	0	26	0	70	0
	N60	78	0	26	0	70	0
Fu3PLN	N100	108	51	14	13	27	67
	N60	63	51	14	13	27	67
Fu1PLN	N100	103	59	10	17	22	70
	N60	62	59	10	17	22	70
Fu1LaN	N100	103	56	9	18	22	73
	N60	62	56	9	18	22	73
Li1PLN	N100	112	31	26	5	58	37
	N60	70	31	26	5	58	37

[†] Ammoniakalpeter, in zwei oder drei Gaben auf der Kultur ausgebracht

[‡] Superphosphat und Kalirohsalz, in einer Gabe vor der Aussaat der Sommerkultur und bei den anderen Kulturen unmittelbar vor der ersten Stickstoffgabe ausgebracht

Tab. 4 | Durchschnittsmengen (kg ha⁻¹ Jahr⁻¹) an Nährstoffen, die durch die chemischen und/oder organischen Dünger in den Verfahren und Unterverfahren in den Jahren 1997 bis 2008 zugeführt wurden

Untersuchungen [†]	Unterverfahren N60	Unterverfahren N100					
		Mittel	EminPL	Fu3PL	Fu1PL	Fu1La	Li1PL
Organische Eigenschaften							
OM (%)	2,11 A	2,11 A	2,03 ab	2,28 a	2,13 ab	1,98 b	2,15 ab
N total (%)	0,158 A	0,160 A	0,158 ab	0,170 a	0,160 ab	0,148 b	0,163 ab
Verhältnis C/N	7,7 A	7,7 A	7,5 a	7,8 a	7,7 a	7,8 a	7,7a
Chemische Eigenschaften							
pH-H ₂ O	7,9 A	7,9 A	8,0 a	8,0 a	7,8 a	7,9 a	7,9 a
CaCO ₃ total1 (%)	4,7 A	4,7 A	6,0 a	3,5 a	4,3 a	6,3 a	3,5 a
CEC (cmol+ kg ⁻¹)	11,2 A	11,3 A	11,1 a	11,4 a	11,3 a	11,0 a	11,7 a
Sättigungsgrad (%)	94,0 A	94,5 A	96,0 a	94,3 a	91,7 a	95,7 a	94,8 a
Bodenphosphor (mg kg⁻¹)							
P total [‡]	955 A	943 A	957 a	979 a	911 a	909 a	960 a
P organisch [‡]	286 A	287 A	264 a	285 a	321 a	269 a	299 a
P-AAE	126 A	123 A	120 a	140 a	119 a	105 a	132 a
P-H ₂ O	3,0 A	2,8 A	2,9 a	3,2 a	3,1a	2,1 a	2,7 a
Bodenkationen (mg kg⁻¹)							
K-AAE	168 A	168 A	160 a	177 a	174 a	155 a	173 a
K-H ₂ O	30 A	29 A	28 a	29 a	31 a	26 a	29 a
Mg-AAE	192 A	196 A	213 a	176 a	185 a	224 a	179 a
Mg-CaCl ₂	59 A	58 A	64 a	55 a	66 a	51 a	55 a
Ca-AAE	19493 A	19723 A	24659 a	16864 a	15707 a	23986 a	17398 a
Spurenmetalle (mg kg⁻¹)							
Cu+Fe+Mn+Zn-AAE [‡]	754 A	763 A	773 a	763 a	785 a	779 a	713 a

[†] Die Bestimmung des gesamten und organischen P wird nach der Methode von Saunders und Williams (1955) durchgeführt; alle anderen Bestimmungen erfolgen nach den Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope (FAL *et al.* 2004)

Die verschiedenen Grossbuchstaben innerhalb einer gleichen Linie zeigen signifikant unterschiedliche Mittel bei einem Schwellenwert von 5 % gemäss Fisher-Test.

Die verschiedenen Kleinbuchstaben innerhalb einer gleichen Linie zeigen signifikant unterschiedliche Mittel bei einem Schwellenwert von 5 % gemäss Fisher-Test.

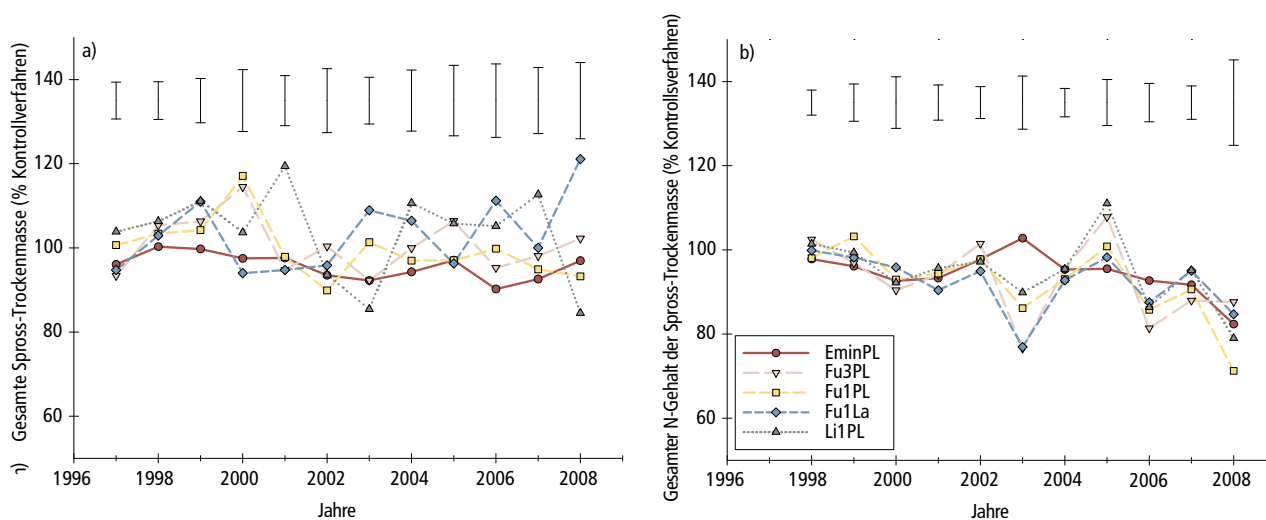


Abb. 1 | Auswirkung der Verfahren auf die Entwicklung a) der gesamten Spross-Trockenmasse und b) den gesamten N-Gehalt der Pflanzen. Die Ergebnisse sind in Prozent der Kontrollsorte EminPL N100 ausgedrückt. Die vertikalen Balken stellen die geringeren signifikanten Abweichungen bei einem Schwellenwert von 5% dar (PPDS).

Spross-Trockenmasse (STM) der Kulturen (Korn und Stroh) wird jedes Jahr bei der Ernte gemessen. Der N-Gehalt der STM wird in den Jahren 1998 bis 2008 jährlich ausgewertet.

Die statistischen Auswertungen erfolgen mit der Software XLSTAT 2010, Copyright Addinsoft 1995–2009. Aufgrund der Versuchsanordnung und der möglichen Zeitverschiebung der Wirkung der organischen Gaben werden die Daten gesamthaft über alle Kulturen in Prozent der Kontrollsorte ausgewertet (EminPL N100).

Resultate

Bodenfruchtbarkeit

Der gesamte OM- und N-Gehalt in den Verfahren Fu1La und EminPL ist tiefer als bei den anderen Verfahren (Tab. 4). Die anderen Bodenfruchtbarkeitskomponenten sind durch die Verfahren nicht signifikant betroffen (Tab. 4). Die N-Düngung verändert die chemischen und organischen Bodeneigenschaften unseres Versuchs nicht signifikant ($P > 0,05$) (Tab. 4).

Gesamtmenge an Spross-Trockenmasse

Die Verfahren und Unterverfahren haben eine signifikante Auswirkung ($P < 0,001$) auf die Produktion von STM, es besteht jedoch eine signifikante Interaktion zwischen Jahr und Verfahren (Tab. 5, Abb. 1a). Bei nicht begrenzenden N-Bedingungen (Unterverfahren N100) produzieren die Kulturen bei EminPL signifikant weniger STM als in den anderen Verfahren (Tab. 5). Die Reduktion der N-Düngung (Unterschied zwischen N100 und N60) führt zu einer Abnahme der STM-Produktion um jeweils 7, 9, 11, 12 und 13 % bei Fu1La, EminPL, Fu3PL,

Li1PL und Fu1PL (Tab. 5). Die Varianzanalyse weist keine signifikante Interaktion zwischen Verfahren und Unterverfahren nach (Tab. 5). Das Ansprechen auf die N-Düngung ist jedoch gemäss Fisher-Test zwischen Fu1La und Fu1PL signifikant verschieden.

Stickstoffgehalt der Kulturen

Wie bei der STM ist die Interaktion zwischen Verfahren und Jahren beim N-Gehalt der Kulturen signifikant (Tab. 5). Bei nicht begrenzenden N-Bedingungen ist der N-Gehalt bei Li1PL signifikant höher als bei jenen von Fu1La und Fu3PL ($P < 0,05$; Tab. 5).

Die Reduktion der N-Düngung (Unterschied zwischen N100 und N60) senkt den N-Gehalt der Kulturen in den fünf Verfahren signifikant (Tab. 5).

Diskussion

Auswirkungen der Hofdünger auf die Bodenfruchtbarkeit und die Produktion der Kulturen

Während unserer Versuchsdauer beeinflusst die Ausbringung von Hofdünger die Bodenfruchtbarkeit nur wenig. Nur der OM- und gesamte N-Gehalt schwanken je nach ausgebrachter Düngerart. Wir konnten keine Wirkung der Düngerart auf den pH-Gehalt im Boden feststellen. Die durch Beigabe von Hofdünger zugeführten, nicht vernachlässigbaren Mengen an austauschbaren Basen vermögen die durch die Nitrifikation des N in diesen Düngern verursachte Säure zu neutralisieren und können somit dazu beitragen, den pH-Gehalt im Boden aufrechtzuerhalten (Trans *et al.* 1996). Der Gehalt an gespeichertem und an löslichem P und K wird durch die Art der

Tab. 5 | Auswirkung der Verfahren und Unterverfahren auf die gesamte Spross-Trockenmasse und den N-, P-, K-, Mg- und Ca-Gehalt der Pflanzen. Die Werte entsprechen den Mittelwerten über die angegebene Periode und sind in Prozent der Kontrollsorte EminPL N100 ausgedrückt

Unterverfahren	Verfahren	Gesamte Spross-Trockenmasse	Gesamter N-Gehalt der Spross-Trockenmasse
N100	EminPL	100 b	100 ab
	Fu3PL	107 a	97 b
	Fu1PL	107 a	99 ab
	Fu1La	107 a	98 b
	Li1PL	110 a	102 a
N60	EminPL	91 e	89 c
	Fu3PL	95 cde	89 c
	Fu1PL	93 de	85 d
	Fu1La	99 bc	87 cd
	Li1PL	97 bcd	88 cd
Ergebnisse der Varianzanalyse gemäss			
Verfahren		***	ns
Verfahren* Unterverfahren		ns	*
Verfahren* Jahre		***	***
Verfahren* Unterverfahren			
procédés*années		ns	ns
Unterverfahren		***	***
Jahre		***	***
Unterverfahren* Jahre		***	***

* Signifikante Auswirkung bei einem Schwellenwert von 5 %;

** Signifikante Auswirkung bei einem Schwellenwert von 1 % ;

*** Signifikante Auswirkung bei einem Schwellenwert von 0,1 % ;

ns: nicht signifikant.

Unterschiedliche Kleinbuchstaben innerhalb der gleichen Spalte weisen auf signifikant unterschiedliche Mittelwerte bei einem Schwellenwert von 5 % gemäss Fisher-Test hin.

Dünger auch nicht beeinträchtigt. Der Düngewert an P und K von Mist und Gülle scheint also in den «Grundlagen für die Düngung» (Sinaj *et al.* 2009) korrekt berücksichtigt zu sein.

Hofdünger führen auch nicht vernachlässigbare Mengen Ca und Mg (17–85 kg Ca ha⁻¹ Jahr⁻¹ und 5–12 kg Mg ha⁻¹ Jahr⁻¹, Tab. 2) zu. Diese wiederholten Gaben wirken sich jedoch im Jahre 2009 weder auf die Ca- und Mg-Reserven des Bodens, noch auf die Spurenelemente (Cu, Fe, Mn und Zn) aus. Die durch Hofdünger zugeführten Mengen an Ca, Mg und Spurenelementen werden vermutlich in Parzellen, denen Mist oder Gülle zugeführt wird, durch höhere Ausfuhren mit den Ernteprodukten kompensiert (Tab. 5).

Die Beigabe von frischem OM in den Verfahren mit Hofdünger hingegen führt zu höheren Gesamtmengen an N und OM im Boden als im EminPL-Verfahren. Es muss jedoch festgestellt werden, dass bei fehlendem Einsatz von Hofdünger der pfluglose Anbau (EminPL) erlaubt, den ursprünglichen Gehalt an OM im Boden aufrechtzuerhalten (2,03 % im Jahre 2009 gegenüber 2,05 % im Jahre 1997).

Der schwankende Gehalt an OM im Boden je nach angewandtem Düngertyp scheint sich positiv auf das Produktionspotenzial von Spross-Trockenmasse auszuwirken. Ladha *et al.* (2003) haben ausserdem festgestellt, dass der ausschliessliche, kontinuierliche Einsatz von Mineraldünger zu einem Rückgang der Erträge führt, während eine kombinierte Düngung von Hofdünger und angemessenem NPK-Mineraldünger aufgrund der verbesserten Speicherung von organischem C und der physikalischen Bodeneigenschaften die Erträge aufrechterhält. Die vielseitigeren Mineralbeigaben von Hofdünger (N, P, K, Ca, Mg, Spurenelemente) konnten das Produktionspotenzial ebenfalls positiv beeinflussen.

Auswirkungen von Mist und Gülle im Vergleich

Im Gegensatz zu Mist wirkt sich die leicht abbaubare Gülle weniger stark auf die Speicherung von OM im Boden aus (Triberti *et al.* 2008). In unserem Versuch ist der Gehalt an OM und Gesamt-N des Bodens im Li1PL und Fu1PL vergleichbar. Dies ist umso erstaunlicher, als dass die Parzellen mit Gülle weniger organischen N erhielten als jene mit Mist (Tab. 3). Die geringste Humifizierung der Gülle kann durch (i) erhöhte Rückfuhr durch Kulturrückstände im Li1PL, aufgrund einer erhöhten Produktion von STM und/oder (ii) eine langsamere Mineralisierung der OM im Boden kompensiert werden. Im Endeffekt hat die Beigabe von 12 t ha⁻¹ Jahr⁻¹ Mist oder 22 m³ ha⁻¹ Jahr⁻¹ Gülle die gleiche Auswirkung auf die Speicherung von OM im Boden.

Vorteil des jährlich ausgebrachten Düngers in reduzierten Dosen

Die reduzierten, aber in kurzen Intervallen ausgebrachten Dünger erhöhen die mit dem Ausbringen (Zeit und Treibstoff) verbundenen Kosten, könnten sich jedoch durch eine bessere Nutzung durch die Pflanzen (Sinaj *et al.* 2009) rechtfertigen. Unsere Ergebnisse weisen keine positive Wirkung der reduzierten Dosen auf die Produktion von STM nach. Somit beeinflusst die dreijährliche Ausbringung von 36 t ha⁻¹ Jahr⁻¹ Mist die Düngereffizienz nicht und ist also rentabler als die Aufteilung der gleichen Dosis in jährlichen Gaben. Die reduzierten, jährlich ausgebrachten Gaben haben auch keine Auswirkung auf die Bodeneigenschaften.

Tab. 6 | Auswirkung der Fraktionierung des Mists auf die gesamte Spross-Trockenmasse und den N-Gehalt nach Anzahl der verflossenen Jahre seit der letzten Gabe bei Fu3PL. Die Ergebnisse sind in Prozent der Kontrollsorte EminPL N100 ausgedrückt

Unterverfahren	Anzahl Jahre seit der letzten Gabe bei Fu3PL	Verfahren	Gesamte Spross-Trockenmasse	Gesamter N-Gehalt der Spross-Trockenmasse
N100	0	Fu3PL	106 ab	86 de
		Fu1PL	112 a	95 abc
	1	Fu3PL	107 ab	99 ab
		Fu1PL	106 ab	100 ab
	2	Fu3PL	107 ab	103 a
		Fu1PL	101 b	101 ab
N60	0	Fu3PL	92 cd	80 e
		Fu1PL	98 bcd	82 e
	1	Fu3PL	92 cd	91 cd
		Fu1PL	90 d	88 cd
	2	Fu3PL	101 bcd	94 bc
		Fu1PL	91 d	85 de

Unterschiedliche Kleinbuchstaben innerhalb der gleichen Spalte weisen auf signifikant unterschiedliche Mittel bei einem Schwellenwert von 5 % gemäss Fisher-Test hin.

Vorteil des pfluglosen Anbaus

Der pfluglose Anbau senkt den Verlust an OM durch Mineralisierung und Erosion (Lal 2009). Zwölf Versuchsjahre haben erlaubt, die positive Wirkung des pfluglosen Anbaus (Vergleich der Verfahren Fu1La und Fu1PL) auf die Speicherung des OM und des Gesamt-N im Boden zu bestätigen. Parallel dazu beobachten wir, dass die Kulturen in den gepflügten Parzellen signifikant schwächer auf die N-Düngung ansprechen. Dieses Ergebnis weist beim Pflug-Verfahren vermutlich auf ein höheres N-Angebot im Boden hin. In der Tat ist das OM beim pfluglosen Anbau in den Bodenaggregaten besser geschützt, was zu einer Senkung des Prozentsatzes des mineralisierten Gesamtstickstoffes führt (Balesdent *et al.* 2000). Wird der Boden nicht mehr gepflügt, wird somit häufig geraten, die Stickstoffdüngung in den ersten Übergangsjahren zu verstärken (Thomas 2007). Im Versuch von Oberacker (BE) in der Schweiz raten Chervet *et al.* (2007), die Stickstoffdüngung bei der Direktsaat in den ersten fünf bis sieben Übergangsjahren zu verstärken. Unsere Ergebnisse scheinen zu zeigen, dass die Stickstoffdüngung mindestens in den ersten zwölf Übergangsjahren intensiviert werden muss, wenn der Schälgrubber den Pflug ersetzt.

Wirkung der N-Düngung auf den Gehalt an OM im Boden

Vullioud *et al.* (2006) haben in einer Studie auf einer Nachbarparzelle dieses Versuchs die positive Wirkung der Stickstoffdüngung auf den Gehalt an OM des Bodens

nachgewiesen. Es wird allgemein eingeräumt, dass die Stickstoffdüngung dazu beiträgt, C im Boden zu binden, indem die Biomasse der Kulturrückstände erhöht wird (Khan *et al.* 2007 ; Vullioud *et al.* 2006). In diesem Versuch haben wir keine signifikante Wirkung der Stickstoffdüngung auf den Gehalt an OM festgestellt. Die Unterverfahren der Stickstoffdüngung waren jedoch in unserem Versuch weniger kontrastiert als in jenem von Vullioud *et al.* (2006). Zahlreiche in den USA durchgeführte und von Khan *et al.* aufgeführte Studien weisen ebenfalls eine schwache Wirkung der Stickstoffdüngung auf die Lagerung von C im Boden nach. Dieses Ergebnis kann mit der erhöhten Aktivität der Mikroorganismen (Khan *et al.* 2007) und/oder einer Häufung von labileren organischen Formen erklärt werden (Stevens *et al.* 2005).

Nicht vernachlässigbare Interaktion zwischen Verfahren und Jahren

Die Auswirkungen des Pflügens auf die Produktion von OM variieren je nach Klima oder Anbauart (Abb. 1a). Im Jahre 2000 wirkte sich das Pflügen negativ auf die STM aus, während in den Jahren 2003 und 2008 das Gegenteil beobachtet wurde. Das Pflügen bei zu feuchten Bedingungen im Jahre 2000 scheint für den signifikanten, im Fu1La-Verfahren (Abb. 1a) festgestellten Produktionsrückgang verantwortlich zu sein. Ein feineres Saatbett nach dem Pflügen könnte hingegen die besseren Ergebnisse dieser Technik beim Raps in den Jahren 2003 und 2008 erklären.

Die Auswirkungen der Fraktionierung des Mists (Fu1PL und Fu3PL) auf das N-Angebot im Boden variieren je nach Anzahl Jahren, die seit der letzten Düngerbeigabe bei Fu2PL (Abb. 1a, b) verstrichen sind. Das Jahr der Beigabe, der N-Gehalt der Pflanzen bei nicht begrenzenden N-Bedingungen (Unterverfahren N100) ist im Fu1PL höher als im Fu3PL (Tab. 6). Dies ist wahrscheinlich auf ein besseres N-Angebot im Boden im Fu1PL zurückzuführen, da die Produktion von STM in beiden Verfahren identisch ist (Tab. 6). Zwei Jahre nach der Beigabe scheint das N-Angebot im Boden hingegen im Fu3PL höher zu sein. In der Tat spricht die STM weniger auf die N-Düngung an (+ 6 % gegenüber + 10 % im Fu1PL, Tab. 6) während die Produktion von STM bei nicht begrenzenden Bedingungen nicht betroffen ist. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die direkten Auswirkungen des Mists überbewertet und die Nachwirkungen unterbewertet werden. Obwohl die Nachlieferungen zwei Jahre nach der Hofdüngung bekannt sind (Vullioud *et al.* 2006), werden sie aus Gründen der Vereinfachung in den N-Düngungsempfehlungen nicht mit berücksichtigt (Ryser *et al.* 1987). Unsere Ergebnisse scheinen zu zeigen, dass sie in die Berechnungen des N-Düngebedarfs mit einfließen sollten.

Literatur

- Balesdent J., Chenu C. & Balabane M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53, 215–230.
- Chervet A., Gubler L., Hofer P., Maurer-Troxler C., Müller M., Ramseier L., Streit B., Sturny W.G., Weisskopf P. & Zihlmann U., 2007. Semis direct: de l'essai à la pratique. Expériences acquises dans un système de semis direct en continu. *Revue suisse d'agriculture* 39 (5), 1–6.
- FAL, RAC et FAW, eds., 2004. Méthodes de référence des stations fédérales de recherches agronomiques. Herausgegeben von Agroscope ed. Auflage Band 2 FAL, Zurich-Reckenholz.
- Khan S. A., Mulvaney R. L., Ellsworth T. R. & Boast C. W., 2007. The myth of nitrogen fertillization for soil carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* 36, 1821–1832.
- Ladha J. K., Dawe D., Pathak H., Padre A.T., Yadav R.L., Bijay-SinghYadvinder-SinghSingh Y., Singh P., Kundu A. L., Sakal R., Ram N., Regmi A. P., Gami S. K., Bhandari A. L., Amin R., Yadav C. R., Bhattarai E. M., Das S., Aggarwal H. P., Gupta R. K. & Hobbs P. R., 2003. How extensive are yield declines in long-term rice wheat experiments in Asia? *Field Crops Res.* 81, 159–180.
- Lal R., 2009. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Sciences* 60, 158–169.
- BLW, 2010. HODUFLU. <http://www.blw.admin.ch/themen/00006/index.html>

Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Versuchsergebnisse führt zu folgenden Schlussfolgerungen:

- In einem gepflügten Boden reicht die Beigabe von 12 t ha⁻¹ Jahr⁻¹ Mist nicht dazu aus, den Gehalt an OM im Boden aufrechtzuerhalten, wenn das Getreidestroh entzogen wird.
- Durch die Reduktion der Bodenbearbeitung (der Pflug wird durch einen Schälgrubber ersetzt) kann in Systemen ohne Hofdünger der Gehalt an OM im Boden aufrechterhalten werden.
- Beim pfluglosen Anbau sollte die Düngung gegenüber dem Anbau mit Pflug sowohl kurz- wie mittelfristig (12 Jahre) verstärkt werden.
- Düngergaben in kleinen jährlichen Gaben wirken sich im Vergleich zu einer entsprechenden, dreijährlich ausgebrachten Dosis kaum auf die Bodenfruchtbarkeit und die Produktion von STM der Kulturen aus, und scheinen also nicht rentabel zu sein.
- Eine 40 %-ige Reduktion der N-Düngung hat keine Auswirkung auf die Bodenfruchtbarkeit.
- Die Nachwirkungen der Hofdünger zwei Jahre nach Beigabe sollten in die Berechnung des N-Düngebedarfs mit einbezogen werden. ■

- Ryser J. P., Charles J. P., Chauvin B., Degaillet J., Dougoud P., Felber R., Maillard A.N., Rossier D., Thöni E. & Vullioud P., 1987. Directives de fumure pour les grandes cultures et les herbages en Suisse romande. Edition 1987. *Revue suisse d'agriculture* 19 (6), 297–314.
- Saunders W. M. H. & Williams E. G., 1955. Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.* 6, 254–267.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH). *Revue suisse d'agriculture* 41 (1), 1–98.
- Stevens W. B., Hoefl R. G. & Mulvaney R. L., 2005. Fate of Nitrogen-15 in a long-term nitro-gen rate study: I. Interactions with soil nitrogen. *Agronomy Journal* 97, 1037–1045.
- Thomas F., 2007. L'azote en TCS et SD. Beaucoup de bénéfices mais une gestion à adapter. *Techniques culturales simplifiées* 44,12–23.
- Trans T. S., Côté D. & N'Dayegamiye A., 1996. Effets des apports prolongés de fumier et de lisier sur l'évolution des teneurs du sol en éléments nutritifs majeurs et mineurs. *Agrosol IX* (1), 21–30.
- Triberti L., Nastri A., Giordani G., Comellini F., Baldoni G. & Toderi G., 2008. Can mineral and organic fertilization help sequester carbon dioxide in cropland? *Europ. J. Agronomy* 29, 13–20.
- Vullioud P., Neyroud J. A. & Mercier E., 2006. Efficacité de différents apports organiques et d'un engrais minéral azoté à Changins (1976–2004). *Revue suisse d'agriculture* 38 (4), 173–183.

Riassunto**Fertilità del suolo e produttività delle colture: effetti a medio termine degli apporti organici e delle tecniche colturali semplificate**

Gli effetti combinati dei vari tipi di fertilizzanti (NPK, letame più NPK e liquame più NPK), del frazionamento dell'apporto di letame (annuale o ogni terzo anno) e la lavorazione del terreno (aratura o pseudo-aratura), associate a due differenti dosaggi di azoto (100 % oppure 60 % della dose ottimale) sulla fertilità del suolo e la produzione di sostanza secca delle colture, sono stati messi a confronto in una prova a Changins dal 1997 al 2009. Dopo 12 anni di prove, le analisi del suolo hanno evidenziato che la concimazione azotata non ha avuto effetti sulla fertilità del suolo, per contro i contenuti di materia organica e l'azoto totale nel suolo hanno riscontrato differenze significative tra i procedimenti. Nella variante di apporto azotato non limitante, le colture hanno prodotto un maggiore quantitativo significativo di sostanza secca, se accompagnate da fertilizzanti aziendali rispetto alle varianti con soli fertilizzanti minerali. Una concimazione di azoto limitata al 60 % dei bisogni ha provocato una minore produzione dal 7 al 13 % a dipendenza della procedura applicata. In assenza di apporti di fertilizzanti aziendali, la riduzione della lavorazione del suolo ha permesso di mantenere il livello di materia organica del suolo inalterata, però dovrebbe essere accompagnata da un incremento della concimazione azotata. Dividere letame in basse dosi annuali non ha migliorato l'efficienza del letame.

Summary**Soil fertility and crop productivity: medium-term effect of organic inputs and simplified cultivation techniques**

The combined effects of the nature of fertilizers (NPK, manure + NPK and liquid manure + NPK), fractionation of the manure inputs (every year or every three years) and tillage (plowing and reduced-tillage) associated with two nitrogen rates (100 or 60 % of the optimal dose) on soil fertility and dry matter production of different crops have been studied from 1997 to 2009 in Changins. After twelve years of trial, different soil analyses show that nitrogen fertilization had no effect on soil fertility, only the soil organic matter and total nitrogen contents differed significantly between treatments. In terms of non-limiting nitrogen fertilization, crops treated with manure produced significantly more dry matter than those treated with only inorganic fertilizer. A sub-fertilization with only 60 % of the nitrogen fertilizer needs causes a decrease in production of 7–13 % according to the treatments. In the absence of the manure input, reducing tillage keeps the stock of soil organic matter, but should be accompanied by a strengthening of nitrogen fertilization. Split manure in annually low inputs doesn't increase the manure efficiency.

Key words: manure, liquid manure, nitrogen fertilization, tillage, soil organic matter, dry matter production.