

Ertrag und Stickstoffdüngung im Pflanzenbau: Langfristige Wirkung organischer Dünger

Alexandra Maltas, Raphaël Charles, Vincent Bovet und Sokrat Sinaj
Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon
Auskünfte: Sokrat Sinaj, E-Mail: sokrat.sinaj@acw.admin.ch, Tel. + 41 22 363 46 58



Auswirkung der Stickstoffdüngung auf das Wachstum beim Mais (A-Unterverfahren: keine N-Düngung; B-Unterverfahren: N-Unterdüngung; C-Unterverfahren: N-Norm und D-Unterverfahren: N-Überdüngung). Im Jahr 2011 wirkt sich bei Mais die fehlende Stickstoffdüngung (A-Unterverfahren) stärker im GD-Verfahren (Bild links) als im Gülle-Verfahren (Bild rechts) aus, was auf einen stärkeren N-Mangel im Verfahren mit Gründünger hinweisen dürfte.

Einleitung

Seit 1976 werden in Changins vier Techniken zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit getestet: systematische Rückführung des Getreidestrohs, Einsatz von Gründüngern während der Zwischenfrucht, regelmässige Beigabe von Hofdünger und Ausbringen von Mist oder Gülle. Diese vier Techniken basieren auf der regelmässigen Einfuhr von «organischen Düngern». Getreidestroh, Gründünger und Hofdünger führen nämlich Nährstoffe in organischer Form zu, die nach der Mineralisierung verwertet werden können, aber auch solche in mineralischer Form, die durch die Kulturen direkt verwertet werden können. In diesem Sinne kommt ihnen eine verbessernde und düngende Rolle zu. Maltas *et al.* (2011a) haben die Wirkung dieser Dünger auf die organischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften untersucht. Die vorliegende Studie ergänzt diese Arbeit, indem deren Wirkung auf den Ertrag der Kulturen und den mineralischen Stickstoffgehalt (N) des Bodens gemessen und dabei der N-Düngewert dieser Dünger quantifiziert werden.

Material und Methoden

Versuchsbeschreibung

Der in Maltas *et al.* (2012) eingehend beschriebene Versuch nahm seinen Anfang im Jahr 1976 in Changins (VD, 430 m. ü. M.). Die Versuchsanordnung besteht aus einer Split-Plot Anlage mit vier Wiederholungen. Sechs Verfahren ermöglichen es, Art und Dosis der organischen Dünger zu testen: minD (Kontrolle, wo nur mineralische Dünger zugeführt wurden), GD (zweijährlicher Einschub von Senf-Gründüngung), Stroh (Rückführung von Getreidestroh), Mi35 (35 t ha⁻¹ Rindermist dreijährlich), Mi70 (70 t ha⁻¹ Rindermist dreijährlich) und Gü60 (von 1975 – 1993 alljährlich 60 m³ ha⁻¹ und nach 1993 alle drei Jahre verdünnte Rindergülle). Die Unterverfahren A, B, C und D beinhalten steigende mineralische Stickstoffgaben (Maltas *et al.* 2012). Das Unterverfahren A erhält keinen mineralischen Stickstoff, während das Unterverfahren D stickstoffüberdüngt wird (je nach Kultur 105–200 kg N ha⁻¹).

In den Jahren 2003 und 2004 wurden die Modalitäten des minD-Verfahrens (keinerlei organische Düngerzugabe) zur Untersuchung der Effekte der Verfahren und

Unterverfahren bei allen sechs Varianten umgesetzt. Das Unterverfahren A erhält durchgehend keinen Stickstoff und die Unterverfahren B, C und D erhalten allesamt die gleich hohe Stickstoffdosis (30 kg N ha⁻¹ im Jahr 2003 und 40 kg N ha⁻¹ im Jahr 2004). Im Jahr 2003 wird eine Rapskultur, im Jahr 2004 eine Winterweizenkultur gewählt.

Bei der Fruchtfolge wechseln sich Sommer- und Winterkulturen ab und erlauben so die zweijährige Einfuhr von Gründüngung. Bei den fünf bis sechs Jahre dauernden Rotationen werden 60 bis 70 % Getreide sowie Raps und Mais eingesetzt. Mais- und Rapsstroh werden zermahlt und danach in den Boden eingearbeitet. Mit Ausnahme des Verfahrens «Stroh», wo dieses dem Boden zurückgeführt wird, wird das Getreidestroh nach der Ernte abgeführt. Die Phosphor-Kalium-Düngung (als Superphosphat und Kaliumsalz) ist gemäss Grundlagen für die Düngung im Ackerbau bei allen Verfahren optimal (Ryser *et al.* 1987). Sie berücksichtigt den Düngewert der zurückgeführten Ernterückstände und die Nachwirkungen von Mist und Gülle (Ryser *et al.* 1987).

Messungen und statistische Auswertung

Die Körnerausbeute wurde jedes Jahr zum Erntezeitpunkt bei allen Verfahren gemessen. Die ohne N-Begrenzung erhaltenen Erträge wurden als potenzielle Erträge bezeichnet. Bezogen auf das gleiche Jahr und das identische Verfahren, entsprechen diese Erträge dem Ertragsdurchschnitt der Unterverfahren, die keinen signifikanten Unterschied zum Verfahren mit dem maximalen Ertrag aufweisen (in der Regel das D-Unterverfahren).

Der Düngewert der organischen Dünger wurde jedes Jahr folgendermassen berechnet: durch Vergleich der Ertragszunahme, die durch die organischen Dünger bewirkt wurde, mit der Ertragszunahme, die durch die Stickstoffdüngung erreicht wurde. Dabei hat man folgende Gleichung angewendet:

$$\text{Düngewert} = (\text{Ertr}_{iA} - \text{Ertr}_{\text{minDA}}) \cdot \text{Dosis}_{\text{minDB}} / (\text{Ertr}_{\text{minDB}} - \text{Ertr}_{\text{minDA}})$$

 Ertr_{iA} , $\text{Ertr}_{\text{minDA}}$ und $\text{Ertr}_{\text{minDB}}$: Körnerausbeute des i-Verfahrens, A-Unterverfahrens, des minD-Verfahrens, A-Unterverfahrens respektive des minD-Verfahrens, B-Unterverfahrens, in dt ha⁻¹ ausgedrückt; Dosis minD B: Stickstoffdüngergabe im minD-Verfahren, B-Unterverfahren, in kg N ha⁻¹ ausgedrückt. Wir setzen somit voraus, dass die Antwort der Pflanzenkulturen auf die N-Gabe linear ist. Der N-Mangel der Kulturen in den A- und B-Unterverfahren dürfte genügen, um diese Hypothese zu berechtigen.

In den Jahren 2003 und 2004 wurde der N-Gehalt der Pflanze (Körner und Stroh) in den A-Unterverfahren gemessen, um den von der Kultur aufgenommene Stickstoff zu bestimmen.

Zusammenfassung

Seit 1976 werden an der Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW in Changins die Auswirkungen des Einsatzes verschiedener organischer Dünger (Senf-Gründüngung, Getreidestroh, 35 und 70 t ha⁻¹ Mist alle drei Jahre und 60 m³ ha⁻¹ Gülle alle drei Jahre) getestet. Diese Studie untersucht deren langfristige Auswirkungen (34 Jahre) auf die Erträge der Kulturen, den Bedarf an Stickstoffdünger und den mineralischen Stickstoffgehalt des Bodens.

Ist der Stickstoff (N) nicht begrenzend, wirken sich die organischen Dünger unterschiedlich auf den Körnerertrag der Kulturen aus. Im Jahr der organischen Einfuhr sowie in den Folgejahren erhöhen der Mist und die Gülle den Ertrag der Kulturen im Vergleich zur Kontrolle ohne organischen Dünger, während ihn die Zufuhr von Gründüngung und die systematische Rückführung des Getreidestrohs verringern. Im Schnitt der 34 Versuchsjahre bleibt diese Wirkung jedoch gering.

Ist dagegen der Stickstoff begrenzend, zeigen sämtliche organischen Dünger einen positiven Effekt auf den Ertrag der Kulturen.

Die direkte Wirkung (Jahr der Einfuhr) der organischen Dünger kann positiv oder negativ ausfallen. Die ungedüngte Gründüngung erhöht den Bedarf an Stickstoffdünger im Jahr, in dem sie verbraucht wird, senkt ihn aber im darauffolgenden Jahr. Wird sie mit 60 kg N ha⁻¹ gedüngt, senkt sie den Bedarf an Stickstoffdünger sowohl im Jahr, in dem die Gründüngung zersetzt wird, als auch im Folgejahr. Der Düngungseffekt von Getreidestroh ist vernachlässigbar. Mist und Gülle senken den Stickstoffdüngerbedarf signifikant während der drei Jahre, nach denen sie ausgebracht worden sind. Wird der Düngungseffekt der Hofdünger nicht mitberücksichtigt, ist der mineralische Stickstoffgehalt bei der Ernte in den Forschungsreihen mit Hofdüngern höher als bei der Kontrolle ohne organischen Dünger.

Tab. 1 | Wirkung der Verfahren auf die potenziellen Körnererträge (ohne Stickstoffbegrenzung). Die Erträge sind in Prozent der Kontrolle minD ausgedrückt (= 100%).

Verfahren	Mais	Weizen nach Mais	Sommergerste	Raps	Sommerhafer	Weizen nach Hafer	Durchschnitt 1976–2010
	(n ¹ =6)	(n ¹ =5)	(n ¹ =5)	(n ¹ =5)	(n ¹ =5)	(n ¹ =5)	
minD	100 (76) ²	100 (48) ²	100 (48) ²	100 (32) ²	100 (48) ²	100 (53) ²	100,0 a
GD	93	98	96	97	100	98	96,4 b
Stroh	90	92	96	96	102	97	95,3 b
Mi35	97	96	100	105	105	102	100,5 a
Mi70	101	100	102	104	106	99	102,2 a
Gü60	98	92	104	104	106	101	100,4 a

¹: Anzahl Jahre.

²: Maximaler, beim minD-Verfahren beobachteter Körner-Trockenertrag (dt ha⁻¹).

Verschiedene Kleinbuchstaben innerhalb einer Kolonne weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der verschiedenen Unterverfahren bei der %-Schwelle gemäss Fisher-Test hin.

Im Jahr 2009 wurden die mineralischen Stickstoffvorräte im C-Unterverfahren kurz vor der Aussaat am 26. März und einen Monat nach der Ernte am 24. August (Forschungsanstalten ART& ACW 2011) gemessen. Die Horizontproben 0–30; 30–60 und 60–90 cm wurden mit Hilfe eines Erdbohrers entnommen. Jede Probe setzte sich aus acht bis zehn Karotten zusammen. Es wurden vier Wiederholungen vorgenommen.

Die Varianzanalysen wurden mithilfe der Software XLSTAT 2010, Copyright Addinsoft 1995–2009, vorgenommen. Für den Vergleich der Mittelwerte der Verfahren und Unterverfahren wurde der Fisher-Test angewendet.

Resultate und Diskussion

Potenzieller Ertrag der Kulturen

Ist der Stickstoff nicht begrenzend, so liegen die beobachteten Erträge bei Mais, Weizen, Gerste, Raps und Hafer (Tab. 1) nahe bei den Düngungsgrundlagen, d. h. bei 81, 51, 47, 33 respektive 47 dt trocken ha⁻¹ (Sinaj *et al.* 2009).

Die Wirkung der Verfahren auf den potenziellen Ertrag bleibt kulturunabhängig konstant, da ja die Wechselwirkung von Verfahren und Kultur nicht signifikant ist ($P > 0,05$). Im Schnitt der 34 Versuchsjahre ist

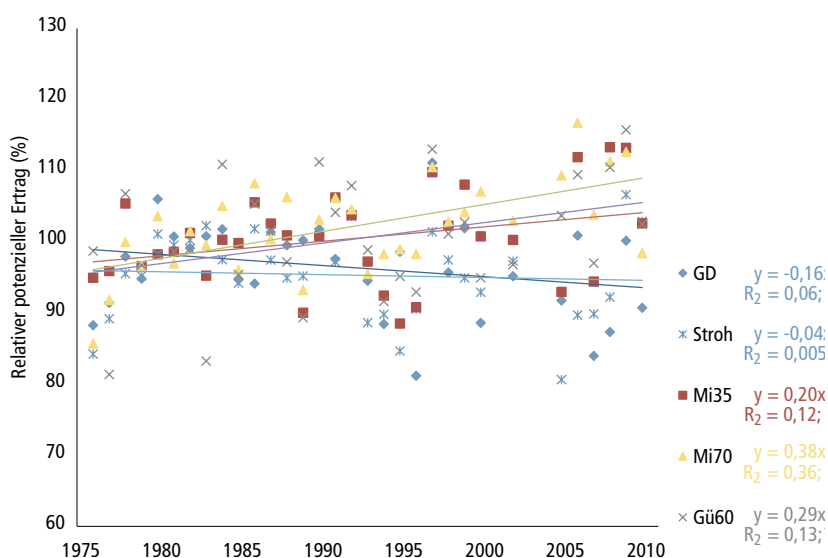


Abb. 1 | Entwicklung der relativen potentiellen Erträge (minD = 100%) in den Verfahren mit organischen Düngern.

ns: nicht signifikante Regression bei der 10 %-Schwelle gemäss Fisher-Test.

*: signifikante Regression bei der 10 %-Schwelle gemäss Fisher-Test.

**: signifikante Regression bei der 5 %-Schwelle gemäss Fisher-Test.

***: signifikante Regression bei der 1 %-Schwelle gemäss Fisher-Test.

die Wirkung der organischen Dünger signifikant, bleibt aber gering (-4,7 bis +2,2% im Vergleich zu minD, Tab. 1).

Das GD-Verfahren weist einen signifikant tieferen potenziellen Ertrag als das Kontrollverfahren minD (-3,6%, Tab. 1) auf. Duval (1996) hat zudem beobachtet, dass insbesondere Gründünger auf Basis von Kreuzblütlern (vor allem Senf) sich wegen des Vorkommens pflanzentoxischer Verbindungen in deren Rückständen negativ auf die Folgefrucht auswirken können. In diesem Versuch wurde die vermutete allelopathische Wirkung des Senfs sowohl an den auf die Gründüngung folgende Kulturen (Mais und Gerste) als auch an den danach folgenden Kulturen (Weizen und Raps, Tab. 1) beobachtet. Hafer scheint als einzige Kultur nicht betroffen zu sein. Der Ertrag beim Stroh-Verfahren ist 4,7% tiefer als derjenige beim Kontrollverfahren minD (Tab. 1). Die Rückführung des Getreidestrohs in einer getreidelastigen Fruchtfolge förderte vermutlich Getreidekrankheiten (Charles *et al.* 2011).

Die durchschnittliche Wirkung der Hofdünger (Mi35, Mi70 und Gü60) über den Zeitraum 1976–2010 ist äusserst gering (+0,4 bis +2,2% verglichen mit minD, Tab. 1) und nicht signifikant. Diese Verfahren bringen es jedoch alle zu höheren potenziellen Erträgen als die Kontrolle minD. Dieses Ergebnis stimmt mit einem anderen in Changins durchgeführten Langzeitversuch überein, der mit Hofdüngern eine durchschnittliche Zunahme der potenziellen Erträge von 2 bis 13 % über zwölf Versuchsjahre zeigte (Maltas *et al.* 2012). Diese Zunahme kann einer Wirkung der organischen Masse, welche die physikalischen, hydrologischen und biologischen Eigenschaften des Bodens verbessert (Lal 2009), und/oder einer Zunahme der Nährstoffverfügbarkeit (Zhang *et al.* 2009) zugeschrieben werden. In den Verfahren mit Hofdünger haben die Böden nämlich höhere Gehalte an organischer Substanz (OS) als in der Kontrolle, aber auch höhere Gehalte an mit Ammonium-Azetat EDTA extrahierbarem Zink und Eisen (Maltas *et al.* 2011a). Die Mikronährstoffe Zink und Eisen fördern in tiefen Konzentrationen das Pflanzenwachstum, können jedoch bei Überschreitung einer gewissen Schwelle toxisch wirken (Marschner 1995).

Wegen der starken zwischenjährlichen Schwankungen des relativen potenziellen Ertrages ist es schwierig, eine signifikante Entwicklung der Verfahrenseffekte (Abb. 1) nachzuweisen. Die Wirkung der GD- und Stroh-Verfahren ändert sich mit der Zeit nicht, hingegen nimmt diejenige der Hofdünger signifikant zu. Diese Wirkungen bleiben aber auch nach 34 Eintragsjahren bescheiden (+4, +9 resp. +6 % bei Mi35, Mi70 resp. Gü60; Abb. 1).

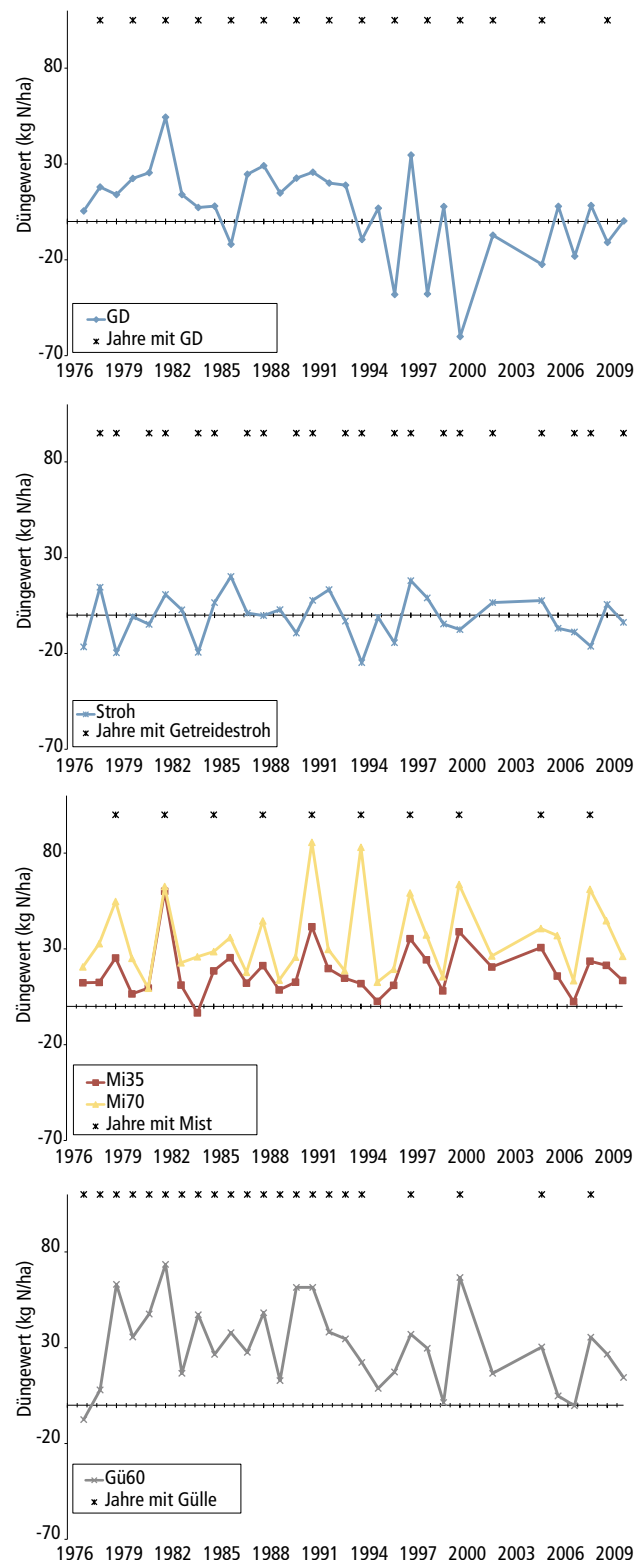


Abb. 2 | Jahresdüngewert der organischen Dünger von 1976 bis 2009.

Tab. 2 | Nachwirkungen der Verfahren auf die relativen Körnererträge (minD = 100 %) nach 27 Versuchsjahren. Beim A-Unterverfahren wurde 2003 und 2004 kein Stickstoff eingetragen, und in den Unterverfahren B, C und D wurden 2003 je 30 kg N ha⁻¹ und 2004 je 40 kg N ha⁻¹ zugeführt.

Verfahren	Mittelwerte 2003–2004 (% minD)	
	A-Unterverfahren	Unterverfahren B, C und D
minD	100 b	100 b
GD	108 ab	100 b
Stroh	102 b	99 b
Mi35	113 ab	105 b
Mi70	128 a	117 a
Gü60	113 ab	108 b

Verschiedene Kleinbuchstaben innerhalb einer Kolonne weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der verschiedenen Unterverfahren bei der 5 %-Schwelle gemäss Fisher-Test hin.

Düngewert der organischen Dünger

Der Düngewert der fünf Arten organischer Dünger (GD, Stroh, Mi35, Mi70 und Gü60), der von 1976 bis 2010 erhoben wurde, zeigt grosse Unterschiede (Abb. 2). Wegen des Berechnungsverfahrens beinhalten die vorgestellten Werte die direkte, durch rasch verfügbaren Stickstoff bedingte Wirkung sowie die indirekte, durch die Mineralisierung der im Boden gespeicherten OS bedingte Wirkung.

Trotz der stets zunehmenden Anreicherung des Bodens an OS in den Verfahren mit organischer Düngung nimmt der Düngewert der organischen Dünger mit der Zeit nicht zu (Abb. 2) (Maltas *et al.* 2011a). Die Düngewerte ändern sich hingegen mit der Anzahl der Jahre, die seit der letzten Zufuhr von organischem Material vergangen sind. Zwischen 1994 und 2010 betrug der

Düngewert des Gründüngers durchschnittlich - 27 kg N ha⁻¹ im Jahr seiner Vernichtung und +7 kg N ha⁻¹ im folgenden Jahr (Abb. 2). Der Gründünger nimmt den Stickstoff auf und vermindert dadurch das N-Angebot für die nächste Kultur im Vergleich zur Kontrolle minD. Ein Teil dieses Stickstoffs wird im nächsten Jahr bei der Mineralisierung der Gründüngerrückstände wieder zur Verfügung gestellt. Vor 1993 wurde diese negative Wirkung der Gründüngung auf das N-Angebot im Jahr, in welchem es zersetzt wurde, nicht beobachtet (Abb. 2). Deren Düngewert betrug damals +20 kg N ha⁻¹ im Jahr, in welchem es zersetzt wurde, und +17 kg N ha⁻¹ im Folgejahr (Abb. 2a). Offenbar vermochten die vor 1993 auf den Gründünger ausgetragenen 60 kg N ha⁻¹ den von diesem aufgenommenen Stickstoff zu kompensieren und sogar das N-Angebot für die nächsten Kulturen zu erhöhen.

Wird Senf gedüngt, liegt sein Düngewert in den zwei Jahren nach seiner Zersetzung bei 37 kg N ha⁻¹ und ohne Düngung bei -20 kg N ha⁻¹. Der Unterschied von 57 kg N ha⁻¹ entspricht ziemlich genau den 60 kg N ha⁻¹, die über dem Senf ausgetragen wurden, was zeigt, dass dieser Stickstoff in geringem Mass aus dem Boden-Pflanzen-System entwichen ist. Dagegen kann der im Boden verfügbare Stickstoff möglicherweise schlechter aufgenommen werden und eher durch Auswaschung verloren gehen.

Der Düngewert des Getreidestrohs ist sehr gering (Abb. 2b). Er liegt bei durchschnittlich -3 kg N ha⁻¹ im Jahr der Stroh-Einarbeitung und bei +3 kg N ha⁻¹ im folgenden Jahr. Das Getreidestroh weist ein hohes C/N-Verhältnis auf, was im Jahr der Einarbeitung eine Stickstoff-Immobilisation durch die mikrobielle Biomasse bewirkt. Im darauffolgenden Jahr wird dieser Stickstoff durch den Abbau der mikrobiellen Biomasse wieder verfügbar. Sinaj *et al.* (2009) empfehlen deswegen in der Schweiz eine Erhöhung der N-Düngung um 10 kg N ha⁻¹ bei Sommerkulturen, falls Getreidestroh eingearbeitet wird.

Tab. 3 | Nachwirkungen der Unterverfahren B, C und D auf die Körnererträge nach 27 Versuchsjahren. Die Rapskultur erhielt 30 kg N ha⁻¹ im Jahr 2003 und die Weizenkultur 40 kg N ha⁻¹ im Jahr 2004

Jahr/Kultur	Körnererträge (dt ha ⁻¹)		
	B-Unterverfahren	C-Unterverfahren	D-Unterverfahren
2003 ¹ - Raps	19,9 A	20,8 A	21,2 A
2004- Weizen	45,0 A	46,6 A	46,7 A

¹Besonders trockenes Jahr.

Verschiedene Grossbuchstaben innerhalb einer Zeile weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der verschiedenen Unterverfahren bei der 5 %-Schwelle gemäss Fisher-Test hin.

Der Düngewert der Hofdünger ist positiv und nimmt ab mit der Anzahl der Jahre, die seit der letzten organischen Gabe vergangen ist. Im Eintragsjahr, beziehungsweise ein und zwei Jahre nach der Gabe betragen die Düngewerte +31, +15 respektive +10 kg N ha⁻¹ bei Mi35 (Abb. 2c); +58, +28 resp. +21 kg N ha⁻¹ bei Mi70 (Abb. 1c) und +38, +18 respektive +10 kg N ha⁻¹ bei Gü60 (Abb. 2d). Die Düngewerte als Prozentsatz des durch die organische Düngung zugeführten Gesamtstickstoffs geben einen Hinweis auf den Anteil des von den Kulturen verwerteten Gesamtstickstoffs. So beträgt mit Mist (Durchschnitt Mi35 und Mi70) der Anteil des von den Kulturen verwerteten Gesamtstickstoffs im Eintragsjahr 16%, ein Jahr nach dem Eintrag 8% und zwei Jahre nach dem Eintrag 5%. Mit Gülle erreichen diese Werte 37%, 18% respektive 10%. Die in der Gülle vorhandene OS ist allgemein weniger stabil als diejenige des Mists (Lecomte 1980) und wird somit schneller abgebaut (Su et al. 2006), was die höheren Werte bei Gülle erklärt. Die Grundlagen für die Düngung im Ackerbau schlagen Düngewerte von Laufstall-Mist in der gleichen Grössenordnung wie in diesem Versuch vor (20% des Gesamtstickstoffes im Eintragsjahr und 10% im darauffolgenden Jahr, Sinaj et al. 2009). In diesem Versuch wurde die Gülle etwas langsamer abgebaut als in den Grundlagen für die Düngung im Ackerbau vorgeschlagen (45% des Gesamtstickstoffes im Eintragsjahr und 5% im darauffolgenden Jahr, Sinaj et al. 2009). Die Güllen lassen sich in diesem Versuch anscheinend schlechter abbauen. Deswegen bedürfte ihre organische Substanz einer qualitativen Analyse. Heute wird in den Stickstoffdüngungsnormen der Düngewert von Hofdüngern zwei Jahre nach dem Eintrag nicht mehr berücksichtigt (Sinaj et al. 2009). Diese Ergebnisse sowie jene von Maltas et al. (2011b) zeigen, dass der Düngewert des Mists sowie der Gülle zwei Jahre nach dem Eintrag noch hoch ist und einberechnet werden sollte.

Nachwirkung

In den Jahren 2003 und 2004 wurde bei keinem Verfahren organisches Material zugeführt, was eine Schätzung der Verfahrensnachwirkungen ermöglicht. Diese wurden bei vermeintlich mit Stickstoff unterversorgten Kulturen untersucht, nämlich im Unterverfahren A ohne Stickstoff und im Durchschnitt der Unterverfahren B, C und D, wo 2003 je 30 kg N ha⁻¹ und 2004 je 40 kg N ha⁻¹ zugeführt wurden (Tab. 2). Bei Stickstoffmangel weisen alle Verfahren, die regelmässig organische Dünger erhalten, höhere Erträge als die Kontrolle minD auf (Tab. 2). Die Nachwirkung ist im A-Unterverfahren ohne Stickstoff betonter als in den Unterverfahren B, C und D, die 30 bis 40 kg N ha⁻¹ erhielten. Das heisst, dass je grösser

Tab. 4 | Auswirkung der Verfahren auf den mineralischen Stickstoffgehalt (N_{min}) in 0–90 cm Tiefe im C-Unterverfahren im Jahr 2009

Behandlungen	minD vor Aussaat	minD nach Ernte
	kg N ha ⁻¹	
minD	44 c	45 b
GD	28 d	47 b
Stroh	41 c	49 b
Mi35	50 bc	56 b
Mi70	76 a	75 a
Gü60	58 b	61 ab

Verschiedene Kleinbuchstaben innerhalb einer Kolonne weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der verschiedenen Unterverfahren bei der 5%-Schwelle gemäss Fisher-Test hin.

der N-Mangel der Kultur ist, umso stärker ist die Nachwirkung der Verfahren. Diese Nachwirkung ist also offenbar auf ein besseres N-Angebot in den Böden zurückzuführen, die regelmässig organische Dünger erhalten. Das stimmt mit den vorhergehenden Ergebnissen überein, die für alle organischen Dünger positive Düngewerte im Jahr nach dem Eintrag gezeigt haben. Das erhöhte Angebot an N könnte vor allem auf eine stärkere Mineralisierung bei besserer OS-Versorgung dieser Böden beruhen (Maltas et al. 2011).

Die Nachwirkung der Unterverfahren (B, C und D) wurde im Durchschnitt der Verfahren in den Jahren 2003 und 2004 untersucht (Tab. 3). Die Erträge weichen nicht signifikant von den verschiedenen Unterverfahren ab, nehmen aber tendenziell mit der vorhergehenden Stickstoff-Düngung zu (Tab. 3). Das lässt sich offenbar durch die positive Wirkung der Stickstoffdünger-Dosis auf den OS-Gehalt des Bodens erklären (Maltas et al. 2011).

Mineralischer Stickstoffgehalt

Die mineralische Stickstoffgehalt in den ersten 90 Zentimetern Boden (N_{min}) wurde im Jahr 2009, vor der Saat und nach der Sommerhafer-Ernte gemessen (Tab. 4). Das Stroh der vorangehenden Kultur (Raps) wurde in allen Verfahren eingearbeitet; im GD-Verfahren wurde eine Senf-Gründüngung vor der Haferkultur eingeschoben und keine Hofdünger (Mist oder Gülle) ausgetragen. Hofdünger wurden hingegen im Jahr 2008 bei Mi35, Mi70 und Gü60 zugeführt. In allen Verfahren wurden die N_{min} in den C-Unterverfahren, wo überall 90 kg N ha⁻¹ zugeführt wurde, gemessen.

Vor der Saat und nach der Ernte unterscheiden sich die N_{min} des Strohverfahrens wenig von denjenigen beim minD-Verfahren (Tab. 4), was mit dem schwachen Dünge-

wert des Getreidestrohs übereinstimmt, der im Jahr nach dessen Austragung beobachtet wurde (Abb. 2a).

Das GD-Verfahren wirkt sich vor der Saat negativ auf den N_{min} (Tab. 4) aus. Ungedüngter Senf nimmt also tatsächlich Stickstoff auf, der für die Folgefrucht dann nicht mehr verfügbar ist.

Die höchsten N_{min} -Werte vor der Saat werden in den Verfahren mit Hofdünger (Mi35, Mi70 und Gü60; Tab. 4) beobachtet. Diese Werte könnten auf die starke Mineralisierung der Boden-OM (Maltas *et al.* 2012) verbunden mit der Mineralisierung der frischen, im Vorjahr zugeführten OM beruhen. Die starke Mineralisierung in diesen Verfahren zieht jedoch auch nach der Ernte höhere $minN$ nach sich. In den Verfahren mit Mist und Gülle ist somit das Stickstoff-Auswaschungsrisiko nach der Ernte höher, falls deren Nachwirkungen in der Berechnung der N-Düngung nicht berücksichtigt werden.

Schlussfolgerungen

- Bei nicht begrenzender Stickstoffdüngung sind die Wirkungen der organischen Dünger auf den Körnerertrag der Kulturen unterschiedlich. Im Jahr des Eintrags und in den Folgejahren wird der Ertrag durch die Gabe von Hofdünger, Mist oder Gülle höher (durchschnittlich + 0,4 bis + 2,2 %), hingegen durch den Einschub von Senf-Gründüngern und systematische Rückführung des Getreidestrohs tiefer (-3,6 resp. -4,7%).

- Bei N-Mangel in den Kulturen haben alle organischen Dünger eine positive Auswirkung auf den Ertrag. Das könnte auf ein besseres Stickstoffangebot in diesen OS-reicheren Böden zurückgeführt werden.
- Die Senf-Gründüngung ohne N-Düngung erhöht den N-Düngerbedarf im Jahr der Vernichtung (um 27 kg N ha⁻¹) und senkt diesen im Folgejahr (um 7 kg N ha⁻¹). Wird der Gründünger mit 60 kg N ha⁻¹ versetzt, so verringert sich der Bedarf der nachfolgenden Kultur im Jahr der Vernichtung und im Folgejahr (um 20 resp. 17 kg N ha⁻¹).
- Der Düngewert des Getreidestrohs ist sowohl im Jahr der Einarbeitung (-3 kg N ha⁻¹) wie im Folgejahr (+3 kg N ha⁻¹) vernachlässigbar.
- Mist und Gülle zeigen deutlich positive Düngewerte in den drei Jahren nach dem Eintrag. Der durch den Mist zugeführte Stickstoff entspricht 16, 8 und 5 % des Gesamtstickstoffs, der im Eintragsjahr, respektive ein und zwei Jahre danach zugeführt wird. Für Gülle erreichen diese Werte 37, 18 respektive 10 %. Werden diese Düngewerte in der Berechnung der Stickstoffdüngung nicht berücksichtigt, so steigt der mineralische Stickstoffgehalt bei der Ernte und somit das Auswaschungsrisiko. ■

Literatur

- Charles R., Cholley E., Frei P. & Mascher F., 2011. Krankheiten beim Winterweizen: Einfluss des Anbausystems und Auswirkungen auf den Ertrag. *Agrarforschung Schweiz* 2 (6), 264–271.
- COMIFER, 2011. Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Cultures annuelles et prairies. Comifer. 91 p.
- Duval J., 1996. Effet des crucifères sur les cultures qui suivent. Zugang: <http://eap.mcgill.ca/agrobio/ab340-04.htm>.
- Lal R., 2009. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Sciences* 60, 158–169.
- Lecomte R., 1980. The influence of agronomic application of slurry on the yield and composition of arable crops and grassland and on changes in soils properties. In: Effluents from Livestock. (Ed. J. Gasser). Applied Science Publishers, London, 139–183.
- Maltas A., Charles R. & Sinaj S., 2011. Bodenfruchtbarkeit und Produktivität der Kulturen: mittelfristige Auswirkungen von organischen Einträgen und einer pfluglosen Bodenbearbeitung. *Agrarforschung Schweiz* 2 (3), 120–127.
- Maltas A., Oberholzer H., Charles R. & Sinaj S., 2012. Langfristige Wirkung von organischen Düngern auf die Bodeneigenschaften. *Agrarforschung Schweiz* 3 (3), 148–155.
- Marschner H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. (Ed. Academic press). Harcourt Brace & compaigny Publishers, London. 889 S.
- 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.
- Stations de recherche ART & ACW, ed. 2011. Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope. Agroscope. Zurich-Reckenholz. Vol. 1 | 30 p.
- Su Y. Z., Wang F., Suo D. R., Zhang Z. H. & Du M. W., 2006. Long term effect of fertilizer and manure application on soil carbon sequestration and soil fertility under wheat-wheat-maize cropping system in Northwest China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 75, 285–295.
- Zhang H., Xu M. & Zhang F., 2009. Long-term effects of manure application on grain yield under different cropping systems and ecological conditions in China. *J. Agri. Sci.* 147, 31–42.

Riassunto

Effetti a lungo termine dei fertilizzanti organici sulla resa e la concimazione azotata delle colture

Dal 1976 a Changins sono testate le conseguenze dell'uso di diversi fertilizzanti organici (senape da sovescio, paglia di cereali, 35 e 70 t ha⁻¹ di letame ogni 3 anni e 60 m³ ha⁻¹ di liquame ogni 3 anni). Questo studio analizza i loro effetti a lungo termine (34 anni) sulla resa delle colture, il bisogno di concimazione azotata e lo stock d'azoto (N) minerale nel suolo.

Quando N non è limitante, i fertilizzanti organici producono degli effetti contrastati sulla resa in semi delle colture. Nell'anno dell'apporto organico e negli anni successivi, letame e liquame aumentano la resa delle colture rispetto al testimone senza fertilizzante organico, mentre l'inclusione di sovescio e la restituzione sistematica di paglia di cereali la diminuisce.

Tuttavia, questi effetti, sulla media di questi 34 anni di prove, restano deboli.

Per contro, quando l'azoto è limitante, i concimi organici raggiungono tutti un effetto retroattivo positivo sulla resa delle colture. L'effetto diretto (nell'anno dell'apporto) di fertilizzanti organici può essere positivo o negativo.

Il sovescio senza apporto di concimi accresce i bisogni di fertilizzanti azotati nell'anno della sua distruzione, ma li riduce l'anno seguente. Quando è concimato con 60 kg di N ha⁻¹, riduce i propri bisogni sia nell'anno della sua distruzione fino all'anno successivo. Il valore fertilizzante della paglia da cereali è insignificante. Nei tre anni successivi al loro apporto, letame e liquame riducono le esigenze in fertilizzante N in modo significativo.

Quando il valore fertilizzante del letame non è preso in considerazione, lo stock di azoto minerale presente al raccolto risulta più elevato nei procedimenti con letame rispetto al controllo senza fertilizzanti organici.

Summary

Long-term effect of organic fertilizers on crop yield and nitrogen fertilization

Consequences of the use of different organic fertilizers (green manure, cereal straw, manure at 35 and 70 t ha⁻¹ every 3 years and cattle slurry at 60 m³ ha⁻¹ every 3 years) and mineral fertilizer (four doses nitrogen) are tested in Changins since 1976. This study analyses the long-term effect (34 years) on crop yield, the need for nitrogen fertilizer and the stock of mineral nitrogen (N) in the soil. When N is not limiting, organic fertilizers have different effects on grain yield. The year of organic input and the subsequent years, manure and slurry increase yields compared to the control without organic fertilizer, while green manure and systematic restitution of the cereal straw decrease it. However, on average over the past 34 years, these effects remain weak. On the contrary, when nitrogen is limiting, all forms of organic fertilizers have a positive long term effect on crop yields.

The direct effect of organic fertilizer (first year of field application) may be positive or negative. The non fertilized green manure increases the need for nitrogen fertilizer during the year of its destruction but reduces it the following year. When fertilized with 60 kg N ha⁻¹, it decreases the need for nitrogen fertilizer the year of its destruction as well as the following year. The fertilizing value of the cereal straw is negligible. Manure and slurry reduce significantly the need for N fertilizer on the three years following the application. When the fertilizer value of manure is not taken into account, the stock of mineral N in the soil present at harvest was higher in treatments with manure than in the control without organic fertilizer.

Key words: crop yield, organic fertilizers, nitrogen fertilization, long-term field experiment.