

14.10.2022

## Wirkung von Zwischenfrüchten

In einem ortsfesten Dauerversuch im Landkreis Fürstenfeldbruck werden von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in enger Zusammenarbeit mit den Bayerischen Staatsgütern seit 1984 die Wirkungen unterschiedlicher Arten organischer Dünger geprüft. Dieser vierte von mehreren Beiträgen einer Auswertung über einen Zeitraum von 36 Jahren geht auf die Ertrags- und Stickstoffeffizienz von Leguminosen und Nicht-Leguminosen als Zwischenfrüchte in einer Fruchtfolge mit Silomais, Winterweizen und Wintergerste ein.

Autoren:

David Schubert, Lorenz Heigl, Johanna Mießl, Konrad Offenberger, Dr. Michael Diepolder  
Institut für Agrarökologie – Düngung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

Beitrag im Bayerischen Landwirtschaftlichen Wochenblatt, Ausgabe 41/2022, S. 31-33

Stark gestiegene Mineraldüngerpreise rücken den Wert organischer Dünger wieder stärker in den Vordergrund. Doch lässt sich durch den Einsatz von organischen Düngern überhaupt mineralischer Stickstoff einsparen und wenn ja, wie viel und welche Rolle spielt dabei die Anwendungsdauer? Das betrifft auch die Frage, ob und inwieweit durch Leguminosen und Nicht-Leguminosen als Zwischenfrüchte nach Getreide vor Sommerungen Effekte auf die Ertrags- und Stickstoffeffizienz einzelner Kulturen bzw. auf die gesamte Fruchtfolge (Rotation) zu erwarten sind.

Antworten auf diese Fragen können Langzeitversuche geben. Diese sind sehr gut geeignet, die Entwicklung des Ertragsgeschehens und der Stickstoffeffizienz in Fruchtfolgen als Reaktion auf verschiedene Dünge- bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verfolgen. Gerade wenn es um die Beurteilung der Stickstoffwirkung von organischen Düngern geht. Denn bei diesen wird der enthaltene Stickstoff erst im Laufe der Zeit verfügbar. Sind bei ausschließlich mineralischer Düngung Versuche mit drei bis vier Jahren Laufzeit in der Regel Aussagen über die N-Effizienz bestimmter Düngerarten und -mengen möglich, so trifft dies für Fragen der organischen Düngung nur eingeschränkt zu. Die Anlage und Auswertung von komplexen ortsfesten Langzeitversuchen ist in diesem Fall die bessere Wahl. Die dabei gewonnenen Ergebnisse können bereits bekanntes Wissen bestätigen. Gerade durch die teilweise jahrzehntelange Versuchsdauer besteht jedoch auch die Chance, neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Ein solcher Langzeitversuch wurde Mitte der 1980er Jahre auf dem Versuchsgut Puch (Bayerische Staatsgüter) bei Fürstenfeldbruck begonnen. Er ist einer der letzten noch verbliebenen Versuche einer im gleichen Zeitraum begonnenen europaweiten Serie, welche Standorte mit unterschiedlichen Boden- und Klimaverhältnissen umfasste. Das gesamte Versuchskonzept am Standort Puch ist im Infokasten kurz zusammengefasst, wichtige Standortdaten enthält **Tabelle 1**.

Während Beiträge zur Wirkung von Stallmist, Rindergülle und Stroh bereits in den Ausgaben 15, 17 und 33 veröffentlicht wurden, steht in diesem Beitrag die Düngewirkung von Leguminosen (im Versuch: Erbsen-Wicken-Gemenge) und Nicht-Leguminosen (im Versuch: Senf) als abfrierende Zwischenfrüchte

nach Wintergerste vor Silomais im Zentrum. Insgesamt wurde für die Auswertung ein Untersuchungszeitraum von 36 Jahren (1984-2019) bzw. zwölf kompletten Rotationen einer dreigliedrigen Fruchtfolge (Rotation) mit den Früchten Silomais, Winterweizen und Wintergerste ausgewählt.

### Kurzbeschreibung des internationalen organischen Dauerdüngungsversuchs (IOSDV) in Puch

Bei diesem ortsfesten Dauerfeldversuch mit insgesamt 150 Parzellen werden seit 1984 in einer dreigliedrigen Fruchtfolge (Rotation) Silomais bzw. Zuckerrübe, gefolgt von Winterweizen und Wintergerste angebaut. Dabei werden 50 verschiedene Kombinationen von organischer und anorganischer Stickstoffdüngung in dreifacher Wiederholung getestet.

Der Versuch ist als zweifaktorielle Streifenanlage angelegt. Faktor 1 umfasst insgesamt zehn Stufen unterschiedlicher Arten von organischer Düngung. Dabei werden Rindergülle und Stallmist eingesetzt. In weiteren Prüfgliedern erfolgt die organische Düngung als Strohdüngung nach Getreide. Wichtige Prüfvarianten sind auch Zwischenfrüchte in der Rotation (siehe Tabelle 2). Über jede der organisch gedüngten Parzellen (Faktor 1) ist als Faktor 2 eine mineralische N-Ergänzung gelegt. Diese wird als Kalkammonsalpeter (KAS) in jeweils 5 festen N-Stufen gegeben (siehe auch Tabelle 2). Dadurch ist es möglich, die Wirkung unterschiedlicher Düngungskombinationen auf die Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit (Ertrag, Qualität, Humusgehalt, N-Mineralisation) zu einzelnen Kulturen bzw. in der Fruchtfolge zu erfassen. Ebenfalls kann mit diesem Versuchsansatz die Wirkung der organischen Düngung im Vergleich zur mineralischen Düngung abgeleitet werden. Die Bodenbearbeitung, die Saat und der Pflanzenschutz wird ortsüblich optimal über alle Varianten gleich durchgeführt. Alle nicht mit Gülle oder Stallmist gedüngten Parzellen erhalten eine P/K-Ausgleichsdüngung mit Triple Superphosphat und Kornkali. Im Frühjahr erhält der gesamte Versuch zudem eine Schwefel- und Magnesiumdüngung. Der pH-Wert des Bodens wird durch periodische Erhaltungskalkungen im optimalen Bereich gehalten.

Hinweis: Die dargestellten Erträge sind in Getreideeinheiten (GE) umgerechnet, um die Ertragsergebnisse der einzelnen Fruchtarten Silomais (Frischmasseertrag), Winterweizen (Kornertrag) und Wintergerste (Kornertrag) für eine Rotation bzw. über die Jahre miteinander verrechnen zu können. Dabei wurde für die Berechnung unter Berücksichtigung der Erzeugerpreise für Verkaufsware (netto) für die einzelnen Fruchtarten im Mittel von drei Jahren (2018-2020) Folgendes zugrunde gelegt:

1 Doppelzentner (dt) Kornertrag Winterweizen = 1,00 GE (entsprechend 16,27 Euro netto Verkaufserlös),  
 1 dt Kornertrag Wintergerste = 0,92 GE, 1 dt Frischmasse Silomais mit 32 % TS = 0,172 GE

Tabelle 1: Standort- und Profilbeschreibung des Versuchs

#### Standortbeschreibung:

Ort:	<b>Puch</b>
Landkreis:	Fürstenfeldbruck
Landschaft:	Altmoräne des Loisach-Ammergletschers
Ø Jahresniederschläge:	875 mm
Ø Jahrestemperatur:	8,8°C
Bodentyp:	Tiefgründige Parabraunerde
Bodenart:	uL
Gestein:	Lößlehm über Rißmoräne
Durchwurzelungstiefe:	ca. 100 cm
Ackerzahl:	66

#### Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe	Bodenart
A <sub>p</sub>	0 - 25 cm	schluffiger Lehm (uL)
A <sub>i</sub> B <sub>v</sub>	25 - 50 cm	schluffiger Lehm (uL)
B <sub>vt</sub>	50 - 100 cm	schluffig-toniger Lehm (utL)



Abbildung 1: Erbsen-Wicken-Gemenge im Versuch (Bild LfL)

In **Tabelle 2** sind die in der Fruchtfolge angebauten Zwischenfrüchte sowie die mineralische N-Düngung (Kalkammonsalpeter) aufgeführt. Ab dem 15. Versuchsjahr wurde die Düngung den allgemeinen Ertragsteigerungen angepasst. Daher wurde bei den Getreidefrüchten die mineralische Düngung bei den N-Stufen 2 bis 5 ab 1999 erhöht (Tabelle 2).

Die mineralische N-Düngung zu den einzelnen Varianten umfasste eine große Spannweite. Dabei entspricht, über eine Rotation betrachtet, Stufe 5 einer N-Menge, die bewusst hoch angesetzt wurde. Bei Mais wurde bei der Saat eine Unterfußdüngung mit Kalkammonsalpeter (KAS) in Höhe von 30 kg N/ha durchgeführt.

Tabelle 2: Zwischenfrüchte und mineralische Düngung zu den einzelnen Kulturen in der Fruchtfolge

Jahre	Silomais (SM)		Winterweizen (WW)*		Wintergerste (WG)*	
	1984-1996	1999-2017	1985-1997	2000-2018	1986-1998	2001-2019
<b>Faktor 1: Zwischenfrüchte</b>						
1 a	Ohne	Ohne	Ohne	Ohne	Ohne	Ohne
2 a	<b>Leguminosen**</b> nach WG	<b>Leguminosen**</b> nach WG	Ohne	Ohne	Ohne	Ohne
1 b***	Ohne	Ohne	Ohne	Ohne	Ohne	Ohne
2 b***	<b>Senf</b> nach WG	<b>Senf</b> nach WG	Ohne	Ohne	Ohne	Ohne
<b>Faktor 2: mineralische N-Düngung in fünf Stufen (in kg N pro Hektar und Jahr)</b>						
1	0	0	0	0	0	0
2	50	50	40	50	30	40
3	100	100	80	100	60	80
4	150	150	120	150	90	120
5	200	200	160	200	120	160

\* Stroh verbleibt auf der Fläche; \*\* Erbsen-Wicken-Gemenge, keine Rindergülle zu den Varianten 1/2 a; \*\*\* bei 1/2 b: Rindergülldüngung zu den einzelnen Kulturen

Um Aussagen über die Wirkung von Düngemaßnahmen im Rahmen einer Fruchtfolge treffen zu können, mussten die jeweiligen Korn- und Frischmasseerträge in sogenannte Getreideeinheiten (GE) umgerechnet werden. Die Vorgehensweise und die entsprechenden Umrechnungsfaktoren sind im Infokasten unter Hinweise aufgeführt.

## Mehrerträge durch Leguminosen als Zwischenfrucht

Auf den Ertrag (in Getreideeinheiten pro Hektar) hatte neben der Art der Zwischenfrucht, der Hauptfrucht und der Höhe der mineralischen Ergänzungsdüngung auch die Versuchsdauer einen erheblichen Einfluss.

Dabei wurden durch den Anbau eines Erbsen-Wicken-Gemenges als legume Zwischenfrucht vor Silomais bei allen drei Fruchtarten signifikante Mehrerträge gegenüber der zwischenfruchtfreien Vergleichsvariante erreicht (Tabelle 3). Erwartungsgemäß zeigte dabei Silomais als erste Hauptfrucht nach der Leguminosen-Zwischenfrucht den höchsten Ertragseffekt.

Tabelle 3: Mittlere Erträge im Untersuchungszeitraum (1984-2019) ohne und mit Zwischenfruchtanbau (hier: Erbsen-Wicken-Gemenge).

		<b>Faktor 1 (Zwischenfruchtanbau)</b>		
<b>Faktor 2 (mineralische N-Düngung)</b>		Ohne Zwischenfrucht (Stufe 1a)	Leguminosen als Zwischenfrucht (Stufe 2a)	Differenz mit/ohne
Stufe	Mittlere N-Menge (kg N/ha u. Jahr)	Erträge in GE (dt/ha)		
<b>Silomais (SM)</b>				
1	0	52,9	65,5	+12,6
Mittel 2-5	125	77,7	86,3	+8,6
<b>Winterweizen (WW)</b>				
1	0	28,8	34,4	+5,6
Mittel 2-5	113	72,8	78,2	+5,4
<b>Wintergerste (WG)</b>				
1	0	18,5	20,2	+1,7
Mittel 2-5	88	46,2	48,0	+1,8
<b>Mittel Rotation SM-WW-WG</b>				
1	0	33,4	40,0	+6,6
Mittel 2-5	109	65,6	70,9	+5,3

Dagegen brachte der Anbau von Senf (als eine Nicht-Leguminose) im Versuch keine Mehrerträge gegenüber der zwischenfruchtfreien Variante. Daher wird an dieser Stelle auf die tabellarische Darstellung der Ergebnisse verzichtet.

## Welche Rolle spielt die Versuchsdauer?

Keine Frage: Langzeitversuche sind aufwändig! Wenn es aber um die Frage zur Wirkung von organischen Düngern geht, sind für Beratungsaussagen lange Versuchslaufzeiten ein großer Gewinn, da sich daraus Trends ableiten lassen. Am Beispiel des Pucher Dauerdüngungsversuchs wird dies anhand von **Abbildung 2** ersichtlich, bei der die Entwicklung der mittleren Jahreserträge einer Fruchtfolge mit unterschiedlicher Düngung über einen Zeitraum von 12 Rotationen, das heißt 36 Versuchsjahren dargestellt ist.

Für die Abbildung wurden auch die Rotationen 1-5 mit einbezogen (grau hinterlegt), obwohl in diesem Zeitraum die mineralische Düngung nicht identisch mit derer in den Rotationen 6-12 war. Es handelt sich somit bei den dargestellten Trendlinien um eine eher schematische Darstellung, aus der jedoch die langfristige Ertragsentwicklung im Versuch ersichtlich wird.

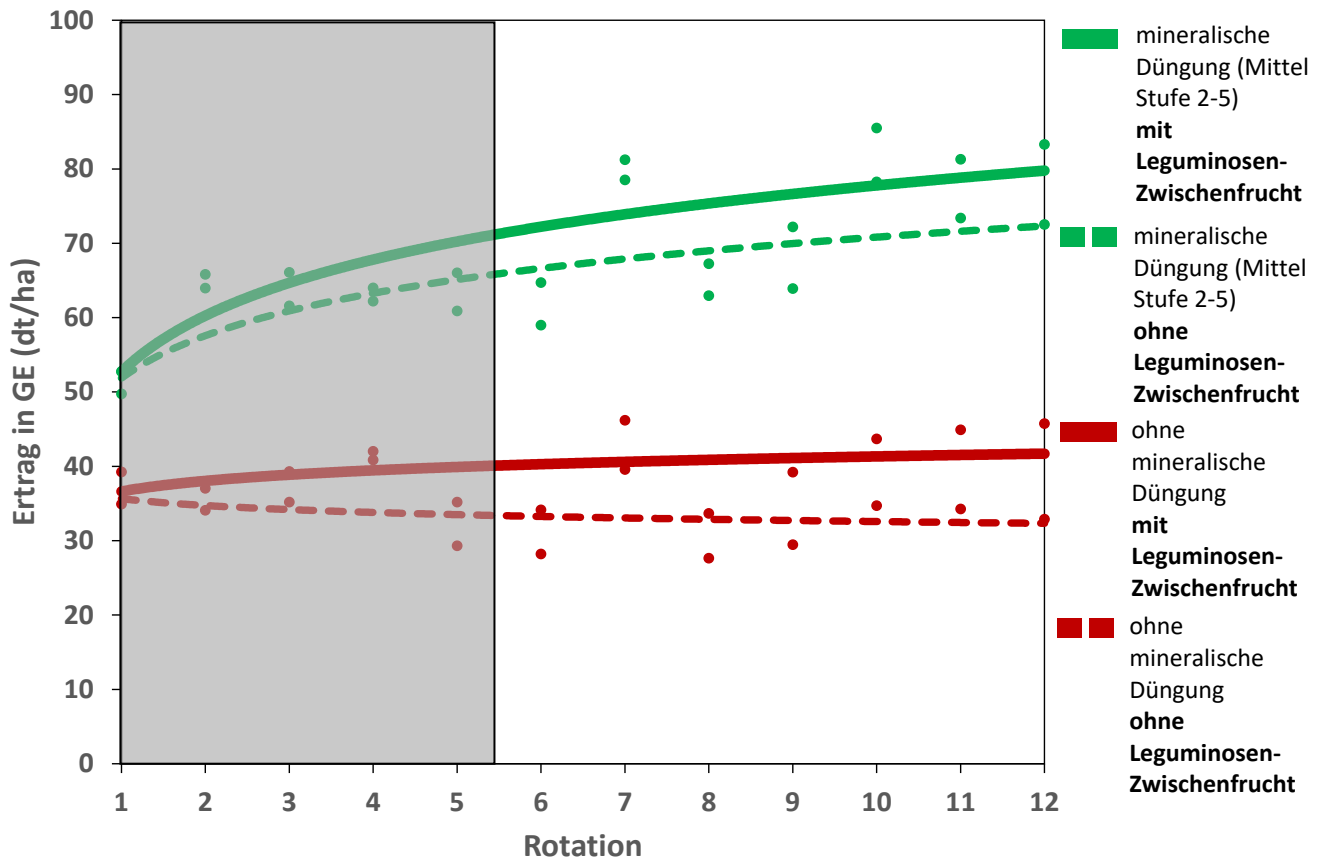


Abbildung 2: Einflüsse auf die Entwicklung der mittleren Jahreserträge einer Rotation bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung mit und ohne Leguminosen-Zwischenfrucht (hier als Erbsen-Wicken-Gemenge). Die Punkte sind die im Versuch ermittelten Werte, daraus wurden die dargestellten Trendlinien (grün, rot) berechnet.

Auf den ersten Blick ist erkennbar, dass die Erträge bei den mineralisch gedüngten Varianten (grüne Farbe) mit fortschreitender Versuchsdauer zugenommen haben. Dies sowohl bei den Varianten mit Erbsen-Wicken-Gemenge als Zwischenfrucht als auch ohne Zwischenfruchtanbau. Vergrößert haben sich dabei ebenfalls die Ertragsabstände zwischen diesen Varianten.

Bei Verzicht auf eine mineralische N-Düngung (rote Linie) konnte durch den legumen Zwischenfruchtanbau ein niedriges Ertragsniveau langfristig gehalten werden. Ohne jegliche Stickstoffdüngung (nur P-, K-, Mg-Düngung) fiel dagegen der Ertrag, wie erwartet, im Trend leicht ab.

Kurz gesagt zeigen die Ergebnisse: Die positive Wirkung von Leguminosen als Zwischenfrucht auf den Ertrag nimmt bei regelmäßigem Anbau mit den Jahren zu. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass sich im Laufe der Zeit immer mehr organischer Stickstoff aus dem Leguminosenanbau im Boden ansammelt und mineralisiert wird. Auch bei ausschließlich mineralischer Düngung waren im Trend ansteigende Ertragseffekte gegenüber fehlender Düngung zu verzeichnen. Denn auch bei einer rein mineralischen Düngung wird die unterirdische Biomasse gefördert und damit steht im Laufe der Zeit immer mehr Stickstoff für die Mineralisation als bei Versuchsbeginn zur Verfügung.

Demgegenüber waren durch den Anbau von Senf im Versuch keine positiven Ertragseffekte im Laufe der langjährigen Versuchsdauer feststellbar.

Es ist anzumerken, dass mit der Steigerung der Düngermengen ab der sechsten Rotation auch eine Optimierung weiterer Produktionsbedingungen (Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz) einher ging. Daher sind die oben genannten Ertragszuwächse nicht allein auf die Düngung zurückzuführen.

## Welche N-Düngewirkung haben unterschiedliche Zwischenfrüchte?

Eine zentrale Frage der Versuchsauswertung war, ob und wieviel mineralischer Stickstoff durch einen langfristigen Anbau verschiedener Zwischenfrüchte eingespart werden konnte (**N-Wirkung des Zwischenfruchtanbaus**, siehe Kasten).

Wichtig zu erwähnen ist, dass bei dem hier dargestellten Vergleich nur die Düngewirkung von Stickstoff betrachtet wird. Sonstige Hauptnährstoffe sind auf den einzelnen Versuchspartellen durch Ausgleichsdüngung nicht im Mangel und damit nicht ertragsrelevant.

### Wie wird die N-Wirkung des Zwischenfruchtanbaus im Versuch bestimmt?

Für die N-Wirkung von Zwischenfrüchten (kg N/ha) werden die Ertragskurven (z.B. in Getreideeinheiten) bei rein mineralischer Düngung mit den Ertragskurven bei zusätzlichem Zwischenfruchtanbau miteinander verglichen. Bei gleichem Ertragsniveau kann aus der Differenz der hierfür jeweils (ohne/mit Zwischenfrüchten) erforderlichen Höhe der mineralischen N-Düngung die N-Wirkung der Zwischenfrüchte ermittelt werden.

Wenn beispielsweise bei der Kombination von mineralischer Düngung und Zwischenfrucht mit 25 kg N/ha über mineralischen Dünger derselbe Ertrag erzielt wird wie bei rein mineralischer Düngung mit 50 kg N/ha, dann ergibt sich aus der Differenz eine Wirkung des Zwischenfruchtanbaus von 25 kg N/ha.

Dem Zwischenfruchtanbau sind allgemein verschiedene positiven Effekten wie Erosionsschutz, Einbringung von organischer Substanz und Förderung des Bodenlebens zugeschrieben. Hinsichtlich der Stickstoffdüngewirkung zeigten die Pucher Versuchsergebnisse allerdings eindeutige Unterschiede zwischen den angebauten Zwischenfruchtgruppen.

Der regelmäßige Zwischenfruchtanbau mit Leguminosen - im Versuch erfolgte dieser in Form eines Erbsen-Wicken-Gemenges nach Wintergerste – schafft die Möglichkeit, erhebliche Mengen an mineralischem N-Dünger einzusparen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Stickstoffwirkung einer Leguminosen-Zwischenfrucht (siehe Text) bei den einzelnen Kulturarten.

	<b>Wirkung Leguminosen-Zwischenfrucht (im Versuch Erbsen-Wicken-Gemenge) in kg N/ha</b>
<b>Fruchtart</b>	<b>Mittel 1984-2019</b>
Silomais	51
Winterweizen	15
Wintergerste	7
<b>Summe Rotation</b>	<b>73</b>

Je länger Leguminosen in die Rotation eingebaut werden, desto mehr Stickstoff lässt sich zudem einsparen (nicht eigens dargestellt). Die Ergebnisse bestätigen zudem, dass die in der Düngeverordnung angesetzte N-Wirkung von Leguminosen als Vorfrucht deutlich überschritten werden können.

Dagegen konnte unter den gegebenen Versuchsbedingungen beim Anbau von Senf als Zwischenfrucht kein mineralischer Stickstoff eingespart werden.