

29.04.2022

## Versuchsergebnisse zur Wirkung von Rindergülle

In einem ortsfesten Dauerversuch im Landkreis Fürstenfeldbruck werden seit 1984 die Wirkungen unterschiedlicher Arten organischer Dünger zu einer Fruchtfolge mit Silomais, Winterweizen und Wintergerste geprüft. Dieser zweite von mehreren Beiträgen einer Auswertung über einen Zeitraum von 36 Jahren geht auf die Wirkung der Rindergülle hinsichtlich der erzielten Erträge und N-Effizienz ein.

Autoren:

David Schubert, Lorenz Heigl, Konrad Offenberger, Dr. Michael Diepolder

Institut für Agrarökologie – Düngung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

Beitrag im Bayerischen Landwirtschaftlichen Wochenblatt, Ausgabe 17/2022, S. 36-38

Stark gestiegene Mineraldüngerpreise rücken den Wert organischer Dünger wieder stärker in den Vordergrund. Doch wieviel mineralischer Stickstoff lässt sich durch den Einsatz von organischen Düngern überhaupt einsparen und welche Rolle spielt dabei die Anwendungsdauer?

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 Düngungsmaßnahmen zu verfolgen. Gerade wenn es um die Beurteilung der Stickstoffwirkung von organischen Düngern geht. Denn bei Wirtschaftsdüngern wie Gülle und insbesondere Stallmist wird nur ein Teil des enthaltenen Stickstoffs im Anwendungsjahr 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 (häufig) komplexen Langzeitversuchen ist in diesem Fall die bessere Wahl.

Ein solcher Versuch wurde Mitte der 1980er Jahre auf dem Versuchsgut Puch (Bayerische Staatsgüter) bei Fürstenfeldbruck begonnen. Das gesamte Versuchskonzept ist im Infokasten kurz zusammengefasst, wichtige Standortdaten enthält **Tabelle 1**.

In diesem Beitrag steht speziell die N-Wirkung von Rindergülle im Zentrum. Einen ersten Beitrag zur Wirkung von Stallmist ist bereits in Ausgabe 16 veröffentlicht worden. Insgesamt wurden für die Auswertungen ein Untersuchungszeitraum von 36 Jahren (1984-2019) bzw. zwölf komplette Rotationen einer dreigliedrigen Fruchtfolge (Rotation) mit den Früchten Silomais, Winterweizen und Wintergerste ausgewertet. Da im Versuch ab der sechsten Rotation die Gülledüngung hinsichtlich Menge und Verteilung grundlegend geändert wurde, wird nachfolgend der Zeitraum von der sechsten bis zur zwölften Rotation beleuchtet.

In **Tabelle 2** ist die für die Fruchtfolge ausgebrachte organische (Rindergülle) und mineralische N-Düngung (als Kalkammonsalpeter) aufgeführt.

## 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 oder als Leguminosen- bzw. Nicht-Leguminosen-Zwischenfrucht nach Winterweizen und/oder Wintergerste. Über jede der organisch gedüngten Parzellen 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. zu der Rotation 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 organisch gedüngten Parzellen erhalten eine P/K-Ausgleichsdüngung mit Triple Superphosphat und Kornkali; im Frühjahr erhält der gesamte Versuch zudem eine Schwefel- und Magnesiumdüngung.

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)

Unter den damals gegebenen produktionstechnischen Zielen, den Optimalertrag zu erzielen, wurde die Rindergülle zu Silomais im Vorjahr auf Wintergerstenstoppel zur Förderung der Strohrotte sowie in den Maisbestand ausgebracht. Dies erfolgte mit Schleppschauchtechnik und anschließendem Anhäufeln bzw. mit Schleppschuhtechnik (**Abbildung 1**). Bei Winterweizen wurde die Gülle im Frühjahr, dagegen bei Wintergerste weitestgehend im Herbst vor der Saat ausgebracht. Dies jeweils mit Schleppschauch bzw. Schleppschuh. Da aus heutiger Sicht diese Düngung teilweise nicht mehr konform mit der Düngeverordnung ist, wurde der Versuch mittlerweile den rechtlichen Vorgaben angepasst.



Abbildung 1: Gülledüngung mit einem Versuchsgüllefass im internationalen organischen Stickstoffdauerversuch (IOSDV) in Puch (Bildquelle: LfL)

Die ab der sechsten Rotation gegebenen Düngermengen zeigt **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 und in der Rotation insgesamt über der heute in der Praxis nach Düngeverordnung möglichen Maximalmenge liegt. Bei Mais wurde bei der Saat eine Unterfußdüngung mit Kalkammonsalpeter in Höhe von 30 kg N/ha durchgeführt. Bei Winterweizen und Wintergerste verblieb zudem das Stroh auf dem Feld.

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

	<b>Silomais (SM)</b> 1999-2017	<b>Winterweizen (WW)</b> 2000-2018	<b>Wintergerste (WG)</b> 2001-2019
<b>Faktor 1: Durchschnittliche organische Düngung (hier: Rindergülle in m<sup>3</sup>/ha) zu den Kulturen mit (Stufe 2) und ohne (Stufe 1) Gülledüngung<sup>1)</sup></b>			
Stufe 1	Ohne	Ohne	Ohne
Stufe 2	54 m <sup>3</sup> /ha	27 m <sup>3</sup> /ha	25 m <sup>3</sup> /ha
<b>Faktor 2: Mineralische N-Düngung in fünf Stufen (in kg N pro Hektar und Jahr)</b>			
Stufe 1	0	0	0
Stufe 2	50	50	40
Stufe 3	100	100	80
Stufe 4	150	150	120
Stufe 5	200	200	160

<sup>1)</sup> Mit Rindergülle wurden im Versuchsmittel 128 kg Gesamt-N pro Hektar und Jahr ausgebracht

Um Aussagen über die N-Effizienz von Düngungsmaßnahmen 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.

### **Stark positive Ertragseffekte durch Rindergülle**

In **Tabelle 3** sind die mittleren jährlichen Erträge der drei einzelnen Fruchtarten sowie der mittlere Jahresertrag einer Rotation bei unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung dargestellt. Bei allen drei Fruchtarten führte die Güllegabe zu signifikant höheren Erträgen. Dies sowohl bei fehlender als auch bei gegebener mineralischer N-Ergänzung. Letztere ist in Tabelle 3 als Mittel über die vier mineralisch gedüngten N-Stufen (2-5) aufgeführt. Der positive Ertragseffekt von Rindergülle war jedoch bei jeder Fruchtart in allen fünf N-Stufen (nicht eigens dargestellt) signifikant.

Ohne mineralische N-Düngung reagierten die Kulturen erwartungsgemäß stärker auf die organische Düngung als es bei einer Kombinationsdüngung mit mineralischem Stickstoffdünger der Fall war. (siehe auch

Tabelle 3, Abbildung 2). Diese ist auf das höhere Ertrags- und Düngenniveau zurückzuführen. Im Durchschnitt einer dreijährigen Fruchtfolge wurden durch die Gülledüngung bei einer ergänzenden mineralischen N-Düngung (Mittel 2-5) jährlich 19,1 GE pro Hektar mehr gegenüber güllefreier Düngung erzielt.

Tabelle 3: Erträge in Getreideeinheiten (GE) einzelner Fruchtarten und der Fruchtfolge bei unterschiedlicher mineralischer und organischer Düngung (Mittel des Untersuchungszeitraums 1999-2019)

		Faktor 1 (organische Düngung)		
Faktor 2 (mineralische N-Düngung)		Ohne Gülle (Stufe 1)	Mit Gülle (Stufe 2)	Differenz mit/ohne
Stufe	Mittlere N-Menge (kg N/ha u. Jahr)	Erträge in GE (dt/ha)		
<b>Silomais (SM)</b>				
1	0	54,0	85,2	31,2
Mittel 2-5	125	82,6	99,6	17,1
<b>Winterweizen (WW)</b>				
1	0	24,9	54,0	29,2
Mittel 2-5	125	74,4	99,4	25,0
<b>Wintergerste (WG)</b>				
1	0	18,3	36,3	18,0
Mittel 2-5	100	52,4	67,7	15,3
<b>Mittel Rotation SM-WW-WG</b>				
1	0	32,4	58,5	26,1
Mittel 2-5	117	69,8	88,9	19,1

### Was brachte mineralische N-Düngung?

Die Ertragswirkung der mineralischen N-Düngung (vergleiche Faktor 2, Mittel Stufe 2-5 minus Stufe 1 in Tabelle 3) unterschied sich zwischen den drei Fruchtarten deutlich. Sie war bei Winterweizen mit Abstand am höchsten und bei Silomais am geringsten.

Im Falle gänzlich fehlender Düngung sowie bei ausschließlicher Gülledüngung, das heißt ohne mineralische N-Ergänzung (Faktor 2 Stufe 1), erreichte Silomais weit höhere Erträge als die beiden Kornfrüchte. Damit wurde auch in diesem Versuch bestätigt, dass die Nährstoffversorgung von Silomais zu einem hohen Anteil aus der Nachlieferung des Bodens kommt.

Die Ertragswirkung ansteigender mineralischer N-Düngung auf den mittleren Jahresertrag einer Rotation (SM-WW-WG) zeigt **Abbildung 2**.

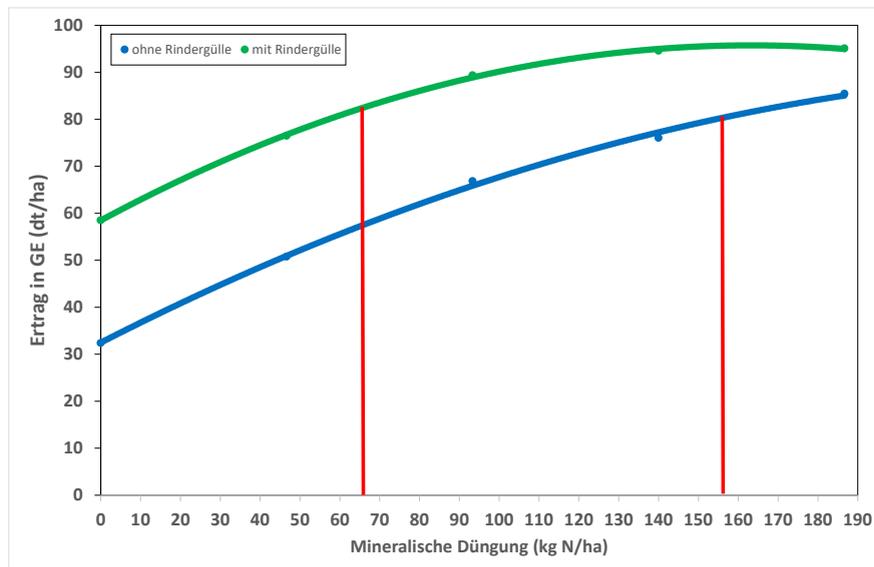


Abbildung 2: Mittlere Jahreserträge einer Rotation in Abhängigkeit von der Höhe der mineralischen N-Düngung (Mittel des Untersuchungszeitraums 1999-2019). Die Punkte sind die im Versuch ermittelten Werte, daraus wurden die dargestellten Trendlinien (blau, grün) berechnet. Rote senkrechte Linien: siehe Text.

### Kombinierte Düngung

Die im Versuch in Stufe 5 (Tabelle 2) gegebenen mineralischen N-Mengen liegen höher als dies heute in der Praxis fachrechtlich möglich wäre. Die maximal mögliche mineralische N-Düngung (mit/ohne Rindergülle) wurde für das Mittel einer Rotation unter Berücksichtigung landkreisbezogener Daten (Ertrag,  $N_{\min}$ -Gehalt) abgeschätzt und ist als senkrechte Linien in Abbildung 2 eingetragen. Nach den Vorgaben der Düngebedarfsermittlung kann bei organischer Düngung natürlich weniger mineralischer Stickstoff (Linie links) als bei ausschließlich mineralischer Düngung (Linie rechts) eingesetzt werden. Die Frage war, ob sich unter diesen Bedingungen die kombinierte Düngung mit Rindergülle weniger Ertrag brachte als eine rein mineralische N-Düngung. Dies war nicht der Fall, vielmehr erreichte die kombinierte Düngung mit Rindergülle tendenziell höhere Erträge als die rein mineralisch höher gedüngte, jedoch güllefreie Variante.

### Versuchsdauer entscheidend

Keine Frage: Langzeitversuche sind aufwändig! Wenn es aber um die Frage zur Wirkung von Düngern mit einem hohen Anteil an organisch gebundenem Stickstoff 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 3** 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 Abbildung 3 wurde auch die Rotation 1-5 mit einbezogen (grau hinterlegt), obwohl in diesem Zeitraum die organische Düngung nicht identisch mit Rotation 6-12 war. Es handelt sich somit bei den dargestellten Trendlinien um eine eher schematische Darstellung, aus der jedoch die langfristige Ertragsentwicklung der Gülledüngung im Versuch ersichtlich wird.

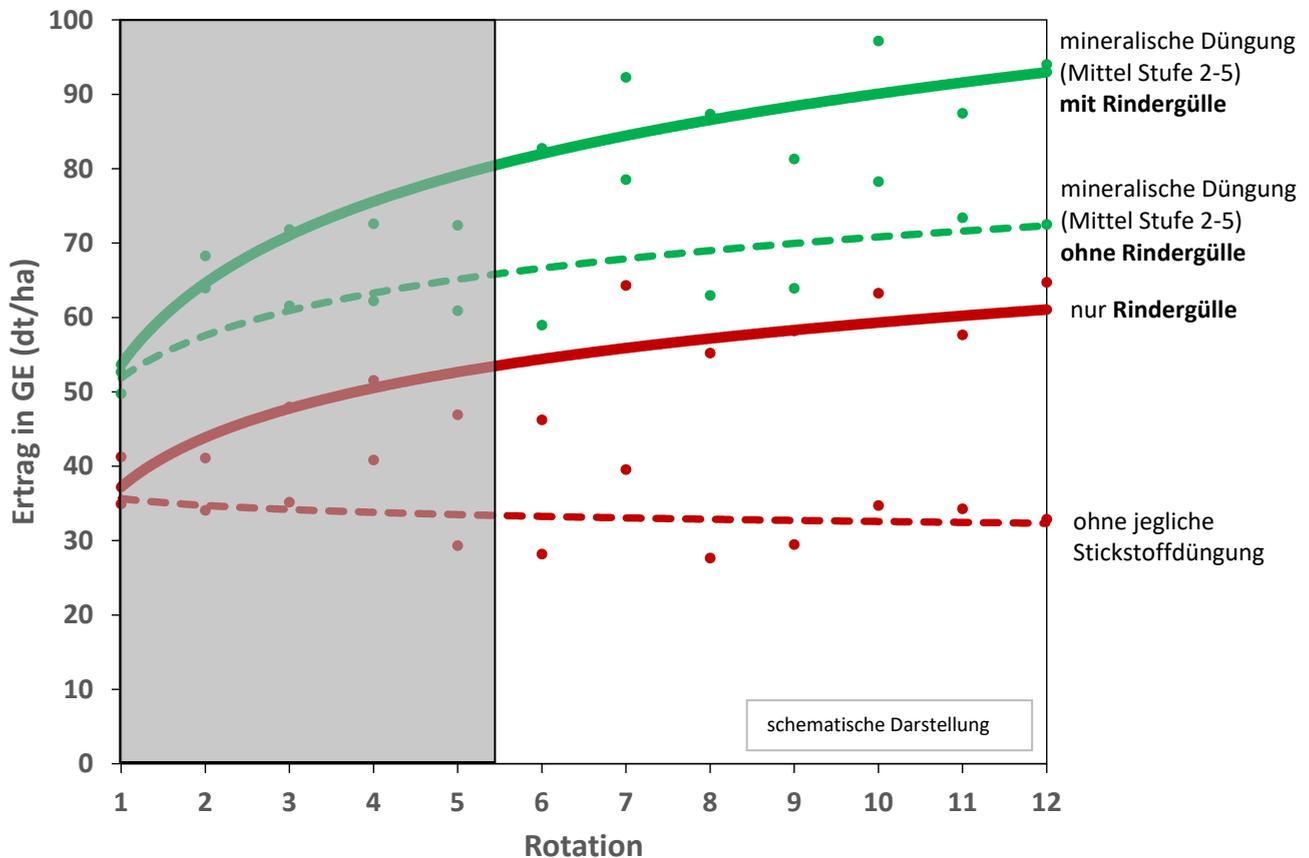


Abbildung 3: Entwicklung der mittleren Jahreserträge bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung. Die Punkte sind die im Versuch ermittelten Werte, daraus wurden die dargestellten Trendlinien (grün, rot) berechnet.

Erkennbar ist auf den ersten Blick, dass sich im Trend die Ertragsabstände sowohl innerhalb als auch zwischen den einzelnen Düngungsvarianten mit zunehmender Versuchsdauer vergrößert haben. Dabei konnte bei Verzicht auf eine mineralische N-Düngung durch die Rindergülle ein niedriges Ertragsniveau langfristig nicht nur gehalten, sondern sogar steigert werden. Ohne jegliche Stickstoffdüngung (nur P-, K-, Mg-Düngung) fiel der Ertrag, wie erwartet, im Trend ab.

Eindeutig ist außerdem, dass auch zu Beginn des Untersuchungszeitraums eine starke Ertragswirkung von Gülle vorhanden war. Diese Wirkung zeigte sich bei Stallmistdüngung nicht bzw. erst deutlich später in der Versuchslaufzeit (siehe BLW Ausgabe 16). Gründe dafür sind, dass Rindergülle gegenüber Stallmist viel schnell verfügbaren Stickstoff und weniger schwer abbaubare organische Substanzen enthält.

Der positive Effekt organischer Düngung lässt sich zudem darauf zurückführen, dass sich im Laufe der Zeit immer mehr organischer Stickstoff aus der Rindergülle im Boden ansammelt und mineralisiert wird. Auch bei ausschließlich mineralischer Düngung waren im Trend ansteigende Ertragseffekte gegenüber fehlender Düngung zu verzeichnen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass bei einer Düngung auch die unterirdische Biomasse gefördert wird und damit im Laufe der Zeit mehr Stickstoff für die Mineralisation als bei Versuchsbeginn zur Verfügung steht.

Wir halten fest: Rindergülle wirkt – je länger eingesetzt, umso besser! Ableitbar ist aber auch, dass ein Versuch, welcher nach etwa 3-4 Rotationen, also 9-12 Jahren, abgebrochen worden wäre, andere Ergebnisse und damit auch andere Aussagen gebracht hätte als die vorliegende Langzeitbetrachtung.

### Wieviel mineralischen Stickstoff ersetzte Rindergülle?

Eine zentrale Frage der Versuchsauswertung war, wieviel mineralischer Stickstoff durch die gegebene Gülledüngung eingespart werden konnte. Anders gesagt: Wie effizient kann der im Rindergülle enthaltene gesamte Stickstoff (organisch plus anorganisch) im Vergleich zu Kalkammonsalpeter, also schnell verfügbarem mineralischen Stickstoff, eingesetzt werden. Eine weitere Frage war, ob und inwieweit die bundeseinheitlich vorgeschriebenen Vorgaben der Düngeverordnung (DüV) zur Mindestwirksamkeit des Gesamtstickstoffs erreicht werden konnten. Eine wichtige Rolle spielt dabei das sogenannte Mineraldüngeräquivalent. (siehe Kasten)

#### **Was bedeutet Mineraldüngeräquivalent und wie wird es im Versuch bestimmt?**

Das Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) oder der Mineraldüngerwert ist eine wichtige Kennzahl der Stickstoffeffizienz von organischen Düngern im Vergleich zu mineralischen N-Düngern. Daraus lässt sich unter anderem ableiten, wieviel mineralischer Stickstoff durch eine organische Düngung eingespart werden kann, um gleiche Erträge zu erzielen.

Im Versuch wird das MDÄ ermittelt, indem man zu Varianten mit rein organischer bzw. organisch-mineralischer Düngung zusätzlich rein mineralisch gedüngte Varianten mit einer weit gespreizten N-Steigerung anlegt. Aus den dadurch gewonnenen Ertragskurven lassen sich die benötigten N-Mengen (organisch, mineralisch) ableiten und ins Verhältnis setzen.

Üblicherweise wird bei Stallmist oder Gülle das MDÄ in Prozent angegeben. So würde z.B. ein MDÄ von 60 Prozent bei Rindergülle bedeuten, dass 100 kg über Gülle ausgebrachter Gesamtstickstoff den gleichen Ertrag erzielen wie 60 kg mineralischer Stickstoff. Oder anders ausgedrückt: 100 kg Gesamtstickstoff in Gülle ersetzen 60 kg mineralischen Stickstoff, um den gleichen Ertrag zu erzielen.

Um die Stickstoffwirkung von Rindergülle im Anwendungsjahr (MDÄ in Anwendungsjahr, siehe Tabelle 4) zu ermitteln, wurde der mit dem organischen Dünger ausgebrachte und pflanzenwirksame Stickstoff mittels MDÄ ermittelt und um die Stickstoffnachlieferung bereinigt. Bei der Berechnung der Stickstoffnachlieferung wird zunächst die Stickstoffanreicherung im Boden durch die organische Düngung berechnet. Dabei werden vom ausgebrachten Gesamtstickstoff die gasförmigen Verluste, die Stickstoffauswaschung sowie die Pflanzenaufnahme abgezogen. Die Stickstoffnachlieferung wurde bei einer unterstellten Mineralisierungsrate von 2 Prozent des angereicherten organischen Stickstoffs und unter Berücksichtigung einer Auswaschung von 20 Prozent des mineralisierten Stickstoffs ermittelt und im Bezug zum mit der Gülle ausgebrachten Gesamtstickstoff gesetzt.

Betrachtet man die einzelnen Kulturen in Puch, so zeigte sich: Die höchste N-Ausnutzung des durch Rindergülle ausgebrachten Stickstoffs wurde sowohl in der Gesamtwirkung als auch in der Wirkung im Anwendungsjahr innerhalb der dreijährigen Fruchtfolge zu Silomais erzielt (**Tabelle 4**), dicht gefolgt vom Winterweizen. Auffällig schlecht ist die Wirkung jedoch bei der Wintergerste.

#### **Mindestwirksamkeit nach Düngeverordnung erreichbar**

Nach Düngeverordnung (DüV) sind bei der Düngebedarfsermittlung bei Rindergülle im Anwendungsjahr 60 Prozent des Gesamt-N an Mindestwirksamkeit anzurechnen. Dies wurde im Mittel der Jahre in Puch nur bei Silomais mit einem durchschnittlichen MDÄ von 64 Prozent erreicht. Dass bei Silomais dieser Wert erzielt werden konnte, obwohl ca. die Hälfte der organischen Düngung auf die Gerstenstoppel im Vorjahr ausgebracht wurde, ist unter anderem dadurch zu begründen, dass im Versuch die mit Schleppllauch in den Maisbestand ausgebrachte Rindergülle durch Anhäufeln abgedeckt wurde. Diese Maßnahme reduzierte offensichtlich die gasförmigen N-Verluste erfolgreich.

Unter den Versuchsbedingungen verfehlte Winterweizen die Vorgaben der Düngeverordnung nur knapp. Die Wintergerste konnte im Versuch die Forderungen der DüV bei weitem nicht erfüllen (Tabelle 4). Die besonders geringe Ausnutzung des Güllestickstoffs bei Wintergerste im Anwendungsjahr (und damit das

insgesamt niedrige MDÄ) ist auf die nur einmalige Gülledüngung im Herbst vor der Gerstensaart im Versuch zurückzuführen. Es ist davon auszugehen, dass bei einer Frühjahrsdüngung in den Wintergerstenbestand ein weitaus höheres Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) hätte erreicht werden können. Die Ergebnisse bei Wintergerste im Vergleich zu Winterweizen sind zudem ein Hinweis darauf, dass im Herbst gegebener Stickstoff deutlich schlechter ausgenutzt wird als eine N-Düngung im Frühjahr.

Tabelle 4: Stickstoffwirkung (Mineraldüngeräquivalent) von Rindergülle bei den einzelnen Kulturarten (Mittel von 21 Versuchsjahren)

Fruchtart	Mineraldüngeräquivalent	
	Wirkung im Anwendungsjahr	Gesamtwirkung
Silomais	64 %	72 %
Winterweizen	56 %	70 %
Wintergerste	35 %	50 %
<b>Mittel Rotation</b>	<b>52 %</b>	<b>64 %</b>

Nach Düngeverordnung sind darüber hinaus bei der Düngebedarfsermittlung noch 10 Prozent des zur Vorfrucht gegebenen organischen Stickstoffs (Gesamt-N) als N-Nachlieferung anzurechnen. Damit wären zu den Kulturen bzw. in der Rotation insgesamt 70 (60 + 10) Prozent des mit Gülle ausgebrachten Stickstoffs als gesamte Mindestwirksamkeit (MDÄ) zu erreichen gewesen. In Puch konnte dieser Zielwert im Mittel der Jahre 1999-2019 bei Silomais und Winterweizen erreicht werden (Tabelle 4).

Durchschnittlich lag die gesamte N-Ausnutzung der Rindergülle im Versuch um 12 Prozentpunkte (64 Prozent gegenüber 52 Prozent) höher als die Wirkung im Anwendungsjahr. Daraus geht hervor, dass die Berücksichtigung der N-Nachlieferung ein wichtiger Parameter bei der Ermittlung des Düngebedarfs ist. Die Ergebnisse aus Puch deuten darauf hin, dass die Anrechnung von 10 Prozent des im Vorjahr einer Kultur gegebenen organischen Stickstoffs in der Größenordnung gerechtfertigt ist. Der geringe Unterschied zwischen der Wirkung in Anwendungsjahr und der Gesamtwirkung beim Mais ist auf dessen flache Ertragskurve und auf die höheren Güllegaben zurückzuführen.

Nicht eigens dargestellt ist die Entwicklung des MDÄ für die Fruchtfolge im Zeitverlauf. Die Berechnungen zeigten jedoch einen klaren Trend: Bei regelmäßiger Anwendung nimmt die Wirkung von Rindergülle zu. Dies liegt unter anderem daran, dass sich zunehmend mehr organischer Stickstoff im Boden anreichert, woraus pro Jahr etwa 1-3 Prozent mineralisiert werden und dem Pflanzenwachstum zur Verfügung stehen. Daraus folgt für die Praxis, dass sich auf einer bisher nicht organisch gedüngten Fläche durch Rindergülle nicht so viel mineralischer N-Dünger einsparen lässt, wie auf einer langjährig gedüngten.

**Fazit:** Durch Rindergüleeinsatz in der Fruchtfolge kann der Ertrag signifikant gesteigert bzw. der Aufwand an mineralischem N-Dünger deutlich reduziert werden. Dies im Gegensatz zu Stallmist bereits in den ersten Jahren der Anwendung. Die nach Düngeverordnung bei der Düngebedarfsermittlung anzusetzende Mindestwirksamkeit von Rindergülle konnte im 21-jährigen Versuchszeitraum (1999-2019) bei Mais im Anwendungsjahr sowie bei Mais und Weizen in der Gesamtwirkung (inklusive Stickstoffnachlieferung) erreicht werden. Auch die im Versuch ermittelte durchschnittliche Stickstoffnachlieferung von 12 Prozent nach langjähriger Gülledüngung bestätigt die nach Düngeverordnung gesetzten Vorgaben.