

ABSCHLUSSBERICHT

Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln

Organische Düngung in der Fruchtfolge



IMPRESSUM

Titel

Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln

Forschungs-Nr.

2/92

Berichtszeitraum

2015 - 2021

Herausgeber

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft
Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen
Telefon: 03843/789-0
Fax: 03843/789-111
poststelle@lfa.mvnet.de
www.lfamv.de

Autoren

David Buglowski • Telefon: 03843 – 789237
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft
Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen • www.lfamv.de

Mitarbeiter

....

Titelfotos

David Buglowski

Gülzow, 30.09.2022

GEFÖRDERT DURCH



INHALT

1	Zusammenfassung.....	6
2	Einleitung.....	6
3	Material und Methoden	7
3.1	Versuchsstandort	7
3.2	Prüfglieder, Fruchtfolge und Düngung	7
3.3	Emissionsmindernde Maßnahmen	11
3.3.1	Ansäuerung der Gärreste	11
3.3.2	Strip-Till mit Depotdüngung	12
3.4	Mineraldüngeräquivalente	12
3.5	Berechnung der monetären Differenz zwischen den Düngungsstufen.....	13
3.6	Statistische Auswertung	13
3.7	Berechnung der Biogasausbeute	14
3.8	Jahre ohne organische Düngung.....	14
4	Ergebnisse und Diskussion.....	15
4.1	Winterraps.....	15
4.2	Winterweizen.....	21
4.3	Silomais	24
4.4	Wintertriticale	29
4.5	N-Austragsrisiko im Fruchtfolgeglied Winterraps-Winterweizen.....	33
4.6	Emissionsmindernde Gärrestausbringung	34
4.7	N-Düngewirkung und Mineraldüngeräquivalente	36
4.8	Stickstoffverteilung in der Fruchtfolge.....	37
5	Fazit.....	39
6	Offene Fragen.....	40
7	Überleitung	41
7.1	Vorträge	41
7.2	Veröffentlichungen	41
7.3	Poster.....	41
8	Literatur	42
9	Anhang.....	43

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht zu den Prüfgliedern	9
Tabelle 2: N-Düngungshöhe insgesamt und aus Gärresten	9
Tabelle 3: Übersicht zu den angebauten Sorten in den einzelnen Fruchtfolgegliedern.....	10
Tabelle 4: N-Bedarf der angebauten Kulturen	10
Tabelle 5: Überblick Laboranalyse der Gärreste	10
Tabelle 6: Geplante Gärrestmengen nach Kultur und Prüfglied.....	11
Tabelle 7: Kosten durch Düngung unter N-Bedarf im Winterraps	15
Tabelle 8: Kosten durch Düngung unter 100% N-Bedarf im Winterweizen	21
Tabelle 9: N-Saldo, Ertrag und Marktleistung in Abhängigkeit von der N-Düngung	34
Tabelle 10: MDÄ des Gärrest-N.....	37

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Luftbild der Versuchsparzellen (GAIA-MV 2016)	7
Abbildung 2: Parzellenschema des Versuchsfelds am Standort Gülzow	7
Abbildung 3: Versuchstechnik zur Ansäuerung	12
Abbildung 4: Anwendung des Strip-Till Verfahrens	12
Abbildung 5: Grafische Darstellung der MDÄ-Berechnung.....	13
Abbildung 6: Kornertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der N-Düngung.....	16
Abbildung 7: Öl-Ertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der N-Düngung	16
Abbildung 8: Kornertrag und Rohproteingehalt von Winterraps.....	17
Abbildung 9: Kornertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Herbstdüngung	17
Abbildung 10: N-Saldo und N-Effizienz im Winterraps	19
Abbildung 11: Vergleich des Kornertrags und N-Saldo	19
Abbildung 12: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Düngung.....	22
Abbildung 13: RP-Gehalt von Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Düngung.....	22
Abbildung 14: N-Saldo und N-Effizienz im Winterweizen	23
Abbildung 15: TM-Ertrag von Silomais in Abhängigkeit von der N-Düngung	25
Abbildung 16: RP-Gehalt von Silomais in Abhängigkeit von der N-Düngung.....	25
Abbildung 17: Stärkegehalt im Mais nach Düngungsniveau und Jahr (2017 - 2021)	26
Abbildung 18: Energieertrag und Energiegehalt von Mais	26
Abbildung 19: Biogaserträge und -ausbeute von Mais	27
Abbildung 20: N-Saldo und N-Effizienz im	28
Abbildung 21: TM-Ertrag von Wintertriticale in Abhängigkeit von der N-Düngung	30
Abbildung 22: Rohproteingehalte von Wintertriticale	30
Abbildung 23: N-Düngung und N-Entzug von Wintertriticale, 2016-2018 und 2021.....	31
Abbildung 24: N-Saldo und N-Effizienz in Wintertriticale	32

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

DüV	Düngeverordnung
FM	Frischmasse
GPS	Ganzpflanzensilage
GR	Gärrest
KAS	Kalkammonsalpeter
KW	Kalenderwoche
LFA	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
MDÄ _K	Mineraldüngeräquivalent in Bezug auf den Kornertrag
MDÄ _{TM}	Mineraldüngeräquivalent in Bezug auf den TM-Ertrag
MDÄ _{Öl}	Mineraldüngeräquivalent in Bezug auf den Ölertrag
MDÄ _{RP}	Mineraldüngeräquivalent in Bezug auf den Rohproteingehalt
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NI	Niedersachsen
N _t	Gesamt-Stickstoff
PG	Prüfglied
RP	Rohprotein
SH	Schleswig-Holstein
SM	Silomais
TM	Trockenmasse
WRa	Winterraps
WTr	Wintertriticale
WW	Winterweizen
ZWF	Zwischenfrucht

1 Zusammenfassung

Zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie fanden an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Untersuchungen zur Minderung diffuser Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser statt. Ziel der hier vorgestellten Untersuchung war es, den Einsatz von Gärresten zu optimieren, N-Salden und das damit verbundene Auswaschungsrisiko für Stickstoff zu mindern sowie verfügbaren Stickstoff optimal in der Fruchtfolge zu verteilen. Die zur Optimierung des Gärresteinsatzes eingesetzten emissionsmindernden Ausbringungstechniken konnten die N-Effizienz nicht genug steigern, um den N-Saldo signifikant zu mindern, zeigten jedoch eine positive Wirkung auf die Qualität der Ernteprodukte. Des Weiteren war die Düngung von Gärresten sowohl beim Winterraps- als auch beim Winterweizen- und Triticaleanbau mit stark erhöhten N-Salden verbunden, welche jedoch effektiv durch die Anpassung der Gärrestmenge abgesenkt werden konnte. Neben der Düngung zeigte sich auch ein kulturartenbedingtes Risiko für Nährstoffverluste. Beim Anbau von Winterraps war ein vertretbarer N-Saldo auch bei der mineralischen Düngung nach N-Bedarf nicht zu realisieren. Die Herbstdüngung zu Winterraps erhöhte die N-Salden zusätzlich. Daraus ergab sich ein großes Gefährdungspotenzial für Grund- und Oberflächengewässer durch das für Mecklenburg-Vorpommern bedeutende Fruchtfolgeglied aus Winterraps und Winterweizen.

2 Einleitung

Im Jahr 2000 wurde die Wasserrahmenrichtlinie durch die EU-Mitgliedsstaaten „zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“ (WRRL, 2000/60/EG) verabschiedet. Damit soll das Wasser unserer Umwelt, als ein ererbtes und schützenswertes Gut, erhalten und qualitativ verbessert werden. Bis dato erreichen über 90 % der deutschen Gewässer den bis 2027 geforderten guten ökologischen und chemischen Zustand nicht. Die anhaltende Belastung durch Nähr- und Schadstoffe ist auf viele Quellen zurückzuführen. Eine bedeutende bildet die Landwirtschaft. So lassen sich Stickstoff, Phosphor oder Pflanzenschutzmittel in großen Teilen der Gewässer grenzwertüberschreitend nachweisen. Lösungsansätze sind dabei so mannigfaltig wie die auftretenden Probleme bei der Umsetzung. Klar ist, dass Nährstoffausträge auch in Zukunft nicht gänzlich zu vermeiden sind. „Minderung“ ist somit das passende Schlagwort für den möglichen Handlungsrahmen. Dafür wurde mit dem „Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser“ 2011 ein Maßnahmenkatalog durch das Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, Ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern veröffentlicht. Die Gemeinschaftsarbeit des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie, der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, der LMS Landwirtschaftsberatung GmbH im Auftrag des Ministeriums leistete einen essentiellen Beitrag zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Die Grundlage für den vorliegenden Abschlussbericht bildeten die Forschungsvorhaben zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie an der LFA von 2011- 2015 (Heft 55, 2015). Im Konzept des zweiten Bewirtschaftungszeitraums von 2016 - 2021 ist die in diesem Bericht thematisierte Maßnahme 21 „Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln“ aufgeführt. Das Ziel der Maßnahme war es, die Düngewirkung und damit die Gefahr von N-Austrägen bei der Düngung mit flüssig organischen Düngemitteln zu bewerten und Erkenntnisse über die langfristige Nährstoffwirkung von Gärresten zu gewinnen. Der dafür 2015 am Standort Gülzow angelegte Versuch sollte erhöhte N-Salden identifizieren und so den optimalen Einsatz des verfügbaren Stickstoffs möglich machen.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsstandort

Der Versuch wurde 2015 in Gülzow-Prüzen, Mecklenburg-Vorpommern, auf einem Versuchsfeld der LFA angelegt. Mit einem Jahresniederschlag von 557 mm und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,1 °C ist der Standort repräsentativ für MV. Die Humusparabraunerde zeigt eine heterogene Verteilung von Geschiebedecksand über Geschiebelehm und wurde mit der Ackerzahl 46 bewertet. Vor dem Anlegen des Versuchs wurde das Feld über alle vier Teilfelder einheitlich bewirtschaftet und langjährig nicht bzw. nur marginal gedüngt. Diese einheitliche Grundlage war eine wichtige Voraussetzung, um die Auswirkungen der unterschiedlichen Düngermanagements zu erfassen und zu interpretieren.



Abbildung 1: Luftbild der Versuchspartellen (GAIA-MV 2016)

3.2 Prüfglieder, Fruchtfolge und Düngung

Jedes der vier Teilfelder umfasst ca. 2200 m² Anbaufläche, auf der 12 Prüfglieder in drei Wiederholungen untersucht werden. Wie in Abbildung 2 zu sehen, wurde dafür jedes Teilfeld in drei Blöcke mit 12 Parzellen aufgeteilt. Eine Parzelle fügt sich aus 4 Teilparzellen zusammen, den beiden **R**ändern, der **E**rnte- und einer **A**usweichparzelle. Die Ertragsermittlung erfolgte nur auf den beiden Kernparzellen (Ernte- und Ausweichparzelle).

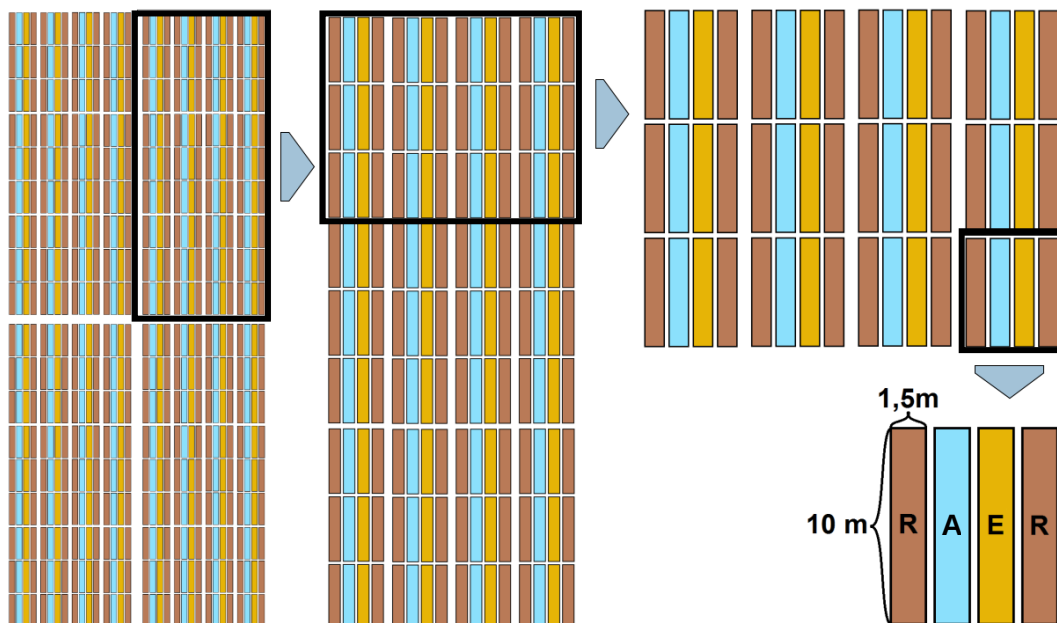


Abbildung 2: Parzellenschema des Versuchsfelds am Standort Gülzow; R: Randparzelle, E: Ernteparzelle, A: Ausweichparzelle

Prüfglieder

Die 12 untersuchten Prüfglieder (Tabelle 1) wurden randomisiert auf den Teilfeldern angeordnet, woraus sich ein feldspezifischer einfaktorieller Zeilen-/Spaltenplan mit dreifacher Wiederholung ergibt (Anhang). Die Prüfglieder bilden je nach [Versuchsfrage](#) teils einander überschneidende Gruppen:

- Die PG 1 – 5 bilden eine **Steigerung der Stickstoffdüngung** ab. Es wird nur **mineralischer Dünger** verwendet und nur im Frühjahr/Frühsummer gedüngt. Diese Prüfglieder dienen der Erfassung der Stickstoff-Düngewirkung des Mineraldüngers und der Einordnung organischer Düngungsvarianten zur Bestimmung des MDÄ. 100% entsprechen dabei der nach DüV maximal zulässigen N-Menge. ([MDÄ von Gärresten](#), [allgemeine N-Effizienz](#))
- Mit den PG 6 – 8 soll die Auswirkung emissionsreduzierter Ausbringungsverfahren (Ansäuerung zu Raps, Weizen und Triticale und Depotdüngung zu Silomais) bei **organischer Düngung im Frühjahr** auf den Wirkungsgrad der gedüngten Gärreste eingeschätzt werden. Die organische Düngung wird dabei teilweise anteilig mit mineralischem N-Dünger ergänzt (Tabelle 2). Die Gesamt-N-Düngungshöhe wurde an 100% DüV ausgerichtet (PG 6, 7) bzw. im Vergleich zu 100 % reduziert (PG 8). ([Effekte emissionsmindernder Gärrestausbringung](#); [MDÄ von Gärresten](#); [N-Nachlieferung](#))
- In den PG 9 – 11 wird die N-Düngung im Herbst in Kombination mit Verbleib des Vorfruchtstrohs auf dem Feld untersucht (nur zu Zwischenfrucht und Winterraps). Das N-Düngeniveau entspricht 100 % DüV. Es werden eine Variante ohne (PG 9) und je eine mit **organischer bzw. mineralischer Herbstdüngung** (PG 10 und 11) verglichen. Das Stroh der Vorfrucht wird dafür geräumt und durch 50 dt/ha Gerstenstroh ersetzt, um einheitliche Bedingungen zu schaffen. ([Wirkungsgrad/N-Effizienz organischer und mineralischer Herbstdüngung](#); [Vorfruchtstrohwirkung](#); [N-Nachlieferung](#))
- Mit dem Prüfglied **organische Düngung im Frühjahr und Herbst** (PG 12) sollen die Effekte optimierter organischer Düngung auf Stickstoff-Nachlieferung und -Salden durch die Kombination von emissionsmindernder Gärrestausbringung im Frühjahr und organischer Herbstdüngung bei Strohverbleib aufgezeigt werden. ([N-Nachlieferung](#); [Wirkungsgrad/N-Effizienz organischer und mineralischer Herbstdüngung](#); [Vorfruchtstrohwirkung](#); [MDÄ von Gärresten](#))

Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln

Tabelle 1: Übersicht zu den Prüfgliedern

PG	Beschreibung	N-Düngung nach N-Bedarf
mineralische Düngung im Frühjahr mit Strohabfuhr		
1	ohne Düngung	0%
2	Düngeniveau Stufe 1	60%
3	Düngeniveau Stufe 2	80%
4	Düngeniveau Stufe 3*	100%
5	Düngeniveau Stufe 4	120%
organische Düngung im Frühjahr mit Strohabfuhr		
6	Standardverfahren	siehe Tab. 2
7	emissionsmindernde Verfahren	
8	emissionsmindernde Verfahren und reduzierte N-Menge	
mineralische/organische Düngung im Herbst mit Strohverbleib		
9	ohne Düngung im Herbst	siehe Tab. 2
10	mineralisch zu Winterraps & Zwischenfrucht	
11	organisch zu Winterraps & Zwischenfrucht	
organische Düngung im Frühjahr und Herbst mit Strohverbleib		
12	optimal kombiniert	siehe Tab. 2

* N-Bedarfshöhe seit Versuchsbeginn entsprechend DüV 2017/2020 berechnet

Tabelle 2: N-Düngungshöhe insgesamt und aus Gärresten

PG	Gärrest		N-Düngung nach N-Bedarf*
	m³/ha	N _t [kg/ha]	
Winterraps			
6	~30	134	100 %
7	~30	134	100 %
8	~20	86	90 %
11	~15	62	100 %
12	~10* + ~25	151	100 %
Winterweizen			
6	~25	108	100 %
7	~25	108	100 %
8	~15	66	85 %
Zwischenfrucht / Silomais			
6	~40	170	80 %
7	~40	171	80 %
8	~30	124	65 %
11	~15	66	90 %
12	~10* + ~30	169	65 %
Wintertriticale			
6	~25	109	100 %
7	~25	109	100 %
8	~15	65	85 %

*Berechnung mit Mindestwerten für die Ausnutzung von Stickstoff aus organischer Düngung nach DüV, Werte gerundet

Fruchtfolge

Auf dem stationär angelegten Versuchsfeld wurde eine Fruchtfolge etabliert. Die Fruchtarten

Winterraps - Winterweizen - Silomais nach Zwischenfrucht - Wintertriticale (GPS Nutzung)

rotieren jährlich zwischen den 4 Teilflächen und bilden Kulturen für viehhaltende Betriebe und/oder Biogasanlagenbetreiber in Mecklenburg-Vorpommern ab. Die Sorten wechselten in den Versuchsjahren (Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht zu den angebauten Sorten in den einzelnen Fruchtfolgegliedern

Kultur	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Winterraps	Visby	Avatar	Avatar	Avatar	Avatar	Ludger
Winterweizen	Julius	Julius	Julius	Julius	Julius	RGT Reform
Zwischenfrucht	Roggen	Viterra Raps	Viterra Raps	Viterra Raps	Viterra Raps	Viterra Raps
Silomais	LG 30223	LG 30223	LG 30223	LG 30223	LG 30223	Amavit (201)
Wintertriticale	Balu PZO	Balu PZO	Tender PZO	Tender PZO	Tender PZO	Tender PZO

N-Düngung

Der N-Bedarf wurde 2015 nach dem Novellierungsentwurf der DüV und seit 2017 nach der gültigen DüV ermittelt. Der Berechnungsansatz blieb also von 2017-2021 gleich. Nur wurde ab 2020 im Winterraps auf Grund von Mindererträgen der Vorjahre das Ertragsniveau angepasst (Tabelle 4). Der für die Berechnung benötigte $N_{\min}$ -Gehalt wurde im Frühjahr jedes Jahres in Parzellen des PG 4 ermittelt. So konnte sichergestellt werden, dass die Abstufungen der PG untereinander konsistent blieben. Die mineralische Stickstoffdüngung beschränkte sich auf die Verwendung von Kalkammonsalpeter. Die Ausbringung erfolgte mittels Parzellenstreuer.

Tabelle 4: N-Bedarf der angebauten Kulturen

Kultur	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	N-Bedarf [kg N/ha]					
Winterraps	210	210	210	210	200	200
Winterweizen	230	230	230	230	230	230
Silomais	200	200	200	200	200	200
Wintertriticale	196	196	196	196	196	196

Die Stickstoffgehalte der Gärreste schwankten von 4 – 4,5 g/kg FM. Der Ammonium-N Anteil lag im Mittel bei 55 %, lediglich 2020 wies die Laboranalyse einen deutlich erhöhten NH_4 -N Gehalt von 72 % auf. Der pH-Wert zeigte sich mit 7,7 – 8 stabil über den Versuchszeitraum (Tabelle 5).

Tabelle 5: Überblick Laboranalyse der Gärreste

Kultur	2016	2017	2018	2019	2020	2021
N_t [g/kg]	4,4	4,5	4,5	4	4,2	4,1
Ammonium [%]	53	55	55	57	72	56
pH-Wert	8	7,7	7,7	7,9	7,9	7,8
TS [%]	9,4	6,3	-	6,5	-	-

Alle Gärreste wurden mittels Schleppschlauchverteiler ausgebracht. Wenn vorgesehen, erfolgte die Einarbeitung umgehend. Technikbedingt ist eine exakte Gärrestausbringung unmöglich. Die geplanten Ausbringungsmengen (Tabelle 6) können daher von den tatsächlich ausgebrachten Mengen mit einer Genauigkeit von $\pm 2 \text{ m}^3$ abweichen.

In den Jahren 2019 und 2020 konnte die Frühjahr-Gärrestdüngung im Winterraps und 2020 im Winterweizen auf Grund später Befahrbarkeit bzw. von technischen Problemen und pandemiebedingten Lieferschwierigkeiten nicht durchgeführt werden. Die betroffenen PG wurden in diesen Jahren rein mineralisch gedüngt. In die Auswertung werden deshalb je nach Versuchsfrage unterschiedliche Versuchsjahre einbezogen, was in unterschiedlichen Kapiteln zu leicht abweichenden Ergebnissen führen kann.

Tabelle 6: Geplante Gärrestmengen nach Kultur und Prüfglied

Kultur	organische Düngung im Herbst [m^3]		organische Düngung im Frühjahr [m^3]			
	PG11	PG12	PG6	PG7	PG8	PG12
Winterraps	15	10	30	30	20	25
Winterweizen	-	-	25	25	15	-
ZWF/Silomais	15	10	40	40	30	30
Wintertriticale	-	-	25	25	15	-

Grunddüngung

Trotz der in den Gärresten enthaltenen Grundnährstoffe und der für die Ansäuerung verwendeten Schwefelsäure wurden Schwefel, Kalium und Phosphor aus versuchstechnischen Gründen jährlich mineralisch einheitlich gedüngt. Die Mengen wurden am PG 4 ausgerichtet, um den Bedarf für alle Flächen abzudecken.

3.3 Emissionsmindernde Maßnahmen

3.3.1 Ansäuerung der Gärreste

Die unbehandelten Gärreste wurden auf das Versuchsfeld geliefert und in einem dafür präparierten Container angesäuert (Abbildung 3). Die im Versuch verwendete Vorgehensweise simuliert die Ansäuerung im Güllelager. Die optimale Durchmischung von Gärresten und Säure wurde durch kontinuierliches Umpumpen realisiert. In den Jahren 2016-2018 wurde 80%ige Milchsäure verwendet, welche direkt in den Container geschüttet wurde. 2019 erfolgte eine Umstellung auf die in der Praxis üblicherweise verwendete Schwefelsäure. Um den Kontakt mit der Säure aus Sicherheitsgründen möglichst gering zu halten, wurde die konzentrierte Schwefelsäure fortan in den Güllestrom am Containerauslass eingeleitet. Die Zugabe der Säure erfolgte bis zur Erreichen des Ziel-pH-Wertes von 6,0 am pH-Meter im Container. Für einen stabilen pH-Wert (Messung im Abstand von ca. 10 min) waren in der Regel $> 30 \text{ l}$ Milchsäure bzw. $> 10 \text{ l}$ der 96 %igen Schwefelsäure je m^3 der Gärreste nötig. Die erhebliche Schaumentwicklung und damit Volumenänderung wurde mittels Schaumstopp (eigentlicher Anwendungsbereich in Spritzbrühe) unterbunden, was aus Kostengründen nur in Versuchsmaßstab möglich ist. Die Ausbringung der angesäuerten Gärreste erfolgte unmittelbar nach der Ansäuerung mittels Schleppschlauchverteiler. Die Ausbringung der unbehandelten Gärreste geschah zeitgleich mit derselben Technik.



Abbildung 3: Versuchstechnik zur Ansäuerung

3.3.2 Strip-Till mit Depotdüngung

Für die Strip-Till Varianten wurde ein Band aus Gärresten, versetzt mit einem Nitrifikationshemmer, in 10-15 cm unter der Saatreihe deponiert. Um eine Beeinflussung durch unterschiedliche Bodenbearbeitung auszuschließen, wurde das gesamte Versuchsfeld mit dem in Abbildung 4 abgebildeten Strip-Till Gerät abgefahren aber nur bei den entsprechenden Parzellen Gärreste abgelegt. Die zum Vergleich streifenförmig oberirdisch ausgebrachten Gärreste wurden unmittelbar nach der Ausbringung flach eingearbeitet. Die Ausbringungstermine waren identisch.



Abbildung 4: Anwendung des Strip-Till Verfahrens

3.4 Mineraldüngeräquivalente

Die Berechnung der Stickstoff-Mineraldüngeräquivalente, nachfolgend nur noch Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) genannt, erfolgte auf Grundlage der mineralischen Steigerung (PG2 - 5). Dafür wurden die mittleren Erträge der Düngungsstufen dem mittleren Stickstoffeinsatz gegenübergestellt und durch eine Polynomfunktion beschrieben, was eine grafische Darstellung in Form einer Steigerungskurve ermöglicht (Abbildung 5). Die durch die organische Düngung erzielten Erträge wurden mit der Funktion gleichgesetzt und die Menge an mineralisch gedüngtem N ermittelt, der nötig gewesen wäre, um identische Erträge zu erzielen (N_{NM}). Die fachlich sinnvolle mineralische Ergänzungsdüngung bei Gärresteinsatz machte jedoch eine weitere Differenzierung für die Bestimmung der MDÄ notwendig. Von der ermittelten mineralischen N-Menge wurde die tatsächlich mineralisch gedüngte N-Menge (N_{MG}) subtrahiert. Der Differenzwert beschreibt die Düngewirkung der Gärreste in Mineraldünger-N. Dieser wurde ins Verhältnis zur N-Menge aus Gärresten (N_G) gesetzt und das MDÄ abgeleitet ($MDÄ = [N_{NM} - N_{MG}] * 100 / N_G$).

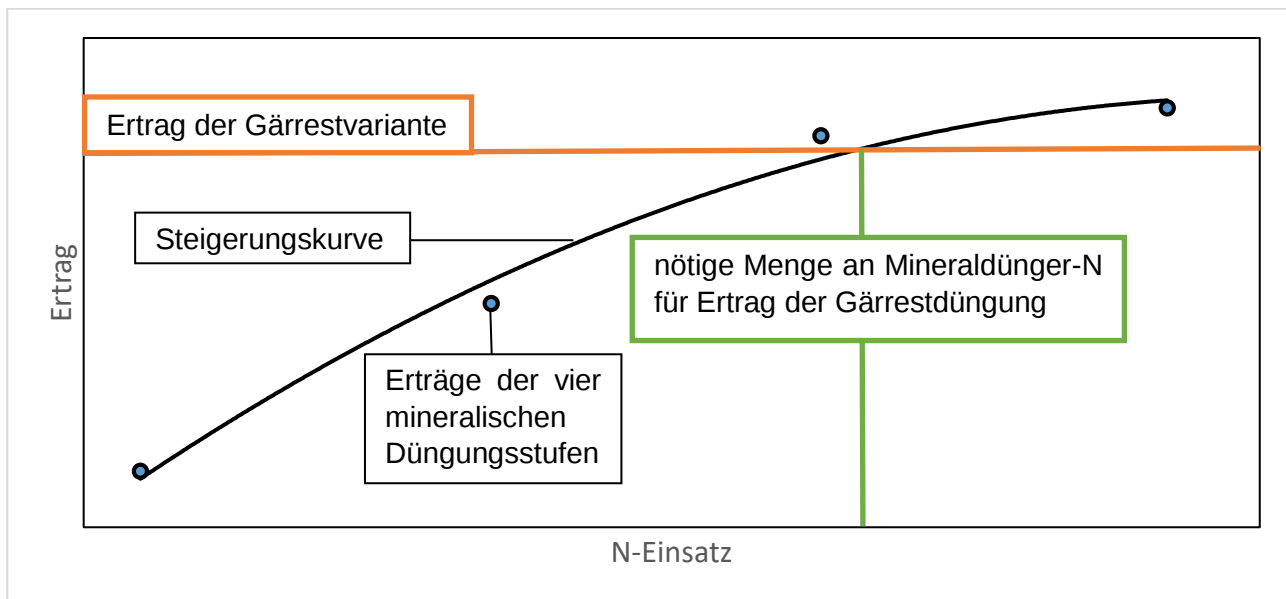


Abbildung 5: Grafische Darstellung der MDÄ-Berechnung

Grundsätzlich ist die Berechnung der MDÄ mit jedem Ertrag möglich. Da der Stickstoffverbleib jedoch eine wichtige Rolle spielt, sollte dieser auch direkt in der Berechnung beachtet werden. Die Mineraldüngeräquivalente wurden in dieser Studie daher über die Rohproteinerträge ermittelt. Alternativ wäre auch eine Berechnung über die N-Abfuhr möglich. Mineraldüngeräquivalente, die lediglich den reinen Korn- oder TM-Ertrag berücksichtigen, können geeignet sein, wenn lediglich die Erträge relevant sind. Im Kontext des Gewässerschutzes ist die Betrachtung des tatsächlichen Stickstoffverbleibs jedoch notwendig.

Probleme der MDÄ Bestimmung traten auf, wenn der Ertrag der mit Gärresten gedüngten Varianten den Ertrag der mineralisch gedüngten Varianten und somit der Steigerungskurve überstieg. In diesen Fällen ist eine Anwendung der o.g. Berechnung nicht zielführend. Bei der Auswertung der Silomais Ergebnisse konnte dennoch ein MDÄ bestimmt werden. Dafür wurde der Mehrertrag gegenüber der Kontrolle, sowohl der organischen als auch mineralischen Düngung ins Verhältnis gesetzt. Im Winterraps war dies nicht möglich, da die organische Düngung stets eine mineralische Ausgleichsdüngung erhielt. Daher wurde das MDÄ der Gärreste im Winterrapsanbau auf 100 % festgelegt, wenn eine genauere Ermittlung nicht möglich war und der Ertrag der Gärrestvariante den Ertrag der mineralischen Düngung überstieg.

3.5 Berechnung der monetären Differenz zwischen den Düngungsstufen

Die monetäre Differenz zwischen den Düngungsstufen ergibt sich aus der Marktleistung subtrahiert um die Kosten des Mineraldüngers. Die Marktleistung ergibt sich aus dem Erzeugerpreis multipliziert mit dem Ertrag. Die Erzeugerpreise für Winterweizen betrugen 265 €/t (A) bzw. 261 €/t (B) und für Winterraps 560 €/t (Agrarfax 2021, 33 KW). Die Mineraldüngerpreise beziehen sich auf die veröffentlichten Zahlen von Agrarfax, aus dem Wirtschaftsjahr 20/21 und betrugen 0,68 €/kg Stickstoff.

3.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte über SAS durch das Anwendungsprogramm PIAFStat Version 7.50. Die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse sowie der Serienverrechnung aller Versuchsjahre sind im Anhang hinterlegt.

3.7 Berechnung der Biogasausbeute

Die Biogasausbeute wurde nach RATH (2016) mit der folgenden Formel berechnet:

$$BGA \left(\frac{l_N}{kg} oTM \right) = 379,88 - 78,66 * ADL + 22,2 * HCEL + 59,34 * XL - 7,34 * XZ$$

ADL: Lignin, HCEL: Hemicellulose, XL: Rohfett, XZ: reduzierter Zucker; alle Inhaltsstoffe in % TM

3.8 Jahre ohne organische Düngung

Es kam im Versuchszeitraum zu Jahren ohne organische Düngung in den Kulturen Raps, Weizen und Triticale. Auslöser war der Ausfall von Versuchstechnik und unbefahrbare Versuchsflächen zum Ausbringungstermin. Für die Bewertung der emissionsmindernden Ausbringungstechnik beschränkt sich die Auswertung daher auf die Jahre, in denen tatsächlich organisch gedüngt wurde.

Jahre in denen keine Gärreste gedüngt wurden:

- 2019 im Winterraps
- 2020 im Winterweizen
- 2019 und 2020 in Wintertriticale

Winterraps

Die Auswertungen zur Frühjahrsdüngung fanden ohne das Jahr 2019 statt.

Die Herbstdüngung konnte wie geplant durchgeführt werden. Daher bezieht sich die Auswertung dazu im Kapitel 4.1 auf den vollständigen Versuchszeitraum (2016 – 2021).

Winterweizen

Das Versuchsjahr 2020 wurde aus der Auswertung ausgeschlossen. Die Ergebnisse im Kapitel 4.2 beziehen sich daher auf die Versuchsjahre 2016 - 2019 sowie 2021.

Wintertriticale

Der adjustierte mittlere TM-Ertrag von Prüfglieder 7 (2016 - 2021), betrug 128 dt/ha und entsprach damit der rein mineralischen Düngung (Prüfglied 4). Der reale Mittelwert unter Ausschluss der Jahre 2019 und 2020 lag bei 117 dt/ha für PG 7 und 114 dt/ha für PG 4. Im Kapitel 4.4 werden die Jahre 2019 und 2020 daher nicht beachtet, um Fehlinterpretationen vorzubeugen.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Winterraps

Die mineralische Düngung entsprechend der DüV führte in den Jahren 2016 - 2018 und 2021 zu einem mittleren Kornertrag von 37,3 dt/ha (Abbildung 6). Es wurde zu Versuchsbeginn eine Ertragserwartung von 45 dt/ha angenommen. Aufgrund der geringen Erträge, die sowohl auf ungünstige Witterung als auch auf veränderte Rahmenbedingungen (Wegfall insektizider Beize) zurückzuführen sind, wurde 2020 die Ertragserwartung reduziert. Bei der Ergebnisbewertung muss dieser Unterschied berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 4). Bei geringerer Ertragserwartung, wie sie durch die Berechnung nach DüV jetzt vorgeschrieben sind, werden die N-Salden in der Praxis geringer ausfallen.

Die mineralische Steigerung eignet sich, die Auswirkung der Düngermenge zu beurteilen. Die Erhöhung der gedüngten Stickstoffmenge um 20 % über den N-Bedarf konnte den Ertrag nicht steigern. Die Reduzierung der gedüngten N-Menge um 20 % verursachte hingegen einen signifikanten Ertragsrückgang um 1,2 dt/ha. Dieser bedeutet eine Differenz von 40 €/ha im Markterlös gegenüber der Düngung nach errechnetem N-Bedarf (560 €/t Raps; 0,68 €/kg N). Die Reduzierung der gedüngten N-Menge um 40 % verursachte einen signifikanten Ertragsrückgang um 2,4 dt/ha und eine Differenz von 80 €/ha im Markterlös zur Düngung nach N-Bedarf. Preisanstiege bei Mineraldünger machen eine Betrachtung der Kosten-Nutzen Effizienz sinnvoll. Unter den angeführten Umständen würde sich die Düngung nach N-Bedarf ab einem Nährstoffpreis für Stickstoff von ca. 1,72 €/kg nicht mehr rentieren. Darüber hinaus können die Kosten der Düngung nicht mehr durch den Erlös aus dem Verkauf des Ernteguts abgedeckt werden (Tabelle 7).

*Tabelle 7: Kosten durch Düngung unter N-Bedarf im Winterraps;
Erzeugerpreis: 560 €/t (Agrarfax; 33. KW 2021)*

Düngungsniveau nach N-Bedarf	Kornertrag [dt/ha]	Ölgehalt [% TM]	Differenz zur Düngung nach 100% N-Bedarf [€/ha]	
			N-Preis: 0,68 €/kg	N-Preis: 1,72 €/kg
80%	36,1	15,7	-40	0
60%	34,9	15,4	-80	+ 4

Die Gärrestdüngung im Frühjahr erzielte mittlere Kornerträge in der Höhe von 37,9-38,9 dt/ha (Abbildung 6). Signifikante Unterschiede waren zwischen konventioneller, emissionsmindernder und reduzierter Gärrestausbringung nicht statistisch nachweisbar. Es konnte ebenfalls kein signifikanter Ertragsunterschied zwischen mineralischen, nach 100% N-Bedarf gedüngten und den organischen Düngungsvarianten festgestellt werden. Somit hatte weder die Düngerform noch das Ansäuern der Gärreste einen nachweisbaren Effekt auf den Kornertrag im Winterraps.

Der einheitliche Kornertrag bei der Düngung nach N-Bedarf (laut DüV) setzte sich im Öl-Gehalt fort. Die Ölerträge ließen sich bei der rein mineralischen Düngung zwischen 80 – 120 % des N-Bedarfs, sowie den organischen Düngungsvarianten nicht unterscheiden (Abbildung 7). Die organische Frühjahrsdüngung nach N-Bedarf (PG 6 und 7) zeigte jedoch höhere Ölgehalte gegenüber der mineralischen Düngung von 60 % des N-Bedarfs sowie gegenüber PG 9, bei dem das Vorfruchtstroh nicht geräumt wurde und keine Herbstdüngung stattgefunden hatte.

Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln

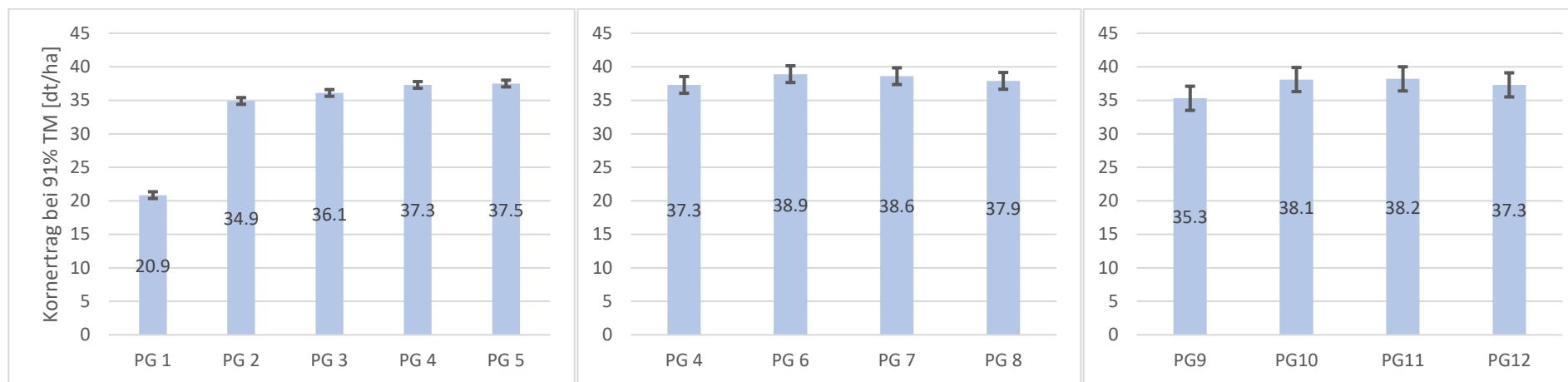


Abbildung 6: Korntrag von Winterraps in Abhängigkeit von der N-Düngung: mineralische N-Steigerung (links), mineralische vs. GR-Düngung im Frühjahr (mittig) und Herstdüngung (rechts), Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016-2018 und 2021)

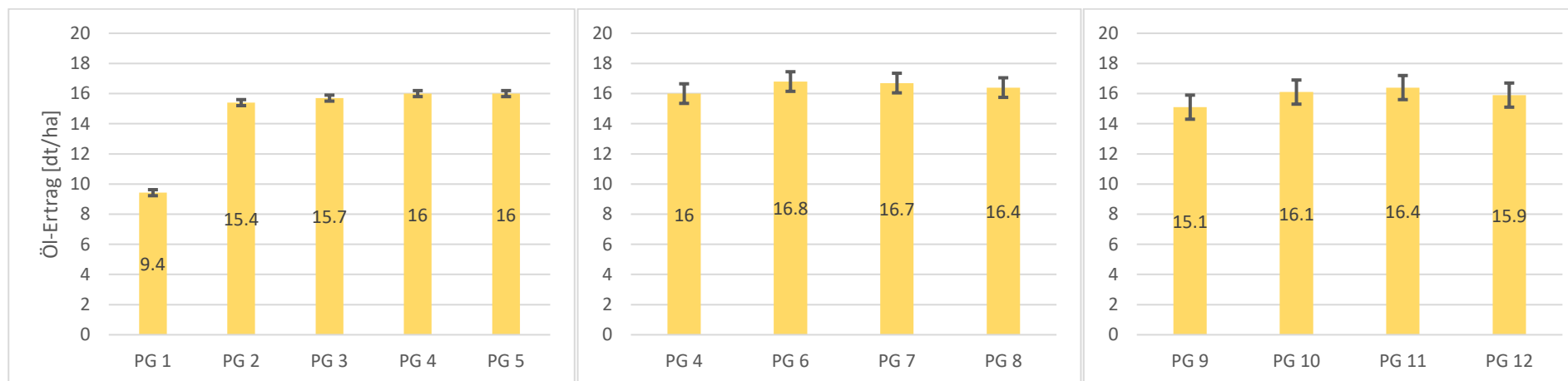


Abbildung 7: Öl-Ertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der N-Düngung: mineralische N-Steigerung (links), mineralische vs. GR-Düngung im Frühjahr (mittig) und Herstdüngung (rechts), Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016-2018 und 2021)

Der Raps zeigte tendenziell eine Steigerung des Rohproteingehalts durch die Ansäuerung der Gärreste. Eine statistische Unterscheidung war jedoch nicht möglich (Abbildung 8). Der Trend der Rohproteingehaltsteigerung bei Ansäuerung zeigte sich signifikant im Winterweizen (siehe Abschnitt 4.2). Dies könnte auf ein methodisches Problem hinweisen. Die Rohproteingehalte im Rapskorn schwankten zwischen den Anbaujahren von 15,8 bis 20,5 % TM, was auf die heterogenen Witterungsbedingungen der Jahre 2016 – 2018 und 2021 zurückzuführen ist. Naheliegender ist, dass die Unterschiede im Rohproteingehalt auf den vom Emittieren bewahrten Stickstoff aus den Gärresten zurückzuführen sind. Dies muss jedoch durch eine längere Messreihe bestätigt werden. Momentan kann bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\leq 5\%$ kein Unterschied nachgewiesen werden.

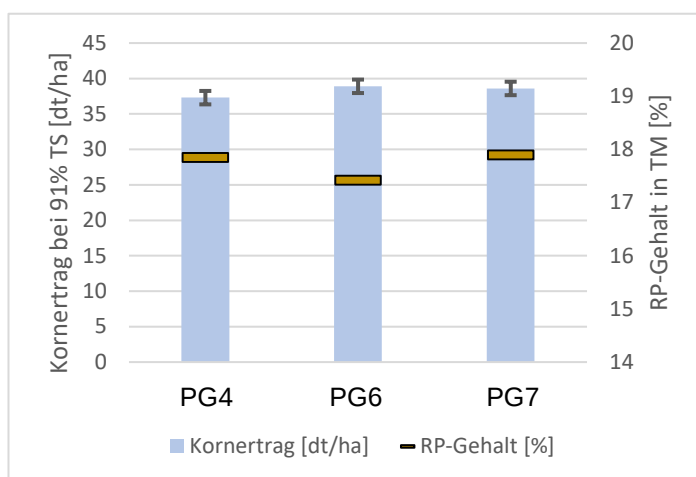


Abbildung 8: Kornertrag und Rohproteingehalt von Winterraps in Abhängigkeit von der N-Düngung, Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016-2018 und 2021)

Der einheitliche Kornertrag bei der Düngung nach N-Bedarf setzte sich im Öl-Gehalt fort. Die Öl-Erträge ließen sich bei der rein mineralischen Düngung zwischen 80-120 % des N-Bedarfs sowie den organischen Düngungsvarianten nicht unterscheiden (Abbildung 7). Die organische Frühjahrsdüngung nach 100% N-Bedarf (PG 6 und 7) zeigte jedoch höhere Ölgehalte gegenüber der mineralischen Düngung von 60% des N-Bedarfs sowie gegenüber PG 9, bei dem das Vorfruchtstroh nicht geräumt wurde und keine Herbstdüngung stattgefunden hatte.

Die Herbstdüngungsvarianten unterschieden sich im Mittel der Jahre jedoch weder im Korn- noch im Öl-Ertrag. Trotz der Ertragsunterschiede in den einzelnen Versuchsjahren konnte im Mittel der Jahre kein signifikanter Mehrertrag durch die Herbstdüngung festgestellt werden (Abbildung 6, Abbildung 7), was sich mit Ergebnissen vergleichbarer Untersuchungen deckt (GRUNERT 2016, PETERS & SCHULZ 2016). Bei großen Strohmenzen der Vorfrucht, niedrigen N_{min} -Gehalten, einem offensichtlichen N-Mangel oder stagnierender Pflanzenentwicklung wird eine N-Gabe im Herbst dennoch empfohlen und kann in Einzeljahren erfolgreich sein. Die obligatorische Beschränkung der Stickstoffdüngemenge durch die Düngeverordnung macht jedoch ein genaues Abwägen der Düngezeit notwendig, um den Pflanzen ausreichend Stickstoff für das Frühjahr vorzuhalten.

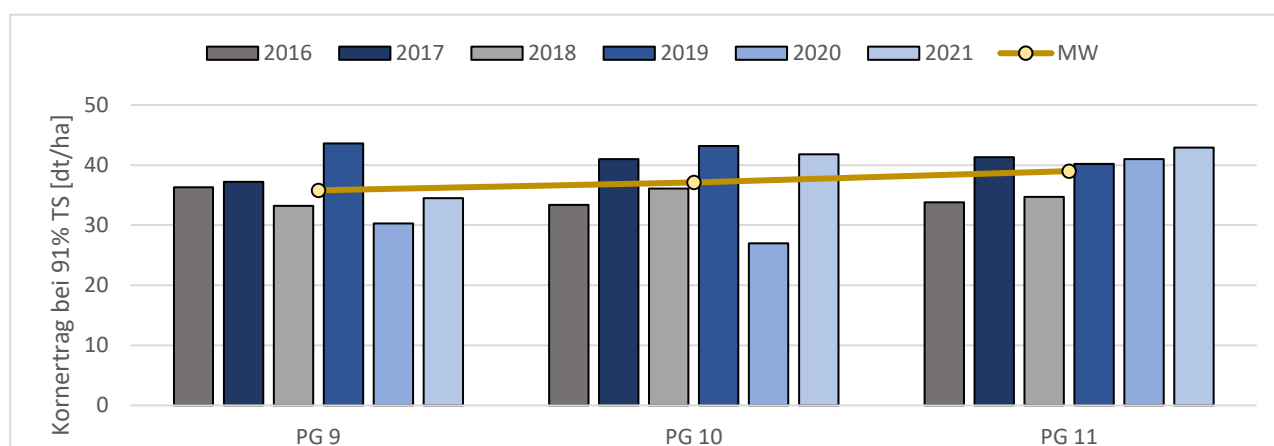


Abbildung 9: Kornertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Herbstdüngung nach Versuchsjahren; MW: Mittelwert der Versuchsjahre

In den Jahren 2016, 2019 sowie 2020 führte die Herbstdüngung nicht zu Mehrerträgen. Lediglich 2017 und 2021 konnten Mehrerträge durch die Herbstdüngung statistisch bestätigt werden. 2018 zeigten sich ähnliche Tendenzen, die auf Grund der trockenheitsbedingt niedrigen Erträge nicht ausgeprägt genug waren, um statistisch erfasst zu werden. Die Trockenheit im Herbst 2019 verursachte insgesamt eine schlechte Bestandsetablierung und zeigte zur Ernte 2020 ihre ertragsmindernde Wirkung. Mit Stroh zeigte sich der Einfluss der Strohmatten einen Monat nach der Aussaat in einem Boden-Bedeckungsgrad durch Rapspflanzen von ca. 10 % (5 – 30 %). Ohne Strohmatten lag der Boden-Bedeckungsgrad durch Rapspflanzen bei ca. 50 % (25 – 80 %). Erstaunlich waren die Unterschiede in Abhängigkeit von der Düngungsform. Während in keinem anderem Jahr nennenswerte Ertragsunterschiede zwischen organischer und mineralischer Herbstdüngung beobachtet wurden, konnte 2020 ein Ertragsvorteil der organischen Herbstdüngung von 16 dt/ha erfasst werden. Die organische Düngung erfolgte am 13.08.2019, zehn Tage vor der Aussaat und die mineralische am 26.08.2019 vier Tage danach. Diese Einzelbeobachtung zeigt einen häufig vermuteten Vorteil der organischen Düngung unter schlechten Bedingungen. So kommt PETERS 2021 zu dem Schluss, dass auf einem sandigen Grenzstandort bei identischer Gesamtdüngungshöhe die organische Herbstdüngung zu Mehrerträgen gegenüber der mineralischen führt. Ob die Vorteile durch ein größeres Nährstoffspektrum, dem schnell verfügbaren Ammonium-N und/oder das, mit der organischen Düngung ausgebrachte Wasser verursacht werden, ist nicht klar und bedarf weiterer Untersuchungen.

Korn- und Ölerträge reagierten im Winterraps nur wenig auf ein verändertes Düngeregime, während der N-Saldo schnell ein zu hohes Düngungsniveau offenbarte. Der N-Saldo stieg im Mittel der Jahre 2016 – 2018 und 2021 entsprechend zum ausgebrachten N_t bis auf 155 kg N/ha (Ausbringungsverluste nicht beachtet), verursacht durch die organische Frühjahrs- und Herbstdüngung im PG12 (Abbildung 10). Der geringste N-Saldo trotz Stickstoffdüngung wurde bei der Düngung von 60 % des N-Bedarfs mit 10 kg N/ha gemessen. Bei der Betrachtung von PG 2 bis 5 zeigte sich, dass das Verhältnis von reduziert gedüngter Stickstoffmenge zu reduziertem N-Saldo 1:1 war, wenn mineralisch gedüngt wurde. Die Reduzierung des N-Saldos über die Reduzierung des gedüngten Stickstoffs war somit die effektivste Methode zur Saldenreduzierung. Die N-Effizienz nahm dabei in der mineralischen Steigerung von 88 % (PG 2) auf 46 % (PG 5) stetig ab und erreichte damit das Niveau der organischen Frühjahrsdüngung.

Mit N-Salden um 130 kg N/ha kann von einem deutlich erhöhten Auswaschungsrisiko durch die organische Frühjahrsdüngung ausgegangen werden. Dies besserte sich auch nicht durch die emissionsmindernde Ausbringung. Jedoch dürfte die Berücksichtigung des geringeren Ertragsniveaus beim Winterraps und damit eine geringere Gesamt-Düngungsmenge zur Reduzierung des N-Saldos beitragen. Die organische Düngung von 30 m³ Gärresten war demnach zu hoch für den N-Saldo aber ackerbaulich sinnvoll um den Ertrag zu halten. Bedenkt man das Verhältnis zwischen Dünger- und Saldenreduktion, wäre eine Reduktion der N-Menge über Gärreste von ~50 kg/ha nötig, um auf das Niveau der mineralischen Düngung zu gelangen. Die Reduzierung der Gärrestmenge auf 20 m³ (PG 8) zeigte sich in einer Effizienzsteigerung von ca. 10 % und mit einem N-Saldo von 87 kg N/ha auf dem Niveau der mineralischen Düngung. Der reduzierte N-Saldo entspricht dabei mit ~40 kg/ha der Menge N_t aus den 10 m³ Gärresten, die nicht ausgebracht wurden. Die niedrige N-Effizienz der Herbstdüngungsvarianten deutet auf einen ähnlichen Zusammenhang hin.

Die Prüfglieder mit Strohverbleib zeigten eine N-Effizienz von 40-50 % mit N-Salden >100kg/ha, wenn im Herbst gedüngt wurde. Auch hier scheint die ausgebrachte Stickstoffmenge über dem Bedarf zu liegen, was durch die fehlende Ertragswirkung bestätigt wurde. Im Mittel der Jahre wurden bei der Düngung nach 100 % N-Bedarf nur die Hälfte des gedüngten Stickstoffs düngewirksam, was die Hauptursache für die hohen N-Salden darstellte. Um das Auswaschungsrisiko zu senken, ist es demnach nötig, auf die organische Frühjahrsdüngung von >20 m³ sowie auf die Herbstdüngung zu verzichten. Zu beachten ist, dass im Versuch die organische N-Herbstdüngung zu 30 % und die mineralische N-Düngung gar nicht auf den N-Bedarf im Frühjahr angerechnet wurden. Die

Düngeverordnung schreibt seit 2021 höhere Anrechnungswerte vor. Die N-Salden werden dadurch geringer ausfallen.

Eine Reduktion des Düngungsniveaus hat deutliche Effekte auf den N-Saldo (Abbildung 10). Die N-Düngung von lediglich 80 % des N-Bedarfs führte in der mineralischen Variante (vgl. PG 3 und PG 4) zu einem um 33 kg/ha geringerem N-Saldo. In den organischen Varianten (vgl. PG 7 und PG 8) konnte der N-Saldo um 40 kg/ha reduziert werden. Bei einer Düngung von nur 60 % des Bedarfs konnte bei rein mineralischer Düngung ein Rückgang des N-Saldos um 72 kg/ha gegenüber der Düngung nach 100% N-Bedarf erfasst werden.

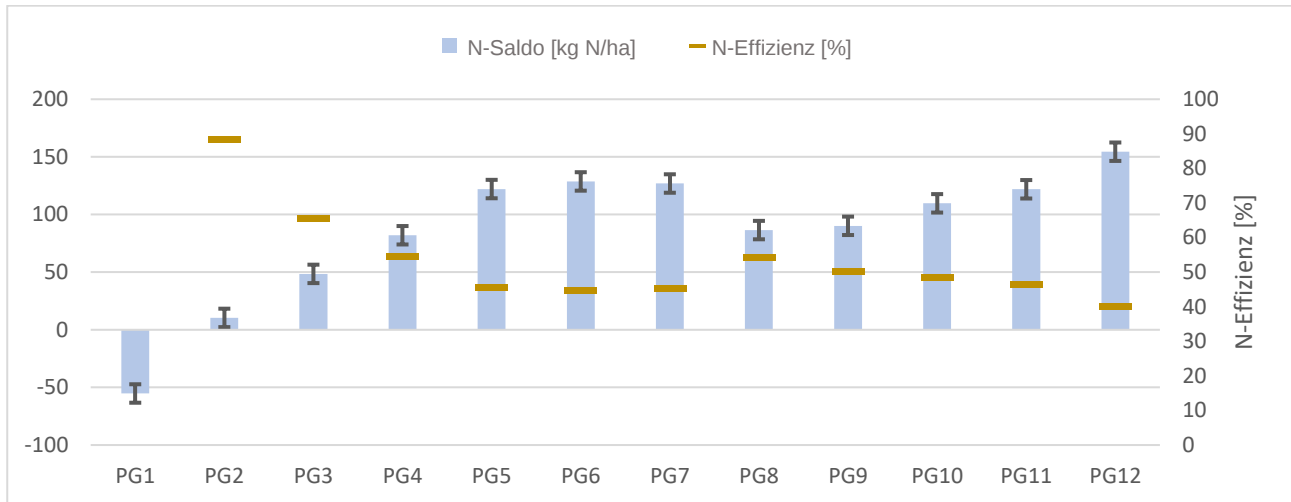


Abbildung 10: N-Saldo und N-Effizienz im Winterraps in Abhängigkeit von der N-Düngung, Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016-2018 und 2021)

Im Gegensatz zur Herbstdüngung zeigt der Strohverbleib der Vorfrucht einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag. Bei sonst identischer Düngung wurde im Mittel ein Mehrertrag von 4 dt/ha erfasst, wenn das Stroh abgefahren wurde (Abbildung 11). Das Stroh zu räumen war somit ertragswirksam, wenn im Herbst nicht gedüngt wurde. Die Herbstdüngung hatte keine Auswirkungen auf den Ertrag, was zu erhöhten N-Salden bei Herbstdüngung führte. Der Unterschied zwischen organischer und mineralischer Herbstdüngung war im Kornertrag statistisch nicht zu erfassen.

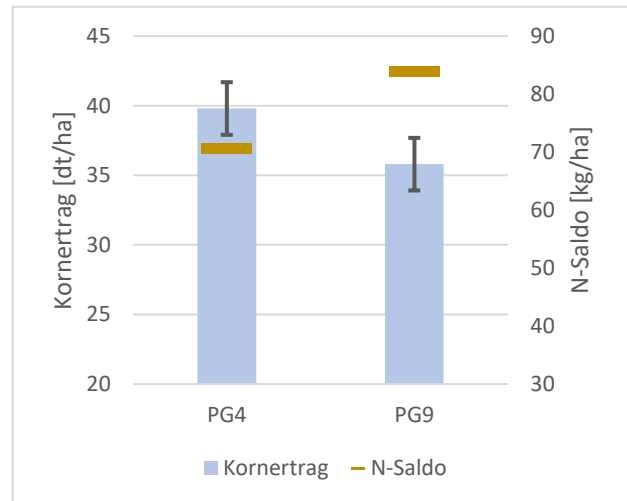


Abbildung 11: Vergleich des Kornertrags und N-Saldo in Abhängigkeit vom Strohmanagement der Vorfrucht, Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016 – 2021)

Zusammenfassend hat die Untersuchung im Rapsanbau ergeben, dass die Reduzierung der N-Salden nur bei einer Düngung unterhalb des N-Bedarfs nach 100 % DüV möglich war. Aus einer reduzierten Düngung folgten jedoch Ertragseinbußen. Dies deutet darauf hin, dass die Düngung nach 100 % des N-Bedarfs nahe beim Optimum hinsichtlich der Kornerträge lag. Die Reduzierung der Düngermenge verursachte folglich stets monetäre Verluste. Bei hohen Düngerpreisen oder einer auferlegten Reduzierung der gedüngten N-Menge ist eine genaue Kalkulation notwendig um die monetären Verluste gering zu halten. So kann die Ersparnis durch Reduzierung der gedüngten Stickstoffmenge den Verlust durch den geminderten Kornertrag minimieren.

Die emissionsmindernde Technik der Gärrestansäuerung hätte, auf Grund fehlender Ertragssteigerung und unbeeinflusster N-Salden, keinen monetären Nutzen beim Anbau von Winterraps. Herausgestellt werden kann jedoch die belegte emissionsmindernde Wirkung der Ansäuerungstechnik (BULL 2016, SEIDEL 2017, KUPPER 2017, NEUMANN 2019). So kann die Ansäuerungstechnik dabei helfen, Ammoniakemissionen zu mindern und so die auf EU-Ebene gültige Richtlinie über nationale Emissionshöchstmenge (NEC-Richtlinie 2016) einzuhalten. Die gleichzeitige Minderung diffuser Nährstoffeinträge gegenüber konventioneller Gärrestausbringung hat darüber hinaus einen direkten Nutzen für den Schutz der Oberflächengewässer. Da die organische Düngung jedoch unabhängig von der Ausbringungstechnik mit hohen N-Salden verbunden war, bleibt nur die Reduzierung flüssiger Wirtschaftsdünger, um die N-Salden und damit das Auswaschungsrisiko im Winterrapsanbau zu minimieren, ohne Kompensierung sind dabei jedoch Ertragsverluste zu erwarten.

Auch wenn die hohen Salden auf überzogenen Ertragserwartungen beruhten, sind vor allem die Ertragsschwankungen durch heterogene Witterungsbedingungen zusammen mit einer Gärrestdüngung für Saldenspitzen verantwortlich. Extremjahre lassen sich nur schwer kalkulieren, die Menge an auszubringenden Gärresten hingegen schon. In Anbausystemen mit Strohverbleib vor der Rapssaat, ist die Räumung der Saatreihe von Stroh für den Anbauerfolg von größter Bedeutung. Mulchsaatmaschinen mit Räumscheiben können eine Lösung sein, wenn auf intensive Einmischung verzichtet werden soll oder die Strohhorte bei trockenem Boden nicht in Gang kommt.

4.2 Winterweizen

Die mineralische Düngung nach 100 % N-Bedarf führte im Mittel der Jahre 2016 - 2019 und 2021 zu einem Kornertrag von 71 dt/ha mit einem RP-Gehalt von 13 % TM (Abbildung 12, Abbildung 13). Die Erhöhung der gedüngten Stickstoffmenge um 20 % steigerte den Ertrag nicht, jedoch den Rohproteingehalt um 0,7 Prozentpunkte. Die Reduzierung der gedüngten N-Menge um 20 % verursachte einen signifikanten Ertragsrückgang von 6,3 dt/ha und -0,7 Prozentpunkte im RP-Gehalt. Die Reduzierung der gedüngten N-Menge um 40 % verursachte einen signifikanten Ertragsrückgang um 9,7 dt/ha wobei der RP-Gehalt um 1,8 Prozentpunkte fiel. Ohne Düngung konnten 31 dt/ha mit einem RP-Gehalt von 10 % TM geerntet werden. Das hohe monetäre Verlustpotenzial wird bei diesen Zahlen schnell deutlich. Bereits eine Unterschreitung von 20 % des N-Bedarfs führten zu spürbaren Mindererträgen, die einen Verlust von -165 €/ha bei einem Stickstoffpreis von 0,68 €/kg verursachten. Die Reduzierung der gedüngten N-Menge um 40 % verursachte durch die Ertrags- und Qualitätsminderung, bei den angenommenen Erzeuger- und Mineraldüngerpreisen, einen Verlust von 218 €. Im Gegensatz zum Rapsanbau, (siehe Abschnitt 4.1) kompensiert sich der Ertragsverlust erst ab einem Stickstoffpreis von 4,13 €/kg. Da ein so gewaltiger Preisanstieg unwahrscheinlich ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Reduzierung der Mineraldüngermenge zu Winterweizen auch zukünftig nicht monetär lohnen wird.

*Tabelle 8: Kosten durch Düngung unter 100% N-Bedarf im Winterweizen;
Erzeugerpreis: A-Weizen 265 €/t; B-Weizen 261 €/t (Agrarfax; 33. KW 2021)*

Düngungsniveau nach N-Bedarf	Kornertrag [dt/ha]	Rohproteingehalt [% TM]	Differenz zur Düngung nach 100% N-Bedarf [€/ha]	
			N-Preis: 0,68 €/kg	N-Preis: 4,34 €/kg
80%	64,8	12,3	-165	0
60%	61,4	11,2	-218	+108

Die Gärrestdüngung im Frühjahr erzielte in den Jahren 2016 – 2019 und 2021 mittlere Kornerträge in der Höhe von 70,3 – 71,2 dt/ha. Signifikante Unterschiede im Ertrag waren zwischen konventioneller, emissionsmindernder und reduzierter Gärrestausringung nicht nachweisbar. Es konnte ebenfalls kein signifikanter Ertragsunterschied zwischen mineralischer, nach 100 % N-Bedarf gedüngten und den organischen Düngungsvarianten festgestellt werden (Abbildung 12).

Die konventionelle Gärrestdüngung im Frühjahr (PG 6) erzielte einen mittleren Rohproteingehalt von 12,7 % TM. Durch die emissionsmindernde Ausbringung steigerte sich der Rohproteingehalt um 0,7 Prozentpunkte auf das Niveau der mineralischen Düngung. Durch die Reduzierung der Gärrestmenge von 25 auf 15 m³ sank der Rohproteingehalt wieder um 0,4 Prozentpunkte, im Vergleich zur konventionellen Ausbringung.

Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln

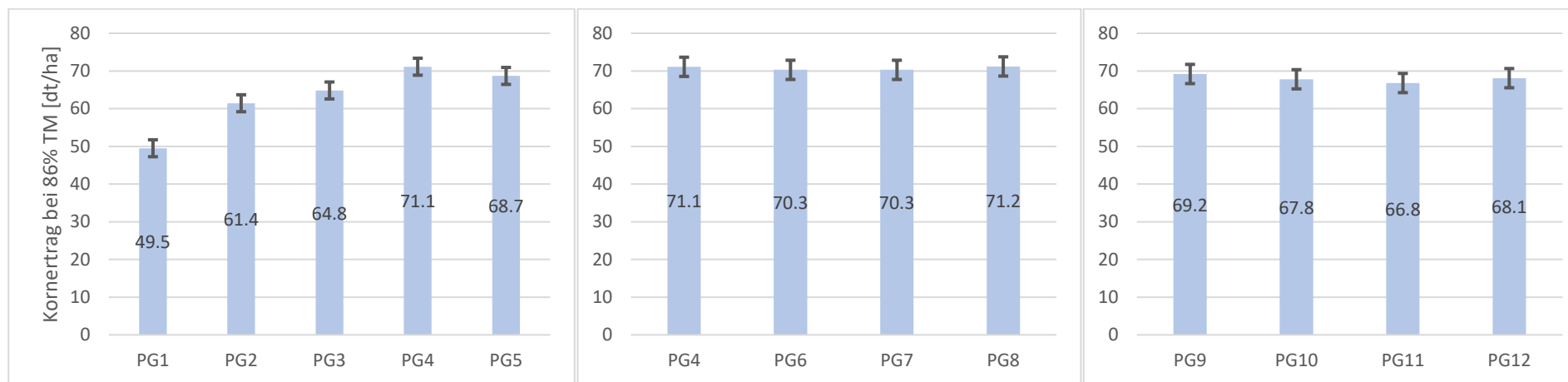


Abbildung 12: Korntrag von Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Düngung: mineralische N-Steigerung (links), mineralische vs. GR-Düngung im Frühjahr (mittig) und Herstdüngung (rechts), Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016-2019 und 2021)

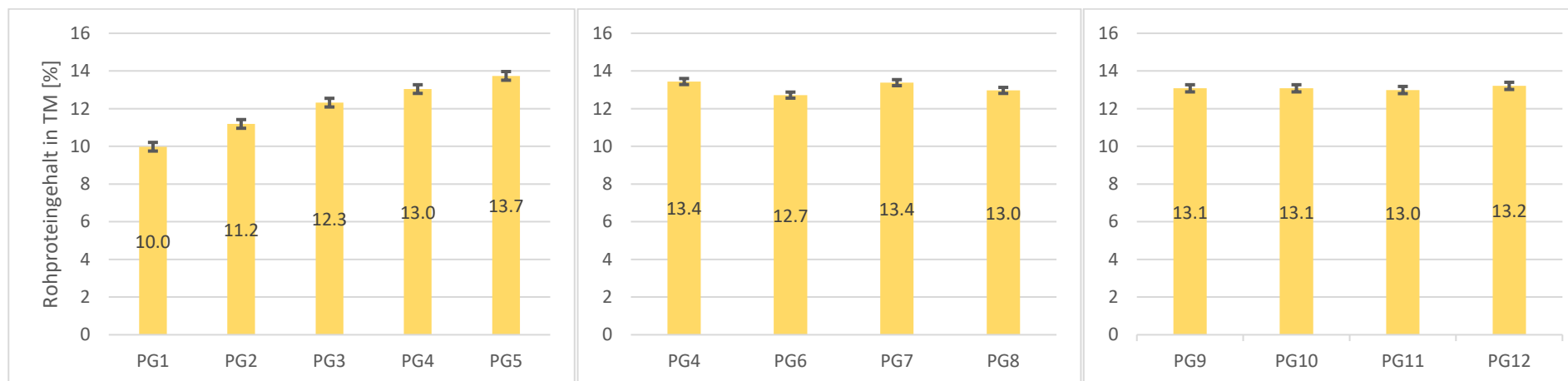


Abbildung 13: RP-Gehalt von Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Düngung: mineralische N-Steigerung (links), mineralische vs. GR-Düngung im Frühjahr (mittig) und Herstdüngung (rechts), Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016-2019 und 2021)

Der geringe Einfluss der Ansäuerungstechnik auf den Kornertrag im Weizen bestätigt die Ergebnisse im Rahmen des „Baltic-Slurry“ Projekts bei TAMM 2017, PELTONEN 2017 (Sommerweizen). In den Studien zeigten sich ebenfalls keine Ertragsunterschiede, jedoch auch keine Unterschiede im Rohproteingehalt. BIRKMOSE (2013) verweist jedoch auf 55 dänische Feldversuche aus den Jahren 2007 bis 2012, laut derer ein Ertragszuwachs von 1,7 dt/ha je 100 kg N_t aus angesäuerter Gülle ausgemacht wurde. Dabei handelt es sich jedoch um Hochrechnung an Hand der ermittelten Mineraldüngeräquivalente und nicht um die tatsächliche Düngewirkung angesäuerter Gülle/Gärreste. Klar scheint, dass zumindest hohe Ertragssteigerungen durch die Ansäuerungstechnik im Winterweizenanbau nicht zu erwarten sind. Der Einfluss auf den Proteingehalt und somit auf die N-Abfuhr konnte jedoch nachgewiesen werden, spiegelte sich jedoch auf Grund niedriger Werte nicht in signifikanten Unterschieden im N-Saldo wider (Abbildung 14).

Die Düngung von 25 m³ Gärresten verursachte um ca. 50 kg/ha höhere N-Salden als die mineralische Düngung. Die Reduzierung der Gärrestmenge auf 15 m³ ohne die mineralische Ausgleichsdüngung anzupassen, führte zu N-Salden auf dem Niveau der mineralischen 100 % Düngung. Die gedüngte N-Menge blieb dabei 20 % unter dem N-Bedarf, was zu 0,4 Prozentpunkten geringeren Rohproteingehalten führte, den Kornertrag jedoch nicht beeinflusste. Die durch die Reduzierung der N-Menge nachgewiesenen Ertragsverluste der rein mineralischen Düngung blieben somit aus, was Nachlieferungseffekte der organischen Düngung aus den Vorjahren vermuten lässt. In den Prüfgliedern 9 bis 12 betrug der Kornertrag 66,8 - 69,2 dt/ha mit Rohproteingehalten von 13 - 13,2 % TM. Signifikante Unterschiede wurden nicht festgestellt. Lediglich im N-Saldo und der N-Effizienz zeigten sich tendenzielle Unterschiede durch die Kombination aus organische Frühjahr- und Herbstdüngung (PG 12). Nachlieferungseffekte der organischen Düngung der Vorjahre konnten somit nicht bestätigt werden. Naheliegend ist es, die Ursache im geringeren Gärresteinsatz zu vermuten. Während die organische Frühjahrsdüngung der PG 6 - 8 jährlich über die gesamte Fruchtfolge gedüngt wurde, erhielten die Herbstdüngungsvarianten lediglich im Herbst (PG 11) sowie Herbst und Frühjahr (PG 12) zu Winterraps und ZWF/Silomais Gärreste.

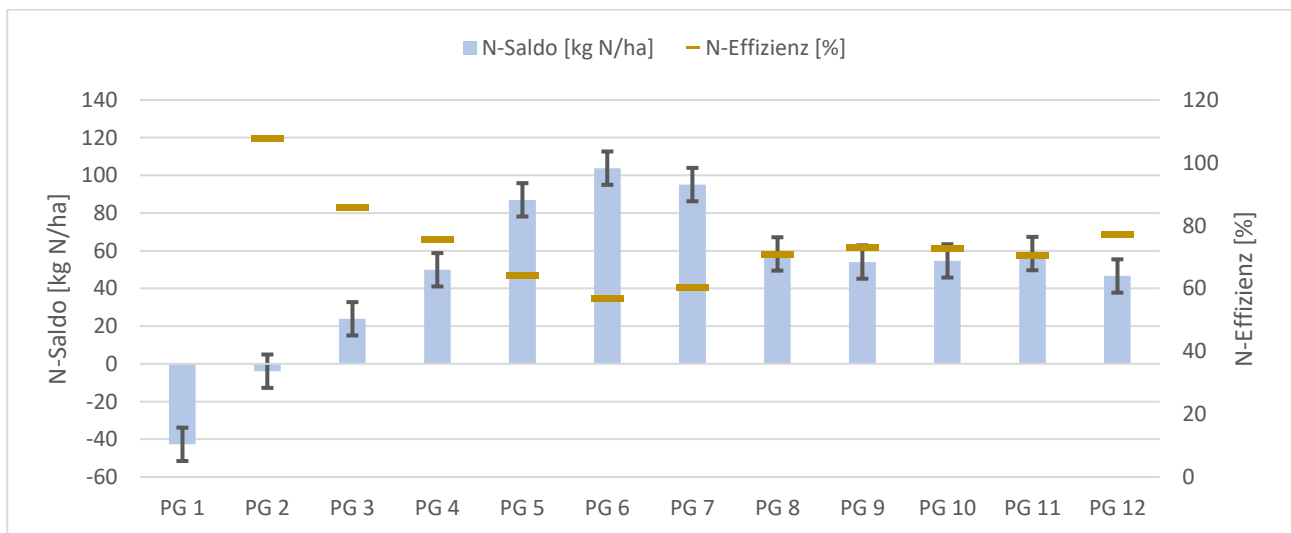


Abbildung 14: N-Saldo und N-Effizienz im Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Düngung, Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$; 2016-2019 und 2021)

Zusammenfassend hat die Untersuchung im Weizenanbau ergeben, dass die Reduzierung der N-Salden, wie auch beim Rapsanbau, nur durch die Reduzierung der Düngermenge möglich war. Die daraus resultierenden Ertragseinbußen verursachen auch bei hohen Düngerpreisen monetäre Verluste. Die emissionsmindernde Technik der Gärrestansäuerung zeigte eine signifikante Wirkung auf den für die Qualität wichtigen Rohproteingehalt. Damit zeigte sich neben der emissionsmindernden Wirkung ein praktischer Nutzen für den Weizenanbau.

Die organische Düngung vom 25 m³ Gärresten verursachte im Weizen deutlich höhere N-Salden gegenüber der mineralischen Düngung und der Düngung von lediglich 15 m³ Gärresten. Somit ist auch hier bei Gärresteinsatz auf kurze Brachezeiten und Folgekulturen mit gutem N-Aufnahmevermögen im Herbst zu achten, um unnötige Nährstoffeinträge zu vermeiden.

4.3 Silomais

Wie für Düngungsversuche mit Mais zu erwarten, sind kaum signifikante Ertragsunterschiede durch unterschiedliche Düngungshöhen ermittelt worden (Abbildung 15). Lediglich die Variante ohne N-Düngung fällt im Ertrag deutlich ab (nicht dargestellt). Der Maximalertrag der mineralischen Düngung lag im Mittel der Jahre bei 164 bis 169 dt/ha. Der Unterschied zur Düngung von 60 % des N-Bedarfs betrug im Mittel der 6 Versuchsjahre mit 160 dt/ha somit lediglich 4 – 9 dt/ha, die Grenzdifferenz zur statistischen Unterscheidung lag bei 8,2. Die organische Düngung zeigte mit 172 – 173 dt/ha die erwartungsgemäß höchsten Erträge. Eine signifikante Abgrenzung zur mineralischen Düngung war jedoch nicht möglich. Die emissionsmindernde Gärrestausbringung mittels Depotdüngung im Strip-Till Verfahren (PG 7) zeigte im Vergleich zur Ausbringung mittels Schleppschläuchen keinen Effekt auf den TM-Ertrag (vgl. PG 6). Das kann auf die guten Ausbringungsbedingungen und das zeitnahe Einarbeiten der mittels Schleppschläuchen ausgebrachten Gärreste zurückgeführt werden. Dadurch wurden die N-Verluste bei oberflächiger Ausbringung geringgehalten, was zu einer geringeren Differenz der potenziellen pflanzenverfügbaren Stickstoffmenge zwischen den Ausbringungsvarianten führte. Ungünstige Bedingungen mit höherem Verlustpotenzial sind in der Praxis jedoch wahrscheinlicher und die Vorteile der direkten Ablage der Gärreste in den Boden möglicherweise deutlicher. Der Strohverbleib und die Düngung zur Zwischenfrucht im Herbst zeigte im Vergleich (PG 9 – 12) keine wesentlichen Ertragsunterschiede. Auffällig war jedoch, dass bei Strohverbleib ohne Herbst-Düngung (PG 9) im Mittel der Jahre scheinbar höhere Erträge erzielt wurden (nicht signifikant). Nach genauer Betrachtung der Einzeljahresergebnisse ist jedoch eine Bevorteilung der entsprechenden Parzellen durch bessere Bodengüte wahrscheinlich. Ein Ertragsvorteil durch die Strohräumung zur Zwischenfrucht konnte aber ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse zu den Rohproteingehalten zeigten ein vergleichbares Bild wie die Ergebnisse zum TM-Ertrag (Abbildung 16). Die geringsten Gehalte an Rohprotein in der TM waren bei der mineralischen Düngung von 60 % des N-Bedarfs zu finden. Auch hier zeigten sich ein Unterschied zu den mineralischen und den organischen Düngungsvarianten nach 100%-N-Bedarf, sowie zu PG 8. Im Gegensatz zum TM-Ertrag führte die Reduzierung der Gärrestmenge um 10 m³ und damit die Unterschreitung des N-Bedarfs um ca. 35 % nicht zum Abfall des Rohproteingehalts. Die Varianten mit organischer Frühjahrsdüngung und die Herbstdüngungsvarianten ließen sich nicht statistisch voneinander abgrenzen.

Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln

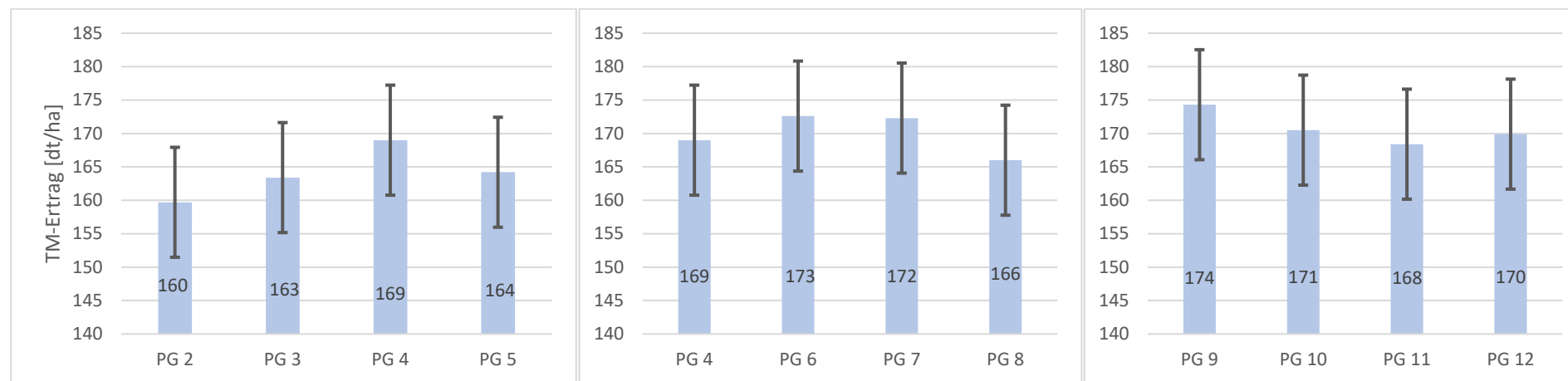


Abbildung 15: TM-Ertrag von Silomais in Abhängigkeit von der N-Düngung: mineralische N-Steigerung (links), mineralische vs. GR-Düngung im Frühjahr (mittig) und Herbstdüngung (rechts), Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016-2021)

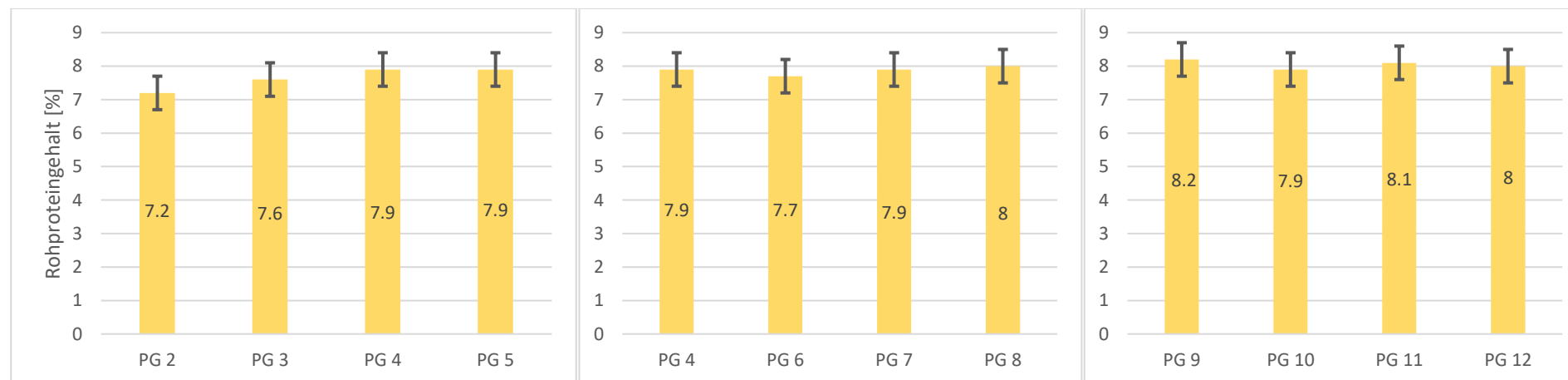


Abbildung 16: RP-Gehalt von Silomais in Abhängigkeit von der N-Düngung: mineralische N-Steigerung (links), mineralische vs. GR-Düngung im Frühjahr (mittig) und Herbstdüngung (rechts), Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2017-2021)

Der Stärkegehalt ist ein entscheidender Faktor für die Qualität von Mais. Das zeigen sowohl Korrelationen im Methanertrag als auch der Energiegehalt. Wie wenig Einfluss die Düngungshöhe auf den Gehalt an Stärke hatte, ist in Abbildung 17 zu sehen. Im Mittel der Jahre schwankten die Gehalte von 26 bis 29 % in der TM. Die Düngungshöhe änderte sich dabei von 0 bis 184 kg N/ha. Die höchsten Stärkegehalte wurden jedoch bereits bei einer Düngung von 64 kg N/ha (60 % des N-Bedarfs) erzielt und waren signifikant höher als in der ungedüngten Variante. Ein signifikanter Unterschied zu einem höheren Düngungsniveau konnte nicht gefunden werden. Auch der Vergleich von organischer und mineralischer Düngung zeigte im Mittel der Jahre keine Unterschiede. Lediglich 2021 schien die organische Düngung den Stärkegehalt positiv zu beeinflussen.

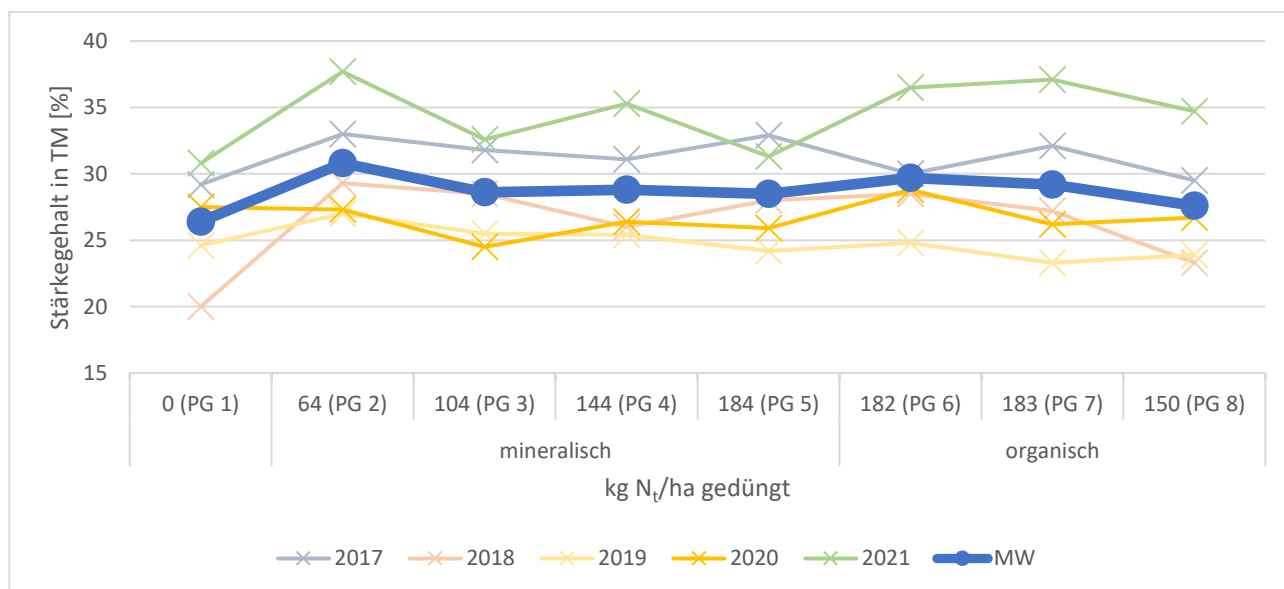


Abbildung 17: Stärkegehalt im Mais nach Düngungsniveau und Jahr (2017 - 2021)

Im Energieertrag zeigten sich einige Unterschiede, welche auf die unterschiedlichen TM-Erträge zurückzuführen waren (Abbildung 18). So war der Energieertrag mit 76 GJ/ha in PG 1 der geringste und PG 9 zeigte mit 116 GJ/ha den höchsten Energieertrag. Auch die PG 6 und 7 mit organischer Düngung stachen auf Grund der höheren TM-Erträge hervor und zeigten damit signifikant höhere Energieerträge als die im TM-Ertrag schwächere Düngungsvariante von 120 % des N-Bedarfs (PG 5). Ein signifikanter Unterschied konnte jedoch nur zwischen der ungedüngten und allen gedüngten Varianten nachgewiesen werden (PG 1 zu PG 2-12).

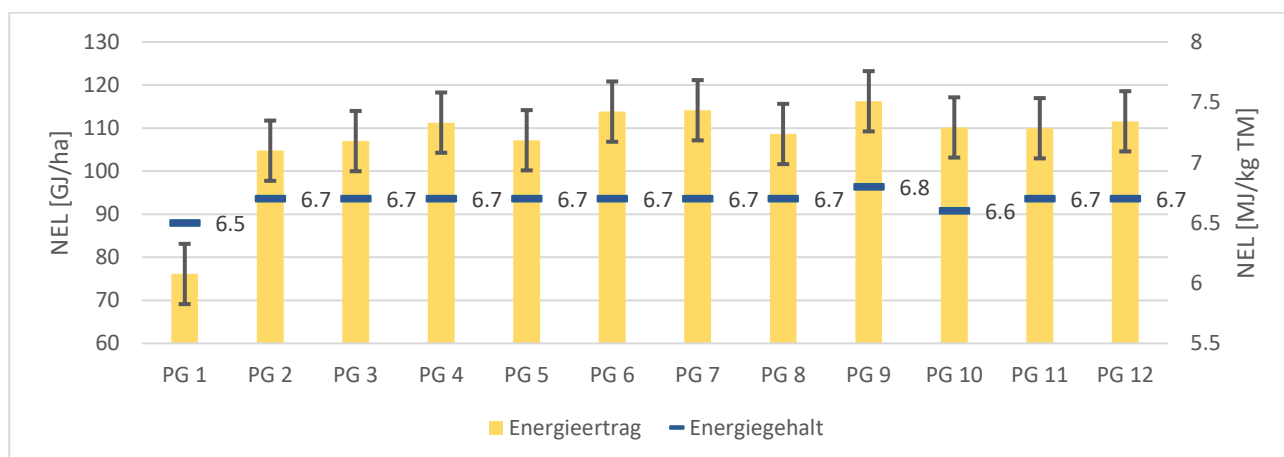


Abbildung 18: Energieertrag und Energiegehalt von Mais, Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2017-2021)

Der Energiegehalt lag auf einheitlichem Niveau und zeigte lediglich einen signifikanten Unterschied zwischen der Variante ohne und mit Düngung. Damit bestätigte sich die Vermutung, dass der TM-Ertrag maßgeblich an den Unterschieden des Energieertrags verantwortlich war. Die Schwankungen im Gehalt von PG 9 und 10 lassen erneut eine Bevorteilung des PG 9 durch bessere Bodengüte vermuten. Der Einfluss eines Düngeregimes konnte nicht gefunden werden. Anders war es bei den Gaserträgen. Die errechneten Gaserträge unterschieden sich teilweise signifikant und korrelierten mit der Gasausbeute je kg TM (Abbildung 19). Die Unterschiede ließen sich jedoch hauptsächlich auf die TM-Erträge zurückführen, während die Gasausbeute nur einen geringen Einfluss zeigte. Wie auch beim TM-Ertrag zeigten die Varianten mit mineralischer und organischer Düngung nach 100 % N-Bedarf die höchsten Gaserträge. Hier führte die Reduzierung der gedüngten Gärrestmenge in PG 8 (vgl. zu PG 6 und 7) zu signifikant geringeren Gaserträgen. Der Unterschied betrug 0,8m³/ha, wenn statt 40 m³ Gärrest nur 30 m³ gedüngt wurden. Die emissionsmindernde Ausbringung der Gärreste führte nicht zu einer Erhöhung der Gaserträge.

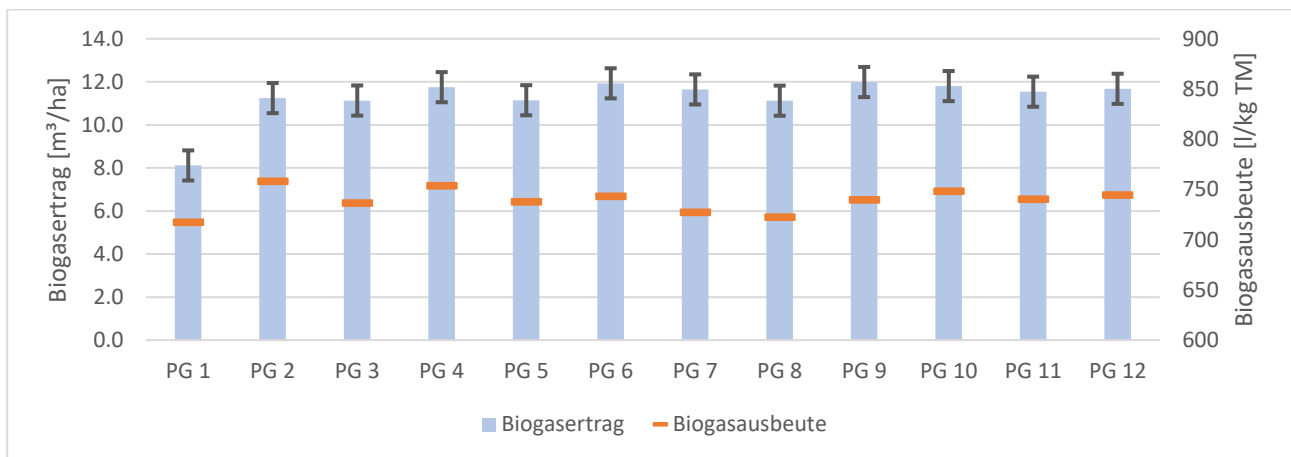


Abbildung 19: Biogaserträge und -ausbeute von Mais, Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2017-2021)

Die niedrigen N-Salden sind typisch für den Maisanbau (Abbildung 20). Bis auf PG 9 zeigte sich ein zu erwartendes Bild der Korrelation von Düngungs- und Saldenniveau. Die Düngungshöhe überstieg dabei den N-Entzug nur in Einzeljahren, was in der mehrjährigen Betrachtung zu negativen N-Salden führte. Selbst die Düngung von 40 m³ Gärresten führte im Versuchszeitraum zu einer N-Effizienz > 100 % und N-Salden von -15 bis -25 kg/ha. Der Einfluss der Ausbringungstechnik war dabei nicht signifikant.

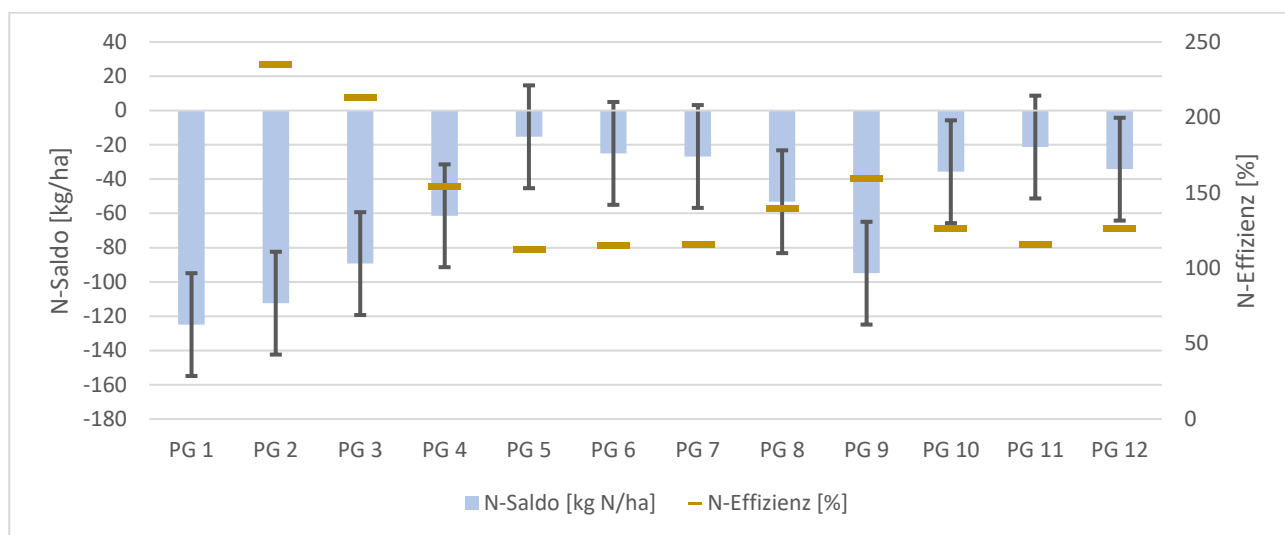


Abbildung 20: N-Saldo und N-Effizienz im Silomais in Abhängigkeit von der N-Düngung, Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$; 2017 - 2021)

Die Auswertung zeigte, dass der Maisanbau bei mehrjährig negativen N-Salden hinsichtlich des düngungsinitiierten Risikos für N-Austräge unbedenklich ist. Es ist davon auszugehen, dass es trotz negativer N-Salden durch Umwandlungs- und Verlagerungsprozesse im Boden zu N-Austrägen kommen kann. Dennoch kann Mais dazu dienen, hohe Überhänge anderer Kulturarten in der Fruchtfolge auszugleichen sowie große Mengen organischer Dünger effizient zu verwerten. Die Ergebnisse gelten sowohl für die Nutzung als Biogassubstrat als auch zur Tierernährung.

4.4 Wintertriticale

Die als Ganzpflanze zur Teigreife geerntete Triticale erzielte im Mittel der Versuchsjahre einen TM-Ertrag von 127 dt/ha (PG 4). Dabei reichten die Erträge der Einzeljahre von 76 dt/ha (2018) bis 180 dt/ha (2019). Durch die Düngung mit angesäuerten Gärresten (PG 7) konnte in den Jahren 2016-2018 sowie 2021 das gleiche Ertragsniveau wie bei der rein mineralisch gedüngten Variante nach 100 % N-Bedarf (PG 4) erreicht werden.

Anhand der Ergebnisse der Varianten mit gestaffelter N-Düngungshöhe (PG 1- 5) lässt sich erkennen, dass die Reduzierung der Düngermenge zu signifikanten TM-Ertragsverlusten von 13 dt/ha führte, wenn nur 60 statt 100 % des N-Bedarfs gedüngt wurden (Abbildung 21). Statistisch signifikante Unterschiede waren bei einer weiteren Erhöhung der N-Düngung (80 % bis 120 % des N-Bedarfs = 133 bis 200 kg/ha N-Düngung) nicht im TM-Ertrag zu erkennen. Die Düngung nach 100 % N-Bedarf erzielte jedoch die höchsten Erträge, was eine Nährstoffversorgung nahe des Optimums vermuten lässt. Die Ergebnisse der organisch-mineralischen Düngungsvarianten (PG 6 - 8) deuten anders als bei Raps und Weizen darauf hin, dass die Ansäuerung der Gärreste zu Ertragsteigerungen führte. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % zeigte der paarweise Vergleich der Mittelwerte jedoch keine signifikanten Unterschiede. Durch die Reduzierung der Gärrestmenge um 10 m³ sinkt, da die mineralische N-Düngung im Vergleich zu PG 7 nicht verändert wurde, das Düngungsniveau auf ca. 85 % des N-Bedarfs (PG 8). Die Höhe des TM-Ertrages bleibt jedoch auf dem Niveau des PG 6 (10 m³ mehr, jedoch mit unbehandelten Gärresten gedüngt). Dies lässt vermuten, dass der Stickstoffverlust in PG 6 mengenmäßig der Differenz zur Düngung von 100 % des N-Bedarfs entspricht. Statistisch bestätigen ließ sich dies jedoch nicht.

Insgesamt gilt sowohl für die organische als auch die mineralische N-Düngung wieder, dass $\pm 20\%$ von 100 % der N-Düngungshöhe nicht signifikant ertragswirksam wurden. Der Unterschied in der Stickstoffversorgung schien zu gering um, in der verhältnismäßig kurzen Messreihe signifikante Unterschiede zu identifizieren. Da die Über- oder Unterschreitung des Düngebedarfs von 20 % keinen Ertragseffekt bei der mineralischen Steigerung zeigte, waren auch die einheitlichen TM-Erträge in den Herbstdüngungsvarianten (Herbstdüngung zu Raps und ZWF) nicht überraschend. Ein Nachlieferungseffekt der organischen Düngung zu den Vorfrüchten war in der Triticale nicht erkennbar. Ob die Nachlieferungseffekte der organischen Düngung aus den Vorjahren bei gleichbleibendem Versuchsdesign überhaupt am TM-Ertrag nachgewiesen werden können, ist fraglich. Möglich wäre eine Reduzierung der Düngungsmenge von PG 9 – 12 beim Anbau von Triticale auf maximal 60 % (signifikanter Ertragsrückgang bei der mineralischen Steigerung) des Düngungsbedarfs, um eine mögliche Ertragswirksamkeit des nachgelieferten Stickstoffs der Vorjahre sichtbar werden zu lassen.

Die Rohproteingehalte nahmen mit ansteigendem Düngungsniveau signifikant zu (Abbildung 22). Eine Erhöhung der gedüngten Mineraldüngermenge um 20 % führte zu einem Anstieg des Rohproteingehalts um ca. 0,7 Prozentpunkte. Die mineralische Düngung nach 100 % N-Bedarf (PG 4) führte im Mittel der Jahre zu einem Rohproteingehalt von 7,5 % in der TM. Auf dem gleichen Niveau lag die Variante mit angesäuertem Gärresten (PG 7). Die Gärrestdüngung ohne Säurezusatz führte zu einem signifikant niedrigerem Rohproteingehalt von 6,8 % in TM (PG 6). Auf Grund der durch die Reduzierung der Gärrestmenge geringeren N-Gesamtmenge (N_t) fällt der Rohproteingehalt auch in PG 8 im Vergleich zu PG 7. Mit 7,1 % in TM zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede von PG 8 zu PG 6, 7 und 4. Die PG 9 bis 12 zeigten Rohproteinerträge von 7,4 – 7,7 % in TM auf dem Niveau von PG 4. Da die mineralische Steigerung der gedüngten N-Menge um 20 % zu einem signifikanten Anstieg des Rohproteingehalts führte, ist davon auszugehen, dass die Stickstoffnachlieferung geringer oder nicht vorhanden war.

Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln

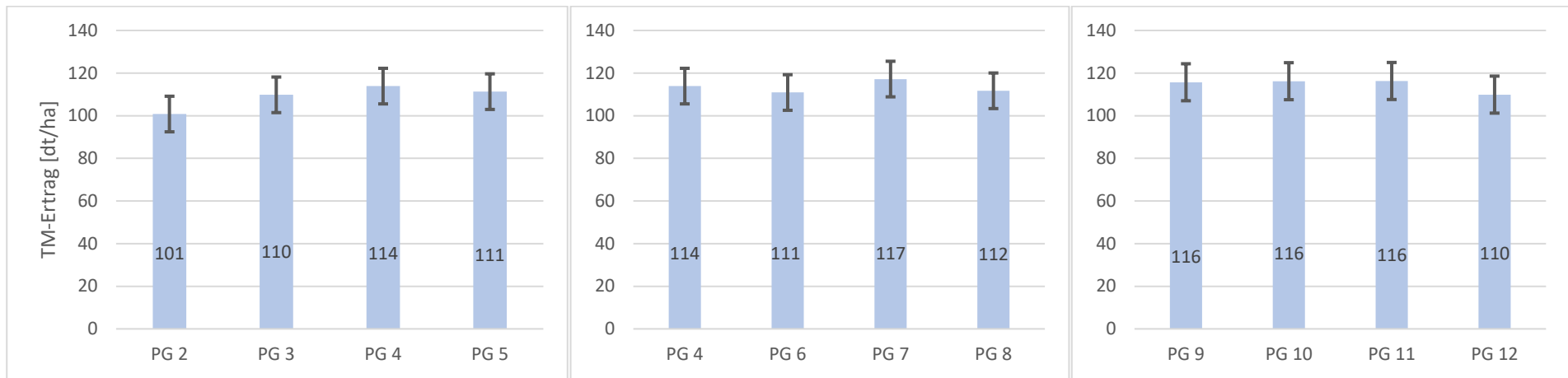


Abbildung 21: TM-Ertrag von Wintertriticale in Abhängigkeit von der N-Düngung: mineralische N-Steigerung (links), mineralische vs. GR-Düngung im Frühjahr (mittig) und Herbstdüngung der Vorfrucht (rechts), Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016-2018 und 2021)

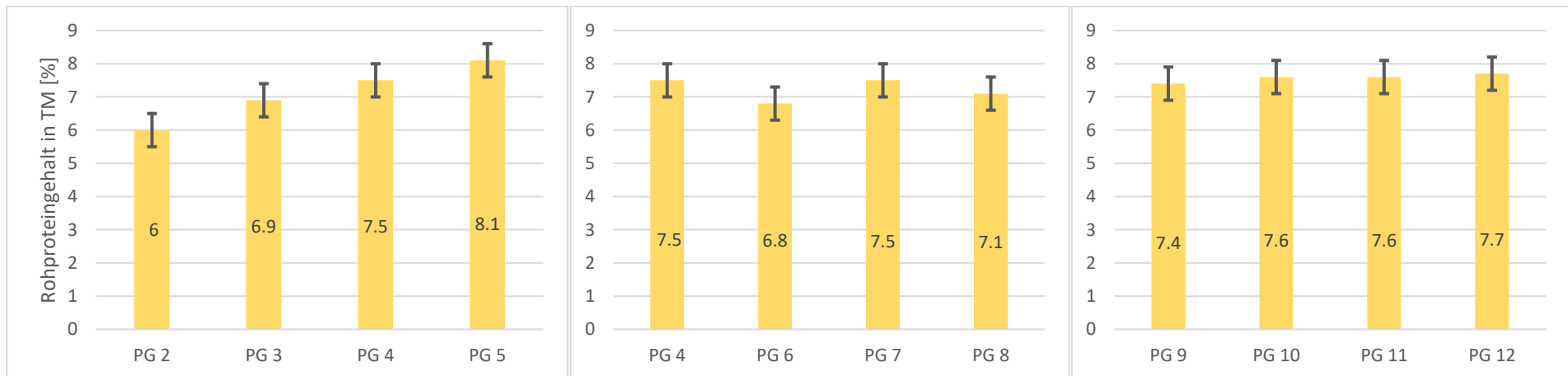


Abbildung 22: Rohproteingehalte von Wintertriticale in Abhängigkeit von der N-Düngung: mineralische N-Steigerung (links), mineralische vs. GR-Düngung im Frühjahr (mittig) und Herbstdüngung der Vorfrucht (rechts), Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$, 2016-2018 und 2021)

Mit Ausnahme von PG 1 (ohne Düngung) und PG 2 (60 % des N-Bedarfs) überstieg die Düngung stets den N-Entzug (Abbildung 23). Die unvollständige Ausnutzung des Stickstoffs (dargestellt ohne $N_{\min}$) war vor allem in den organisch-mineralischen Düngungsvarianten PG 6 und 7 mit einem deutlichen Überhang von bis zu 95 kg/ha verbunden. Die mineralische Düngung nach N-Bedarf (PG 4) mit 173 kg/ha wies einen Entzug von 133 kg/ha und damit einen N-Saldo von 39 kg/ha auf. Die Düngung von 80 % des N-Bedarfs entsprach mit 133 kg/ha gedüngtem Stickstoff exakt dem Entzug von PG 4, führte jedoch zu einem geringeren Entzug von 121 kg/ha. Dies zeigte, dass Nährstoffverluste nicht vermeidbar sind, aber auch, dass Verluste bei steigender Düngungsintensität zunehmen, was dem Gesetz des sinkenden Grenzertrags entspricht. Nicht überraschend war daher das hohe Verlustpotenzial bei der Düngung von 120 % des N-Bedarfs oder bei der organischen Düngung mit den hohen N-Gesamt-Mengen.

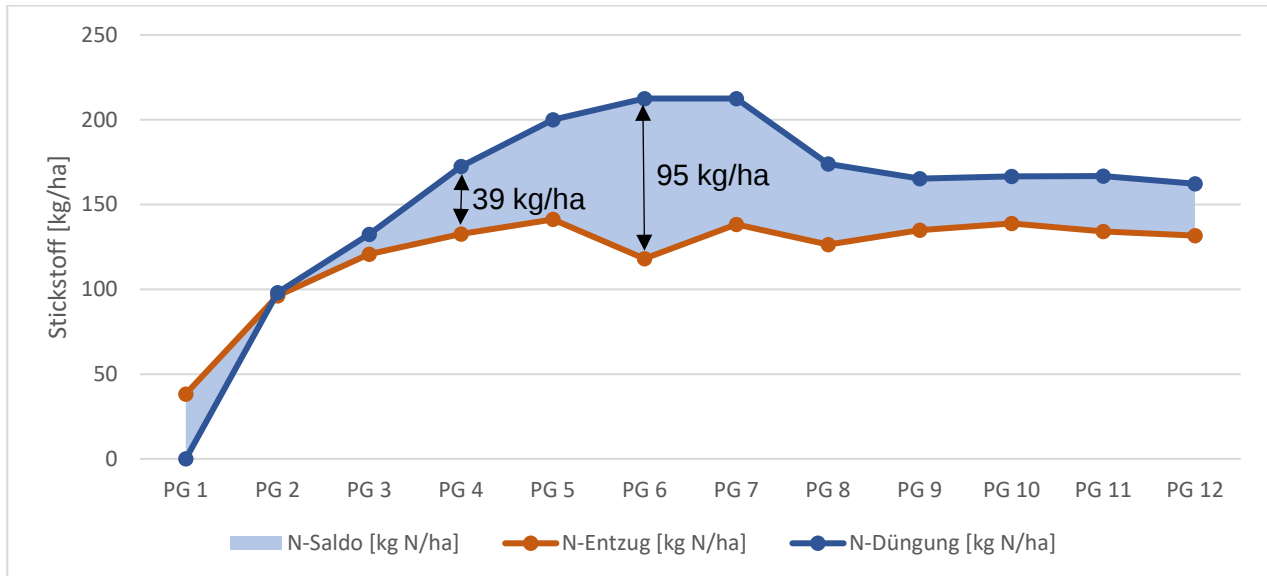


Abbildung 23: N-Düngung und N-Entzug von Wintertriticale in Abhängigkeit von der N-Düngung, 2016-2018 und 2021

Bei genauerer Betrachtung des N-Saldos zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern (Abbildung 24). Die Düngung von 80 % des N-Bedarfs reduzierte den N-Saldo gegenüber der Düngung nach 100 % N-Bedarf um 25 kg/ha auf 13 kg/ha. Die N-Effizienz, also der Ausnutzungsgrad des Mineraldüngers, stieg dabei um 14 Prozentpunkte auf 91 %. Hingegen wurden lediglich 56 % des Stickstoffs aus der organisch-mineralischen Düngung in PG 6 ertragswirksam, was zu dem höchsten N-Saldo von 95 kg/ha führte. Die Ansäuerung der Gärreste steigerte die N-Effizienz um 11 Prozentpunkte und reduzierte den N-Saldo um 20 kg/ha. Die Reduzierung der Gärrestmenge um 10 m³ (PG 8) führte zu einer weiteren Effizienzsteigerung und einem N-Saldo auf dem Niveau der rein mineralischen Düngung bei 100 % N-Bedarf. Damit zeigte das rein mineralisch gedüngte PG 4 mit einer N-Düngungsmenge von 173 kg/ha und das organisch-mineralisch gedüngte PG 8 mit insgesamt 174 kg/ha gedüngtem Stickstoff (entsprechend ca. 85 % des N-Bedarfs) neben identischen Erträgen auch ein identisches N-Verlustrisiko. Damit wurde deutlich, dass nicht die organische Düngung, sondern viel mehr ein Überschreiten einer bestimmten Gesamt-N-Menge für einen gesteigerten N-Saldo verantwortlich war, da die identische N-Menge aus rein mineralischer Düngung zum identischen N-Saldo führte. Die Ergebnisse zeigten außerdem eine auffällige gesteigerte N-Effizienz der PG 9 bis 12. Die Abweichungen der N-Effizienz und des N-Saldos scheinen jedoch lediglich ein zufälliges Resultat kombinierter Jahreseffekte zu sein.

Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln

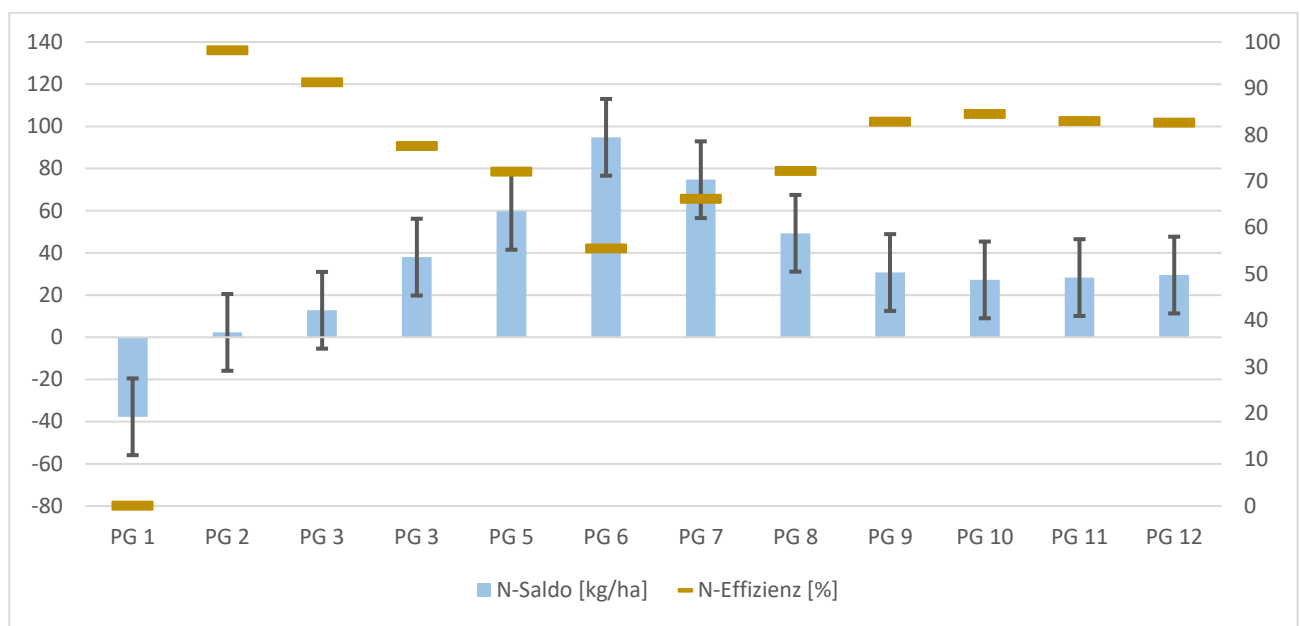


Abbildung 24: N-Saldo und N-Effizienz in Wintertriticale in Abhängigkeit von der N-Düngung, Mittelwerte und Intervalle für den paarweisen Vergleich (t-Test: $\alpha > 0,05$; 2016-2018 und 2021)

4.5 N-Austragsrisiko im Fruchtfolgeglied Winterraps-Winterweizen

Ein Hauptziel der Untersuchungen war es, Wege zu finden, den verfügbaren Stickstoff optimal zu nutzen und stabile Erträge bei ausgeglichenen N-Salden zu erreichen. Eine optimale Stickstoffverwertung zielt auf eine möglichst hohe N-Effizienz, stabile Erträge sowie niedrige N-Salden und das damit korrelierende reduzierte N-Auswaschungsrisiko. Doch vor allem im Fruchtfolgeglied Winterraps-Winterweizen stellt die Schaffung guter Voraussetzungen für eine optimale Nährstoffverwertung eine Herausforderung dar. Der Raps hinterlässt naturgemäß allein durch die erzeugte Biomasse und geringe N-Abfuhr einen hohen Nährstoffvorrat. Folgekulturen müssen somit in der Lage sein, hohe Stickstoffmengen im Herbst zu binden. Durch witterungsbedingte Ertragseinbrüche können sich die N-Salden, auf Grund der geringeren N-Aufnahme, dramatisch erhöhen. Der praxistypisch nach Raps angebaute Winterweizen ist auf Grund seines stark begrenzten N-Aufnahmevermögens im Herbst als Folgekultur denkbar ungeeignet. Bleibt es beim Anbau des Fruchtfolgeglieds Winterraps-Winterweizen, ist es nötig N-Salden nach Raps möglichst gering zu halten. In der Tabelle 9 sind mögliche Kombinationen aus Düngungsvarianten unter Einhaltung eines mittleren Jahressaldo von ≤ 50 kg/ha (± 20 kg/ha) aufgelistet. Unter der Annahme, dass sich das Düngenniveau der Vorfrüchte nicht auf die Nachfrucht auswirkt (kurzfristige Betrachtung), werden hier die Ergebnisse der Prüfglieder des Versuches unterschiedlich kombiniert. Die Varianten mit organischer Rapsdüngung wurden dabei nicht einbezogen, da die hohen Salden nach der Düngung zu Winterraps den Gärreinstatz aus der Sicht des Gewässerschutzes bedenklich machen. Dabei ist weniger die absolute Höhe der N-Salden ausschlaggebend, sondern viel mehr der Anstieg gegenüber der mineralischen Düngung auf dem identischen Bedarfsniveau. Diese durch die Düngewahl verursachten N-Salden widersprechen den Anforderungen eines ausgeglichenen N-Saldos nach Winterraps im Fruchtfolgeglied Raps-Weizen. Ähnliches gilt für die Herbstdüngung. Der fehlende Ertragsvorteil der herbstlichen N-Gaben und der dadurch verursachte Anstieg der N-Salden belegen eine Düngung des Winterrapses über dessen N-Bedarf. Dass die Stickstoffapplikation im Herbst keine Ertragsvorteile brachte, belegt auch PETERS, SCHULZ 2016 in einer Versuchsserie. Die überzogene Düngung führte auch dort zu erhöhten N-Salden und dem korrelierenden gesteigerten N-Auswaschungsrisiko.

Der tolerierbare N-Saldo beträgt am Versuchsstandort Gülzow 40 – 50 kg je Hektar und Jahr (WENDLAND 2015) und entspricht damit dem Großteil der östlichen Regionen Mecklenburg-Vorpommerns. Diesen Saldo einzuhalten war beim Winterrapsanbau im Mittel der Jahre nur bei mineralischer Düngung von 80 % des N-Bedarfs möglich. Beim Weizenanbau konnte dies auch bei der Düngung nach vollem N-Bedarf eingehalten werden, allerdings nur bei mineralischer Düngung. Der Einsatz von Gärresten führte sowohl beim Raps- als auch beim Weizenanbau zu N-Salden über 50 kg/ha. In vielen östlichen Regionen des Landes liegt der tolerierbare N-Überschuss mit < 20 kg je Hektar und Jahr deutlich niedriger, was selbst bei einer Düngung von 80 % des N-Bedarfs, weder bei Raps noch Weizen, einzuhalten war. Als beste Alternative zeigte sich die rein mineralische Frühjahrsdüngung unter Abfuhr des Vorfruchtstrohs (vor Raps). Für einen optimalen Einsatz des verfügbaren Stickstoffs ist darüber hinaus eine Verteilung der Düngermenge zwischen den Kulturen erforderlich. Die Ziele sind dabei Ertragsstabilität und ein ausgeglichener N-Saldo. Unter der Zielstellung geringer N-Salden in jedem Jahr und nicht nur im Mittel der Kulturen (hohe N-Salden rot markiert) lag die optimale Düngungsverteilung bei einer rein mineralischen Düngung von 80 % des N-Bedarfs zu Raps in Kombination mit 100 % zu Weizen oder einer reduzierten und emissionsmindernd ausgebrachten Gärrestmenge von 15 m³ zu Weizen. Die summierte Marktleistung betrug dabei 1936 – 1949 €/ha*a. Da deutliche Nachlieferungseffekte der organischen Düngung noch ausstehen, ist bei langfristiger Betrachtung mit einer steigenden Bedeutung der organischen Düngungsvarianten zu rechnen. Die Düngung des Winterraps nach N-Bedarf (100 %) führte zwar zu der höchsten Marktleistung im Raps, erzeugte aber auch ~ 80 kg/ha hohe N-Salden, was ein erhöhtes Risiko für N-Auswaschungen gegenüber der Düngung unter dem errechneten N-Bedarf darstellt. Der finanzielle Zugewinn ist dabei gering. Die Differenz der summierten

Marktleistung zur optimalen Düngeverteilung lag bei 15 - 28 €/ha*a. Das Risiko von N-Auswaschungen verschärft sich weiter, wenn die Folgekultur wie der Winterweizen nicht über ein gutes N-Aufnahmevermögen im Herbst verfügt. Um das Auswaschungsrisiko auch in Problemjahren zu mindern, ist ein niedriger N-Saldo anzustreben. Dies gelang durch die Reduzierung der Düngemenge auf 80 % und 60 % des N-Bedarfs, wodurch Salden ≤ 50 kg/ha möglich waren.

Tabelle 9: N-Saldo, Ertrag und Marktleistung in Abhängigkeit von der N-Düngung im Frühjahr im Fruchtfolgeglied Winterraps-Winterweizen; MW: Mittelwert über beide Kulturen; Erzeugerpreise A-Weizen: 265 €/t, B-Weizen: 261 €/t, Raps: 560 €/t (Agrarfax 33, KW 2021)

N-Bedarf			N-Saldo [kg N/ha]			Ertrag [dt/ha]		Marktleistung [€/ha]		
Raps	Weizen		Raps	Weizen	MW	Raps	Weizen	Raps	Weizen	MW
60 %	100 %	-	10	50	30	35	71	1960	1882	1921
60 %	80 %	inkl. 15m³ GR	10	58	34	35	71	1960	1882	1921
60 %	100 %	inkl. 25m³ GR	10	95	53	35	70	1960	1855	1908
60 %	80 %	-	10	24	17	35	65	1960	1723	1842
80 %	100 %	-	49	50	50	36	71	2016	1882	1949
80 %	80 %	inkl. 15m³ GR	49	58	54	36	70	2016	1855	1936
80 %	80 %	-	49	24	37	36	65	2016	1723	1870
100 %	80 %	-	82	24	53	37	65	2072	1723	1898
100 %	100 %	-	82	50	66	37	71	2072	1855	1964

4.6 Emissionsmindernde Gärrestausbringung

Das Funktionsprinzip der emissionsmindernden Gärrestausbringung wurden in diversen Untersuchungen bestätigt und zeigt ein Minderungspotential für Ammoniakemissionen von 50-90 % (BULL 2016, SEIDEL 2017, KUPPER 2017). Im Versuch konnte das Potential nicht in Ertrag umgewandelt werden, jedoch in eine teilweise signifikante Steigerung des Rohproteingehalts. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen SEIDEL 2017 und BEßLER 2020 mit Grünlandversuchen. Die Verwendung von Gärresten bzw. flüssigen Wirtschaftsdüngern mit hohem Säurebedarf ist für die Ansäuerung nicht zu empfehlen. Der hohe Bedarf an Schwefelsäure sorgt hier nicht nur für steigende Kosten, sondern führt sehr wahrscheinlich zu erhöhter Sulfatauswaschung.

Winterraps

Im Winterraps beschränkt sich der Nutzen der Ansäuerungstechnik auf die Minderung der Ammoniakemissionen. Selbst wenn sich die gefundenen Unterschiede im Rohproteingehalt bei zukünftigen Untersuchungen als signifikant erweisen, ist der Nutzen in Bezug auf Ertragssteigerung gering und wird die verursachten Kosten wohl nie decken. Vor allem in Kulturen wie Winterraps ist damit eine finanzielle Förderung nötig, wenn die Technologie zur Emissionsminderung eingesetzt werden soll.

Winterweizen

Die monetäre Bewertung der Weizenqualität wird über den Proteingehalt bestimmt, was die Ansäuerung der Gärreste hier lohnenswert machen könnte. Der im Versuch nachgewiesene signifikante Unterschied von 0,7 Prozentpunkten schafft bei den erzielten Kornerträgen jedoch lediglich eine Steigerung der Marktleistung um ~28 €/ha. Die durch die Ausbringung von 25 m³ Gärresten verursachten Kosten dürften demnach 1,12 €/m³ nicht überschreiten, um gedeckt zu

werden. KUPPER (2017) beschreibt die Kosten der Ansäuerung ohne Säurepreis mit 0,55 €/m³. Für die Säure werden weitere 0,35 €/Liter veranschlagt. Die im Versuch benötigte Säuremenge von >10 Litern konzentrierter Schwefelsäure je m³ Gärrest macht deutlich, dass Kosten der Ansäuerungstechnik nicht durch die erzielten Erträge abgefangen werden konnten. Ausschlaggebend für den hohen Säurebedarf sind jedoch Pufferkapazität und der pH-Wert des organischen Düngers. Damit bietet sich die Technik vor allem bei Wirtschaftsdüngern an, die zum Erreichen des Ziel pH-Wert nur wenig Säure benötigen.

Effekte auf den N-Saldo wurden nicht nachgewiesen. Die gesteigerte N-Aufnahme deutet jedoch auf die Wirkung der Ansäuerung hin. Es ist wahrscheinlich, dass längere Untersuchungen einen signifikanten doch geringen Einfluss auf den N-Saldo nachweisen, welcher eine mögliche N-Saldenreduktion von 10 kg/ha im Winterweizenanbau jedoch nicht überschreiten wird.

Für eine positive Beurteilung der Ansäuerung aus Sicht des Gewässerschutzes bleiben somit vor allem die vermeidbaren diffusen Umweltbelastungen durch Ammoniakemissionen. Die Relevanz für den Gewässerschutz ist damit relativ gering, aber als ergänzende Maßnahme zur Reduktion von N-Salden und diffusen Nährstoffeinträgen denkbar. Der hohe Anteil von gedüngtem Schwefel bei Verwendung von Schwefelsäure muss dabei jedoch beachtet werden. Um negative Umweltwirkungen auszuschließen, ist eine Begrenzung der Schwefelmenge nötig. Selbst bei den häufig proklamierten 5-8 Litern 96%iger Schwefelsäure je m³ Gärrest beträgt die gedüngte Schwefelmenge ~ 3-4,5 kg/m³. Der Einsatz alternativer Säuren ist möglich, steigert jedoch die Kosten.

Silomais

Die nahezu gleich hohen Erträge der Düngungsvarianten, auch bei deutlicher Unterschreitung des N-Bedarfs, belegen das gute Nährstoffaneignungsvermögen vom Mais. Etwaige Effekte der Depotdüngung waren dabei marginal und nicht statistisch zu erfassen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass im Versuch auch bei der Ausbringung mit dem Schleppschlauchverteiler auf gute Bedingungen und eine schnelle Einarbeitung geachtet wurde. Eine möglicherweise eingeschränkte N-Mobilisierung durch verminderte Bodenbearbeitung wurde jedoch nicht untersucht, was die Effekte des Strip-Till Verfahrens mindern könnte.

Wintertriticale

Die Ansäuerung der Gärreste zeigte beim Anbau von Triticale nicht auf alle untersuchten Parameter einen signifikanten Einfluss. Die TM-Erträge steigerten sich nicht wesentlich. Der Rohproteingehalt zeigte hingegen, wie beim Weizen, eine Steigerung um 0,7 Prozentpunkte. Dies wirkte sich auch auf den N-Saldo aus und senkte diesen um ca. 20 kg/ha gegenüber der Variante mit Ausbringung von unbehandelten Gärresten. Wie beim Winterweizen waren die Kosten der Ansäuerung-Technik somit auch beim Anbau von GPS-Getreide nicht durch Mehrerträge abzudecken.

Versuchsmethodik

Die erzielte Steigerung der Rohproteingehalte bei gleichbleibenden Erträgen wirft weitere Fragen auf. Zunächst scheint die Düngung mit angesäuerten Gärresten, im Vergleich zu konventioneller Gärrestdüngung, wie eine Qualitätsgabe gewirkt zu haben. Da der Effekt jedoch nicht nur im Winterweizen, sondern auch in der zur Teigreife geernteten Triticale beobachtet wurde, scheint diese Theorie nicht plausibel. Zur weiteren Beurteilung sollten die Bestände daher zukünftig bereits während der Vegetationsperiode auf ihren Proteingehalt untersucht werden um den Zeitpunkt der Differenzierung zwischen den beiden Düngungsvarianten festzustellen.

Um die Effekte des Strip-Till Verfahrens besser erfassen zu können, sollte auf die Bodenbearbeitung der Strip-Till Parzellen nach der Aussaat verzichtet werden.

Zur Ermittlung der Nachlieferungseffekte aus organischer Vorjahresdüngung sollte die Düngungshöhe der PG 9 – 12 in der Kultur Triticale zukünftig auf 60 % des N-Bedarfs begrenzt werden.

4.7 N-Düngewirkung und Mineraldüngeräquivalente

Die Mineraldüngeräquivalente zeigen eine gute Stickstoffwirkung der Gärreste im Vergleich zur mineralischen Düngung (Tabelle 10). Bei der Interpretation ist jedoch die N-Effizienz der rein mineralischen Düngung zur jeweiligen Kulturart zu beachten. Die rein mineralische Düngung in Höhe von 100 % des N-Bedarfs zeigte im Mittel der Versuchsjahre eine N-Effizienz von 55 % zu Winterraps, 75 % zu Winterweizen, 154 % zu Silomais und 77 % beim Anbau von Triticale. Der Ammonium-N Gehalt im Gärrest lag bei 55 % des Gesamtstickstoffs. Bei der Düngung des Winterraps musste somit lediglich der $\text{NH}_4\text{-N}$ Anteil in den Gärresten düngewirksam werden, um eine identische Düngewirkung wie der Mineraldünger zu erzielen. Bei einer höheren N-Effizienz der Mineraldüngung wären auch niedrigere Mineraldüngeräquivalente beim Raps-, Weizen- und Triticaleanbau zu erwarten. Bei einem höherem $\text{NH}_4\text{-N}$ Anteil im Wirtschaftsdünger würde das Mineraldüngeräquivalent vermutlich steigen. Beide Faktoren müssen somit bei der Bewertung von Mineraldüngeräquivalenten beachtet werden. Die angebaute Kultur hat ebenfalls einen hohen Einfluss auf das Mineraldüngeräquivalent und beeinflusst dieses maßgeblich durch die Effizienz der pflanzeigenen Stickstoffaneignung. Dies wurde besonders beim Anbau von Mais mit dessen guten Nährstoffaneignungsvermögen deutlich. Vorrangig zeigten die Ergebnisse jedoch, dass der $\text{NH}_4\text{-N}$ Anteil im Gärrest maßgeblich das MDÄ bestimmt.

Um die Stickstoffverwertung der Gärreste im Vergleich zur mineralischen Düngung zu beschreiben, eignet sich das über den Rohproteinertrag bestimmte Mineraldüngeräquivalent in Bezug auf den Rohproteingehalt (MDÄ_{RP}) besser als in Bezug auf den Korn- oder Trockenmasseertrag ($\text{MDÄ}_{\text{K/TM}}$). Durch den Bezug zum Rohprotein kann die Konservierung des $\text{NH}_4\text{-N}$ durch die emissionsmindernde Ausbringung deutlich gemacht werden. Diese führte beim Vergleich zwischen konventioneller Ausbringung und der Ausbringung von angesäuerten Gärresten bei gleicher N-Düngungshöhe zu einem gesteigertem MDÄ_{RP} von 75 auf 94 % im Winterraps, von 45 auf 53 % im Winterweizen und von 54 auf 74 % bei Anbau von Wintertriticale. Damit wirkten im Winterraps rechnerisch ca. 17 kg mehr Stickstoff je Hektar. Dass sich diese 17 kg nicht im Korn- oder Öl-Ertrag widerspiegeln, lässt sich auf den Raps selbst zurückführen. Als Vergleich seien die Versuchsergebnisse bei mineralischer N-Düngung genannt. Hier waren signifikante Ertragsminderungen von 1,2 dt/ha auf eine um 40 kg/ha reduzierte N-Düngung im Vergleich zur Düngung nach 100 % N-Bedarf zurückzuführen. Die Steigerung um 40 kg/ha über 100 % N-Bedarf hatte sogar keinen Einfluss. Die organische Düngung führte trotz höherer Gesamtstickstoffmenge zu identischen Erträgen, was aus ackerbaulicher Sicht für die Richtigkeit der N-Bedarfsermittlung nach DüV spricht. Im Sinne des Gewässerschutzes wäre eine höhere Anrechnung des Stickstoffs aus organischen Düngern erstrebenswert, dies lässt sich aus unseren Versuchsergebnissen jedoch nicht ableiten.

Die statistisch nicht belegte Minderung des N-Saldos ist wahrscheinlich auf die geringe Stickstoffmenge von 17 kg/ha zurückzuführen und kann sich bei weiterer Prüfung bestätigen. Der Weizen erhielt bei gleicher Betrachtungsweise durch die Ansäuerung 18 kg/ha Stickstoff mehr und die Triticale rechnerisch sogar 40 kg/ha. Dies zeigte sich in den signifikanten Unterschieden im Rohproteingehalt in beiden Kulturen und bei der Triticale in einem signifikant niedrigerem N-Saldo. Die Reduzierung der Gärrestmenge um 10 m³ erhöhte die N-Effizienz der organischen Düngung und steigerte somit auch das Mineraldüngeräquivalent. Naheliegender ist, dass durch die Reduzierung lediglich die Effizienz der organischen Düngung und nicht die der mineralisch gedüngten N-Menge gesteigert wurde.

Das Mineraldüngeräquivalent in Bezug auf den Kornertrag ($MD\ddot{A}_K$), zeigt im Raps eine gleichwertige Düngewirkung der Gärreste im Vergleich zum Mineraldünger. Identische Ergebnisse zeigten sich mit dem $MD\ddot{A}_{TM}$ (Bezug ist hier der TM-Ertrag statt Kornertrag) im Silomais. Dies war auf Grund der fehlenden Ertragsunterschiede zu erwarten. Die $MD\ddot{A}$ -Unterschiede im Winterweizen und der Triticale beruhen auf statistisch nicht unterscheidbaren Ertragsunterschieden, was die Schwäche der $MD\ddot{A}$ -Bestimmung über den Ertrag verdeutlicht.

Der Effekt der emissionsmindernden Ausbringungstechnik konnte anhand der $MD\ddot{A}_{RP}$ dennoch nachgewiesen werden. Da die Bestimmung jedoch auf teils nicht signifikanten Unterschieden beruht, ist eine Erweiterung der Datengrundlage notwendig, um die aktuellen Ergebnisse zu bestätigen. Eindeutig war, dass die Reduzierung der gedüngten Gärrestmenge die Mineraldüngeräquivalente deutlich steigerte, was für eine kultur- und standortspezifische Beschränkung der Gärrestmenge spricht. Die bislang ausbleibenden Effekte auf den N-Saldo sollten weiterhin beobachtet werden, um die Eignung der untersuchten Ausbringungstechniken besser beurteilen zu können.

*Tabelle 10: $MD\ddot{A}$ des Gärrest-N bei Ausbringung in Winterraps, Winterweizen, Mais und Triticale in Abhängigkeit von der Ausbringungstechnologie und Gärrestmenge; * $MD\ddot{A}$ Ermittlung durch Differenzmethode siehe (3.4)*

Prüfglied (PG)	$MD\ddot{A}_{RP}$ (RP-Ertrag)		$MD\ddot{A}_K$ (Kornertrag)	
	Raps	Weizen	Raps	Weizen
6	75 %	45 %	>100 %	59 %
7	94 %	53 %	>100 %	53 %
8	123 %	82 %	>100 %	95 %
Prüfglied (PG)	$MD\ddot{A}_{RP}$ (RP-Ertrag)		$MD\ddot{A}_{TM}$ (TM-Ertrag)	
	Silomais*	Triticale	Silomais*	Triticale
6	91 %	54 %	>100 %	44 %
7	89 %	74 %	>100 %	54 %
8	100 %	100 %	>100 %	57 %

4.8 Stickstoffverteilung in der Fruchtfolge

Zur Reduzierung des N-Verlustrisikos ist ein ausgeglichener N-Saldo in den Einzeljahren entscheidend, welcher den für Großteile M-Vs vertretbaren Wert von 50 kg/ha (LUNG 2021) nicht überschreitet. Denn größere N-Überhänge erhöhen, auch wenn sie nur in einem Anbaujahr auftreten, das N-Auswaschungsrisiko.

In Tabelle 11 sind die N-Salden der untersuchten Kulturen für verschiedene Düngungsstufen zusammengefasst. Daraus lassen sich die im Versuch identifizierten Düngungsvarianten mit vertretbaren N-Salden und die, welche diese überschreiten, ableiten. Um in diesem Rahmen zu wirtschaften, wäre die empfohlene Düngung des Raps nur mineralisch und nur bis 80 % des N-Bedarfs. Der Winterweizen könnte hingegen auch organisch, jedoch nur mit bis zu 15 m³/ha Gärresten gedüngt werden, um die genannten Vorgaben einzuhalten. Der Silomais könnte selbst große Mengen Gärreste (40 m³/ha) effizient verwerten, sollte jedoch nicht unter Bedarf gedüngt werden, um dem Humusabbau vorzubeugen. Die Triticale hinterließ, ähnlich wie der Weizen, nur bei der organisch-mineralischen Düngung mit 25 m³/ha Gärresten zu viel Stickstoff. Die Verteilung des verfügbaren Stickstoffs sollte jedoch auch anhand der Erträge und der Marktleistung ausgerichtet werden. Dies spricht für die mineralische Düngung nach 100 % N-Bedarf und gegen die reduzierte organische Düngung im Weizen, welche die Qualität beeinträchtigen kann. Da die organische Düngung im Raps stets zu deutlichen Überschreitungen des vertretbaren N-Saldos führte, bleiben nur der Silomais und die Triticale für die Gärrestausbringung verfügbar. Die erste

Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln

Wahl sollte hier der Mais sein, welcher auf Grund seines guten Nährstoffaneignungsvermögens selbst große Mengen der Gärreste effizient nutzen kann.

Eine gute Stickstoffverteilung ergab sich in der untersuchten Fruchtfolge somit durch

- die mineralische Düngung von 80 % des N-Bedarfs (ohne Herbsdüngung, mit Abfuhr des Vorfruchtstrohs) zu Raps
- die mineralische Düngung von 100 % des N-Bedarfs zu Winterweizen
- die organische Düngung von 40 m³ Gärresten zu Silomais (auch mit zusätzlicher organischer Herbsdüngung zur Zwischenfrucht möglich)
- die mineralische Düngung von 100 % des N-Bedarfs oder die Ausbringung der reduzierten Gärrestmenge von 15 m³ zur Triticale

Tabelle 11: N-Salden der Kulturen in Abhängigkeit von der Düngung; * WRa: 30 m³/ha, WW: 25 m³/ha, SM: 40 m³/ha, WTr: 25 m³/ha; ** -10 m³/ha

Kultur	N-Saldo je Kultur [kg/ha]			
	mineralische Düngung		organisch – mineralische Düngung	
	100 % des N-Bedarfs	80 % des N-Bedarfs	volle Gärrestmenge*	reduzierte Gärrestmenge**
Winterraps	82	49	127	87
Winterweizen	50	24	95	58
Silomais	- 61	- 89	- 27	- 53
Wintertriticale	38	13	75	49

5 Fazit

Das Ziel der optimalen Gärrestanwendung konnte durch die emissionsmindernde Ausbringungstechnik nur bedingt vorangebracht werden. Die nachgewiesenen Effekte der Ansäuerungstechnik zeigten bei der Anwendung im Getreide zwar einen Einfluss auf die Produktqualität im Form eines gesteigerten Rohproteingehalts, der Ertrag konnte jedoch nicht gesteigert werden. Die Kosten der Anwendung waren jedoch stets höher als der monetäre Zugewinn durch die Qualitätssteigerung der Ernteprodukte. Darüber konnte der N-Saldo um bis zu 20 kg N/ha vermindert werden, was vor allem in Kombination mit einer Reduzierung der gedüngten Gärrestmenge zielführend ist, um den N-Saldo drastisch zu senken. Hingegen scheint die Ansäuerungstechnik für den Winterrapsanbau, nach aktuellem Kenntnistand, ungeeignet. Weder der N-Saldo noch Korn- oder Ölertrag zeigten eine gewünschte Korrelation. Damit ist die Technik weder aus ökologischer noch aus ökonomischer Sicht beim Anbau von Winterraps sinnvoll. Es zeigt sich, dass eine genaue Betrachtung notwendig ist, um fallspezifisch die Kosten für den Einsatz der Ansäuerung auf dem Feld zu rechtfertigen. Unabhängig davon sollten die ökologischen Vorzüge im Vordergrund stehen und alternativen wie die Ansäuerung im Stall- oder Lager stärker bedacht werden. Grundsätzlich kann die Ansäuerungstechnik dazu beitragen, das Verlustrisiko für Stickstoff zu senken, trägt sich jedoch nicht selbst und ist daher mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Die emissionsmindernde Ausbringung der Depotdüngung im Strip-Till Verfahren hat im Mais keine erkennbaren Effekte gezeigt. Die Ergebnisse belegen, dass die praxisübliche und laut DüV verpflichtende zeitnahe Einarbeitung der oberirdisch ausgebrachten Gärreste zu ähnlich hohen Erträgen und N-Salden führte. Damit bleibt der Unterschied in den Technikkosten und der Schlagkraft. Bei beiden ist die Schleppschlauchausbringung mit anschließender Einarbeitung der teureren und in der Arbeitsbreite stark eingeschränkten Strip-Till Technik überlegen. Die Wirkung der extensiven Bodenbearbeitung war jedoch kein Teil dieser Untersuchung. Versuchsergebnisse zeigen: „Das Strip-Till Verfahren ist ein geeignetes Verfahren, um die N-Effizienz bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern zu verbessern...“ (LLG 2018). Die Vorteile im Maisanbau konzentrieren sich dabei auf eine bessere Wasserverfügbarkeit und einer geringeren Verdunstung sowie höheren Erosionsschutz.

Des Weiteren zeigten sich Probleme im Fruchtfolgeglied Winterraps - Winterweizen. Hohe Saldenüberhänge nach der Winterrapsernte belegten, dass Winterweizen mit dem ungenügenden N-Aufnahmevermögen im Herbst keine ideale Nachfrucht für Winterraps ist, wenn der Raps nach N-Bedarf der aktuellen DüV gedüngt wird. Um das N-Auswaschungsrisiko zu vermindern, muss die N-Düngung im Raps weiter reduziert werden, die Fruchtfolge umgestellt und/oder alternative Anbaumethoden gefunden werden, welche den N-Überhang nach Raps abfangen und über den Winter bringen. Die Herbstdüngung zu Winterraps verschärfte die Situation weiter, zeigte jedoch keine ertragssteigernden Effekte. Alternativ führte das Abfahren des Vorfruchtstrohs zu gesteigerten Kornerträgen. Um vertretbare N-Salden beim Rapsanbau zu erreichen, wäre damit die mineralische Düngung von max. 80 % des N-Bedarfs und die Abfuhr des Vorfruchtstrohs nötig.

6 Offene Fragen

Bedingt durch den Entzug der weiteren Förderung der WRRL-Projekte an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei M-V zum 01.01.2022 bleiben Fragen zu den folgend aufgeführten Aspekten offen.

Risikobewertung über N-Saldo

Der N-Saldo wird als Bewertungsgrundlage zur Abschätzung potenzielle Nitratauswaschungen genutzt. Die Korrelation zwischen beiden beruht auf der gesamt gedüngten Stickstoffmenge N_t sowie des umgesetzten Stickstoffs während der Vegetationsperiode. Ob der durch den N-Saldo verdeutlichte Stickstoffüberhang ausreichend ist, um Nitratauswaschungen nach der Ernte abzuschätzen, sollte weiter untersucht werden.

Lösungsansätze für die Raps – Weizen Problematik

Das im Bericht dargestellte Problem der hohen N-Überhänge nach Winterraps und des geringen N-Aufnahmevermögen des Winterweizens macht praxistaugliche Lösungsansätze nötig. Dafür sind Untersuchungen von Anbautechniken sinnvoll, die den N-Überhang nach Raps abfangen können. Nötig wäre auch eine Begutachtung der möglichen Fruchtfolgeanpassungen im Rahmen der ackerbaulichen Bedingungen Mecklenburg-Vorpommerns.

Mineraldüngeräquivalente

Die im Bericht dargestellten MDÄs konnten nicht abschließend beurteilt werden. Es wäre daher nötig die Messreihe weiter zu führen, um ein abschließendes Bild zur Nährstoffwirkung der angewandten Gärreste zu erlangen.

Minderung von Ammoniak-Emissionen

Der Einsatz emissionsmindernder Technik sollte dringend weiter untersucht werden. In Anbetracht des politischen Willens, Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft deutlich zu reduzieren, ist eine Erweiterung des Themengebiets notwendig, um regionale Lösungsansätze für Mecklenburg-Vorpommern zu finden.

Nitrat im Sickerwasser

In diesem Bericht wurden Faktoren dargelegt, welche das Risiko für Nitratauswaschungen steigern. Für ein vollständiges Bild ist daher eine weiterführende langjährige Untersuchung des Sickerwassers auf den Nitratgehalt sinnvoll, um die konkreten Auswirkungen der Düngung zu erfassen.

7 Überleitung

7.1 Vorträge

Buglowski, David

- 27.08.0020 N-Düngungssysteme in der Fruchtfolge?, Feldtag Mais, Gülzow
- 07.12.0020 80 % Stickstoffdüngung im Fruchtfolgeglied Winterraps - Winterweizen., Mähdruschauswertung, vimeo
- 19.04.2018 Organische Düngung in der Fruchtfolge, Feldführung, Gülzow
- 03.05.2018 Organische Düngung in der Fruchtfolge, Feldführung, Gülzow
- 23.10.2019 Kann die Düngewirkung von Gärresten noch gesteigert werden?, Dialog Wasserrahmenrichtlinie, Güstrow
- 21.10.2021 Acker- und pflanzenbaulicher Einfluss auf NO₃-Konzentration im Sickerwasser - Dialog Wasserrahmenrichtlinie, Dialog Wasserrahmenrichtlinie, online
- 24.01.0020 Auswertung der Praxisversuche 2019, Auswertung Praxisversuche, Gülzow

Riebe, Katharina; Buglowski, David; Bull, Ines

- 31.01.2019 Aktuelle Forschungsergebnisse der LFA im Rahmen der AG WRRL & LW. Auswertung des Versuchsjahres 2018, Auswertung des Versuchsjahres 2018, Gülzow

7.2 Veröffentlichungen

- Buglowski, D. (20): Düngewirkung von Gärresten steigern. Tagungsband des 14. Rostocker Bioenergieforums., 2020, 159-165
- Buglowski, D. (20): Kann die Düngewirkung von Gärresten noch gesteigert werden? Online-Fachtagung: Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen, 2020
- Buglowski, D.; Römer, A. (2018): Gülle und Gärrestansäuerung als Problemlösung. Verbandsnachrichten, (2018)8, 10
- Bull, I.; Schulz, C. (17): Zwischenbericht 2016. Einfluss organischer Düngung und mineralischer Düngung auf die Sickerwasserqualität/ Einführung neuer Düngestrategien in der Mähdruschfruchtproduktion zur Verbesserung der N-Effizienz und zu Minderung von Bilanzüberschüssen aus der Düngung/ effizienter Einsatz von Biogasgärresten als Dünger unter besonderer Berücksichtigung der Vermeidung von Nährstoffeinträgen in das Grund- und Oberflächenwasser.

7.3 Poster

- Buglowski, D.: Düngung mit Biogasgärresten: Kann die Düngewirkung von Gärresten noch gesteigert werden?, Feldtag Mais, Gülzow, 27.08.0020
- Buglowski, D.: Organische Düngung in der Fruchtfolge, Feldschild am statischen Versuch, Versuchsfeld "An der Nebel", Gülzow, 19.12.2018

8 Literatur

Agrarfax.de (Stand Dezember 2021)

Beßler H. (2020): Vortrag bei Online-Fachtagung am 05.09.2020; FNR – Pflanzenbauliche Verwertung von Gärresten aus Biogasanlagen

Bull I. et al (2016): Verminderung von Ammoniak-Emissionen durch pH-Wert-Regulierung – Die Dänen machen es uns vor.

Birkmose et al. (2013): Acidification of slurry in barns, stores and during application: review of Danish research, trials and experience

Grunert M. et al. (2016): Wirkung unterschiedlicher N-Düngungsstrategien auf Ertrag und Qualität bei Weizen und Raps – langjährige Ergebnisse aus der Landesforschung in Sachsen; Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 28: 9-13 (2016)

Kupper T. (2017): Beurteilung der Ansäuerung von Gülle als Maßnahme zur Reduktion von Ammoniakemissionen in der Schweiz – Aktueller Stand; BAFU 3003 Bern

LUNG (2021): Fachinformationssystem Wasserrahmenrichtlinie

LFA (2015): Beiträge zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie, Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Heft 55

Neumann S. et al. (2019): Verbesserung der N-Nutzungseffizienz durch Gülleansäuerung: Analyse von N-Verlustpfaden beim Einsatz von ¹⁵N markierter Rindergülle in einem Grasbestand unter kontrollierten Bedingungen; Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 2019, 181 - 184

Pedersen, J.B. (2013): Oversigt over Landsforsøgene, 2012. Knowledge Centre for Agriculture.

Peters J., Schulz R. (2016): Ökologische und ökonomische Bewertung von Stickstoffgaben im Herbst zu Winterraps; Raps 3/2016

Peltonen S. (2017): Report of Estonian Crop Research Institute, WP4 Field Trials: Methodology, results collection and Partners practical experiences 2016-2018, 67 - 83

Peters, J. (2021): Vortrag GPW-Tagung in Rostock M-V, 28-30.09.2021

Seidel A. et al. (2017): Effects of acidification and injection of pasture applied cattle slurry on ammonia losses N₂O emissions and crop N uptake; Agriculture, Ecosystems and Environment

Tamm K. et al. (2017): Report of Estonian Crop Research Institute, WP4 Field Trials: Methodology, results collection and Partners practical experiences 2016-2018, 22 - 30

Wendland F. et al. (2015): Regional differenzierte Quantifizierung der Nährstoffeinträge in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer Mecklenburg-Vorpommerns unter Anwendung der Modellkombination GROWA-DENUZ-WEKU-MEPHOS; abgerufen in Fachinformationssystem Wasser FIS-Wasser des LUNG M-V

9 Anhang

Parzellen-Lageplan der vier Dauerversuchs-Felder

Feld 2				Feld 1			
10.1	3.1	11.1	9.1	5.1	4.1	3.1	1.1
2.1	5.1	4.1	6.1	2.1	9.1	12.1	8.1
1.1	7.1	8.1	12.1	11.1	6.1	10.1	7.1
5.2	12.2	6.2	10.2	7.2	2.2	4.2	12.2
11.2	8.2	1.2	3.2	10.2	3.2	5.2	6.2
9.2	2.2	7.2	4.2	9.2	1.2	8.2	11.2
3.3	1.3	10.3	2.3	3.3	7.3	9.3	4.3
8.3	9.3	5.3	7.3	6.3	5.3	11.3	2.3
6.3	4.3	12.3	11.3	8.3	12.3	1.3	10.3

Feld 4				Feld 3			
4.1	2.1	7.1	12.1	6.1	1.1	7.1	5.1
6.1	11.1	8.1	10.1	2.1	11.1	8.1	3.1
5.1	3.1	9.1	1.1	9.1	12.1	10.1	4.1
11.2	12.2	1.2	3.2	12.2	5.2	1.2	11.2
10.2	8.2	2.2	4.2	3.2	8.2	4.2	6.2
7.2	5.2	6.2	9.2	7.2	9.2	2.2	10.2
2.3	1.3	5.3	8.3	10.3	6.3	3.3	12.3
12.3	7.3	3.3	6.3	5.3	7.3	11.3	2.3
9.3	4.3	10.3	11.3	1.3	4.3	9.3	8.3

Statistische Auswertung

Verfahrensname: MW*UMWELT - Serienauswertung 'MW * Umwelt', optional mit Gewichtung
 Entwickler des Verfahrens: Dr. Andrea Zenk (Umsetzung) und Volker Michel (Konzeption)
 Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Kornertrag_PG2 - PG5 Winterraps

(C) BioMath GmbH - Code generiert von PIAFStat Version 7.50 [10.12.2020]

Varianzkomponenten

Obs	CovParm	Subject	Estimate
1	VNR	F1	0.3857
2	Residual		0.000070

Varianztabelle

Obs	Effect	Num DF	Den DF	FValue	ProbF
1	F1	3	9	14.35	0.0009
2	VNR	3	9	76.40	<.0001

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

F1	N-Düngung	adjust Mittelw.	SE	Anz. Versuche	Lower	Upper
1	Min F1	34.9182	0.3105	4	34.3490	35.4875
2	Min F2	36.1192	0.3105	4	35.5499	36.6884
3	Min F3	37.2778	0.3105	4	36.7085	37.8470
4	Min F4	37.4559	0.3105	4	36.8867	38.0251

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

	2016	2017	2018	2021	MW	N1
2	32.8	36.5	33.0	37.4	34.9	4
3	33.5	38.1	34.2	38.7	36.1	4
4	36.0	38.9	33.9	40.3	37.3	4
5	35.2	39.4	34.4	40.9	37.5	4

durchschnittliche absolute GD (alpha=0.05) aller paarweisen Vergleiche - t-Test

arit_MW	MIN	MAX	MEDIAN	N
0.99345	0.99345	0.99345	0.99345	6

Kornertrag_PG4, PG6 – PG8 Winterraps

(C) BioMath GmbH - Code generiert von PIAFStat Version 7.50 [10.12.2020]

Varianzkomponenten

Obs	CovParm	Subject	Estimate
1	VNR	F1	0.5942
2	Residual		0.5942

Varianztabelle

Obs	Effect	Num DF	Den DF	FValue	ProbF
1	F1	3	9	1.76	0.2252
2	VNR	3	9	17.43	0.0004

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

F1	N-Düngung	adjust Mittelw.	SE	Anz. Versuche	Lower	Upper
1	Min F3	37.2778	0.5451	4	36.2786	38.2769
2	organisch Standard F	38.8586	0.5451	4	37.8594	39.8578
3	organisch best of F	38.6427	0.5451	4	37.6436	39.6419
4	organisch reduziert F	37.9025	0.5451	4	36.9034	38.9017

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

	2016	2017	2018	2021	MW	N1
4	36.0	38.9	33.9	40.3	37.3	4
6	38.9	39.4	35.6	41.6	38.9	4
7	36.9	39.3	37.8	40.6	38.6	4
8	35.1	40.0	36.0	40.4	37.9	4

durchschnittliche absolute GD (alpha=0.05) aller paarweisen Vergleiche - t-Test

arit_MW	MIN	MAX	MEDIAN	N
1.74375	1.74375	1.74375	1.74375	6

Kornertrag_PG4, PG9 – PG12 Winterraps

(C) BioMath GmbH - Code generiert von PIAFStat Version 7.50 [10.12.2020]

Varianzkomponenten

Obs	CovParm	Subject	Estimate
1	VNR	F1	2.0450
2	Residual		2.0450

Varianztabelle

Obs	Effect	Num DF	Den DF	FValue	ProbF
1	F1	4	12	1.32	0.3170
2	VNR	3	12	12.56	0.0005

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

F1	N-Düngung	adjust Mittelw.	SE	Anz. Versuche	Lower	Upper
1	Min F3	37.2778	1.0112	4	35.4755	39.0800
2	H0 +St	35.2876	1.0112	4	33.4854	37.0898
3	Min H1 +St	38.0857	1.0112	4	36.2835	39.8879
4	organisch H +St	38.1732	1.0112	4	36.3709	39.9754
5	organisch optimal	37.3375	1.0112	4	35.5353	39.1397

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

	2016	2017	2018	2021	MW	N1
4	36.0	38.9	33.9	40.3	37.3	4
9	36.3	37.2	33.2	34.5	35.3	4
10	33.4	41.0	36.1	41.8	38.1	4
11	33.8	41.3	34.7	42.9	38.2	4
12	34.5	41.6	32.8	40.4	37.3	4

durchschnittliche absolute GD (alpha=0.05) aller paarweisen Vergleiche - t-Test

arit_MW	MIN	MAX	MEDIAN	N
3.11574	3.11574	3.11574	3.11574	10

Kornertrag_PG2 - PG5 Winterweizen

(C) BioMath GmbH - Code generiert von PIAFStat Version 7.50 [10.12.2020]

Varianzkomponenten

Obs	CovParm	Subject	Estimate
1	VNR	F1	10.4047
2	Residual		0.02262

Varianztabelle

Obs	Effect	Num DF	Den DF	FValue	ProbF
1	F1	3	12	8.72	0.0024
2	VNR	4	12	196.69	<.0001

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

F1	N-Düngung	adjust Mittelw.	SE	Anz. Versuche	Lower	Upper
1	Min F1	61.4432	1.4441	5	58.8694	64.0171
2	Min F2	64.8282	1.4441	5	62.2544	67.4020
3	Min F3	71.1260	1.4441	5	68.5521	73.6998
4	Min F4	68.6860	1.4441	5	66.1122	71.2598

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

	2016	2017	2018	2019	2021	MW	N1
2	52.8	71.0	27.9	68.9	86.7	61.4	5
3	59.0	77.2	31.3	70.6	86.1	64.8	5
4	59.8	85.2	33.1	84.0	93.5	71.1	5
5	53.9	84.5	36.8	75.6	92.6	68.7	5

durchschnittliche absolute GD (alpha=0.05) aller paarweisen Vergleiche - t-Test

arit_MW	MIN	MAX	MEDIAN	N
4.44977	4.44977	4.44977	4.44977	6

Kornertrag_PG4, PG6 - PG8 Winterweizen

(C) BioMath GmbH - Code generiert von PIAFStat Version 7.50 [10.12.2020]

Varianzkomponenten

Obs	CovParm	Subject	Estimate
1	VNR	F1	5.1316
2	Residual		5.1316

Varianztabelle

Obs	Effect	Num DF	Den DF	FValue	ProbF
1	F1	3	12	0.11	0.9536
2	VNR	4	12	196.03	<.0001

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

F1	N-Düngung	adjust Mittelw.	SE	Anz. Versuche	Lower	Upper
1	Min F3	71.1260	1.4327	5	68.5725	73.6795
2	organisch Standard F	70.3481	1.4327	5	67.7946	72.9016
3	organisch best of F	70.3360	1.4327	5	67.7825	72.8895
4	organisch reduziert F	71.1885	1.4327	5	68.6350	73.7420

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

	2016	2017	2018	2019	2021	MW	N1
4	59.8	85.2	33.1	84.0	93.5	71.1	5
6	65.8	80.8	39.3	74.8	91.0	70.3	5
7	61.4	80.9	36.4	79.4	93.6	70.3	5
8	61.4	79.7	35.3	83.6	95.9	71.2	5

durchschnittliche absolute GD (alpha=0.05) aller paarweisen Vergleiche - t-Test

arit_MW	MIN	MAX	MEDIAN	N
4.41460	4.41460	4.41460	4.41460	6

Kornertrag_PG4, PG6 – PG8 Winterweizen

(C) BioMath GmbH - Code generiert von PIAFStat Version 7.50 [10.12.2020]

Varianzkomponenten

Obs	CovParm	Subject	Estimate
1	VNR	F1	8.0061
2	Residual		8.0061

Varianztabelle

Obs	Effect	Num DF	Den DF	FValue	ProbF
1	F1	4	16	0.86	0.5113
2	VNR	4	16	163.70	<.0001

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

F1	N-Düngung	adjust Mittelw.	SE	Anz. Versuche	Lower	Upper
1	Min F3	71.1260	1.7895	5	68.0017	74.2503
2	H0 +St	69.1859	1.7895	5	66.0616	72.3102
3	Min H1 +St	67.8094	1.7895	5	64.6851	70.9337
4	organisch H +St	66.7806	1.7895	5	63.6563	69.9049
5	organisch optimal	68.0549	1.7895	5	64.9306	71.1792

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

	2016	2017	2018	2019	2021	MW	N1
4	59.8	85.2	33.1	84.0	93.5	71.1	5
9	62.9	83.3	34.8	77.1	87.8	69.2	5
10	60.2	80.9	33.0	73.0	91.9	67.8	5
11	62.9	81.9	34.1	63.8	91.2	66.8	5
12	55.3	82.8	32.2	73.3	96.6	68.1	5

durchschnittliche absolute GD (alpha=0.05) aller paarweisen Vergleiche - t-Test

arit_MW	MIN	MAX	MEDIAN	N
5.36502	5.36502	5.36502	5.36502	10

TM-Ertrag_PG1 - PG12 Silomais

Datum der Auswertung: Donnerstag, 25. November 2021

Serien- bezeichnung	Auswert.- jahr	einbezogene Versuche
Bugl_Mais	2021	6

(C) BioMath GmbH - Code generiert von PIAFStat Version 7.50 [10.12.2020]

Varianzkomponenten

Obs	CovParm	Subject	Estimate
1	VNR	F1	57.2718
2	Residual		0.2370

Varianztabelle

Obs	Effect	Num DF	Den DF	FValue	ProbF
1	F1	11	44	18.37	<.0001
2	VNR	4	44	233.32	<.0001

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

F1	N-Düngung	adjust Mittelw.	SE	Anz. Versuche	Lower	Upper
1	H0 F0	117.25	3.3914	5	111.55	122.95
2	Min F1	156.51	3.3914	5	150.82	162.21
3	Min F2	159.99	3.3914	5	154.29	165.69
4	Min F3	165.15	3.3914	5	159.45	170.85
5	Min F4	160.54	3.3914	5	154.84	166.24
6	organisch Standard F	169.90	3.3914	5	164.20	175.60
7	organisch best of F	169.98	3.3914	5	164.28	175.68
8	organisch reduziert F	163.39	3.3914	5	157.69	169.09
9	H0 +St	172.19	3.3914	5	166.49	177.89
10	Min H1 +St	166.74	3.3914	5	161.04	172.43
11	organisch H +St	165.44	3.3914	5	159.74	171.14
12	organisch optimal	166.36	3.3914	5	160.66	172.05

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

	2017	2018	2019	2020	2021	MW	N1
1	143.5	87.0	115.5	110.5	129.8	117.2	5
2	207.1	126.3	144.4	139.0	165.8	156.5	5
3	203.9	130.5	145.6	139.6	180.4	160.0	5
4	209.2	122.5	147.8	153.4	192.7	165.1	5
5	209.8	127.7	146.2	140.1	179.0	160.5	5
6	210.9	127.3	160.3	145.6	205.3	169.9	5
7	215.1	128.4	151.3	152.4	202.7	170.0	5
8	219.8	123.9	144.3	146.6	182.3	163.4	5
9	232.5	131.4	149.1	148.8	199.2	172.2	5
10	212.7	130.4	152.5	156.9	181.2	166.7	5
11	216.4	122.9	159.4	147.7	180.7	165.4	5
12	211.3	126.2	151.8	155.2	187.2	166.4	5

durchschnittliche absolute GD (alpha=0.05) aller paarweisen Vergleiche - t-Test

arit_MW	MIN	MAX	MEDIAN	N
9.66611	9.66611	9.66611	9.66611	66

N-Effizienz_PG1 - PG12 Silomais

Datum der Auswertung: Montag, 31. Januar 2022

Serien- bezeichnung	Auswert.- jahr	einbezogene Versuche
Bugl_Mais	2021	6

(C) BioMath GmbH - Code generiert von PIAFStat Version 7.50 [10.12.2020]

Varianzkomponenten

Obs	CovParm	Subject	Estimate
1	VNR	F1	477.36
2	Residual		477.36

Varianztabelle

Obs	Effect	Num DF	Den DF	FValue	ProbF
1	F1	10	38	9.39	<.0001
2	VNR	4	38	16.78	<.0001

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

F1	N-Düngung	adjust Mittelw.	SE	Anz. Versuche	Lower	Upper
1	Min F1	250.14	15.6040	4	223.83	276.44
2	Min F2	213.04	13.8182	5	189.74	236.34
3	Min F3	154.35	13.8182	5	131.06	177.65
4	Min F4	112.63	13.8182	5	89.3362	135.93
5	organisch Standard F	115.10	13.8182	5	91.8030	138.40
6	organisch best of F	115.97	13.8182	5	92.6729	139.27
7	organisch reduziert F	139.56	13.8182	5	116.26	162.85
8	H0 +St	161.38	15.6040	4	135.07	187.69
9	Min H1 +St	126.53	13.8182	5	103.23	149.82
10	organisch H +St	115.95	13.8182	5	92.6563	139.25
11	organisch optimal	126.56	13.8182	5	103.27	149.86

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

	2017	2018	2019	2020	2021	MW	N1
1	.	.	.	.	.	.	.
2	223.4	174.0	.	277.9	266.0	250.1	4
3	166.6	126.5	391.0	185.8	195.3	213.0	5
4	132.3	95.3	244.7	145.6	153.8	154.4	5
5	110.5	80.4	163.2	101.6	107.4	112.6	5
6	106.5	78.7	135.2	109.5	145.6	115.1	5
7	112.6	88.3	137.0	119.9	122.2	116.0	5
8	148.9	103.6	114.7	157.0	173.6	139.6	5
9	138.7	101.5	247.5	151.7	.	161.4	4
10	115.5	82.6	179.8	126.3	128.4	126.5	5
11	111.7	72.4	170.5	111.5	113.7	116.0	5
12	112.9	80.2	190.6	124.0	125.1	126.6	5

durchschnittliche absolute GD (alpha=0.05) aller paarweisen Vergleiche - t-Test

arit_MW	MIN	MAX	MEDIAN	N
40.5176	39.5605	44.7934	39.5605	55

RP_PG1 - PG12 Triticale

Datum der Auswertung: Mittwoch, 27. Juli 2022

Serien- bezeichnung	Auswert.- jahr	einbezogene Versuche
Bugl_WTr	2019	6

(C) BioMath GmbH - Code generiert von PIAFStat Version 7.50 [10.12.2020]

Varianzkomponenten

Obs	CovParm	Subject	Estimate
1	VNR	F1	0.1214
2	Residual		0.000288

Varianztabelle

Obs	Effect	Num DF	Den DF	FValue	ProbF
1	F1	11	49	24.97	<.0001
2	VNR	5	49	48.87	<.0001

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

F1	N-Düngung	adjust Mittelw.	SE	Anz. Versuche	Lower	Upper
1	H0 F0	5.9922	0.1424	6	5.7534	6.2310
2	Min F1	6.4743	0.1424	6	6.2355	6.7131
3	Min F2	7.3471	0.1424	6	7.1083	7.5858
4	Min F3	7.9432	0.1424	6	7.7044	8.1819
5	Min F4	8.5353	0.1424	6	8.2965	8.7741
6	organisch Standard F	7.2056	0.1776	4	6.9078	7.5034
7	organisch best of F	7.8520	0.1776	4	7.5541	8.1498
8	organisch reduziert F	7.4740	0.1776	4	7.1761	7.7718
9	H0 +St	7.8504	0.1424	6	7.6116	8.0892
10	Min H1 +St	8.0417	0.1424	6	7.8029	8.2804
11	organisch H +St	7.8418	0.1424	6	7.6030	8.0806
12	organisch optimal	8.0619	0.1424	6	7.8231	8.3007

adjustierte Mittelwerte und Anzahl Werte

```

„ffffffffffffffffffff...fffff...fffff...fffff...fffff...fffff...fffff...fffff+
      6752 7096 7705 8013 8454 9049  MW      N1
-ffffffffffffffffffff-fffff-fffff-fffff-fffff-fffff-fffff-fffff-fffff-
1      5.4  5.8  7.3  6.7  6.0  4.8  6.0  6
2      5.6  6.4  6.6  7.5  7.4  5.4  6.5  6
3      6.5  6.7  7.7  8.0  8.5  6.6  7.3  6
4      7.2  7.6  8.3  9.1  8.7  6.8  7.9  6
5      8.0  7.5  9.5  9.6  9.2  7.4  8.5  6
6      7.0  6.6  7.5  .    .    6.2  7.2  4
7      7.4  7.5  8.0  .    .    6.9  7.9  4
8      7.5  7.1  7.5  .    .    6.2  7.5  4
9      7.8  6.6  8.3  8.9  8.6  7.0  7.9  6
10     7.3  7.2  8.4  9.3  8.5  7.5  8.0  6
11     7.2  7.8  8.3  8.2  8.4  7.2  7.8  6
12     7.7  7.5  8.7  8.8  8.7  6.9  8.1  6
Šffffffffffffffffffff<fffff<fffff<fffff<fffff<fffff<fffff<fffff<fffff&

```

durchschnittliche absolute GD (alpha=0.05) aller paarweisen Vergleiche - t-Test

arit_MW	MIN	MAX	MEDIAN	N
0.43051	0.40478	0.49575	0.40478	66

