



Optimierung der Gülleausbringung

unter Berücksichtigung der Novellierung der
Düngeverordnung und der NEC-Richtlinie



Projektbericht

Projektförderung: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF)

Finanzierung: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF)

Förderkennzeichen: A/18/24

Geschäftszeichen: 7316-3

Projektlaufzeit: Januar 2019 bis Dezember 2022

Projektleiter: Robert Knöferl, Dr. Michael Diepolder

Projektbearbeiter: David Schubert, Hubert Steber, Johanna Mießl

Herausgegeben im: Mai 2023

**Optimierung der Gülleausbringung
unter Berücksichtigung der Novellie-
rung der Düngeverordnung und der
NEC-Richtlinie**

David Schubert

unter Mitwirkung von

Johanna Mießl

Dr. Michael Diepolder

Robert Knöferl

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Einleitung 13
2	Stand des Wissens..... 14
2.1	NEC-Richtlinie und Düngeverordnung..... 14
2.2	Emissionsminderung bei der Wirtschaftsdüngerausbringung..... 15
2.3	Verfahren zur Ausbring- und Einarbeitungstechnik für flüssige Wirtschaftsdünger 15
3	Material und Methoden 17
3.1	Versuchsstandorte 17
3.1.1	Standortbeschreibung Puch 17
3.1.2	Witterung Puch..... 19
3.1.3	Standortbeschreibung Dürabuch 20
3.1.4	Witterung Dürabuch 23
3.2	Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste 25
3.3	Versuchsgüllefass (Gülletrac) 25
3.4	Ausbringtechnik in den Feldversuchen 27
3.4.1	Schleppschuh (SU) 27
3.4.2	Schleppschlauch (SL)..... 28
3.4.3	Flache Scheibenschlitztechnik (SC 1)..... 28
3.4.4	Tiefe Scheibenschlitztechnik (SC 2) 29
3.4.5	Strip-Tillage (ST) 30
3.4.6	Güllegrubber (GG) 31
3.4.7	Gülescheibenegge (GS)..... 31
3.5	Saat 32
3.6	Ernte 32
3.6.1	Weizenernte..... 32
3.6.2	Maisernte 32
3.6.3	Grünroggenernte..... 32
3.7	Versuchsaufbau 33
3.7.1	Versuch zur Winterweizendüngung (V557) 33
3.7.2	Versuch zur Silomaisdüngung nach abfrierender Zwischenfrucht (V558) 36
3.7.3	Versuch zur Silomaisdüngung nach der Zweitfrucht Grünroggen (V559) 39
3.8	Bestimmung der Qualitätsparameter im Erntegut, Untersuchung der organischen Dünger und Bestimmung von Bodenparametern..... 42
3.8.1	Bestimmung der Trockenmassegehalte des Ernteguts 42

3.8.2	Bestimmung der Rohproteingehalte des Ernteguts	42
3.8.3	Bestimmung der Inhaltsstoffe der organischen Dünger	42
3.8.4	Bestimmung des Stickstoffgehalts im Boden.....	43
3.8.5	Bestimmung der Bodenparameter	43
3.9	Berechnung von pflanzenbaulichen Parametern	43
3.9.1	Mineraldüngeräquivalent (MDÄ).....	43
3.9.2	Trockenmasseertrag.....	44
3.9.3	N-Abfuhr	44
3.9.4	N-Saldo.....	44
3.9.5	Berechnung der N _{min} -Gehalte im Boden	44
3.9.6	Ährentragende Halme im Versuch 557	44
3.10	Statistische Auswertung	44
4	Ergebnisse und Diskussion	45
4.1	Ergebnisse der Feldversuche zu Winterweizen (V557)	45
4.1.1	Ertrag und Rohprotein im Versuch 557	48
4.1.1.1	Mineralische Düngungssteigerung	48
4.1.1.2	Einfluss der Applikationstechnik auf den Pflanzenbestand, Ertrag und Rohprotein.....	48
4.1.1.3	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und Rohprotein bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr oder zu BBCH 30	49
4.1.1.4	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und Rohprotein bei einer aufgeteilten organischen Düngung (85+85 kg N/ha) im Frühjahr und zu BBCH 30	51
4.1.1.5	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und Rohprotein bei einer reduzierten organischen Düngung (85 kg N/ha) im Frühjahr sowie einer mineralischen N-Ergänzung.....	52
4.1.1.6	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und Rohprotein bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr oder zu BBCH 30 sowie einer mineralischen N-Ergänzung.....	52
4.1.2	Einfluss der Applikationstechnik auf den Pflanzenbestand, hier Ährentragende Halme im Versuch 557	53
4.1.3	N-Saldo und N-Abfuhr im Versuch 557	54
4.1.4	N _{min} -Gehalte im Versuch 557.....	55
4.1.5	Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) im Versuch 557	57
4.1.6	Zwischenfazit aus Versuch 557.....	58
4.2	Ergebnisse der Feldversuche zu Silomais nach abfrierender Zwischenfrucht (V558)	59
4.2.1	Ertrag und N-Abfuhr im Versuch 558.....	62

4.2.1.1	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat.....	62
4.2.1.2	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer aufgeteilten organischen Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat und in den Maisbestand.....	62
4.2.1.3	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat sowie einer mineralischen N-Ergänzung.....	63
4.2.1.4	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer aufgeteilten organischen Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat und in den Maisbestand sowie einer mineralischen N-Ergänzung.....	63
4.2.2	N-Saldo im Versuch 558.....	64
4.2.3	N _{min} -Gehalte nach der Ernte im Versuch 558.....	65
4.2.4	Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) im Versuch 558.....	66
4.2.5	Zwischenfazit aus Versuch 558.....	69
4.3	Ergebnisse der Feldversuche zu Silomais nach der Zweitfrucht Grünroggen (V559).....	70
4.3.1	Ertrag und N-Abfuhr im Versuch 559.....	73
4.3.1.1	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat.....	73
4.3.1.2	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer aufgeteilten organischen Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat und in den Maisbestand.....	75
4.3.1.3	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat sowie einer mineralischen N-Ergänzung.....	76
4.3.1.4	Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer aufgeteilten organischen Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat und in den Maisbestand sowie einer mineralischen N-Ergänzung.....	76
4.3.2	N-Saldo im Versuch 559.....	77
4.3.3	N _{min} -Gehalte nach der Ernte im Versuch 559.....	78
4.3.4	Mineraldüngeräquivalent im Versuch 559.....	79
4.3.5	Zwischenfazit aus Versuch 559.....	81
5	Zusammenfassung.....	82
6	Literaturverzeichnis.....	85
7	Danksagung.....	86
8	Anhang.....	87

Abbildung 1: Verlauf der Witterung vom 01.01.2020 bis 31.12.2022 am Standort Puch.....	19
Abbildung 2: Verlauf der Witterung vom 01.01.2020 bis 31.12.2022 am Standort Dürabuch.	23
Abbildung 3: Gülletrac mit Schleppschuh.	26
Abbildung 4: Gülletrac beim "Auftanken" aus dem Zubringerfass.	26
Abbildung 5: Schleppschuh am Gülletrac.....	27
Abbildung 6: Frühjahrsdüngung (Biogasgärrest, 40 m ³ /ha) mit Schleppschuh in den Weizenbestand.	27
Abbildung 7: Frühjahrsdüngung (Biogasgärrest, 40 m ³ /ha) mit simulierten Schleppschlauch (siehe Text) in den Weizenbestand.....	28
Abbildung 8: Flache Scheibenschlitztechnik.	28
Abbildung 9: Frühjahrsdüngung (Biogasgärrest, 40 m ³ /ha) mit flacher Scheibenschlitztechnik in den Weizenbestand.....	28
Abbildung 10: Tiefe Scheibenschlitztechnik mit „Abstreifer“.	29
Abbildung 11: Frühjahrsdüngung (Biogasgärrest, 40 m ³ /ha) mit tiefer Scheibenschlitztechnik in den Weizenbestand.....	29
Abbildung 12: In den Boden geschnittener Injektionsschlitz durch die tiefe Scheibenschlitztechnik im Weizenbestand (Biogasgärrest, 20 m ³ /ha). ...	29
Abbildung 13: Strip-Tillage Gerät, Seitenansicht	30
Abbildung 14: Strip-Tillage Gerät, Heckansicht.....	30
Abbildung 15: Mit dem Strip-Tillage Verfahren applizierter, flüssiger Gärrest als Gülleband (im roten Kreis) im Boden.....	30
Abbildung 16: Güllegrubber.....	31
Abbildung 17: Güllescheibenegge.	31
Abbildung 18: Graphische Darstellung zur Ermittlung der Mineraldüngeräquivalente.....	43
Abbildung 19: Mittlere Erträge und Rohproteingehalte mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr. Versuch 557.....	49
Abbildung 20: Mittlere Erträge und Rohproteingehalte mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) zu BBCH 30. Versuch 557.	50
Abbildung 21: Mittlere Erträge und Rohproteingehalte mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (85 kg N/ha) im Frühjahr und zu BBCH 30. Versuch 557.	51
Abbildung 22: Mittlere Anzahl der Ähren pro Quadratmeter nach dem Einsatz verschiedener Applikationstechniken und bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr. Versuch 557.	54
Abbildung 23: N-Saldo und N-Abfuhr je Versuchsglied im Versuch 557.	55
Abbildung 24: N _{min} -Gehalt im Boden je Versuchsglied in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm nach der Winterweizenernte im Versuch 557.	56
Abbildung 25: Mineraldüngeräquivalent mit verschiedenen Applikationstechniken bei einer organischen N-Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr und/oder zu BBCH 30 im Versuch 557.	57
Abbildung 26: N-Saldo je Versuchsglied im Versuch 558.	64

Abbildung 27: N_{\min} -Gehalt im Boden je Versuchsglied in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm nach der Silomaisernte im Versuch 558.....	65
Abbildung 28: Mineraldüngeräquivalent mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) vor der Saat und mineralischer N-Düngung. Versuch 558.....	67
Abbildung 29: Mineraldüngeräquivalent mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Saat bzw. in den Maisbestand sowie mineralischer N-Düngung. Versuch 558.	68
Abbildung 30: Mittlere TM-Erträge und N-Abfuhr mit verschiedenen Applikationstechniken und unterschiedlicher Bodenbearbeitung bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat und mineralischer Unterfußdüngung (30 kg N/ha). Versuch 559.....	74
Abbildung 31: Mittlere TM-Erträge und N-Abfuhr mit verschiedenen Applikationstechniken und unterschiedlicher Bodenbearbeitung bei gleicher, aufgeteilter organischer N-Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat bzw. in den Maisbestand und mineralischer Unterfußdüngung (30 kg N/ha). Versuch 559.	75
Abbildung 32: N-Saldo je Versuchsglied im Versuch 559.	77
Abbildung 33: N_{\min} -Gehalt im Boden je Versuchsglied in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm nach der Silomaisernte im Versuch 559.....	78

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1: Bodenuntersuchung vor Versuchsbeginn des ortswechselnden Versuchs in Puch.....	18
Tabelle 2: N _{min} -Gehalte (0-90 cm Tiefe) der Versuchsflächen im Herbst des Vorjahres und im darauffolgenden Frühjahr des ortswechselnden Versuchs in Puch.....	18
Tabelle 3: Temperatur und Niederschlag bezogen auf die Tage der organischen Düngung und auf die Versuchsjahre. Versuch 557 in Puch.....	20
Tabelle 4: Bodenuntersuchung vor Versuchsbeginn der ortswechselnden Versuche um Dürabuch.....	21
Tabelle 5: N _{min} -Gehalte (0-90 cm Tiefe) der Versuchsflächen im Herbst des Vorjahres und im darauffolgenden Frühjahr. V557 und V558, um Dürabuch.....	21
Tabelle 6: N _{min} -Gehalte (0-90 cm Tiefe) der Versuchsflächen im Herbst des Vorjahres, im darauffolgenden Frühjahr und nach der Grünroggenernte. V559.....	22
Tabelle 7: Ertrag und N-Abfuhr der Zweitfrucht Grünroggen in den einzelnen Jahren, V559.....	22
Tabelle 8: Temperatur und Niederschlag bezogen auf die organischen Düngetage und auf die Versuchsjahre. Versuch 557, 558 und 559 in Dürabuch.....	24
Tabelle 9: Übersicht über die eingesetzten Ausbringtechniken.....	27
Tabelle 10: Düngeplan Versuch 557.....	34
Tabelle 11: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V557 Puch und Dürabuch.....	35
Tabelle 12: Düngeplan Versuch 558.....	37
Tabelle 13: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen von Versuch 558 um den Standort Dürabuch.....	38
Tabelle 14: Düngeplan Versuch 559.....	40
Tabelle 15: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen von Versuch 559 um den Standort Dürabuch.....	41
Tabelle 16: Versuchsglieder mit zugehörigen Applikationstechniken, mittleren organischen und mineralischen Düngermengen je Düngetermin sowie den mittleren Erträgen, Rohproteingehalten, N-Abfuhr und N-Salden. Versuch 557.....	46
Tabelle 17: Versuchsglieder mit zugehörigen Applikationstechniken, mittleren organischen und mineralischen Düngermengen je Düngetermin sowie den mittleren TM-Erträgen, N-Abfuhr, N-Salden und N _{min} -Gehalten. Versuch 558.....	60
Tabelle 18: Versuchsglieder mit zugehörigen Applikationstechniken, mittleren org. und min. Düngermengen je Düngetermin sowie den mittleren TM-Erträgen, N-Abfuhr, N-Salden und N _{min} -Gehalten. Versuch 559.....	71
Tabelle 19: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR), Angaben beziehen sich auf Frischmasse, NH ₄ -N nach CaCl ₂ -Extraktion.....	87
Tabelle 20: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2020 am Standort Dürabuch.....	88
Tabelle 21: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2021 am Standort Dürabuch.....	89

Tabelle 22: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2022 am Standort Dürabuch.....	90
Tabelle 23: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2020 am Standort Puch.....	91
Tabelle 24: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2021 am Standort Puch.....	92
Tabelle 25: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2022 am Standort Puch.....	93
Tabelle 26: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 558 im Jahr 2020.	94
Tabelle 27: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 558 im Jahr 2021.	95
Tabelle 28: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 558 im Jahr 2022.	96
Tabelle 29: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 559 im Jahr 2020.	97
Tabelle 30: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 559 im Jahr 2021.	98
Tabelle 31: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N- Abfuhr im Versuch 559 im Jahr 2022.	99

Abkürzungsverzeichnis

BaySG	.....	Bayerische Staatsgüter
BGR	.....	Biogasgärrest
CaO	.....	Calciumoxid
CaCl ₂	.....	Calciumchlorid
C _{org}	.....	organischer Kohlenstoff
DTPA	.....	Diethylentriaminpentaessigsäure
DüV	.....	Düngeverordnung
GD	.....	Grenzdifferenz
GG	.....	Güllegrubber
GS	.....	Gülfescheibenegge
H	.....	Wasserstoff
K ₂ O	.....	Kaliumoxid
MDÄ	.....	Mineraldüngeräquivalent
MgO	.....	Magnesiumoxid
N	.....	Stickstoff
NEC	.....	National Emission Ceilings
NH ₃	.....	Ammoniak
NH ₄ -N	.....	Ammoniumstickstoff
NIRS	.....	Nahinfrarot-Spektroskopie
NIT	.....	Nahinfrarot-Transmissions-Spektroskopie
N _{min}	.....	pflanzenverfügbare mineralisierter Stickstoff im Boden
NO ₃ -N	.....	Nitratstickstoff
N _t	.....	Gesamtstickstoff
P ₂ O ₅	.....	Phosphorpentoxid
RP	.....	Rohprotein
RTK	.....	Real Time Kinematic
S	.....	Schwefel
SC1	.....	flache Scheibenschlitztechnik
SC2	.....	tiefe Scheibenschlitztechnik
SL	.....	Schleppschlauch
sL	.....	sandiger Lehm
ST	.....	Strip-Tillage
SU	.....	Schleppschuh
tL	.....	toniger Lehm
TM	.....	Trockenmasse
uL	.....	Lößlehm
VDLUFA	.....	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

1 Einleitung

In einer modernen und zukunftsfähigen Landwirtschaft sind technische und organisatorische Fortschritte darauf ausgerichtet, unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden. Dazu gehören unter anderem Nährstoffverluste in die Umwelt.

Die neue Gesetzgebung im Düngerecht trägt diesen Anforderungen bereits Rechnung. Durch die Novellierung der Düngeverordnung (DüV), welche die gute fachliche Praxis beim Düngen beschreibt, und durch die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (NEC: National Emission Ceilings), die für Ammoniak eine Emissionshöchstmenge vorgibt, müssen die Düngestrategien auf eine möglichst verlustarme und effiziente Ausbringung angepasst werden.

Für die Mehrzahl der bayerischen Betriebe ergibt sich aus den Vorgaben Anpassungsbedarf in der technischen sowie logistischen Umsetzung des Managements von flüssigen Wirtschaftsdüngern.

In der wissenschaftlichen Literatur sind grundsätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Stickstoffausnutzung bereits hinreichend beschrieben. Durch die Einschränkungen der DüV und aufgrund regionaler Gegebenheiten sind jedoch weitere, explizite Untersuchungen notwendig.

Um hierzu landwirtschaftlichen Betrieben Beratungsempfehlungen zur Verfügung zu stellen, sind regionale Feldversuche notwendig. Hierzu trägt dieses Forschungsprojekt bei. Ergänzend zum Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung unter Berücksichtigung der Novellierung der Düngeverordnung und der NEC-Richtlinie“ (Wendland et. al, 2019) wurden zusätzliche Düngeverfahren untersucht (Applikationszeitpunkte, bedarfsgerechte mineralische N-Ergänzung zur organischen Düngung) und hierzu neue Applikationstechniken angeschafft sowie vorhandene Technik optimiert. Das Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, die aktuellen gesetzlichen Vorgaben zur Wirtschaftsdüngerausbringung in der praktischen Umsetzung zu untersuchen. Dafür wurden in den Jahren 2019 bis 2022 verschiedene mehrjährige Feldversuche im Raum Fürstfeldbruck (Oberbayern) angelegt.

Dies umfasste einen Versuch zu Winterweizen auf zwei verschiedenen Standorten. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Zweitkulturnutzungssystemen wurde darüber hinaus ein Versuch zur Wirkung flüssiger organischer Düngung nach Grünroggen-Ganzpflanzensilage vor Silomais angelegt. Weiterhin wurde ein Versuch mit einer abfrierenden Zwischenfruchtmischung vor Silomais durchgeführt.

Bei all diesen Versuchen standen die Wirkungen unterschiedlicher Techniken (bodennah streifenförmig oberflächlich, Einbringung in den Boden) zur Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger im Zentrum. Außerdem wurden die Einflüsse verschiedener Ausbringmengen und Ausbringzeiten, sowie verschiedener Kombinationen aus organischem Dünger und bedarfsgerechter mineralischer Stickstoff(N)-Ergänzungsdüngung auf den Ertrag sowie auf weitere wichtige Parameter der Stickstoffwirkung (Rohproteingehalt, N-Abfuhr, N-Saldo, N-Effizienz, mineralischer Stickstoffgehalt des Bodens) untersucht.

2 Stand des Wissens

In Deutschland stammen ca. 95 % der Ammoniak (NH_3) – Emissionen aus der Landwirtschaft (Umweltbundesamt, 2022). Dabei stellen die Wirtschaftsdünger eine bedeutende Emissionsquelle dar (Rösemann et al., 2021). Ammoniak, die chemische Verbindung von Stickstoff (N, reaktiv) und Wasserstoff (H), ist ein farbloses, wasserlösliches, stark stechend riechendes Gas. Es entsteht in erster Linie während chemischer Umwandlungsprozesse in flüssigen organischen Düngern. Die NH_3 -Emissionen müssen stark reduziert werden, denn NH_3 kann sich durch seine Eigenschaften negativ auf Gesundheit und Umwelt auswirken. In der Atmosphäre ist NH_3 unerwünscht, da die daraus entstehende N-Deposition unter anderem zur Eutrophierung und Versauerung von Ökosystemen beiträgt und indirekt klimarelevant wirkt.

2.1 NEC-Richtlinie und Düngeverordnung

Im Rahmen des 2005 beschlossenen Göteborg-Protokolls, welches der Verringerung der negativen Effekte von Luftschadstoffemissionen (u.a. Ammoniak, Feinstaub, Stickoxide) auf die menschliche Gesundheit und auf die Ökosysteme dient, wurde von der Europäischen Union die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (NEC: National Emission Ceilings) erlassen. Darin werden Höchstmengen für Luftschadstoffe festgelegt. Deutschland überschreitet diese Höchstmengen in jedem Jahr deutlich. Die neue NEC-Richtlinie von 2016 fordert, dass die NH_3 -Emissionen in Deutschland seit dem Jahr 2020 um 5 % und ab dem 2030 um 29 % gegenüber dem Referenzjahr 2005 gesenkt werden müssen.

Aufgrund der Höhe ihres Emissionsbeitrags steht die Landwirtschaft hierbei in besonderer Verantwortung und in starkem Anpassungsdruck. Für die Zielerreichung ist die Implementierung umfangreicher Maßnahmen innerhalb der Landwirtschaft notwendig.

NH_3 -Verluste aus der Tierhaltung treten unter anderem im Stall, während der Lagerung sowie beim Ausbringen von Wirtschaftsdüngern auf. Besonders während letzterem entstehen hohe NH_3 -Emissionen (40,5 %, Rösemann et al., 2021). Aufgrund der Emissionshöhe stellt die Minderung der NH_3 -Emissionen bei der Wirtschaftsdüngerausbringung eine der effektivsten Maßnahmen dar. Die Einflussfaktoren, welche die Höhe der NH_3 -Emissionen bei der Ausbringung bestimmen, sind vielfältig und komplex. Sie hängen jedoch maßgeblich von der Ausbringtechnik, dem Ausbringzeitpunkt und der Dauer bis zur Einarbeitung des Düngers ab. Die rasche und vollständige Einarbeitung von flüssigen Wirtschaftsdüngern ist auf unbestelltem Ackerland nachweislich eine der besten Methoden der NH_3 -Emissionsminderung (z.B. Wulf, 2014). Außerdem haben bisherige Untersuchungen gezeigt, dass die nach DüV vorgegebenen Mindestwirksamkeiten für flüssige Wirtschaftsdünger mit den häufig eingesetzten streifenförmigen Applikationsverfahren Schleppschlauch und Schleppschuh kaum zu erreichen sind (Wendland et al., 2019).

Mit der effektiven Umsetzung der Vorgaben zur Ausbringtechnik in der DüV lassen sich Ammoniak-Emissionen einsparen, damit die Effizienz der organischen Düngung steigern und demzufolge kostspielige Mineraldünger einsparen. Laut DüV § 6 Satz 1 wird bei der Düngung von flüssigen Wirtschaftsdüngern ($> 2\%$ TS, z.B. Gülle, Gärrest) auf unbestelltem Ackerland eine sofortige Einarbeitung (spätestens innerhalb von vier Stunden, ab dem 1. Februar 2025 innerhalb einer Stunde nach Beginn des Aufbringens) des Düngers vorgeschrieben. Zudem schreibt die DüV in § 6 Satz 3 auf bestelltem Ackerland eine streifenförmige Ausbringung flüssiger organischer Dünger vor. Der Einsatzzeitraum von flüssigen Wirtschaftsdüngern wurde durch die Verlängerung der Sperrfristen in der Düngeverordnung zusätzlich begrenzt, wodurch sich die Düngung noch stärker aufs Frühjahr konzentriert.

2.2 Emissionsminderung bei der Wirtschaftsdüngerausbringung

Bei der Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger entsteht ein großer Anteil der NH_3 -Verluste unmittelbar (in den ersten Stunden) nach der Düngerablage im Feld. Über die Hälfte der gesamten NH_3 -Emissionen treten bei einer oberflächlichen Ablage des Düngers innerhalb des ersten Tages nach der Ausbringung auf (Pain et al., 1989). Die tatsächliche Höhe der NH_3 -Emission ist eine Folge des komplexen Zusammenwirkens von Eigenschaften des Wirtschaftsdüngers, des Standorts, der Witterung sowie der emissionsmindernden technischen Maßnahmen.

Etliche Untersuchungen belegen eine deutlich höhere N-Düngerwirkung bei unverzüglicher (z.B. 1h) Einarbeitung der flüssigen Wirtschaftsdünger in den Boden (z.B. Lichti, 2012). Der Zeitraum zwischen Ausbringung und Einarbeitung beeinflusst deshalb die direkte N-Düngewirkung im Ausbringungsjahr (Boxberger et al., 2020). Einen entscheidenden Einflussfaktor auf die NH_3 -Emissionen stellt der Kontakt des Düngers mit der Luft da.

Es ist bekannt, dass bei einer bodennahen, streifenförmigen Applikation von flüssigen Wirtschaftsdüngern, verglichen mit der Breitverteilung, der Luftkontakt und damit die N-Emissionen reduziert sind. Innerhalb der bodennahen Applikationstechniken ist die Ablagetiefe der Dünger im Boden ein entscheidender Faktor für die Nährstoffeffizienz. Je weniger Dünger an der Bodenoberfläche verbleibt, umso geringer sind die Stickstoffverluste und umso effizienter kann der enthaltene Stickstoff von den Kulturpflanzen genutzt werden. Dies kann sehr gut mit Hilfe von Injektionstechniken erreicht werden (Wendland et al., 2019).

Zusätzlich wird bei der Einarbeitung der Wirtschaftsdünger die der Luft ausgesetzte Fläche (spezifische Oberfläche) reduziert und somit der mögliche NH_3 -Transport in die Atmosphäre verringert. Die Einarbeitung von Gülle z.B. mittels Kreiselegge oder Grubber reduziert die NH_3 -Emission im Vergleich zur Breitverteilung erheblich. Zudem nehmen die Emission mit zunehmender Einarbeitungstiefe ab (Sommer und Hutchings 1995). Da weniger NH_3 in die Luft emittiert und somit im flüssigen Wirtschaftsdünger verbleibt, kann mehr wertvoller pflanzenverfügbarer Ammonium-Stickstoff (NH_4 -Stickstoff) für das Pflanzenwachstum bereitgestellt werden.

2.3 Verfahren zur Ausbring- und Einarbeitungstechnik für flüssige Wirtschaftsdünger

Die Ausbringung von flüssigen organischen Düngern erfolgt in der Regel mit einem traktorgezogenen Güllefass. Jedoch zeigt der Trend der letzten Jahre, dass zunehmend Selbstfahrer zum Einsatz kommen. Eine weitere Methode sind Verschlauchungssysteme, welche jedoch bisher in Bayern nur in geringem Umfang genutzt werden.

Die meisten der von den Herstellern mittlerweile angebotenen Verteiltechniken arbeiten bodennah und legen den Dünger entweder unmittelbar auf der Bodenoberfläche ab (z.B. Schleppschlauch) oder injizieren ihn in den Boden (z.B. Scheibeninjektor, Strip-Tillage). Dies ist auf die Vorgaben der DüV zur bodennahen, streifenförmigen Ausbringung flüssiger organischer Dünger auf bestelltem Ackerland zurückzuführen. Zur Einarbeitung von flüssigen Wirtschaftsdüngern auf unbestelltem Ackerland stehen verschiedene Bodenbearbeitungstechniken zur Verfügung. Mit der Bodenbearbeitung geht jedoch ein mehr oder weniger großer Eingriff in die Bodenstruktur einher. Es gilt also, durch Abwägung die richtige Abstimmung zwischen Boden (Standort) und Bearbeitungsintensität zu finden.

Die wendenden Systeme haben die höchste Bodenbearbeitungsintensität. Hier ist die Störung des Oberbodens auf Krumentiefe bis 35 cm sehr hoch. Die Bodenbearbeitung wird hier mit wendenden Werkzeugen durchgeführt. Die nichtwendenden Systeme sind vielfältiger und haben durch ihre lockernde und mischende Arbeitsweise in der Regel eine geringere Arbeitsintensität. Es kann zudem zwischen passiven (gezogenen) und aktiven (rotierenden oder oszillierenden) Werkzeugen unterschieden werden (KTBL, 2015).

Bekannt ist, dass es bei hohen Radlasten und hoher Überrollhäufigkeit, welche z.B. durch absätziges Verfahren (erst Düngung, dann Einarbeitung) gegeben ist, zu einer großen mechanischen Belastung der Böden kommen kann. Um die Überrollhäufigkeit zu reduzieren, bietet es sich an, in einem Arbeitsgang (nicht absätziges Verfahren) die Einarbeitung der flüssigen organischen Dünger mit Güllescheibenegge oder Güllegrubber vorzunehmen.

Zudem wird durch das sofortige Einarbeiten bei nicht absätzigem Verfahren der Luftkontakt der flüssigen Wirtschaftsdünger reduziert, wodurch die NH_3 -Emissionen zusätzlich gesenkt werden können.

3 Material und Methoden

Die Versuchslaufzeit für dieses Forschungsprojekt betrug vier Jahre (2019-2022). Probleme mit der neuen Düngetechnik (Gülletrac) erforderten im Versuchsjahr 2019 immer wieder kurzfristige technische Anpassungen am Gerät, die erhebliche Verzögerungen bei der Versuchsdurchführung nach sich zogen. Dadurch konnten die erforderlichen wissenschaftlichen Genauigkeiten für die Gülleausbringmenge bei einigen Anbaugeräten trotz aller Bemühungen anfangs nicht erzielt werden. Aufgrund der beschriebenen Komplikationen und Ungenauigkeiten genügten die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres (2019) den wissenschaftlichen Ansprüchen nicht. Sie wurden deshalb aus der Gesamtauswertung genommen und werden auch nicht in diesem Bericht dargestellt.

3.1 Versuchsstandorte

Ein Versuch zur Winterweizendüngung (V557) wurde am Standort Puch (Fürstenfeldbruck) auf den Ackerflächen der dort ansässigen Versuchsstation der Bayerischen Staatsgüter durchgeführt. Die Versuchsfläche rotierte mit der dortigen Fruchtfolge über den Versuchszeitraum.

Die um den Standort Dürabuch durchgeführten Versuche wurden auf Ackerflächen der dort ansässigen Landwirte durchgeführt. Hierbei handelt es sich um einen weiteren Versuch zur Winterweizendüngung (V557) und die beiden Versuche zur Silomaisdüngung (V558, V559). Die Versuche wurden alle von der ca. 10 km entfernten Versuchsstation Puch der Bayerischen Staatsgüter durchgeführt.

3.1.1 Standortbeschreibung Puch

Die Versuchsstation Puch befindet sich westlich von Fürstenfeldbruck (48°11'12.523"N 11°13'11.192"E), auf 550 m über dem Meeresspiegel, mit durchschnittlich 876 mm Niederschlag und einer Jahresmitteltemperatur von 8,9 °C. Puch liegt nach standortkundlicher Landschaftsgliederung im Gebiet der Altmoräne des Loisach-Ammergletschers. Der dort anzutreffende Bodentyp ist eine Parabraunerde mit der Bodenart sandiger Lehm. Die Versuchsflächen wiesen keine Expositionen auf.

Wichtige Bodenparameter der Versuchsflächen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Bodenproben wurden jeweils vor Anlage der ortswechselnden Versuche bis 15 cm Bodentiefe entnommen.

Tabelle 1: Bodenuntersuchung vor Versuchsbeginn des ortswechselnden Versuchs in Puch.

Versuchsjahr	Einheit	2020	2021	2022
Bodenart		Lößlehm (uL)	Lößlehm (uL)	toniger Lehm (tL)
Stärke Ackerkrume	cm	26	26	26
Ackerzahl		58	66	66
pH-Wert		7,0	6,7	6,3
P ₂ O ₅ *	mg/100 g Boden	10,2	8,7	10,2
K ₂ O*		21,0	25,0	15,9
Mg*		16,6	16,0	11,9
C _{org} *	%	1,42	1,38	1,07
Humus		2,45	2,38	1,85
N _t *		0,16	0,15	0,13

* Phosphorpentoxid (P₂O₅), Kaliumoxid (K₂O), Magnesiumoxid (MgO), organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t)

Für die Ermittlung des pflanzenverfügbaren mineralisierten Stickstoffs im Boden (N_{min}) wurden für den Versuch 557 pro Wiederholung Bodenmischproben aus dem ungedüngten Weizenbestand sowohl im Herbst des Vorjahres als auch im Frühjahr des Erntejahres entnommen. Die N_{min}-Gehalte der Versuchsflächen von 0-90 cm Tiefe im Herbst und Frühjahr sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Die N_{min}-Gehalte im Frühjahr dienen als Grundlage für die Düngebedarfsermittlung.

Tabelle 2: N_{min}-Gehalte (0-90 cm Tiefe) der Versuchsflächen im Herbst des Vorjahres und im darauffolgenden Frühjahr des ortswechselnden Versuchs in Puch.

Ort	Düngungsjahr	Herbst	Frühjahr
Puch	2020	117	93
	2021	90	67
	2022	44	32

3.1.2 Witterung Puch

Der Verlauf der Witterung vom 01.01.2020 bis 31.12.2022 am Standort Puch, gemessen an der dortigen Wetterstation, ist in Abbildung 1 dargestellt.

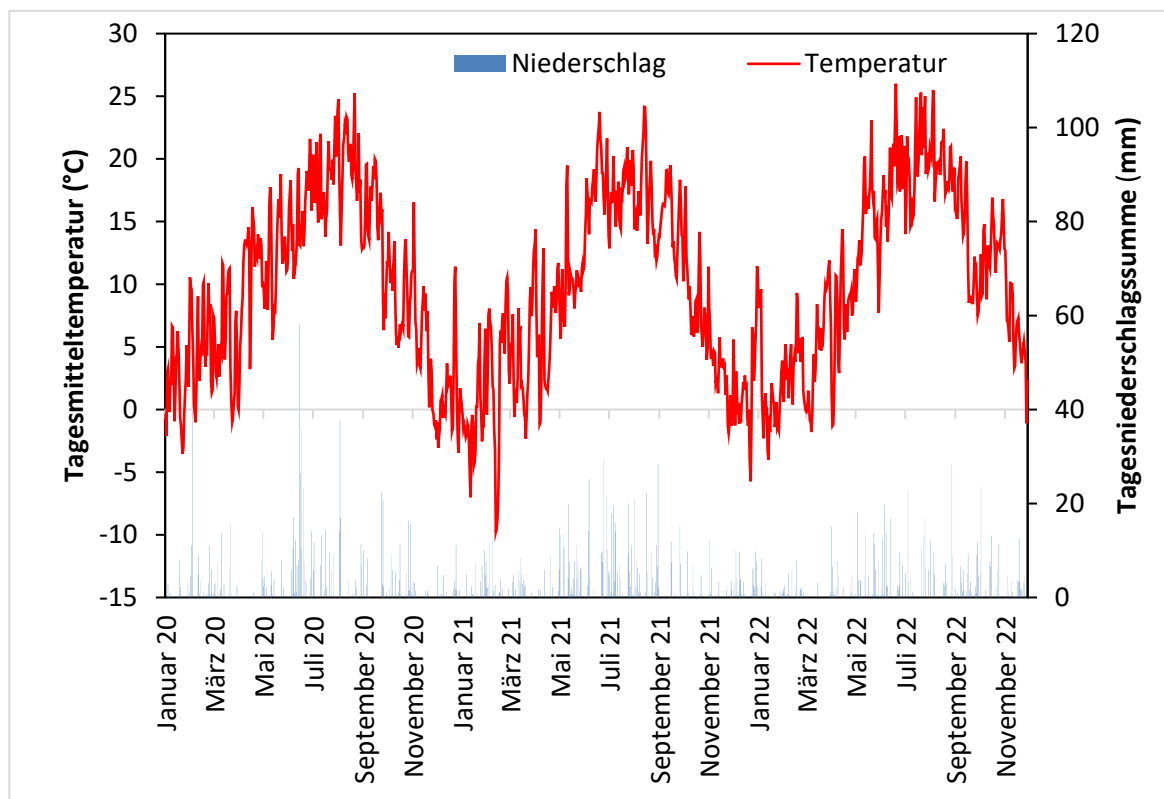


Abbildung 1: Verlauf der Witterung vom 01.01.2020 bis 31.12.2022 am Standort Puch.

Der am Standort Puch durchgeführte Weizenversuch 557 wies in keinem der drei Versuchsjahre Auswinterungsschäden auf. Die organische Düngung erfolgte in allen Jahren gemäß dem Versuchsplan, an ähnlichen Terminen und stets bei trockenen Bedingungen und guter Befahrbarkeit.

Im Vergleich zur durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur der vergangenen 30 Jahre (8,9 °C) waren die Jahre 2020 und 2022 überdurchschnittlich warm, dagegen das Jahr 2021 unterdurchschnittlich kalt. Die Jahresniederschlagssumme des Jahres 2020 ist vergleichbar mit der durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme der vergangenen 30 Jahre (876 mm) am Standort Puch. Verglichen mit diesem weist das Jahr 2021 einen überdurchschnittlichen Niederschlag und das Jahr 2022 einen unterdurchschnittlichen Niederschlag auf (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Temperatur und Niederschlag bezogen auf die Tage der organischen Düngung und auf die Versuchsjahre. Versuch 557 in Puch.

Jahr	organische Düngung	Datum	Tagestemperatur	Mittel Jahrestemperatur	Tagesniederschlag	Jahresniederschlags-summe
			°C		mm	
2020	zeit. Frühjahr Frost	-	-	10	-	884,3
	Frühjahr	01.04.2020	2,0		0	
	BBCH 30*	21.04.2020	12,2		0	
2021	zeit. Frühjahr Frost	-	-	8,7	-	933,5
	Frühjahr	31.03.2021	13,3		0	
	BBCH 30*	27.04.2021	8,8		0	
2022	zeit. Frühjahr Frost	28.02.2022	-0,1	10,4	0	762,3
	Frühjahr	14.03.2022	8,4		0	
	BBCH 30*	28.04.2022	9,8		0,1	

* BBCH 30: Beginn des Schossens

3.1.3 Standortbeschreibung Dürabuch

Die Versuche um den Standort Dürabuch wurden zum überwiegenden Teil unmittelbar südlich der Ortschaft Dürabuch (48°15'49.2"N 11°13'07.4"E) im Landkreis Fürstentfeldbruck durchgeführt. Nur im Jahr 2020 wurden die Maisversuche 558 und 559 östlich des Ortes Prack (48°16'05.8"N 11°14'22.6"E) angelegt. Dieser liegt ca. zwei Kilometer von Dürabuch entfernt. Die Orte liegen auf einer Höhe von 520-530 m über dem Meeresspiegel. Die Standorte weisen durchschnittlich 777 mm Niederschlag und eine Jahresmitteltemperatur von 9 °C auf.

Der dort anzutreffende Bodentyp ist eine Braunerde mit der Bodenart sandiger Lehm. Die Versuchsflächen wiesen meist geringe bis mittlere Expositionen auf. Wichtige Bodenparameter der Versuchsflächen sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die Bodenproben wurden jeweils vor Anlage der ortswechselnden Versuche bis 15 cm Bodentiefe entnommen.

Tabelle 4: Bodenuntersuchung vor Versuchsbeginn der ortswechselnden Versuche um Dürabuch.

Ver-such		V557			V558			V559		
Ver-suchs-jahr		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Boden-art		sandi-ger Lehm (sL)	sandi-ger Lehm (sL)	sandi-ger Lehm (sL)	sandi-ger Lehm (sL)	sandi-ger Lehm (sL)	sandi-ger Lehm (sL)	sandi-ger Lehm (sL)	sandi-ger Lehm (sL)	sandi-ger Lehm (sL)
Stärke Acker-krumme	cm	32	32	32	30	32	32	30	32	32
Acker-zahl		56	56	56	56	48	56	56	48	56
pH-Wert		6,9	6,0	6,7	4,6**	6,1	6,8	4,6**	5,7	6,6
P ₂ O ₅ *	mg/100 g Bo-den	12,0	19,0	15,9	14,0	8,5	15,8	13,7	8,1	16,4
K ₂ O*		22,0	38,7	29,7	18,0	18,1	35,0	18,0	18,2	34,7
Mg*		6,5	7,8	6,7	8,8	5,9	4,7	8,5	5,6	5,7
C _{org} *	%	0,77	1,42	1,00	1,23	1,42	1,24	1,11	1,18	1,50
Humus		1,33	2,45	1,72	2,12	2,45	2,13	1,91	2,03	2,58
N _t *		0,11	0,16	0,11	0,13	0,14	0,12	0,15	0,12	0,15

*Phosphorpentoxid (P₂O₅), Kaliumoxid (K₂O), Magnesiumoxid (MgO), organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t); **vor Applikation von 55 dt/ha kohlen-saurem Kalk

Für die Ermittlung des N_{min}-Gehalts wurden für die Versuch 557 und 558 pro Wiederholung Bodenmischproben aus dem ungedüngten Weizenbestand bzw. dem ungedüngten Zwischenfruchtbestand sowohl im Herbst des Vorjahres als auch im Frühjahr des Erntejahres entnommen. Die N_{min}-Gehalte der Versuchsflächen in 0-90 cm Tiefe im Herbst und Frühjahr sind der Tabelle 5 zu entnehmen. Die N_{min}-Gehalte im Frühjahr dienten als Grundlage für die Düngebedarfsermittlung.

Tabelle 5: N_{min}-Gehalte (0-90 cm Tiefe) der Versuchsflächen im Herbst des Vorjahres und im darauffolgenden Frühjahr. V557 und V558, um Dürabuch.

Versuch	Düngungsjahr	Herbst	Frühjahr
557	2020	94	78
	2021	100	87
	2022	33	36
558	2020	19	30
	2021	37	32
	2022	30	36

Für den Versuch 559 wurden für die Ermittlung des N_{\min} -Gehalts pro Wiederholung Bodenmischproben aus dem ungedüngten Grünroggenbestand sowohl im Herbst des Vorjahres, im Frühjahr des Erntejahres als auch nach der Grünroggenernte entnommen. Die N_{\min} -Gehalte der Versuchsflächen in 0-90 cm Tiefe im Herbst, Frühjahr und nach der Grünroggenernte sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Die N_{\min} -Gehalte im Frühjahr aus dem Grünroggenbestand dienten als Grundlage für die Düngebedarfsermittlung. Die N_{\min} -Werte nach der Grünroggenernte konnten aufgrund des sehr geringen Abstands zwischen der Ernte und der anschließenden Maisdüngung nicht für die Düngebedarfsermittlung herangezogen werden.

Tabelle 6: N_{\min} -Gehalte (0-90 cm Tiefe) der Versuchsflächen im Herbst des Vorjahres, im darauffolgenden Frühjahr und nach der Grünroggenernte. V559.

Versuch	Düngungsjahr	Herbst	Frühjahr	Nach Grünroggenernte
559	2020	55	15	22
	2021	87	24	29
	2022	46	30	38

Die Zweitfrucht Grünroggen im Versuch 559 wurde unmittelbar vor der Maisdüngung geerntet und der Ertrag, die Trockensubstanz sowie der Rohproteingehalt bestimmt. Daraus wurde der Trockenmasse(TM)-Ertrag und die N-Abfuhr berechnet (Tabelle 7).

Tabelle 7: Ertrag und N-Abfuhr der Zweitfrucht Grünroggen in den einzelnen Jahren, V559.

Jahr	Ertrag in dt TM/ha	N-Abfuhr in kg/ha
2020	79,9	80,3
2021	51,1	44,5
2022	71,9	53,1

Es scheinen keine klaren Zusammenhänge zwischen den N_{\min} -Gehalten nach der Grünroggenernte und den Erträgen sowie N-Abfuhr von Grünroggen vorzuliegen.

3.1.4 Witterung Dürabuch

Der Verlauf der Witterung vom 01.01.2020 bis 31.12.2022 an den Standorten um Dürabuch, gemessen an der Wetterstation in Dürabuch, ist in Abbildung 2 dargestellt.

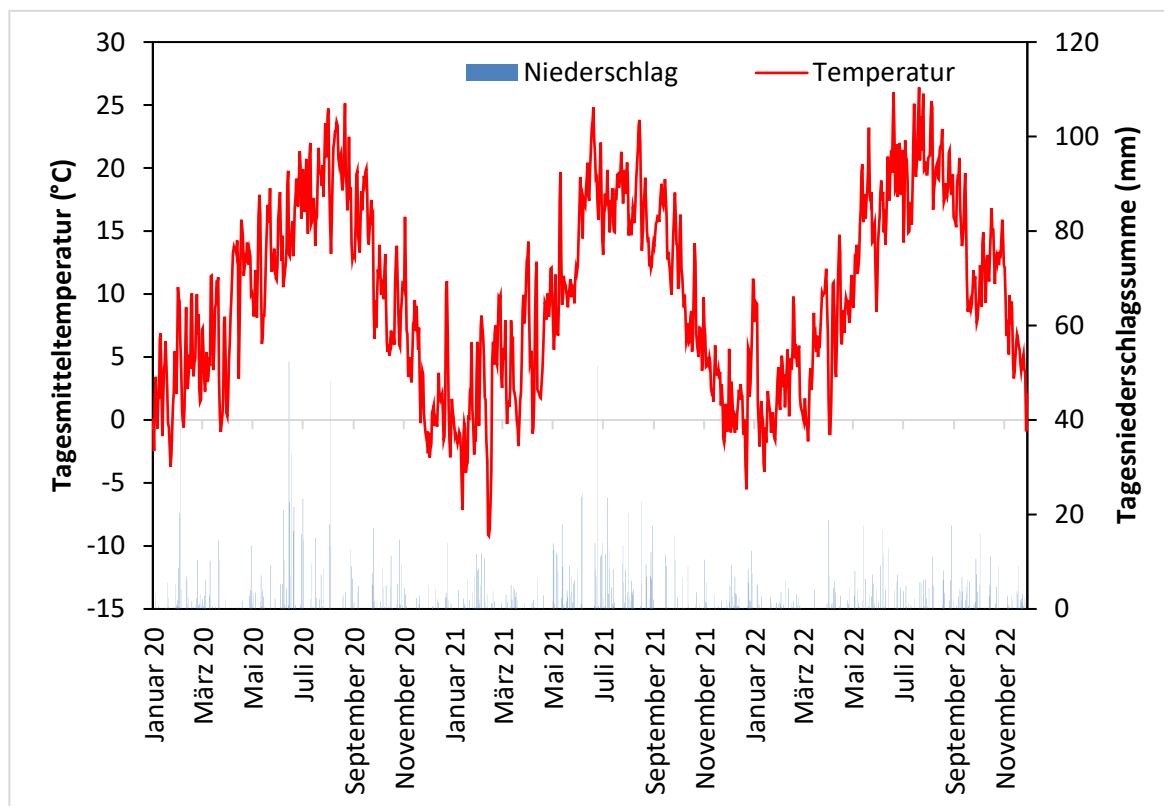


Abbildung 2: Verlauf der Witterung vom 01.01.2020 bis 31.12.2022 am Standort Dürabuch.

Der am Standort Dürabuch durchgeführte Weizenversuch 557 wies in keinem der drei Versuchsjahre Auswinterungsschäden auf. Die organische Düngung erfolgte in allen Jahren zu ähnlichen Terminen und immer bei trockenen Bedingungen und guter Bodenbefahrbarkeit.

Die abfrierende Zwischenfrucht des um den Standort Dürabuch durchgeführte Maisversuchs 558 zeigte in allen drei Versuchsjahren einen Aufwuchs von maximal 1 m Höhe. Dieser froh in allen Wintern zuverlässig ab, sodass eine problemlose Düngung und Maissaat möglich war. Die organische Düngung erfolgte in allen Jahren bei guter Bodenbefahrbarkeit.

Die Zweitfrucht Grünroggen des um den Standort Dürabuch durchgeführte Maisversuchs 559 zeigte in allen drei Versuchsjahren einen normalen Aufwuchs und wies keine Auswinterungsschäden auf. Die Termine der organischen Düngung schwankten witterungsbedingt zwischen den einzelnen Versuchsjahren teilweise deutlich. Gedüngt wurde aber stets bei guter Bodenbefahrbarkeit.

Im Vergleich zur durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur der vergangenen 30 Jahre (9,0 °C) waren die Jahre 2020 und 2022 überdurchschnittlich warm, wohingegen das Jahr 2021 unterdurchschnittlich kühle Temperaturen aufwies.

Die Jahresniederschlagssummen der Jahre 2020 und 2021 liegen über der durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme der vergangenen 30 Jahre (777 mm) am Standort Dürabuch. Verglichen dazu weist das Jahr 2022 einen unterdurchschnittlichen Niederschlag auf (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Temperatur und Niederschlag bezogen auf die organischen Düngetage und auf die Versuchsjahre. Versuch 557, 558 und 559 in Dürabuch.

Jahr	Ver-such	organische Dünung	Datum	Tagestemperatur	Mittel Jahre- stemperatur	Tages- nieder- schlag	Jahresnie- derschlags- summe
				°C		mm	
2020	557	zeit. Frühjahr Frost	-	-	10,0	-	837,0
	557	Frühjahr	02.04.2020	4,8		0	
	557	BBCH 30*	20.04.2020	11,5		0	
	558	vor Saat	20.04.2020	11,5		0	
	558	30 cm Wuchshöhe	24.06.2020	18,5		0	
	559	vor Saat	06.05.2020	8,1		0	
	559	20 cm Wuchshöhe	24.06.2020	18,5		0	
2021	557	zeit. Frühjahr Frost	-	-	8,8	-	892,8
	557	Frühjahr	31.03.2021	13,0		0	
	557	BBCH 30*	27.04.2021	9,3		0	
	558	vor Saat	26.04.2021	8,2		0	
	558	30 cm Wuchshöhe	28.06.2021	22,0		11,1	
	559	vor Saat	14.06.2021	17,4		0	
	559	20 cm Wuchshöhe	13.07.2021	15,7		8,4	
2022	557	zeit. Frühjahr Frost	28.02.2022	0,6	10,5	0	587,9
	557	Frühjahr	14.03.2022	8,5		0	
	557	BBCH 30*	28.04.2022	10,5		0	
	558	vor Saat	02.05.2022	10,2		2,9	
	558	30 cm Wuchshöhe	21.06.2022	18,2		0,2	
	559	vor Saat	23.05.2022	18,1		2,7	
	559	20 cm Wuchshöhe	21.06.2022	18,2		0,2	

* BBCH 30: Beginn des Schossens

3.2 Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste

Der für alle Versuche verwendete Biogasgärrest (BGR) entstammte einer 2007 in Betrieb genommenen Biogasanlage mit einer installierten elektrischen Leistung von 385 kW_{el}. Die Anlage besteht aus einem Fermenter, einem Nachgärer sowie einem abgedeckten, 5000 m³ fassenden Endlager. Nach Angaben des Betreibers beträgt die Betriebstemperatur 42 °C bei einer Verweildauer von ca. 120 Tagen. Als Eingangssubstrat wurden Grassilage aus Weidelgras und Wiesengras, Silomais und Mastbullengülle verwendet.

Der Gärrest wurde direkt aus dem Endlager der Biogasanlage entnommen. Wenige Wochen vor der Ausbringung, sowie während der Ausbringung wurden Proben für die Gärrestanalyse entnommen. Die im Biogasgärrest ermittelten Nährstoffe können Tabelle 19 (Anhang) entnommen werden.

Obwohl versucht wurde die BGR-Zusammensetzung so gleichmäßig wie möglich zu halten, fällt bei der Betrachtung der Einzelwerte auf, dass die Nährstoffgehalte und vor allem die Stickstoffgehalte des BGR während des gesamten Versuchszeitraumes aber auch innerhalb der Jahre schwankten. Diese Variabilität kann auf dreierlei Ursachen zurückgeführt werden:

Abweichungen in der Zusammensetzung des Eingangssubstrats und/oder Veränderungen der anaeroben Bedingungen im Fermenter und/oder ungleichmäßige Verteilung der Nährstoffe im Endlager der Biogasanlage sowie im Zubringerfass. Die Folge war, dass aufgrund der Abweichungen nicht immer genau die planmäßige Stickstoffmenge ausgebracht wurde.

3.3 Versuchsgüllefass (Gülletrac)

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde ein Selbstfahrer zur Ausbringung flüssiger organischer Wirtschaftsdünger eingesetzt (im folgenden Gülletrac genannt, Abbildung 3). Dabei handelte es sich um Praxistechnik. Von seiner Funktionsweise ähnelt der Gülletrac einem in der modernen Landwirtschaft eingesetzten Gülle selbstfahrer. Der im Auftrag der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft angefertigte Prototyp wurde von den Firmen Fuß Spezialfahrzeugbau GmbH und BSA GmbH gebaut. Für die Konzipierung des Fahrzeugs wurden die speziellen Anforderungen des ackerbaulichen Feldversuchswesens berücksichtigt.

Der Gülletrac ist mit einer Vierradlenkung ausgestattet, die es ihm ermöglicht in einen Radius von 10 m zu wenden. Er besitzt eine Reifendruckregelanlage und kann durch zwei Radsätze in den Spurbreiten 2,25 m (Mitas AC70G 500/70 R24) und 1,5 m (Mitas AC70G 405/70 R24, Düngung in den Maisbestand) eingesetzt werden. Zur genauen und wiederholbaren Überfahrt von Versuchspartzen ist die Maschine mit einem Real Time Kinematic (RTK)-Lenksystem ausgerüstet. Der Gülletrac ist vergleichbar mit einem Pumptankwagen und besitzt in seinem Tank ein Fassungsvermögen von 3000 Litern. Der flüssige organische Dünger kann über einen Bypass oder einem Saugarm (Abbildung 4) angesaugt werden, dabei wird ein Balkenrotor zur Zerkleinerung von organischen Substanzen (z.B. Stroh) und ein Steinfang eingesetzt. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, den flüssigen organischen Dünger von oben direkt in den Tank einzufüllen. Am Heck ist eine Anbaumöglichkeit über die Dreipunkthydraulik vorhanden, um verschiedene Ausbringetechniken anzubringen. Der Gülletrac verfügt über eine Drehkolbenpumpe mit einer Leistung von 4000 l/min, um auch mit einer geringen Arbeitsbreite (max. 3 m) den flüssigen Wirtschaftsdünger exakt ausbringen zu können. Die Ausbringung der flüssigen organischen Dünger wird durch eine elektronische Ausbringmengenregelung gesteuert und erfolgt über ein Bypassventil. Durch die

Ansteuerung eines Linear-Stellmotors über einen ISOBUS-Terminal der Firma Müller Elektronik wird die Stellung des Kugelhahns zum Bypass verändert. Die dafür benötigten Daten werden von verschiedenen Sensoren an das ISOBUS-Terminal geliefert. Die aktuelle Durchflussmenge wird über den magnetisch induktiven Durchflussmesser ermittelt. Mittels RTK wird die schlupffreie Fahrgeschwindigkeit festgestellt. Die Pumpendrehzahl wird kontinuierlich über einen Drehzahlsensor an der Eingangswelle überwacht.



Abbildung 3: Gülletrac mit Schleppschuh.



Abbildung 4: Gülletrac beim "Auftanken" aus dem Zubringerfass.

3.4 Ausbringtechnik in den Feldversuchen

In den Versuchen wurden sieben verschiedene Ausbringtechniken für flüssige organische Dünger eingesetzt (vgl. Tabelle 9). Im Winterweizen sind Schleppschlauch, Schleppschuh sowie die flache und tiefe Scheibenschlitztechnik zum Einsatz gekommen. In den Maisversuchen wurde die organische Düngung mittels Schleppschlauch, Schleppschuh, Strip Tillage, Güllegrubber, Güllescheibenegge, flacher und tiefer Scheibenschlitztechnik ausgebracht.

Tabelle 9: Übersicht über die eingesetzten Ausbringtechniken.

Ausbringtechnik	Abkürzung	Kulturen
Schleppschlauch	SL	Winterweizen, Silomais
Schleppschuh	SU	Winterweizen, Silomais
Flache Scheibenschlitztechnik	SC1	Winterweizen, Silomais
Tiefe Scheibenschlitztechnik	SC2	Winterweizen, Silomais
Strip Tillage	ST	Silomais
Güllegrubber	GG	Silomais
Güllescheibenegge	GS	Silomais

3.4.1 Schleppschuh (SU)

Der eingesetzte Schleppschuh der Firma Bomech B.V. (Abbildung 5) besitzt eine Arbeitsbreite von drei Metern, 12 Schleppschuhe, einem Auflagedruck von ca. 8-10 kg pro Schuh und ist mit einem Exaktverteiler der Firma Alrena B.V. ausgestattet. Die Ablagetiefe des organischen Düngers in den Boden betrug bei Winterweizen und Silomais nach abfrierender Zwischenfrucht ca. 2-3 cm und bei Silomais nach der Zweitfrucht Grünroggen aufgrund des harten, wurzelreichen Bodens ca. 1-2 cm. Die Düngung in den Weizen (Abbildung 6) und vor der Maissaat wurde mit einer Breite von 3 m durchgeführt. Bei der Gülleapplikation in den Maisbestand wurden die Schleppschuhe auf acht Stück reduziert, sodass jeweils rechts und links einer jeden Maisreihe die Gülle abgelegt werden konnte.



Abbildung 5: Schleppschuh am Gülletrac.



Abbildung 6: Frühjahrsdüngung (Biogasgärrest, 40 m³/ha) mit Schleppschuh in den Weizenbestand.

3.4.2 Schleppschlauch (SL)

Als Schleppschlauch wurde die zuvor angeführte Ausbringtechnik Schleppschuh eingesetzt, wobei die Schuhe nicht ganz abgelassen wurden. Hier wurde mit den Schleppschuhen ca. 10-20 cm über dem Boden gefahren und somit der Schleppschlauch nachgestellt (Abbildung 7).



Abbildung 7: Frühjahrsdüngung (Biogasgärrest, 40 m³/ha) mit simulierten Schleppschlauch (siehe Text) in den Weizenbestand.

3.4.3 Flache Scheibenschlitztechnik (SC 1)

Als flache Scheibenschlitztechnik (Abbildung 8) wurde eine Applikationstechnik der Firma Duport B.V. eingesetzt. Die Scheiben sind jeweils paarweise angeordnet. Der Abstand zwischen den Scheiben beträgt 18 cm. Die Scheiben öffnen den Boden je nach Bodenbeschaffenheit auf ca. 2–5 cm Tiefe (Abbildung 9). Die Gummilippe (mit Tropfstopp), ähnlich dem Schleppschuh, injiziert die Gülle in den Schlitz. Je nach Einstellung des Oberlenkers können die Gummilippen tiefer oder flacher in den Boden gedrückt werden. Die Scheibenpaare sind gefedert. Dadurch ist eine optimale Boden Anpassung gegeben. Als Gülleverteiler ist ein DoSiMat DMX der Firma Vogelsang GmbH & Co. KG verbaut.



Abbildung 8: Flache Scheibenschlitztechnik.



Abbildung 9: Frühjahrsdüngung (Biogasgärrest, 40 m³/ha) mit flacher Scheibenschlitztechnik in den Weizenbestand.

3.4.4 Tiefe Scheibenschlitztechnik (SC 2)

Die tiefe Scheibenschlitztechnik der Firma Fliegl Agrartechnik GmbH wurde aus dem Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019) übernommen und angepasst. Die Scheiben sind schräg angeordnet, wobei sowohl die seitliche Neigung als auch die Neigung in Fahrtrichtung verstellt werden kann. Die Tiefeneinstellung wird über Stützräder verstellt. In diesem Forschungsprojekt öffneten die Scheiben den Boden je nach Bodenbeschaffenheit auf ca. 8-10 cm Tiefe (Abbildung 11, Abbildung 12). Zur Anpassung an die Versuchsfragen wurden im Vorgängerprojekt bereits die Abstände zwischen den Scheiben gleichmäßig auf 30 cm eingestellt, die Blattfedern gekürzt sowie kleinere Anpassungen vorgenommen. Im aktuellen Forschungsprojekt wurde zudem jede Scheibe mit einem „Abstreifer“ (Abbildung 10) gegen Bodenanhftung an den Scheiben- und gegen Bodenaushub versehen. Zur Verbesserung der Güllequerverteilung wurde als Gülleverteiler ein DosiMat DMX der Firma Vogelsang GmbH & Co. KG verbaut.



Abbildung 10: Tiefe Scheibenschlitztechnik mit „Abstreifer“.



Abbildung 11: Frühjahrsdüngung (Biogasgärrest, 40 m³/ha) mit tiefer Scheibenschlitztechnik in den Weizenbestand.



Abbildung 12: In den Boden geschnittener Injektionsschlitz durch die tiefe Scheibenschlitztechnik im Weizenbestand (Biogasgärrest, 20 m³/ha).

3.4.5 Strip-Tillage (ST)

Für die Aufbringung der organischen Dünger mittels Strip-Tillage-Verfahren wurde durch das Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft ein Trägerrahmen mit Strip-Tillage-Aggregaten der Firma Yetter Manufacturing Co., Inc. mit einem Abstand von 75 cm zwischen den Aggregaten und dem Gülleverteiler Dosi-Mat DMX der Firma Vogelsang GmbH & Co. KG versehen (Abbildung 13, Abbildung 14). Bei dem Gerät werden über die 56 Zentimeter großen Scheiben vor der Schar der Boden und Erntereste durchgeschnitten, zusätzlich befinden sich neben den Scheiben Rollen zur gleichmäßigen Tiefenführung. Räumerscheiben vor der Schar beseitigen Pflanzenreste. Die Schar bricht den Boden auf und appliziert über einen Schlauch hinter der Schar die Gülle. Die Ablagetiefe des Güllebandes beträgt ca. 15 cm (Abbildung 15). Nach der Schar wird der aufgebrochene Boden über eine Krümelwalze wieder verdichtet. Über diese Walze wird auch die Arbeitstiefe der Schar eingestellt.



Abbildung 13: Strip-Tillage Gerät, Seitenansicht, Abbildung 14: Strip-Tillage Gerät, Heckansicht



Abbildung 15: Mit dem Strip-Tillage Verfahren applizierter, flüssiger Gärrest als Gülleband (im roten Kreis) im Boden.

3.4.6 Güllegrubber (GG)

Als Güllegrubber (Abbildung 16) wurde eine Applikationstechnik der Firma Evers Agro B.V. eingesetzt. Der Grubber ist mit zwei Reihen Federzinken, mit Schmalscharen (Strichabstand 30 cm) sowie einer Nachlaufwalze ausgestattet. Der organische Dünger wurde über Schläuche hinter jedem Zinken appliziert. Die Arbeits- bzw. Ablagetiefe betrug je nach Bodenbeschaffenheit ca. 10-15 cm. Als Gülleverteiler diente ein DosiMat DMX der Firma Vogelsang GmbH & Co. KG.

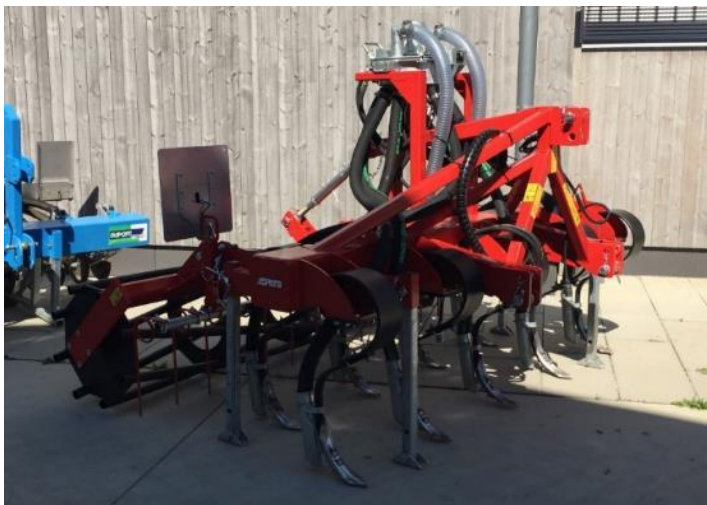


Abbildung 16: Güllegrubber.

3.4.7 Güllescheibenegge (GS)

Die Güllescheibenegge (Abbildung 17) der Firma Volmer Engineering GmbH ist mit zwei Reihen gezackter Scheiben (51 cm Durchmesser) mit einem Scheibenabstand von 25 cm sowie einer Nachlaufwalze ausgestattet. Der organische Dünger wurde über Schläuche hinter jeder Scheibe der vorderen Scheibenreihe abgelegt. Die jeweiligen Nachbarscheiben bedecken den Dünger sofort mit Boden. Die Arbeits- bzw. Ablagetiefe betrug je nach Bodenbeschaffenheit ca. 8-15 cm. Als Gülleverteiler diente ein DosiMat DMX der Firma Vogelsang GmbH & Co. KG.



Abbildung 17: Güllescheibenegge.

3.5 Saat

Der Winterweizen wurde mit herkömmlichen Sämaschinen im Drillsaatverfahren (Amazona AD-P 303 Special, Horsch Pronto 4 Dc) quer zur Gülleausbringrichtung gesät. Der Reihenabstand betrug 12,5 cm. Die Aussaatdichte lag zwischen 285 und 330 Körner pro Quadratmeter. Dies ergibt eine Aussaatmenge von 165–170 kg/ha.

Die Maissaat erfolgte mit einem Einzelkornsäugerät (Monosem NG Plus, Väderstad Tempo) mit einer Arbeitsbreite von 3,0 m und einem Reihenabstand von 75 cm. Die Aussaatdichte lag bei 9,2 Körnern pro Quadratmeter. Die Aussaat erfolgte GPS unterstützt.

3.6 Ernte

Die Ernte der Kulturen Winterweizen, Silomais und Grünroggen erfolgte zum Teil durch landwirtschaftliche Praxistechnik sowie durch spezielle Versuchstechnik der Bayerischen Staatsgüter (BaySG).

3.6.1 Weizenernte

Die Ernte von Winterweizen erfolgte über einen Versuchspartellenmähdrescher „Wintersteiger Elite“ (Baujahr 1995) der Firma Wintersteiger AG. Die Partellen hatten eine Breite von 3 m und eine Länge von 10 m. Mit einer Schnittbreite des Mähdreschers von 1,5 m wurde jede Partelle mit dem Kerndruschverfahren beerntet.

3.6.2 Maisernte

Für die Silomaisernte wurden die im Feld liegenden Partellen zunächst mit einem praxisüblichen Felhdäcksler freigelegt. Die Ernte der Partellen wurde mit einem Maispartellenernter M-65 (Baujahr 2013) der Firma Haldrup GmbH durchgeführt. Mit dem Häcksler wurden in den vierreihigen (4x75 cm) und 10 m langen Versuchspartellen immer nur die mittleren beiden Maisreihen pro Partelle geerntet und gleichzeitig gewogen. Außerdem wurden pro Partelle nach der Homogenisierung zwei Proben gezogen; eine für die Inhaltsbestimmung und eine für die Trockensubstanzbestimmung des Silomaises.

3.6.3 Grünroggenernte

Die Grünroggenernte der gesamten Versuchsfläche erfolgte in allen Versuchsjahren mit Praxistechnik und bei trockenen Bodenbedingungen. Aufgrund der hohen Maschinengewichte wurde darauf geachtet, dass die Versuchspartellen nicht von den Maschinen, vor allem nicht vom Häcksler, befahren wurden. Der Grünroggen wurde mit einem Schmetterlingsmähwerk gemäht und mit einem Schwader zu einem Schwad außerhalb der Versuchspartellen gelegt. Anschließend erfolgten das Häckseln (Claas Jaguar 950) sowie der Abtransport des gehäckselten Grünroggens mit einem Silagewagen. Zur Ertragsermittlung wurde das Gewicht von jedem Silagewagen über eine Fahrzeugwaage bestimmt und um das Leergewicht des Silagewagens korrigiert. Für die Trockensubstanzbestimmung wurden vom Erntegut Proben entnommen.

3.7 Versuchsaufbau

3.7.1 Versuch zur Winterweizendüngung (V557)

Der Düngeversuch zu Winterweizen wurde auf jährlich wechselnden Flächen jeweils dreijährig am Standort Puch sowie am Standort Dürabuch durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte als einfaktorielles lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen.

Bodenbearbeitung und Pflanzenschutz erfolgten nach ortsüblicher Praxis. In Tabelle 10 sind die einzelnen Versuchsglieder mit Applikationstechnik der flüssigen organischen Düngung, Düngeterminen und Düngemengen dargestellt. Als organische Düngung wurde die nach DüV zulässigen 170 kg N/ha in Form von Biogasgärrest ausgebracht. Die im Folgenden als Düngung im „Frühjahr“ bezeichnete Applikation von organischen Düngern entspricht einer Düngung im zeitigen Frühjahr.

Zur Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen zur N-Ausnutzung wurde der Versuch thematisch in die zehn nachfolgend aufgeführten Teilabschnitte untergliedert:

1. Mineralische N-Steigerung
2. Einfluss der Applikationstechnik auf den Pflanzenbestand (ohne org. Düngung)
3. Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung im Frühjahr
4. Einfluss der Applikationstechnik bei org. Düngung zu Schossbeginn (BBCH 30)
5. Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung im Frühjahr und zu BBCH 30
6. Einfluss einer organischen Düngung bei Frost (1. Teilgabe) und zweiter Teilgabe im Frühjahr bzw. zu BBCH 30
7. Einfluss der Applikationstechnik bei reduzierter organischer Düngung im Frühjahr und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen
8. Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung im Frühjahr und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen
9. Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung zu BBCH 30 und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen
10. Einfluss einer organischen Düngung bei Frost (1. Teilgabe) und zweiten Teilgabe im Frühjahr bzw. zu BBCH 30 sowie bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen.

Tabelle 10: Düngeplan Versuch 557, organische N-Düngung mit Biogasgärrest (BGR), mineralische N-Düngung mit Kalkammonsalpeter. Organische N-Düngung = 0: Überfahrt ohne BGR. Schleppschlauch = SL; Schleppschuh = SU; flache Scheibenschlitztechnik = SC1; tiefe Scheibenschlitztechnik = SC2.

Teilabschnitt	Versuchsglied	Technik	Ausbringzeitpunkt					
			Organische N-Düngung (kg N/ha)			Mineralische N-Düngung (kg N/ha)		
			Frühj. Frost	Frühj.	BBCH 30	Frühj.	BBCH 31	BBCH 37-39
1	1					0	0	0
	2					40	40	20
	3					50	50	50
	4					60	60	60
	5					70	70	70
2	6	SC2		0	0	60	60	60
3	7	SL		170		0	0	0
	8	SU		170		0	0	0
	9	SC1		170		0	0	0
	10	SC2		170		0	0	0
4	11	SL			170	0	0	0
	12	SU			170	0	0	0
	13	SC1			170	0	0	0
	14	SC2			170	0	0	0
5	15	SU		85	85	0	0	0
	16	SC1		85	85	0	0	0
	17	SC2		85	85	0	0	0
6	18	SU	60	110		0	0	0
	19	SU	60		110	0	0	0
7	20	SU		85		Bedarf	Bedarf	Bedarf
	21	SC1		85		Bedarf	Bedarf	Bedarf
	22	SC2		85		Bedarf	Bedarf	Bedarf
8	23	SU		170		Bedarf	Bedarf	Bedarf
	24	SC1		170		Bedarf	Bedarf	Bedarf
	25	SC2		170		Bedarf	Bedarf	Bedarf

9	26	SU			170	Bedarf	Bedarf	Bedarf
	27	SC1			170	Bedarf	Bedarf	Bedarf
	28	SC2			170	Bedarf	Bedarf	Bedarf
10	29	SU	60	110		Bedarf	Bedarf	Bedarf
	30	SU	60		110	Bedarf	Bedarf	Bedarf

In Tabelle 11 sind die allgemeinen Rahmenbedingungen und Begleitmaßnahmen des Versuchs V557 zu den verschiedenen Standorten und Jahren dargestellt. Da in diesem Projekt der Fokus auf der N-Düngewirkung lag, mussten alle anderen Nährstoffe in ausreichender Menge für die Pflanzen verfügbar sein. Deshalb wurde auf die gesamte Versuchsfläche jedes Frühjahr Phosphor-, Kalium-, Schwefel- und Magnesiumdünger aufgebracht.

Tabelle 11: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V557 Puch und Dürabuch.

Ort	Puch			Dürabuch		
Jahr	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Sorte	Patras	Patras	Apostel	JB Asano	RGT Reform	Elixer
Saat	14.10.2019	14.10.2020	11.10.2021	16.10.2019	14.10.2020	20.10.2021
Vorfrucht	Triticale	Hafer	Hafer	Raps	Raps	Mais
Pflugeinsatz	ja	ja	ja	nein	nein	nein
Saatbettbe- reitung	Kreiselegge	Kreiselegge	Kreiselegge	Schei- benegge	Schei- benegge	Schei- benegge
Grunddün- gung	Superphosphat 2,8 dt/ha 40er Kali 2,5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha	Novaphos 2,5 dt/ha 40er Kali 2,5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha	Novaphos 2,5 dt/ha 40er Kali 2,5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha	PK 14+20 5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha	PK 14+20 5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha	PK 14+20 5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha
Pflanzen- schutz	Atlantis OD 1 l/ha Husar OD 0,08 l/ha Input Triple 1 l/ha Medax Top 0,4 l/ha Karate Zeon 0,075 l/ha Ascra Xpro 1,25 l/ha	Broadway 0,13 kg/ha Axial 50 1,2 l/ha Input Tri- ple 1 l/ha Prodax 0,4 kg/ha U 46 M- Fluid 1,4 l/ha U 46 M- Fluid 1,4 l/ha	Broadway 0,18 kg/ha Input Triple 1,25 l/ha Prodax 0,5 kg/ha U 46 M- Fluid 1,4 l/ha Karate Zeon 0,075 l/ha Elatus Era 1 l/ha Sympara 0,33 l/ha	Lentipur 3 l/ha Cycocel 0,8 l/ha Input Clas- sic 1 l/ha Moddus 0,25 l/ha Ascra Xpro 1,5 l/ha	Artus 0,02 kg/ha Lentipur 3 l/ha Input Classic 1 l/ha Medax Top 0,4 l/ha Ascra Xpro 1,5 l/ha	Artus 0,018 kg/ha Lentipur 3 l/ha Medax Top 0,5 l/ha Input Clas- sic 1 l/ha Ascra Xpro 1,5 l/ha

3.7.2 Versuch zur Silomaisdüngung nach abfrierender Zwischenfrucht (V558)

Der Düngeversuch zu Silomais nach einer abfrierenden Zwischenfrucht (TerraLife® Aqua-Pro, DSV; Zusammensetzung: Phacelia, Öllein, Sonnenblume, Rauhafer, Ramtillkraut, Sorghum) wurde auf jährlich wechselnden Versuchsstandorten (2020 in Prack, 2021 und 2022 in Dürabuch) durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte als einfaktorielles lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen.

Die Bodenbearbeitung und der Pflanzenschutz wurden nach ortsüblicher Praxis durchgeführt. In Tabelle 12 sind die einzelnen Versuchsglieder mit Ausbringtechnik der flüssigen organischen Düngung, Düngeterminen und Düngemengen dargestellt. Als organische Düngung wurde die nach DüV zulässigen 170 kg N/ha in Form von Biogasgärrest ausgebracht.

Zur Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen der N-Ausnutzung wurde der Versuch thematisch in die fünf nachfolgend aufgeführten Teilabschnitte untergliedert:

1. Mineralische N-Steigerung
2. Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung vor der Saat
3. Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung vor der Saat und in den Bestand
4. Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung vor der Saat und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen
5. Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung vor der Saat und in den Bestand und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen.

Tabelle 12: Düngeplan Versuch 558, organische N-Düngung mit Biogasgärrest, mineralische N-Düngung mit Kalkammonsalpeter. Schleppschlauch = SL; Schleppschuh = SU; flache Scheibenschlitztechnik = SC1; tiefe Scheibenschlitztechnik = SC2, Güllescheibenege = GS; Strip-Tillage = ST.

Teilabschnitt	Versuchsglied	Technik	Ausbringzeitpunkt				
			Organische N-Düngung (kg N/ha)		Mineralische N-Düngung (kg N/ha)		
			Vor Saat	30 cm Wuchsh.	Zur Saat	Unterfußdüngung	20 cm Wuchsh.
1	1		0	0	0	0	0
	2		0	0	0	30	0
	3		0	0	0	30	40
	4		0	0	0	30	80
	5		0	0	40	30	80
	6		0	0	80	30	80
	7		0	0	120	30	80
2	8	SL	170	0	0	30	0
	9	SC1	170	0	0	30	0
	10	SC2	170	0	0	30	0
	11	GS	170	0	0	30	0
	12	ST	170	0	0	30	0
3	13	SL + SU	100	70	0	30	0
	14	SL + SC2	100	70	0	30	0
	15	SC2 + SC2	100	70	0	30	0
	16	GS + SU	100	70	0	30	0
4	17	GS	170	0	0	30	Bedarf
	18	ST	170	0	0	30	Bedarf
5	19	SL + SU	100	70	0	30	Bedarf
	20	SL + SC2	100	70	0	30	Bedarf

In Tabelle 13 sind die allgemeinen Rahmenbedingungen und Begleitmaßnahmen des Versuchs in den verschiedenen Jahren aufgeführt. Da in diesem Projekt der Fokus auf der N-Düngewirkung lag, mussten alle anderen Nährstoffe in ausreichender Menge für die pflanzen verfügbar sein. Deshalb wurde auf die gesamte Versuchsfläche jedes Frühjahr vor der Maissaat Phosphor-, Kalium-, Schwefel- und Magnesiumdünger aufgebracht (Tabelle 13).

Tabelle 13: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen von Versuch 558 um den Standort Dürabuch.

Ort	Prack	Dürabuch	
		2020	2021	2022
Sorte	LG 30258	LG 30258	LG 30258
Saat	22.04.2020	28.04.2021	11.05.2022
Vorfrucht	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen
Pflugeinsatz	ja	nein	nein
Saatbettbereitung	Kreiselegge	Kreiselegge	Kreiselegge
Grunddüngung	Novaphos 2,3 dt/ha PK 12+24 4 dt/ha Kieserit 1 dt/ha Kohlesauerer Kalk 55 dt/ha	PK 14+20 5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha Carbokalk 44 dt/ha	PK 14+20 5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha
Pflanzenschutz	Gardo Gold 3 l/ha Simba 100 SC 0,75 l/ha Nisshin 1 l/ha	Aspect 1,5 l/ha Laudis 2 l/ha	Laudis 1,8 l/ha Aspect 1,4 l/ha

3.7.3 Versuch zur Silomaisdüngung nach der Zweitfrucht Grünroggen (V559)

Der Düngeversuch zu Silomais nach der Zweitfrucht Wintergrünroggen mit Ernte im Frühjahr wurden auf jährlich wechselnden Versuchsstandorten (2020 in Prack, 2021 und 2022 in Dürabuch) durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte als einfaktorielles lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen.

Die Bodenbearbeitung und der Pflanzenschutz wurden nach ortsüblicher Praxis durchgeführt. In Tabelle 14 sind die einzelnen Versuchsglieder mit Ausbringtechnik der flüssigen organischen Düngung, Düngeterminen und Düngemengen dargestellt. Als organische Düngung wurde die nach DüV zulässigen 170 kg N/ha in Form von Biogasgärrest ausgebracht.

Zur Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen der N-Ausnutzung wurde der Versuch thematisch in die fünf nachfolgend aufgeführten Teilabschnitte untergliedert:

1. Mineralische N-Steigerung
2. Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung vor der Saat
3. Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung vor der Saat und in den Bestand
4. Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung vor der Saat und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen
5. Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung vor der Saat und in den Bestand und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen.

Tabelle 14: Düngeplan Versuch 559, organische N-Düngung mit Biogasgärrest, mineralische N-Düngung mit Kalkammonsalpeter. Schleppschlauch = SL; Schleppschuh = SU; flache Scheibenschlitztechnik = SC1; tiefe Scheibenschlitztechnik = SC2, Güllescheibenege = GS; Güllegrubber = GG; Strip-Tillage = ST.

Teilabschnitt	Versuchsglied	Technik	Ausbringzeitpunkt				
			Organische N-Düngung (kg N/ha)		Mineralische N-Düngung (kg N/ha)		
			Vor Saat	20 cm Wuchsh.	Zur Saat	Unterfußdüngung	20 cm Wuchsh.
1	1		0	0	0	0	0
	2		0	0	0	30	0
	3		0	0	0	30	40
	4		0	0	0	30	80
	5		0	0	40	30	80
	6		0	0	80	30	80
	7		0	0	120	30	80
2	8	SL	170		0	30	0
	9	SL	170		0	30	0
	10	GS	170		0	30	0
	11	GG	170		0	30	0
	12	ST	170		0	30	0
	13	SC1	170		0	30	0
	14	SC2	170		0	30	0
3	15	SL + SU	100	70	0	30	0
	16	GS + SU	100	70	0	30	0
	17	GG + SU	100	70	0	30	0
	18	SC2 + SC2	100	70	0	30	0
4	19	GS	170		0	30	Bedarf
	20	ST	170		0	30	Bedarf
5	21	SL + SU	100	70	0	30	Bedarf
	22	SL + SC2	100	70	0	30	Bedarf

In Tabelle 15 sind die allgemeinen Rahmenbedingungen und Begleitmaßnahmen des Versuchs in den verschiedenen Jahren aufgeführt. Da in diesem Projekt der Fokus auf der N-Düngewirkung lag, mussten alle anderen Nährstoffe in ausreichender Menge für die Pflanzen verfügbar sein. Deshalb wurde auf die gesamte Versuchsfläche jedes Frühjahr vor der Maissaat Phosphor-, Kalium-, Schwefel- und Magnesiumdünger aufgebracht (Tabelle 15).

Tabelle 15: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen von Versuch 559 um den Standort Dürabuch.

Ort	Prack	Dürabuch	
Jahr	2020	2021	2022
Sorte	LG 31227	LG 31227	LG 31225
Saat	07.05.2020	17.06.2021	30.05.2022
Vorfrucht	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen
Pflugeinsatz	ja	nein	nein
Saatbettbereitung	Kreiselegge	Kreiselegge	Kreiselegge
Grunddüngung	Novaphos 2,3 dt/ha PK 12+24 4 dt/ha Kieserit 1 dt/ha Kohlesauerer Kalk 55 dt/ha	PK 14+20 5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha Carbokalk 44 dt/ha	PK 14+20 5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha
Pflanzenschutz	Simba 100 SC 0,75 l/ha Gardo Gold 3 l/ha		Laudis 1,8 l/ha Aspect 1,4 l/ha

3.8 Bestimmung der Qualitätsparameter im Erntegut, Untersuchung der organischen Dünger und Bestimmung von Bodenparametern

Die Untersuchung der Rohproteingehalte im Erntegut, die Bestimmung der Inhaltsstoffe der organischen Dünger sowie die N_{\min} -Untersuchungen wurden in der Abteilung Laboranalytik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising-Weißenstephan durchgeführt. Die Standardbodenuntersuchungen wurden am Fachzentrum Analytik der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau in Auftrag gegeben.

3.8.1 Bestimmung der Trockenmassegehalte des Ernteguts

Der Trockenmassegehalt (TM) bei Winterweizen und Grünroggen wurde per Trockenschrank bei 105°C ermittelt. Für die Ermittlung des Trockenmassegehalts von Silomais wurden zunächst vom Versuchsfeldhäcksler automatisch von jeder Versuchsparzelle Proben gezogen. Anschließend wurden die Proben auf einer Flachsatztrocknung bei ca. 40°C getrocknet. Zusätzlich wurden bei Silomais Referenzproben von jeder Wiederholung gezogen, um den Restwassergehalt in Trockenschränken bei einer Temperatur von 105°C zu ermitteln.

3.8.2 Bestimmung der Rohproteingehalte des Ernteguts

Der Rohproteingehalt (RP) in Winterweizen wurde mit der spektroskopischen Schnellmethode Nahinfrarot-Transmissions-Spektroskopie (NIT) ermittelt. Bei den zugrundeliegenden Referenzwerten dieser Methode beträgt der Umrechnungsfaktor vom N-Gehalt auf den RP-Gehalt 5,7.

Zur Bestimmung der RP-Gehalte in Silomais wurde die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) angewendet. Bei dieser Methode beträgt der Umrechnungsfaktor vom N-Gehalt auf den RP-Wert 6,25. Für die Bestimmung der RP-Gehalte in Silomais wurde die Untersuchungsmethode nach dem Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) im Methodenbuch Band III, 31.3 angewandt.

Der RP-Gehalt in der Grünroggen-Ganzpflanzensilage wurde mittels nasschemischer Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl erfasst. Mit dem Umrechnungsfaktor 6,25 wurde vom Stickstoffgehalt auf den Rohproteingehalt umgerechnet. Für die Bestimmung der RP-Gehalte im Grünroggen wurde die Untersuchungsmethode nach dem VDLUFA Methodenbuch Band III, 4.1.1 angewandt.

3.8.3 Bestimmung der Inhaltsstoffe der organischen Dünger

Die in den Versuchen verwendeten Biogasgärreste wurden auf die Parameter pH-Wert in Calciumchlorid ($CaCl_2$), Trockenmasse (TM; 105 °C im Trockenschrank), organische Substanz (550 °C im Muffelofen), Ammoniumstickstoff (NH_4-N aus $CaCl_2$ -Extrakt), Gesamtstickstoff (Summe aus NH_4-N , Nitratstickstoff (NO_3-N) aus $CaCl_2$ -Extrakt) und über Optische Emissionsspektrometrie (aus Königswasseraufschluss) auf Phosphorpentoxid (P_2O_5), Kaliumoxid (K_2O), Magnesiumoxid (MgO), Schwefel (S) und Calciumoxid (CaO) hin analysiert. Für die Bestimmung der Inhaltsstoffe des organischen Düngers wurden die Untersuchungsmethoden nach dem VDLUFA Methodenbuch Band II angewandt.

3.8.4 Bestimmung des Stickstoffgehalts im Boden

Als Grundlage für die N_{\min} -Berechnung wurden Bodenproben für die Analyse des im Boden enthaltenen pflanzenverfügbaren Stickstoffs entnommen. Diese wurden unmittelbar nach der Entnahme im Feld tiefgefroren. Im Labor wird aus einem CaCl_2 -Extrakt der Ammoniumstickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) sowie der Nitratstickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) in den Proben bestimmt (VDLUFA Methodenbuch Band I; A 6.1.4.1).

3.8.5 Bestimmung der Bodenparameter

Für die Bestimmung der Bodenparameter in der Krume wurden die Untersuchungsmethoden nach dem VDLUFA Methodenbuch Band I verwendet: pH-Wert in CaCl_2 (A5.1.1); Phosphorpentoxid (P_2O_5) und Kaliumoxid (K_2O) im Calcium-Acetat-Lactat-Auszug (A6.2.1.1); Magnesiumoxid (MgO) im Calciumchlorid-Auszug (A6.2.4.1); organischer Kohlenstoff (C_{org}) durch Verbrennung bei 550°C und Gasanalyse (A4.1.3.2); Gesamtstickstoff (N_t) nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse, A2.2.5).

3.9 Berechnung von pflanzenbaulichen Parametern

3.9.1 Mineraldüngeräquivalent (MDÄ)

Um die N-Wirkung organischer Dünger im Anwendungsjahr einzustufen zu können, ist das Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) ein geeigneter Parameter. Die Ertragswirkung organischer Düngemittel wird dabei in Beziehung zur Ertragswirkung mineralischer N-Dünger (N-Düngersteigerung) gesetzt und ist somit ein Indiz für die Stickstoffausnutzung organischer Düngemittel im Vergleich zum Mineraldünger. So ist es beispielsweise notwendig, 174 kg Gesamtstickstoff pro Hektar über einen organischen Dünger auszubringen, um den gleichen Ertrag zu erreichen wie mit einer mineralischen Düngung von 105 kg N/ha (vgl. Abbildung 18). In diesem Beispiel wird mit dem organischen Dünger ein MDÄ von 60,3 % erreicht (Berechnung: $(105 \text{ kg N/ha mineralisch} / 174 \text{ kg N/ha organisch}) * 100 = 60,3\%$).

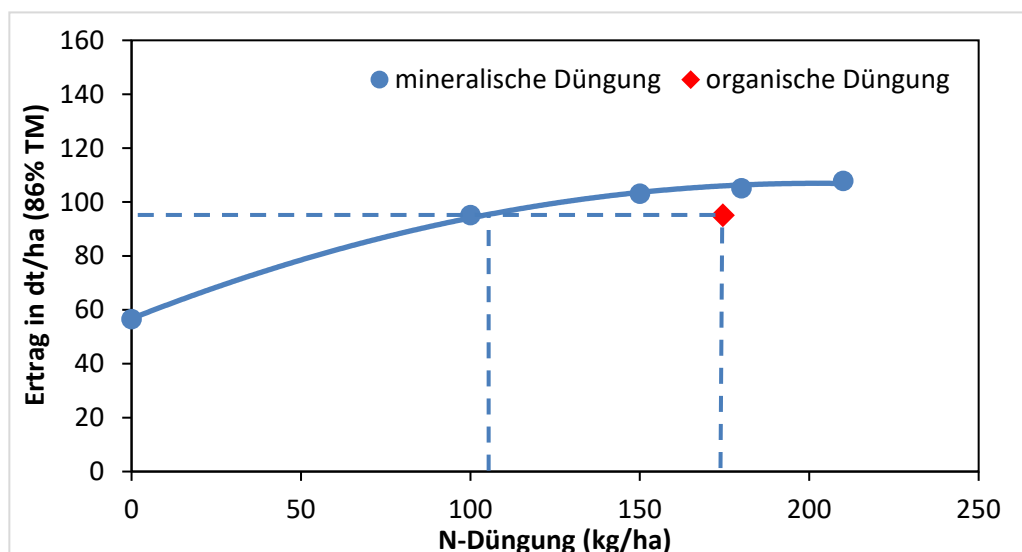


Abbildung 18: Graphische Darstellung zur Ermittlung der Mineraldüngeräquivalente. Blaue Punkte = mineralische Düngungssteigerung, roter Punkt = ausgebrachte organische N-Düngermenge.

3.9.2 Trockenmasseertrag

Bei Weizen wurde die Kornträge auf einen Trockenmassegehalt von 86 % bezogen, bei Silomais auf einen Trockenmassegehalt von 100 %.

3.9.3 N-Abfuhr

Zur Berechnung der N-Abfuhr über das Erntegut wird der Ertrag (Trockenmasseertrag) mit dem N-Gehalt des Pflanzenmaterials multipliziert.

3.9.4 N-Saldo

Zur Berechnung des N-Saldos wird von der N-Zufuhr (N-Düngung) die N-Abfuhr durch das Erntegut abgezogen.

3.9.5 Berechnung der N_{\min} -Gehalte im Boden

Der N_{\min} -Gehalt des Bodens wurde in diesem Forschungsprojekt für eine Tiefe von 0-90 cm bestimmt. Dafür wurden Bodenproben in Abstand von je 30 cm entnommen und, wie in Abschnitt 3.6.4 beschrieben, das enthaltene NH_4 -N und NO_3 -N bestimmt. Berechnet wird der N_{\min} -Gehalt des Bodens in kg pro Hektar, indem die Mengen an NO_3 -N für die Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm sowie der NH_4 -N der Tiefe 0-30 cm addiert werden.

3.9.6 Ährentragende Halme im Versuch 557

Für die Bestimmung der ährentragenden Halme bzw. der (Weizen)Ähren pro Quadratmeter wurden in den betreffenden Versuchsvarianten in jedem Jahr, nachdem die Ähren voll entwickelt waren, aus drei Weizenreihen jeweils für einen Meter die ährentragenden Halme ausgezählt. Die Anzahl der Ähren wurde für jede Variante gemittelt und anhand des Reihenabstands auf einen Quadratmeter hochgerechnet.

3.10 Statistische Auswertung

Die varianzanalytische Versuchsauswertung wurde mit der Statistiksoftware SAS (Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durchgeführt. Zur Ermittlung signifikanter Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern wurde der t-Test verwendet.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Ergebnisse der Feldversuche zu Winterweizen (V557)

Der Versuch wurde als mehrortiger, mehrjähriger Versuch verrechnet und ausgewertet. Die in Tabelle 16 dargestellten Ergebnisse sind das Mittel aus drei Jahren (2020-2022) und zwei Standorten (Puch und Dürabuch). Dabei konnte beim Kornertrag, dem Rohproteingehalt und der N-Abfuhr eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Versuchsjahren und der Düngung festgestellt werden. Zusätzlich konnte beim Kornertrag eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Versuchsort und der Düngung ermittelt werden.

Mit dem bekannten Wissen, dass die organische und mineralische Düngung einem starken Jahreseinfluss und zum Teil auch einen Standortseinfluss unterliegen, wurde jedoch bewusst die Vorgehensweise einer Mittelung der sechs Einzelversuche gewählt, um wichtige Aussagen für die Praxis treffen zu können. Die Einzelergebnisse je Versuchsjahr und Versuchsstandort können dem Anhang entnommen werden.

In diesem Versuch war zusätzlich eine Frostdüngung geplant. Aufgrund der technischen Schwierigkeiten im Jahr 2019 sowie der warmen Witterung im Februar und März in den Jahren 2020 und 2021, war eine Frostdüngung nur im Jahr 2022 möglich (Ergebnisse in Tabelle 16 und im Anhang). Die Frostdüngung zeigte im Jahr 2022 keine wesentlichen Ertragsunterschiede zu den Vergleichsvarianten.

Tabelle 16: Versuchsglieder mit zugehörigen Applikationstechniken (Schleppschlauch = SL; Schleppschuh = SU; flache Scheibenschlitztechnik = SC1; tiefe Scheibenschlitztechnik = SC2), mittleren organischen und mineralischen Düngermengen je Düngetermin sowie den mittleren Erträgen, Rohproteingehalten (RP), N-Abfuhr und N-Salden. Versuch 557, n = 6 (Mittel der Jahre 2020-22, 2 Orte).

Teilab-schnitt**	Versuchs-glied	Technik	Ausbringzeitpunkt						Ertrag (dt/ha, 86 % TM)	RP (% TM)	N-Abfuhr (kg/ha)	N-Saldo (kg/ha)
			Organische N-Düngung (kg N/ha)***			Mineralische N-Düngung (kg N/ha)						
			Frühj. Frost	Frühj.	BBCH 30	Frühj.	BBCH 31	BBCH 37-39				
1	1		0	0	0	0	0	0	56,5	8,6	74	-74
	2		0	0	0	40	40	20	95,1	10,4	150	-50
	3		0	0	0	50	50	50	103,1	12,1	189	-39
	4		0	0	0	60	60	60	101,8	12,7	195	-15
	5		0	0	0	70	70	70	100,2	13,4	201	9
2	6	SC2	0	0	0	60	60	60	102,1	12,8	198	-18
3	7	SL	0	175	0	0	0	0	81,4	8,9	111	64
	8	SU	0	175	0	0	0	0	84,2	9,0	116	58
	9	SC1	0	175	0	0	0	0	89,0	9,4	127	47
	10	SC2	0	175	0	0	0	0	95,1	9,9	143	32
4	11	SL	0	0	173	0	0	0	85,3	9,5	122	50
	12	SU	0	0	173	0	0	0	86,6	9,4	123	49
	13	SC1	0	0	173	0	0	0	87,8	9,8	130	43
	14	SC2	0	0	173	0	0	0	93,2	10,6	150	23
5	15	SU	0	87	86	0	0	0	85,3	9,2	119	54
	16	SC1	0	87	86	0	0	0	91,9	9,7	135	38
	17	SC2	0	87	86	0	0	0	94,3	10,4	148	25
6	18*	SU	59	113	0	0	0	0	75,9	8,0	91	82
	19*	SU	59	0	112	0	0	0	81,2	8,6	104	66
7	20	SU	0	87	0	23	35	57	104,7	12,3	196	6
	21	SC1	0	87	0	23	35	57	107,5	12,4	203	0
	22	SC2	0	87	0	23	35	57	104,2	12,6	199	3

8	23	SU	0	175	0	15	0	48	102,7	11,8	183	54
	24	SC1	0	175	0	15	0	48	108,0	12,0	195	41
	25	SC2	0	175	0	15	0	48	108,3	12,3	201	36
9	26	SU	0	0	173	50	6	7	104,0	11,4	179	56
	27	SC1	0	0	173	50	6	7	105,0	11,7	186	49
	28	SC2	0	0	173	50	6	7	103,9	12,1	190	45
10	29*	SU	59	113	0	44	0	55	112,7	12,5	212	59
	30*	SU	59	0	112	55	0	44	115,8	12,6	219	48
t-Test GD**** (5%)									3,40	0,29	7,17	-

*nur im Jahr 2022

Teilabschnitt: **1 = Mineralische N-Steigerung; **2** = Einfluss der Applikationstechnik auf den Pflanzenbestand (ohne org. Düngung); **3** = Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung im Frühjahr; **4** = Einfluss der Applikationstechnik bei org. Düngung zu Schossbeginn (BBCH 30); **5** = Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung im Frühjahr und zu BBCH 30; **6** = Einfluss der aufgeteilten organischen Düngung bei Frost (1. Teilgabe) und zweiter Teilgabe im Frühjahr bzw. zu BBCH 30; **7** = Einfluss der Applikationstechnik bei reduzierter organischer Düngung im Frühjahr und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen; **8** = Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung im Frühjahr und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen; **9** = Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung zu BBCH 30 und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen; **10** = Einfluss der aufgeteilten organischen Düngung bei Frost (1. Teilgabe) und zweiten Teilgabe im Frühjahr bzw. zu BBCH 30 und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen.

***Die mittleren organischen N-Düngermengen weichen von der geplanten Düngung (Tabelle 10) leicht ab. Dies ist auf Schwankungen im Stickstoffgehalt des Düngers zurückzuführen (siehe Kapitel 3.2). Für ein einfacheres Verständnis wird in den folgenden Abschnitten für die Erläuterung der N-Düngermengen aber von den planmäßigen Mengen ausgegangen.

**** GD = Grenzdifferenz

4.1.1 Ertrag und Rohprotein im Versuch 557

4.1.1.1 Mineralische Düngungssteigerung

Damit die Wirkung der organischen Düngung eingeordnet werden kann, wurden rein mineralisch gedüngte Parzellen angelegt (Tabelle 16, Versuchsglied 1-5). Der Ertrag stieg dabei signifikant bis zur ausgebrachten mineralischen Stickstoffmenge von 150 kg/ha (Versuchsglied 3) an. Das Ertragsplateau ab einer mineralischen Stickstoffmenge von 150 kg/ha ist vor allem auf das im Versuchsjahr 2021 aufgetretene Lager in den Varianten mit höherer N-Düngung zurückzuführen. Der Rohproteingehalt nahm dagegen bis zu einer mineralischen Düngung von 210 kg/ha (Versuchsglied 5) signifikant zu.

4.1.1.2 Einfluss der Applikationstechnik auf den Pflanzenbestand, Ertrag und Rohprotein

Um zu ermitteln, ob die eingesetzten bodennahen, streifenförmigen Applikationstechniken Pflanzenschäden mit Ertragseffekt hervorrufen können, wurde im Versuch ein spezielles Versuchsglied integriert. Dafür wurden Parzellen mit der tiefen Scheibenschlitztechnik (SC2) im Frühjahr „blind“, also ohne organische Düngung, überfahren und mit einer mineralischen Gesamtstickstoffmenge von 180 kg/ha gedüngt (Tabelle 16, Versuchsglied 4 und 6). Die tiefe Scheibenschlitztechnik (SC2) hatte durch seine schneidenden Scheiben von allen Applikationstechniken den intensivsten Einfluss auf den Pflanzenbestand (Pflanzenschäden, vor allem Wurzelschäden). Der Weizen konnte die aufgetretenen Schäden aber kompensieren. In der Folge wurden keine signifikanten Unterschiede beim Ertrag und Rohproteingehalt im Vergleich zu einer Variante mit rein mineralischer Stickstoffdüngung von 180 kg/ha festgestellt.

Offenbar führten die technischen Anpassungen an der SC2 (siehe Kapitel 3.4.4) zu einer Verminderung von negativen Ertragseffekten, wie sie noch im Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019), mit der tiefen Scheibenschlitztechnik nachgewiesen werden konnten.

4.1.1.3 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und Rohprotein bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr oder zu BBCH 30

Frühjahrsdüngung

Bei einer rein organischen Düngung von 170 kg N/ha im Frühjahr (Tabelle 16, Teilabschnitt 3) stieg mit zunehmender Ablagetiefe des Düngers im Boden (SL<SU<SC1<SC2) sowohl der Ertrag als auch der Rohproteingehalt an (Abbildung 19). Dieser Anstieg ist, mit Ausnahme von SL und SU, signifikant. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus dem Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019). Trotz der Erhöhung des Auflagedrucks bei der Applikation mit dem Schleppschuh, wodurch sich im Vergleich zum Vorgängerprojekt eine erhöhte Ablagetiefe ergeben sollte, konnten jedoch keine erhöhten Ertrags- und Rohproteinunterschiede zwischen Schleppschlauch- und Schleppschuhtechnik festgestellt werden.

Da durch den Technikeinsatz als solchen ein Einfluss auf Ertrag und Rohprotein, wie in Abschnitt 4.1.1.2 gezeigt, ausgeschlossen werden kann, ist als wesentliche Ursache von einer erhöhten N-Wirkung in Abhängigkeit der Ablagetiefe auszugehen.

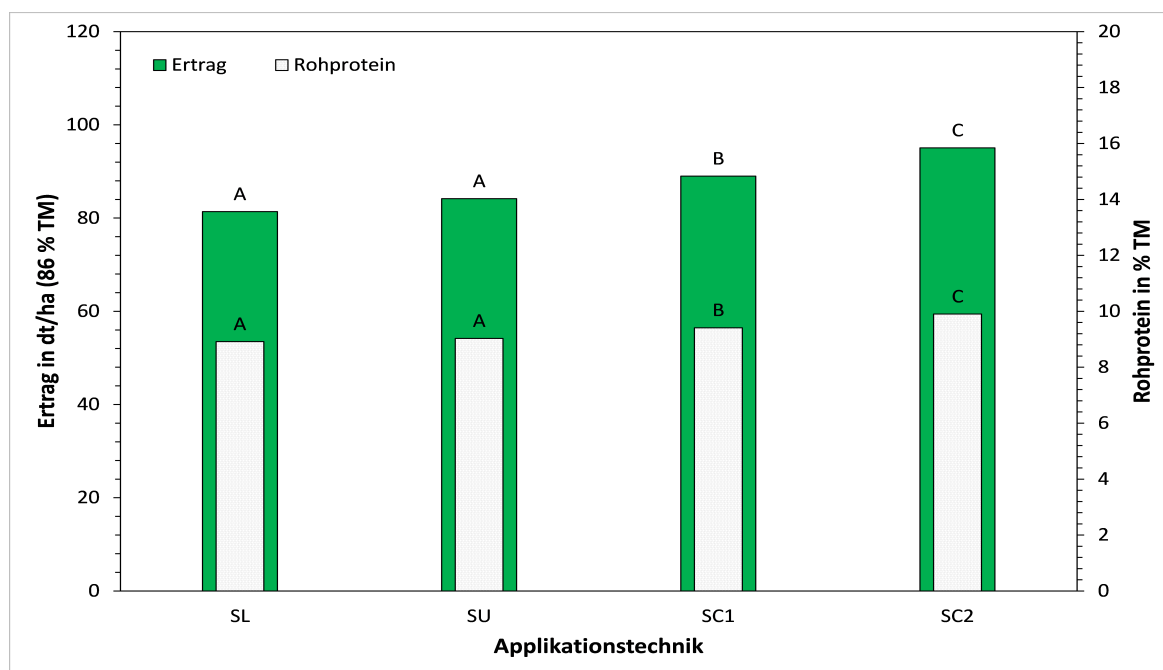


Abbildung 19: Mittlere Erträge und Rohproteingehalte mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr. Versuch 557, Mittel von drei Jahren und zwei Orten, $n = 6$. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen (t -Test GD (5 %): 3,40 dt/ha) und Rohproteingehalten (t -Test GD (5 %): 0,29 %). SL = Schleppschlauch; SU = Schleppschuh; SC1 = flache Scheibenschlitztechnik; SC2 = tiefe Scheibenschlitztechnik.

Düngung zu Schossbeginn (BBCH 30)

Bei einer rein organischen Düngung von 170 kg N/ha zu Schossbeginn (BBCH 30) waren ähnliche Effekte wie bei einer Düngung im Frühjahr festzustellen. Da die schneidenden Techniken (vor allem SC2) zu diesem späten Stadium erhöhte Pflanzenschäden verursachen können (optische Bonitur), sind die Einflüsse der Ausbringtechniken auf den Ertrag und Rohprotein nicht ganz so stark ausgeprägt wie in Abbildung 19. Im Vergleich zur Frühjahrsdüngung kann die organische Düngung hier wie eine Qualitätsgabe wirken. Das zeigt sich in einem leicht erhöhtem Rohprotein der einzelnen Varianten (siehe Abbildung 20 und Tabelle 16).

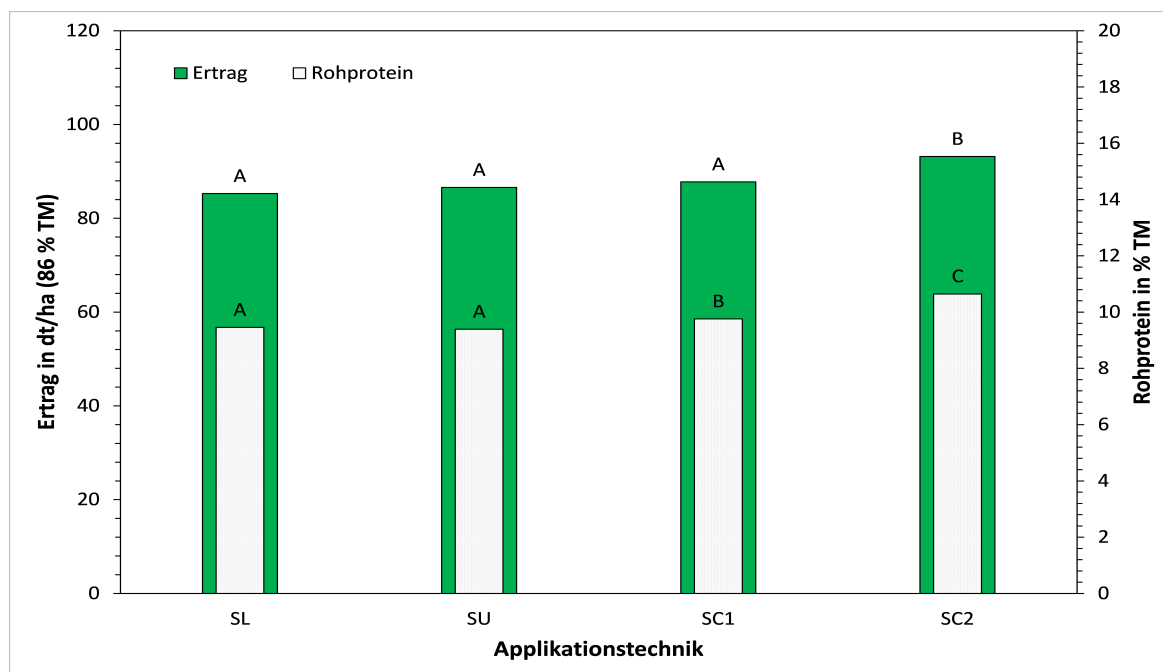


Abbildung 20: Mittlere Erträge und Rohproteingehalte mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) zu BBCH 30. Versuch 557, Mittel von drei Jahren und zwei Orten, $n = 6$. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen (t -Test GD (5 %): 3,40 dt/ha) und Rohproteingehalten (t -Test GD (5 %): 0,29 %). SL = Schleppschlauch; SU = Schleppschuh; SC1 = flache Scheibenschlitztechnik; SC2 = tiefe Scheibenschlitztechnik.

4.1.1.4 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und Rohprotein bei einer aufgeteilten organischen Düngung (85+85 kg N/ha) im Frühjahr und zu BBCH 30

Die gleichmäßige Aufteilung der flüssigen organischen Düngergaben auf zwei Ausbringzeitpunkte (Frühjahr und BBCH 30) mit unterschiedlicher Ausbringtechnik wirkt sich auf die Parameter Ertrag und Rohproteingehalt aus (Abbildung 21, Teilabschnitt 5). Mit Zunahme der Ablagetiefe des organischen Düngers im Boden ($SU < SC1 < SC2$) stieg der Ertrag sowie der Rohproteingehalt an. Diese Anstiege sind, mit Ausnahme des Ertrags von SC1 und SC2, signifikant. Im Vergleich zur reinen Frühjahrsdüngung kann hier die zusätzliche, organische Düngung zu BBCH 30 wie eine Qualitätsgabe wirken. Das zeigte sich in einem leicht erhöhtem Rohproteingehalt der einzelnen Varianten.

Mit der tiefen (SC2) gegenüber der flachen (SC1) Scheibenschlitztechnik konnte jedoch im Gegensatz zur reinen Frühjahrsdüngung (Teilabschnitt 3) kein signifikanter Mehrertrag erreicht werden. Dies lässt sich unter anderem auf den zweimaligen, intensiven Einfluss der SC2 auf den Pflanzenbestand (optische Bonitur) zurückführen.

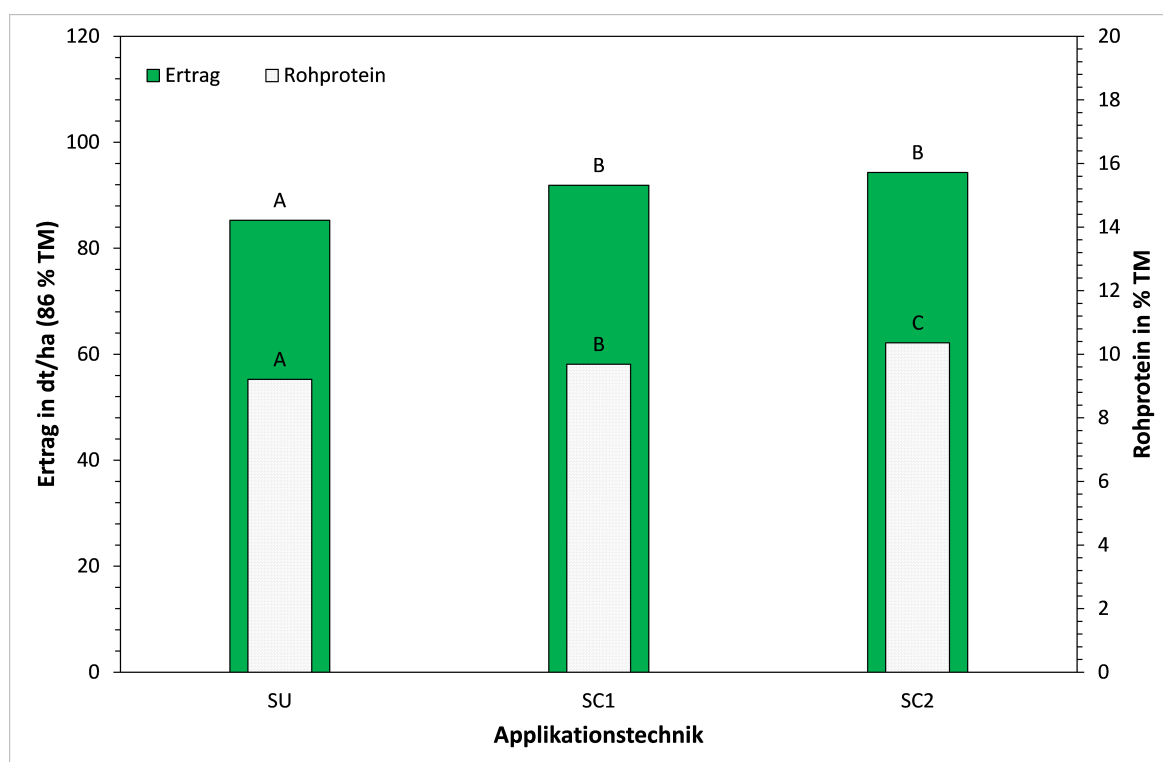


Abbildung 21: Mittlere Erträge und Rohproteingehalte mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (85 kg N/ha) im Frühjahr und zu BBCH 30. Versuch 557, Mittel von drei Jahren und zwei Orten, $n = 6$. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen (t -Test GD (5 %): 3,40 dt/ha) und Rohproteingehalten (t -Test GD (5 %): 0,29 %). SU = Schleppschuh; SC1 = flache Scheibenschlitztechnik; SC2 = tiefe Scheibenschlitztechnik.

4.1.1.5 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und Rohprotein bei einer reduzierten organischen Düngung (85 kg N/ha) im Frühjahr sowie einer mineralischen N-Ergänzung

In diesem Teilabschnitt wird die nach DüV zulässige Düngehöchstmenge an Gesamtstickstoff über flüssigen organischen Dünger um 50 % reduziert und mit unterschiedlicher Ausbringtechnik im Frühjahr appliziert. Zudem wird, entsprechend dem Düngebedarf, mineralischer Dünger optimal über die gesamte Vegetationszeit ergänzt (im Mittel 115 kg N/ha). Bei einer solchen Düngung waren nur geringe Auswirkungen auf die Parameter Ertrag und Rohproteingehalt festzustellen (Tabelle 16, Teilabschnitt 7). Entsprechende Erkenntnisse konnten auch im Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019) gewonnen werden. Eine Abhängigkeit der beiden Parameter von der Ablagetiefe war bei reduzierter organischer Düngung nicht eindeutig feststellbar.

Offenbar werden hier die Auswirkungen der einzelnen Applikationstechniken, welche in den vorangegangenen Teilabschnitten zu sehen waren, bei einer reduzierten organischen N-Düngung durch die höhere Mineraldüngung überlagert. Im Vergleich zu den rein organisch gedüngten Varianten wurde eine zeitweise N-Mangelsituation durch die bedarfsgerechte Düngung ausgeschlossen und es lag allgemein ein höheres Ertragsniveau vor. Im Versuchsjahr 2021 trat zudem tendenziell erhöhtes Lager in der Variante mit SC2 auf, was auf eine bessere N-Wirkung hinweist.

4.1.1.6 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und Rohprotein bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr oder zu BBCH 30 sowie einer mineralischen N-Ergänzung

Die Applikation von 170 kg N/ha über flüssigen organischen Dünger mit unterschiedlicher Ausbringtechnik im Frühjahr (Teilabschnitt 8) bzw. zu Schossbeginn (BBCH 30, Teilabschnitt 9) und bedarfsgerechter, mineralischer N-Düngung (im Mittel 63 kg N/ha) beeinflusste die Parameter Ertrag und Rohproteingehalt nur geringfügig. Die Ergebnisse der Teilabschnitte sind in Tabelle 16 dargestellt.

Frühjahrsdüngung

Bei einer organischen Düngung von 170 kg N/ha im Frühjahr stieg mit zunehmender Ablagetiefe des Düngers im Boden (SU<SC1<SC2) der Ertrag sowie der Rohproteingehalt geringfügig, teilweise auch signifikant an. Ähnliche Erkenntnisse konnten auch im Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019) gemacht werden. In diesem Forschungsprojekt konnte jedoch die SC2, vermutlich durch die technischen Anpassungen (siehe Kapitel 3.4.4), besser abschneiden.

In den vorangegangenen Teilabschnitten konnten in Bezug auf die Ablagetiefe jedoch andere Resultate festgestellt werden. Dabei wurden in Teilabschnitt 3 größere und in Teilabschnitt 7 geringere Unterschiede zwischen den drei Applikationstechniken festgestellt.

Der Einfluss der einzelnen Applikationstechniken auf Ertrag und Rohproteingehalt wird in Teilabschnitt 8, aufgrund höherer organischer und niedrigerer mineralischer Düngung, nicht so stark wie in Teilabschnitt 7 durch die ergänzende mineralische N-Düngung überlagert. Im Vergleich zu Teilabschnitt 3 wird eine N-Mangelsituation durch die bedarfsgerechte Düngung ausgeschlossen und es liegt allgemein ein höheres Ertragsniveau vor.

Düngung zu Schossbeginn (BBCH 30)

Bei einer organischen Düngung von 170 kg N/ha zu BBCH 30 und ergänzender bedarfsgerechter, mineralischer N-Düngung (Teilabschnitt 9) stieg mit zunehmender Ablagetiefe des Düngers im Boden (SU<SC1<SC2) der Rohproteingehalt geringfügig, aber signifikant an. Jedoch war zusätzlich kein Einfluss der Applikationstechnik auf den Ertrag feststellbar. Dies ist insofern erstaunlich, da bei fehlender mineralischer Düngung (siehe Tabelle 16, Teilabschnitt 4), teilweise signifikante Ertragsunterschiede in Abhängigkeit von der Ablagetiefe durch die unterschiedlichen Techniken feststellbar waren.

Im Vergleich zu Teilabschnitt 4 wird eine N-Mangelsituation durch die bedarfsgerechte, mineralische N-Düngung ausgeschlossen, wodurch sich bis zum Beginn des Schossens ein kräftigerer Pflanzenbestand entwickeln konnte. Dieser ist möglicherweise anfälliger für einen wesentlichen Einfluss der tiefen Scheibenschlitztechnik (optische Bonitur). Im Versuchsjahr 2021 trat zudem in allen Varianten leichtes Lager auf. Das stärkste Lager bei der Variante mit der tiefen Scheibenschlitztechnik, was auf eine bessere N-Wirkung hinweist.

4.1.2 Einfluss der Applikationstechnik auf den Pflanzenbestand, hier Ährentragende Halme im Versuch 557

Für die Versuchsvarianten des Teilabschnitts 3 in Tabelle 16 wurden, wie in Kapitel 3.9.6 beschrieben, die Ähren pro Quadratmeter bestimmt. Bei einer rein organischen Düngung von 170 kg N/ha hatte die unterschiedliche Applikationstechnik im Frühjahr einen deutlichen Einfluss auf die Zahl der Weizenähren pro Quadratmeter (Abbildung 22). Es zeigte sich, dass mit der SC1 und SC2 im Vergleich zum SL und SU die Anzahl an Ähren signifikant erhöht werden kann.

Mögliche Ursachen könnten im Anregen der Bestockung durch Schäden an den Pflanzenwurzeln oder eine Reduzierung der Ähren durch eine geringere N-Effizienz bei den Applikationstechniken SL und SU sein.

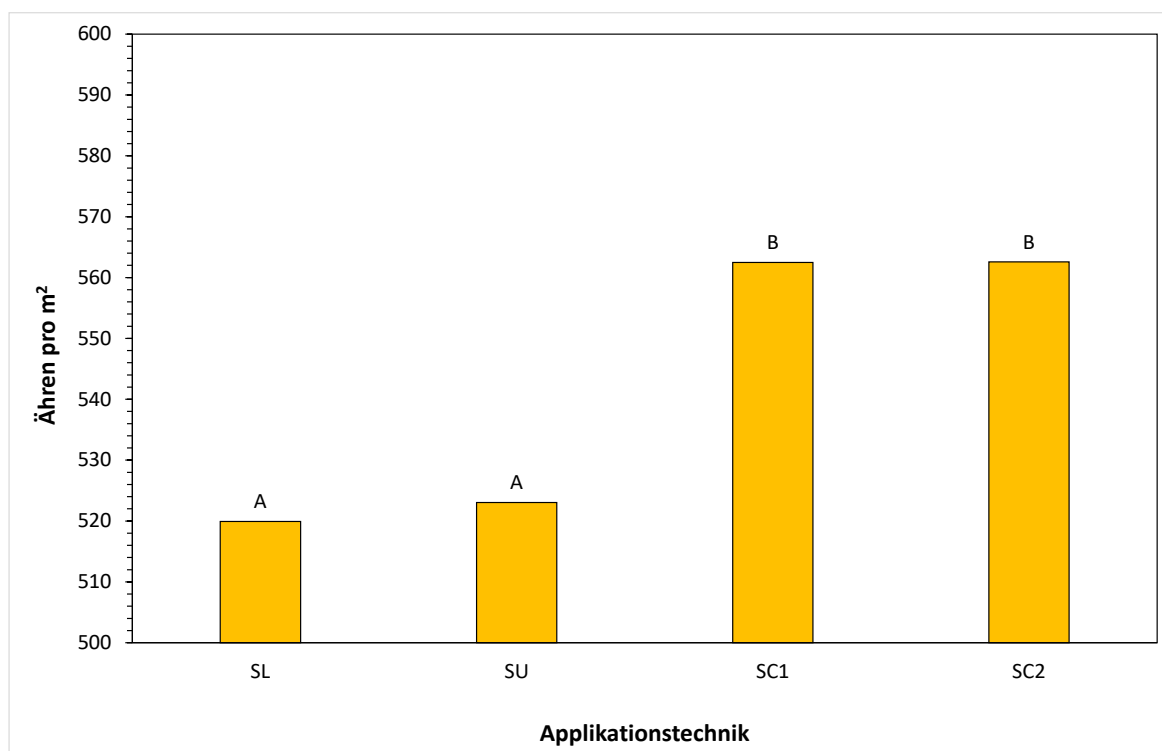


Abbildung 22: Mittlere Anzahl der Ähren pro Quadratmeter nach dem Einsatz verschiedener Applikationstechniken und bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr. Versuch 557, Mittel von drei Jahren und zwei Orten, $n = 6$. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen der Anzahl der Ähren (t -Test GD (5 %): 31,59 Ähren pro m²). SL = Schleppschauch; SU = Schleppschuh; SC1 = flache Scheibenschlitztechnik; SC2 = tiefe Scheibenschlitztechnik.

4.1.3 N-Saldo und N-Abfuhr im Versuch 557

In Abbildung 23 sind die N-Abfuhr von der Ackerfläche durch das Erntegut und die N-Salden für den Versuch 557 dargestellt.

Für die mineralische Düngersteigerung (Versuchsglieder 1-5) sowie für Versuchsglied 6 (180 kg N/ha mineralisch) ergaben sich hohe N-Abfuhr und dadurch geringe N-Salden. Ein Einfluss der mineralischen Düngermenge ist dabei erkennbar. Je mehr Mineraldünger appliziert wird, umso höher sind die N-Abfuhr. Trotz höherer N-Abfuhr stiegen die N-Salden, d.h., die N-Effizienz pro Kilogramm Stickstoff sank mit zunehmender N-Düngermenge.

Der Verlauf der N-Abfuhr und der N-Salden der Versuchsglieder 7-28 folgt im Allgemeinen der Applikationstechnik und damit der Ablagetiefe (N-Abfuhr: SL<SU<SC1<SC2; N-Saldo: SL>SU>SC1>SC2). Wobei der Schleppschauch (SL) bei den Versuchsgliedern 7 und 11, der Schleppschuh (SU) bei den Versuchsgliedern 8, 12, 15, 20, 23 und 26, die flache Scheibeninjektionstechnik bei den Versuchsgliedern 9, 13, 16, 21, 24 und 27 und die tiefe Scheibenschlitztechnik (SC2) bei den Versuchsgliedern 10, 14, 17, 22, 25 und 28 zum Einsatz kam. Ähnliche Erkenntnisse konnten auch im Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019) gewonnen werden.

Zwischen den Teilabschnitten (siehe auch Tabelle 16) mit den Versuchsgliedern 7-10, 11-14 und 15-17, d.h. Varianten mit einem Einsatz von insgesamt 170 kg Gesamt-N/ha über organischen Dünger, dies jedoch zu unterschiedlichen Düngeterminen, ergaben sich zu den einzelnen Applikationstechniken (siehe Absatz oben) ähnliche N-Abfuhr und N-Salden.

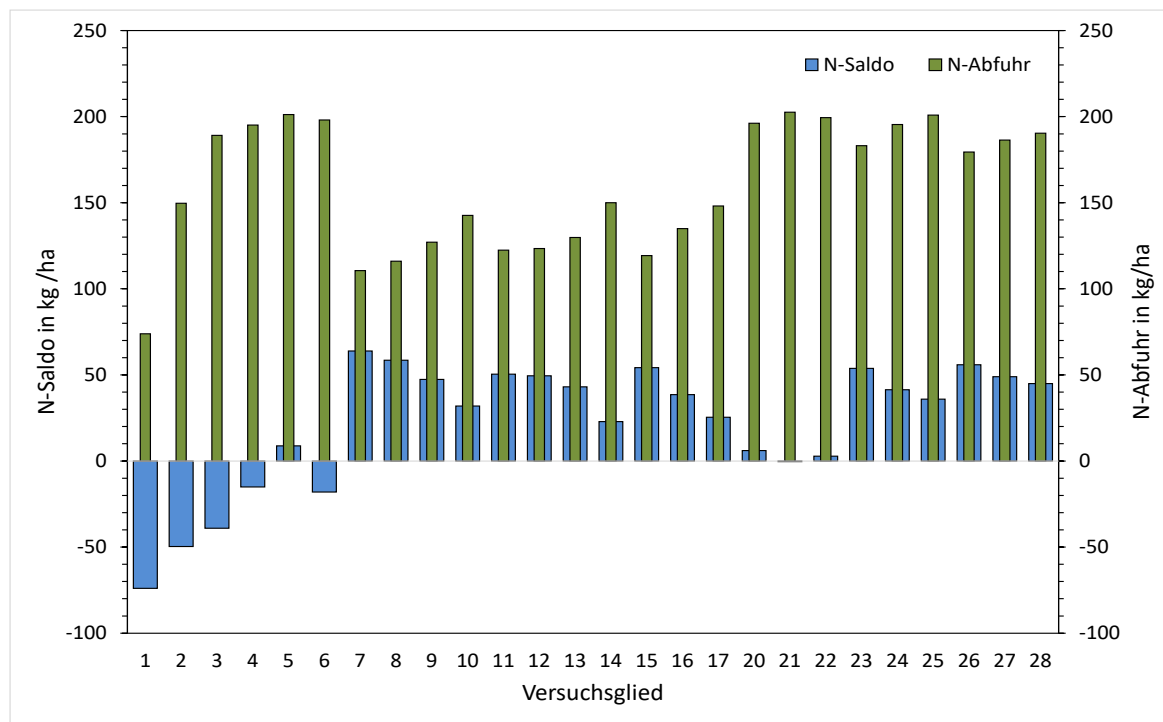


Abbildung 23: N-Saldo und N-Abfuhr je Versuchsglied im Versuch 557. Mittel von drei Jahren und zwei Orten, $n = 6$. N-Abfuhr: t -Test GD (5 %): 7,17 kg/ha.

Ab Versuchsglied 20 sind die N-Abfuhr im Vergleich zu den Versuchsgliedern 7-17 erhöht, aber alle auf einem ähnlich hohen Niveau. Dies ist auf die bedarfsgerechte mineralische N-Düngung zurückzuführen. Der zusätzliche Mineraldünger erhöhte dabei den N-Saldo im Vergleich zu den Versuchsgliedern 7-17 nicht. Bei den Versuchsgliedern 20-22 (85 kg Gesamt-N/ha über organischen Dünger, 115 kg N über mineralischen Dünger) resultieren hingegen geringere N-Salden. Der Grund hierfür liegt an der vergleichsweise hohen bedarfsgerechten, mineralischen Düngung bei einer reduzierter organische Düngung.

4.1.4 N_{\min} -Gehalte im Versuch 557

Die N_{\min} -Gehalte im Boden nach der Weizenernte ermöglichen es, gewisse Rückschlüsse zur Stickstoffauswaschungsfahr, bezogen auf die unterschiedliche Düngung bei sonst gleicher Bewirtschaftung, treffen zu können.

In Abbildung 24 sind die N_{\min} -Gehalte je Versuchsglied (siehe Tabelle 16) und für die drei Probennahmetiefen dargestellt. Die N_{\min} -Gehalte liegen in einem Bereich zwischen 35 und 56 kg/ha. Dieses Niveau ist nach langjähriger Erfahrung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Heigl & Offenberger, mdl. Mitteilung) normal. Der Großteil des nach der Ernte im Boden verbliebenen Stickstoffs lag dabei in einer Tiefe von 0-30 cm, also in der oberen Bodenschicht, vor.

Für die mineralische N-Steigerung (Versuchsglieder 1-5) sowie für Versuchsglied 6 (180 kg N/ha mineralisch) scheint ein Zusammenhang zwischen der Düngungshöhe und dem N_{\min} -Gehalt zu bestehen.

Für alle anderen Versuchsglieder zeigt sich ein leichter Zusammenhang zwischen der Höhe des N_{\min} und der Ausbringtechnik. Die N_{\min} -Werte nach dem Einsatz der tiefen Scheibenschlitztechnik (SC2; Versuchsglieder 10, 14, 17, 22, 25 und 28) weisen vor allem gegenüber dem Einsatz von Schleppschlauch (SL; Versuchsglieder 7, 11) oder dem Schleppschuh (SU; Versuchsglieder 8, 12, 15, 20, 23, 26) trotz höherer N-Abfuhr etwas erhöhte N_{\min} -Gehalte auf. Auch im Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019) zeigte die tiefe Scheibenschlitztechnik (SC2) erhöhte N_{\min} -Werte nach der Ernte. Diese Ergebnisse könnten ein Indiz für geringere N-Verluste durch die tiefe Scheibenschlitztechnik gegenüber anderen Applikationstechniken sein. Andererseits könnte bei der tiefen Einbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern (SC2) aber auch das Potential einer etwas höheren N-Auswaschung gegenüber flachen Applikationstechniken (im Versuch SL, SU) zunehmen.

Bei rein organischer Düngung als auch bei einer organischen und mineralischen Düngung ergeben sich trotz unterschiedlicher Gesamt-N-Menge ähnliche N_{\min} -Werte im Boden. Gleiches gilt für die Düngetermine.

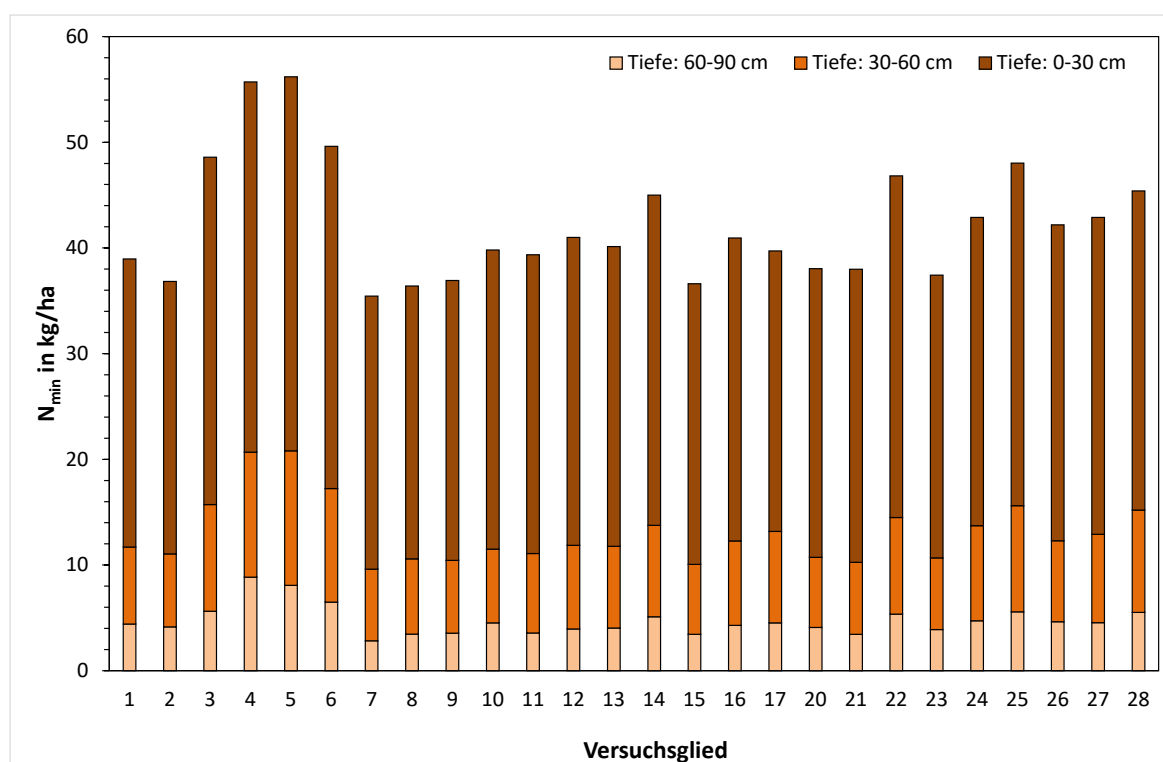


Abbildung 24: N_{\min} -Gehalt im Boden je Versuchsglied in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm nach der Winterweizenernte im Versuch 557. Mittel von drei Jahren und zwei Orten, $n = 6$.

4.1.5 Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) im Versuch 557

In Abbildung 25 ist das MDÄ einzelner Versuchsglieder dargestellt. Bei einer rein organischen Düngung in Höhe von 170 kg N/ha wurde mit der tiefen Scheibenschlitztechnik (SC2) im Versuchsmittel das höchste MDÄ (54-60 %) erzielt. Dies traf für die Frühjahrsdüngung, für die Düngung zu Schossbeginn (BBCH 30) sowie für die aufgeteilte Düngung zu.

Das MDÄ steigt in der Reihenfolge SC2>SC1>SU>SL an. Wenngleich dies bei der organischen Düngung zu BBCH 30 nicht eindeutig gezeigt werden kann. Damit deutet sich eine abhängig des MDÄ von der Ablagetiefe der organischen Dünger im Boden an.

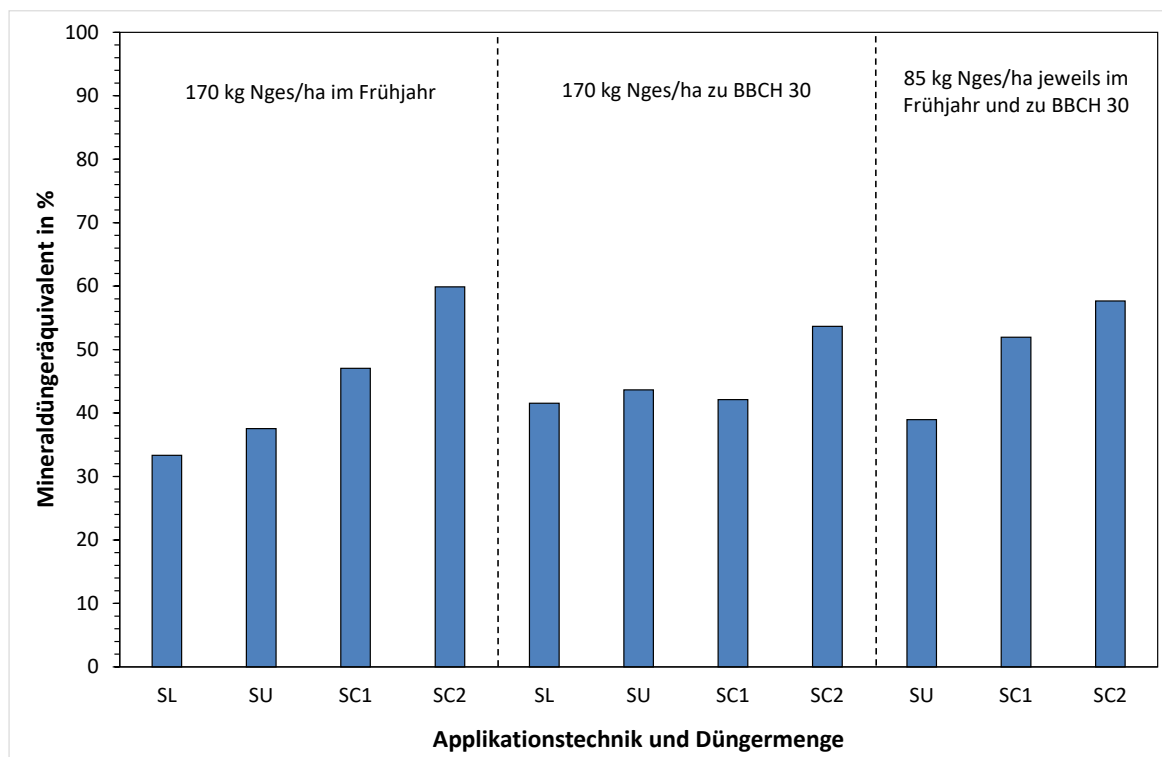


Abbildung 25: Mineraldüngeräquivalent mit verschiedenen Applikationstechniken bei einer organischen N-Düngung (170 kg N/ha) im Frühjahr und/oder zu BBCH 30 im Versuch 557. Mittel von drei Jahren und zwei Orten, $n = 6$. SL = Schleppschlauch; SU = Schleppschuh; SC1 = flache Scheibenschlitztechnik; SC2 = tiefe Scheibenschlitztechnik.

Somit konnte die nach DüV vorgegebene N-Mindestwirksamkeit (MDÄ) von 60% bei Biogasgärrest nur bei tiefer Injektion mit der tiefen Scheibenschlitztechnik erreicht werden. Insgesamt sind die MDÄ in diesem Forschungsprojekt um ca. 10 % niedriger als im Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019). Ursachen hierfür konnten bislang nicht gefunden werden.

4.1.6 Zwischenfazit aus Versuch 557

Mit der tiefen Scheibenschlitztechnik (SC2) können im Allgemeinen der höchste Ertrag und Rohproteingehalt und damit auch der geringste N-Saldo erzielt werden. Aus der tiefen und nahezu vollständigen Injektion selbst hoher Mengen an flüssigem organischem Dünger in den Boden resultiert im Vergleich mit den anderen Applikationstechniken eine hohe N-Effizienz (Mineraldüngeräquivalent), mit der sich die von der Düngeverordnung vorgegebene Mindestwirksamkeit einhalten lässt. Dadurch, dass der Dünger bei dieser tiefen Ablage weniger stark der Witterung ausgesetzt ist als bei geringerer Ablagetiefe, kommt es zu geringeren gasförmigen N-Verlusten (Sommer und Hutchings 1995). Zwar wurden im Rahmen dieses Projekts gasförmige N-Verluste nicht direkt gemessen, jedoch könnte der im Versuch festgestellte erhöhte N_{\min} -Gehalt nach der Weizenernte neben den hohen Erträgen und Rohproteingehalten bei der tiefen Scheibenschlitztechnik als Indiz herangezogen werden. Insgesamt konnten in diesem Forschungsprojekt die Erkenntnisse aus dem Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019) bestätigt und um neue Erkenntnisse ergänzt werden. So erzielte eine Erhöhung des Auflagedrucks bei der Applikationstechnik „Schleppschuh“ in diesem Projekt keine Verbesserung beim Ertrag und dem Rohprotein gegenüber dem Vorgängerprojekt. Eine Optimierung der tiefen Scheibentechnik (Optimierung Bodenaushub/Gülleanhaftung, verbesserte Güllequerverteilung) in diesem Projekt konnte sich jedoch positiv auf den Pflanzenbestand auswirken und Ertragsschäden zum Teil vermeiden.

N-Wirkung bei ausschließlich flüssiger organischer N-Düngung zu Winterweizen

Mit steigender Ablagetiefe verbesserte sich im Allgemeinen die N-Wirkung (Ertrag, Rohprotein, N-Abfuhr, N-Saldo) des organischen Düngers. Dies konnte durch den Einsatz von Scheibenschlitztechniken gegenüber Schleppschlauch oder Schleppschuh, unabhängig vom Düngezeitpunkt (Frühjahr oder BBCH 30) erreicht werden.

Da durch unterschiedliche Düngezeitpunkte im Versuch bis einschließlich BBCH 30 nur geringe Unterschiede in der N-Wirkung zu verzeichnen waren, lässt sich folgern, dass bei rein organischer N-Düngung der Düngezeitpunkt in Abhängigkeit von den betrieblichen Gegebenheiten (z.B. Arbeitsspitzen, Gülleanfall, Technikbereitstellung) gewählt werden kann.

Die N-Effizienz (Mineraldüngeräquivalent) lag zwischen 30 und 60 %. Mit einer tiefen Ablage des organischen Düngers im Boden konnte in diesem Versuch die von der DüV geforderten 60% N-Wirkung erreicht werden.

N-Wirkung bei einer Düngung mit flüssiger organischer N-Dünger und bedarfsgerechter mineralischer N-Düngung zu Winterweizen

Der höchste Rohproteingehalt sowie ein ausgeglichener N-Saldo wurde unabhängig von der Applikationstechnik mit einer moderaten organischen Düngung (85 kg Gesamt-N/ha) und zusätzlicher bedarfsgerechter, mineralischer N-Düngung erreicht.

Der N-Saldo wird wesentlich durch die Höhe der organischen Düngung beeinflusst. Die Ursache dafür ist, dass bei der organischen Düngung nur ein Teil des applizierten Stickstoffs im Jahr der Aufbringung wirkt und der Rest zum Humusaufbau auf der Ackerfläche verbleibt.

Mit steigender Ablagetiefe verbessert sich tendenziell die N-Wirkung des organischen Düngers. Dies kann durch den Einsatz von Scheibenschlitztechniken statt Schleppschuh erreicht werden. Hierbei ist eine Frühjahrsdüngung gegenüber einer Düngung zu BBCH 30 zu bevorzugen.

4.2 Ergebnisse der Feldversuche zu Silomais nach abfrierender Zwischenfrucht (V558)

Der Versuch wurde als einortiger, mehrjähriger Versuch verrechnet und ausgewertet. Die in Tabelle 17 dargestellten Ergebnisse sind das Mittel aus drei Jahren (2020-2022).

Dabei konnten beim TM-Ertrag und der N-Abfuhr eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Versuchsjahren und der Düngung festgestellt werden. Mit dem bekannten Wissen, dass die organische und mineralische Düngung einem starken Jahreseinfluss unterliegen, wurde jedoch bewusst die Vorgehensweise einer Mittelung der drei Einzelversuche gewählt, um wichtige Versuchsaussagen für die Praxis treffen zu können. Die Einzelergebnisse je Versuchsjahr können dem Anhang entnommen werden.

Neben der Düngung und der Applikationstechnik für flüssige organischen Dünger unterscheiden sich die Versuchsvarianten auch bezüglich der Bodenbearbeitung. So wurden die Versuchsglieder 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 16, 17, 19 und 20 zur Düngung mit der Scheibenegge sowie zur Saat mit der Kreiselegge bearbeitet. Die Versuchsglieder 12 und 18 erhielten zur Düngung eine Streifenbodenbearbeitung und die Versuchsglieder 9, 10 und 15 wurden weder zur Düngung noch zur Maissaat bearbeitet (Vergleiche Tabelle 17)

In diesem Versuch erhielten mit Ausnahme des ungedüngten Versuchsglieds 1 alle Versuchsglieder einer mineralischen Unterfußdüngung von 30 kg N/ha über Kalkammonsalpeter.

Auch für diesen Versuch wurden rein mineralisch gedüngte Parzellen als N-Steigerung angelegt (Tabelle 17, Versuchsglieder 1-7). Damit kann die Wirkung der organischen Düngung mittels MDÄ eingeordnet werden.

Tabelle 17: Versuchsglieder mit zugehörigen Applikationstechniken (Schleppschlauch = SL; Schleppschuh = SU; flache Scheibenschlitztechnik = SC1; tiefe Scheibenschlitztechnik = SC2, Güllescheibenege = GS; Strip-Tillage = ST), mittleren organischen und mineralischen Düngermengen je Düngetermin sowie den mittleren TM-Erträgen, N-Abfuhr, N-Salden und Nmin-Gehalten. Versuch 558, n = 3 (Mittel 2020-2022).

Teilabschnitt*	Versuchsglied	Technik	Ausbringzeitpunkt					Ertrag (dt TM/ha)	N-Abfuhr (kg/ha)	N-Saldo (kg/ha)	Nmin (kg/ha) **
			Organische N-Düngung (kg N/ha)***		Mineralische N-Düngung (kg N/ha)						
			Vor Saat	30 cm Wuchshöhe	Zur Saat	Unterfuß- düngung	30 cm Wuchshöhe				
1	1		0	0	0	0	0	160,5	131,9	-132	29
	2		0	0	0	30	0	173,7	138,4	-108	28
	3		0	0	0	30	40	196,3	178,0	-107	31
	4		0	0	0	30	80	206,4	196,4	-86	35
	5		0	0	40	30	80	213,3	207,7	-57	34
	6		0	0	80	30	80	221,1	229,1	-38	50
	7		0	0	120	30	80	223,4	244,0	-13	57
2	8	SL	173		0	30	0	209,1	195,2	9	33
	9	SC1	173		0	30	0	198,7	183,6	20	34
	10	SC2	173		0	30	0	207,7	192,0	12	38
	11	GS	173		0	30	0	211,4	190,8	13	36
	12	ST	173		0	30	0	208,8	197,2	7	54
3	13	SL+SU	102	68	0	30	0	210,8	193,2	7	31
	14	SL+SC2	102	68	0	30	0	212,3	196,9	3	37
	15	SC2+SC2	102	68	0	30	0	193,6	182,6	17	38
	16	GS+SU	102	68	0	30	0	209,9	190,8	9	35
4	17	GS	173		0	30	60	228,4	232,6	31	41
	18	ST	173		0	30	60	222,5	221,0	43	54
5	19	SL+SU	102	68	0	30	60	217,4	208,6	51	45
	20	SL+SC2	102	68	0	30	60	216,8	214,9	45	40
t-Test GD (5%)								9,64	15,12	-	10,04

*Teilabschnitte: **1** = Mineralische N-Steigerung; **2** = Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung vor der Saat; **3** = Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung vor der Saat und in den Bestand; **4** = Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung vor der Saat und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen; **5** = Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung vor der Saat und in den Bestand und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen.

**Nur für die Versuchsjahre 2020-2021, da in Versuchsjahr 2022 keine N_{\min} -Proben entnommen werden konnten.

***Die mittleren organischen N-Düngermengen weichen von der geplanten Düngung (Tabelle 12) leicht ab. Dies ist auf Schwankungen im Stickstoffgehalt des Düngers zurückzuführen (siehe Kapitel 3.2). Für ein einfacheres Verständnis wird in den folgenden Abschnitten für die Erläuterung der N-Düngermengen aber von den planmäßigen Mengen ausgegangen.

4.2.1 Ertrag und N-Abfuhr im Versuch 558

4.2.1.1 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat

Bei einer organischen Düngung von 170 kg N/ha vor der Maissaat (Tabelle 17, Teilabschnitt 2) können beim Vergleich der Applikationstechniken nur geringe Unterschiede zwischen den TM-Erträgen und den N-Abfuhr festgestellt werden. Die flache Scheibeninjektionstechnik (SC1) erzielte den geringsten Ertrag. Dies könnte auf die unterlassene Bodenbearbeitung in dieser Variante, die damit verbundene geringere Ablagetiefe und damit auf eine geringere N-Effizienz aufgrund erhöhter N-Verluste zurückzuführen sein.

Wurde organischer Dünger mit dem Schleppschlauch (SL) appliziert und anschließend innerhalb einer Stunde mit einer Scheibenegge eingearbeitet (absätziges Verfahren, Tabelle 17, Versuchsglied 8), führte dies zu vergleichbaren Erträgen und N-Abfuhr, wie bei der Güllescheibenegge (GS), bei welcher der flüssige organische Dünger direkt in den Boden eingearbeitet wird (nicht absätziges Verfahren, Versuchsglied 11). Das gleiche gilt für das Strip-Tillage Verfahren (Versuchsglied 12)

Jedoch konnte auch das Verfahren mit dem geringsten Aufwand (tiefe Scheibenschlitztechnik), bei dem der organische Dünger direkt in den abgefrorenen Zwischenfruchtbestand injiziert und auf eine Bodenbearbeitung zur Düngung und Saat verzichtet wird, ähnlich hohe TM-Erträge und N-Abfuhr erreichen. Dieses Verfahren bietet, neben dem Strip-Tillage Verfahren, zudem einen guten Erosionsschutz.

4.2.1.2 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer aufgeteilten organischen Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat und in den Maisbestand

Mit einer Aufteilung der organischen Düngung von 100 kg N/ha vor der Maissaat und 70 kg N/ha in den Maisbestand (Tabelle 17, Teilabschnitt 3) konnten zwischen den Varianten nur geringe Unterschiede bei den TM-Erträgen und den N-Abfuhr festgestellt werden. Bei zweimaligem Einsatz der tiefen Scheibenschlitztechnik (SC2) wurde im Vergleich der Applikationstechniken ein signifikant geringerer TM-Ertrag erzielt. Dies steht im Widerspruch zum vorherigen Abschnitt und zum nächsten Absatz. Eine Erklärung dafür konnte jedoch nicht gefunden werden.

Der tendenziell höchste TM-Ertrag sowie die höchste N-Abfuhr konnte mit der Kombination aus Schleppschlauch (SL) und SC2 erreicht werden. Dies weist bei der Düngung in den Maisbestand auf eine erhöhte N-Ausnutzung hin, denn mit der SC2 kann der Dünger im Maisbestand nahezu vollständig in den Boden injiziert wurde.

Wurde organischer Dünger mit dem SL appliziert und anschließend innerhalb einer Stunde mit einer Scheibenegge eingearbeitet (absätziges Verfahren, Tabelle 17, Versuchsglied 13 und 14), führte dies zu vergleichbaren Erträgen und N-Abfuhr wie bei der Güllescheibenegge (GS) bei der der flüssige organische Dünger direkt in den Boden eingearbeitet wird (nicht absätziges Verfahren, Versuchsglied 16).

4.2.1.3 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat sowie einer mineralischen N-Ergänzung

Bei einer organischen Düngung von 170 kg N/ha vor der Maissaat sowie einer zusätzlichen bedarfsgerechten mineralischen N-Düngung (60 kg/ha) konnten zwischen einer Applikation mit der Güllescheibenegge (GS) und dem Strip-Tillage Verfahren (ST) nur geringe und nicht signifikante Unterschiede im TM-Ertrag und der N-Abfuhr festgestellt werden (Tabelle 17, Teilabschnitt 4). In der Tendenz weist jedoch die GS einen höheren TM-Ertrag und eine höhere N-Abfuhr auf.

4.2.1.4 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer aufgeteilten organischen Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat und in den Maisbestand sowie einer mineralischen N-Ergänzung

Mit einer Aufteilung der organischen Düngung von 100 kg N/ha vor der Maissaat und 70 kg N/ha in den Maisbestand sowie einer zusätzlichen bedarfsgerechten, mineralischen N-Düngung (60 kg/ha) konnten zwischen der Kombination aus Schleppschlauch (SL, vor der Saat) mit Schleppschuh (SU, in den Bestand) gegenüber der Kombination aus SL (vor der Saat) und tiefer Scheibenschlitztechnik (SC2, in den Bestand) nur geringe und nicht signifikante Unterschiede im TM-Ertrag und der N-Abfuhr festgestellt werden (Tabelle 17, Teilabschnitt 5). In der Tendenz weist jedoch die Variante mit SL+SC2 eine geringfügig höhere N-Abfuhr auf, was auf eine erhöhte N-Effizienz hinweisen würde, denn die tiefe Scheibenschlitztechnik (SC2) injiziert den Dünger nahezu vollständig in den Boden.

4.2.2 N-Saldo im Versuch 558

Die N-Salden für den Versuch 558 sind in Abbildung 26 dargestellt. Für die mineralische Düngersteigerung (Versuchsglieder 1-7) ergaben sich durchwegs negative N-Salden. Diese sind abhängig von der Höhe der mineralischen N-Düngung. Je mehr Mineraldünger appliziert wird, umso weniger negativ sind die N-Salden. In jedem Fall stammt aber ein Teil der N-Abfuhr aus dem Bodenvorrat.

Die N-Salden der Versuchsglieder 8-16 (170 kg N/ha über organischen Dünger, 30 kg N/ha mineralische Unterfußdüngung) bewegen sich allesamt im moderaten Bereich von +3 bis +20 kg N/ha.

Ab Versuchsglied 17 (170 kg N/ha über organischen Dünger, 30 kg N/ha mineralische Unterfußdüngung und 60 kg N/ha bedarfsgerechte, mineralische N-Düngung) sind die N-Salden im Vergleich aller Versuchsglieder am höchsten. Die ist wohl auf die hohen Gesamt-N-Gaben durch die Kombination aus organischem Dünger und mineralischer N-Ergänzungsdüngung zurückzuführen.

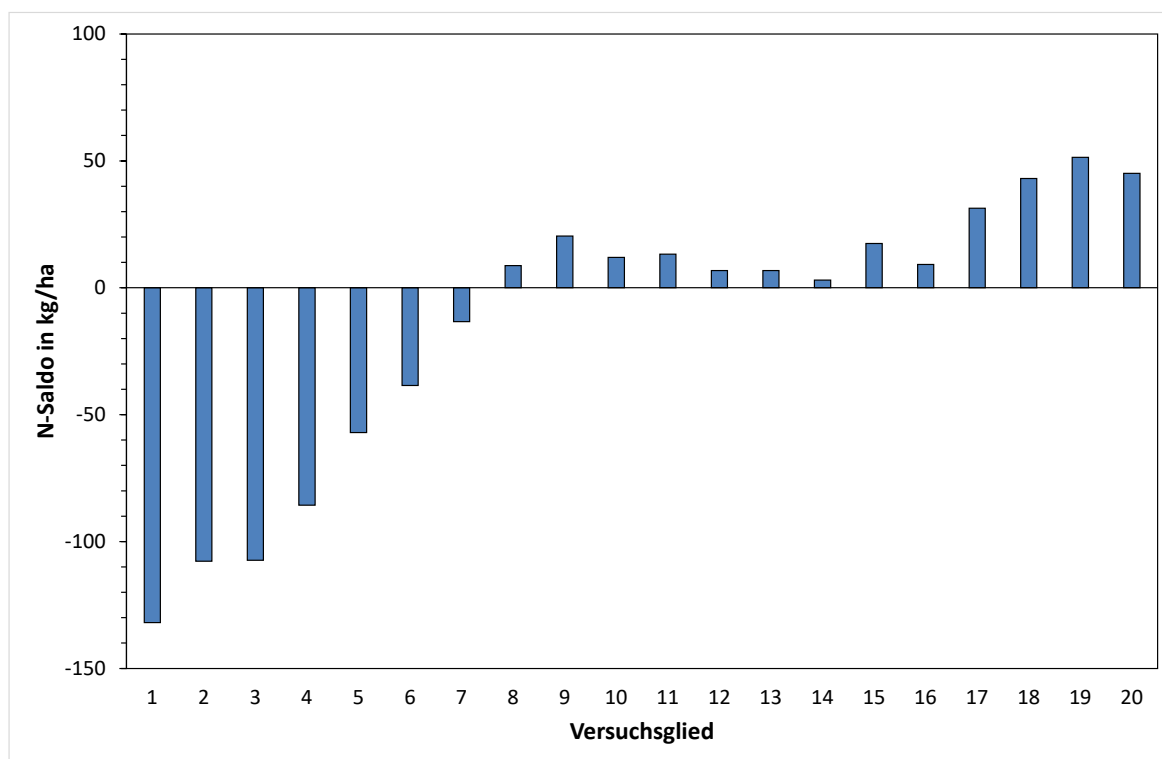


Abbildung 26: N-Saldo je Versuchsglied im Versuch 558. Mittel von drei Jahren, $n = 3$.

4.2.3 N_{\min} -Gehalte nach der Ernte im Versuch 558

Die N_{\min} -Gehalte im Boden nach der Silomaisernte ermöglichen es, gewisse Rückschlüsse zur Nitratauswaschungsgefahr, in Bezug auf unterschiedliche Düngung, treffen zu können.

In Abbildung 27 sind die N_{\min} -Gehalte je Versuchsglied (siehe Tabelle 17) und für die drei Probennahmetiefen im Mittel der Jahre 2020 und 2021 dargestellt. Im Versuchsjahr 2022 konnten trockenheitsbedingt aus dem sehr harten Boden keine N_{\min} -Proben entnommen werden.

Die N_{\min} -Gehalte liegen in einem Bereich zwischen 28 und 57 kg/ha. Dieses Niveau ist nach langjähriger Erfahrung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Heigl & Offenberger, mdl. Mitteilung) normal.

Für die mineralische Düngersteigerung (Versuchsglieder 1-7) liegt ein gewisser Zusammenhang zwischen der Düngungshöhe und dem N_{\min} -Gehalt vor.

Bei den meisten Versuchsgliedern lag der Großteil des nach der Ernte im Boden verbliebenen Stickstoffs in einer Tiefe von 0-30 cm vor. In einigen Fällen (Versuchsglieder 6, 7, 12 und 18) hat jedoch eine deutliche Verlagerung des Stickstoffs in den Unterboden stattgefunden. Neben den beiden Varianten mit der höchsten, rein mineralischen Düngung (190 kg N/ha und 230 kg N/ha Versuchsglieder 6 und 7), fallen vor allem die organisch mit dem Strip-Tillage Verfahren gedüngten Versuchsglieder 12 und 18 auf. Die Gründe hierfür können bislang nicht eindeutig geklärt werden.

Eine organische Düngung ausschließlich vor der Saat im Vergleich zu einer aufgeteilten Düngung (vor der Saat und BBCH 30) ergibt vergleichbare N_{\min} -Werte im Boden.

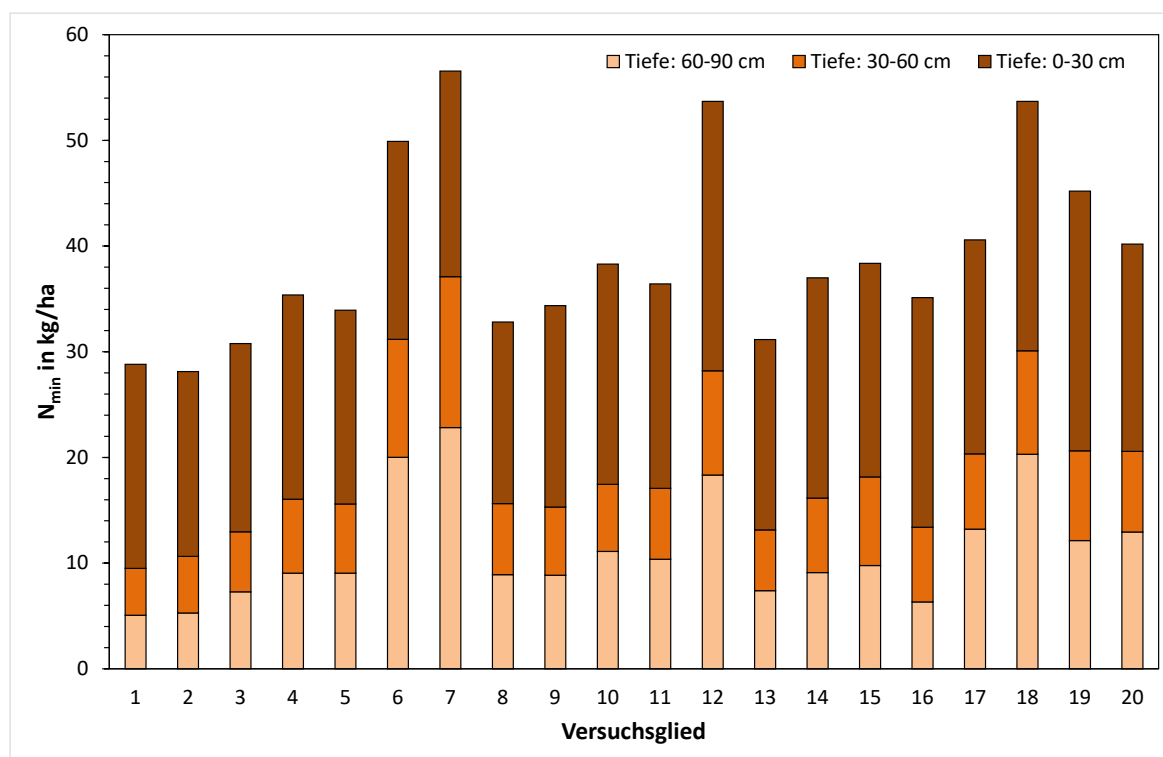


Abbildung 27: N_{\min} -Gehalt im Boden je Versuchsglied in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm nach der Silomaisernte im Versuch 558. Mittel aus den Jahren 2020 und 2021, $n = 2$.

4.2.4 Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) im Versuch 558

Organische Düngung vor der Maissaat

Bei einer organischen Düngung in Höhe von 170 kg N/ha vor der Maissaat wurde mit der Güllescheibenegge (GS) das höchste, dagegen mit der flachen Scheibenschlitztechnik (SC1) das niedrigste MDÄ erzielt (Abbildung 28).

Wurde organischer Dünger mit dem Schleppschlauch (SL) appliziert und anschließend innerhalb einer Stunde mit einer Scheibenegge eingearbeitet (absätziges Verfahren, Tabelle 17, Versuchsglied 8), führte dies zu einem niedrigeren MDÄ, als bei der Güllescheibenegge (GS), bei welcher der flüssige organische Dünger direkt in den Boden eingearbeitet wird (nicht absätziges Verfahren, Versuchsglied 11, MDÄ = 58 %). Jedoch kann mit dem absätzigen Verfahren ein vergleichbares MDÄ erreicht werden wie mit dem Strip-Tillage Verfahren (Versuchsglied 12) oder der Düngung mit der tiefen Scheibenschlitztechnik (SC2), bei der der organische Dünger direkt in den abgefrorenen Zwischenfruchtbestand injiziert wird sowie keine Bodenbearbeitung zur Düngung und Saat stattfindet.

Aus dem Vergleich zwischen der tiefen (SC2) und der flachen (SC1) Scheibenschlitztechnik kann der N-effizienzsteigernde Einfluss der Ablagetiefe des organischen Düngers abgeleitet werden (siehe Abbildung 28). Zudem wurde durch die geringe Ablagetiefe des organischen Düngers vor der Maissaat mit der SC1 (ohne nachfolgende Bodenbearbeitung, nicht DüV konform) ein niedrigeres MDÄ erreicht als bei allen anderen Vergleichsvarianten (DüV konform). Dies kann auf höhere gasförmige N-Verluste wegen der fehlenden Einarbeitung zurückgeführt werden.

Wird zusätzlich zur organischen Düngung bedarfsgerecht mineralischer N-Dünger in Höhe von 60 kg N/ha appliziert, wird mit dem Strip-Tillage Verfahren ein MDÄ von 70 % und der Güllescheibenegge ein MDÄ > 70 % erzielt. Bei diesen Varianten kann somit die nach DüV vorgegebene Mindestwirksamkeit von 60% bei Biogasgärrest erreicht werden.

Daraus lässt sich bei einer organischen Düngung mit 170 kg N/ha vor der Maissaat eine Abhängigkeit des MDÄ von der Applikationstiefe des organischen Düngers, der Bodenbearbeitung sowie der Höhe der mineralischen N-Düngung ableiten.

Mit dem Strip-Tillage Verfahren (170 kg N/ha über organischen Dünger, 30 kg N/ha mineralische Unterfußdüngung) konnte ein ähnliches MDÄ als im Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019) erreicht werden, mit der tiefen Scheibenschlitztechnik (170 kg N/ha über organischen Dünger, 30 kg N/ha mineralische Unterfußdüngung) sogar ein etwas höheres MDÄ. Die bessere Wirkung der tiefen Scheibenschlitztechnik legt eine erfolgreiche Optimierung dieser Technik (siehe Kapitel 3.4.4) nahe.

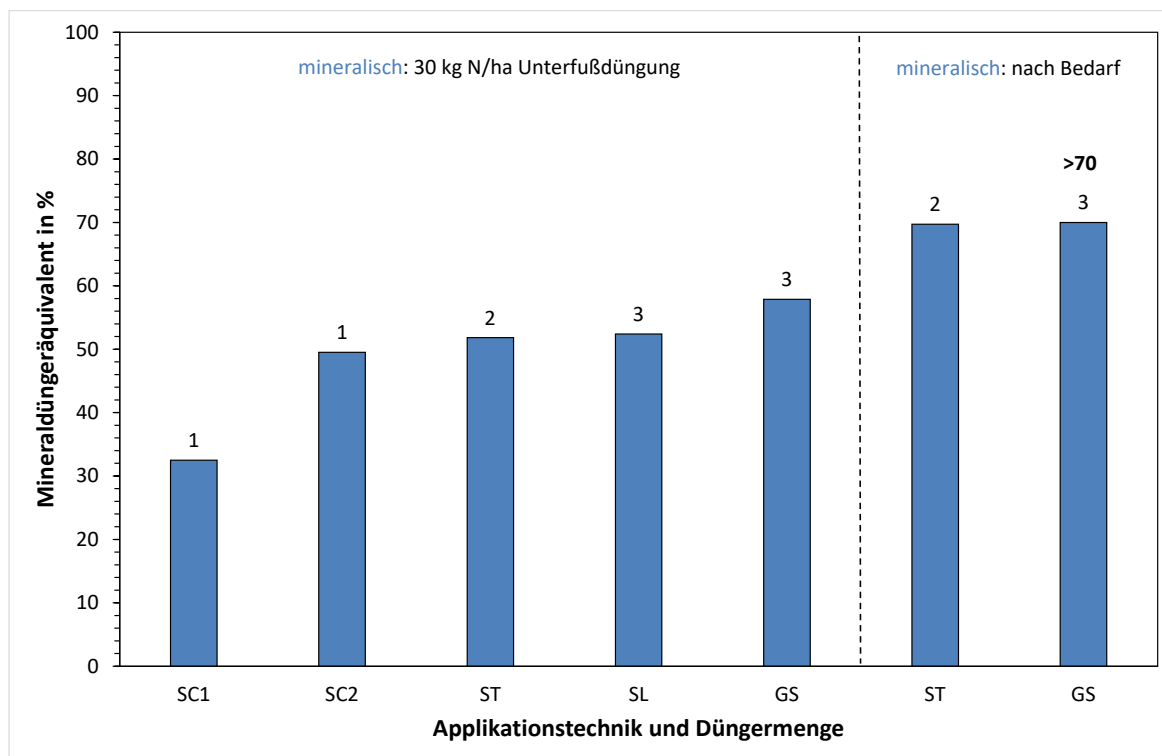


Abbildung 28: Mineraldüngeräquivalent mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) vor der Saat und mineralischer N-Düngung. Versuch 558, Mittel von drei Jahren, $n = 3$. Zahlen über den Säulen: 1) ohne Bodenbearbeitung; 2) ohne flächige Bodenbearbeitung; 3) mit flächiger Bodenbearbeitung. Rechte Säule: MDÄ > 70%. SL = Schleppschlauch; SC1 = flache Scheibenschlitztechnik; SC2 = tiefe Scheibenschlitztechnik; GS = Güllescheibenegge; ST = Strip-Tillage.

Aufgeteilte organische Düngung vor der Maissaat und in den Maisbestand

Bei einer aufgeteilten, organischen Düngung in Höhe von 100 kg N/ha vor der Maissaat und 70 kg N/ha in den Maisbestand konnte mit der Kombination von SL und SC2 das höchste (62 %) und mit der Kombination von SC2 und SC2 (25 %) das niedrigste MDÄ erzielt werden (Abbildung 29). Dies weist bei der Kombination von SL und SC2 bei der Düngung in den Maisbestand auf eine erhöhte N-Ausnutzung hin, da mit der SC2 der Dünger nahezu vollständig in den Boden injiziert werden konnte. Zudem ließ sich dadurch die nach DüV vorgegebene Mindestwirksamkeit von 60% bei Biogasgärrest erreichen. Das schlechte Ergebnis bei zweimaligem Einsatz der SC2 steht dagegen im Widerspruch. Eine Erklärung dafür konnte jedoch nicht gefunden werden.

Die absätzigen Düngeverfahren (Tabelle 17, Versuchsglied 13: SL+SU; Versuchsglied 14: SL+SC2) konnten hier verglichen mit dem nicht absätzigen Verfahren (Tabelle 17, Versuchsglied 16: GS+SU) tendenziell höhere MDÄ bewirken.

Wurde zusätzlich bedarfsgerecht mineralischer Dünger in Höhe von 60 kg N/ha appliziert, konnte im Mittel des Versuch 558 für die Kombination von SL und SU als auch SL und SC2 keine Verbesserung des MDÄ erreicht werden (Abbildung 29). Dies könnte auf einen eher geringen Ertragsanstieg trotz zusätzlicher mineralischer Düngung zurückzuführen sein.

Daraus lässt sich bei der aufgeteilten, organischen Düngung eine Abhängigkeit des MDÄ von der Bodenbearbeitung und der Höhe der mineralischen N-Düngung ableiten.

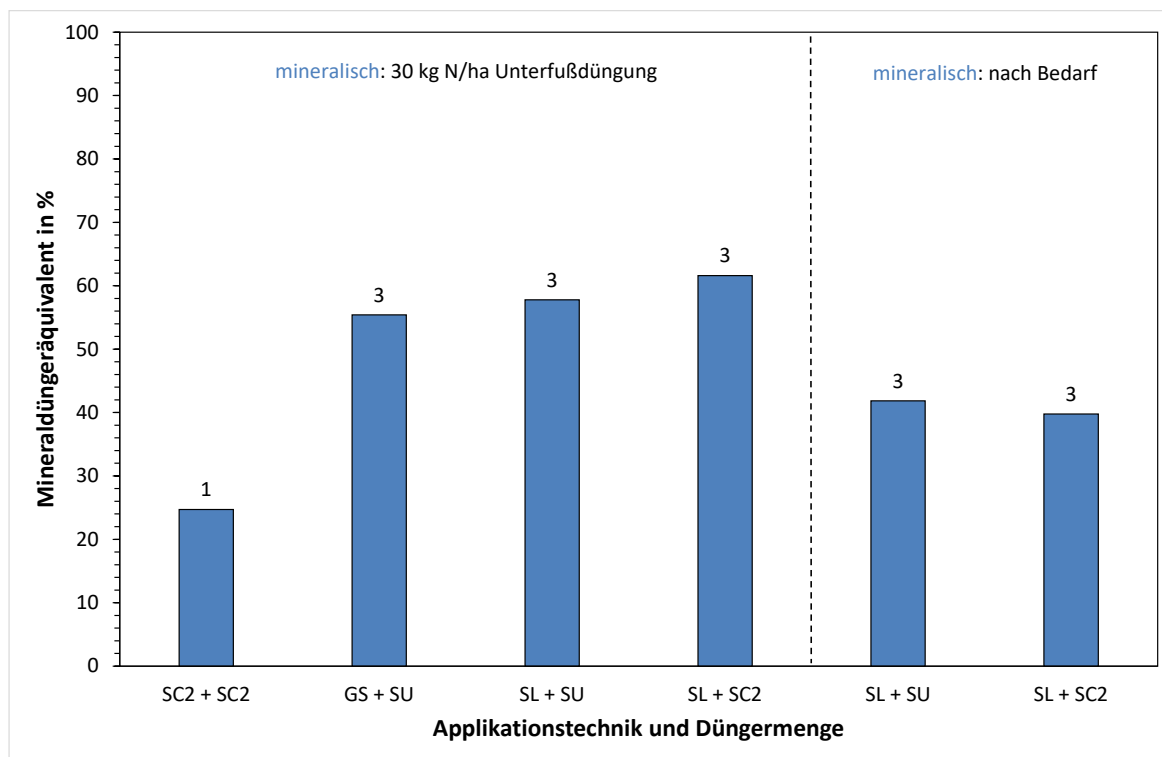


Abbildung 29: Mineraldüngeräquivalent mit verschiedenen Applikationstechniken bei gleicher organischer N-Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Saat bzw. in den Maisbestand sowie mineralischer N-Düngung. Versuch 558, Mittel von drei Jahren, n = 3. Zahlen über den Säulen: 1) ohne Bodenbearbeitung; 3) mit flächiger Bodenbearbeitung. SL = Schleppschauch; SU = Schleppschuh; SC2 = tiefe Scheibenschlitztechnik; GS = Güllescheibenege.

4.2.5 Zwischenfazit aus Versuch 558

Die Düngung von Silomais mit flüssigem organischen Stickstoffdünger nach abfrierender Zwischenfrucht in einen lockeren Boden kann mit unterschiedlichen Techniken erfolgen. Es ergeben sich kaum signifikante Unterschiede bezüglich der N-Wirkung (TM-Ertrag, N-Abfuhr) zwischen den im Versuch geprüften Techniken.

Mit einem Großteil der organischen N-Düngungsstrategien ließen sich Mineraldüngeräquivalente von über 50 % erzielen. Bei einer organischen Düngung vor der Maissaat kann mit der Güllescheibenegge tendenziell die beste N-Effizienz (Mineraldüngeräquivalent) erreicht werden.

Für Silomais lassen sich auch mit einer überwiegend organischen N-Düngung gute Erträge und N-Abfuhr erzielen. Dies liegt an der bekanntermaßen guten Stickstoffausnutzung (siehe Mineraldüngeräquivalente) der Kultur. Die Erhöhung der Gesamtdüngermenge durch eine bedarfsorientierte mineralische N-Ergänzung führte zwar zur Steigerung der TM-Erträge und N-Abfuhr, gleichzeitig jedoch auch zu einer Erhöhung der N-Salden.

Im Vergleich zur fehlenden mineralischen Ergänzung konnte mit einer bedarfsgerechten, mineralischen N-Düngung der Einfluss unterschiedlicher Applikationszeitpunkte von flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern festgestellt werden. Mit einer einmaligen Düngung vor der Maissaat wurde im Vergleich zur aufgeteilten Düngung vor allem mit der Güllescheibenegge eine verbesserte N-Wirkung (Ertrag, N-Abfuhr, MDÄ) erreicht.

Die Düngerapplikation mit dem Strip-Tillage Verfahren sowie mit der tiefen Scheibenschlitztechnik, bei welcher der organische Dünger direkt in den abgefrorenen Zwischenfruchtbestand injiziert und auf eine Bodenbearbeitung zur Düngung und Saat verzichtet wird, bietet neben einer guten N-Wirkung auch einen guten Erosionsschutz.

Bei einer organischen Düngung vor der Maissaat mit der flachen Scheibenschlitztechnik (ohne nachfolgende Bodenbearbeitung, nicht DüV konform) wurden, vermutlich aufgrund höherer gasförmiger N-Verluste, geringere Erträge und N-Abfuhr sowie niedrigere N-Effizienz (Mineraldüngeräquivalent) gemessen als bei den DüV konformen Vergleichsvarianten.

4.3 Ergebnisse der Feldversuche zu Silomais nach der Zweitfrucht Grünroggen (V559)

Der Versuch wurde als einortiger, mehrjähriger Versuch verrechnet und ausgewertet. Die in Tabelle 18 dargestellten Ergebnisse sind das Mittel aus drei Jahren (2020-2022). Die Einzelergebnisse je Versuchsjahr und Versuchsort können dem Anhang entnommen werden.

Neben der Düngung und der Applikationstechnik für flüssige organischen Dünger unterscheiden sich die Versuchsvarianten auch bezüglich der Bodenbearbeitung. So wurden die Versuchsglieder 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 15, 16, 17, 19, 21 und 22 zur Düngung mit der Scheibenegge sowie zur Saat mit der Kreiselegge bearbeitet. Die Versuchsglieder 12 und 20 erhielten zur Düngung eine Streifenbodenbearbeitung und die Versuchsglieder 9, 13, 14 und 18 wurden weder zur Düngung noch zur Maissaat bearbeitet.

In diesem Versuch erhielten mit Ausnahme des ungedüngten Versuchsglieds 1 alle Versuchsglieder einer mineralischen Unterfußdüngung von 30 kg N/ha über Kalkammonsalpeter.

Wie in den beiden vorangegangenen Versuchen wurden auch für diesen Versuch rein mineralisch gedüngte Parzellen angelegt (Tabelle 18, Versuchsglieder 1-7). Damit kann die Wirkung der organischen Düngung eingeordnet werden.

Tabelle 18: Versuchsglieder mit zugehörigen Applikationstechniken (Schleppschlauch = SL; Schleppschuh = SU; flache Scheibenschlitztechnik = SC1; tiefe Scheibenschlitztechnik = SC2, Güllescheibenegge = GS; Güllegrubber = GG; Strip-Tillage = ST), mittleren org. und min. Düngermengen je Düngetermin sowie den mittleren TM-Erträgen, N-Abfuhr, N-Salden und Nmin-Gehalten. Versuch 559, n = 3.

Teilschnitt*	Versuchsglied	Technik	Ausbringzeitpunkt					Ertrag (dt TM/ha)	N-Abfuhr (kg/ha)	N-Saldo (kg/ha)	Nmin (kg/ha) ****
			Organische N-Düngung (kg N/ha)*****		Mineralische N-Düngung (kg N/ha)						
			Vor Saat	20 cm Wuchshöhe	Zur Saat	Unterfuß- düngung	20 cm Wuchs- höhe				
1	1		0	0	0	0	0	99,0	90,6	-91	21
	2		0	0	0	30	0	125,6	112,8	-82	25
	3		0	0	0	30	40	160,2	158,5	-88	22
	4		0	0	0	30	80	173,2	178,8	-68	22
	5		0	0	40	30	80	184,1	213,6	-63	24
	6		0	0	80	30	80	189,2	228,0	-37	26
	7		0	0	120	30	80	191,4	234,6	-4	36
2	8	SL	169		0	30	0	160,8	156,7	43	27
	9	SL**/****	169		0	30	0	121,1	119,8	80	25
	10	GS	169		0	30	0	173,2	177,5	22	24
	11	GG	169		0	30	0	186,3	200,8	-1	25
	12	ST	169		0	30	0	174,2	188,8	11	28
	13	SC1***	169		0	30	0	132,7	129,0	71	23
	14	SC2***	169		0	30	0	157,0	158,7	41	25
3	15	SL+SU	99	66	0	30	0	153,6	147,3	49	23
	16	GS+SU	99	66	0	30	0	168,9	164,3	32	25
	17	GG+SU	99	66	0	30	0	169,0	174,9	21	25
	18	SC2+SC2***	99	66	0	30	0	152,7	163,2	33	26
4	19	GS	169		0	30	69	189,8	220,8	48	33
	20	ST	169		0	30	69	186,2	215,0	53	29
5	21	SL+SU	99	66	0	30	69	181,8	202,7	62	29
	22	SL+SC2	99	66	0	30	69	184,3	213,2	51	29
t-Test GD (5%)								19,08	19,57	-	5,2

*Teilabschnitte: **1** = Mineralische N-Steigerung; **2** = Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung vor der Saat; **3** = Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung vor der Saat und in den Bestand; **4** = Einfluss der Applikationstechnik bei organischer Düngung vor der Saat und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen; **5** = Einfluss der Applikationstechnik bei aufgeteilter organischer Düngung vor der Saat und in den Bestand und bedarfsgerechter mineralischer N-Ergänzung zu praxisüblichen Düngungsterminen.

**Ohne Einarbeitung des organischen Düngers.

*** ohne Saatbettbereitung.

****Nur für die Versuchsjahre 2020-2021, da in Versuchsjahr 2022 keine N_{\min} -Proben entnommen werden konnten.

*****Die mittleren organischen N-Düngermengen weichen von der geplanten Düngung (Tabelle 14) leicht ab. Dies ist auf Schwankungen im Stickstoffgehalt des Düngers zurückzuführen (siehe Kapitel 3.2). Für ein einfacheres Verständnis wird in den folgenden Abschnitten für die Erläuterung der N-Düngermengen aber von den planmäßigen Mengen ausgegangen.

4.3.1 Ertrag und N-Abfuhr im Versuch 559

4.3.1.1 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat.

Bei einer organischen Düngung von 170 kg N/ha vor der Maissaat und unterschiedlicher Bodenbearbeitung konnten deutliche Unterschiede zwischen den TM-Erträgen und den N-Abfuhr fest festgestellt werden (Tabelle 18, Teilabschnitt 2).

Die signifikant geringsten TM-Erträge und N-Abfuhr wurden mit der Applikationstechnik Schleppschlauch (SL, ohne Einarbeitung und Saatbettbereitung, nicht DüV konform) und der flachen Scheibenschlitztechnik (SC1, ohne Einarbeitung und Saatbettbereitung, nicht DüV konform) erzielt (Abbildung 30). Dies ist auf die unterlassene Bodenbearbeitung in diesen Varianten und auf eine geringere N-Effizienz zurückzuführen. Die Einarbeitung des organischen Düngers innerhalb einer Stunde nach der SL-Applikation mit der Scheibenegge (absätziges Verfahren) und einer Saatbettbereitung führten hingegen bereits zu signifikant höheren TM-Erträgen und N-Abfuhr.

Auch bei Injektion des organischen Düngers direkt in den abgeernteten Zweitfruchtbestand (tiefe Scheibenschlitztechnik, SC2) und Verzicht auf eine Bodenbearbeitung zur Düngung und Saat wurden ähnlich hohe TM-Erträge und N-Abfuhr erreicht wie beim absätzigen Verfahren mit dem Schleppschlauch.

Den höchsten TM-Ertrag und die höchste N-Abfuhr erreichte als Applikationstechnik der Güllegrubber (GG).

Wurde organischer Dünger mit dem Schleppschlauch (SL) appliziert und anschließend innerhalb einer Stunde mit einer Scheibenegge eingearbeitet (absätziges Verfahren, Tabelle 18, Versuchsglied 8), führte dies zu geringeren Erträgen und N-Abfuhr als bei direkter Einarbeitung des organischen Düngers mit Güllescheibenegge (GS) oder GG in den Boden (nicht absätziges Verfahren, Versuchsglied 10 und 11). Gleiches gilt für das Strip-Tillage Verfahren (Versuchsglied 12). Jedoch führte im Vergleich zu den absätzigen Verfahren nur der GG zu signifikant höheren Erträgen. Eine Erklärung dafür ist: Die Applikationstechniken GS und ST bewirken ein vergleichsweise intensives Durchmischen des Bodens. Der GG arbeitet hingegen mit geringerer Intensität und führt, gerade bei einem harten und wurzelreichen Boden, zu einem grobscholligeren Arbeitsergebnis. Die gröbere Krume scheint vorteilhaft für die N-Wirkung zu sein.

Ähnlich zum Weizenversuch 557 zeigt sich innerhalb der Varianten ohne Bodenbearbeitung (SL ohne Bodenbearbeitung, SC2, SC2) eine Abhängigkeit der Erträge und N-Abfuhr von der Ablagetiefe des organischen Düngers im Boden.

Für alle vorgenannten Ergebnisse ergeben sich Unterschiede in TM-Ertrag und N-Abfuhr in der Reihenfolge: Ablagetiefe < Bodenbearbeitung < absätzige Verfahren < nicht absätzige Verfahren < Intensität. Ursächlich könnte eine höhere N-Ausnutzung sein, die sich aus den genannten Faktoren ergibt. Der Güllegrubber schneidet aufgrund der im Vergleich geringsten Strukturschäden und der sofortigen, verlustarmen tiefen Ablage des Düngers im Boden bei den hier verglichenen Versuchsglieder am besten ab.

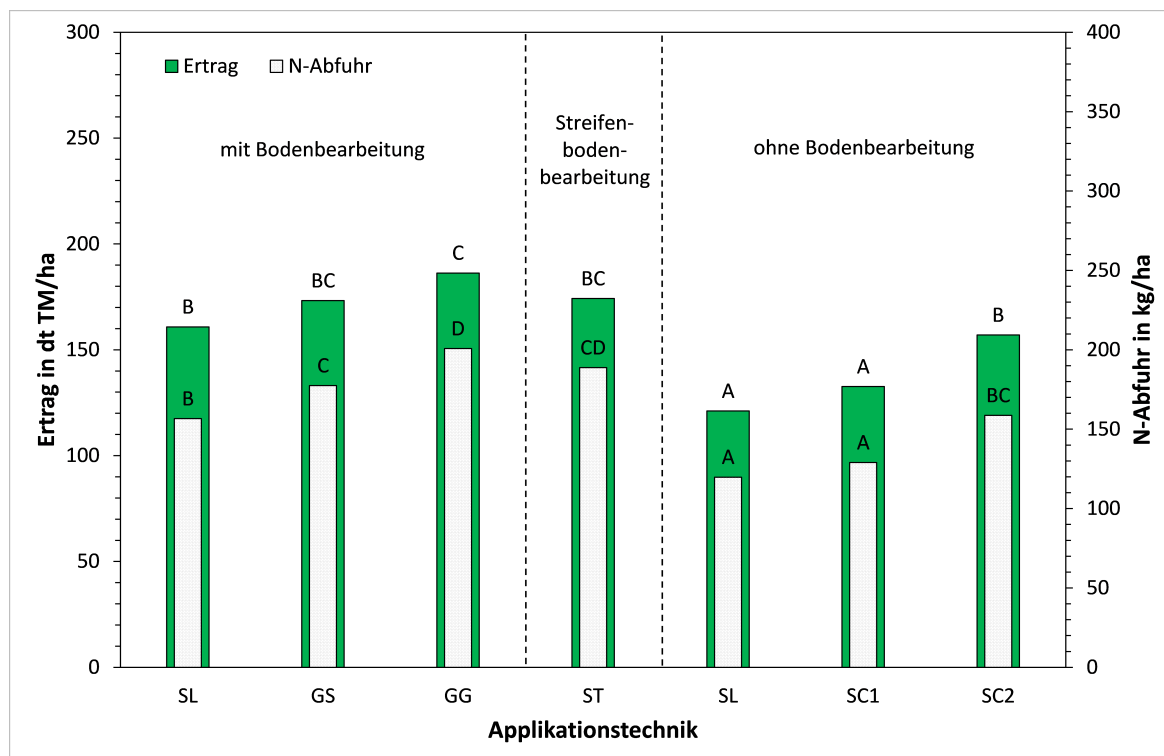


Abbildung 30: Mittlere TM-Erträge und N-Abfuhren mit verschiedenen Applikationstechniken und unterschiedlicher Bodenbearbeitung bei gleicher organischer N-Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat und mineralischer Unterfußdüngung (30 kg N/ha). Versuch 559, Mittel von drei Jahren, $n = 3$. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den TM-Erträgen (t -Test GD (5 %): 19,08 dt/ha) und N-Abfuhren (t -Test GD (5 %): 19,57 kg/ha). SL = Schleppschlauch; GS = Güllescheibenegge; GG = Güllegrubber; ST = Strip-Tillage; SC1 = flache Scheibenschlitztechnik; SC2 = tiefe Scheibenschlitztechnik.

4.3.1.2 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer aufgeteilten organischen Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat und in den Maisbestand

Mit einer Aufteilung der organischen Düngung von 100 kg N/ha vor der Maissaat und 70 kg N/ha in den Maisbestand (Tabelle 18, Teilabschnitt 3) konnten leichte Unterschiede zwischen den Applikationstechniken hinsichtlich der TM-Erträge und den N-Abfuhren festgestellt werden (Abbildung 31).

Mit dem Güllegrubber (GG) in Kombination mit dem Schleppschuh (SU) wurden signifikant höhere N-Abfuhren erreicht als mit der Kombination von Schleppschlauch (SL) und Schleppschuh (SU).

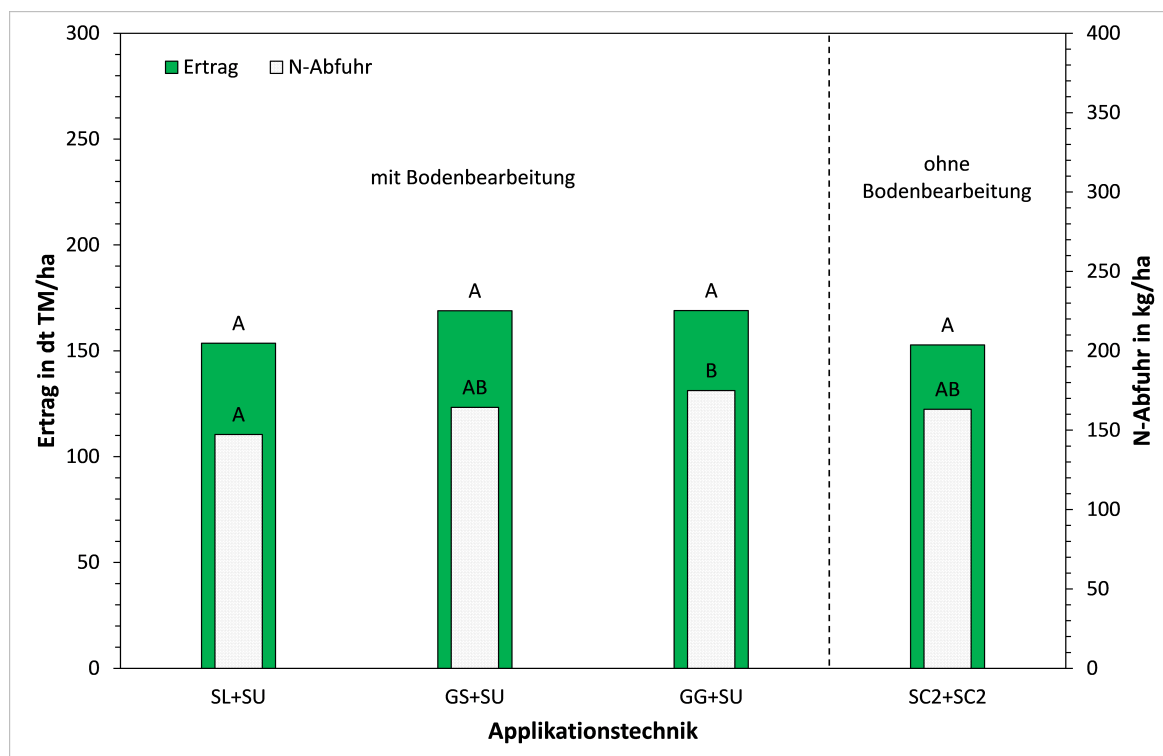


Abbildung 31: Mittlere TM-Erträge und N-Abfuhren mit verschiedenen Applikationstechniken und unterschiedlicher Bodenbearbeitung bei gleicher, aufgeteilter organischer N-Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat bzw. in den Maisbestand und mineralischer Unterfußdüngung (30 kg N/ha). Versuch 559, Mittel von drei Jahren, $n = 3$. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den TM-Erträgen (t -Test GD (5 %): 19,08 dt/ha) und N-Abfuhren (t -Test GD (5 %): 19,57 kg/ha). SL = Schleppschlauch; SU = Schleppschuh; GS = Güllescheibenegge; GG = Güllegrubber; SC2 = tiefe Scheibenschlitztechnik.

4.3.1.3 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer organischen Düngung (170 kg N/ha) vor der Maissaat sowie einer mineralischen N-Ergänzung

Bei einer organischen Düngung von 170 kg N/ha vor der Maissaat und einer zusätzlichen bedarfsgerechten, mineralischen N-Düngung (69 kg N/ha) konnte unter den in diesem Projekt anzutreffenden Versuchsbedingungen zwischen der Applikation mit Güllescheibenege (GS) und Strip-Tillage Verfahren (ST) nur geringe und keine signifikanten Unterschiede im TM-Ertrag und der N-Abfuhr festgestellt werden (Tabelle 18, Teilabschnitt 4). In der Tendenz wies jedoch die Variante mit GS den höheren TM-Ertrag und die höhere N-Abfuhr auf.

4.3.1.4 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf Ertrag und N-Abfuhr bei einer aufgeteilten organischen Düngung (100+70 kg N/ha) vor der Maissaat und in den Maisbestand sowie einer mineralischen N-Ergänzung

Mit einer Aufteilung der organischen Düngung von 100 kg N/ha vor der Maissaat und 70 kg N/ha in den Maisbestand und einer zusätzlichen bedarfsgerechten, mineralischen N-Düngung (69 kg N/ha) konnten unter den in diesem Projekt anzutreffenden Versuchsbedingungen zwischen der Applikation mit SL+SU und SL+SC2 nur geringe und nicht signifikante Unterschiede im TM-Ertrag und der N-Abfuhr festgestellt werden (Tabelle 18, Teilabschnitt 5). In der Tendenz zeigt jedoch die Variante mit SL+SC2 den höheren Ertrag sowie die höhere N-Abfuhr. Das weist auf eine erhöhte N-Effizienz hin. Im Vergleich mit dem SU kann der organische Dünger mit der SC2 bei der Bestandsdüngung nahezu vollständig in den Boden injiziert wurde.

4.3.2 N-Saldo im Versuch 559

Die N-Salden für den Versuch 559 sind in Abbildung 32 dargestellt. Für die mineralische Düngersteigerung (Tabelle 18, Versuchsglieder 1-7) ergeben sich negative N-Salden, welche jedoch der Höhe der mineralischen N-Düngung folgen. Je mehr Mineraldünger appliziert wird, umso höher sind die N-Salden.

Die N-Salden der Versuchsglieder 8-22 (Tabelle 18) liegen zwischen -1 und 80 kg N/ha.

Die Versuchsglieder 9 (SL ohne Einarbeitung des organischen Düngers und ohne Saatbettbereitung, nicht DüV konform) und 13 (SC1 ohne Einarbeitung des organischen Düngers und ohne Saatbettbereitung nicht DüV konform) weisen hier die höchsten Salden auf. Grund dafür ist, dass bei der nicht DüV konformen, rein oberflächlichen Düngerablage in diesen beiden Versuchsgliedern vermutlich hohe gasförmige N-Verluste auftreten.

Die Versuchsglieder 11 (GG) und 12 (ST) weisen die geringsten Salden auf. Zudem zeigt auch das Versuchsglied 17 (GG+SU) einen vergleichsweise niedrigen N-Saldo. Dies deutet auf eine hohe N-Wirkung durch die sofortige Einarbeitung des organischen Düngers vor der Maissaat hin.

Ab Versuchsglied 19 (Tabelle 18) führte eine hohe Gesamtdüngermenge (170 kg N/ha über organischen Dünger, 30 kg N/ha mineralische Unterfußdüngung und 69 kg N/ha bedarfsgerechte, mineralische N-Düngung) zur Erhöhung der N-Salden im Gegensatz zu den vergleichbaren Varianten ohne bedarfsgerechte Düngung. Das Versuchsglied 21 (SL+SU) weist hier das höchste N-Saldo (62 kg/ha) und das Versuchsglied 19 (GS) den geringsten N-Saldo (48 kg/ha) auf.

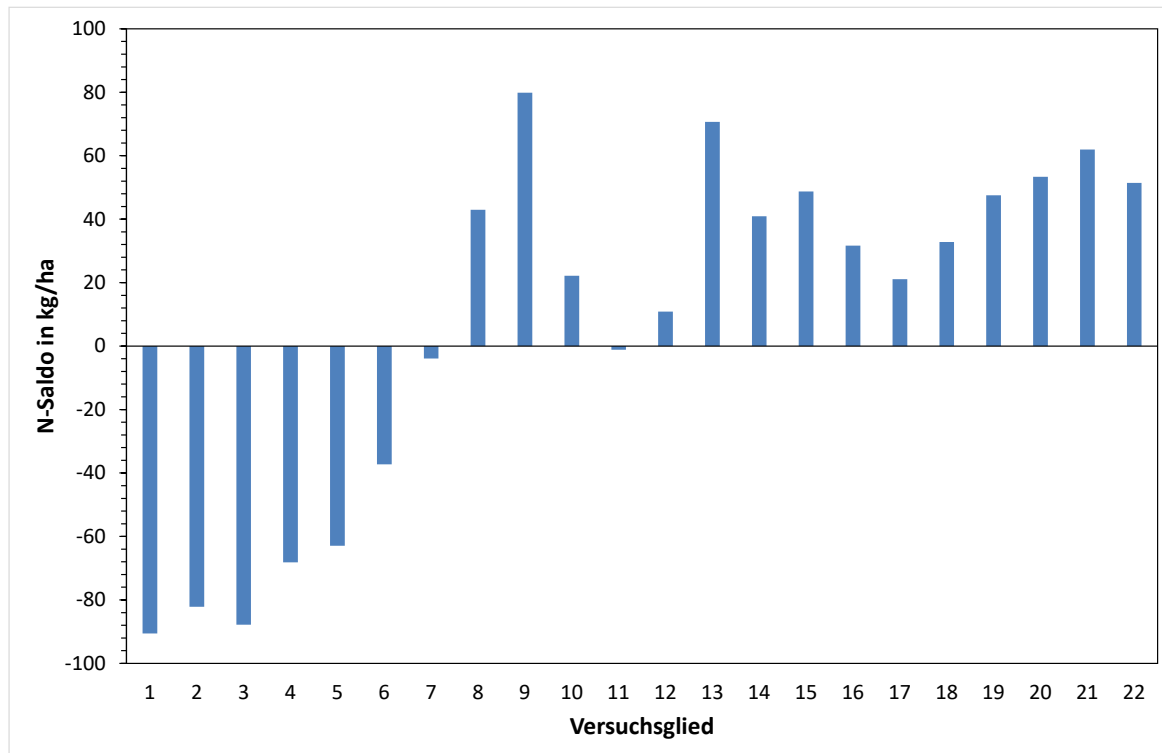


Abbildung 32: N-Saldo je Versuchsglied im Versuch 559. Mittel von drei Jahren, $n = 3$.

4.3.3 N_{\min} -Gehalte nach der Ernte im Versuch 559

In Abbildung 33 sind die N_{\min} -Gehalte je Versuchsglied (siehe Tabelle 18) und für die drei Probenahmetiefen im Mittel der Jahre 2020 und 2021 dargestellt. Im Versuchsjahr 2022 konnten trockenheitsbedingt aus dem sehr harten Boden keine N_{\min} -Proben entnommen werden.

Die N_{\min} -Gehalte liegen in einem Bereich zwischen 21 und 36 kg/ha. Dieses Niveau ist nach langjähriger Erfahrung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Heigl & Offenberger, mdl. Mitteilung) niedrig.

Für die mineralische N-Steigerung (Versuchsglieder 1-7) gibt es eine gewisse Abhängigkeit zwischen Düngungshöhe und N_{\min} -Gehalt vorzuliegen. Das Versuchsglied 7, welches die höchste rein mineralische Düngung (230 kg N/ha) erhalten hatte zeigte auch den höchsten N_{\min} -Gehalt des Versuchs.

Alle organisch gedüngten Versuchsglieder (8-22) weisen unabhängig von der Applikationstechnik, der Düngeraufteilung oder der bedarfsgerechten, mineralischen N-Düngung einen ähnlichen N_{\min} -Gehalt auf. Das kann entweder auf hohe N-Abfuhr bei guter N-Wirkung oder auf hohe gasförmige N-Verluste bei schlechter N-Wirkung zurückgeführt werden.

Bei der überwiegenden Anzahl der Versuchsglieder befindet sich der Großteil des nach der Ernte im Boden verbliebenen Stickstoffs in einer Tiefe von 0-30 cm. In einigen Fällen (Versuchsglieder 7, 21 und 22) hat jedoch eine leichte Verlagerung des Stickstoffs in den Unterboden stattgefunden. Neben dem rein mineralischen gedüngten Versuchsglied 7 (230 kg N/ha) fallen vor allem die organisch mit SL + SU und SL + SC2 gedüngten Versuchsglieder 21 und 22 auf.

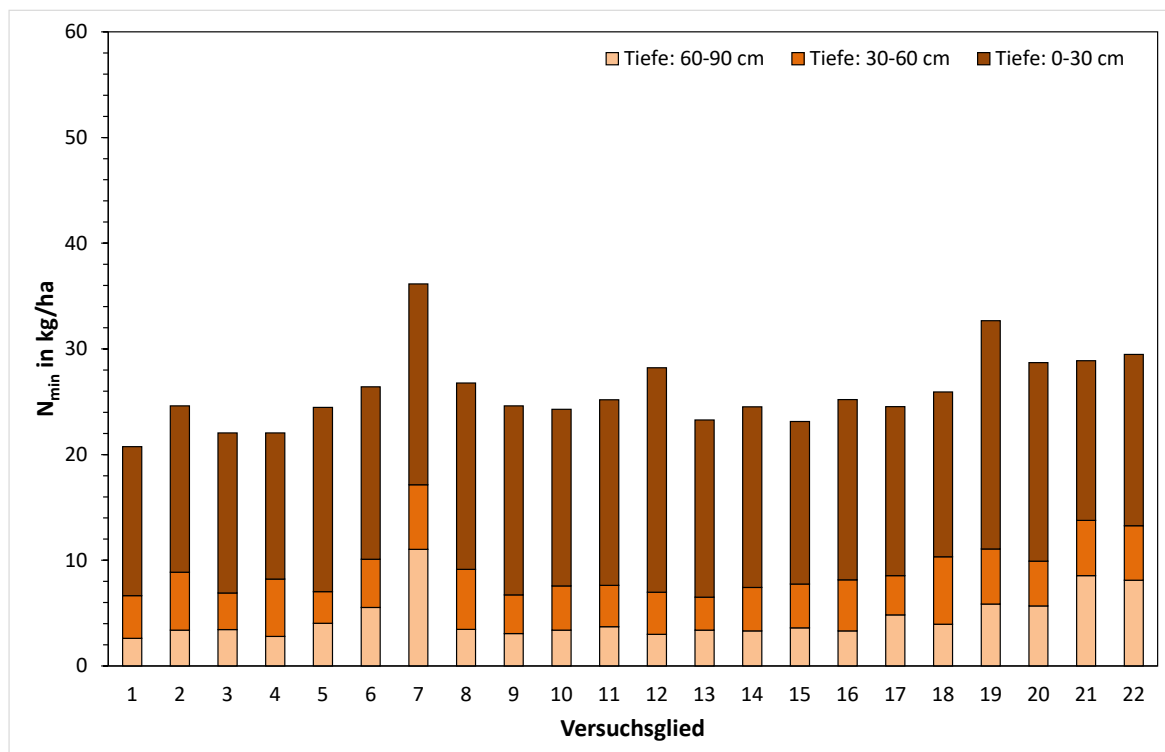


Abbildung 33: N_{\min} -Gehalt im Boden je Versuchsglied in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm nach der Silomaisernte im Versuch 559. Mittel aus den Jahren 2020 und 2021, $n = 2$.

4.3.4 Mineraldüngeräquivalent im Versuch 559

Organische Düngung vor der Maissaat

Im Folgenden sind die Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) einzelner Versuchsglieder im Versuch 559 beschrieben. Bei einer organischen Düngung in Höhe von 170 kg N/ha vor der Maissaat wurde mit dem Güllegrubber (GG) das höchste (MDÄ = 70 %) erzielt und damit auch die nach DüV vorgegebene Mindestwirksamkeit von 60% bei Biogasgärrest erreicht. Im Gegensatz dazu lag das MDÄ beim Schleppschlauch (SL, ohne Einarbeitung des organischen Düngers und ohne Saatbettbereitung, nicht DüV konform) sowie bei der flachen Scheibenschlitztechnik (SC1, ohne Einarbeitung des organischen Düngers und ohne Saatbettbereitung, nicht DüV konform) nur bei ca. 0 % bis 5 %. Dies bedeutet, bei diesen Verfahren wurde kein Stickstoff aus dem organischen Dünger verwertet. Grund dafür ist, dass bei der nicht DüV konformen, rein oberflächlichen Düngerablage in diesen beiden Versuchsgliedern vermutlich hohe gasförmige N-Verluste auftreten.

Wurde organischer Dünger mit dem Schleppschlauch (SL) appliziert und anschließend innerhalb einer Stunde mit einer Scheibenegge eingearbeitet (absätziges Verfahren, Tabelle 18, Versuchsglied 8), führte dies zu einem geringeren MDÄ als bei direkter Einarbeitung des organischen Düngers in den Boden mit der Güllescheibenegge (GS) oder dem Güllegrubber (GG) (nicht absätziges Verfahren, Tabelle 18, Versuchsglied 10 und 11). Gleiches gilt für das Strip-Tillage Verfahren (Versuchsglied 12).

Die Düngung mit der tiefen Scheibenschlitztechnik (SC2), bei welcher der organische Dünger direkt in den abgeernteten Zweitfruchtbestand injiziert und auf eine Bodenbearbeitung zur Düngung und Saat verzichtet wurde, konnte in diesem Versuch ein ähnliches MDÄ wie mit Einsatz des SL (mit Einarbeitung) erreichen. Anhand des Vergleichs zwischen SL (ohne Bodenbearbeitung), SC1 und SC2 konnte ein positiver Einfluss der Ablagetiefe des organischen Düngers auf die N-Effizienz abgeleitet werden.

Wurde zusätzlich zur organischen N-Düngung bedarfsgerecht mineralischer Dünger in Höhe von 69 kg N/ha appliziert, zeigte sich im Versuch vor allem bei dem Strip-Tillage-Verfahren eine Verschlechterung des MDÄ.

Bei einer organischen Düngung mit 170 kg N/ha vor der Maissaat nach der Zweitfrucht Grünroggen lässt sich eine Abhängigkeit des MDÄ von der Applikationstiefe des organischen Düngers, der Bodenbearbeitung, den absätzigen und nicht absätzigen Düngeverfahren und der Höhe der mineralischen N-Düngung ableiten.

Mit dem Strip-Tillage Verfahren (170 kg N/ha über organischen Dünger, 30 kg N/ha mineralische Unterfußdüngung) konnte in diesem Forschungsprojekt zwar ein etwas höheres MDÄ als im Vorgängerprojekt „Optimierung der Gülleausbringung“ (Wendland et. al, 2019) erreicht werden, trotzdem lag das MDÄ etwas unter 50 %. Wurde neben der organischen N-Düngung und der mineralischen N-Unterfußdüngung zusätzlich mineralischer N-Dünger appliziert, führte dies bei dem Strip-Tillage Verfahren, ähnlich wie im Vorgängerprojekt, zu einer Verschlechterung des MDÄ.

Aufgeteilte organische Düngung vor der Maissaat und in den Maisbestand

Bei einer aufgeteilten, organischen Düngung in Höhe von 100 kg N/ha vor der Maissaat und 70 kg N/ha in den Maisbestand wurden mit der Kombination von Güllescheibenegge (GS) und Schleppschuh (SU) sowie mit der Kombination von Güllegrubber (GG) und SU die höchsten Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) erzielt. Diese waren zwischen beiden Varianten identisch, wobei die Höhe des MDÄ in diesem Teilversuch deutlich unter 50 % lag.

Wurde der organische Dünger vor der Saat mit dem Schleppschlauch (SL) appliziert und anschließend innerhalb einer Stunde mit einer Scheibenegge eingearbeitet (absätziges Verfahren, Tabelle 18, Versuchsglied 8), führte dies zu geringeren MDÄ als bei direkter Einarbeitung des organischen Düngers mit GS oder GG in den Boden (nicht absätziges Verfahren, Tabelle 18, Versuchsglied 10 und 11).

Durch den zweimaligen Einsatz der tiefer Scheibenschlitztechnik (SC2) ohne zusätzliche Bodenbearbeitung wurde ein vergleichbares MDÄ wie mit der Kombination von SL (Einarbeitung durch Scheibenegge) und SU erreicht.

Wurde zusätzlich zur organischen N-Düngung bedarfsgerecht mineralischer Dünger in Höhe von 69 kg N/ha appliziert, blieb das MDÄ gegenüber der Vergleichsvarianten ohne bedarfsgerechte Düngung unverändert.

In der Tendenz zeigte die Kombination von SL und SC2 gegenüber der Kombination von SL und SU eine N-Effizienzsteigerung (leicht erhöhtes MDÄ). Grund dafür ist: Im Vergleich SU kann der organische Dünger mit der SC2 bei der Bestandesdüngung nahezu vollständig in den Boden injiziert werden.

Bei der aufgeteilten, organischen Düngung kann in diesem Versuch also eine Abhängigkeit des MDÄ von den absätzigen und nicht absätzigen Düngeverfahren sowie der Ablagetiefe abgeleitet werden. Bei der Verwendung nicht absätziger Verfahren sowie bei erhöhter Ablagetiefe bei der Düngung in den Maisbestand steigt die N-Ausnutzung des organischen Düngers an.

Vergleicht man die organische Düngung mit 170 kg N/ha vor der Maissaat mit der aufgeteilten, organischen Düngung in Höhe von 100 kg N/ha vor der Maissaat und 70 kg N/ha in den Maisbestand, so wird ersichtlich, dass beim Versuch 559 mit einer Aufteilung der Düngergaben eher eine Verschlechterung des MDÄ erreicht wurde.

4.3.5 Zwischenfazit aus Versuch 559

Die Düngung von Silomais mit flüssigem organischen Stickstoffdünger nach der Zweitfrucht Grünroggen in einen harten und wurzelreichen Boden kann vor allem mit einem Güllegrubber erfolgversprechend durchgeführt werden. Mit ihm lässt sich im Vergleich der Düngerverfahren eine sehr gute N-Wirkung erreichen (hohe TM-Erträge, N-Abfuhr und Mineraldüngeräquivalente, niedrige N-Salden). So ist es mit dem Güllegrubber möglich, die nach DüV vorgegebene Mindestwirksamkeit von 60% bei Biogasgärrest zu erreichen. Dies lässt sich auf die sofortige tiefe Ablage des organischen Düngers in den Boden bei gleichzeitiger flächiger Bodenlockerung sowie bei der im Vergleich geringsten Bearbeitungsintensität und damit geringen Strukturschäden zurückführen.

Wurde der organische Dünger vor der Saat mit dem Schleppschlauch appliziert und anschließend innerhalb einer Stunde mit einer Scheibenegge eingearbeitet (absätziges Verfahren), führte dies zu geringeren N-Wirkungen als bei direkter Einarbeitung des organischen Düngers mit Güllescheibenegge oder Güllegrubber in den Boden (nicht absätziges Verfahren). Gleiches gilt für das Strip-Tillage Verfahren.

Zwischen den Applikationsverfahren Güllescheibenegge und Strip-Tillage konnten keine Unterschiede in der N-Wirkungen festgestellt werden.

Bei unterlassener Bodenbearbeitung zeigte sich eine deutliche Verbesserung der N-Wirkung mit Zunahme der Ablagetiefe des organischen Düngers im Boden (Schleppschlauch ohne Bodenbearbeitung < flache Scheibenschlitztechnik < tiefe Scheibenschlitztechnik). Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus dem Winterweizenversuch 557.

Mit einer organischen Düngung vor der Maissaat durch den Schleppschlauch (ohne Einarbeitung, nicht DüV konform) oder die flachen Scheibenschlitztechnik (ohne nachfolgende Bodenbearbeitung, nicht DüV konform) inklusive mineralischer Unterfußdüngung wurden geringere TM-Erträge, N-Abfuhr und N-Effizienzen (Mineraldüngeräquivalent) sowie höhere N-Salden ermittelt als bei den DüV konformen Vergleichsvarianten. Hierfür sind vor allem die höheren gasförmige N-Verluste in den nicht DüV konformen Varianten verantwortlich.

In diesem Versuch ließen sich, vermutlich aufgrund der Bodenbedingungen nach der Zweitfruchternte, mit einer überwiegend organischen N-Düngung nur teilweise gute Erträge und N-Abfuhr erzielen. Dies spiegelte sich auch in der Stickstoffausnutzung wider (siehe Mineraldüngeräquivalente). Die Erhöhung der Gesamtdüngermenge durch eine bedarfsorientierte mineralischer N-Ergänzungsdüngung führte zwar zu einer deutlichen Steigerung der TM-Erträge und N-Abfuhr, allerdings auch zu einer Verschlechterung der N-Salden.

Mit einer einmaligen organischen N-Düngung vor der Maissaat wurde im Vergleich zur aufgeteilten Düngung vor der Saat und in den Maisbestand überwiegend eine verbesserte N-Wirkung (Ertrag, N-Abfuhr, N-Saldo, MDÄ) erreicht.

Zwar ist die Erosionsgefahr nach der Zweitfrucht Grünroggen nicht so groß wie nach einer abfrierenden Zwischenfrucht, jedoch kann auch bei Grünroggen die Erosionsgefährdung durch verschiedene Applikationsverfahren zusätzlich gemindert werden. Die Düngerapplikation mit dem Strip-Tillage Verfahren sowie mit der tiefen Scheibenschlitztechnik, bei welcher der organische Dünger direkt in den abgefrorenen Zwischenfruchtbestand injiziert und auf eine Bodenbearbeitung zur Düngung und Saat verzichtet wird, bietet diesen zusätzlichen Erosionsschutz. Dabei erreichte das Strip-Tillage Verfahren eine bessere N-Wirkung als die tiefe Scheibenschlitztechnik.

5 Zusammenfassung

Durch die Vorgaben der Düngeverordnung und der Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (NEC: National Emission Ceilings) müssen landwirtschaftliche Düngestrategien auf eine möglichst verlustarme und effiziente Ausbringung angepasst werden. Für die Mehrzahl der bayerischen Betriebe ergibt sich aus den Vorgaben Anpassungsbedarf in der technischen sowie logistischen Umsetzung des Managements von flüssigen Wirtschaftsdüngern.

In der wissenschaftlichen Literatur sind grundsätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Stickstoffausnutzung bereits hinreichend beschrieben (z.B. kurze Einarbeitungszeit, hohe Ablagetiefe). Durch die neuen Einschränkungen der Düngeverordnung und aufgrund regionaler Gegebenheiten waren jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Dem wurde in diesem Forschungsprojekt mit der Durchführung von mehrjährigen (2020-2022) Feldversuchen zu den Kulturen Winterweizen und Silomais nach abfrierender Zwischenfrucht bzw. der Zweitfrucht Grünroggen nachgekommen. Zu Winterweizen wurden je Jahr ein Versuch an zwei verschiedenen Orten und zu Silomais je Jahr jeweils ein Versuch an einem Ort angelegt. Das Untersuchungsgebiet lag im oberbayerischen Landkreis Fürstentfeldbruck. Dabei wurden die aktuellen gesetzlichen Vorgaben zur Wirtschaftsdüngerausbringung in der praktischen Umsetzung getestet.

Im Zentrum der Versuche standen die Wirkungen unterschiedlicher Techniken (bodennah streifenförmig oberflächlich, Einbringung in den Boden) zur Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger. Außerdem wurden die Einflüsse verschiedener Ausbringungsmengen und Ausbringzeiten, sowie verschiedene Kombinationen aus organischem Dünger und bedarfsgerechter mineralischer Stickstoffergänzungsdüngung auf den Ertrag sowie weitere wichtige Parameter der Stickstoffwirkung (Rohproteingehalt, Stickstoffabfuhr, Stickstoffsaldo, Stickstoffeffizienz, mineralischer Stickstoffgehalt des Bodens nach der Ernte) untersucht. Mit den gewonnenen Erkenntnissen sollen landwirtschaftlichen Betrieben Beratungsempfehlungen zur Verfügung gestellt werden.

Der in diesem Forschungsprojekt verwendete Wirtschaftsdünger war Biogasgärrest. Die mit Biogasgärrest erzielten Ergebnisse können auch auf andere flüssige organische Dünger übertragen werden.

Zusammenfassend wurden aus den Versuchen folgende wichtige Erkenntnisse bzw. Handlungsempfehlungen gewonnen.

Ergebnisse zu Winterweizen

Soll Winterweizen organisch mit Stickstoff gedüngt werden, ist eine tiefe Injektion in den Boden zu bevorzugen, denn mit steigender Ablagetiefe des Düngers verbessert sich seine Stickstoffwirkung (Ertrag, Rohprotein, Stickstoffabfuhr, Stickstoffsaldo, Mineraldüngerequivalent). Nur wenn der flüssige organische Dünger tief in den Boden appliziert wird, ist es möglich, die Vorgaben der Düngeverordnung zur anzurechnenden Mindestwirksamkeit des organischen Gesamtstickstoffs zu erreichen. In einem Folgeprojekt soll die Abhängigkeit der Stickstoffwirkung von der Ablagetiefe für weitere Winterungen untersucht werden. Durch eine tiefe Injektion von flüssigen organischen Stickstoffdüngern geht auch ein intensiver Eingriff in den Pflanzenbestand einher. Das es damit nicht zwangsläufig zu ertragsrelevanten Schäden kommen muss, zeigten die Versuchsergebnisse eindeutig.

Die Kombination aus verhaltener organischer Stickstoffdüngung (ca. 85 kg N/ha) und bedarfsgerechter, mineralischer Stickstoffergänzung führte in den Versuchen zu hohen Erträgen und Rohproteingehalten sowie zu niedrigen Stickstoffsalden. Aufgrund der geringeren

Stickstoffausnutzung von Winterweizen gegenüber Silomais (siehe „Ergebnisse zu Silomais nach abfrierender Zwischenfrucht“) sollte eine organische Düngung zu Winterweizen deshalb nach Möglichkeit etwa in diesem Umfang erfolgen.

Außerdem scheint der Zeitpunkt der organischen Stickstoffdüngung bis zum Schossbeginn des Winterweizens nur von untergeordneter Bedeutung für die Stickstoffwirkung des organischen Düngers zu sein. Daraus lässt sich folgern, dass der Düngzeitpunkt vor allem in Abhängigkeit von den betrieblichen Gegebenheiten (z.B. Arbeitsspitzen, Gülleanfall, Technikbereitstellung) gewählt werden kann.

Ergebnisse zu Silomais nach abfrierender Zwischenfrucht

Aufgrund seiner guten Stickstoffausnutzung ist es bei Silomais möglich, mit überwiegend organischer Düngung eine gute Stickstoffwirkung zu erzielen (Erträge, Stickstoffabfuhr, Mineraldüngeräquivalent). Die organische Düngung kann dabei mit den gängigen Düngerverfahren (Applikationstechnik, Düngzeitpunkte) bei vergleichbarer Stickstoffwirkung erfolgen. Wird der organische Dünger vor der Maissaat mit der Güllescheibenegge appliziert, kann jedoch die beste Stickstoffeffizienz (Mineraldüngeräquivalent) erreicht werden.

Gerade im Maisanbau ist auf die Vermeidung von Bodenerosion zu achten. Einen guten Erosionsschutz bei vergleichbarer Stickstoffwirkung bieten hier das Strip-Tillage Verfahren sowie die tiefe Scheibenschlitztechnik, bei welcher der organische Dünger direkt in den abgefrorenen Zwischenfruchtbestand injiziert und auf zusätzliche Bodenbearbeitung zur Düngung und Saat verzichtet wird.

Ergebnisse zu Silomais nach der Zweitfrucht Grünroggen

Im Vergleich zum Maisanbau nach abfrierender Zwischenfrucht ist beim Anbau der Zweitfrucht Grünroggen vor Silomais bei überwiegend organischer Düngung mit einer geringeren Stickstoffausnutzung zu rechnen. Dies kann auf die Bodenbedingungen nach der Zweitfruchternte (hart, wurzelreich) zurückgeführt werden. Unter diesen Bedingungen erweist sich eine organische Düngung mit dem Güllegrubber als Applikationstechnik erfolgversprechend, d.h. es kann eine hohe Stickstoffeffizienz erreicht werden. Dies lässt sich auf die sofortige tiefe Ablage des organischen Düngers in den Boden bei gleichzeitiger flächiger und strukturschonender Bodenlockerung zurückführen.

Außerdem wurde durch eine einmalige organische N-Düngung vor der Maissaat im Vergleich zur aufgeteilten Düngung vor der Saat und in den Maisbestand überwiegend eine verbesserte Stickstoffwirkung erreicht.

Bei der organischen Düngung vor dem Anbau von Sommerungen wird generell zwischen zwei Verfahren unterschieden. Bei den absätzigen Verfahren wird der organische Dünger zuerst oberflächlich auf den Ackerboden abgelegt (z.B. mittels Schleppschlauch) und in einem zweiten Arbeitsgang unverzüglich in den Boden eingearbeitet. Bei den nicht absätzigen Verfahren wird der Dünger mit entsprechenden Ausbringtechniken (z.B. Güllegrubber oder Güllescheibenegge) direkt in den Boden eingearbeitet. Im Vergleich der Verfahren konnte nach der Zweitfrucht Grünroggen mit den nicht absätzigen Verfahren eine höhere Stickstoffwirkung erzielt werden. Der Einfluss der absätzigen und nicht absätzigen Verfahren bei der Ausbringung flüssiger organischer Dünger vor Sommerungen soll in einem Folgeprojekt noch genauer untersucht werden.

Ebenso wie beim Maisanbau nach abfrierender Zwischenfrucht ist auch beim Maisanbau nach der Zwischenfrucht Grünroggen auf einen ausreichenden Erosionsschutz zu achten. Die Erosionsgefahr ist jedoch aufgrund des vorherigen Grünroggenanbaus (viele Stoppeln

und Wurzeln) nicht so groß wie nach abfrierender Zwischenfrucht. Trotzdem kann durch die Düngerapplikation mit dem Strip-Tillage Verfahren sowie mit der tiefen Scheibenschlitztechnik, bei welcher der organische Dünger direkt in den abgefrorenen Zwischenfruchtbestand injiziert und auf zusätzliche Bodenbearbeitung zur Düngung und Saat verzichtet wird, ein guter Erosionsschutz geboten werden. Vergleicht man die Stickstoffwirkung, konnte mit dem Strip-Tillage Verfahren aber ein besseres Ergebnis erreicht werden.

6 Literaturverzeichnis

- Boxberger, J., Gronauer, A., Helm, M., Lichti, F., Mayer, J., Möller, K., Naser, S., Olf, H.-W., Philipp, W., Pöllinger, A., Ruser, R., Wendland, M., Schepers, W. (2020):** Praxishandbuch Organische Düngung – effizient und nachhaltig. Erling Verlag. 576 S.
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2015):** Bodenbearbeitung und Bestellung - Definition von Bodenbearbeitungs- und Bestellsystemen. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., 10 S.
- Lichti, F. H. (2012):** Bewertung und Optimierung der Nährstoff und Umweltwirkung von Gärrückständen aus der Biogasgewinnung. Dissertation. 144 S.
- Pain, B. F., Phillips, V. R., Clarkson, C. R., Klarenbeek, J. V. (1989):** Loss of nitrogen through ammonia volatilisation during and following the application of pig or cattle slurry to grassland. *J. Sci. Food Agric.* 47, S. 1-12.
- Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., Fuß, R. (2021):** Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2019: Report zu Methoden und Daten (RMD) Berichterstattung 2021. Thünen Rep 67. 454 S.
- Sommer, S. G., Hutchings, N. (1995):** Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture. *Water, Air and Soil Pollution.* 85. S. 237-248.
- Umweltbundesamt (2022):** Ammoniak-Emissionen, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschaedstoff-emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen#entwicklung-seit-1990> (Zugriff am 20.02.2023).
- Wendland, M., Offenberger, K., Sperger, S., Schubert, D. (2019):** Optimierung der Gülleausbringung unter Berücksichtigung der Novellierung der Düngeverordnung und der EC-Richtlinie. LfL Schriftenreihe 11. 99 S.
- Wulf, U. (2014):** Emission of NH₃, N₂O and CO₂ following the application of differently treated digestates from biogas production. Dissertation. 119 S.

7 Danksagung

Wir bedanken uns bei dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Finanzierung des Projektes. Ohne den großen Einsatz und die bedingungslose Unterstützung durch die Bayerischen Staatsgüter vor allem durch die Kollegen der Versuchsstation Puch wären die Versuche nicht in dem Umfang und der Qualität durchzuführen gewesen. Dafür bedanken wir uns herzlich und hoffen auf weiterhin gute Zusammenarbeit im Folgeprojekt. Dank gilt auch den Landwirten in der Umgebung von Puch, die uns ihre Flächen zur Versuchsdurchführung zur Verfügung gestellt haben und dafür sorgten, dass immer ausreichend Gärrest zur Verfügung stand. Es war nicht immer leicht für sie, zuzusehen und abzuwarten, bis wir mit den Versuchsarbeiten fertig waren. Das Institut für Landtechnik und Tierhaltung der LfL unterstützte uns dankenswerter Weise durch den Bau des Strip-Tillage Geräts und bei unseren Umbauwünschen bezüglich der tiefen Scheibenschlitztechnik. Die Abteilung Laboranalytik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising-Weihenstephan und das Fachzentrum Analytik der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau führten in bewährter Qualität alle Untersuchungen durch. Ihnen sei ebenso gedankt wie der Arbeitsgruppe IPZ 1e -Versuchsplanung, Auswertung und Biometrie für die Versuchsverrechnung. Ein besonderer Dank gilt Konrad Offenberger, welcher uns mit großem Engagement und langjähriger Erfahrung bei der Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung unterstützte und jederzeit beratend zur Seite stand.

8 Anhang

Tabelle 19: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR), Angaben beziehen sich auf Frischmasse, NH₄-N nach CaCl₂-Extraktion.

Ver-such	Jahr	Termin*	pH-Wert	TM-Gehalt	Org. Sub-stanz	Nt	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	CaO
				%								
557	2020	<i>Frühjahr</i>	7,7	62,6	45,6	4,8	3,0	1,7	5,8	0,8	0,4	1,8
		<i>BBCH 30</i>	7,7	63,7	47,3	4,5	2,2	1,7	5,5	0,8	0,3	1,7
557	2021	<i>Frühjahr</i>	7,7	49,2	38,7	4,4	2,9	1,2	4,7	0,6	0,3	1,4
		<i>BBCH 30</i>	7,7	55,7	40,3	4,4	2,8	1,4	5,0	0,7	0,3	1,5
557	2022	<i>Frühjahr</i>	7,4	52,7	38,2	3,9	2,4	1,3	4,8	0,5	0,3	1,4
		<i>BBCH 30</i>	7,5	54,3	39,2	3,9	2,3	1,4	4,9	0,6	0,3	1,5
557	2020	Frühjahr	7,7	62,6	45,6	4,8	3,0	1,7	5,8	0,8	0,4	1,8
		BBCH 30	7,7	60,8	44,2	4,8	3,0	1,5	5,6	0,7	0,4	1,7
557	2021	Frühjahr	7,7	52,8	38,1	4,5	2,9	1,2	4,7	0,5	0,3	1,4
		BBCH 30	7,7	58,4	42,5	4,5	2,8	1,5	5,3	0,7	0,3	1,7
557	2022	Frühjahr	7,4	53,2	38,8	3,9	2,4	1,3	5,0	0,5	0,3	1,4
		BBCH 30	7,5	55,4	40,0	4,0	2,4	1,4	5,1	0,6	0,3	1,4
558	2020	Vor Saat	7,8	52,1	37,3	4,7	2,8	1,4	5,6	0,7	0,3	1,5
		Bestand	7,7	66,2	49,3	4,6	2,8	2,1	4,9	1,1	0,4	1,8
558	2021	Vor Saat	7,7	53,7	38,4	4,5	2,8	1,4	4,7	0,7	0,3	1,6
		Bestand	7,7	55,5	40,2	4,2	2,7	1,4	5,1	0,7	0,3	1,6
558	2022	Vor Saat	7,5	55,1	39,2	4,0	2,4	1,4	5,2	0,6	0,3	1,5
		Bestand	7,8	50,4	34,7	3,9	2,4	1,4	5,3	0,6	0,3	1,4
559	2020	Vor Saat	7,8	62,0	45,7	4,7	2,9	1,7	5,4	0,8	0,4	1,6
		Bestand	7,7	69,4	51,4	4,6	2,8	2,2	5,2	1,1	0,4	1,9
559	2021	Vor Saat	7,6	57,6	42,0	4,3	2,7	1,5	5,0	0,7	0,3	1,6
		Bestand	7,8	45,4	31,5	4,1	2,6	1,2	4,4	0,5	0,3	1,4
559	2022	Vor Saat	7,5	57,0	40,9	3,9	2,4	1,5	5,1	0,6	0,3	1,5
		Bestand	7,8	49,7	34,5	3,7	2,3	1,4	5,0	0,6	0,3	1,4

*Kursiv=Standort Puch

Tabelle 20: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2020 am Standort Dürabuch.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)			mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt/ha (86 % TM)	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Frost	Frühjahr	BBCH 30	Frühjahr	BBCH 31	BBCH 37-39			
1	0	0	0	0	0	0	57,5	8,7	75,4
2	0	0	0	40	40	20	88,2	9,9	132,5
3	0	0	0	50	50	50	99,7	11,2	168,9
4	0	0	0	60	60	60	105,0	11,9	188,0
5	0	0	0	70	70	70	106,4	12,6	202,6
6	0	0	0	60	60	60	101,0	12,2	185,9
7	0	178	0	0	0	0	80,9	9,3	114,1
8	0	178	0	0	0	0	84,1	9,2	117,4
9	0	178	0	0	0	0	94,0	10,0	142,2
10	0	178	0	0	0	0	99,5	10,7	160,7
11	0	0	178	0	0	0	91,1	9,8	134,4
12	0	0	178	0	0	0	88,6	9,6	128,5
13	0	0	178	0	0	0	83,8	9,7	123,5
14	0	0	178	0	0	0	100,8	11,1	168,6
15	0	89	89	0	0	0	81,1	9,7	118,9
16	0	89	89	0	0	0	94,9	10,3	147,3
17	0	89	89	0	0	0	97,6	11,0	161,6
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0	89	0	0	36	55	101,4	11,3	172,3
21	0	89	0	0	36	55	107,5	11,6	188,0
22	0	89	0	0	36	55	104,6	12,0	189,8
23	0	178	0	0	0	40	99,3	10,9	162,8
24	0	178	0	0	0	40	109,1	11,7	192,1
25	0	178	0	0	0	40	108,8	12,2	201,0
26	0	0	178	40	0	0	91,5	10,4	143,6
27	0	0	178	40	0	0	94,3	10,5	149,1
28	0	0	178	40	0	0	103,6	11,7	183,1
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
t-Test GD (5 %)							8,9	0,5	20,1

Tabelle 21: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2021 am Standort Dürabuch.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)			mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt/ha (86 % TM)	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Frost	Frühjahr	BBCH 30	Frühjahr	BBCH 31	BBCH 37-39			
1	0	0	0	0	0	0	88,8	9,2	122,9
2	0	0	0	40	40	20	118,5	11,9	211,5
3	0	0	0	50	50	50	120,3	12,7	231,1
4	0	0	0	60	60	60	102,2	13,3	205,4
5	0	0	0	70	70	70	89,1	14,5	193,8
6	0	0	0	60	60	60	109,7	13,1	216,9
7	0	174	0	0	0	0	107,9	10,0	163,2
8	0	174	0	0	0	0	112,9	10,4	178,1
9	0	174	0	0	0	0	112,6	10,3	175,1
10	0	174	0	0	0	0	110,9	10,9	182,6
11	0	0	172	0	0	0	107,2	10,2	165,2
12	0	0	172	0	0	0	107,6	10,2	167,3
13	0	0	172	0	0	0	109,2	10,5	173,8
14	0	0	172	0	0	0	111,5	11,3	189,7
15	0	87	86	0	0	0	111,4	10,1	170,3
16	0	87	86	0	0	0	110,8	10,6	178,4
17	0	87	86	0	0	0	115,5	11,2	195,0
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0	87	0	25	26	45	122,6	12,2	225,1
21	0	87	0	25	26	45	122,1	12,4	228,7
22	0	87	0	25	26	45	116,3	12,6	220,4
23	0	174	0	0	0	41	121,2	11,5	210,9
24	0	174	0	0	0	41	121,6	11,9	217,6
25	0	174	0	0	0	41	121,1	11,9	217,9
26	0	0	172	41	0	0	113,0	12,0	204,7
27	0	0	172	41	0	0	116,4	12,0	209,9
28	0	0	172	41	0	0	111,4	12,3	206,5
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
t-Test GD (5 %)							7,5	0,8	21,3

Tabelle 22: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2022 am Standort Dürabuch.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)			mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt/ha (86 % TM)	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Frost	Frühjahr	BBCH 30	Frühjahr	BBCH 31	BBCH 37-39			
1	0	0	0	0	0	0	51,0	7,5	57,3
2	0	0	0	40	40	20	96,8	9,5	138,5
3	0	0	0	50	50	50	109,0	12,2	200,1
4	0	0	0	60	60	60	114,7	13,1	226,9
5	0	0	0	70	70	70	111,6	13,5	225,6
6	0	0	0	60	60	60	117,1	12,9	226,8
7	0	174	0	0	0	0	78,4	7,5	88,3
8	0	174	0	0	0	0	81,3	7,7	94,9
9	0	174	0	0	0	0	84,9	7,8	100,1
10	0	174	0	0	0	0	96,6	8,6	125,8
11	0	0	174	0	0	0	79,5	8,3	99,9
12	0	0	174	0	0	0	84,8	8,3	106,2
13	0	0	174	0	0	0	92,6	9,2	128,9
14	0	0	174	0	0	0	95,4	9,6	138,3
15	0	87	87	0	0	0	85,5	8,2	105,5
16	0	87	87	0	0	0	91,0	8,6	118,3
17	0	87	87	0	0	0	92,7	8,9	124,8
18	57	113	0	0	0	0	77,9	7,6	90,0
19	57	0	113	0	0	0	85,2	8,2	105,2
20	0	87	0	42	44	63	114,0	13,5	232,3
21	0	87	0	42	44	63	112,5	13,4	227,2
22	0	87	0	42	44	63	112,8	13,7	231,7
23	0	174	0	43	0	54	107,1	12,6	202,9
24	0	174	0	43	0	54	116,4	12,5	219,0
25	0	174	0	43	0	54	114,2	13,0	223,1
26	0	0	174	77	0	21	116,5	12,3	216,0
27	0	0	174	77	0	21	116,7	12,4	217,8
28	0	0	174	77	0	21	115,7	12,2	212,8
29	57	113	0	43	0	54	115,8	12,1	211,7
30	57	0	113	53	0	44	117,2	12,3	217,2
t-Test GD (5 %)*							10,7	0,7	16,5

*GD ohne Versuchsglieder 18, 19, 29, 30, da diese Versuchsglieder in den Vorjahren nicht geprüft werden konnten.

Tabelle 23: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2020 am Standort Puch.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)			mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt/ha (86 % TM)	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Frost	Frühjahr	BBCH 30	Frühjahr	BBCH 31	BBCH 37-39			
1	0	0	0	0	0	0	49,8	9,2	69,6
2	0	0	0	40	40	20	81,0	9,9	120,2
3	0	0	0	50	50	50	85,4	11,3	145,2
4	0	0	0	60	60	60	86,6	10,7	139,6
5	0	0	0	70	70	70	96,1	11,6	168,8
6	0	0	0	60	60	60	86,4	11,9	154,9
7	0	178	0	0	0	0	79,0	9,0	106,8
8	0	178	0	0	0	0	79,3	9,0	108,1
9	0	178	0	0	0	0	84,6	10,3	129,5
10	0	178	0	0	0	0	90,4	10,2	138,7
11	0	0	174	0	0	0	83,7	10,3	128,5
12	0	0	174	0	0	0	85,7	9,6	124,2
13	0	0	174	0	0	0	76,8	9,8	114,0
14	0	0	174	0	0	0	78,2	11,1	130,4
15	0	89	87	0	0	0	80,2	9,1	109,9
16	0	89	87	0	0	0	85,7	9,4	121,4
17	0	89	87	0	0	0	88,4	10,7	142,2
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0	89	0	0	26	60	78,4	11,0	130,7
21	0	89	0	0	26	60	90,6	11,3	153,9
22	0	89	0	0	26	60	84,9	11,3	145,0
23	0	178	0	0	0	35	89,1	10,5	141,4
24	0	178	0	0	0	35	93,6	10,7	151,3
25	0	178	0	0	0	35	96,5	11,1	161,2
26	0	0	174	0	35	0	96,7	10,2	148,6
27	0	0	174	0	35	0	92,2	10,5	145,5
28	0	0	174	0	35	0	89,5	11,5	155,7
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
t-Test GD (5 %)							8,8	0,9	17,6

Tabelle 24: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2021 am Standort Puch.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)			mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt/ha (86 % TM)	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Frost	Frühjahr	BBCH 30	Frühjahr	BBCH 31	BBCH 37-39			
1	0	0	0	0	0	0	46,1	8,9	61,5
2	0	0	0	40	40	20	93,8	10,9	154,6
3	0	0	0	50	50	50	96,2	12,9	187,2
4	0	0	0	60	60	60	88,1	14,1	186,7
5	0	0	0	70	70	70	80,8	14,6	177,7
6	0	0	0	60	60	60	88,3	13,5	179,3
7	0	169	0	0	0	0	74,9	9,4	105,8
8	0	169	0	0	0	0	74,7	9,3	104,9
9	0	169	0	0	0	0	76,6	9,6	110,3
10	0	169	0	0	0	0	85,1	10,2	131,4
11	0	0	169	0	0	0	72,4	9,3	101,6
12	0	0	169	0	0	0	73,9	9,4	104,8
13	0	0	169	0	0	0	79,3	9,8	117,2
14	0	0	169	0	0	0	83,6	10,5	131,8
15	0	84	84	0	0	0	75,8	9,3	105,8
16	0	84	84	0	0	0	81,6	9,8	120,7
17	0	84	84	0	0	0	85,5	10,7	137,4
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0	84	0	25	35	55	100,5	12,5	189,9
21	0	84	0	25	35	55	97,3	12,6	184,3
22	0	84	0	25	35	55	95,7	12,6	181,6
23	0	169	0	0	0	60	91,4	12,1	166,5
24	0	169	0	0	0	60	95,5	12,2	175,4
25	0	169	0	0	0	60	98,2	12,3	181,8
26	0	0	169	60	0	0	91,3	11,1	152,7
27	0	0	169	60	0	0	92,7	12,2	169,9
28	0	0	169	60	0	0	89,2	12,1	163,3
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
t-Test GD (5 %)							4,0	0,4	8,7

Tabelle 25: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 557 im Jahr 2022 am Standort Puch.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)			mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt/ha (86 % TM)	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Frost	Frühjahr	BBCH 30	Frühjahr	BBCH 31	BBCH 37-39			
1	0	0	0	0	0	0	46,1	8,2	56,7
2	0	0	0	40	40	20	92,4	10,1	140,8
3	0	0	0	50	50	50	107,8	12,4	202,0
4	0	0	0	60	60	60	114,1	13,0	224,1
5	0	0	0	70	70	70	117,1	13,5	238,9
6	0	0	0	60	60	60	110,1	13,5	224,5
7	0	174	0	0	0	0	67,3	8,4	85,6
8	0	174	0	0	0	0	72,8	8,5	92,8
9	0	174	0	0	0	0	81,4	8,6	105,4
10	0	174	0	0	0	0	87,9	8,8	116,6
11	0	0	170	0	0	0	77,7	8,9	104,8
12	0	0	170	0	0	0	78,7	9,2	109,3
13	0	0	170	0	0	0	85,0	9,5	121,2
14	0	0	170	0	0	0	89,8	10,4	141,2
15	0	87	85	0	0	0	77,8	9,0	105,2
16	0	87	85	0	0	0	87,4	9,4	124,0
17	0	87	85	0	0	0	86,2	9,8	127,5
18	60	113	0	0	0	0	73,8	8,3	92,8
19	60	0	110	0	0	0	77,1	8,9	103,4
20	0	87	0	46	44	63	111,3	13,5	226,3
21	0	87	0	46	44	63	115,1	13,4	233,1
22	0	87	0	46	44	63	111,1	13,6	228,0
23	0	174	0	45	0	56	108,2	13,1	213,9
24	0	174	0	45	0	56	111,6	12,9	216,9
25	0	174	0	45	0	56	111,2	13,1	220,2
26	0	0	170	80	0	21	115,0	12,2	210,8
27	0	0	170	80	0	21	117,4	12,8	225,9
28	0	0	170	80	0	21	113,9	12,8	220,6
29	60	113	0	45	0	56	109,5	12,9	212,3
30	60	0	110	56	0	44	114,4	12,8	220,8
t-Test GD (5 %)*							4,1	0,4	9,1

*GD ohne Vgl. 18, 19, 29, 30, da diese Versuchsglieder in den Vorjahren nicht geprüft werden konnten.

Tabelle 26: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 558 im Jahr 2020.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)		mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt TM/ha	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Vor Saat	30 cm Wuchshöhe	Zur Saat	Unterfußdüngung	30 cm Wuchshöhe			
1	0	0	0	0	0	159,3	5,9	150,9
2	0	0	0	30	0	182,6	5,5	160,5
3	0	0	0	30	40	194,5	6,1	189,6
4	0	0	0	30	80	212,0	6,3	213,1
5	0	0	40	30	80	223,5	6,4	229,3
6	0	0	80	30	80	219,9	6,5	229,5
7	0	0	120	30	80	230,9	6,7	248,2
8	174	0	0	30	0	237,9	6,3	241,3
9	174	0	0	30	0	187,3	6,1	182,3
10	174	0	0	30	0	200,7	6,4	206,0
11	174	0	0	30	0	241,0	6,4	246,3
12	174	0	0	30	0	214,2	6,3	217,3
13	102	70	0	30	0	224,5	6,1	219,8
14	102	70	0	30	0	228,6	6,3	231,8
15	102	70	0	30	0	202,1	6,3	203,9
16	102	70	0	30	0	230,1	6,3	231,4
17	174	0	0	30	63	250,4	6,7	267,4
18	174	0	0	30	63	229,7	6,2	227,3
19	102	70	0	30	63	235,8	6,5	246,1
20	102	70	0	30	63	235,2	6,4	242,3
t-Test GD (5 %)						15,8	0,4	18,1

Tabelle 27: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 558 im Jahr 2021.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)		mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt TM/ha	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Vor Saat	30 cm Wuchshöhe	Zur Saat	Unterfußdüngung	30 cm Wuchshöhe			
1	0	0	0	0	0	153,4	4,6	114,1
2	0	0	0	30	0	168,1	4,3	116,3
3	0	0	0	30	40	207,2	4,9	164,1
4	0	0	0	30	80	215,2	5,1	175,3
5	0	0	40	30	80	231,2	5,3	198,4
6	0	0	80	30	80	240,3	6,1	234,5
7	0	0	120	30	80	237,1	6,3	240,3
8	172	0	0	30	0	186,1	4,4	131,2
9	172	0	0	30	0	205,2	4,8	157,2
10	172	0	0	30	0	229,2	4,7	173,0
11	172	0	0	30	0	213,7	4,8	165,3
12	172	0	0	30	0	220,2	5,0	176,8
13	101	65	0	30	0	200,9	4,6	149,7
14	101	65	0	30	0	209,6	4,8	160,8
15	101	65	0	30	0	201,5	5,0	162,4
16	101	65	0	30	0	204,3	4,7	154,5
17	172	0	0	30	59	230,0	5,4	198,5
18	172	0	0	30	59	233,2	5,7	211,5
19	101	65	0	30	59	214,5	5,0	170,6
20	101	65	0	30	59	215,0	5,3	183,3
t-Test GD (5 %)						19,6	0,6	30,5

Tabelle 28: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 558 im Jahr 2022.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)		mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt TM/ha	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Vor Saat	30 cm Wuchshöhe	Zur Saat	Unterfußdüngung	30 cm Wuchshöhe			
1	0	0	0	0	0	168,8	4,8	130,7
2	0	0	0	30	0	170,3	5,1	138,5
3	0	0	0	30	40	187,2	6,0	180,2
4	0	0	0	30	80	191,9	6,5	200,6
5	0	0	40	30	80	185,3	6,6	195,5
6	0	0	80	30	80	203,3	6,9	223,4
7	0	0	120	30	80	202,3	7,5	243,6
8	174	0	0	30	0	203,2	6,6	213,2
9	174	0	0	30	0	203,5	6,5	211,3
10	174	0	0	30	0	193,3	6,4	197,1
11	174	0	0	30	0	179,5	5,6	160,6
12	174	0	0	30	0	192,1	6,4	197,6
13	102	68	0	30	0	207,1	6,3	210,2
14	102	68	0	30	0	198,6	6,2	198,2
15	102	68	0	30	0	177,1	6,4	181,4
16	102	68	0	30	0	195,2	6,0	186,6
17	174	0	0	30	58	204,7	7,1	232,0
18	174	0	0	30	58	204,5	6,9	224,1
19	102	68	0	30	58	201,9	6,5	209,1
20	102	68	0	30	58	200,1	6,9	219,1
t-Test GD (5 %)						15,1	0,7	29,3

Tabelle 29: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 559 im Jahr 2020.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)		mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt TM/ha	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Vor Saat	30 cm Wuchshöhe	Zur Saat	Unterfußdüngung	30 cm Wuchshöhe			
1	0	0	0	0	0	103,3	6,0	99,7
2	0	0	0	30	0	131,9	5,5	115,6
3	0	0	0	30	40	168,4	6,2	167,1
4	0	0	0	30	80	186,1	5,9	177,1
5	0	0	40	30	80	206,7	7,1	233,1
6	0	0	80	30	80	213,3	6,8	231,8
7	0	0	120	30	80	214,4	7,2	245,6
8	174	0	0	30	0	163,4	6,0	157,7
9	174	0	0	30	0	144,4	6,3	144,5
10	174	0	0	30	0	189,0	6,2	187,6
11	174	0	0	30	0	212,0	6,0	204,5
12	174	0	0	30	0	184,8	6,7	198,5
13	174	0	0	30	0	157,4	5,9	147,5
14	174	0	0	30	0	180,9	6,1	176,6
15	102	70	0	30	0	162,1	5,6	145,9
16	102	70	0	30	0	180,7	5,6	161,1
17	102	70	0	30	0	186,7	6,1	182,3
18	102	70	0	30	0	184,1	6,5	192,9
19	174	0	0	30	78	221,7	6,9	246,4
20	174	0	0	30	78	207,1	7,0	232,5
21	102	70	0	30	78	206,9	6,7	222,4
22	102	70	0	30	78	214,2	7,1	242,2
t-Test GD (5 %)						19,6	0,9	37,3

Tabelle 30: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 559 im Jahr 2021.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)		mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt TM/ha	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Vor Saat	30 cm Wuchshöhe	Zur Saat	Unterfußdüngung	30 cm Wuchshöhe			
1	0	0	0	0	0	78,7	6,2	77,4
2	0	0	0	30	0	117,3	6,2	116,5
3	0	0	0	30	40	157,5	6,3	158,2
4	0	0	0	30	80	175,7	6,5	183,1
5	0	0	40	30	80	184,7	7,2	211,5
6	0	0	80	30	80	191,3	8,0	245,6
7	0	0	120	30	80	193,3	7,8	241,2
8	163	0	0	30	0	150,6	6,2	149,2
9	163	0	0	30	0	104,1	6,7	111,0
10	163	0	0	30	0	163,6	6,4	167,9
11	163	0	0	30	0	183,7	7,1	208,5
12	163	0	0	30	0	173,9	6,6	182,8
13	163	0	0	30	0	122,3	6,6	129,1
14	163	0	0	30	0	147,9	6,5	154,1
15	95	64	0	30	0	144,3	6,1	142,0
16	95	64	0	30	0	163,8	6,2	163,5
17	95	64	0	30	0	158,2	6,4	161,3
18	95	64	0	30	0	147,6	7,0	165,5
19	163	0	0	30	64	184,6	7,2	211,4
20	163	0	0	30	64	191,1	7,1	218,0
21	95	64	0	30	64	177,5	6,8	193,4
22	95	64	0	30	64	174,1	7,2	200,3
t-Test GD (5 %)						17,7	0,6	25,0

Tabelle 31: Organische und mineralische Düngung sowie Ertrag, Rohprotein und N-Abfuhr im Versuch 559 im Jahr 2022.

Versuchsglied	organische N-Düngung (kg/ha)		mineralische N-Düngung (kg/ha)			Ertrag in dt TM/ha	Rohprotein in % TM	N-Abfuhr in kg/ha
	Vor Saat	30 cm Wuchshöhe	Zur Saat	Unterfußdüngung	30 cm Wuchshöhe			
1	0	0	0	0	0	114,9	5,2	94,6
2	0	0	0	30	0	127,5	5,2	106,4
3	0	0	0	30	40	154,7	6,1	150,2
4	0	0	0	30	80	157,9	7,0	176,2
5	0	0	40	30	80	160,8	7,6	196,2
6	0	0	80	30	80	163,0	7,9	206,5
7	0	0	120	30	80	166,5	8,2	216,9
8	170	0	0	30	0	168,6	6,1	163,2
9	170	0	0	30	0	114,7	5,7	103,9
10	170	0	0	30	0	167,2	6,6	176,9
11	170	0	0	30	0	163,2	7,3	189,4
12	170	0	0	30	0	164,0	7,1	185,1
13	170	0	0	30	0	118,3	5,8	110,4
14	170	0	0	30	0	142,3	6,4	145,5
15	100	65	0	30	0	154,3	6,3	153,9
16	100	65	0	30	0	162,1	6,5	168,4
17	100	65	0	30	0	162,3	7,0	181,2
18	100	65	0	30	0	126,5	6,5	131,2
19	170	0	0	30	64	162,9	7,9	204,5
20	170	0	0	30	64	160,4	7,6	194,4
21	100	65	0	30	64	161,1	7,5	192,4
22	100	65	0	30	64	164,8	7,5	197,2
t-Test GD (5 %)						18,5	0,8	21,3