



Optimierung der Gülleausbringung unter Berücksichtigung der Novellierung der Düngeverordnung und der NEC-Richtlinie



Endbericht

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

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

Förderkennzeichen: A/15/23

Geschäftszeichen: L/a-7316-1/1 vom 13.04.2015

Projektlaufzeit: Juni 2015 bis Dezember 2018

Projektleiter: Dr. Matthias Wendland

Projektbearbeiter: Christian Sperger, Konrad Offenberger, Ulrich Dörfel, David Schubert, Stefan Lutz, Roland Kerger, Hans Kirchmeier

Herausgegeben im: Juli 2019

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

Dr. Matthias Wendland

Konrad Offenberger

Christian Sperger

David Schubert

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	15
1 Einleitung	17
2 Stand der Technik	19
3 Material und Methoden	19
3.1 Versuchsgüllefass	19
3.2 Ausbringtechnik	20
3.2.1 Breitverteilung (BV)	20
3.2.2 Schleppschlauch (SS)	20
3.2.3 Schleppschuh (SU)	21
3.2.4 Scheibentechnik (SC 1)	21
3.2.5 Scheibentechnik tief (SC 2)	22
3.2.6 Strip Tillage (ST)	22
3.2.7 Scheibentechnik Mais (SC)	23
3.3 Saat	24
3.4 Ernte Grünroggen	24
3.5 Ernte Winterweizen	24
3.6 Ernte Silomais	25
3.7 Versuchsaufbau	26
3.7.1 Versuch Winterweizen (V 557)	26
3.7.2 Versuch Silomais nach abfrierender Zwischenfrucht (V 558)	29
3.7.3 Versuch Silomais nach Zweitfrucht Grünroggen (V 559)	31
3.8 Bestimmung der Qualitätsparameter im Erntegut und Untersuchung der organischen Dünger	33
3.8.1 Trockensubstanzgehalt	33
3.8.2 Rohprotein- und Stickstoffgehalt	33
3.8.3 Untersuchung der organischen Dünger	34
3.8.4 Mineraldüngeräquivalente – MDÄ	34
3.9 Statistische Auswertung	35
3.10 Versuchsstandort Puch V 557 (Jahr 2016–2018)	35
3.10.1 Standortbeschreibung	35
3.10.2 Witterung	36
3.10.3 Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Puch	37
3.11 Versuchsstandort Rottbach V 557, V 558 (Jahr 2016)	39

3.11.1	Standortbeschreibung	39
3.11.2	Witterung.....	40
3.11.3	Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Rottbach	41
3.12	Versuchsstandort Zötzelhofen V 557 (Jahr 2017).....	42
3.12.1	Standortbeschreibung	42
3.12.2	Witterung.....	43
3.12.3	Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Zötzelhofen.....	44
3.13	Versuchsstandort Pöcklhof V 558, V 559 (Jahr 2017).....	45
3.13.1	Standortbeschreibung	45
3.13.2	Witterung.....	46
3.13.3	Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Pöcklhof	47
3.14	Versuchsstandort Poigern V 557 (Jahr 2018).....	48
3.14.1	Standortbeschreibung	48
3.14.2	Witterung.....	49
3.14.3	Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Poigern	50
3.15	Versuchsstandort Dürabuch V 558, V 559 (Jahr 2018)	51
3.15.1	Standortbeschreibung	51
3.15.2	Witterung.....	52
3.15.3	Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Dürabuch	54
4	Ergebnisse und Diskussion der Feldversuche.....	55
4.1	Ergebnisse der Feldversuche zur Düngung/Technik zu Winterweizen (V 557).....	55
4.1.1	Ertrag und Rohprotein	57
4.1.2	N-Salden Versuch 557	66
4.1.3	N _{min} -Gehalte nach der Ernte	68
4.1.4	Mineraldüngeräquivalente V 557	69
4.2	Ergebnisse der Feldversuche zur Düngung/Technik zu Silomais (V 558)	70
4.2.1	Ertrag und N-Abfuhr	72
4.2.2	N-Salden Versuch 558	78
4.2.3	N _{min} -Gehalte nach der Ernte	79
4.2.4	Mineraldüngeräquivalente V 558	80
4.3	Ergebnisse der Feldversuche zur Düngung/Technik zu Silomais (V 559)	81
4.3.1	Ertrag und N-Abfuhr	83
4.3.2	N-Salden Versuch 559	90
4.3.3	N _{min} -Gehalte nach der Ernte.....	91

4.3.4	Mineraldüngeräquivalente V 559.....	92
4.4	N-Saldo über die Fruchtfolge.....	93
5	Fazit	95
6	Literaturverzeichnis.....	97
7	Danksagung.....	98

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Versuchsgüllefass.....	20
Abb. 2: Breitverteilung.....	20
Abb. 3: Gülleausbringung mit Schleppschlauch.....	21
Abb. 4: Schleppschuh.....	21
Abb. 5: Schleppschuh im Maisbestand.....	21
Abb. 6: Scheibentechnik.....	22
Abb. 7: Scheibentechnik tief.....	22
Abb. 8: Schlitz mit Gülle.....	22
Abb. 9: Strip Tillage – „Spatenstich“.....	23
Abb. 10: Orthmann Strip Tillage-Aggregat.....	23
Abb. 11: Scheibentechnik Mais.....	23
Abb. 12: Yetter Strip Tillage-Aggregat.....	23
Abb. 13: Hill-Rake.....	24
Abb. 14: Balkenmäher.....	24
Abb. 15: Parzellenmähdrescher.....	25
Abb. 16: Versuchshäcksler und Silagewagen.....	25
Abb. 17: Graphische Darstellung zur Ermittlung der Mineraldüngeräquivalente. Blaue Punkte=mineralische Düngungssteigerung, roter Punkt=ausgebrachte organische N-Düngermenge.....	34
Abb. 18: Verlauf der Witterung vom 01.01.2016 bis 31.12.2018 am Standort Puch.....	36
Abb. 19: Verlauf der Witterung vom 01.08.2015 bis 31.12.2016 am Standort Rottbach.....	40
Abb. 20: Verlauf der Witterung vom 01.09.2016 bis 31.12.2017 am Standort Zötzelhofen.....	43
Abb. 21: Verlauf der Witterung vom 01.08.2016 bis 31.12.2017 am Standort Pöcklhof.....	46
Abb. 22: Verlauf der Witterung vom 01.10.2017 bis 31.12.2018 am Standort Poigern.....	49
Abb. 23: Verlauf der Witterung vom 01.08.2017 bis 31.12.2018 am Standort Dürabuch.....	52
Abb. 24: Ertrag und Rohprotein der mineralischen Düngungssteigerung, Versuch 557. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.....	57
Abb. 25: Ertrag und Rohprotein bei möglichen Pflanzenschäden durch verschiedene Applikationstechniken, Versuch 557. SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.....	58
Abb. 26: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.....	59
Abb. 27: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.....	60

Abb. 28: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	61
Abb. 29: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken und später Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	62
Abb. 30: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	63
Abb. 31: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken und später Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	64
Abb. 32: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	65
Abb. 33: N-Salden der verschiedenen Versuchsglieder, Versuch 557.....	67
Abb. 34: N _{min} -Gehalte im Boden nach der Weizenernte je Versuchsglied, Versuch 557. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den N _{min} -Gehalten.	68
Abb. 35: Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) je Versuchsglied, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief, blaue Linie = Vorgabe nach DüV.	69
Abb. 36: TM-Ertrag und N-Abfuhr der mineralischen Düngungssteigerung, Versuch 558. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	72
Abb. 37: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Ausbringmengen, Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 558. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.....	73
Abb. 38: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 558. BV=Breitverteilung, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	74
Abb. 39: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken (Applikationsort, Einarbeitung, Nitrifikationsinhibitor) bei der Biogasgärrestdüngung, Versuch 558., ST=Strip Tillage, SC 2=Scheibe tief, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin, SBB=Saabettbereitung. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	75

Abb. 40: TM-Ertrag und N-Abfuhr beim Einsatz eines Strip Tillage-Gerätes bei der Biogasgärrestdüngung unter Zugabe eines Nitrifikationsinhibitors, Versuch 558., ST=Strip Tillage, uS=unter Saatreihe, P=Piadin. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	76
Abb. 41: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken (Applikationsort, Einarbeitung, Nitrifikationsinhibitor) und verschiedenen Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 558. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais, ST=Strip Tillage, SC 2=Scheibe tief, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin, SBB=Saattbettbereitung. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.....	77
Abb. 42: N-Salden der verschiedenen Versuchsglieder, Versuch 558. Blaue Balken: N-Salden je Versuchsglied, rote Balken: N-Salden unter Einbeziehung einer Herbstdüngung zur Zwischenfrucht (ZF).....	78
Abb. 43: N _{min} -Gehalte im Boden nach der Maisernte je Versuchsglied, Versuch 558. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den N _{min} -Gehalten.	79
Abb. 44: Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) je Versuchsglied, Versuch 558. Dunkle Säulen kennzeichnen ein MDÄ ≥ 70 %. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais, ST=Strip Tillage, SC 2=Scheibe tief, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin, SBB=Saattbettbereitung.	80
Abb. 45: TM-Ertrag und N-Abfuhr der mineralischen Düngungssteigerung, Versuch 559. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	83
Abb. 46: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken sowie verschiedenen Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	84
Abb. 47: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken bei der Biogasgärrestdüngung, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.....	85
Abb. 48: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationsweisen des Biogasgärrestes mittels Strip Tillage-Gerät, Versuch 559. ST=Strip Tillage, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	86
Abb. 49: TM-Ertrag und N-Abfuhr beim Einsatz eines Strip Tillage-Gerätes bei der Biogasgärrestdüngung unter Zugabe eines Nitrifikationsinhibitors und mineralischer Ergänzung, Versuch 559., ST=Strip Tillage, uS=unter Saatreihe, P=Piadin. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	87
Abb. 50: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	88

Abb. 51: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken (Applikationsort, Nitrifikationsinhibitor), Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais, ST=Strip Tillage, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.	89
Abb. 52: N-Salden der verschiedenen Versuchsglieder, Versuch 559.....	90
Abb. 53: N _{min} -Gehalte im Boden nach der Maisernte je Versuchsglied, Versuch 559. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den N _{min} -Gehalten.	91
Abb. 54: Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) je Versuchsglied, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais, ST=Strip Tillage, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin.....	92
Abb. 55: N-Saldo über die Fruchtfolge (Getreide/Getreide/Mais) bei Biogasgärrestdüngung mittels Schleppschuh und Scheibe im Vergleich zur mineralischen Düngung.	94

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Düngeplan Versuch 557, organische N-Düngung mit BGR, mineralische N-Düngung mit KAS. Organische N-Düngung = 0: Überfahrt ohne BGR	27
Tab. 2: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V 557 Puch.....	28
Tab. 3: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V 557 Orte um Rottbach.	29
Tab. 4: Düngeplan Versuch 558, organische N-Düngung mit BGR, mineralische N-Düngung mit KAS, nS = neben Saatreihe, uS = unter Saatreihe, 2016 wurde Entec (4 l/ha) statt Piadin(6 l/ha) verwendet, * nur Versuchsjahr 2017 und 2018.	30
Tab. 5: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V 558 Orte um Rottbach.	31
Tab. 6: Düngeplan Versuch 559, organische N-Düngung mit BGR, mineralische N-Düngung mit KAS, nS = neben Saatreihe, uS = unter Saatreihe, P = Piadin(6 l/ha).	32
Tab. 7: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V 559 Orte um Rottbach	33
Tab. 8: Bodendaten V 557 Puch.....	35
Tab. 9: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn des ortswechselnden Versuchs in Puch.	36
Tab. 10: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) in Puch, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, NH ₄ -N nach CaCl ₂ -Extraktion.	38
Tab. 11: Bodendaten V 557 & V 558 Rottbach, 2016.	39
Tab. 12: Standardbodenuntersuchungen vor Versuchsbeginn Rottbach.	39
Tab. 13: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) in Rottbach, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, NH ₄ -N nach CaCl ₂ -Extraktion.	41
Tab. 14: Bodendaten V 557 Zötzelhofen.....	42
Tab. 15: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn V557 Zötzelhofen.	42
Tab. 16: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) in Zötzelhofen, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, NH ₄ -N nach CaCl ₂ -Extraktion	44
Tab. 17: Bodendaten V 558 & V 559 Pöcklhof.	45
Tab. 18: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn V558 & 559 Pöcklhof.....	45
Tab. 19: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) in Pöcklhof, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, NH ₄ -N nach CaCl ₂ -Extraktion	47
Tab. 20: Bodendaten V 557 Poigern	48
Tab. 21: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn V557 Poigern.....	48
Tab. 22: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) Poigern, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, NH ₄ -N nach CaCl ₂ -Extraktion	50
Tab. 23: Bodendaten V 558 & V 559 Dürabuch, 2018.	51
Tab. 24: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn V558 & V559 Dürabuch.	51
Tab. 25: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) in Dürabuch, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, NH ₄ -N nach CaCl ₂ -Extraktion.....	54
Tab. 26: Ertrag und RP der einzelnen Versuchsglieder, Versuch 557	56
Tab. 27: Ertrag und N-Abfuhr der einzelnen Versuchsglieder, Versuch 558	71
Tab. 28: Ertrag und N-Abfuhr der einzelnen Versuchsglieder, Versuch 559	82

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celsius
BGR	Biogasgärrest
BV	Breitverteilung
C/N	Kohlenstoff/Stickstoff
CaCl ₂	Calciumchlorid
CaO	Calciumoxid
cm	Zentimeter
C _{org}	organischer Kohlenstoff
dt	Dezitonne
g	Gramm
ha	Hektar
K ₂ O	Kaliumoxid
KAS	Kalkammonsalpeter
kg	Kilogramm
kW _{el}	Kilowatt elektrisch
l	Liter
l/min	Liter pro Minute
m	Meter
m ³	Kubikmeter
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
Mg	Magnesium
MgO	Magnesiumoxid
ml	Milliliter
N	Stickstoff
NEC	National Emission Ceilings Directive
N _{ges}	Gesamtstickstoff
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
N _{min}	mineralischer Stickstoff
nS	neben Saatreihe
N _t	Gesamtstickstoff
Org	organisch
P	Piadin
P ₂ O ₅	Phosphat
SBB	Saatbettbereitung
SC	Scheibentechnik Mais
SC 1	Scheibentechnik
SC 2	Scheibe tief
sL	sandiger Lehm
SM	Silomais
SS	Schleppschlauch
ST	Strip Tillage
st.IS	stark lehmiger Sand
SU	Schleppschuh
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
U/min	Umdrehungen pro Minute

U-Fuß..... Unterfußdüngung
V..... Versuch
Veg. Vegetation
WW Winterweizen
ZF Zwischenfrucht

Zusammenfassung

Die Novellierung der Düngeverordnung schreibt die Berücksichtigung fester Ausnutzungsgrade bei der Verwendung organischer Dünger vor, die NEC-Richtlinie definiert zu erreichende Emissionshöchstmengen. Deshalb wurden Versuche zu Winterweizen und Silomais nach einer abfrierenden Zwischenfrucht bzw. der Zweitfrucht Grünroggen angelegt mit dem Ziel, Düngestrategien zu entwickeln, mit welchen möglichst verlustarm und effizient Dünger ausgebracht werden können. Der Winterweizenversuch (V 557) wurde auf ortswechselnden Flächen an zwei Standorten (Landkreis Fürstentfeldbruck) mit einer Dauer von drei Jahren angelegt. Die beiden Maisversuche (V 558 & V 559) sind dreijährig auf ortswechselnden Flächen um Rottbach (Landkreis Fürstentfeldbruck) angelegt worden. Im Winterweizen sind zudem die Fragen interessant, welchen Schaden die Technik bei der Gülleausbringung in den bestehenden Bestand verursachen kann und ob bzw. wie sich die N-Wirkung des verwendeten BGR durch die eingesetzte Ausbringtechnik verbessert. Bei der Kultur Silomais werden bodennahe Gülleausbringungstechniken (Schleppschuh) und Injektionstechniken (Scheibeninjektor, Strip Tillage) mit der Breitverteilung verglichen und gleichzeitig verschiedene Ausbringmengen und -zeiten sowie eine mineralische Ergänzungsdüngung erprobt. Auch die Wirkungsweise von Nitrifikationsinhibitoren als Zusatz bei der Anwendung in Silomais wurde, begleitet von mineralischem Stickstoff (N_{\min})-Bodenproben, untersucht.

Winterweizen

Die Ergebnisse zeigen, dass sich Ammoniakverluste bei der Ausbringung in wachsende Getreidebestände am besten mit der tiefen Scheibentechnik (SC 2) reduzieren lassen. Das schlägt sich jedoch nicht im Ertrag nieder, da es beim Einsatz einer tiefen Scheibentechnik (SC 2) zu Winterweizen durch die Verletzung der Pflanzen und der Wurzeln Schäden kommen kann. Im Versuch wurden Ertragsschäden von 5 dt/ha im Vergleich zur Schleppschuhtechnik (SU) gemessen. Die „normale“ Scheibentechnik (SC 1) führt zu keinen signifikanten Ertragseinbußen durch Pflanzenschäden verglichen mit SU. Die SU-Technik hat Vorteile gegenüber der Schleppschlauchtechnik hinsichtlich Ertrag und Rohproteingehalt. Der Rohproteingehalt ist bei der Ausbringtechnik SC 2 am höchsten. Eine Aufteilung der organischen Düngung, mit einer Ausbringmenge von jeweils 85 kg N/ha zu Vegetationsbeginn und BBCH 30, sowie einer mineralischen Ergänzungsdüngung von 60 kg N/ha, führt mit der Ausbringtechnik SC 1 zu den signifikant höchsten Erträgen. Werden 170 kg N/ha BGR als eine Gabe zu Vegetationsbeginn mit der SC 1 ausgebracht, ergeben sich nur geringe Nachteile gegenüber einer aufgeteilten organischer Düngung. Betriebswirtschaftlich ist demnach eine einmalige Düngung des BGR in voller Höhe (170 kg N/ha) zu Vegetationsbeginn mit 60 kg N/ha mineralischer Ergänzungsdüngung am sinnvollsten. Bei dieser Kombination lassen sich Mineraldüngeräquivalente des Biogasgärrestes von ca. 60 % erreichen. Ziel des Folgeprojektes ist auch, eine tiefe Scheibe zu entwickeln, die so konstruiert und einstellbar ist, dass keine Pflanzenschäden entstehen

Silomais

Das in der Praxis am weitesten verbreitete Verfahren zu Silomais ist die Gülleausbringung nach einer abfrierenden Zwischenfrucht bzw. Zweitfrucht Grünroggen. Die Variante 170 kg N/ha BGR breitflächig vor der Saat verteilt, sofort eingearbeitet mit einer Unterfußdüngung von 30 kg N/ha führt gegenüber aufwändigeren Verfahren zu ähnlichen Erträgen. Im Versuch ist der N-Saldo im negativen Bereich, der N_{\min} -Wert nach der Ernte ist

mit 22 kg/ha im Vergleich zu den anderen Varianten im Versuch 558 am geringsten. Die N-Wirkung der organischen Düngung liegt bei diesem Verfahren mit 65 % (MDÄ Nt) auf einem sehr hohen Niveau. Eine noch bessere N-Wirkung von BGR wird bei einer zusätzlichen mineralischen Ergänzungsdüngung von 30 kg N/ha zusätzlich zur Unterfußdüngung bei sonst gleichen Voraussetzungen erreicht.

Es muss jedoch festgestellt werden, dass das Verfahren nicht für Flächen geeignet ist, die den Zwischenfruchtaufwuchs zum Erosionsschutz benötigen. Die Einarbeitung mit der Kreiselegge lässt kein ausreichendes erosionsverringertes Pflanzenmaterial übrig. Lösungen für erosionsgefährdete Flächen werden im Folgeprojekt untersucht.

Der N-Saldo wird durch die Ausbringung von 170 kg N/ha BGR mit der SC 2, anschließender Saatbettbereitung und einer Unterfußdüngung von 30 kg N/ha nochmals verbessert (-52 kg N).

Mit der Strip Tillage Technik werden weder höhere Erträge noch niedrigere N_{\min} -Werte nach der Ernte oder ein besserer Saldo erreicht. Mit der oft empfohlenen Zugabe von Pindin zu BGR im Strip Tillage Verfahren sinken die Erträge nochmals ab.

Wird nach der Zweitfrucht Grünroggen (Einarbeitung mit Kreiselegge) der BGR in den Bestand bei einer Wuchshöhe des Maises von 30 cm ausgebracht, ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bei der eingesetzten Technik, nur die Variante SU führte zu geringeren Erträgen.

Eine Unterfußdüngung hat in der Tendenz einen positiven Ertragseffekt.

Die Verwendung der Scheibentechnik in der Fruchtfolge Mais/Getreide kann beim Einsatz von flüssigen organischen Düngern die Einhaltung des Kontrollwertes von 50 kg N ermöglichen, dazu müssen jedoch auch andere Faktoren, wie die optimale Witterung etc. berücksichtigt werden.

Die mit BGR erzielten Ergebnisse können auch auf andere flüssige organische Dünger übertragen werden.

1 Einleitung

Nach eigenen Berechnungen sind Biogasgärreste (BGR) inzwischen einer der mengenmäßig wichtigsten organischen Dünger in der Landwirtschaft in Deutschland. Eine effiziente Anwendung des bei der Biogaserzeugung anfallenden Reststoffes ist sowohl aus ökonomischer aber insbesondere auch aus ökologischer Sicht notwendig. In den bisherigen Feldversuchen konnten eine Vielzahl an Erkenntnissen zur Stickstoff (N)-Wirkung von BGR gewonnen und Empfehlungen für die Praxis abgeleitet werden. Es ist bekannt, dass verschiedene Applikationstechniken für organische Dünger einen sehr großen Einflussfaktor für das gasförmige Stickstoffverlustpotential darstellen und auch ökonomische Auswirkungen mit sich ziehen. Zudem tragen Ammoniakemissionen unter anderem zur Eutrophierung und Versauerung von Ökosystemen bei und wirken klimarelevant. Emissionsmindernde Techniken können diese Verluste reduzieren und dadurch Mineraldünger einsparen.

Die neue Gesetzgebung im Düngerecht trägt diesen Anforderungen bereits Rechnung. Durch die Novellierung der Düngeverordnung, die die gute fachliche Praxis beim Düngen beschreibt, und die NEC-Richtlinie (Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe), die für Ammoniak (NH_3) eine Emissionshöchstmenge vorgibt, müssen die Düngestrategien auf eine möglichst verlustarme Ausbringung angepasst werden.

In Feldversuchen sollen die umfangreichen, bisher gewonnen Erkenntnisse geprüft und um weitere Fragen ergänzt werden. Mit dem Ziel, dem Landwirt eine Grundlage zu schaffen, den Biogasgärrest in dessen Wirkung ähnlich einem Mineraldünger einstuft zu können und zudem die aktuellen Entwicklungen in der organischen Düngung mit einzu beziehen, wurden ab 2015 verschiedene mehrjährige Feldversuche im Raum Fürstenfeldbruck (Oberbayern) angelegt. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Zweitkulturnutzungssystemen wurde ein ortswechselnder Versuch zur Wirkung einer Düngung mit Biogasgärresten nach Grünroggen-Ganzpflanzensilage mit einer Applikation vor der nachfolgenden Kultur Silomais angelegt. Neben dem Versuch zum Zweitkulturnutzungssystem wurde auch ein ortswechselnder Versuch mit einer abfrierenden Zwischenfrucht vor Silomais durchgeführt.

Zu Winterweizen wurde ein Versuch auf zwei verschiedenen Standorten mit ortswechselnden Flächen angelegt. Hier werden neben den verschiedenen organischen Düngeterminen und der Wirkung einer Kombination aus Biogasgärrest und mineralischem Dünger auch verschiedenste bodennahe Applikationstechniken für Biogasgärrest untersucht. Mit aktuellen Ausbringtechniken wie beispielsweise Schlitzgeräten bei der Ausbringung im Frühjahr in den Weizenbestand, ist besonders die Frage interessant, wie hoch die Pflanzenschäden durch die eingesetzte Technik sind und ob bzw. wie sich die N-Wirkung des eingesetzten BGR verbessert.

Bei der Kultur Silomais werden bodennahe Gülleausbringungstechniken (Schleppschuh) und Injektionstechniken (Scheibeninjektor, Strip Tillage) mit der Breitverteilung verglichen und gleichzeitig verschiedene Ausbringmengen und -zeiten, sowie eine mineralische Ergänzungsdüngung erprobt. Auch die Wirkungsweise von Nitrifikationsinhibitoren

als flüssiger Zusatz von BGR in der Kultur Silomais wurde, begleitet von mineralischem Stickstoff (N_{\min})-Bodenproben, erforscht. Geklärt werden soll auch die Frage, wie intensive Zweinutzungskulturen optimal mit den anfallenden Nährstoffmengen versorgt werden können.

Ziel ist, den Landwirten erprobte Systeme, welche die NH_3 -Emissionen möglichst gering halten als auch eine bestmögliche Ausnutzung der Nährstoffe garantieren, empfehlen zu können, mit denen wirtschaftliche Erträge zu erzielen sind und zugleich die rechtlichen Vorgaben erfüllt werden. Die mit BGR erzielten Ergebnisse können auch auf andere flüssige organische Dünger übertragen werden.

2 Stand der Technik

Die Ausbringung von Biogasgärrest 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 nur in geringem Umfang genutzt werden. Durch die Anforderungen der Düngeverordnung (DüV) tritt die bisher übliche Breitverteilung langsam in den Hintergrund. Die dominant angebotenen Verteiltechniken arbeiten bodennah und dadurch emissionsmindernd. Schleppschlauch- bzw. Schleppschuhverteiler werden mit Arbeitsbreiten zwischen neun und 36 Metern durch verschiedene Hersteller bereitgestellt. Jedoch geht der Trend der Verteiltechniken in Richtung schlitzen bzw. zu Techniken, mit der die Gülle direkt in den Boden eingebracht wird.

Über die Erforschung und den Stand der Technik bezüglich der Gülleausbringung konnte auf das Projekt „Auswahl, Evaluierung und Optimierung von Verfahren und Technik zur Applikation von Flüssigmist bzw. flüssigen Gärresten in Mais“ (Demmel & Lutz, 2017) zurückgegriffen werden.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsgüllefass

In den Versuchen wurde ein Versuchsgüllefass (Abbildung 1) eingesetzt, welches von dem Forschungsvorhaben „Auswahl, Evaluierung und Optimierung von Verfahren und Technik zur Applikation von Flüssigmist bzw. flüssigen Gärresten in Mais“ noch zur Verfügung stand. Dieses Güllefass besitzt eine elektronische Ausbringmengenregelung mit Durchflussmesser. Zusätzlich ist eine Anbaumöglichkeit über die Dreipunkthydraulik vorhanden, um verschiedene Ausbringtechniken anbringen zu können. Das Fass ist ein Pumpentankwagen mit einem Fassungsvermögen von 8000 Litern. Die elektronische Ausbringmengenregelung erfolgt über ein „Bypassventil“. Durch die Ansteuerung eines Linearstellmotors über das UNI-Control S Rechners der Firma Müller Elektronik wird die Stellung des Kugelhahns zum Bypass verändert. Die dafür benötigten Daten werden von drei verschiedenen Sensoren an den UNI-Control S Rechner geliefert. Die aktuelle Durchflussmenge der Gülle in der Einheit m^3 pro Zeiteinheit wird über den magnetisch induktiven Durchflussmesser ermittelt. Über einen Radsensor, angebracht an der Achse des Pumpentankwagens, wird die Fahrgeschwindigkeit festgestellt. Die Pumpendrehzahl wird kontinuierlich über einen Drehzahlsensor an der Eingangswelle überwacht. Zudem verfügt das Versuchsgüllefass über eine Drehkolbenpumpe mit einer Leistung von 2800 l/min, um auch mit einer geringen Arbeitsbreite (max. 3 m) den Gärrest exakt ausbringen zu können. Zudem kann über ein Reduziergetriebe (1:3), die Leistung der Drehkolbenpumpe bei einer Zapfwellendrehzahl von 540 U/min auf eine Leistung von 930 l/min verringert werden. Zur Ausbringung vor der Saat zu Silomais wurde das Fass mit einer Bereifung mit den Maßen 750/60-30,5, ausgestattet. Bei Ausbringung in den Maisbestand wurden die Reifen auf 270/95 R 44 gewechselt.



Abb. 1: Versuchsgütlefass

3.2 Ausbringtechnik

In den Versuchen wurden acht verschiedene Ausbringtechniken eingesetzt. Im Winterweizen sind Schleppschlauch, Schleppschuh, Scheibentechnik und die Scheibe tief zum Einsatz gekommen. In den Maisversuchen wurde die organische Düngung mittels Breitverteilung, Schleppschuh, Strip Tillage, Scheibentechnik tief und der Scheibentechnik Mais (in den Bestand) ausgebracht.

3.2.1 Breitverteilung (BV)

Für die Breitverteilung wurde die Ausbringtechnik Schleppschuh umgebaut. Hierzu wurden Prallbleche an den einzelnen Schleppschuhen angebracht. Bei der Breitverteilung wurde der BGR in einer Höhe von ca. 50 cm über dem Bestand appliziert (Abbildung 2). Hier muss berücksichtigt werden, dass die Stickstoffverluste womöglich geringer sind, als bei praxisüblicher Technik.



Abb. 2: Breitverteilung

3.2.2 Schleppschlauch (SS)

Als Schleppschlauch wurde die Ausbringtechnik Schleppschuh eingesetzt, wobei die Schuhe nicht ganz abgelassen wurden. Hier wurde mit den Schleppschuhen ca. 20 cm über dem Bestand gefahren (Abbildung 3) und somit der Schleppschlauch nachgestellt.



Abb. 3: Gülleausbringung mit Schleppschlauch

3.2.3 Schleppschuh (SU)

Der Schleppschuh (Abbildung 4) stand ebenfalls durch das Forschungsvorhaben, wie zuvor erwähnt, zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um einen Schleppschuh der Firma Bomech mit einem Auflagedruck von ca. 6 kg pro Schleppschuh, versehen mit einem Rotorcut der Firma Vogelsang. Die Gülledüngung vor der Maissaat wurde mit einer Breite von 3 m durchgeführt. Bei der Gülleapplikation in den Maisbestand (Abbildung 5) wurden die Schleppschuhe auf acht Stück reduziert, sodass jeweils rechts und links einer jeden Maisreihe die Gülle abgelegt werden konnte. Bei der Gülledüngung zu Winterweizen wurden zehn Elemente verwendet, da sich die Parzellenbreite auf 2,30 m beschränkte.



Abb. 4: Schleppschuh



Abb. 5: Schleppschuh im Maisbestand

3.2.4 Scheibentechnik (SC 1)

Die Scheibentechnik der Firma Bomech konnte ebenfalls vom Vorgängerprojekt übernommen werden. Die Scheiben waren immer paarweise angeordnet. Der Abstand zwischen den Scheiben betrug 20 cm. Die Scheiben öffnen den Boden je nach Bodenbeschaffenheit auf ca. 2–3 cm (Abbildung 6). 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, was zu einer optimalen Boden Anpassung führt.



Abb. 6: Scheibentechnik

3.2.5 Scheibentechnik tief (SC 2)

Der Scheibenschlitzverteiler der Firma Fliegl (Abbildung 7, Abbildung 8) wurde für dieses Forschungsvorhaben angeschafft. Die Scheiben sind schräg angeordnet, wobei die seitliche Neigung, als auch die Neigung in Fahrtrichtung verstellt werden kann. Die Tiefeneinstellung wird über Stützräder verstellt. Das Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft hat das Gerät an die Versuchsvoraussetzungen angepasst (gleicher Abstand der Scheiben, auch in der Mitte der Technik). Ebenso wurden die Blattfedern gekürzt sowie kleinere Anpassungen vorgenommen.



Abb. 7: Scheibentechnik tief

Abb. 8: Schlitz mit Gülle

3.2.6 Strip Tillage (ST)

Für die Strip Tillage-Varianten wurde das Gerät „1tRIPr Row Unit“ der Firma Orthmann (Abbildung 10, (Orthman Manufacturing, Inc., 2019)) verwendet. Die genaue Tiefenführung wird über eine Feder mit einem Druck von null bis ca. 1 kg eingestellt. Über die 22 Zoll große Scheibe vor dem Schar wird der Boden und Erntereste durchgeschnitten. Die

Scheibe dient zusätzlich für die präzise Tiefenführung des Gerätes. Räumsscheiben vor dem Schar beseitigen Pflanzenreste, um die Verstopfungsgefahr zu senken. Das Schar bricht den Boden auf und appliziert über einen Schlauch hinter dem Schar die Gülle. Die Tiefe des Güllebandes betrug ca. 18–20 cm (Abbildung 9). Nach dem Schar wird der aufgebrochene Boden über eine Andruckrolle wieder verdichtet.



Abb. 9: Strip Tillage – „Spatenstich“

Abb. 10: Orthmann Strip Tillage-Aggregat

3.2.7 Scheibentechnik Mais (SC)

Für die Düngung in den Maisbestand kam ein Eigenbau (Abbildung 11) vom Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zum Einsatz. Das Gerät besteht aus einem speziellen Rahmen, welcher für den Arbeitseinsatz hydraulisch von 3 m auf 3,75 m verbreitert werden kann. An diesem Rahmen wurden fünf Aggregate eines Strip Tillage-Geräts des amerikanischen Herstellers Yetter (Abbildung 12) montiert. Die Funktionsweise ähnelt der des Orthmann Strip Tillage-Geräts. Auch hier werden über die 22 Zoll großen Scheiben vor der Schar der Boden und Erntereste durchschnitten, zusätzlich befinden sich neben den Scheiben Rollen zur gleichmäßigen Tiefenführung. Räumsscheiben vor der Schar beseitigen Pflanzenreste. Das Schar bricht den Boden auf und appliziert über einen Schlauch hinter der Schar die Gülle. Die Tiefe des Güllebandes betrug ca. 10 cm. Nach der Schar wird der aufgebrochene Boden über eine Krümelwalze wieder verdichtet. Über diese Walze wird auch die Arbeitstiefe des Schar eingestellt.



Abb. 11: Scheibentechnik Mais

Abb. 12: Yetter Strip Tillage-Aggregat

3.3 Saat

Der Winterweizen wurde mit einem herkömmlichen Sägerät im Drillsaatverfahren quer zur Gülleausbringrichtung gesät. Der Reihenabstand betrug 12,5 cm. Die Aussaatdichte lag zwischen 320 und 330 Körner pro Quadratmeter, was zu einer Aussaatmenge von 170–185 kg/ha führte.

Die Maissaat erfolgte mit einem Einzelkornsägerät mit einer Arbeitsbreite von 3,0 m und einem Reihenabstand von 75 cm. Die Aussaatdichte lag bei 10 Körnern pro Quadratmeter, mit einem Abstand in der Reihe von 13 cm. Die Aussaat erfolgte GPS unterstützt.

3.4 Ernte Grünroggen

Die Grünroggenernte wurde 2018 mit einem Schmetterlingsmäherwerk durchgeführt. Nachdem der Grünroggen mit einem Schwader zu einem Schwad außerhalb der Versuchspartellen gelegt wurde, konnte der Grünroggen mit einem Ladewagen abgefahren werden. Im Jahr 2017 konnte nicht mit herkömmlicher Technik gearbeitet werden, da dies die Bodenverhältnisse nicht zuließen. Deshalb wurde der Grünroggen mit Hand per Balkenmäher (Brielmaier, Abbildung 14) gemäht und anschließend mit einem Schwadaufsatz (Abbildung 13) auf Schwad gelegt, um den Versuchsfehler „Bodendruck“ in diesem Jahr ausschließen zu können. Die Abfuhr erfolgte dann mit einem Ladewagen. Der Mäher hat 14 kW_{el} Leistung und die Schnittbreite des Mähbalkens war 2,35 m. Der Schwadaufsatz bzw. Rechen (Hill-Rake) besaß eine Arbeitsbreite von 2,4 m.



Abb. 13: Hill-Rake



Abb. 14: Balkenmäher

3.5 Ernte Winterweizen

Die Ernte von Winterweizen (WW) erfolgte über einen Versuchspartellenmähdrescher der Firma Wintersteiger (Abbildung 15). Die Partellen hatten eine Breite von 2,3 m und eine Länge von 10 m. Bei einer Schnittbreite des Mähdreschers von 1,5 m wurde jede Partelle mittels Kerndruschverfahren beerntet.



Abb. 15: Parzellenmähdrescher

3.6 Ernte Silomais

Zuerst wurden die im Feld liegenden Parzellen mit einem praxisüblichen Feldhäcksler freihäckselt. Die Silomaisernte der Parzellen wurde mit einem Versuchsparzellenhäcksler durchgeführt. Mit dem Häcksler wurden immer nur die mittleren beiden Maisreihen pro Parzelle geerntet und gleichzeitig gewogen. Außerdem wurde pro Parzelle eine Probe für die Inhaltsbestimmung des Silomaises gezogen. Nach der Wiegung wurde der Mais auf einen Silagewagen verladen (Abbildung 16).



Abb. 16: Versuchshäcksler und Silagewagen

3.7 Versuchsaufbau

3.7.1 Versuch Winterweizen (V 557)

3.7.1.1 Versuchsaufbau V 557

Neben Mais und Reis zählt Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) bezogen auf die Produktionsmenge zu den wichtigsten Getreidearten weltweit und nimmt den größten Anbauumfang bezogen auf die Fläche ein.

Die Düngeversuche mit Biogasgärrest zu Winterweizen wurden auf jährlich wechselnden Flächen für drei Jahre am Standort Puch, sowie an drei weiteren Orten im Landkreis Fürstentfeldbruck (2016 in Rottbach, 2017 in Zötzelhofen, 2018 in Poigern) durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte als einfaktorielles lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen. Innerhalb der Versuchsanlage wurden verschiedene Versuchsblöcke angelegt um folgende Fragen zu beantworten.

- a. Welchen Einfluss hat die Ausbringtechnik bei der organischen Düngung auf Ertragsparameter?
- b. Wie wirkt sich eine Kombination mit Biogasgärrest und mineralischer Düngung (KAS) auf den Ertrag und die Qualität (Rohprotein) aus?
- c. Welche Auswirkung hat eine Ausbringung von Biogasgärresten zu unterschiedlichen Vegetationsstadien auf Ertrag, Qualität und N-Wirkung des organischen Düngers?
- d. Welche N-Wirkung kann mit einer Kombination aus Biogasgärrest und mineralischem Dünger erzielt werden?
- e. Welche Erträge und Rohproteingehalte können bei einer Düngungssteigerung mit mineralischem Dünger erzielt werden?
- f. Welche Auswirkung hat die unterschiedliche Düngung auf den N_{\min} -Wert nach der Ernte?

Die Bodenbearbeitung und der Pflanzenschutz wurden nach ortsüblicher Praxis durchgeführt. In Tabelle 1 sind die einzelnen Versuchsglieder mit Ausbringtechnik der organischen Düngung, Düngeterminen und Dünagemengen dargestellt.

Tab. 1: *Düngeplan Versuch 557, organische N-Düngung mit BGR, mineralische N-Düngung mit KAS. Organische N-Düngung = 0: Überfahrt ohne BGR*

Vgl. Nr.	Technik	Ausbringzeitpunkt					
		Organische N-Düngung (kg N/ha)			Mineralische N-Düngung (kg N/ha)		
		Frühj. Frost	Veg. Beginn	BBCH 30	Veg. Beginn	BBCH 31	BBCH 37-39
1					0	0	0
2					40	40	20
3					50	50	50
4					60	60	60
5					70	70	70
6	Schleppschuh		0		60	60	60
7	Scheibentechnik		0		60	60	60
8	Scheibentechnik tief		0		60	60	60
9	Schleppschlauch	170			0	0	0
10	Schleppschlauch		170		0	0	0
11	Schleppschuh		170		0	0	0
12	Scheibentechnik		170		0	0	0
13	Scheibentechnik tief		170		0	0	0
14	Schleppschlauch	85			30	30	30
15	Schleppschuh		85		30	30	30
16	Scheibentechnik		85		30	30	30
17	Scheibentechnik tief		85		30	30	30
18	Schleppschlauch	170			0	30	30
19	Schleppschuh		170		0	30	30
20	Scheibentechnik		170		0	30	30
21	Scheibentechnik tief		170		0	30	30
22	Schleppschlauch			85	30	30	30
23	Schleppschuh			85	30	30	30
24	Scheibentechnik			85	30	30	30
25	Scheibentechnik tief			85	30	30	30
26	Schleppschlauch	85		85	30	0	30
27	Schleppschuh		85	85	30	0	30
28	Scheibentechnik		85	85	30	0	30
29	Scheibentechnik tief		85	85	30	0	30
30	Scheibentechnik			170	40	0	20
31	Scheibentechnik tief			170	40	0	20

In Tabelle 2 sind die allgemeinen Rahmenbedingungen und Begleitmaßnahmen des Versuches V 557 in Puch über alle drei Versuchsjahre aufgeführt.

Tab. 2: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V 557 Puch.

	2016	2017	2018
Sorte	Meister	Patras	Apostel
Vorfrucht	Wintertriticale	Hafer	Wintertriticale
Pflugeinsatz	Ja	Ja	Ja
Saatbettbereitung	Kreiselegge	Kreiselegge	Kreiselegge
Grunddüngung	PK 18+46 2 dt/ha Kieserit 1 dt/ha	Superphosphat 2,8 dt/ha 40er Kali 2,5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha	Superphosphat 0,85 dt/ha 40er Kali 2,5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha
Pflanzenschutz	CCC 720 0,5 l/ha Broadway 210 g/ha Capalo 1,6 l/ha Medax Top 0,3 l/ha Adexar 1,6 l/ha U 46 M-Fluid 1,5 l/ha Fastac ME 0,1 l/ha Prosaro 0,9 l/ha	Atlantis OD 1,0 l/ha Husar OD 80 ml/ha Medax Top 0,6 l/ha Input Classic 1,0 l/ha Adexar 1,6 l/ha Karate Zeon 0,075 l/ha U 46 M-Fluid 1,5 l/ha	Atlantis OD 1,0 l/ha Husar OD 80 ml/ha Input Classic 1,0 l/ha Moddus 0,3 l/ha U 46 M-Fluid 1,4 l/ha Karate Zeon 75 ml/ha Sympara 0,3 l/ha Elatus Era 0,8 l/ha

In Tabelle 3 sind die allgemeinen Rahmenbedingungen und Begleitmaßnahmen des Versuches V 557 zu den verschiedenen Standorten um Rottbach dargestellt.

Tab. 3: Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V 557 Orte um Rottbach.

	2016 Rottbach	2017 Zötzelhofen	2018 Poigern
Sorte	Kometus	Meister	Patras
Vorfrucht	Silomais	Silomais	Silomais
Pflugeinsatz	Ja	Ja	Ja
Saatbettbereitung	Kreiselegge	Kreiselegge	Kreiselegge
Grunddüngung	PK 18+46 2 dt/ha Kieserit 1 dt/ha	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
Pflanzenschutz	CCC 720 0,65 l/ha Broadway 140 g/ha Capalo 1,5 l/ha Bulldock 0,25 l/ha Adexar 2,0 l/ha	Atlantis OD 1,0 l/ha Husar 80 ml/ha Medax Top 0,6 l/ha Input Classic 1,0 l/ha Adexar 1,6 l/ha Karate Zeon 75 ml/ha U 46 M-Fluid 1,5 l/ha	Alliance 80 g/ha Atlantis WG 160 g/ha CCC 720 0,6 l/ha Saracen 80 ml/ha Credo 1,0 l/ha Elatus Era 1,0 l/ha Karate Zeon 75 ml/ha Horizon 0,5 l/ha

3.7.2 Versuch Silomais nach abfrierender Zwischenfrucht (V 558)

3.7.2.1 Versuchsaufbau V 558

Der Anbau von Silomais (*Zea mays* L.) für die Vergärung in der Biogasanlage ist durch den hohen Methanhektarertrag sehr sinnvoll. Zudem kann es bei der Ausbringung von Biogasgärresten zu Silomais (SM) im Frühjahr bzw. in den Bestand zu einer guten Verwertung kommen. Die Düngeversuche mit Biogasgärrest zu Silomais und einer abfrierenden Zwischenfrucht wurden auf jährlich wechselnden Versuchsstandorten (2016 in Rottbach, 2017 in Pöcklhof, 2018 in Dürabuch) durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte als einfaktorielles lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen. Innerhalb der Versuchsanlage wurden verschiedene Versuchsblöcke angelegt um folgende Fragen zu beantworten.

- Welchen Einfluss hat die Ausbringtechnik bei der organischen Düngung auf Ertragsparameter?
- Wie wirkt sich eine Kombination mit Biogasgärrest und mineralischer Düngung auf den Ertrag und die N-Abfuhr aus?
- Welche Auswirkung hat eine Ausbringung von Biogasgärresten zu unterschiedlichen Vegetationsstadien auf Ertrag und N-Wirkung des organischen Düngers?
- Wie wirkt sich die Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen zu Biogasgärrest aus?
- Welche N-Wirkung kann mit einer Kombination aus Biogasgärrest und mineralischem Dünger erzielt werden?
- Welche Erträge und N-Salden können bei einer Düngungssteigerung mit mineralischem Dünger erzielt werden?
- Welche Auswirkung hat die unterschiedliche Düngung auf den N_{\min} -Wert nach der Ernte?

In Tabelle 4 sind die einzelnen Versuchsglieder mit Ausbringtechnik der organischen Düngung, Ausbringzeitpunkte und Düngemengen dargestellt.

Tab. 4: *Düngeplan Versuch 558, organische N-Düngung mit BGR, mineralische N-Düngung mit KAS, nS = neben Saatreihe, uS = unter Saatreihe, 2016 wurde Entec (4 l/ha) statt Piadin(6 l/ha) verwendet, * nur Versuchsjahr 2017 und 2018.*

Vgl. Nr.	Technik	Ausbringzeitpunkt					Bemerkung
		Organische N-Düngung (kg N/ha)		Mineralische N-Düngung (kg N/ha)			
		vor Saat	30 cm Wuchsh.	vor Saat	Unterfußdüngung	bei 20 cm Wuchshöhe	
1				0	0	0	
2				0	30	0	
3				0	30	40	
4				0	30	80	
5				40	30	80	
6				80	30	80	
7				120	30	80	
8				70	0	80	ohne U-Fuß
9	Schleppschuh		170	0	30	0	15 cm nS
10	Scheibentechnik		170	0	30	0	37,5 cm nS
11	Breitverteilung	170		0	30	0	
12	Breitverteilung + Schleppschuh	100	70	0	30	0	2. Gabe 15 cm nS
13	Breitverteilung + Schleppschuh	150	100	0	30	0	2. Gabe 15 cm nS
14	Breitverteilung + Scheibentechnik	100	70	0	30	0	2. Gabe 37,5 cm nS
15	Breitverteilung	170		0	30	30	
16	Breitverteilung + Scheibentechnik	100	70	0	30	30	2. Gabe 37,5 cm nS
17	Strip Tillage	170		0	30	0	20 cm nS
18	Strip Tillage	170		0	30	0	uS
19	Strip Tillage	170+P		0	30	0	uS + Piadin
20	Strip Tillage	170		0	0	30	uS
21	Strip Tillage	170+P		0	0	30	uS + Piadin
22	Strip Tillage	170		0	30	30	uS
23	Strip Tillage	170+P		0	30	30	uS + Piadin
24*	Scheibentechnik tief	170		0	30	0	
25*	Scheibentechnik tief	170		0	30	0	Kreiselegge

In Tabelle 5 sind die allgemeinen Rahmenbedingungen und Begleitmaßnahmen des Versuches V 558 zu den verschiedenen Standorten um Rottbach aufgeführt.

Tab. 5: *Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V 558 Orte um Rottbach.*

	2016 Rottbach	2017 Pöcklhof	2018 Dürabuch
Sorte	LG3216	LG3216	LG3216
Vorfrucht	Wintergerste	Sommergerste	Winterweizen
Zwischenfrucht	TerraLife BioMax	TerraLife BioMax	TerraLife AquaPro ohne Buchweizen
Pflugeinsatz	Ja	Ja	Ja
Saatbettbereitung	Kreiselegge	Kreiselegge	Kreiselegge
Grunddüngung	PK 18+46 4 dt/ha Kieserit 1 dt/ha	Superphosphat 18 5,5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha 40er Kali 2,5 dt/ha Kohlesauerer Kalk 60 dt/ha	Kieserit 1 dt/ha Novaphos 4,35 dt/ha* 40er Kali 2,5 dt/ha* * Vgl. 1 bis 8
Pflanzenschutz	MON 79991-SG 2,5 kg/ha Delicia Schnecken Lin- sen 3 kg/ha Arigo 330 g/ha	Roundup Ultra 4 l/ha Laudis WG 2 l/ha Aspect 1,5 l/ha	Plantaclean 450 Premium 9,63 l/ha Aspect 1,5 l/ha Laudis 2,0 l/ha

3.7.3 Versuch Silomais nach Zweitfrucht Grünroggen (V 559)

3.7.3.1 Versuchsaufbau V 559

Der Düngerversuch mit Biogasgärrest zu Silomais und der Zweitfrucht Wintergrünroggen mit Ernte im Frühjahr, wurde auf jährlich wechselnden Versuchsstandorten (2017 in Pöcklhof, 2018 in Dürabuch) durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte als einfaktorielles lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen. Innerhalb der Versuchsanlage wurden verschiedene Versuchsblöcke angelegt um folgende Fragen zu beantworten.

- Welchen Einfluss hat die Ausbringtechnik bei der organischen Düngung auf Ertragsparameter?
- Wie wirkt sich eine Kombination mit Biogasgärrest und mineralischer Düngung auf den Ertrag und die N-Abfuhr aus?
- Welche Auswirkung hat eine Ausbringung von Biogasgärresten zu unterschiedlichen Vegetationsstadien auf Ertrag und N-Wirkung des organischen Düngers?
- Wie wirkt sich die Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen zu Biogasgärrest aus?
- Welche N-Wirkung kann mit einer Kombination aus Biogasgärrest und mineralischem Dünger erzielt werden?
- Welche Erträge und N-Salden können bei einer Düngungssteigerung mit mineralischem Dünger erzielt werden?

- g. Welche Auswirkung hat die unterschiedliche Düngung auf den N_{\min} -Wert nach der Ernte?

In Tabelle 6 sind die einzelnen Versuchsglieder mit Ausbringtechnik der organischen Düngung, Ausbringzeitpunkte und Düngemengen dargestellt.

Tab. 6: *Düngeplan Versuch 559, organische N-Düngung mit BGR, mineralische N-Düngung mit KAS, nS = neben Saatreihe, uS = unter Saatreihe, P = Piadin(6 l/ha).*

Vgl. Nr.	Technik	Ausbringzeitpunkt					Bemerkung
		Organische N-Düngung (kg N/ha)		Mineralische N-Düngung (kg N/ha)			
		vor Saat	30 cm Wuchsh.	vor Saat	Unterfußdüngung	bei 20 cm Wuchshöhe	
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	
8	Breitverteilung	170	0	0	30	0	
9	Breitverteilung + Schleppschuh	100	70	0	30	0	2. Gabe 15 cm nS
10	Breitverteilung + Scheibentechnik	100	70	0	30	0	2. Gabe 37,5 cm nS
11	Schleppschuh	0	170	0	30	0	15 cm nS
12	Scheibentechnik	0	170	0	30	0	37,5 cm nS
13	Breitverteilung	170	0	0	30	30	
14	Breitverteilung + Scheibentechnik	100	70	0	30	30	2. Gabe 37,5 cm nS
15	Strip Tillage	170	0	0	30	0	20 cm nS
16	Strip Tillage	170	0	0	30	0	uS
17	Strip Tillage	170 + P	0	0	30	0	uS + Piadin
18	Strip Tillage	170	0	0	0	30	uS
19	Strip Tillage	170	0	0	30	30	uS
20	Strip Tillage	170 + P	0	0	30	30	uS + Piadin

In Tabelle 7 sind die allgemeinen Rahmenbedingungen und Begleitmaßnahmen des Versuchs V 559 zu den beiden Standorten um Rottbach aufgeführt.

Tab. 7: *Begleitmaßnahmen und allgemeine Informationen V 559 Orte um Rottbach*

	2017 Pöcklhof	2018 Dürabuch
Sorte	Zoey	Zoey
Vorfrucht	Sommergerste	Winterweizen
Zwischenfrucht	Grünroggen	Grünroggen
Pflugeinsatz	Ja	Ja
Saatbettbereitung	Kreiselegge	Kreiselegge
Grunddüngung	Superphosphat 18 5,5 dt/ha Kieserit 1 dt/ha 40er Kali 2,5 dt/ha Kohlesauerer Kalk 60 dt/ha	Kieserit 1 dt/ha Novaphos 4,35 dt/ha* 40er Kali 2,5 dt/ha* * Vgl. 1 bis 7
Pflanzenschutz	Roundup Ultra 4 l/ha Laudis WG 2 l/ha Aspect 1,5 l/ha	Aspect 1,5 l/ha Laudis 2,0 l/ha

3.8 Bestimmung der Qualitätsparameter im Erntegut und Untersuchung der organischen Dünger

Alle Untersuchungen im Erntegut, sowie N_{\min} -Untersuchungen wurden in der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising-Weihenstephan durchgeführt. Die Standardbodenuntersuchungen wurden am Fachzentrum Analytik der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau in Auftrag gegeben.

3.8.1 Trockensubstanzgehalt

Der Trockensubstanzgehalt bei Winterweizen wurde per Trockenschrank (105°C) ermittelt. Für die Ermittlung des Trockensubstanzgehalts in Silomais wurden zunächst von der Versuchsparzelle Proben automatisch vom Versuchsfeldhäcksler für jede Parzelle gezogen. Anschließend wurden die Proben auf einer Flachsatztrocknung bei ca. 40°C getrocknet. Referenzproben wurden für jede Wiederholung gezogen, um den Restwassergehalt in Trockenschränken bei einer Temperatur von 105°C zu ermitteln.

3.8.2 Rohprotein- und Stickstoffgehalt

Der Rohproteingehalt in Winterweizen wurde mit dem NIRS-Verfahren ermittelt. Der dadurch analysierte Rohproteingehalt wurde mit dem Faktor 5,7 dividiert, wodurch sich der N-Gehalt errechnet.

Zur Ermittlung der N-Gehalte in Silomais wurde das Verfahren NIRS angewendet.

3.8.3 Untersuchung der organischen Dünger

Für alle eingesetzten organischen Dünger (BGR) wurden zunächst Vorproben und unmittelbar vor der Ausbringung Hauptproben gezogen und analysiert. Der BGR wurde auf pH-Wert, Trockensubstanz (TS)-Gehalt, organische Substanz, Gesamtstickstoff (N_t), Ammoniumstickstoff (NH_4-N), Kaliumoxid (K_2O), Magnesiumoxid (MgO), Calciumoxid (CaO) und Phosphat (P_2O_5) untersucht.

3.8.4 Mineraldüngeräquivalente – MDÄ

Um die N-Wirkung organischer Dünger im Anwendungsjahr einzustufen und vergleichen zu können, ist das Mineraldüngeräquivalents (MDÄ) ein guter Parameter. Die N-Verfügbarkeit organischer Düngemittel wird dabei in Beziehung zur N-Verfügbarkeit mineralischer Dünger gesetzt und ist somit ein Indiz für die Ausnutzung organischer Düngemittel im Vergleich zu Mineraldünger. So ist es beispielsweise notwendig 151 kg N über einen organischen Dünger auszubringen, um den gleichen Ertrag zu erreichen wie mit einer mineralischen Düngung von 70 kg N (vergleiche Abbildung 17). Hierbei wird mit dem organischen Dünger ein MDÄ von 46,4 % erreicht (Berechnung: $(70 \text{ kg N/ha mineralisch} / 151 \text{ kg N organisch}) * 100 = 46,4\%$). Bei der Berechnung wurden die gasförmigen Ausbringverluste nicht abgezogen.

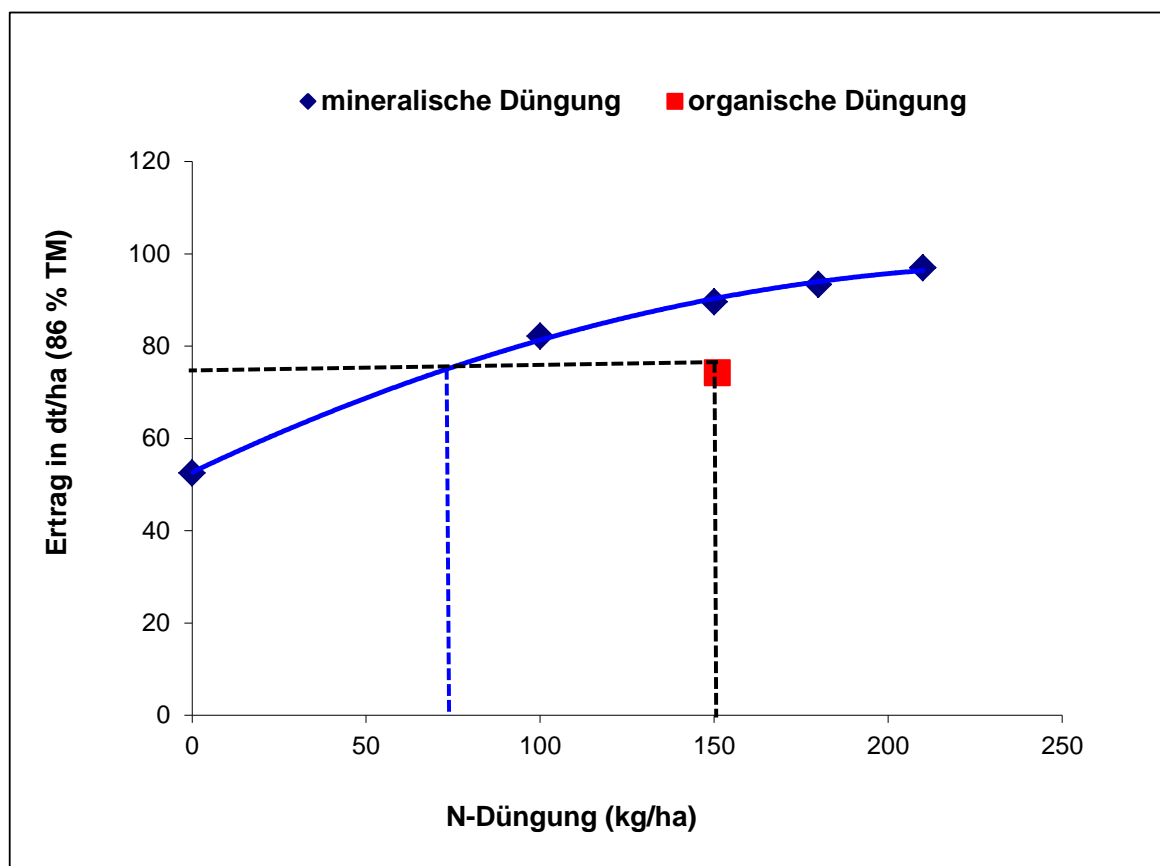


Abb. 17: Graphische Darstellung zur Ermittlung der Mineraldüngeräquivalente. Blaue Punkte=mineralische Düngungssteigerung, roter Punkt=ausgebrachte organische N-Düngermenge

3.9 Statistische Auswertung

Die Versuchsauswertung wurde mit der Statistiksoftware SAS (Version 9,2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durchgeführt. Zur Ermittlung signifikanter Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern wurde der Student-Newman-Keuls-Test (SNK-Test) verwendet. Dieser ermöglicht einen multiplen Mittelwertvergleich und wird im landwirtschaftlichen Versuchswesen häufig eingesetzt. Jedes Versuchsglied der einzelnen Versuche wurde über die Versuchsjahre gemittelt. Anschließend wurden die verschiedenen Versuchsblöcke innerhalb der Versuchsanlagen einzeln auf signifikante Unterschiede hin verrechnet. Bei den Winterweizenversuchen (V 557) wurden die Parameter Rohproteingehalt, Ertrag bei 86 % TM und die N_{\min} -Werte ausgewertet, bei Silomais (V 558 & V 559) die Parameter Trockenmasseertrag, N-Abfuhr und die N_{\min} -Werte.

3.10 Versuchsstandort Puch V 557 (Jahr 2016–2018)

Die Versuche am Standort Puch (Fürstenfeldbruck) wurden auf den Ackerflächen der dort ansässigen Versuchstation der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft durchgeführt. Hierbei handelt es sich um den Versuch zur Winterweizendüngung mit Biogasgärrest (V 557). Die Versuchsfläche rotierte mit der dortigen Fruchtfolge über den dreijährigen Versuchszeitraum.

3.10.1 Standortbeschreibung

Die Versuchstation Puch befindet sich westlich von Fürstenfeldbruck (48°11'12.523"N 11°13'11.192"E), auf einer Höhe von 550 m über dem Meeresspiegel, mit durchschnittlich 872 mm Niederschlag und einer Jahresmitteltemperatur von 8,8 °C (LfL, 2019). Puch liegt nach standortkundlicher Landschaftsgliederung im Gebiet der Altmoräne des Loisachgletschers. Der dort anzutreffende Bodentyp ist eine Braunerde aus Fließerde über Verwitterungsbildungen der Altmoräne (LfU, 2018) mit der Bodenart sandiger Lehm. Die Versuchsflächen wiesen keine Expositionen auf.

Der pH-Wert der Böden in 0-30 cm betrug 6,4–6,9 mit Phosphat-Gehalten von 10–17 mg P_2O_5 je 100 g Boden und Kali-Gehalten von 12–17 mg K_2O pro 100 g Boden. Der C_{org} -Gehalt der Ackerböden lag zwischen 1,10–1,34 %, bei Humusgehalten von 1,9–2,3 % und N_t -Gehalten von 0,11–0,17 %. Wichtige Bodenparameter der Versuchsflächen sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 aufgeführt. Die Bodenproben wurden jeweils vor Anlage der ortswechselnden Versuche gezogen.

Tab. 8: Bodendaten V 557 Puch.

Versuchsjahr	2016	2017	2018
Bodenart	Sandiger Lehm (sL)	Sandiger Lehm (sL)	Sandiger Lehm (sL)
Stärke Ackerkrume	26 cm	26 cm	26 cm
Ackerzahl	64	66	63

Tab. 9: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn des ortswechselnden Versuchs in Puch.

Versuchsjahr	2016	2017	2018
pH-Wert	6,9	6,4	6,8
P ₂ O ₅ (mg/100 g Boden)	15	10	17
K ₂ O (mg/100 g Boden)	17	12	16
Mg (mg/100 g Boden)	16	13	15
C _{org} (%)	1,10	1,11	1,34
Humus (%)	1,9	1,9	2,3
N _t (%)	0,11	0,12	0,17
C/N-Verhältnis	10,0	9,3	7,9

3.10.2 Witterung

Der Verlauf der Witterung vom 01.01.2016 bis 31.12.2018 am Standort Puch, gemessen an der dortigen Wetterstation (LfL, 2019), ist in Abbildung 18 dargestellt.

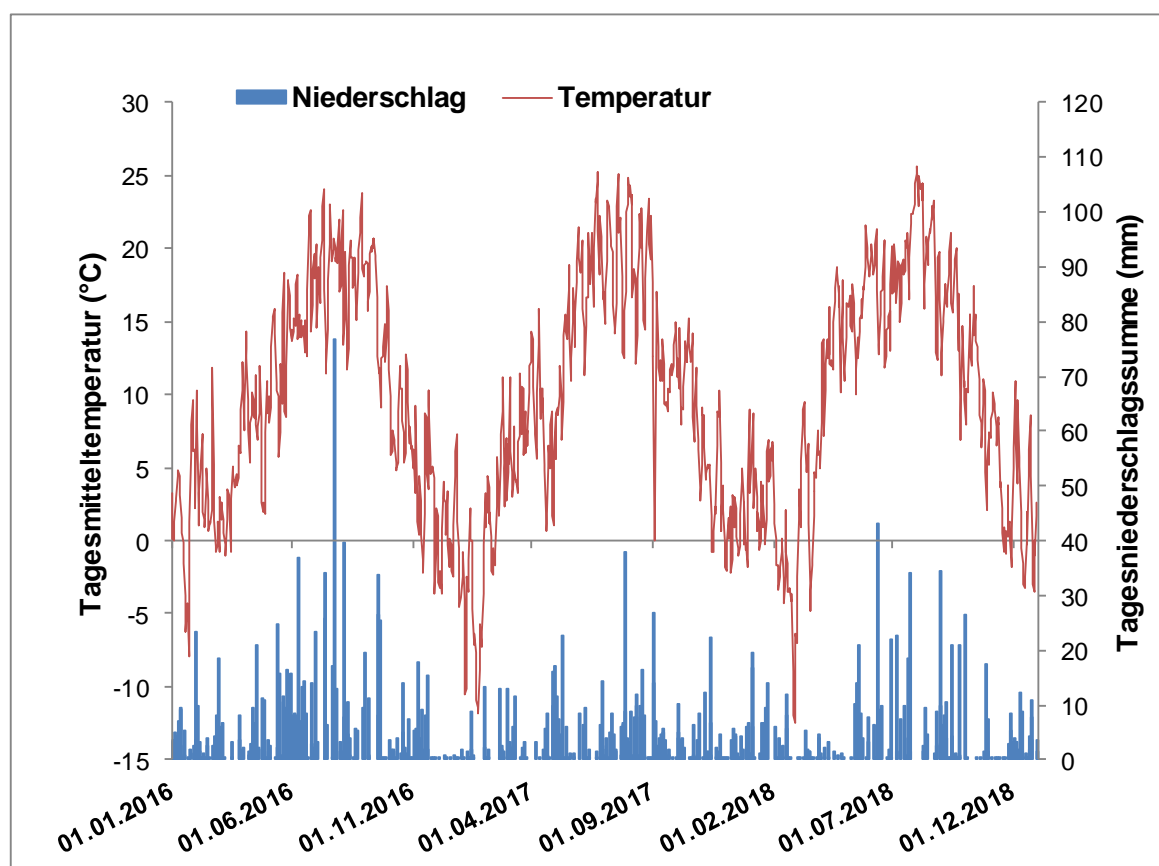


Abb. 18: Verlauf der Witterung vom 01.01.2016 bis 31.12.2018 am Standort Puch.

Im Versuchsjahr 2016 kam der Weizenbestand (Saat 13.10.2015) nach einem milden Winter ohne Auswinterungsschäden in die neue Vegetationsperiode. Nach überdurchschnittlichen Niederschlagssummen im Januar und Februar konnte am 09.03.2016 die organische

Düngung zu Frost bei optimalen Bedingungen ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, schwacher Wind), durchgeführt werden. Auch zu Vegetationsbeginn (05.04.2016, $12\text{ }^{\circ}\text{C}$) und zu BBCH 30 (03.05.2016, $9\text{ }^{\circ}\text{C}$,) war es möglich den Gärrest optimal auszubringen. Aufgrund von ständigen Niederschlägen im Mai konnte die mineralische Düngung zu BBCH 37–39 erst am 14.05.2016 zu BBCH 61 durchgeführt werden. Nach der ersten, sehr feuchten Jahreshälfte konnte der Weizen bei warmen und trockenen Bedingungen am 04.08.2016 geerntet werden.

Nach dem warmen und sonnenreichen September 2016 wurde der Weizen für das Versuchsjahr 2017 am 17.10.2016 ausgesät. Nach einem kühlen Winter konnte am 14.02.2017 die Düngung zu Frost planmäßig und bei $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durchgeführt werden. Aufgrund des warmen Märzwetters 2017 wurde zu Vegetationsbeginn am 28.03.2017 der organische Dünger bei sehr sonnigen Bedingungen und $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf trockenen Boden ausgebracht. Die Düngung zu BBCH 30 (11.05.2017) konnte nach einem Kälterückfall im April ebenfalls bei sonnigem Wetter und anfänglichem Tau ausgebracht werden. Der Sommer gestaltete sich in diesem Jahr warm und regenreich, trotz alledem konnte die Weizenernte planmäßig am 03.08.2017 durchgeführt werden.

Die Grundbodenbearbeitung sowie die Aussaat des Weizens (19.10.2017) für das Versuchsjahr 2018 erfolgten termingerecht und aufgrund des überdurchschnittlich warmen Wetters bei sehr guten Bodenverhältnissen. Der Feldaufgang war sehr gleichmäßig. Der Weizenbestand entwickelte sich sehr gut und ging kräftig in den Winter. Es gab keine Auswinterungsschäden. Das Jahr 2018 präsentierte sich allgemein als eines der wärmsten, sonnigsten und zugleich trockensten Jahre seit 1881 (DWD, 2018). Nach einem milden und niederschlagsreichen Januar verlief die organische Düngung zu Frost (06.02.2018) aufgrund eines kurzen Kälteeinbruches ohne Probleme, bei einer Temperatur von $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Im Frühjahr entwickelte sich der Bestand trotz des fehlenden Regens sehr gut. Die Düngung zu Vegetationsbeginn (11.04.2018, $13\text{ }^{\circ}\text{C}$) und zu BBCH 30 (26.4.2018, $11\text{ }^{\circ}\text{C}$, windig, stark bewölkt) erfolgte bei guten Bodenbedingungen. Trotz des fehlenden Niederschlags waren die Erträge überraschend durchschnittlich. Die Abreife erfolgte ca. 3 Wochen früher als im Durchschnitt der Jahre, weshalb die Ernte am 26.07.2018 erfolgen konnte.

3.10.3 Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Puch

Der für die in Puch angelegten Versuche benötigte Biogasgärrest wurde aus zwei verschiedenen Biogasanlagen entnommen.

Im Jahr 2016 wurde Gärrest aus einer Biogasanlage verwendet, welche im November 2010 in Betrieb genommen wurde und eine Dauerleistung von $440\text{ kW}_{\text{el}}$ aufwies. Die Anlage besteht aus einem Fermenter, einem Nachgärbehälter sowie zwei 2700 m^3 Gärrestlägern. Das Eingangssubstrat, bestehend aus etwa 52–56 % Maissilage, 22–24 % Rindermist (Tretmist, Bullenmast) und 22–24 % Milchviehgülle wird laut Landwirt bei einer Betriebstemperatur von $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einer Verweilzeit von ca. 93 Tagen vergoren.

Der in den Jahren 2017 und 2018 verwendete Biogasgärrest entstammte einer 2007 in Betrieb genommenen Biogasanlage mit einer installierten elektrischen Leistung von $385\text{ kW}_{\text{el}}$. Die Anlage besteht aus einem Fermenter, einem Nachgärer sowie einem abgedeckten, 5000 m^3 fassenden Endlager. Nach Angaben des Betreibers beträgt die Betriebstemperatur $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei einer Verweildauer von ca. 120 Tagen. Als Eingangssubstrat wird Grassilage aus Weidelgras und Wiesengras, Silomais und Mastbullengülle verwendet.

3.11 Versuchsstandort Rottbach V 557, V 558 (Jahr 2016)

Die im Jahr 2016 am Standort Rottbach (Gemeinde Maisach, Landkreis Fürstentfeldbruck) durchgeführten Versuche wurden auf den Ackerflächen eines dort ansässigen Landwirts durchgeführt. Hierbei handelt es sich um den Versuch zur Winterweizendüngung mit Biogasgärrest (V 557) und den Versuch zur Silomaisdüngung nach abfrierender Zwischenfrucht (V 558). Die Versuche wurden von der Versuchsstation der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Puch durchgeführt.

3.11

3.11.1 Standortbeschreibung

Die Versuchsfläche in Rottbach liegt etwa 10 km südlich von Fürstentfeldbruck (48°15'32.699"N 11°14'49.567"E), auf einer Höhe von 520 m über dem Meeresspiegel mit durchschnittlich 783 mm Niederschlag und einer Jahresmitteltemperatur von 8,8 °C (LfL, 2019). Rottbach befindet sich nach standortkundlicher Landschaftsgliederung im löblehmbeeinflussten oberbayerischen Tertiärhügelland. Der dort anzutreffende Bodentyp ist Braunerde aus Löblehm mit Molassematerial (LfU, 2018) mit der Bodenart stark lehmiger Sand. Die Versuchsflächen wiesen eine sehr leichte, südwestliche Exposition auf.

In den ersten 30 cm des Bodens betrug der pH-Wert der Böden 5,4–5,8 bei Phosphatgehalten von 10–12 mg P₂O₅ je 100 g Boden und Kali-Gehalten von 18–21 mg K₂O pro 100 g Boden. Der C_{org}-Gehalt der Böden lag zwischen 1,08–1,11 % bei Humusgehalten von 1,9 % und N_t-Gehalten von 0,10 %. Wichtige Bodenparameter der Versuchsflächen sind in Tabelle 11 und Tabelle 12 aufgeführt. Die Bodenproben wurden jeweils vor Versuchsanlage der ortswechselnden Versuche gezogen.

Tab. 11: Bodendaten V 557 & V 558 Rottbach, 2016.

Versuch	V 557	V 558
Bodenart	Stark lehmiger Sand (st.IS)	Stark lehmiger Sand (st.IS)
Stärke Ackerkrume	30 cm	30 cm
Ackerzahl	54	56

Tab. 12: Standardbodenuntersuchungen vor Versuchsbeginn Rottbach.

Versuch	V 557	V 558
pH-Wert	5,8	5,4
P ₂ O ₅ (mg/100 g Boden)	10	12
K ₂ O (mg/100 g Boden)	18	21
Mg (mg/100 g Boden)	6	--
C _{org} (%)	1,08	1,11
Humus (%)	1,9	1,9
N _t (%)	0,10	0,10

C/N-Verhältnis	10,8	11,1
----------------	------	------

3.11.2 Witterung

Der Verlauf der Witterung am Standort Rottbach, gemessen an der 3 km entfernten Wetterstation in Dürabuch (LfL, 2019) ist in Abbildung 19 dargestellt.

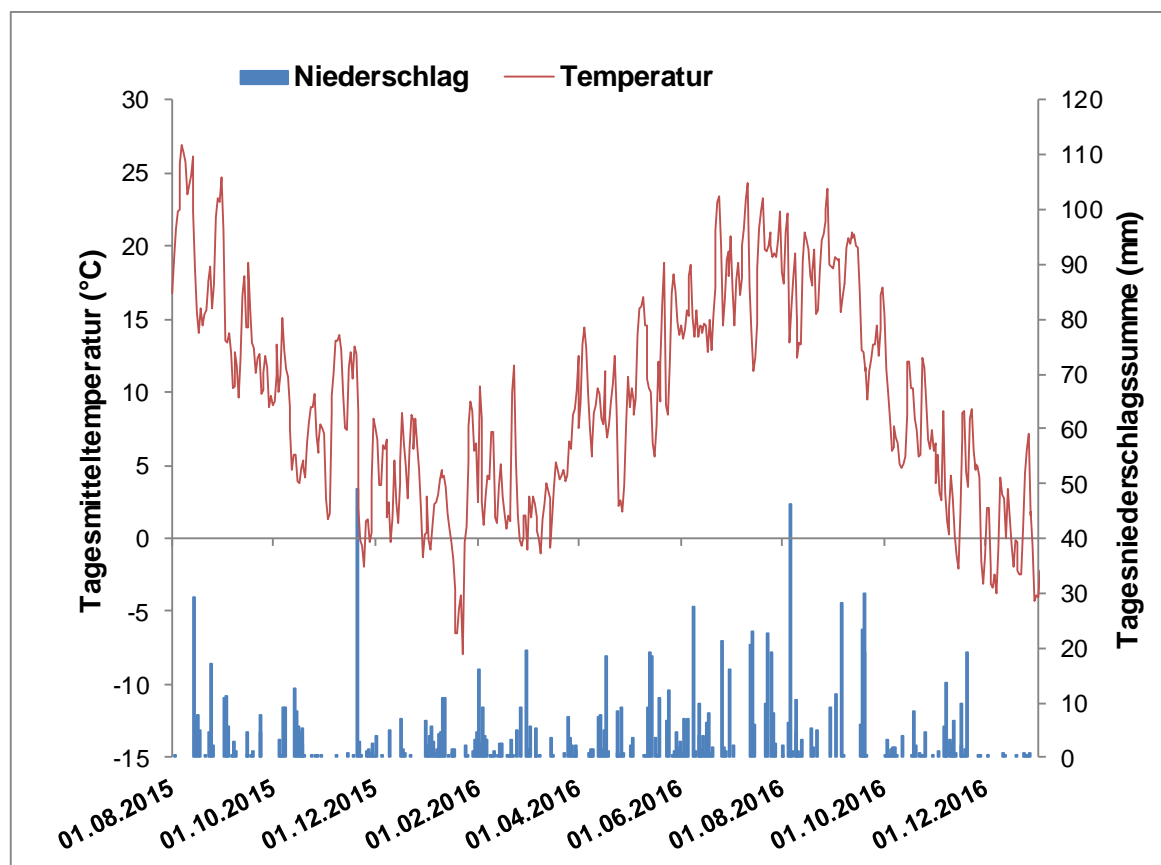


Abb. 19: Verlauf der Witterung vom 01.08.2015 bis 31.12.2016 am Standort Rottbach.

Der Winterweizen (V 557) für das Versuchsjahr 2016 in Rottbach konnte am 13.10.2015 gesät werden. Bei optimalem Feldaufgang entwickelte sich ein guter Bestand. Nach einem milden Winter kam dieser ohne Auswinterungsschäden in die neue Vegetationsperiode. Nach den hohen Niederschlägen im Januar und Februar konnte die erste organische Düngung bei wenigen Frosttagen am 09.03.2016 (-1 °C, schwacher Wind) auf gefrorenem Boden ausgebracht werden. Der Bestand konnte zu Vegetationsbeginn (06.04.2016, 11 °C) und BBCH 30 (02.05.2016, 14°C) optimal organisch gedüngt werden. Nach der ersten, sehr feuchten Jahreshälfte wurde die Weizenernte bei warmen und trockenen Bedingungen am 08.08.2016 durchgeführt.

Nach der hochsommerlichen Hitze im Jahr 2015 wurde die Zwischenfrucht für den Maisversuch 558 am 21.08.2015 ausgesät. Der Bestand entwickelte sich bei ausreichenden Niederschlägen und milden Herbsttemperaturen gut. Der milde Winter ließ die Zwischenfrucht nur in Teilen abfrieren weshalb ein Mulchen des noch grünen Bestandes, bei Frost nötig war. Die erste BGR-Gabe für den frühen Mais erfolgte am 09.05.2016 vor der Maisaat bei durchschnittlich 16 °C und trockenen Bodenverhältnissen. Die Aussaat des Maises erfolgte am 11.05.2016 in diesem vergleichsweise feuchten Frühjahr in den relativ

feuchten Boden. Die zweite organische Düngergabe wurde am 28.06.2016 (22 °C) in den Maisbestand ausgebracht. Der Sommer gestaltete sich warm und trocken. Bei diesen Bedingungen entwickelte sich ein sehr guter Bestand. Nach dem warmen und sonnenreichen September 2016 wurde der Mais am 05.10.2016 geerntet.

3.11.3 Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Rottbach

Der am Standort Rottbach verwendete Biogasgärrest entstammt ebenfalls der in Kapitel 3.10.3 beschriebenen Biogasanlage. Der Gärrest wurde direkt aus dem Endlager der Biogasanlage entnommen. Proben für die Gärrestanalyse wurden zwei Wochen vor der Ausbringung sowie unmittelbar vor der Ausbringung entnommen. Der Gesamtstickstoffgehalt des Biogasgärrestes lag bei Versuch 557 im Mittel bei 4,50 kg N_t/m³ mit einer Standardabweichung von 0,26 kg N_t/m³ und bei Versuch 558 im Mittel bei 4,65 kg N_t/m³ mit einer Standardabweichung von 0,35 kg N_t/m³. Die im Biogasgärrest ermittelten Nährstoffe können Tabelle 13 entnommen werden.

Tab. 13: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) in Rottbach, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, NH₄-N nach CaCl₂-Extraktion.

Inhaltsstoffe	Rottbach				
	V 557			V 558	
	2016				
Düngetermin	Frost	Veg. Beginn	BBCH 30	vor Saat	30cm
Org. Substanz (kg/m ³)	50,2	49,1	45,0	52,2	46,6
pH-Wert	7,7	7,6	7,7	7,8	7,9
TS-Gehalt (%)	6,7	6,9	6,0	6,8	6,4
N _t (kg/m ³)	4,6	4,7	4,2	4,9	4,4
NH ₄ -N (kg/m ³)	2,1	2,1	2,0	2,3	2,1
K ₂ O (kg/m ³)	5,5	4,6	4,4	5,4	4,6
MgO (kg/m ³)	1,1	1,5	0,9	1,1	--
CaO (kg/m ³)	1,1	1,5	1,7	1,7	--
P ₂ O ₅ kg/m ³	2,0	3,2	1,7	1,9	2,2

3.12 Versuchsstandort Zötzelhofen V 557 (Jahr 2017)

Der im Jahr 2017 am Standort Zötzelhofen (Gemeinde Maisach, Landkreis Fürstenfeldbruck) durchgeführte Versuch wurde auf einer Ackerfläche eines dort ansässigen Landwirts durchgeführt. Hierbei handelt es sich um den Versuch zur Winterweizendüngung mit Biogasgärrest (V 557). Der Versuch wurde von der Versuchsstation der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Puch durchgeführt.

3.12.1 Standortbeschreibung

Die Versuchsfläche in Zötzelhofen liegt etwa 12 km südlich von Fürstenfeldbruck (48°15'25.974"N 11°16'5.437"E), auf einer Höhe von 535 m über dem Meeresspiegel mit durchschnittlich 783 mm Niederschlag und einer Jahresmitteltemperatur von 8,8 °C (LfL, 2019). Zötzelhofen befindet sich nach standortkundlicher Landschaftsgliederung im löblehmbeeinflussten oberbayerischen Tertiärhügelland. Der auf der Versuchsfläche anzutreffende Bodentyp ist eine Braunerde aus lehmig-sandigem Molassematerial (LfU, 2018) mit der Bodenart stark lehmiger Sand. Die Versuchsfläche wies keine Expositionen auf.

Der pH-Wert des Bodens betrug in den ersten 30 cm des Ap-Horizonts 5,7, der Phosphat-Gehalt 27 mg P₂O₅ je 100 g Boden und der Kali-Gehalt 19 mg K₂O pro 100 g Boden. Der C_{org}-Gehalt lag bei 1,19 % mit einem Humusgehalt von 2,1 % und einem N_t-Gehalt von 0,12 %. Wichtige Bodenparameter der Versuchsflächen sind in Tabelle 14 und Tabelle 15 aufgeführt. Die Bodenproben wurden jeweils vor Versuchsanlage der ortswechselnden Versuche gezogen.

Tab. 14: Bodendaten V 557 Zötzelhofen.

Versuch	V 557
Bodenart	Stark lehmiger Sand (st.IS)
Stärke Ackerkrume	32 cm
Ackerzahl	60

Tab. 15: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn V557 Zötzelhofen.

Versuch	V557
pH-Wert	5,7
P ₂ O ₅ (mg/100 g Boden)	27
K ₂ O (mg/100 g Boden)	19
Mg (mg/100 g Boden)	8
C _{org} (%)	1,19
Humus (%)	2,1
N _t (%)	0,12

C/N-Verhältnis	9,9
----------------	-----

3.12.2 Witterung

Der Verlauf der Witterung am Standort Zötzelhofen, gemessen an der 4 km entfernten Wetterstation in Dürabuch (LfL, 2019) ist in Abbildung 20 dargestellt.

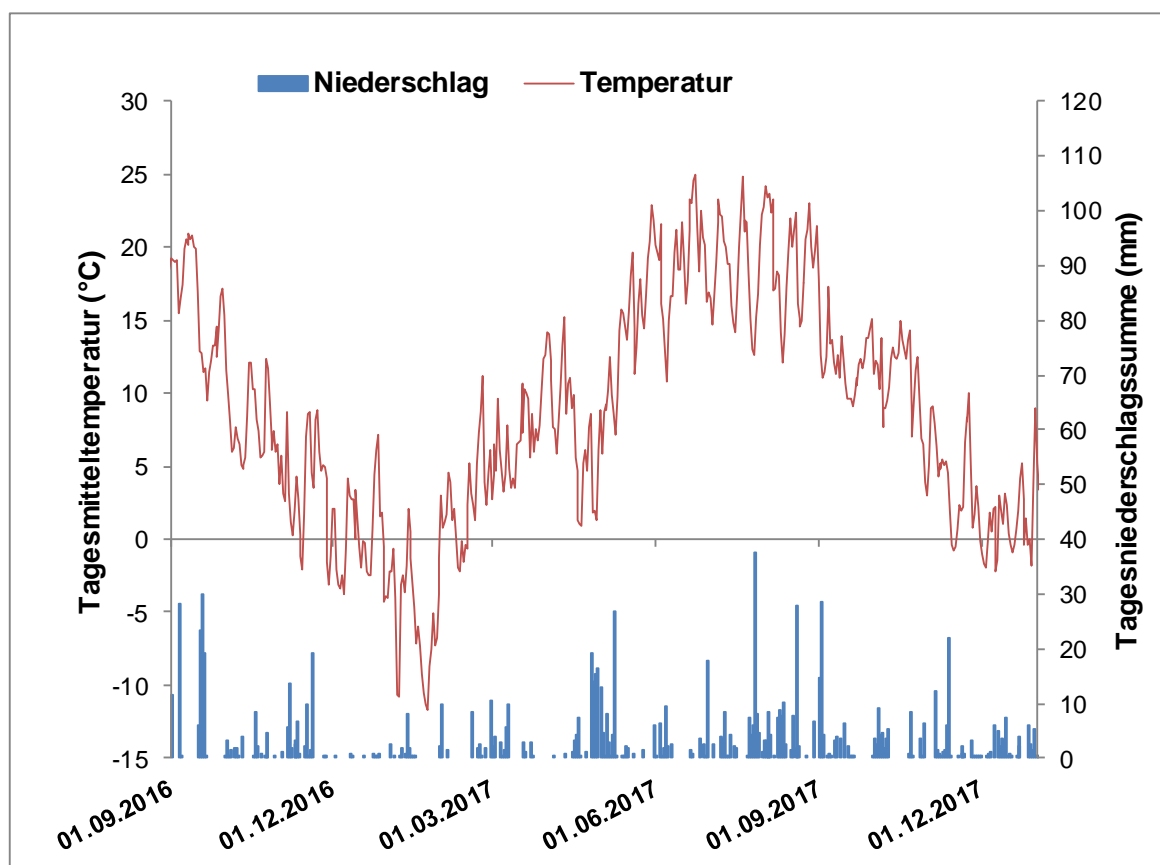


Abb. 20: Verlauf der Witterung vom 01.09.2016 bis 31.12.2017 am Standort Zötzelhofen.

Nach einem sonnenreichen und warmen September 2016 wurde der Weizen für das Versuchsjahr 2017 am 18.10.2016 ausgesät. Ab Oktober kühlten sich die Temperaturen ab und so war es möglich, nach einem kühlen Winter am 14.02.2017 die Düngung zu Frosttermingerecht und ohne Probleme, bei -3 °C durchzuführen. Aufgrund des warmen Märzwetters 2017 konnte zu Vegetationsbeginn am 28.03.2017 der organische Dünger bei sehr sonnigen, leicht windigen Bedingungen und $8\text{--}15\text{ °C}$ ausgebracht werden. Die Düngung zu BBCH 30 (25.04.2017) konnte nach einem Kälterückfall im April bei bewölktem und regnerischem Wetter (7 °C) ausgebracht werden. Dabei war der Boden jedoch ausreichend tragfähig. Der Sommer gestaltete sich in diesem Jahr warm und regenreich, trotzdem konnte der Weizen, nach normaler Abreife und bei durchschnittlichem Ertrag, planmäßig am 01.08.2017 geerntet werden.

3.12.3 Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Zötzelhofen

Der am Standort Zötzelhofen verwendete Biogasgärrest entstammt der in Kapitel 3.10.3 beschriebenen Biogasanlage. Der Gärrest wurde direkt aus dem Endlager der Biogasanlage entnommen. Proben für die Gärrestanalyse wurden zwei Wochen vor der Ausbringung sowie unmittelbar vor der Ausbringung entnommen. Der Gesamtstickstoffgehalt des Biogasgärrestes lag im Mittel bei $3,4 \text{ kg N}_t/\text{m}^3$ mit einer Standardabweichung von $0,6 \text{ kg N}_t/\text{m}^3$. Die im Biogasgärrest ermittelten Nährstoffe können Tabelle 16 entnommen werden.

Tab. 16: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) in Zötzelhofen, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, $\text{NH}_4\text{-N}$ nach CaCl_2 -Extraktion

Inhaltsstoffe	Zötzelhofen		
	2017		
Düngetermin	Frost	Veg. Beginn	BBCH 30
Org. Substanz (kg/m^3)	35,3	33,2	50,3
pH-Wert	7,9	7,7	7,7
TS-Gehalt (%)	4,8	4,5	6,9
N_t (kg/m^3)	3,1	3,0	4,1
$\text{NH}_4\text{-N}$ (kg/m^3)	1,2	1,3	1,8
K_2O (kg/m^3)	--	4,4	4,7
MgO (kg/m^3)	--	0,6	0,9
CaO (kg/m^3)	--	1,3	1,8
P_2O_5 (kg/m^3)	--	1,3	2,2

3.13 Versuchsstandort Pöcklhof V 558, V 559 (Jahr 2017)

Der im Jahr 2017 am Standort Pöcklhof (Gemeinde Maisach, Landkreis Fürstentfeldbruck) durchgeführte Versuch wurde auf einer Ackerfläche eines dort ansässigen Landwirts durchgeführt. Hierbei handelt es sich um die beiden Versuche zur unterschiedlichen organischen Düngemenge zu Silomais (V 558, V 559). Die Versuche wurden von der Versuchsstation der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Puch durchgeführt.

3.13.1 Standortbeschreibung

Die Versuchsfläche am Standort Pöcklhof liegt etwa 12 km südlich von Fürstentfeldbruck (48°15'29.257"N 11°16'28.757"E), auf einer Höhe von 523 m über dem Meeresspiegel mit durchschnittlich 783 mm Niederschlag und einer Jahresmitteltemperatur von 8,8 °C (LfL, 2019). Pöcklhof befindet sich nach standortkundlicher Landschaftsgliederung im löblehmbeeinflussten oberbayerischen Tertiärhügelland. Der auf der Versuchsfläche anzutreffende Bodentyp ist eine Braunerde aus lehmig-sandigem Molassematerial (LfU, 2018) mit der Bodenart stark lehmiger Sand. Die Versuchsfläche wies keine Expositionen auf.

Laut Standardbodenuntersuchung des Oberbodens (0 – 30 cm) lag der pH-Wert bei 5,4–5,7 mit Phosphat-Gehalten von 11–14 mg P₂O₅ je 100 g Boden und Kali-Gehalten von 16–17 mg K₂O pro 100 g Boden. Der C_{org}-Gehalt wies Werte von 1,18–1,66 % auf, die Humusgehalte schwankten zwischen 2,0–2,9 % und die N_t-Gehalten zwischen 0,11–0,12 %. Wichtige Bodenparameter der Versuchsfläche sind in Tabelle 17 und Tabelle 18 aufgeführt. Die Bodenproben wurden jeweils vor Versuchsanlage der ortswechselnden Versuche gezogen.

Tab. 17: Bodendaten V 558 & V 559 Pöcklhof.

Versuch	V 558	V 559
Bodenart	Stark lehmiger Sand (st.IS)	Stark lehmiger Sand (st.IS)
Stärke Ackerkrume	32 cm	32 cm
Ackerzahl	44	54

Tab. 18: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn V558 & 559 Pöcklhof.

Versuch	V 558	V 559
pH-Wert	5,4	5,7
P ₂ O ₅ (mg/100 g Boden)	14	11
K ₂ O (mg/100 g Boden)	16	17
Mg (mg/100 g Boden)	10	12
C _{org} (%)	1,66	1,18
Humus (%)	2,9	2,0
N _t (%)	0,11	0,12
C/N-Verhältnis	15,1	9,8

3.13.2 Witterung

Der Verlauf der Witterung am Standort Pöcklhof, gemessen an der 5 km entfernten Wetterstation in Dürabuch (LfL, 2019) ist in Abbildung 21 dargestellt.

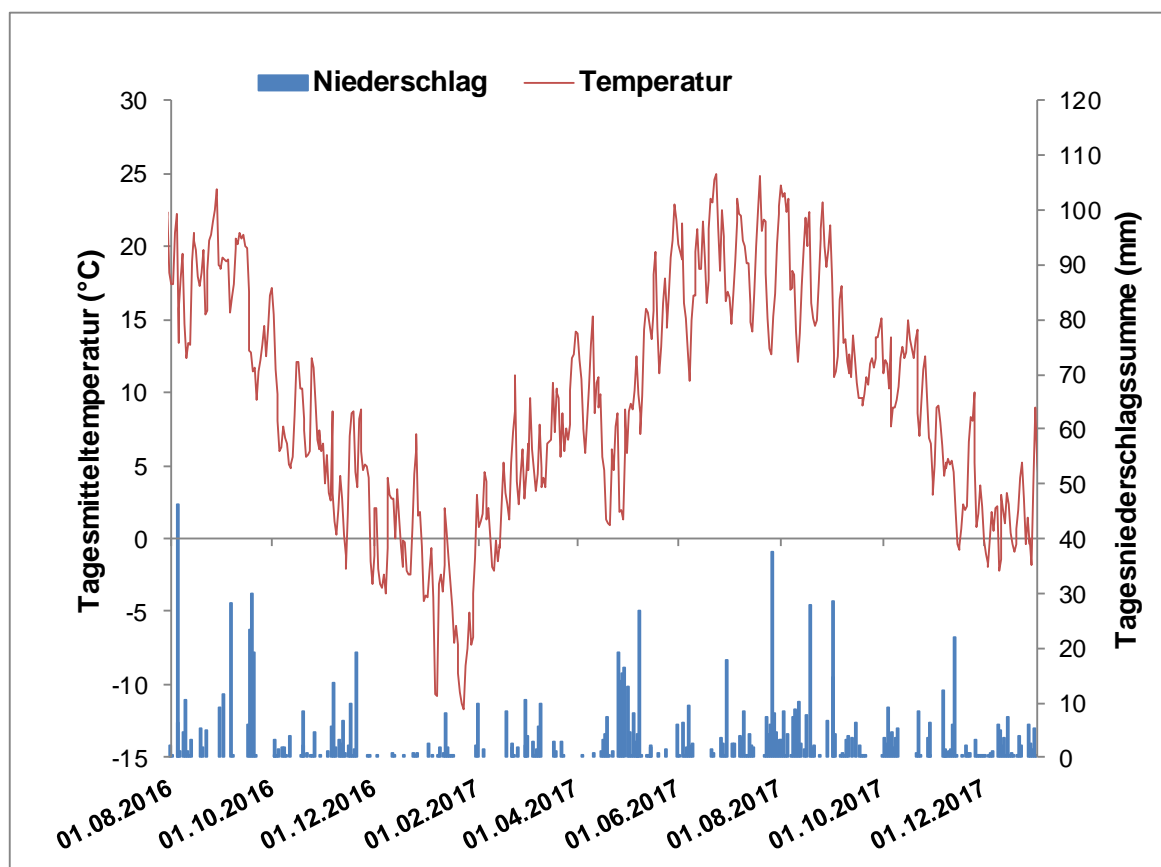


Abb. 21: Verlauf der Witterung vom 01.08.2016 bis 31.12.2017 am Standort Pöcklhof.

Die Zwischenfrucht für den Maisversuch 558 wurde in einem warmen und regenreichen Sommer am 22.08.2016 ausgesät. Der warme und sonnenreichen September ermöglichte einen guten Aufgang der Zwischenfrucht. Es folgte ein kühler Winter mit ausreichenden Frosttagen und zum Teil strengen Nachtfrösten, so dass die Zwischenfrucht gut abfror. Die organische Düngung vor der Maissaat (07.04.2017, bedeckt, windig, 10 °C) konnte während einer warmen Phase welche von Ende März bis Anfang April andauerte ausgebracht werden. Ab Mitte bis Ende April folgte jedoch ein Kälterückfall mit Minusgraden, weshalb die Maissaat erst am 11.05.2017 unter optimalen Bedingungen durchgeführt wurde. Die zweite organische Düngergabe in den 30 cm hohen Maisbestand erfolgte am 09.06.2017 bei 22 °C. Aufgrund des warmen und regenreichen Sommers entwickelte sich der Bestand gut und gleichmäßig, reifte normal ab und bildete einen sehr hohen Ertrag aus. Die Ernte erfolgte bei optimalen Bedingungen am 28.09.2017.

Die Grünroggenzweitfrucht für den Maisversuch 559 wurde am 21.08.2016 gesät. Es entwickelte sich ein Grünroggenbestand mit sehr gutem Ertrag (461 dt/ha, Feuchtmasse). Die Grünroggenernte erfolgte in der beschriebenen kalten Aprilphase, bei kühlem und sonnigem Wetter. In diesem Jahr konnte nicht mit herkömmlicher Technik gearbeitet werden, da dies die Bodenverhältnisse nicht zuließen. Um den Versuchsfehler „Bodendruck“ ausschließen zu können wurde der Bestand am 20.04.2017 mit einem Brielmeier Balkenmäher gemäht. Nach kurzem Anwelken wurde das Pflanzenmaterial am 21.04.2017 mit einem Brielmeier Hillrack geschwadet und mit einem Ladewagen abtransportiert. Durch

dieses Vorgehen entstanden keinerlei Fahrspuren in den Ernteparzellen des Versuchs. Die organische Düngung vor der Maissaat erfolgte nach allmählich steigenden Temperaturen am 16.05.2017 bei 20 °C und trockenen Bedingungen. Am 18.05.2017 wurde unmittelbar nach der Düngung, ebenfalls bei warmen und trockenen Wetter, der Mais gesät. Die organische Düngergabe in den Maisbestand erfolgte bei einer Pflanzenhöhe von 30 cm am 09.06.2017 bei 22 °C. Aufgrund des warmen und regenreichen Sommers entwickelte sich der Bestand gut und gleichmäßig, reifte normal ab und bildete einen mittleren Ertrag aus. Die Ernte erfolgte bei optimalen Bedingungen (19 °C, trocken) am 28.09.2017.

3.13.3 Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Pöcklhof

Der am Standort Pöcklhof verwendete Biogasgärrest entstammte auch der in Kapitel 3.10.3 beschriebenen Biogasanlage. Der Gärrest wurde direkt aus dem Endlager der Biogasanlage entnommen. Proben für die Gärrestanalyse wurden zwei Wochen vor der Ausbringung sowie unmittelbar vor der Ausbringung entnommen. Der Gesamtstickstoffgehalt des Biogasgärrestes im Versuch 558 lagen im Mittel bei 3,95 kg N_t/m³ mit einer Standardabweichung von 0,9 kg N_t/m³ und bei Versuch 559 im Mittel bei 4,5 kg N_t/m³ mit einer Standardabweichung von 0,1 kg N_t/m³. Die im Biogasgärrest ermittelten Nährstoffe können Tabelle 19 entnommen werden.

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

Inhaltsstoffe	Pöcklhof			
	V 558		V 559	
	2017			
Düngetermin	vor Saat	30cm	vor Saat	30cm
Org. Substanz (kg/m ³)	36,5	50,8	51,2	50,8
pH-Wert	7,7	7,6	7,7	7,6
TS-Gehalt (%)	5,0	6,9	6,9	6,9
N _t (kg/m ³)	3,3	4,6	4,4	4,6
NH ₄ -N (kg/m ³)	1,5	1,9	1,7	1,9
K ₂ O (kg/m ³)	4,3	5,3	5,3	5,3
MgO (kg/m ³)	0,7	0,9	0,9	1,0
CaO (kg/m ³)	1,3	1,7	1,8	1,8
P ₂ O ₅ kg/m ³	1,4	2,0	2,0	2,0

3.14 Versuchsstandort Poigern V 557 (Jahr 2018)

Der im Jahr 2018 am Standort Poigern (Gemeinde Egenhofen, Landkreis Fürstentfeldbruck) durchgeführte Versuch wurde auf einer Ackerfläche eines dort ansässigen Landwirts durchgeführt. Hierbei handelt es sich um den Versuch zur Winterweizendüngung mit Biogasgärrest (V 557). Der Versuch wurde von der Versuchsstation der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Puch durchgeführt.

3.14.1 Standortbeschreibung

Die Versuchsfläche in Poigern liegt etwa 14 km südlich von Fürstentfeldbruck (48°15'37.398"N 11°10'13.893"E), auf einer Höhe von 505 m über dem Meeresspiegel mit durchschnittlich 783 mm Niederschlag und einer Jahresmitteltemperatur von 8,8 °C (LfL, 2019). Poigern befindet sich nach standortkundlicher Landschaftsgliederung im löblehmbeeinflussten oberbayerischen Tertiärhügelland. Der auf der Versuchsfläche anzutreffende Bodentyp ist eine Braunerde aus schluffigem bis lehmigem Molassematerial (LfU, 2018) mit der Bodenart schluffiger Lehm. Die Versuchsfläche wies keine Expositionen auf.

Der pH-Wert des Bodens betrug 6,3. Es konnte ein Phosphat-Gehalt von 10 mg P₂O₅ je 100 g Boden und ein Kali-Gehalt von 17 mg K₂O pro 100 g Boden ermittelt werden. Der C_{org}-Gehalt der Versuchsfläche lag bei 1,67 % mit einem Humusgehalt von 2,9 % und einem N_t-Gehalt von 0,2 %. Wichtige Bodenparameter der Versuchsfläche sind in Tabelle 20 und Tabelle 21 aufgeführt. Die Bodenproben wurden jeweils vor Versuchsanlage der ortswechselnden Versuche gezogen.

Tab. 20: Bodendaten V 557 Poigern

Versuch	V 557
Bodenart	schluffiger Lehm (uL)
Stärke Ackerkrume	33 cm
Ackerzahl	57

Tab. 21: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn V557 Poigern

Versuch	V 557
pH-Wert	6,3
P ₂ O ₅ (mg/100 g Boden)	10
K ₂ O (mg/100 g Boden)	17
Mg (mg/100 g Boden)	13
C _{org} (%)	1,67
Humus (%)	2,9
N _t (%)	0,2
C/N-Verhältnis	8,4

3.14.2 Witterung

Der Verlauf der Witterung am Standort Poigern, gemessen an der 4 km entfernten Wetterstation in Dürabuch ist in Abbildung 22 dargestellt.

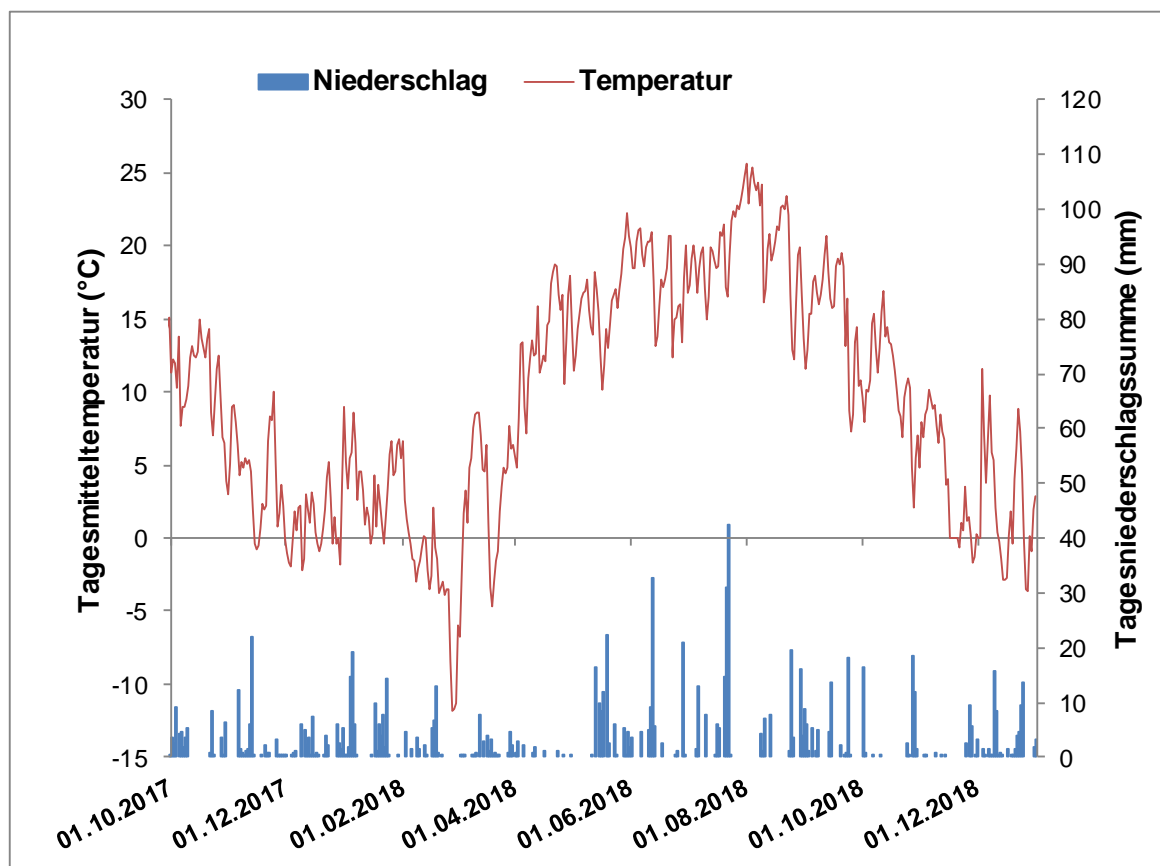


Abb. 22: Verlauf der Witterung vom 01.10.2017 bis 31.12.2018 am Standort Poigern.

Die Grundbodenbearbeitung sowie die Aussaat des Weizens (18.10.2017) für das Versuchsjahr 2018 erfolgten termingerecht und aufgrund des überdurchschnittlich warmen Wetters bei sehr guten Bodenverhältnissen. Der Feldaufgang war gleichmäßig, des Weiteren entwickelte sich der Weizenbestand sehr gut und ging kräftig in den Winter. Der Winter verlief recht mild und trotz einer kurzen, kalten Phase im Februar und März gab es keine Auswinterungsschäden. Das Jahr 2018 präsentierte sich allgemein als eines der wärmsten, sonnigsten und zugleich trockensten Jahre seit 1881 (DWD, 2018). Nach einem milden und Niederschlagsreichen Januar verlief die organische Düngung zu Frost (06.02.2018) aufgrund des kurzen Kälteeinbruches ohne Probleme, bei einer Temperatur von -4 °C . Im Frühjahr entwickelte sich der Bestand trotz des fehlenden Regens sehr gut. Die Düngung zu Vegetationsbeginn (11.04.2018, ca. 11 °C , BBCH 27) und zu BBCH 30 (26.4.2018, 11 °C , windig, stark bewölkt) erfolgte bei guten Bodenbedingungen. Trotz des fehlenden Niederschlags waren die Erträge überraschend durchschnittlich. Die Abreife erfolgte ca. 3 Wochen früher als im Durchschnitt der Jahre, weshalb die Ernte problemlos (26 °C , trocken) am 27.07.2018 erfolgen konnte.

3.14.3 Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Poigern

Der am Standort Poigern verwendete Biogasgärrest entstammt ebenfalls der in Kapitel 3.10.3 beschriebenen Biogasanlage. Der Gärrest wurde direkt aus dem Endlager der Biogasanlage entnommen. Proben für die Gärrestanalyse wurden zwei Wochen vor der Ausbringung sowie unmittelbar vor der Ausbringung entnommen. Der Gesamtstickstoffgehalt des Biogasgärrestes lag im Mittel bei $4,4 \text{ kg N}_t/\text{m}^3$ mit einer Standardabweichung von $0,2 \text{ kg N}_t/\text{m}^3$. Die im Biogasgärrest ermittelten Nährstoffe sind Tabelle 22 zu entnehmen.

Tab. 22: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) Poigern, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, $\text{NH}_4\text{-N}$ nach CaCl_2 -Extraktion

Inhaltsstoffe	Poigern		
	2018		
Düngetermin	Frost	Veg. Beginn	BBCH 30
Org. Substanz (kg/m^3)	38,5	34,0	48,6
pH-Wert	7,8	7,8	7,4
TS-Gehalt (%)	5,4	4,8	6,7
N_t (kg/m^3)	4,2	4,4	4,6
$\text{NH}_4\text{-N}$ (kg/m^3)	2,1	2,2	2,1
K_2O (kg/m^3)	5,3	4,5	5,2
MgO (kg/m^3)	0,6	0,6	1,1
CaO (kg/m^3)	1,5	1,4	1,6
P_2O_5 kg/m^3	1,6	1,3	2,4

3.15 Versuchsstandort Dürabuch V 558, V 559 (Jahr 2018)

Der im Jahr 2018 am Standort Dürabuch (Gemeinde Egenhofen, Landkreis Fürstentfeldbruck) durchgeführte Versuch wurde auf einer Ackerfläche eines dort ansässigen Landwirts durchgeführt. Hierbei handelt es sich um die beiden Versuche zur unterschiedlichen organischen Düngemenge zu Silomais (V 558, V 559). Die Versuche wurden von der Versuchsstation der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Puch durchgeführt.

3.15.1 Standortbeschreibung

Dürabuch liegt etwa 12 km südlich von Fürstentfeldbruck (48°15'43.034"N 11°12'59.079"E), auf einer Höhe von 530 m über dem Meeresspiegel mit durchschnittlich 783 mm Niederschlag und einer Jahresmitteltemperatur von 8,8 °C (LfL, 2019). Dürabuch befindet sich nach standortkundlicher Landschaftsgliederung im lößlehmbeeinflussten oberbayerischen Tertiärhügelland. Der auf der Versuchsfläche anzutreffende Bodentyp ist eine Braunerde aus sandigem Molassematerial (LfU, 2018) mit der Bodenart sandiger Lehm. Die Versuchsfläche wies keine Expositionen auf.

Der pH-Wert des Bodens betrug 6,1–7,0, der Phosphat-Gehalt variierte von 18–53 mg P₂O₅ je 100 g Boden und die Kali-Gehalte von 37–47 mg K₂O pro 100 g Boden. Der C_{org}-Gehalt lag zwischen 1,29–1,74 % bei Humusgehalten von 2,2–3,0 %. Der N_t-Gehalt lag bei 0,15–0,19 %. Wichtige Bodenparameter der Versuchsfläche sind in Tabelle 23 und Tabelle 24 aufgeführt. Die Bodenproben wurden jeweils vor Versuchsanlage der ortswechselnden Versuche gezogen.

Tab. 23: Bodendaten V 558 & V 559 Dürabuch, 2018.

Versuch	V 558	V 559
Bodenart	sandiger Lehm (sL)	sandiger Lehm (sL)
Stärke Ackerkrume	32 cm	32 cm
Ackerzahl	56	56

Tab. 24: Standardbodenuntersuchung vor Versuchsbeginn V558 & V559 Dürabuch.

Versuch	V 558	V 559
pH-Wert	7,0	6,1
P ₂ O ₅ (mg/100 g Boden)	53	18
K ₂ O (mg/100 g Boden)	47	37
Mg (mg/100 g Boden)	6	4
C _{org} (%)	1,74	1,29
Humus (%)	3,0	2,2
N _t (%)	0,19	0,15
C/N-Verhältnis	9,2	8,6

3.15.2 Witterung

Der Verlauf der Witterung am Standort Dürabuch, gemessen an der dort befindlichen Wetterstation ist in Abbildung 23 dargestellt.

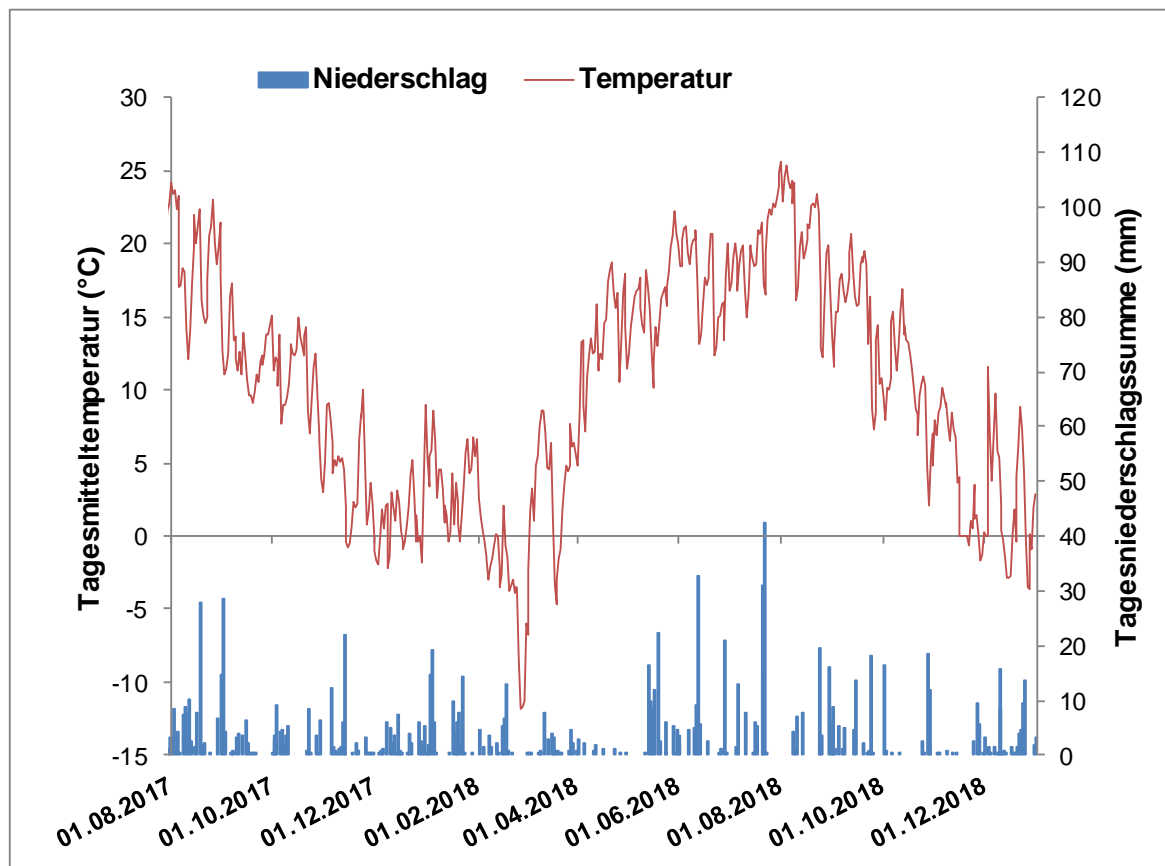


Abb. 23: Verlauf der Witterung vom 01.08.2017 bis 31.12.2018 am Standort Dürabuch.

Die Zwischenfrucht für den Maisversuch 558 wurde am 18.08.2017 in ein feinkrümeliges Saatbett ausgesät. Der Bestand entwickelte sich nach den ausreichenden Sommer- und Herbstniederschlägen sowie milden Herbsttemperaturen gut. Die Zwischenfrucht lief sehr gleichmäßig auf und entwickelte sich bis zum Winter zu einem normalen Bestand. Der Winter verlief zu Beginn recht mild, jedoch reichte eine kurze, kalte Phase im Februar und März aus, um die Zwischenfrucht ausreichend abfrieren zu lassen. Das Jahr 2018 präsentierte sich allgemein als eines der wärmsten, sonnigsten und zugleich trockensten Jahre seit 1881 (DWD, 2018). Die organischen Düngergaben konnten aufgrund des trockenen Frühjahrs termingerecht erfolgen. Die erste Gärrestgabe wurde am 19.04.2018 vor der Maissaat bei trockenen Bodenverhältnissen und 22 °C ausgebracht. Bei überdurchschnittlich warmen und sonnigen Wetter im April und Mai 2018 erfolgte die Maissaat knappe zwei Wochen später (02.05.2018, 16 °C) in ein sehr trockenes Saatbett. Die Saat wurde 6 cm tief im Boden abgelegt um noch ausreichend Wasseranschluss zu erreichen. Der Feldaufgang war gleichmäßig. Auch die Düngung in den 30 cm hohen Maisbestand am 11.06.2018 konnte bei guten Bodenverhältnissen und 27 °C erfolgen. Der Bestand entwickelte sich bei der durchgehenden Wärme und trotz des fehlenden Regens sehr gut. Die anhaltende Trockenheit steckte der Mais relativ gut weg, es waren keinerlei Trockenschäden sichtbar. Die Maisernte konnte ohne Probleme am 07.09.2018 (19 °C, trocken) durchgeführt werden.

Die Grünroggenzwischenfrucht für den Maisversuch 559 wurde am 28.09.2017 in ein feinkrümeliges Saatbett gesät. Der Bestand entwickelte sich nach den ausreichenden Sommer- und Herbstniederschlägen sowie milden Temperaturen gut. Der Grünroggen lief sehr gleichmäßig auf und entwickelte sich bis zum Winter zu einem kräftigen Bestand. Bedingt durch den milden Winter mit kurzer Kältephase gab es im Frühjahr keine sichtbaren Auswinterungsschäden. Im warmen Ausnahmejahr 2018 bestockte der Grünroggen nur wenig, dennoch entwickelte sich ein Grünroggenbestand mit akzeptablem Ertrag (173 dt/ha Frischmasse). Die Ernte des Grünroggens mit Praxistechnik wurde vom 07–08.05.2018 (22 °C) bei sehr trockenen Bodenverhältnissen durchgeführt. Gemäht wurde am 07.05.2018 mit einem herkömmlichen Schmetterlingsmäherwerk, nach kurzem Anwelken wurde das Pflanzenmaterial am 08.05.2018 mit einem Kreiselschwader zu einem Schwad außerhalb der Versuchspartellen gelegt und mit einem Ladewagen abtransportiert. Die Ernte erfolgte optimal und ohne Fahrspuren durch die Erntemaschinen. Die organischen Düngergaben konnten aufgrund des trockenen Frühjahrs termingerecht erfolgen. Die Gärrestgabe vor der Maissaat wurde unmittelbar nach der Grünroggenernte am 09.05.2018 bei trockenen Bodenverhältnissen, sonnigem Wetter und 22 °C ausgebracht. Aufgrund anhaltender Regenschauer im Mai konnte die Maissaat erst sehr spät (28.05.2018) aber bei sehr guten Bedingungen durchgeführt werden. Der Mais lief überwiegend gut und gleichmäßig auf, hatte aber in der Jugendentwicklung mit Hitzestress zu kämpfen. Die organische Düngergabe in den Maisbestand erfolgte ohne Probleme am 25.06.2018 bei 17 °C und guten Bodenverhältnissen. Der Bestand entwickelte sich trotz des fehlenden Regens und bei durchgehend warmem Wetter bis zur Ernte durchschnittlich. Die Ernte erfolgte bei guten Bedingungen (19 °C, trocken) und ohne Probleme am 07.09.2018.

3.15.3 Inhaltliche Zusammensetzung der Biogasgärreste in Dürabuch

Der am Standort Dürabuch verwendete Biogasgärrest entstammt ebenfalls der in Kapitel 3.10.3 beschriebenen Biogasanlage. Der Gärrest wurde direkt aus dem Endlager der Biogasanlage entnommen. Proben für die Gärrestanalyse wurden zwei Wochen vor der Ausbringung sowie unmittelbar vor der Ausbringung entnommen. Der Gesamtstickstoffgehalt des Biogasgärrestes lag bei Versuch 558 bei $4,5 \text{ kg N}_t/\text{m}^3$ und bei Versuch 559 im Mittel bei $4,65 \text{ kg N}_t/\text{m}^3$ mit einer Standardabweichung von $0,07 \text{ kg N}_t/\text{m}^3$. Die im Biogasgärrest ermittelten Nährstoffe können Tabelle 25 entnommen werden.

Tab. 25: Inhaltsstoffe der Biogasgärreste (BGR) in Dürabuch, Angaben beziehen sich auf Frischmasse, $\text{NH}_4\text{-N}$ nach CaCl_2 -Extraktion.

Inhaltsstoffe	Dürabuch			
	V 558		V 559	
	2018			
Düngetermin	vor Saat	30cm	vor Saat	30cm
Org. Substanz (kg/m^3)	43,2	47,3	47,6	43,3
pH-Wert	8,0	7,5	7,8	7,6
TS-Gehalt (%)	6,1	6,7	6,9	6,2
N_t (kg/m^3)	4,5	4,5	4,7	4,6
$\text{NH}_4\text{-N}$ (kg/m^3)	2,1	2,1	2,2	2,2
K_2O (kg/m^3)	5,0	5,3	5,2	5,3
MgO (kg/m^3)	1,0	1,2	1,5	1,1
CaO (kg/m^3)	1,6	1,8	1,9	1,7
P_2O_5 (kg/m^3)	2,3	2,5	3,0	2,3

4 Ergebnisse und Diskussion der Feldversuche

Die einzelnen Versuchsglieder wurden mit Parzellenerntetechnik geerntet und auf Qualitätsparameter untersucht, um die Wirkung der mineralischen und organischen Düngung beurteilen zu können. Es wurden dabei bei Getreide die Parameter „Kornertrag bei 86 % TM“, sowie der „Rohproteingehalt in % in der TM“ analysiert. Bei Silomais wurde das Qualitätsmerkmal „Gesamttrockenmasseertrag“ untersucht. Des Weiteren wurde die N-Abfuhr, sowohl für den Getreideversuch (Saldo), als auch für Silomais berechnet. Zudem wurden N_{\min} -Bodenproben nach der Ernte gezogen, um Aussagen zur Stickstoffauswaschungsgefahr aufgrund unterschiedlicher Düngung treffen zu können.

4.1 Ergebnisse der Feldversuche zur Düngung/Technik zu Winterweizen (V 557)

Der Versuch 557 zu Winterweizen wurde an zwei Standorten Puch und Orte um Rottbach durchgeführt. Der Versuch wurde als mehrortiger, dreijähriger Versuch verrechnet und ausgewertet. Die Auswertung erfolgte nach den in den Versuchen angelegten Auswertungsgruppen, sowie als Gesamtversuch. Nachfolgend die Versuchsfragestellungen:

- a. Welchen Einfluss hat die Ausbringtechnik bei der organischen Düngung auf Ertragsparameter?
- b. Wie wirkt sich eine Kombination mit Biogasgärrest und mineralischer Düngung auf den Ertrag und die Qualität (Rohprotein) aus?
- c. Welche Auswirkung hat eine Ausbringung von Biogasgärresten zu unterschiedlichen Vegetationsstadien auf Ertrag, Qualität und N-Wirkung des organischen Düngers?
- d. Welche N-Wirkung kann mit einer Kombination aus Biogasgärrest und mineralischem Dünger erzielt werden?
- e. Welche Erträge und Rohproteingehalte können bei einer Düngungssteigerung mit mineralischem Dünger erzielt werden?
- f. Welche Auswirkung hat die unterschiedliche Düngung auf den N_{\min} -Wert nach der Ernte?

In Tabelle 26 sind der TM-Ertrag sowie der Rohproteingehalt (RP) für jedes Versuchsglied aufgeführt.

Tab. 26: Ertrag und RP der einzelnen Versuchsglieder, Versuch 557

Vgl. Nr.	Technik	Ausbringzeitpunkt						Ertrag (dt/ha, 86 % TM)	RP (%/TM)
		Organische N-Düngung (kg N/ha)			Mineralische N-Düngung (kg N/ha)				
		Frühj. Frost	Veg. Beginn	BBCH 30	Veg. Beginn	BBCH 31	BBCH 37-39		
1					0	0	0	52,5	8,6
2					40	40	20	82,2	9,9
3					50	50	50	89,6	11,1
4					60	60	60	93,4	11,9
5					70	70	70	97,0	12,6
6	Schleppschuh		0		60	60	60	92,1	12,1
7	Scheibentechnik		0		60	60	60	92,9	12,2
8	Scheibentechnik tief		0		60	60	60	87,7	12,3
9	Schleppschlauch	170			0	0	0	74,2	8,9
10	Schleppschlauch		170		0	0	0	72,5	8,9
11	Schleppschuh		170		0	0	0	74,6	9,0
12	Scheibentechnik		170		0	0	0	79,4	9,3
13	Scheibentechnik tief		170		0	0	0	82,1	9,5
14	Schleppschlauch	85			30	30	30	86,7	10,1
15	Schleppschuh		85		30	30	30	88,0	10,5
16	Scheibentechnik		85		30	30	30	88,7	10,6
17	Scheibentechnik tief		85		30	30	30	88,9	10,9
18	Schleppschlauch	170			0	30	30	88,5	10,2
19	Schleppschuh		170		0	30	30	88,8	10,5
20	Scheibentechnik		170		0	30	30	91,8	10,8
21	Scheibentechnik tief		170		0	30	30	90,5	11,1
22	Schleppschlauch			85	30	30	30	87,1	10,7
23	Schleppschuh			85	30	30	30	87,3	10,8
24	Scheibentechnik			85	30	30	30	86,9	11,2
25	Scheibentechnik tief			85	30	30	30	83,9	11,4
26	Schleppschlauch	85		85	30	0	30	89,9	10,3
27	Schleppschuh		85	85	30	0	30	90,9	10,7
28	Scheibentechnik		85	85	30	0	30	93,1	11,3
29	Scheibentechnik tief		85	85	30	0	30	89,4	11,6
30	Scheibentechnik			170	40	0	20	92,6	11,5
31	Scheibentechnik tief			170	40	0	20	90,0	12,0

4.1.1 Ertrag und Rohprotein

4.1.1.1 Mineralische Düngungssteigerung

Damit die Wirkung der organischen Düngung mit BGR eingeordnet werden kann, wurden rein mineralisch gedüngte Parzellen angelegt. Die mineralische Düngung erfolgte zu Vegetationsbeginn im Frühjahr, zu BBCH 31 und zu BBCH 37–39. In Abbildung 24 sind der Ertrag in dt/ha (86 % TM) und der Rohproteingehalt in %/TM dargestellt. Der Ertrag stieg signifikant zur ausgebrachten mineralischen Stickstoffmenge an. So konnte bei einer ausgebrachten Stickstoffmenge von 210 kg N/ha ein Ertrag von 97 dt/ha erzielt werden. Hingegen lag der Ertrag bei der Nullvariante (keine Düngung) nur bei 52 dt/ha. Der Rohproteingehalt war ebenfalls bei gesteigerter mineralischer Düngung signifikant höher. Die Nullvariante wies einen Rohproteingehalt von nur 8,5 % auf, hingegen die Variante mit einer Düngung von 210 kg N/ha 12,6 %.

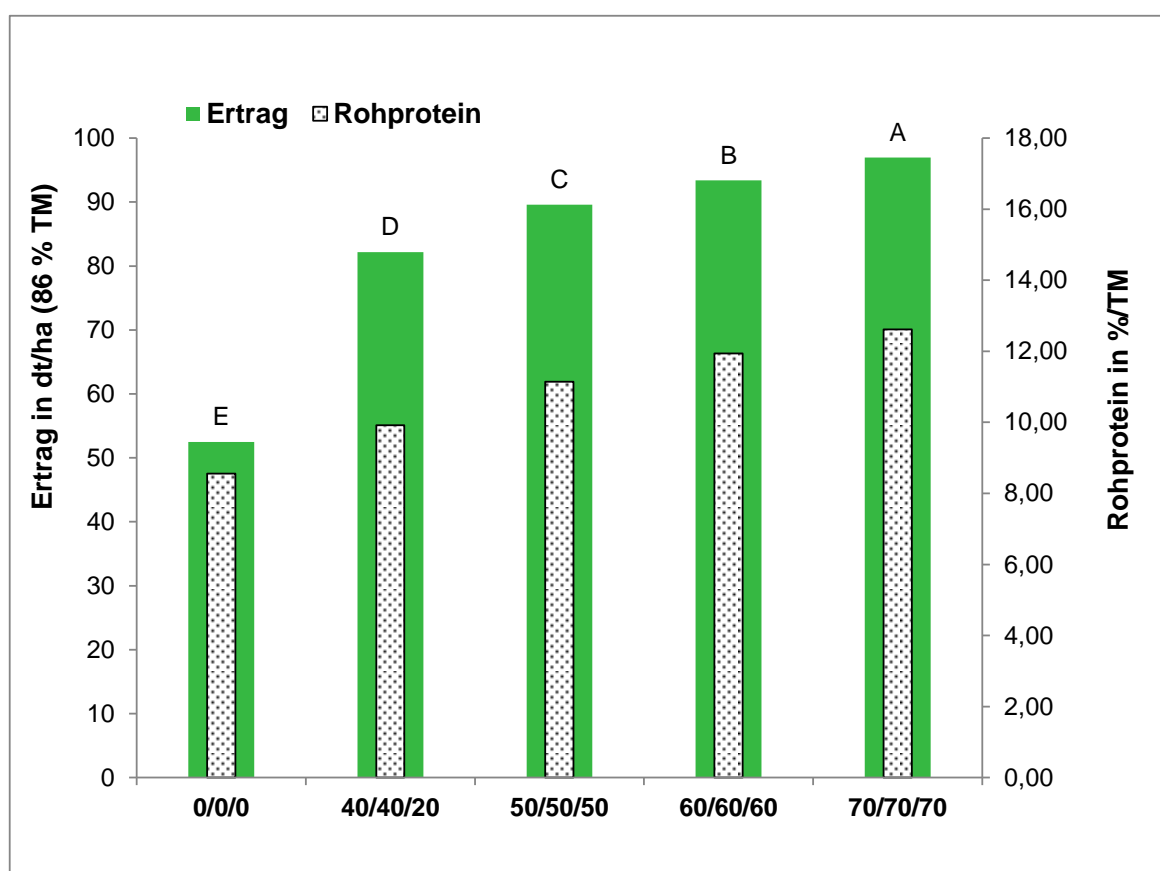


Abb. 24: Ertrag und Rohprotein der mineralischen Düngungssteigerung, Versuch 557. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.1.1.2 Einfluss der Applikationstechnik auf Pflanzenschäden, Ertrag und Rohprotein

Es war zu vermuten, dass die eingesetzte bodennahe, streifenförmige Ausbringtechnik kann Pflanzenschäden hervorrufen könnte. Um das zu ermitteln, wurden Parzellen mit der jeweiligen Ausbringtechnik zu Vegetationsbeginn „blind“ also ohne BGR überfahren und mit einer mineralischen Gesamtstickstoffmenge von 180 kg gedüngt (Abbildung 25). Die tiefe Scheibentechnik (SC 2) verursachte einen signifikanten Minderertrag in Höhe von ca. 5 dt/ha im Vergleich zum Schleppschuh (SU). Durch die tiefe Scheibentechnik wurden die Pflanzenwurzeln verletzt. Die Ausbringtechnik SU und die Scheibentechnik (SC 1) wiesen keine signifikanten Ertragsunterschiede auf. Die SC 1 verursacht durch das nicht so tiefe Schneiden in den Boden weniger bzw. die gleichen Schäden verursacht, wie der SU. Trotzdem ist der Rohproteingehalt bei der Parzelle mit SC 2 (12,3 %) ist signifikant höher als die Variante SU (12,1 %). So betrug der Rohproteingehalt der Variante mit SC 2 12,31 % und die der Variante SU 12,08 %. Mit der SC 1 konnte in der Tendenz ein höherer Rohproteingehalt erreicht werden, als mit SU.

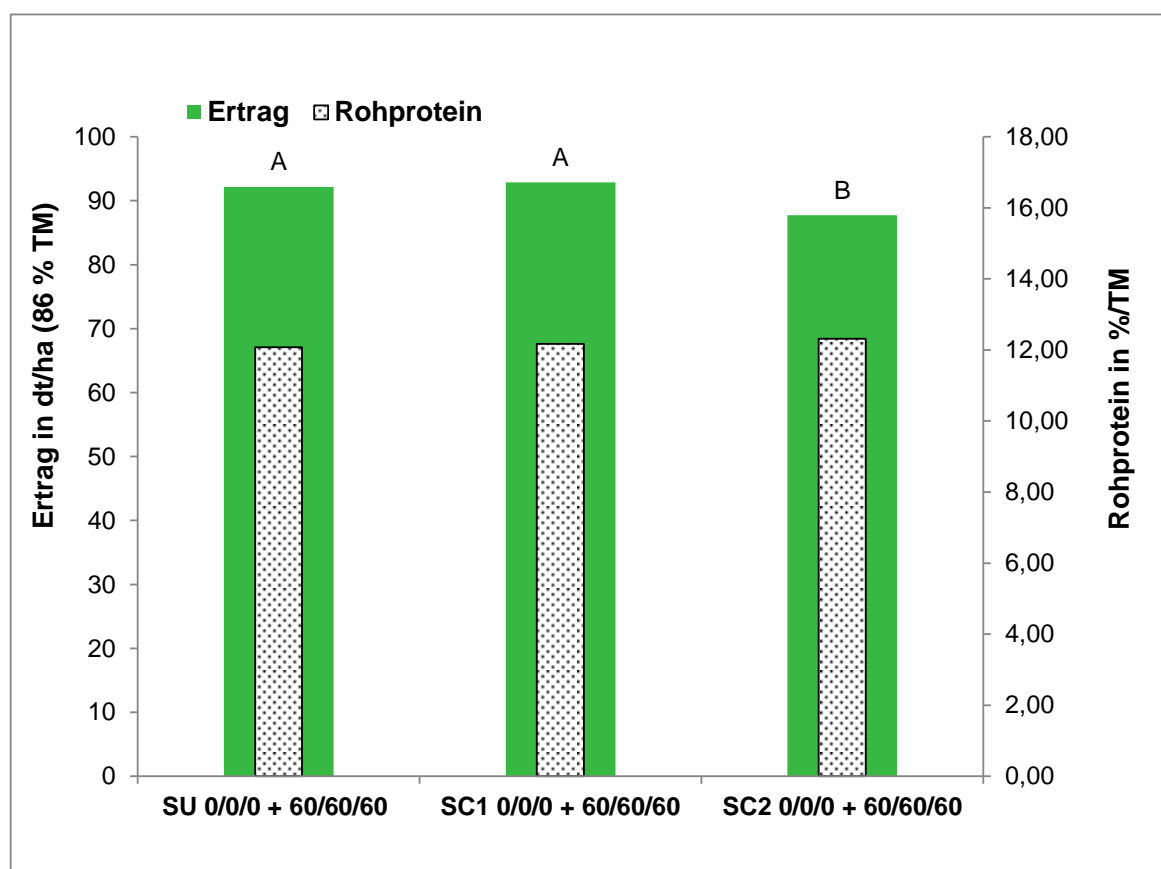


Abb. 25: Ertrag und Rohprotein bei möglichen Pflanzenschäden durch verschiedene Applikationstechniken, Versuch 557. SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.1.1.3 Einfluss des Zeitpunktes der Düngung mit Biogasgärrest (170 kg N/ha) auf Ertrag und Rohprotein beim Einsatz verschiedener Applikationstechniken

Der Ausbringzeitpunkt (zu Frost bzw. zu Vegetationsbeginn) mit unterschiedlicher Ausbringtechnik von BGR hat wesentlichen Einfluss auf die Parameter Ertrag und Rohproteingehalt (Abbildung 26). Bei SS sind keine signifikanten Ertrags- und Rohproteinunterschiede festzustellen. Die Varianten SC 1 und SC 2 erreichten signifikant höhere Erträge sowie Rohproteingehalte als die Varianten SS und SU. Die Variante SC 2 hatte einen Ertrag in Höhe von 82 dt/ha, was einem signifikanten Mehrertrag von 3,5 dt/ha im Vergleich zu Variante SC 1 entspricht. Mit der Technik SU konnte im Vergleich zur Technik SS kein signifikanter Mehrertrag bzw. höherer Rohproteingehalt erzielt werden. Die Tendenz zeigt jedoch, dass die Ausbringtechnik SU besser ist als SS. Grund dafür ist, dass die gasförmigen Stickstoff bzw. Ammoniakverluste bei SU geringer ausfallen als bei SS. Bei SC 2 wurde der BGR komplett in den Boden eingebracht, daher traten hierbei die geringsten Verluste auf. Das schlägt sich im Ertrag und Rohproteingehalt nieder. Die Verlustminderung war so hoch, dass die Mindererträge durch Pflanzenschäden ausgeglichen und zusätzlich ein Mehrertrag erzielt werden konnte. Bei den Varianten in Abbildung 26 ist der Rohproteingehalt im Korn auf einem geringen Niveau zwischen 8,9 und 9,5 %, was darauf deutet, dass die 170 kg N/ha aus Biogasgärrest in der Kornbildung nicht mehr genügend Stickstoff für die Pflanzen zur Verfügung stellen konnten.

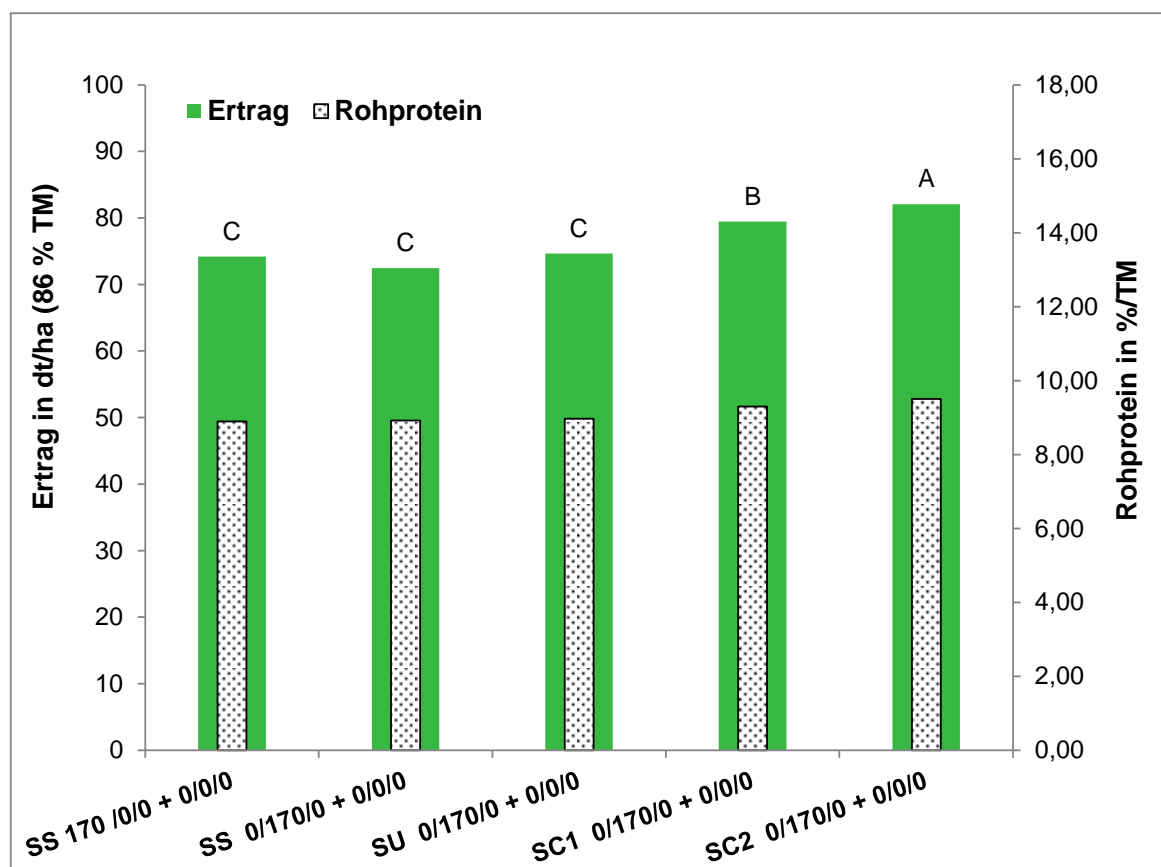


Abb. 26: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 557. SS=Schleppschauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.1.1.4 Einfluss der Düngung mit Biogärrrest (85 kg N/ha) und mineralischer Ergänzung auf Ertrag und Rohprotein und verschiedenen Applikationstechniken

Bei den Versuchsvarianten in Abbildung 27 wurde 85 kg N/ha BGR, sowie eine mineralische Ergänzungsdüngung mit 30/30/30 (Vegetationsbeginn/BBCH 31/ BBCH 37–39) ausgebracht. Diese Variante dürfte für viele Betriebe, die organische Dünger aufnehmen oder einen geringeren Anfall haben, realistisch sein. Bei dieser Ausbringmenge konnte kein signifikanter Ertragsunterschied zwischen den Ausbringtechniken erreicht werden. Jedoch zeigt sich auch hier (vergleiche Abbildung 26) in der Tendenz, dass die Ausbringtechnik SU den geringsten Ertrag und die SC 2 den höchsten Ertrag erzielte. Auch konnte zwischen dem Ausbringzeitpunkt Frost und Vegetationsbeginn kein signifikanter Ertragsunterschied festgestellt werden (siehe 4.1.1.3). Wie bei der Ausbringmenge von 170 kg N/ha ohne KAS-Ergänzung (vergleiche Abbildung 26) führte bei halber Ausbringmenge und mineralischer Ergänzung (90 kg N/ha) der Applikationszeitpunkt zu Vegetationsbeginn auch in der Tendenz zu höheren Erträgen. Die Rohproteingehalte lagen bei den Varianten zwischen 10,1 und 10,9 %. Bei der organischen Düngung im Vergleich zu Frost und Vegetationsbeginn, konnte bei einer Ausbringung zu Vegetationsbeginn mit SU ein signifikanter höherer Rohproteingehalt erzielt werden, als mit SS zu Frost. Mit der Ausbringtechnik SC 2 konnte ein signifikant höherer Rohproteingehalt erreicht werden als mit Ausbringtechnik SC 1 und SU.

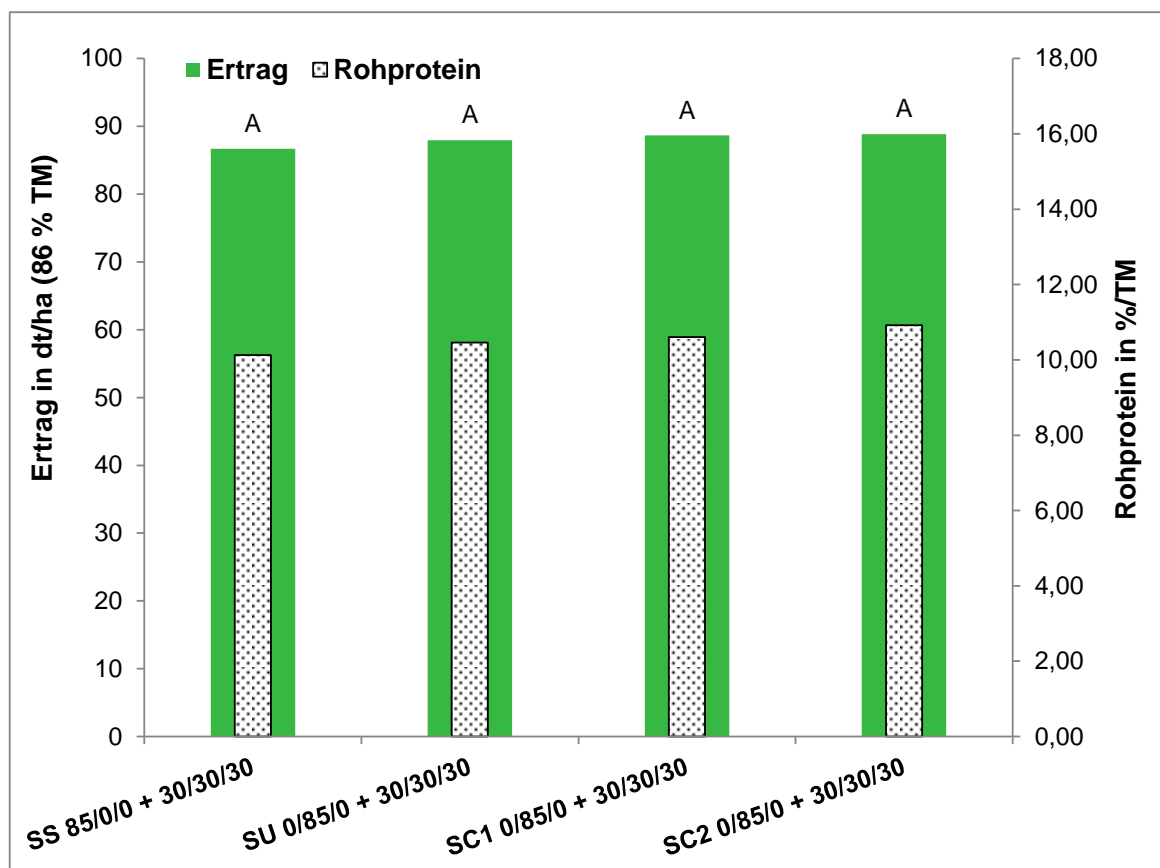


Abb. 27: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Zeitpunkten der Biogärrstdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.1.1.5 Einfluss des Zeitpunktes der Düngung mit Biogasgärrest (170 kg N/ha) und mineralischer Ergänzung auf Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken

Die untersuchten Varianten welche in Abbildung 28 dargestellt sind, unterscheiden sich zu Abbildung 27 nur in der ausgebrachten Menge des organischen Düngers (170 kg N/ha) und der mineralischen Ergänzungsdüngung (60 kg N/ha). Es wurde zu Vegetationsbeginn kein Mineraldünger in Höhe von 30 kg N/ha ausgebracht. Wie auch schon in den Varianten 1 und 2 der Abbildung 27 konnte auch bei einer Düngung von 170 kg N/ha BGR kein signifikanter Ertragsunterschied bei den Ausbringzeitpunkten Frost oder Vegetationsbeginn festgestellt werden. Einen signifikanten Mehrertrag in Höhe von 3 dt/ha konnte die SC 1 im Gegensatz zu SU erreichen. Bei SC 2 lag der Mehrertrag im Vergleich zu SU bei 1,7 dt/ha. Der Rohproteingehalt lag bei den Varianten zwischen 10,2 und 11,1 %. Es konnte ein signifikant höherer Rohproteingehalt bei den verglichenen Ausbringtechniken in der Reihenfolge Schleppschuh, Scheibentechnik und Scheibentechnik tief ermittelt werden. Der Rohproteingehalt bei der Technik SS und Ausbringzeitpunkt Frost ist signifikant niedriger als bei der Technik SU und Ausbringzeitpunkt zu Vegetationsbeginn.

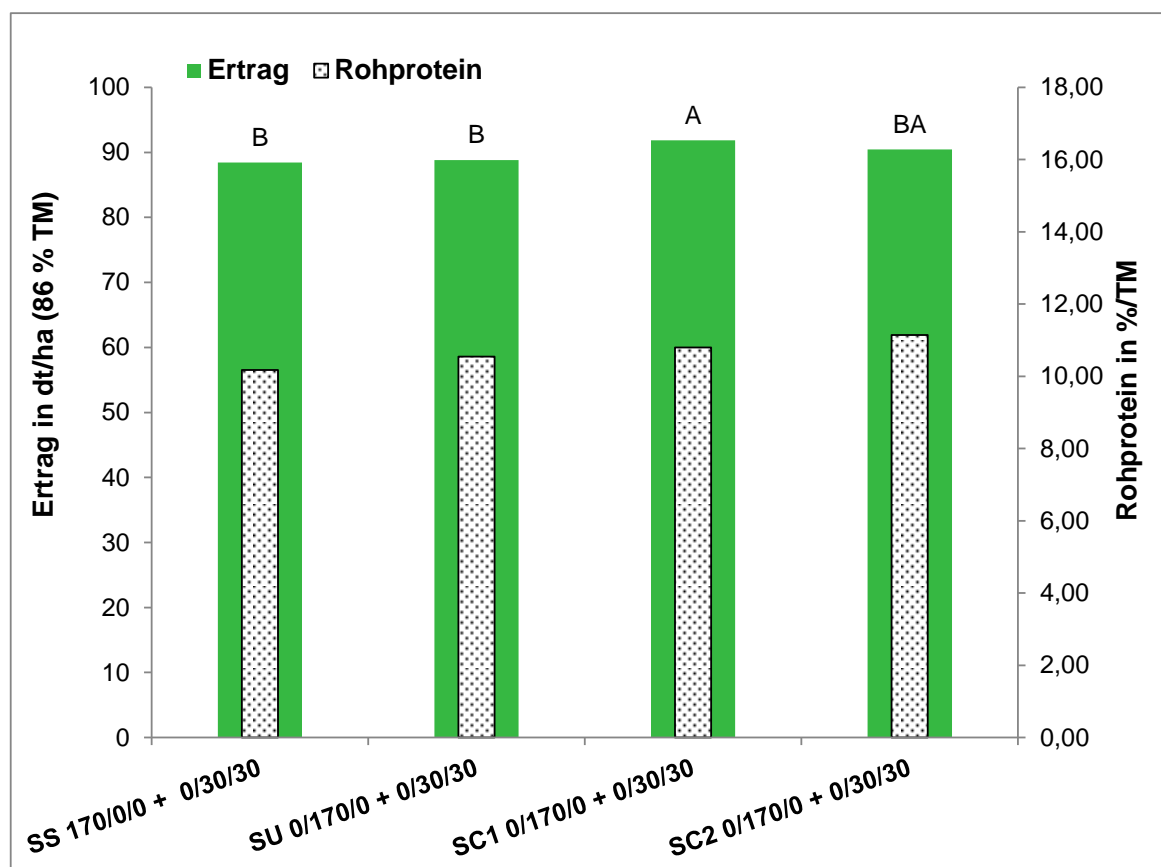


Abb. 28: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.1.1.6 Einfluss einer späten Düngung mit Biogasgärrest (85 kg N/ha) und mineralischer Ergänzung auf Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken

In den nachfolgend untersuchten Varianten wurde die organische Düngung in Höhe von 85 kg N/ha zu BBCH 30 in den Bestand ausgebracht. Eine mineralische Ergänzungsdüngung erfolgte mit jeweils 30 kg N/ha zu den Zeitpunkten Vegetationsbeginn, BBCH 31 und BBCH 37–39. In Abbildung 29 wird deutlich ersichtlich, dass eine organische Düngung in den Bestand zu BBCH 30 mit der SC 2 (Ertrag 83,9 dt/ha), zu signifikanten Mindererträgen in Höhe von 3,4 dt/ha im Vergleich zur SU-Technik (Ertrag 87,3 dt/ha) kommt. Dies liegt darin begründet, dass die SC 2 die Pflanzenwurzeln abschneidet und zu Pflanzenschäden führt. Auch die SC 1 hat in der Tendenz geringere Erträge wie die SU-Technik. Der Rohproteingehalt verhält sich jedoch signifikant in die andere Richtung. So wurde mit der SC 2 ein Rohproteingehalt von 11,4 % im Vergleich zu SU 10,8 % bzw. SS 10,7 % erreicht. Bei SC 2 ist der Biogasgärrest tiefer in den Boden eingebracht worden, was vermutlich geringere gasförmige Ammoniakverluste mit sich bringt, als bei der SU-Technik. Weiter ist der Gesamtstickstoff so zum Ende der Vegetationsperiode von Winterweizen für die Rohproteingewinnung im Korn verfügbar.

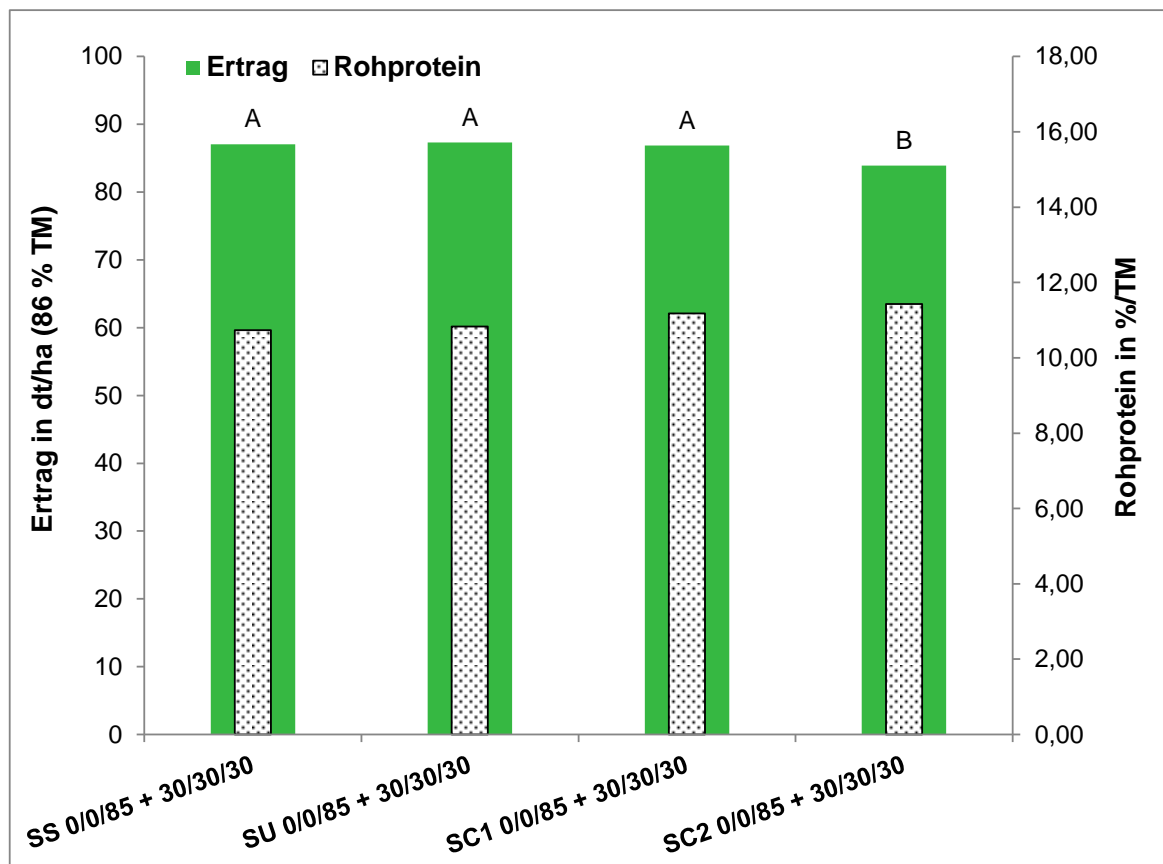


Abb. 29: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken und später Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.1.1.7 Einfluss des Zeitpunktes der Düngung mit Biogasgärrest (85+85 kg N/ha) und mineralischer Ergänzung auf Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Techniken

Die Aufteilung der organischen Düngung hat Einfluss auf die Ertragsbildung bei Winterweizen. Wenn die organische Düngung mit der SC 1 in Höhe von jeweils 85 kg N/ha zu Vegetationsbeginn und BBCH 30 und jeweils einer mineralischen Ergänzungsdüngung in Höhe von 30 kg N/ha zu Vegetationsbeginn und zu BBCH 37–39 ausgebracht wurde (Abbildung 30), konnte ein signifikanter Mehrertrag von bis zu 2 dt zu den anderen Varianten erzielt werden. Die Vergleichsvarianten (organische und mineralische Düngungsmenge identisch) mit der Ausbringtechnik SU oder SC 2 hatten einen Ertrag von 90,9 bzw. 89,4 dt/ha. Bei einer Ausbringung der ersten organischen Düngergabe zu Frost mit SS und der zweiten organischen Düngergabe zu BBCH 30 (mineralische Düngung gleich, wie in den Varianten zuvor), konnte ein Ertrag von 89,9 dt/ha erzielt werden. Der Rohproteingehalt war mit 10,3 % in der TM bei der Düngung zu Frost mit SS signifikant schlechter, als bei einer Ausbringung mit SU zu Vegetationsbeginn (10,7 % in der TM). Den besten Rohproteingehalt im Korn bei den vier hier verglichenen Varianten konnte durch die Ausbringtechnik SC 2 vor der SC 1 (11,6 bzw. 11,3 % in der TM) erreicht werden. Daraus kann gefolgert werden, dass die SC 2 geringere Ammoniakverluste, aufgrund der Düngerablege in einer Tiefe von ca. 6 cm im Boden aufweisen als die anderen Ausbringtechniken und somit der Stickstoff zur Bildung von Rohprotein noch zu Verfügung steht.

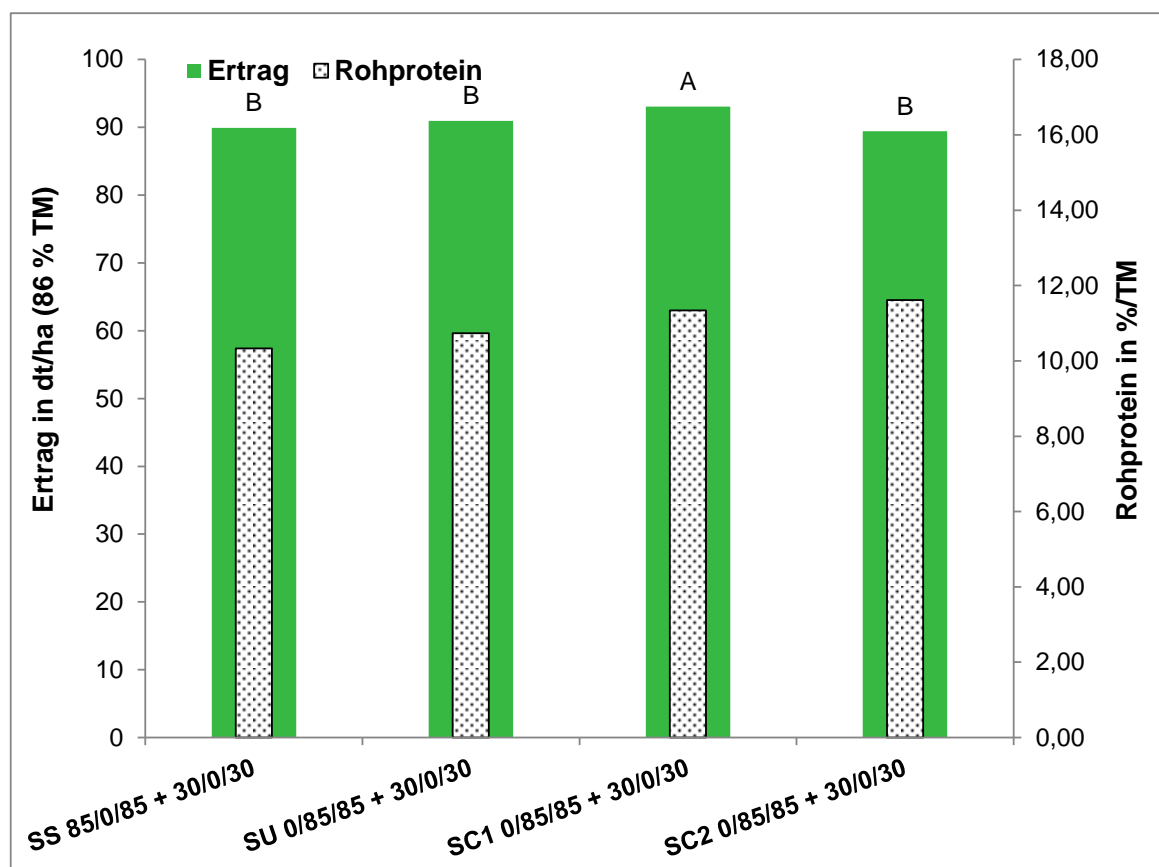


Abb. 30: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.1.1.8 Einfluss der Applikationstechnik sowie einer späten Düngung mit Biogasgärrest (170 kg N/ha) und mineralischer Ergänzung auf Ertrag und Rohprotein

Die Unterscheidung der Varianten in Abbildung 31 liegt in der Ausbringtechnik. Die organische Düngung wurde zu BBCH 30 durchgeführt. Die mineralische Ergänzungsdüngung wurde zu Vegetationsbeginn mit 40 kg N/ha und zu BBCH 37–39 mit 20 kg N/ha über KAS ausgebracht. Mit der SC 1 konnte ein signifikanter Mehrertrag in Höhe von 2,6 dt/ha gegenüber der SC 2 erzielt werden. Beim Qualitätsparameter Rohprotein konnte mit der SC 2 0,5 % höhere Rohproteingehalte in der TM erzielt werden. Wie schon in Abschnitt 4.1.1.7 beschrieben konnte hier die Erkenntnis weiter bestätigt werden. Die niedrigeren Erträge bei SC 2 sind auf die Pflanzenschäden zurückzuführen.

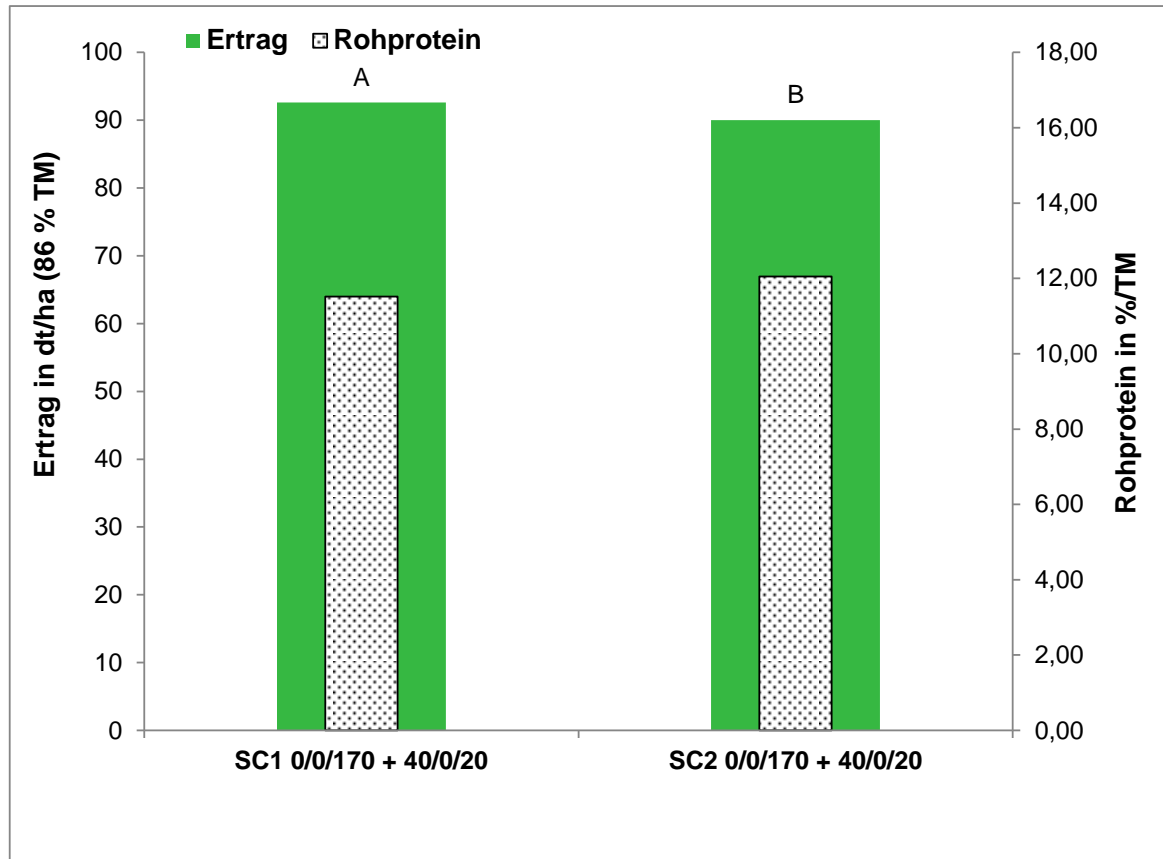


Abb. 31: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken und später Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.1.1.9 Einfluss der Applikationstechnik sowie Aufteilung und Zeitpunkt der Düngung mit Biogasgärrest (170 kg N/ha, 85+85 kg N/ha) und mineralischer Ergänzung auf Ertrag und Rohprotein

Abbildung 32 stellt eine Zusammenfassung und einen direkten Vergleich der bisher geschilderten Ergebnisse dar. Der höchste Ertrag mit 93 dt/ha wurde mit der aufgeteilten organischen Düngung zu Vegetationsbeginn (85 kg N/ha) und zu BBCH 30 (85 kg N/ha) mit SC 1 erzielt. Im Vergleich dazu kam es bei einmaliger organischer Düngergabe zu Vegetationsbeginn (170 kg N/ha) zu geringeren Erträgen von 1,2 dt/ha. Zu signifikant niedrigeren Erträgen kam es bei den Varianten „SS 170/0/0 + 0/30/30“ und „SU 0/170/0 + 0/30/30“. Die Erträge lagen bei 88,4 bzw. 88,8 dt/ha. Durch eine Aufteilung der organischen Düngung mit der SC 2 konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt werden. Bei der Ausbringtechnik SU hat eine Aufteilung der Gaben einen positiven Ertragseffekt. Gleiches gilt für die Ausbringtechnik SS. Den höchsten Rohproteingehalt konnte mit der SC 2 mit aufgeteilten Gaben mit 11,6 % in der TM erreicht werden. Der Gehalt ist hierbei signifikant höher als bei einer einmaligen organischen Düngergabe. Identisch war es bei der Ausbringtechnik SC 1 die bei einer Aufteilung der organischen Düngung signifikant höhere Rohproteingehalte aufwies, wie bei einer einmaligen Düngergabe. Eine Aufteilung der Gaben bei der Technik SU und SS führte zu keinem signifikanten Unterschied beim Rohproteingehalt.

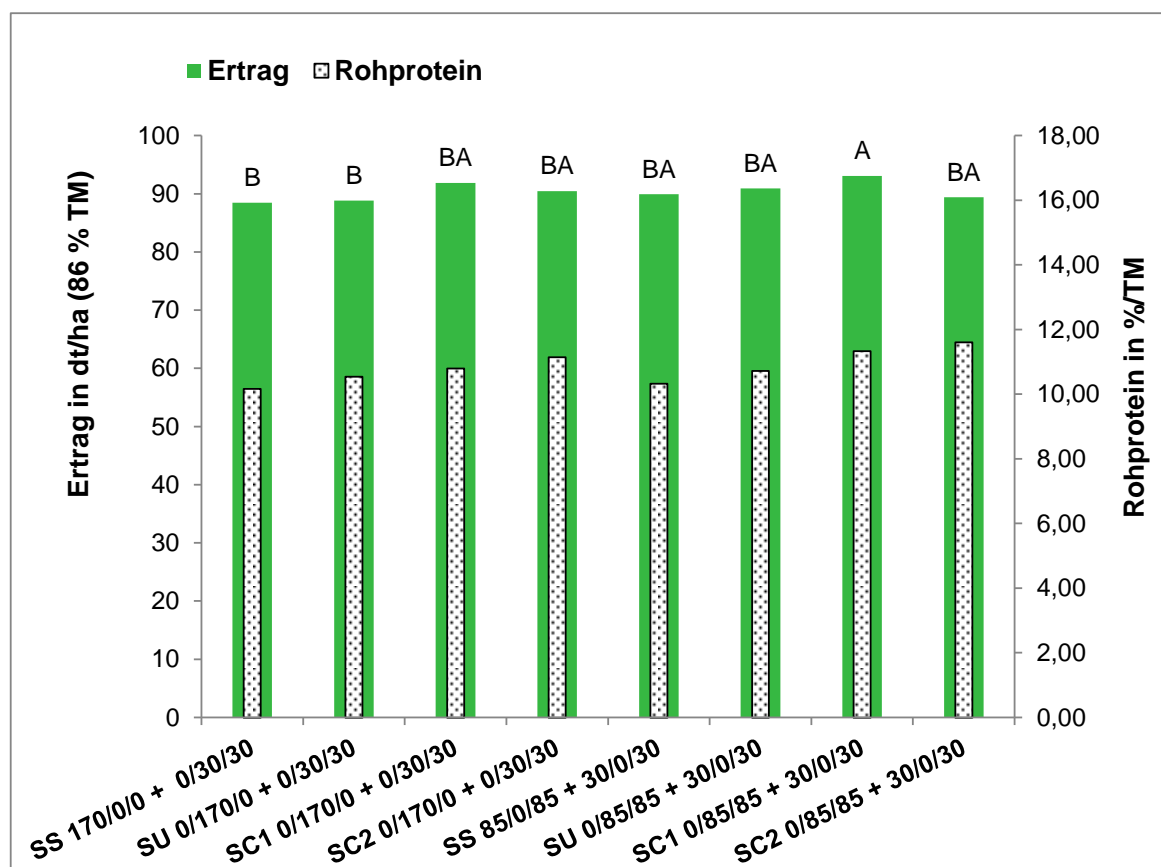


Abb. 32: Ertrag und Rohprotein bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung mit mineralischer Ergänzung, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.1.2 N-Salden Versuch 557

In Abbildung 33 sind die N-Salden der jeweiligen Versuchsglieder (Tabelle 1) graphisch als Balken dargestellt. Den geringsten N-Saldo weist die „Nullparzelle“ auf, wo weder eine organische noch eine mineralische Düngung durchgeführt wurde, gefolgt von Variante 2 mit einer mineralischen Düngung von 100 kg N/ha. Ein ausgeglichener Saldo wurde mit einer mineralischen Düngung von 150 kg N/ha erzielt, dies bedeutet, dass die N-Zufuhr genauso hoch war, wie die N-Abfuhr. Bei einer mineralischen Düngung von 210 kg N/ha war die N-Zufuhr um 26 kg höher als die N-Abfuhr. Bei den Versuchsgliedern 10 bis 13 sank der N-Saldo deutlich, abhängig von der Ausbringtechnik. Bei Versuchsglied 10 wurde 170 kg N/ha organisch über SS zu Vegetationsbeginn ausgebracht. Mit der SU-Technik konnte der Saldo im Vergleich zum SS um 4 kg verringert werden. Der geringste N-Saldo wurde in diesem Block mit der SC 2 (14 kg/ha) erreicht. Wird die Ausbringtechnik SS mit der Technik SC 2 verglichen, so kann der N-Saldo um 27 kg/ha verringert werden. Begründet werden kann das dadurch, dass mit der SC 2 weniger Ammoniakverluste entstehen und dadurch der Pflanze mehr Stickstoff zur Verfügung steht. Das gleiche Phänomen konnte in den Versuchsgliedern 15 bis 17 beobachtet werden. Der Versuchsgliederblock unterscheidet sich zu dem zuvor genannten Block in der Höhe der ausgebrachten organischen Menge von 85 kg N/ha und einer mineralischen Ergänzungsdüngung von 90 kg N/ha. Auch hier wurde mit der SC 2 der niedrigste N-Saldo (10 kg/ha) erreicht. Werden die Versuchsglieder 11 bis 13 mit den Versuchsgliedern 19 bis 21 (plus 60 kg N/ha mineralisch) miteinander verglichen, sind die N-Salden der Glieder 19 bis 21 auf einem deutlich höheren Niveau. Werden die Varianten 11 und 19 (jeweils SU 170 kg N/ha BGR) gegenübergestellt, so ist bei Variante 19 (plus 60 kg N/ha KAS) der N-Saldo um 21 kg/ha höher. Bei Vergleich der Varianten 12 und 20 bzw. 13 und 21 sind die N-Salden bei einer zusätzlichen mineralischen Düngung von 60 kg N/ha um 23 bzw. 26 kg/ha höher als ohne mineralischer Ergänzungsdüngung. Im Versuchsblock mit den Versuchsgliedern 22 bis 25 wurden jeweils 85 kg N/ha organisch mit einer mineralischen Ergänzungsdüngung von 90 kg N/ha ausgebracht. Die Versuchsglieder unterscheiden sich nur in der Ausbringtechnik des organischen Düngers. Bei Variante 22 (SS) beträgt der N-Saldo 27 kg/ha, bei Variante 23(SU) ist der Saldo um 2 kg/ha geringer. Bei der Variante 24 (SC 1) und Variante 25 (SC 2) liegt der N-Saldo bei 21 bzw. 22 kg/ha. Im Versuchsblock mit den Varianten 27 bis 29 wurde der organische Dünger jeweils mit 85 kg N/ha zu Vegetationsbeginn und BBCH 30, mit einer mineralischen Ergänzungsdüngung von 60 kg N/ha ausgebracht. Auch hier unterscheiden sich die Versuchsglieder durch die Ausbringtechnik der organischen Dünger. Der höchste N-Saldo resultierte mit der Ausbringtechnik SU, gefolgt von der SC 1-Technik. Mit der SC 2 konnte der niedrigste N-Saldo in diesem Versuchsblock erreicht werden. Für den Versuch 557 zu Winterweizen kann gefolgert werden, dass die N-Salden durch den Einsatz der Scheibentechnik tief bzw. Scheibentechnik im Gegensatz zu der Ausbringtechnik Schleppschlauch und Schleppschuh gesenkt werden können. Dies liegt darin begründet, dass es bei den genannten Techniken (Scheibentechnik und Scheibentechnik tief) zu geringeren Stickstoffverlusten kommt als bei den Techniken Schleppschlauch und Schleppschuh.

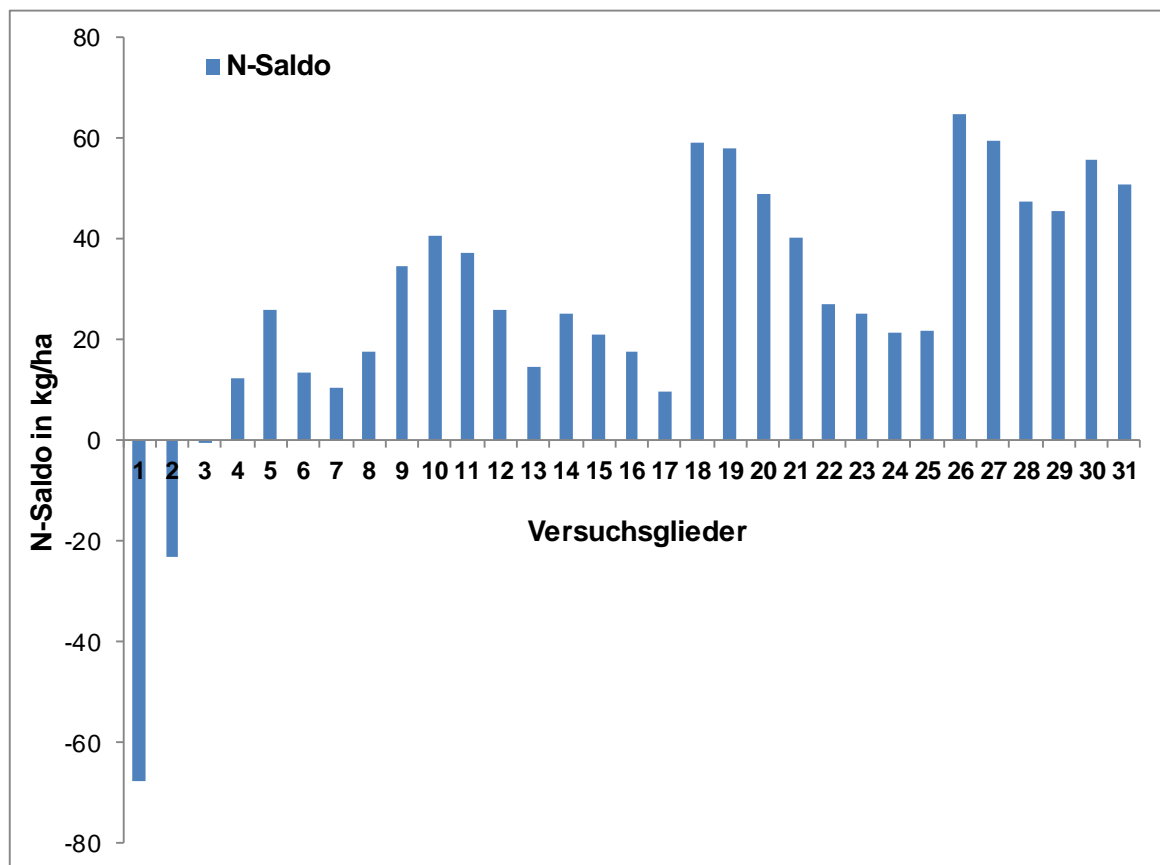


Abb. 33: N-Salden der verschiedenen Versuchsglieder, Versuch 557.

4.1.3 N_{\min} -Gehalte nach der Ernte

Die mineralischen Stickstoffgehalte (N_{\min}) der einzelnen Versuchsvarianten wurden nach der Ernte ermittelt. Dafür wurde eine repräsentative Anzahl an Bodenproben aus den Tiefen 0–30 cm und 30–60 cm von jeder einzelnen Versuchsparzelle gezogen.

In Abbildung 34 sind die N_{\min} -Gehalte je Versuchsglied (vergleiche Tabelle 1) dargestellt. Die N_{\min} -Gehalte lagen im Bereich zwischen 33 und 44 kg/ha, was einen sehr niedrigen Wert darstellt. Allgemein kann festgehalten werden, dass die N_{\min} -Werte bei der Ausbringtechnik SC 2 in der Tendenz leicht höher liegen, verglichen mit den restlichen verwendeten Ausbringtechniken. Auch das ist ein Hinweis darauf, dass mit dieser Technik durch die Minderung der Ammoniakverluste mehr Stickstoff in den Boden gebracht wurde.

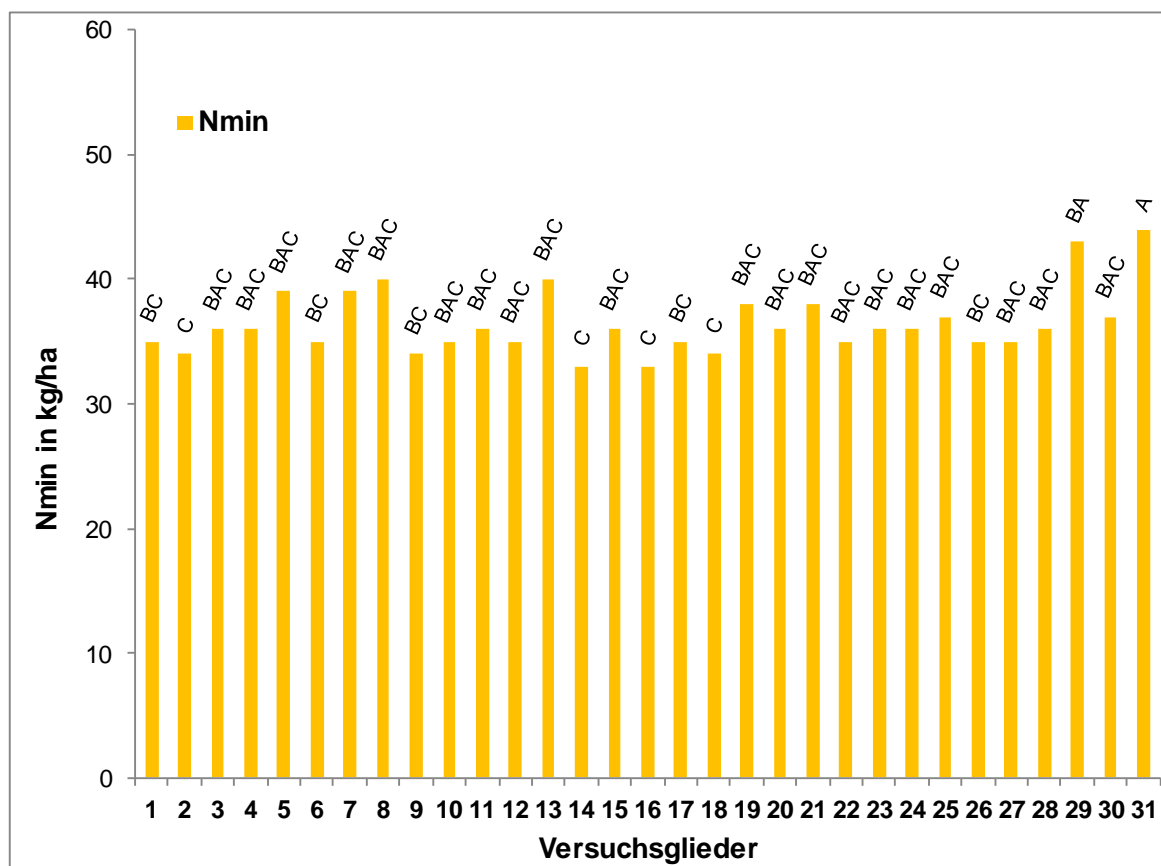


Abb. 34: N_{\min} -Gehalte im Boden nach der Weizenernte je Versuchsglied, Versuch 557. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den N_{\min} -Gehalten.

4.1.4 Mineraldüngeräquivalente V 557

Die Düngeverordnung (DüV) setzt bei Biogasgärrest eine Mindestwirksamkeit von 50 % des enthaltenen Gesamtstickstoffs im Anwendungsjahr fest (DüV, 2017). In Abbildung 35 ist das Mineraldüngeräquivalent der einzelnen Versuchsglieder dargestellt (blaue Linie = Vorgabe nach DüV). Bei einer rein organischen Düngung mit BGR in Höhe von 170 kg N/ha kann die Düngeverordnungsgrenze nur mit der SC 2 (MDÄ = 70 %) und SC 1 (MDÄ = 60 %) eingehalten werden. Mit der SS-Technik ist nur eine Wirksamkeit der Gülle in Höhe von 41 % zu erreichen. Der hier verwendete SU schneidet im Vergleich zum SS um ca. 5 % besser ab. Entscheidend ist auch der Ausbringzeitpunkt der organischen Düngung. Bei Vergleich der Variante „SU 0/85/0 + 30/30/30“ mit der Variante „SU 0/0/85 + 30/30/30“ konnte bei der organischen Düngung zu Vegetationsbeginn mit Schleppschuh im Gegensatz zu einer Düngung zu BBCH 30 ein höherer MDÄ von ca. 10 % erreicht werden. Werden die beiden Ausbringzeitpunkte, wie zuvor beschrieben, bei der SC 1 verglichen, so ist die N-Wirkung bei einer Ausbringung zu Vegetationsbeginn um 19 % besser als zu BBCH 30. Gleiches gilt für die Ausbringtechnik SC 2, wo die Wirkung bei einer Ausbringung zu Vegetationsbeginn um 41 % besser ist, als wie eine Ausbringung in den Bestand bei BBCH 30. Werden die Ausbringtechniken SS und SU miteinander verglichen („SS 0/0/85 + 30/30/30“ und „SU 0/0/85 + 30/30/30“), ist festzustellen, dass das MDÄ bei der Technik SU leicht höher liegt (ca. 2 %).

Das MDÄ steigt in der Reihenfolge SS>SU>SS>SC2. Frühe Ausbringtermine wirken sich positiv auf das MDÄ aus, ebenso kann die mineralische Ergänzung das MDÄ erhöhen.

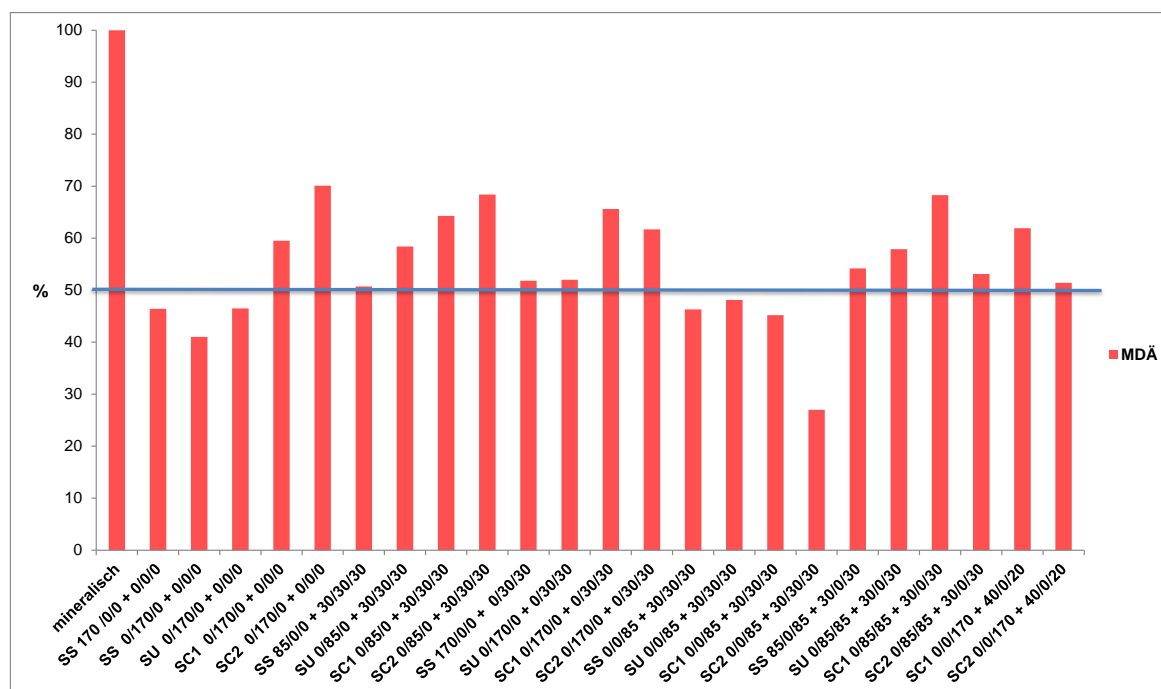


Abb. 35: Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) je Versuchsglied, Versuch 557. SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief, blaue Linie = Vorgabe nach DüV.

4.2 Ergebnisse der Feldversuche zur Düngung/Technik zu Silomais (V 558)

Der Versuch 558 zu Silomais mit einer abfrierenden Zwischenfrucht wurde an Standorten um Rottbach durchgeführt. Der Versuch wurde als dreijähriger Versuch verrechnet und ausgewertet. Die Auswertung erfolgte nach den in den Versuchen angelegten Auswertungsgruppen, sowie als Gesamtversuch. Nachfolgend die Versuchsfragestellungen:

- a. Welchen Einfluss hat die Ausbringtechnik bei der organischen Düngung auf Ertragsparameter?
- b. Wie wirkt sich eine Kombination mit Biogasgärrest und mineralischer Düngung auf den Ertrag und die N-Abfuhr aus?
- c. Welche Auswirkung hat eine Ausbringung von Biogasgärresten zu unterschiedlichen Vegetationsstadien auf Ertrag und N-Wirkung des organischen Düngers?
- d. Wie wirkt sich die Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen zu Biogasgärrest aus?
- e. Welche N-Wirkung kann mit einer Kombination aus Biogasgärrest und mineralischem Dünger erzielt werden?
- f. Welche Erträge und N-Salden können bei einer Düngungssteigerung mit mineralischem Dünger erzielt werden?
- g. Welche Auswirkung hat die unterschiedliche Düngung auf den N_{\min} -Wert nach der Ernte?

In Tabelle 27 sind TM-Ertrag sowie N-Abfuhr für jedes einzelne Versuchsglied aufgeführt.

Tab. 27: Ertrag und N-Abfuhr der einzelnen Versuchsglieder, Versuch 558

Vgl. Nr.	Technik	Ausbringzeitpunkt					Bemerkung	Ertrag (dt TM/ha)	N-Abfuhr (kg/ha)
		Organische N-Düngung (kg N/ha)		Mineralische N-Düngung (kg N/ha)					
		vor Saat	30 cm Wuchsh.	vor Saat	Unterfußdüngung	bei 20 cm Wuchshöhe			
1				0	0	0		191,4	163,8
2				0	30	0		210,4	187,2
3				0	30	40		221,9	218,4
4				0	30	80		233,9	241,9
5				40	30	80		235,9	254,0
6				80	30	80		241,0	267,8
7				120	30	80		240,0	277,8
8				70	0	80	ohne U-Fuß	230,8	238,6
9	Schleppschuh		170	0	30	0	15 cm nS	226,1	225,7
10	Scheibentechnik		170	0	30	0	37,5 cm nS	233,0	247,0
11	Breitverteilung	170		0	30	0		238,4	244,1
12	Breitverteilung + Schleppschuh	100	70	0	30	0	2. Gabe 15 cm nS	229,1	231,2
13	Breitverteilung + Schleppschuh	150	100	0	30	0	2. Gabe 15 cm nS	238,7	255,5
14	Breitverteilung + Scheibentechnik	100	70	0	30	0	2. Gabe 37,5 cm nS	233,4	247,7
15	Breitverteilung	170		0	30	30		244,9	267,8
16	Breitverteilung + Scheibentechnik	100	70	0	30	30	2. Gabe 37,5 cm nS	244,3	272,1
17	Strip Tillage	170		0	30	0	20 cm nS	220,4	253,2
18	Strip Tillage	170		0	30	0	uS	234,4	260,7
19	Strip Tillage	170+P		0	30	0	uS + Piadin	226,0	262,0
20	Strip Tillage	170		0	0	30	uS	232,6	252,8
21	Strip Tillage	170+P		0	0	30	uS + Piadin	232,4	253,9
22	Strip Tillage	170		0	30	30	uS	233,3	262,1
23	Strip Tillage	170+P		0	30	30	uS + Piadin	222,8	254,2
24*	Scheibentechnik tief	170		0	30	0		232,2	252,2
25*	Scheibentechnik tief	170		0	30	0	Kreiselegge	244,6	264,3

4.2.1 Ertrag und N-Abfuhr

4.2.1.1 Mineralische Düngungssteigerung

Im Versuch wurden rein mineralisch gedüngte Parzellen angelegt, um die Wirkung der organischen Düngung mit BGR bewerten zu können. Die mineralische Düngung erfolgte vor der Saat, zur Saat in Form einer Unterfußdüngung und bei einer Wuchshöhe von 20 cm. In Abbildung 36 sind der Ertrag in dt/ha TM und die N-Abfuhr in kg/ha dargestellt. Der Ertrag stieg in der Tendenz bis zu einer Düngemenge von 150 kg N/ha. Bei einer höheren mineralischen Düngung konnten keine relevanten Ertragsunterschiede mehr festgestellt werden. Die Erträge lagen bei der „Nullvariante“ (ohne Düngung) bei ca. 191 dt TM/ha. Der höchste Ertrag mit 241 dt TM/ha wurde mit einer mineralischen Düngung von 190 kg N/ha erzielt. Die N-Abfuhr stieg mit steigender mineralischer Düngung. Die N-Abfuhr betrug bei der Nullparzelle 164 dt/ha und bei einer Düngung mit 230 kg N/ha 278 kg/ha. Der Ertrag sowie die N-Abfuhr bei der Variante mit einer N-Düngung von 150 kg/ha ohne Unterfußdüngung waren jeweils geringer als die Variante 150 kg N/ha mit Unterfußdüngung.

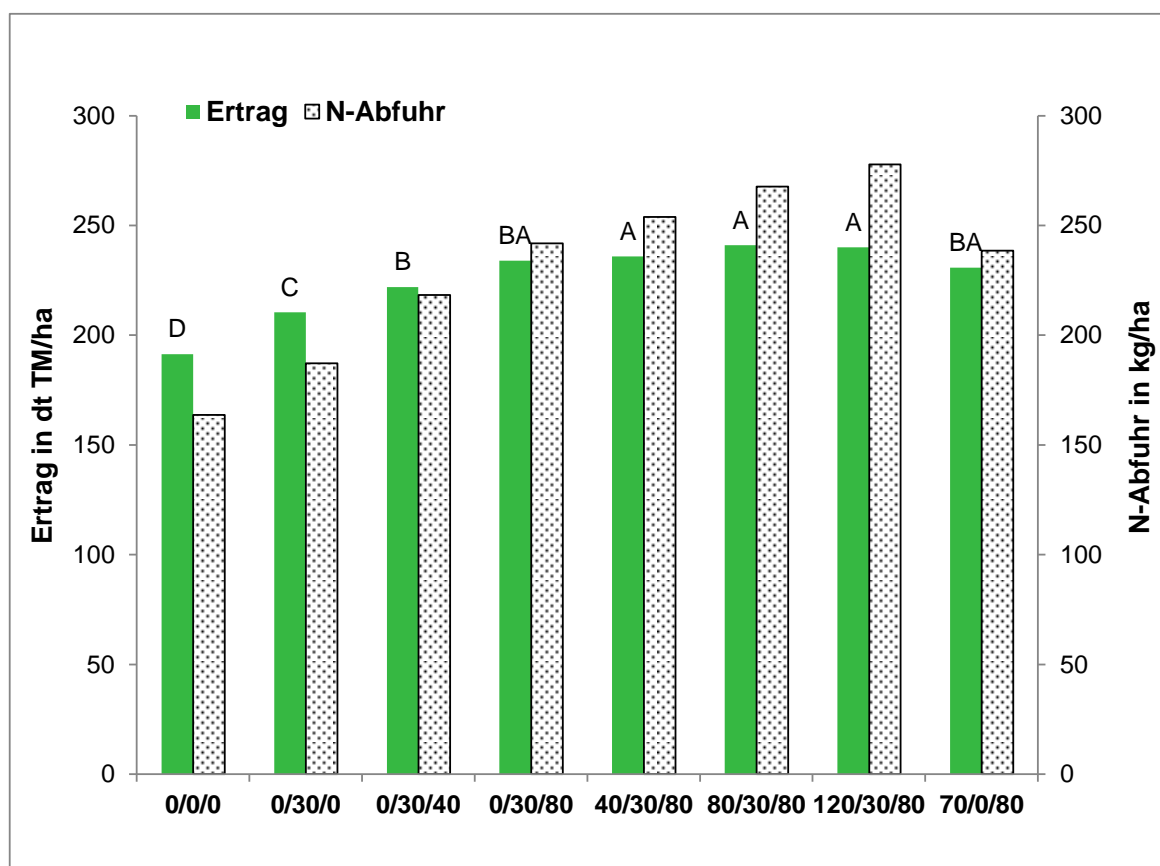


Abb. 36: TM-Ertrag und N-Abfuhr der mineralischen Düngungssteigerung, Versuch 558. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.2.1.2 Einfluss der Applikationstechnik sowie Mengen, Aufteilung und Zeitpunkt der Düngung mit Biogasgärrest auf N-Abfuhr und TM-Ertrag

Bei der Ausbringung von BGR (170 kg N/ha) mit den Techniken SU verglichen mit der SC in Maisbestand bei einer Wuchshöhe von 30 cm und einer Unterfußdüngung von 30 kg N/ha konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt werden (Abbildung 37). Jedoch waren die Erträge in der Tendenz bei der SC höher. Die N-Abfuhr war im Vergleich der beiden Varianten bei der SC signifikant höher. Die Varianten „BV/SU 100/70 + 0/30/0“ und „BV/SC 100/70 + 0/30/0“ unterscheiden sich in der Ausbringtechnik in den Bestand bei einer Wuchshöhe von 30 cm. Hier konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt werden. Jedoch war die N-Abfuhr bei der Variante mit SC signifikant höher als mit der SU-Technik. Die Varianten „BV/SU 100/70 + 0/30/0“ und „BV/SU 150/100 + 0/30/0“ unterscheiden sich in der Höhe der ausgebrachten organischen Dünger. Es konnte keine signifikante Ertragssteigerung bei der hohen organischen Düngung festgestellt werden. Die N-Abfuhr bei der Variante mit der geringeren organischen Düngung lag bei 231 kg/ha und um 24 kg/ha geringer als bei der höher gedüngten Variante. Bei einer Breitverteilung von BGR (170 kg N/ha) vor der Saat mit sofortiger Einarbeitung und einer Unterfußdüngung von 30 kg N/ha wurde ein Ertrag von 238 dt TM/ha erzielt. Im Vergleich zu den vorangegangenen beschriebenen Varianten liegt die N-Abfuhr im mittleren Bereich (244 kg/ha).

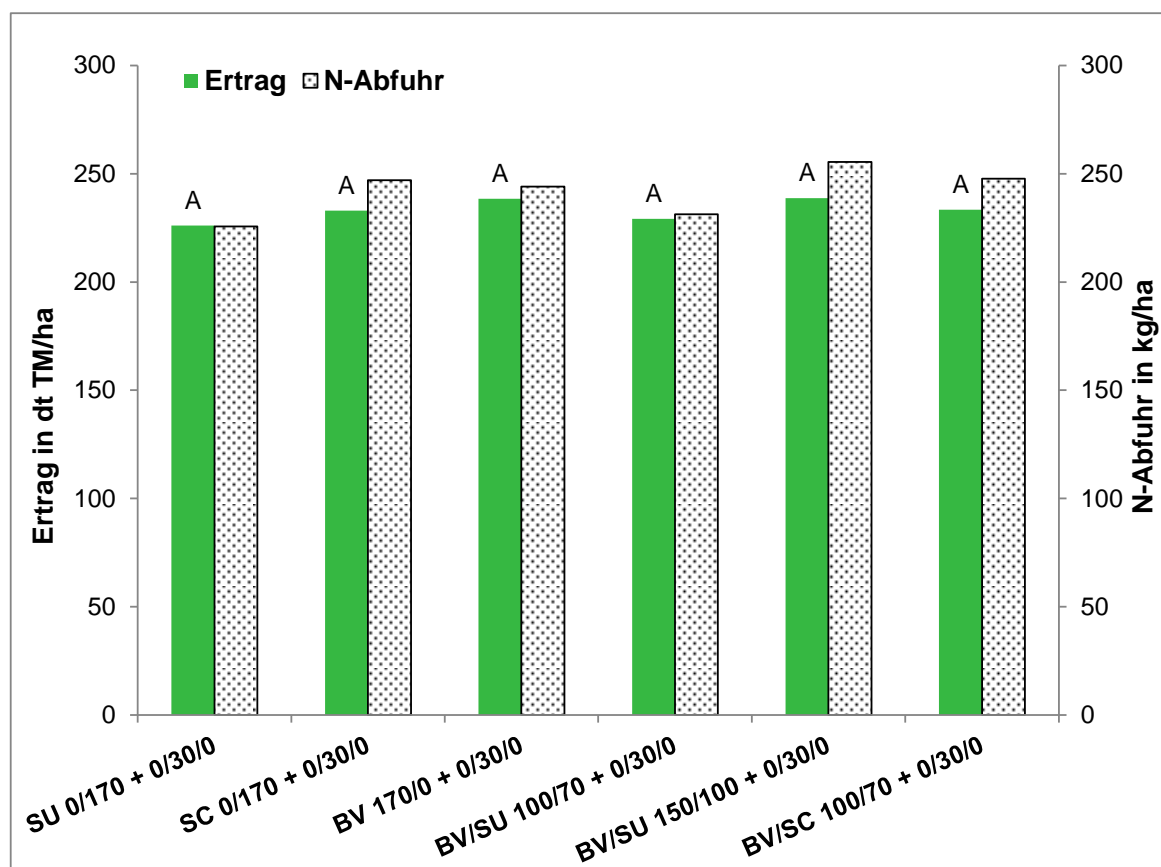


Abb. 37: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Ausbringungsmengen, Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 558. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.2.1.3 Einfluss der Aufteilung von Biogasgärrestgaben auf unterschiedlichen Vegetationsstadien auf N-Abfuhr und TM-Ertrag

In Abbildung 38 werden die beiden Versuchsvarianten „BV 170/0 + 0/30/30“ und „BV/SC 100/70 + 0/30/30“ gegenüber gestellt. In der ersten beschriebenen Variante wurde der BGR (170 kg N/ha) vor der Saat breit verteilt und sofort eingearbeitet. Zusätzlich zur organischen Düngung wurden 30 kg N/ha über die Unterfußtechnik zur Saat und die gleiche Menge bei einer Wuchshöhe von 20 cm appliziert. In der zweiten Variante wurden die 170 kg N/ha über BGR aufgeteilt. Es wurden 100 kg N/ha vor der Saat mit BV ausgebracht und sofort eingearbeitet. Die übrigen 70 kg N/ha BGR wurden bei einer Wuchshöhe von 30 cm mit der SC-Technik in den Bestand ausgebracht. Es konnte kein signifikanter Ertragsunterschied zwischen den beiden Varianten festgestellt werden. Ebenso war die N-Abfuhr nahezu identisch. Folglich macht es keinen Unterschied hinsichtlich Ertrag und N-Abfuhr, ob die organische Düngung als eine Gabe vor der Saat oder aufgeteilt gegeben wird.

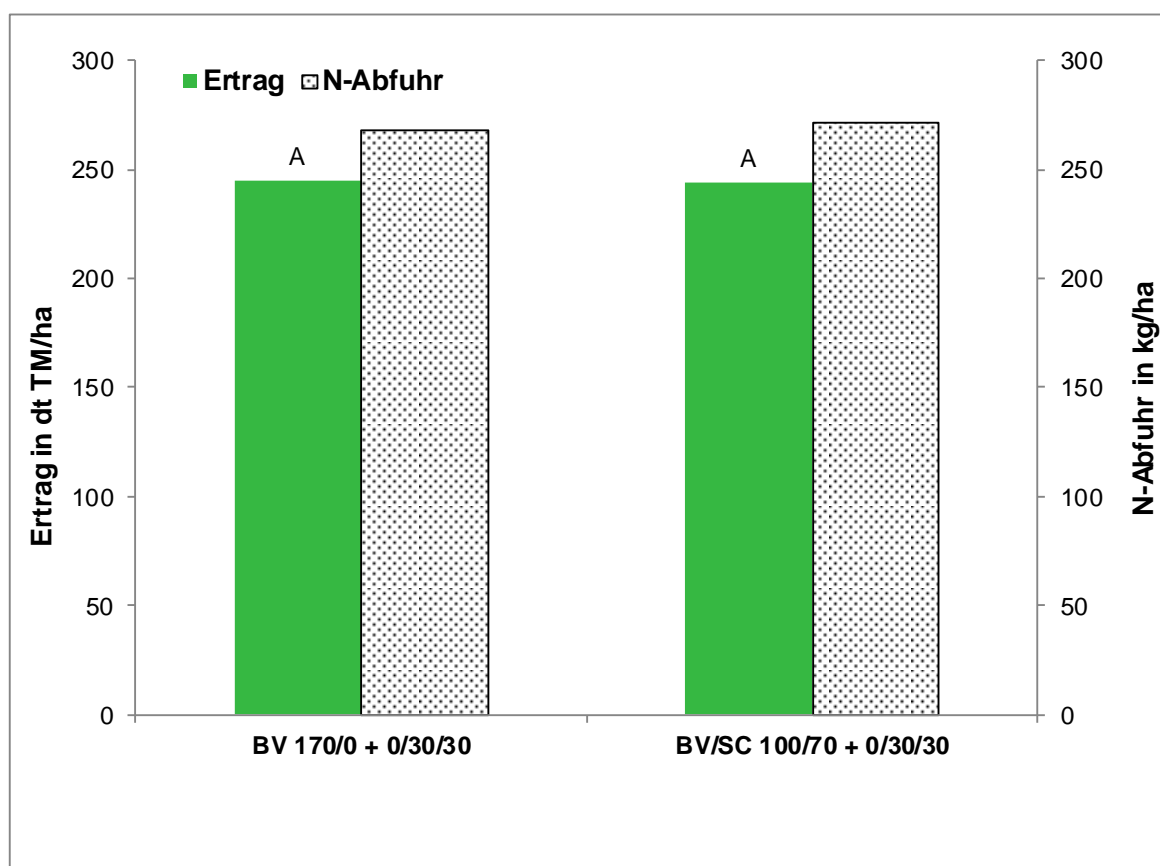


Abb. 38: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 558. BV=Breitverteilung, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.2.1.4 Einfluss der Applikationstechnik auf N-Abfuhr und TM-Ertrag bei der Düngung mit Biogasgärrest

In Abbildung 39 wird die Ausbringtechnik ST mit der SC 2 verglichen. Es wurden drei Varianten zu Strip Tillage angelegt. Die Varianten unterscheiden sich in der Ablage des Güllebandes, bei einer Variante wurde zusätzlich Piadin (Jahr 2016 Entec) als Nitrifikationshemmstoff zugegeben. Bei der Variante, bei der das Gülleband ca. 20 cm neben der Saatgutablage eingebracht wurde, war der Ertrag (220 dt TM/ha) signifikant niedriger als bei der Variante, in der das Gülleband genau unter die Saatreihe abgelegt wurde (234 dt TM/ha). Bei der Zugabe von Piadin und Ablage des Güllebands unter die Saatreihe wurde ein Minderertrag (8 dt TM/ha) im Vergleich zur Variante ohne Piadin ermittelt. Signifikante Unterschiede in der N-Abfuhr der drei Varianten konnten nicht festgestellt werden. Die beiden SC 2-Varianten unterscheiden sich in der Saatbettbereitung. Mit einer Saatbettbereitung nach der Ausbringung von BGR mit der SC 2-Technik war der Ertrag um ca. 10 dt TM/ha höher als bei einer Direktsaat. Hinsichtlich N-Abfuhr unterscheiden sich die beiden Varianten nicht signifikant. Der Einsatz der SC 2-Technik mit Saatbettbereitung führt zu ca. 10 dt TM/ha höheren Ertrag als die ST-Variante mit BGR-Applikation unter die Saatreihe, jedoch konnte dies nicht statistisch abgesichert werden.

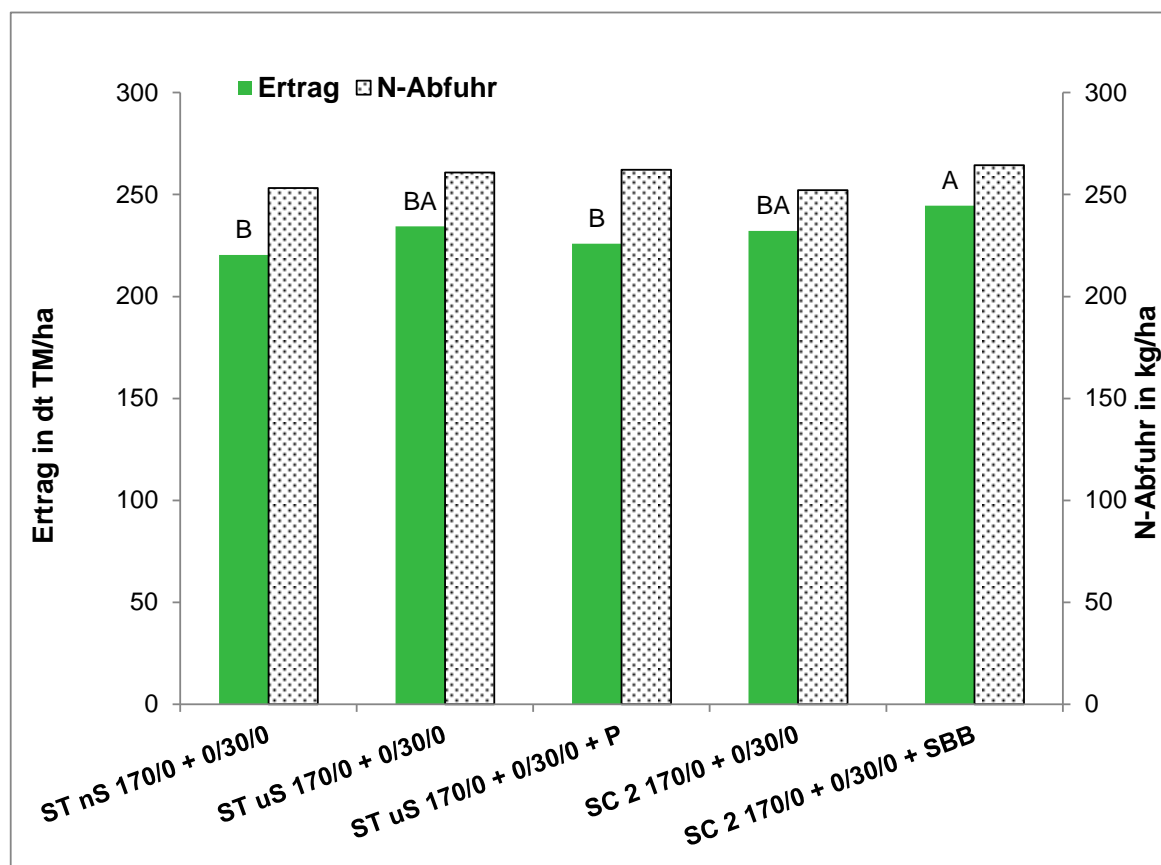


Abb. 39: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken (Applikationssort, Einarbeitung, Nitrifikationsinhibitor) bei der Biogasgärrestdüngung, Versuch 558., ST=Strip Tillage, SC 2=Scheibe tief, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin, SBB=Saatbettbereitung. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.2.1.5 Einfluss der Zugabe eines Nitrifikationsinhibitors zu Biogasgärrest auf N-Abfuhr und TM-Ertrag bei der Düngung mit Biogasgärrest (ohne Unterfußdüngung)

Untersucht wurden die Varianten ST mit Ausbringung des BGR unter die Saatreihe von Silomais mit einer mineralischen Ergänzungsdüngung von 30 kg N/ha bei einer Wuchshöhe von 20 cm mit und ohne Zugabe eines Nitrifikationshemmstoffs. Die Zugabe von Piadin zum verwendeten BGR hat verglichen mit der Variante ohne Piadin keinen Einfluss auf den Trockenmasseertrag von Silomais (Abbildung 40). Der Ertrag war unter den in diesem Projekt anzutreffenden Versuchsbedingungen identisch, ebenso die N-Abfuhr. Die Wirkung von Nitrifikationshemmstoffen ist jedoch auch stark abhängig vom verwendeten BGR und Boden, was bereits frühere Versuchsergebnisse zeigen (Offenberger, et al. 2016).

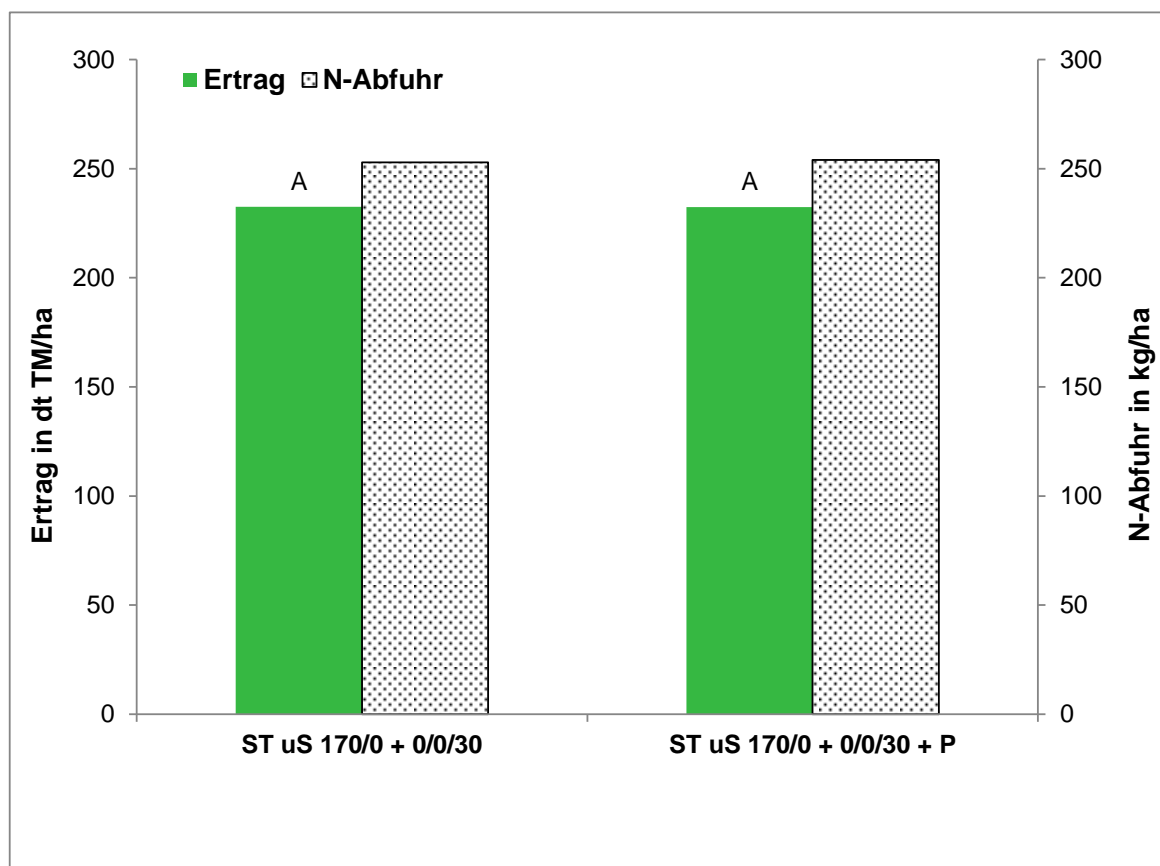


Abb. 40: TM-Ertrag und N-Abfuhr beim Einsatz eines Strip Tillage-Gerätes bei der Biogasgärrestdüngung unter Zugabe eines Nitrifikationsinhibitors, Versuch 558., ST=Strip Tillage, uS=unter Saatreihe, P=Piadin. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.2.1.6 Einfluss von Aufteilungen und Zeitpunkten von Biogasgärrestgaben bei verschiedenen Applikationstechniken auf N-Abfuhr und TM-Ertrag bei der Düngung mit Biogasgärrest

In Abbildung 41 werden unterschiedliche Applikationstechniken mit verschiedenen BGR-Ausbringzeitpunkten und Aufteilung der Gaben dargestellt. Der höchste Trockenmasseertrag von 244 dt/ha wurde durch eine Ausbringung des BGR (170 kg N/ha vor der Saat) mittels der SC 2, mit Saatbettbereitung und einer Unterfußdüngung mit 30 kg N/ha erreicht. Bei dieser Variante ist auch die N-Abfuhr mit 265 kg/ha am höchsten. Einen Ertrag von nur 220 dt TM/ha lieferte die Variante, bei der 170 kg N/ha BGR über die ST-Technik 20 cm neben der Saatreihe und einer mineralischen Unterfußdüngung von 30 kg N/ha ausgebracht wurde. Ebenfalls ein signifikant niedrigerer Ertrag (225 dt TM/ha) wurde bei der Variante „ST uS 170/0 + 0/30/0 + P“ festgestellt. Eine Ausbringung von 170 kg N/ha BGR mit SU in den Bestand und einer Unterfußdüngung von 30 kg N/ha führte ebenfalls zu einem signifikanten Minderertrag (226 dt TM/ha). Bei allen anderen Varianten, die in Abbildung 41 dargestellt sind, konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt werden.

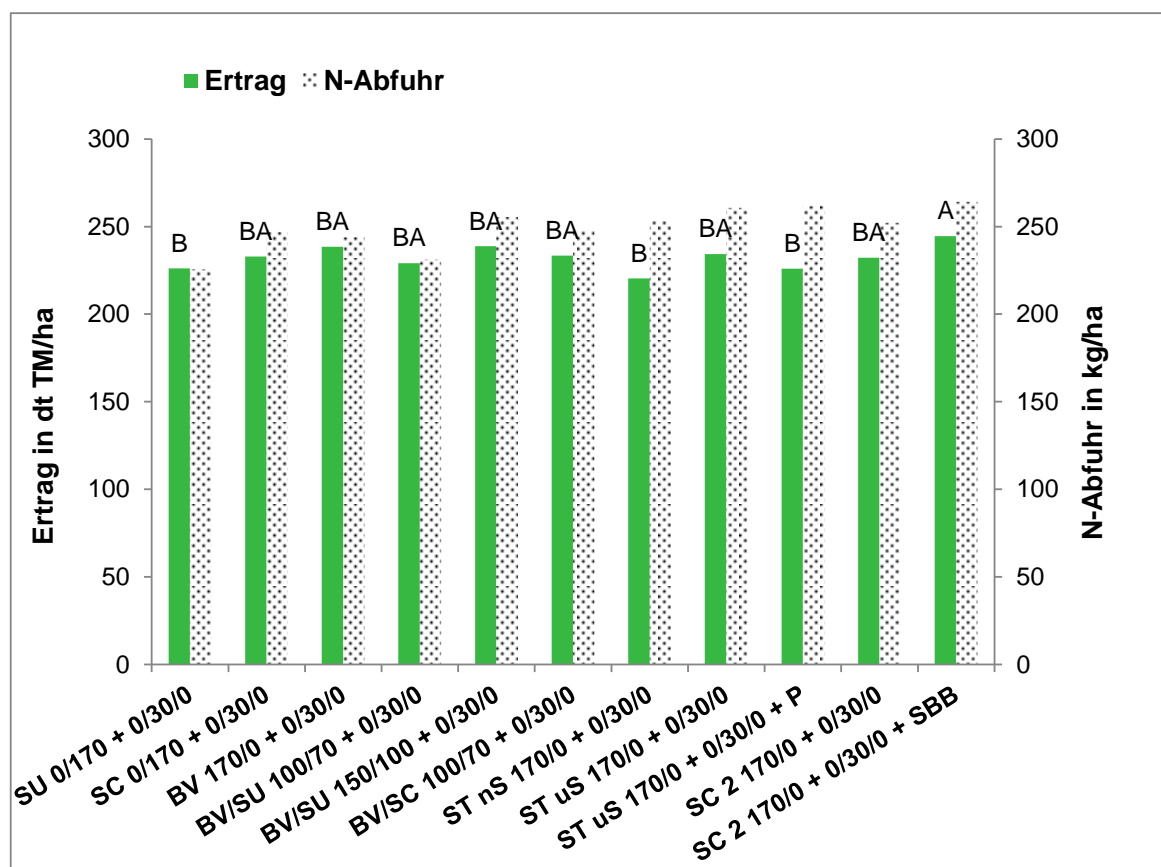


Abb. 41: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken (Applikationssort, Einarbeitung, Nitrifikationsinhibitor) und verschiedenen Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 558. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais, ST=Strip Tillage, SC 2=Scheibe tief, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin, SBB=Saatbettbereitung. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.2.2 N-Salden Versuch 558

In Abbildung 42 sind die N-Salden der jeweiligen Versuchsglieder (Tabelle 4) als blaue Balken dargestellt. Bei den N-Salden der roten Balken ist eine Zwischenfruchtdüngung im Herbst mit 60 kg N/ha (Gesamtstickstoff) über organischen Dünger (BGR) unterstellt, was an die Praxis orientiert ist. Im Versuch wurde keine Herbstdüngung zur Zwischenfrucht durchgeführt, da diese aufgrund einer hohen N-Nachlieferung nicht notwendig war. Die Ausbringverluste in Höhe von 10,5 % nach DüV sind bei der Herbstdüngung berücksichtigt. Werden die blauen Balken betrachtet, so ist, ausgenommen Parzelle 13, auf jeder Einzelparzelle ein negativer Saldo vorzufinden. Bei Parzelle 13 wurden 150 kg N/ha BGR mittels BV vor der Saat, 100 kg N/ha BGR mit SU in den Bestand und zusätzlich 30 kg N/ha über Unterfußdüngung ausgebracht (Saldo + 32 kg N/ha). Bei einer rein mineralischen Düngung von 230 kg N/ha ist der N-Saldo mit -48 kg noch stark negativ. Der Grund hierfür ist, dass bei diesem Versuch die Erträge und somit auch die N-Abfuhr auf einem sehr hohen Niveau lagen. Die in der Praxis weit verbreitete Variante 11 (170 kg N/ha BGR mittels BV und Unterfußdüngung 30 kg N/ha) hatte einen negativen N-Saldo von 35 kg/ha. Werden die roten Balken betrachtet, so ist auffällig, dass die Salden durch die unterstellte Herbstdüngung höher ausfallen. (plus 54 kg N/ha aus der Herbstdüngung zur Zwischenfrucht). Bei einer mineralischen Düngung von 190 kg N/ha ist der N-Saldo mit -24 kg jedoch noch deutlich unter dem maximal erlaubten Wert der DüV (DüV, 2017).

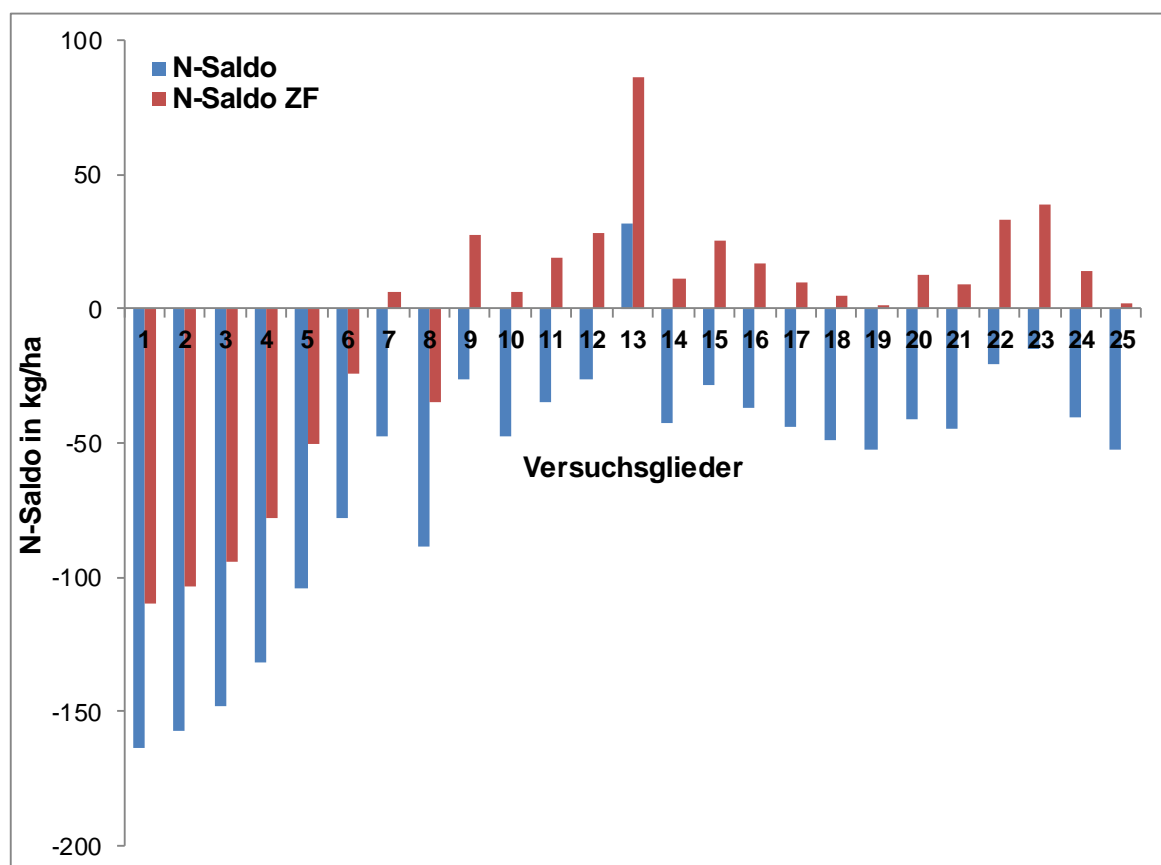


Abb. 42: N-Salden der verschiedenen Versuchsglieder, Versuch 558. Blaue Balken: N-Salden je Versuchsglied, rote Balken: N-Salden unter Einbeziehung einer Herbstdüngung zur Zwischenfrucht (ZF).

4.2.3 N_{\min} -Gehalte nach der Ernte

Die N_{\min} -Gehalte der einzelnen Versuchsvarianten wurden nach der Ernte ermittelt. Dafür wurde eine repräsentative Anzahl an Bodenproben aus den Tiefen 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm von jeder einzelnen Versuchsparzelle gezogen.

In Abbildung 43 sind die N_{\min} -Gehalte je Versuchsglied (Tabelle 4) dargestellt. Die Gehalte lagen im Bereich zwischen 22 und 54 kg/ha. Bei einer rein mineralischen Düngung mit 230 kg N/ha war der N_{\min} -Gehalt nach der Ernte signifikant am höchsten. Dies liegt darin begründet, dass das Ertragsoptimum bereits mit einer mineralischen Düngung von 150 kg N/ha (Abbildung 36) erreicht wurde und eine „Mehrdüngung“ nicht mehr von der Maispflanze aufgenommen werden konnte. Hier besteht die Gefahr, dass der überschüssige Stickstoff im Boden ausgewaschen wird. Den signifikant niedrigsten N_{\min} -Gehalt nach der Ernte wies die Parzelle 11 (170 kg N/ha BGR, BV vor der Saat mit sofortiger Einarbeitung, Unterfußdüngung 30 kg N/ha) auf, er lag bei 22 kg/ha. Hieraus resultiert, dass die ausgebrachte Stickstoffmenge sehr gut von der Pflanze aufgenommen bzw. für die Ertragsbildung benötigt wurde (Abbildung 37 und 41). Bei allen anderen Versuchsvarianten (ausgenommen Mineraldüngervarianten) konnte kein signifikanter Unterschied im N_{\min} -Gehalt im Boden festgestellt werden.

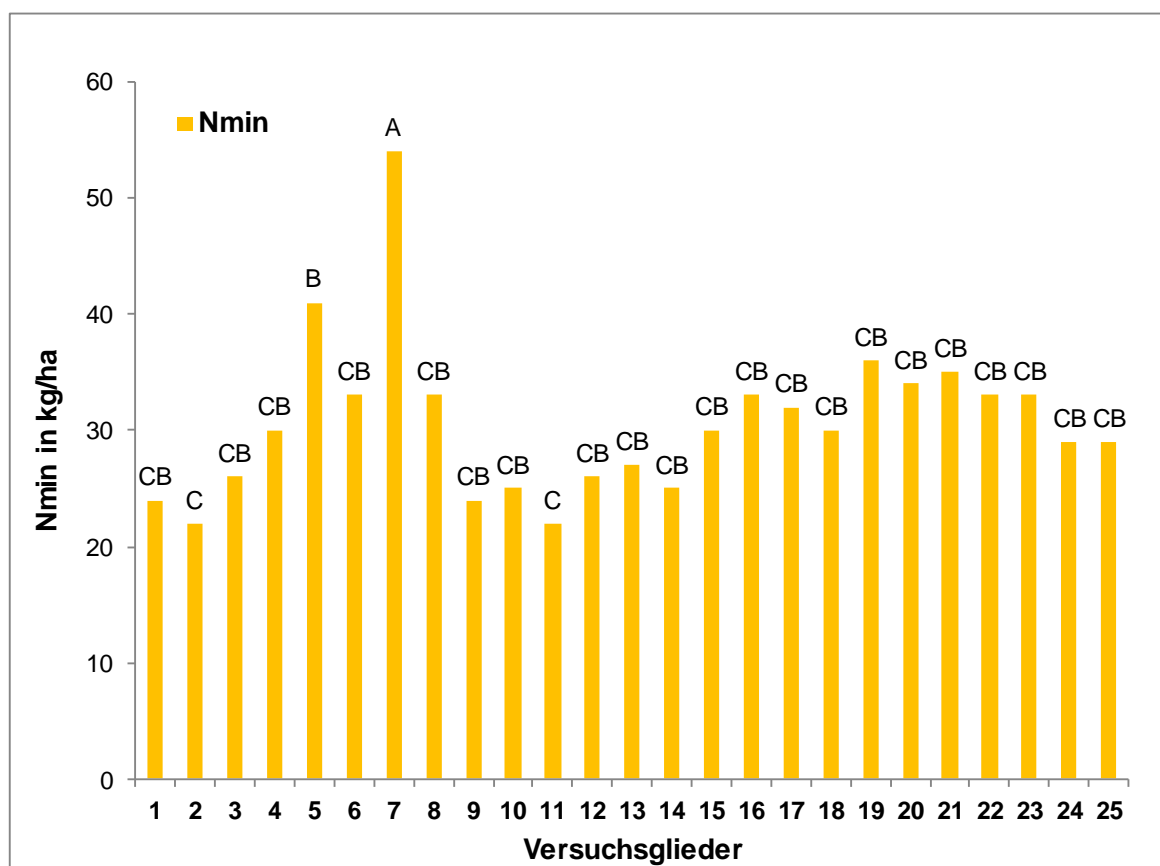


Abb. 43: N_{\min} -Gehalte im Boden nach der Maisernte je Versuchsglied, Versuch 558. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den N_{\min} -Gehalten.

4.2.4 Mineraldüngeräquivalente V 558

Wie in Kapitel 4.1.4.1 bereits beschrieben, fordert die Düngeverordnung eine Wirksamkeit von 50 % (des Gesamtstickstoffs) bei Biogasgärrest (DüV, 2017). Bei den untersuchten Versuchsvarianten konnten nur fünf Versuchsglieder die von der DüV geforderte Mindestwirksamkeit erreichen (Abbildung 44). Eine N-Wirkung von 50 % wurde mit der Variante 18 erzielt. Hier wurde 170 kg N/ha BGR mittels ST vor der Saat genau unter die Saatreihe injiziert in Kombination mit einer Unterfußdüngung von 30 kg N/ha KAS zur Saat. Bei der Ausbringung der gleichen Menge BGR mit der Technik BV vor der Saat und unmittelbarer Einarbeitung mit der Kreiselegge (+ Unterfußdüngung) konnte das MDÄ auf 65 % gesteigert werden. Bei den Versuchsvarianten 15 (170 kg N/ha BGR, BV, sofortige Einarbeitung, Unterfußdüngung, Ergänzungsdüngung 30 kg N/ha KAS bei 20 cm Wuchshöhe), 16 (100 kg N/ha BGR, BV, sofortige Einarbeitung, Unterfußdüngung, Ergänzungsdüngung 30 kg N/ha KAS bei 20 cm Wuchshöhe, 70 kg N/ha BGR SC bei 30 cm Wuchshöhe) und 25 (170 kg N/ha BGR, SC, Unterfußdüngung) lag das MDÄ bei über 70 %. Bei allen anderen Versuchsgliedern mit organischer Düngung konnten die Vorgaben der DüV, hinsichtlich Mindestwirksamkeit des Biogasgärrestes nicht eingehalten werden.

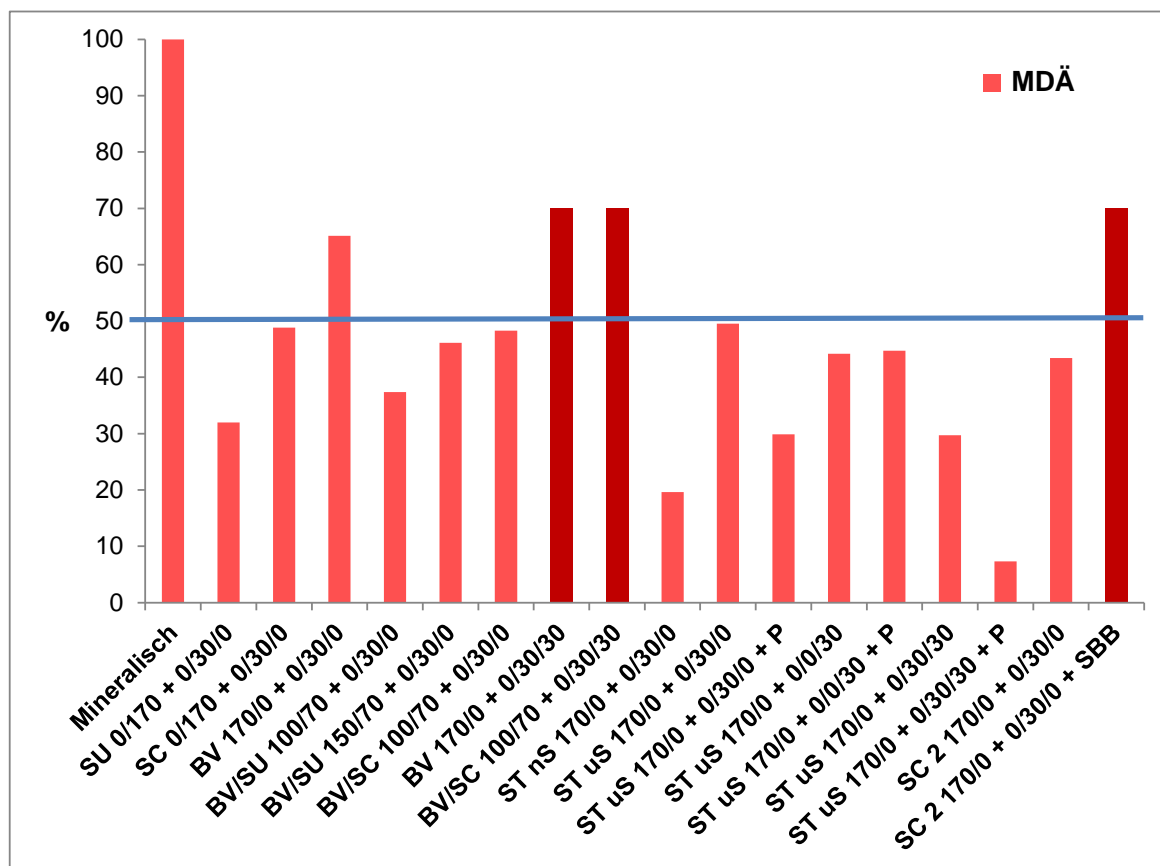


Abb. 44: Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) je Versuchsglied, Versuch 558. Dunkle Säulen kennzeichnen ein MDÄ \geq 70 %. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais, ST=Strip Tillage, SC 2=Scheibe tief, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin, SBB=Saatsbettbereitung.

4.3 Ergebnisse der Feldversuche zur Düngung/Technik zu Silomais (V 559)

Der Versuch 559 zu Silomais mit einer Zweitfrucht Grünroggen (mit Nutzung im Frühjahr vor der Maissaat) wurde an den Standorten um Rottbach durchgeführt. Der Versuch wurde als zweijähriger Versuch verrechnet und ausgewertet (Versuchsjahr 2016 konnte nicht ausgewertet werden). Die Auswertung erfolgte nach den in den Versuchen angelegten Auswertungsgruppen. Nachfolgend die Versuchsfragestellungen:

- a. Welchen Einfluss hat die Ausbringtechnik bei der organischen Düngung auf Ertragsparameter?
- b. Wie wirkt sich eine Kombination mit Biogasgärrest und mineralischer Düngung auf den Ertrag und die N-Abfuhr aus?
- c. Welche Auswirkung hat eine Ausbringung von Biogasgärresten zu unterschiedlichen Vegetationsstadien auf Ertrag und N-Wirkung des organischen Düngers?
- d. Wie wirkt sich die Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen zu Biogasgärrest aus?
- e. Welche N-Wirkung kann mit einer Kombination aus Biogasgärrest und mineralischem Dünger erzielt werden?
- f. Welche Erträge und N-Salden können bei einer Düngungssteigerung mit mineralischem Dünger erzielt werden?
- g. Welche Auswirkung hat die unterschiedliche Düngung auf den N_{\min} -Wert nach der Ernte?

In Tabelle 28 sind TM-Ertrag sowie N-Abfuhr für jedes einzelne Versuchsglied aufgeführt.

Tab. 28: Ertrag und N-Abfuhr der einzelnen Versuchsglieder, Versuch 559

Vgl. Nr.	Technik	Ausbringzeitpunkt					Bemerkung	Ertrag (dt TM/ha)	N-Abfuhr (kg/ha)
		Organische N-Düngung (kg N/ha)		Mineralische N-Düngung (kg N/ha)					
		vor Saat	30 cm Wuchsh.	vor Saat	Unterfußdüngung	bei 20 cm Wuchshöhe			
1		0	0	0	0	0		119,7	95,8
2		0	0	0	30	0		153,3	124,9
3		0	0	0	30	40		177,4	147,7
4		0	0	0	30	80		191,8	179,4
5		0	0	40	30	80		204,7	201,3
6		0	0	80	30	80		214,7	231,2
7		0	0	120	30	80		220,7	246,2
8	Breitverteilung	170	0	0	30	0		203,1	196,5
9	Breitverteilung + Schleppschuh	100	70	0	30	0	2. Gabe 15 cm nS	196,6	182,8
10	Breitverteilung + Scheibentechnik	100	70	0	30	0	2. Gabe 37,5 cm nS	204,1	199,7
11	Schleppschuh	0	170	0	30	0	15 cm nS	178,8	167,1
12	Scheibentechnik	0	170	0	30	0	37,5 cm nS	198,8	205,6
13	Breitverteilung	170	0	0	30	30		211,1	214,3
14	Breitverteilung + Scheibentechnik	100	70	0	30	30	2. Gabe 37,5 cm nS	213,8	228,0
15	Strip Tillage	170	0	0	30	0	20 cm nS	163,4	177,6
16	Strip Tillage	170	0	0	30	0	uS	186,4	192,4
17	Strip Tillage	170 + P	0	0	30	0	uS + Piadin	190,8	202,5
18	Strip Tillage	170	0	0	0	30	uS	183,4	192,0
19	Strip Tillage	170	0	0	30	30	uS	184,4	205,2
20	Strip Tillage	170 + P	0	0	30	30	uS + Piadin	190,7	216,3

4.3.1 Ertrag und N-Abfuhr

4.3.1.1 Mineralische Düngungssteigerung

Im Versuch wurden sieben Versuchsglieder mit einer rein mineralischen Düngungssteigerung angelegt, um die Wirkung der organischen Düngung mit BGR bewerten zu können. Die mineralische Düngung erfolgte vor der Saat, zur Saat in Form einer Unterfußdüngung und bei einer Wuchshöhe von 20 cm. Abbildung 45 zeigt den Ertrag in dt TM/ha und die N-Abfuhr in kg/ha. Der Ertrag stieg signifikant bis zu einer Düngemenge von 190 kg N/ha an. Bei einer höheren mineralischen Düngung (230 kg N/ha) wurde kein signifikanter Ertragsanstieg beobachtet. In der Variante ohne Düngung lag der Trockenmasseertrag bei 120 dt/ha. Bei einer mineralischen Düngung in Höhe von 190 kg N/ha wurden 215 dt TM/ha ermittelt, was eine Differenz von 95 dt TM/ha bedeutet. Bei einer Gesamtdüngemenge von 230 kg N/ha wurde ein Trockenmasseertrag von 221 dt/ha erreicht. Die N-Abfuhr stieg bei allen sieben Versuchsvarianten signifikant zur ausgebrachten Düngermenge an. Eine N-Abfuhr von 96 kg/ha über das Ernteprodukt Silomais, ergaben sich bei der „Nulldüngungsvariante“. Die höchste N-Abfuhr mit 246 kg N/ha hatte das Versuchsglied mit einer Düngung von 230 kg N/ha.

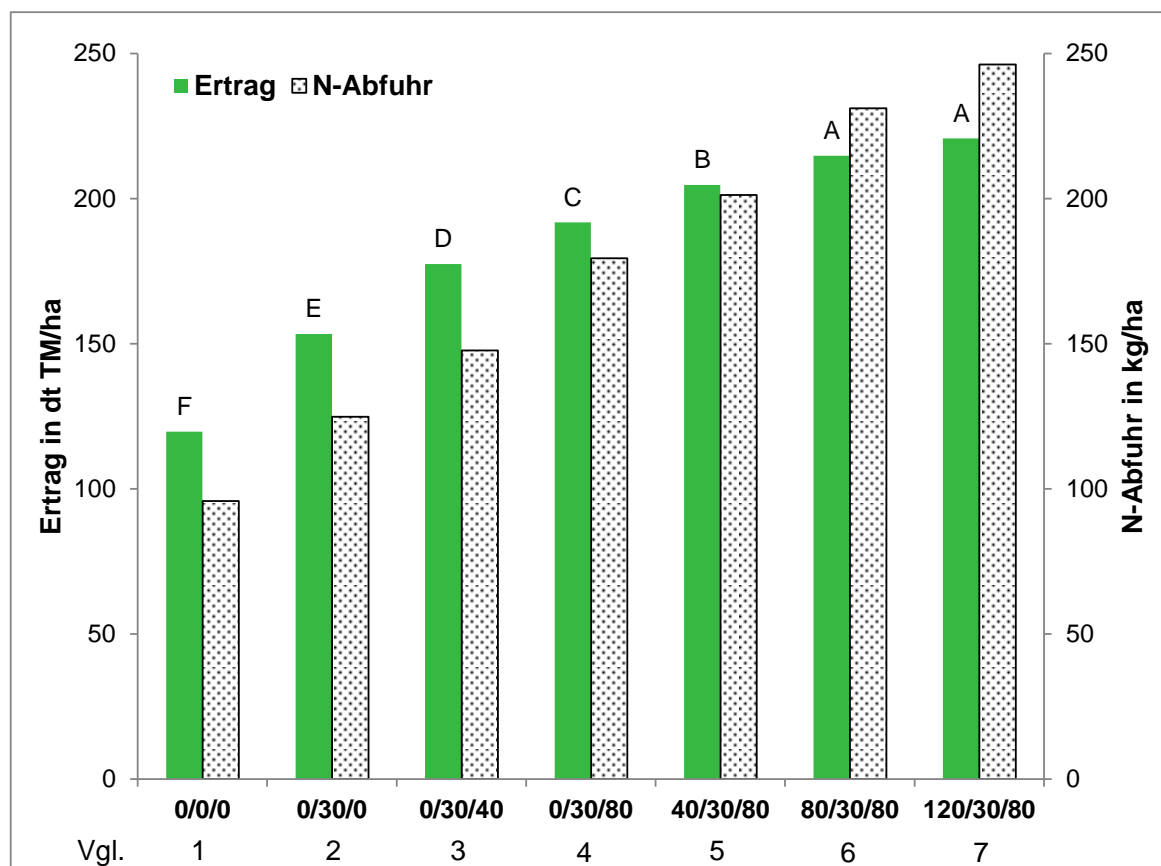


Abb. 45: TM-Ertrag und N-Abfuhr der mineralischen Düngungssteigerung, Versuch 559. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.3.1.2 Einfluss Aufteilung und Zeitpunkt der Düngung mit Biogasgärrest und verschiedenen Ausbringtechniken auf N-Abfuhr und TM-Ertrag

In Abbildung 46 sind unterschiedliche Ausbringtechniken der organischen Düngung und verschiedene Ausbringzeitpunkte dargestellt. Bei allen Varianten wurde bei der Saat eine Unterfußdüngung von 30 kg N/ha mit KAS durchgeführt. Die in der Praxis am häufigsten angewendete Versuchsvariante (170 kg N/ha BGR, BV vor der Saat mit sofortiger Einarbeitung) erzielte einen Trockenmasseertrag von 203 dt/ha und eine N-Abfuhr von 196 kg/ha. Der höchsten Ertrag mit 204 dt TM/ha konnte die Variante 10 (100 kg N/ha BGR mit BV vor der Saat und sofortiger Einarbeitung, 70 kg N/ha BGR bei 30 cm Wuchshöhe mit SC, Unterfußdüngung 30 kg N/ha KAS) verzeichnen. Im Vergleich dazu wurde bei Versuchsglied 9 die Ausbringung von BGR bei einer Wuchshöhe von 30 cm mit SU durchgeführt, wodurch der Ertrag um 7 dt TM/ha geringer, jedoch nicht signifikant ausfiel (bei Vergleich der fünf Varianten in der Graphik). Dies liegt darin begründet, dass die Stickstoffverluste bei der Ausbringung mit SU höher ausfallen, als mit der SC-Technik. Die N-Abfuhr war bei Versuchsglied 10 mit 200 kg/ha um 15 kg/ha signifikant höher als bei Versuchsglied 9. Signifikante Ertragsunterschiede von 20 dt TM/ha ergaben sich bei den Varianten 11 (170 kg N/ha BGR mit SU in den Bestand, bei 30 cm Wuchshöhe) und 12 (170 kg N/ha BGR mit SC-Technik in den Bestand, bei 30 cm Wuchshöhe). Die N-Abfuhr war bei Versuchsglied 12 um 39 kg/ha signifikant höher als bei Versuchsglied 11.

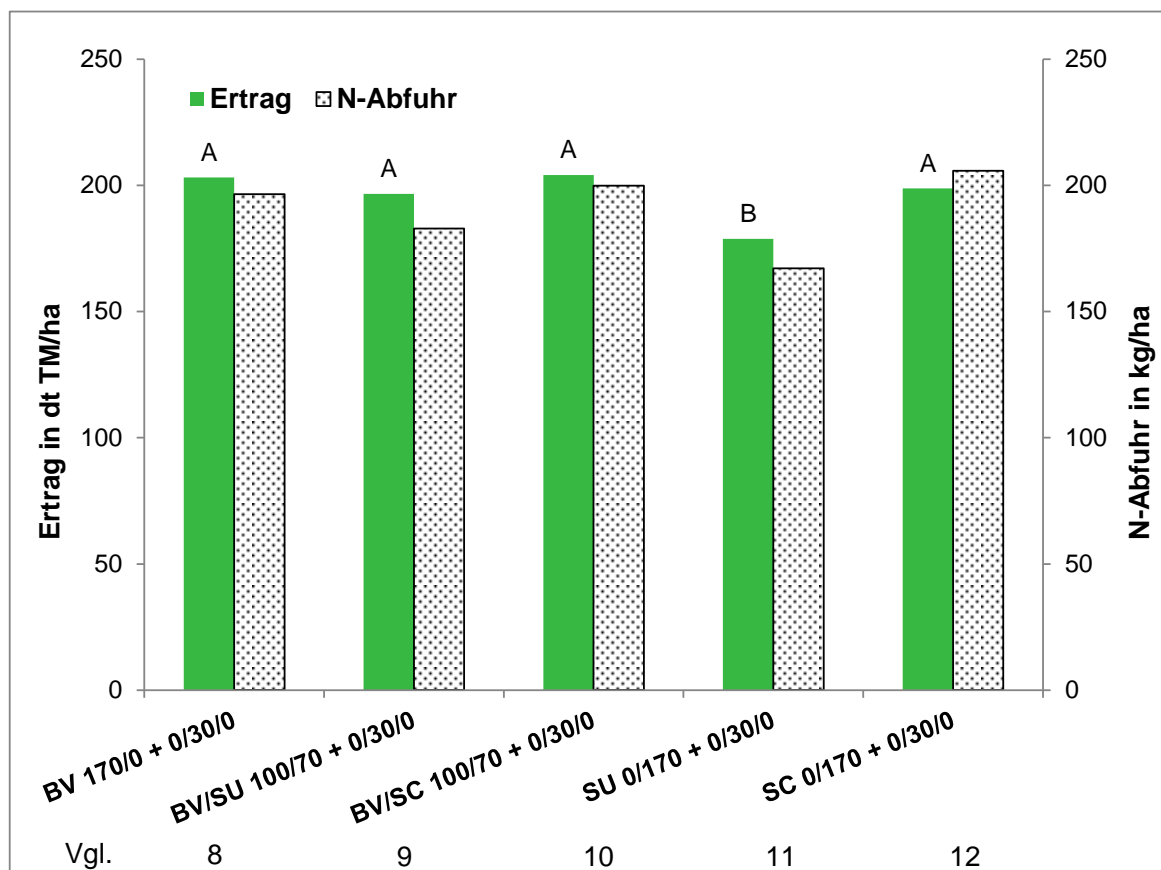


Abb. 46: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken sowie verschiedenen Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.3.1.3 Einfluss der Applikationstechnik auf N-Abfuhr und TM-Ertrag bei der Düngung mit Biogasgärrest

Werden die beiden Versuchsvarianten 9 und 10 nur für sich betrachtet und ausgewertet, so ergeben sich signifikante Ertragsunterschiede (Abbildung 47). Wie bereits in Abschnitt 4.3.1.2 beschrieben konnte bei Versuchsvariante 9 nur ein Ertrag von 197 dt TM/ha erzielt werden, bei Versuchsglied 10 hingegen 204 dt TM/ha. Hierbei hat die Witterung zum Zeitpunkt der Ausbringung in den Bestand bei 30 cm Wuchshöhe einen entscheidenden Einfluss. Bei warmer Witterung und ohne Niederschlag sind die Stickstoffverluste bei SU-Technik deutlich höher als mit SC-Technik. Bei der SC-Technik wurde der BGR zu 100 % in den Boden eingebracht, bei der SU-Technik hingegen liegt ein Großteil der Gülle auf dem Boden, was zu höheren N-Verlusten führt. Die Empfehlung für die Praxis lautet deshalb: Wird BGR in den Maisbestand mit Schleppschuhtechnik ausgebracht, sollte es bewölkt und nicht zu heiß sein. Optimal wäre ein Niederschlag unmittelbar nach der Düngung.

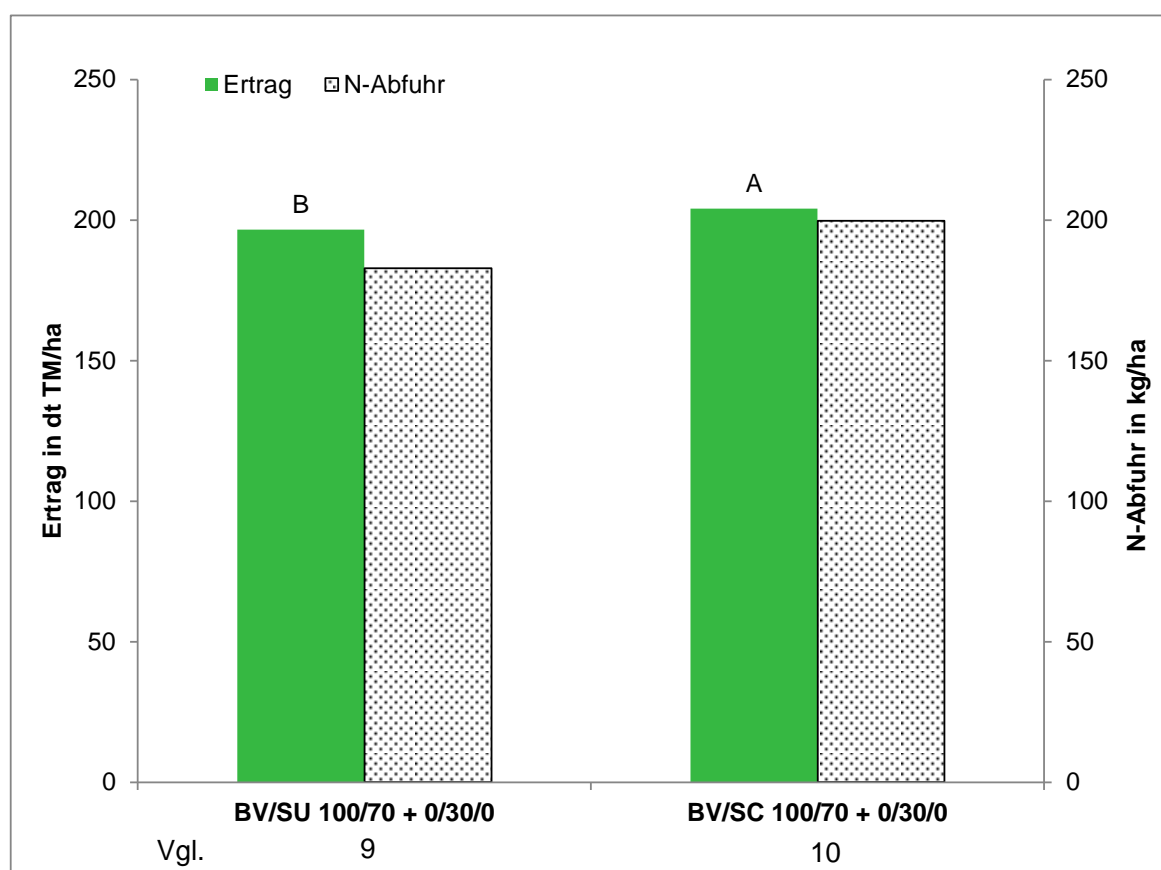


Abb. 47: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken bei der Biogasgärrestdüngung, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.3.1.4 Einfluss der Applikationsweise mittels Strip Tillage-Gerät bei der Düngung mit Biogasgärrest auf N-Abfuhr und TM-Ertrag

In Abbildung 48 werden unterschiedliche Strip Tillage Varianten miteinander verglichen. Allen Varianten wurde eine mineralische Ergänzungsdüngung von 30 kg N/ha gegeben. Ein signifikant geringerer Ertrag von 28 dt TM/ha wurde bei Versuchsglied 15 (170 kg N/ha BGR mit ST vor der Saat und 20 cm neben der Saatreihe, Unterfußdüngung 30 kg N/ha) im Vergleich zu Versuchsglied 16 ermittelt. Auch die N-Abfuhr war signifikant geringer. Bei Versuchsglied 17 wurde dem BGR Piadin zugesetzt (sonst identisch mit Versuchsglied 16). Hier konnte kein signifikanter Ertragsunterschied festgestellt werden, in der Tendenz wurde mit der Zugabe von Piadin ein höherer Ertrag erreicht. Die gleiche Tendenz ergibt sich bei der N-Abfuhr. Die mineralische Ergänzungsdüngung von 30 kg N/ha wurde bei Versuchsglied 18 nicht über die Unterfußdüngung gegeben sondern bei einer Wuchshöhe von 20 cm breitflächig verteilt. Hierbei konnten weder signifikante Ertragsunterschiede noch Unterschiede in der N-Abfuhr festgestellt werden.

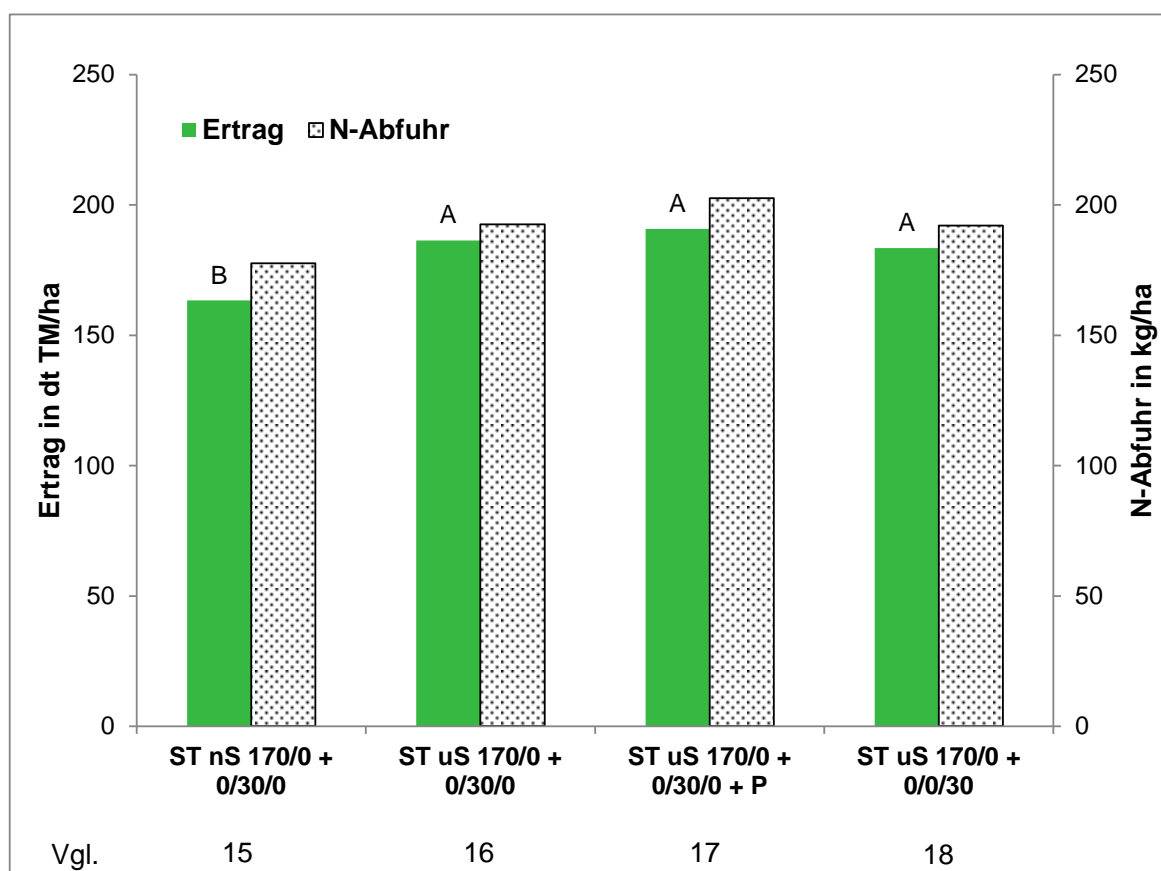


Abb. 48: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationsweisen des Biogasgärrestes mittels Strip Tillage-Gerät, Versuch 559. ST=Strip Tillage, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.3.1.5 Einfluss der Zugabe eines Nitrifikationsinhibitors zu Biogasgärrest mit mineralischer Ergänzung auf N-Abfuhr und TM-Ertrag bei der Düngung mit Biogasgärrest

Die in Abbildung 49 dargestellten Versuchsglieder unterscheiden sich darin, dass bei Versuchsglied 20 dem BGR Piadin vor der Ausbringung zugeführt wurde. Bei beiden Versuchsgliedern wurden 170 kg N/ha BGR über ST-Technik vor der Saat ausgebracht. Zusätzlich wurden jeweils 30 kg N/ha mit Unterfußdüngung und breitflächig in den Bestand bei 20 cm Wuchshöhe ausgebracht. Wie auch schon bei den Versuchsgliedern in Abbildung 48 ersichtlich, konnte auch bei diesen beiden Varianten kein signifikanter Ertragsunterschied festgestellt werden, jedoch war der Ertrag bei Zugabe von Piadin tendenziell höher. Die N-Abfuhr war signifikant höher bei Versuchsglied 20. Es wurden 216 kg N/ha bei Versuchsglied 20 und nur 205 kg N/ha bei Versuchsglied 19 mit dem Ernteprodukt abgefahren.

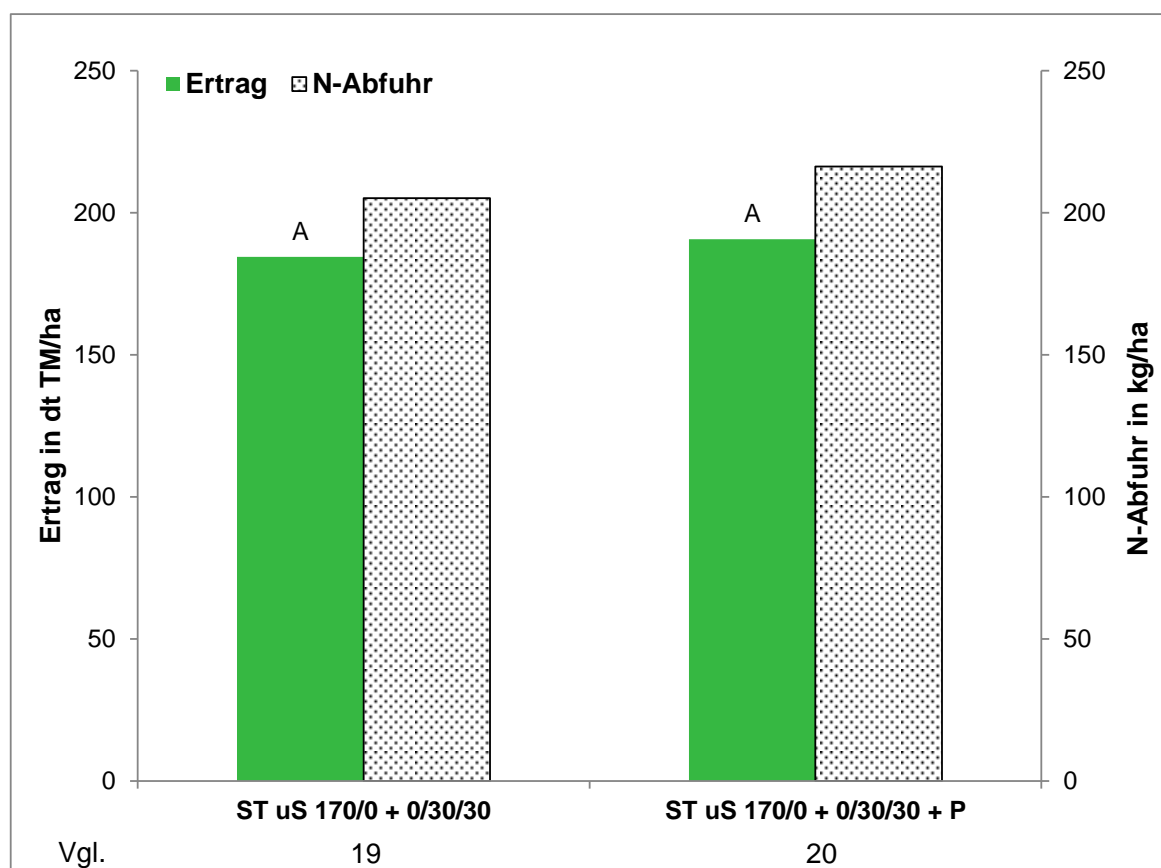


Abb. 49: TM-Ertrag und N-Abfuhr beim Einsatz eines Strip Tillage-Gerätes bei der Biogasgärrestdüngung unter Zugabe eines Nitrifikationsinhibitors und mineralischer Ergänzung, Versuch 559., ST=Strip Tillage, uS=unter Saatreihe, P=Piadin. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.3.1.6 Einfluss der Aufteilung und Zeitpunkt der Düngung sowie der Applikationstechnik mit Biogasgärrest auf N-Abfuhr und TM-Ertrag

In Abbildung 50 sind die Versuchsglieder 8 bis 14 dargestellt. Das Versuchsglied 14 konnte den höchsten Ertrag (214 dt TM/ha) mit organischer Düngung (100 kg N/ha BGR mit BV vor der Saat und sofortiger Einarbeitung, 70 kg N/ha BGR bei 30 cm Wuchshöhe mit SC-Technik, Unterfußdüngung 30 kg N/ha KAS, mineralische Ergänzungsdüngung 30 kg N/ha bei Wuchshöhe 20 cm) erreichen. Im Vergleich zu Versuchsglied 13, bei dem die gleiche Gärrestmenge in einer Gabe vor der Saat gegeben wurde konnte kein signifikanter Ertragsunterschied festgestellt werden. Die N-Abfuhr bei Versuchsglied 14 war signifikant und um 14 kg N/ha höher als bei Versuchsglied 13. Bei Betrachtung aller Versuchsglieder in Abbildung 52 ergab sich ein signifikanter geringerer Ertrag bei Versuchsglied 11. Auch die N-Abfuhr war signifikant geringer. Werden die Versuchsglieder 10 und 14 verglichen, so konnte bei einer zusätzlichen Ergänzungsdüngung von 30 kg N/ha ein signifikanter Mehrertrag erreicht werden.

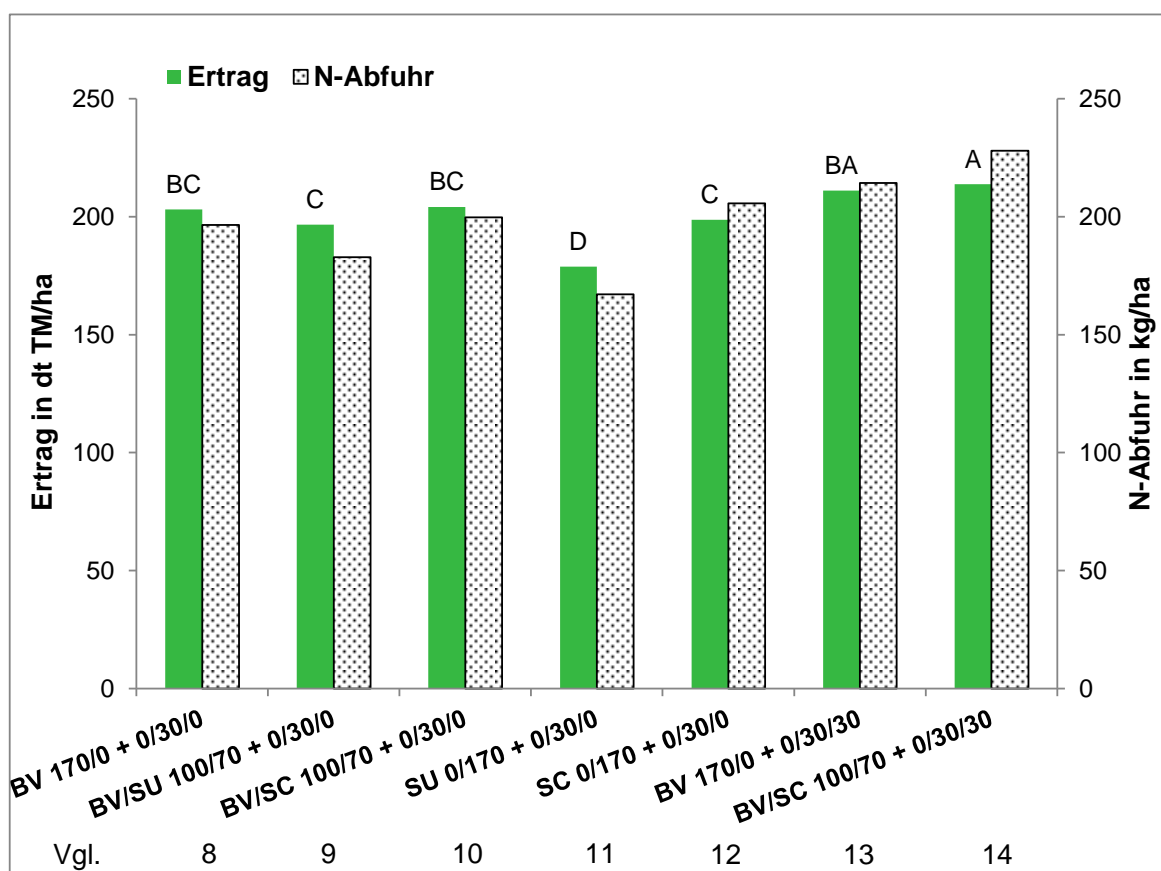


Abb. 50: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken sowie Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.3.1.7 Einfluss der Applikationstechnik sowie Aufteilung und Zeitpunkt von Biogasgärrestgaben auf N-Abfuhr und TM-Ertrag bei der Düngung mit Biogasgärrest

Werden die Versuchsglieder 8 bis 12 und 15 bis 18 miteinander ausgewertet, ergab sich bei Versuchsglied 15 (ST nS 170/0 + 0/30/0) der signifikant geringste Ertrag von 163 dt TM/ha (Abbildung 51). Einen signifikanten Mehrertrag von 16 dt TM/ha im Vergleich zu Versuchsglied 15, wurde mit Versuchsglied 11 (SU 0/170 + 0/30/0) erreicht. Die signifikant höchsten Erträge wurden mit Versuchsglied 10 (BV/SC 100/70 + 0/30/0) und 8 (BV 170/0 + 0/30/0) erreicht. Die signifikant höchsten N-Abfuhrungen wurden mit Versuchsglied 12 (SC 0/170 + 0/30/0), 17 (ST uS 170/0 + 0/30/0 + P) und 10 ermittelt. Die signifikant geringste N-Abfuhr hatte die Ausbringtechnik SU (170 kg N/ha BGR bei Wuchshöhe 20 cm) mit einer Unterfußdüngung von 30 kg N/ha.

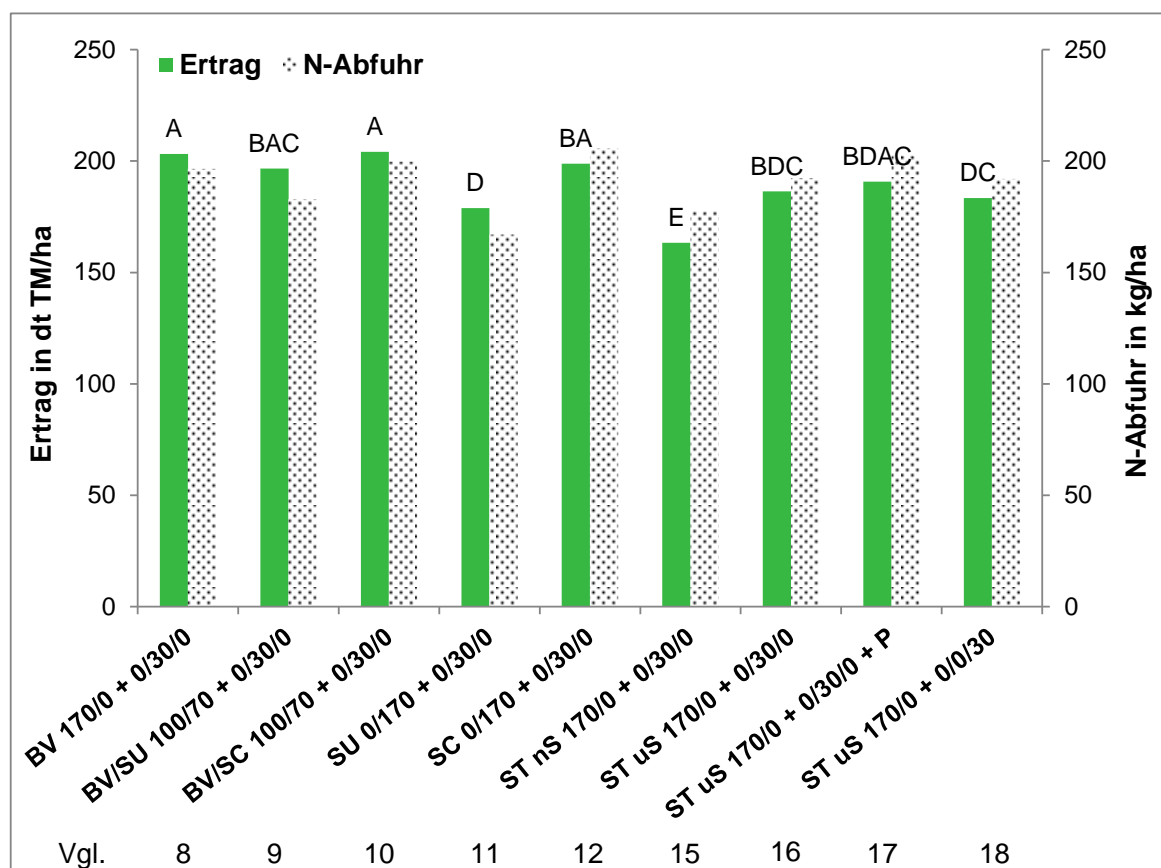


Abb. 51: TM-Ertrag und N-Abfuhr bei verschiedenen Applikationstechniken (Applikationssort, Nitrifikationsinhibitor), Aufteilungen und Zeitpunkten der Biogasgärrestdüngung, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais, ST=Strip Tillage, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen.

4.3.2 N-Salden Versuch 559

In Abbildung 52 sind die N-Salden der jeweiligen Versuchsglieder (Tabelle 6) dargestellt. Bei Betrachtung der mineralisch gedüngten Varianten (1 bis 7) ergab sich immer ein negativer Saldo. Der Grund hierfür ist, dass auch bei einer späten Maisaussaat im Versuch die Erträge und somit die N-Abfuhr auf einem sehr hohen Niveau lagen. Der höchste N-Saldo mit 37 kg/ha wies Versuchsglied 11 auf, da hier der Ertrag und auch die N-Abfuhr im Vergleich zur N-Zufuhr geringer waren als bei allen anderen Versuchsgliedern. Gleiches gilt für Versuchsglied 15 (N-Saldo 31 kg/ha) und 19 (N-Saldo 34 kg/ha). Die N-Zufuhr und N-Abfuhr ist bei Versuchsglied 12 ausgeglichen. Das in der Praxis am häufigsten angewendete Verfahren mit einer Ausbringung von 170 kg N/ha BGR mit BV vor der Saat und sofortiger Einarbeitung und einer Unterfußdüngung von 30 kg N/ha (Versuchsglied 10) wies ebenfalls einen sehr niedrigen N-Saldo von 12 kg/ha auf.

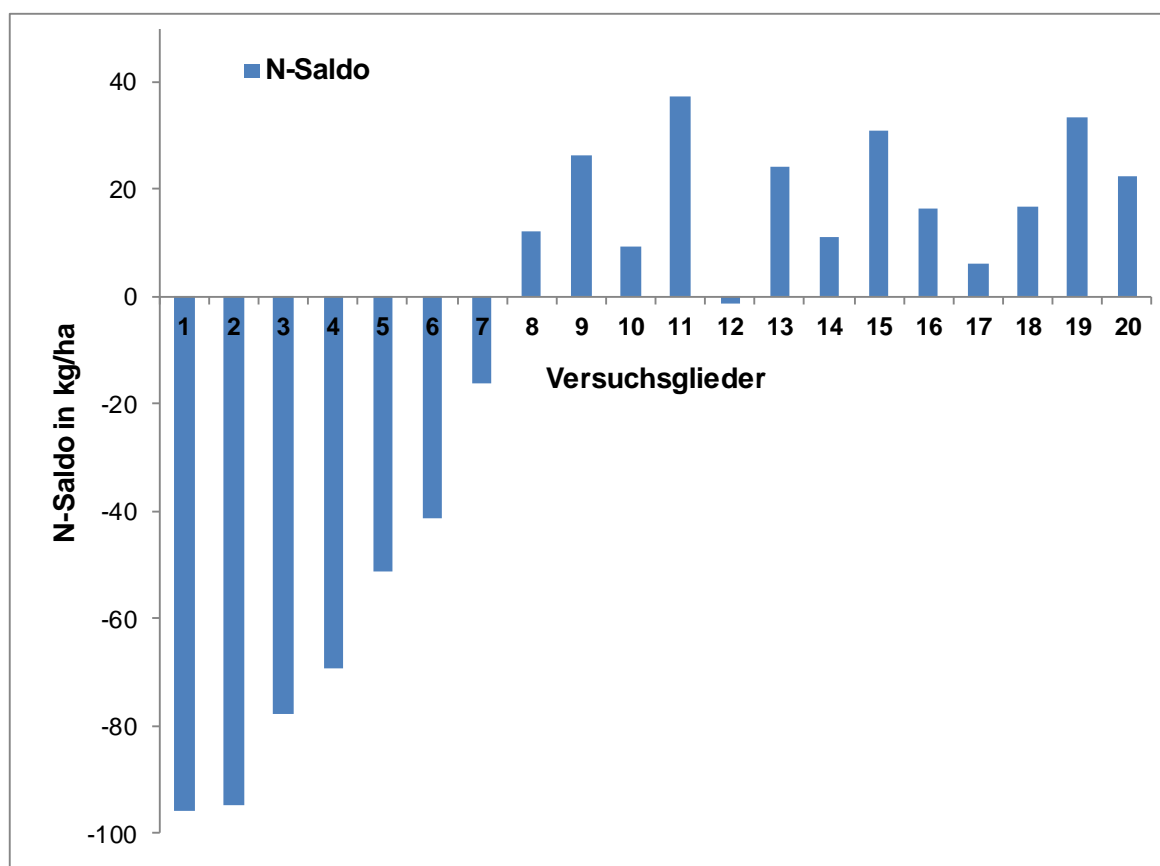


Abb. 52: N-Salden der verschiedenen Versuchsglieder, Versuch 559.

4.3.3 N_{\min} -Gehalte nach der Ernte

Die N_{\min} -Gehalte der einzelnen Versuchsvarianten wurden nach der Ernte ermittelt. Dafür wurde eine repräsentative Anzahl an Bodenproben aus den Tiefen 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm von jeder einzelnen Versuchsparzelle gezogen.

In Abbildung 53 sind die N_{\min} -Gehalte je Versuchsglied (Tabelle 6) dargestellt. Die N_{\min} -Gehalte lagen im Bereich zwischen 18 und 29 kg/ha und somit auf einem sehr niedrigen Niveau. Der signifikant höchste N_{\min} -Wert wurde bei Versuchsglied 20 gemessen. Hier wurde der Biogasgärrest 170 kg N/ha vor der Saat mittels ST-Technik ausgebracht. Zusätzlich wurden noch 60 kg N/ha mineralisch gedüngt. Die signifikant niedrigsten N_{\min} -Werte hatten die Versuchsglieder 1(0/0/0), 2 (0/30/0), 3 (0/30/40), 8 (BV 170/0 + 0/30/0), 9 (BV/SU 100/70 + 0/30/0), 11(SU 0/170 + 0/30/0) und 14 (BV/SC 100/70 + 0/30/30), mit Werten von 18 und 19 kg/ha.

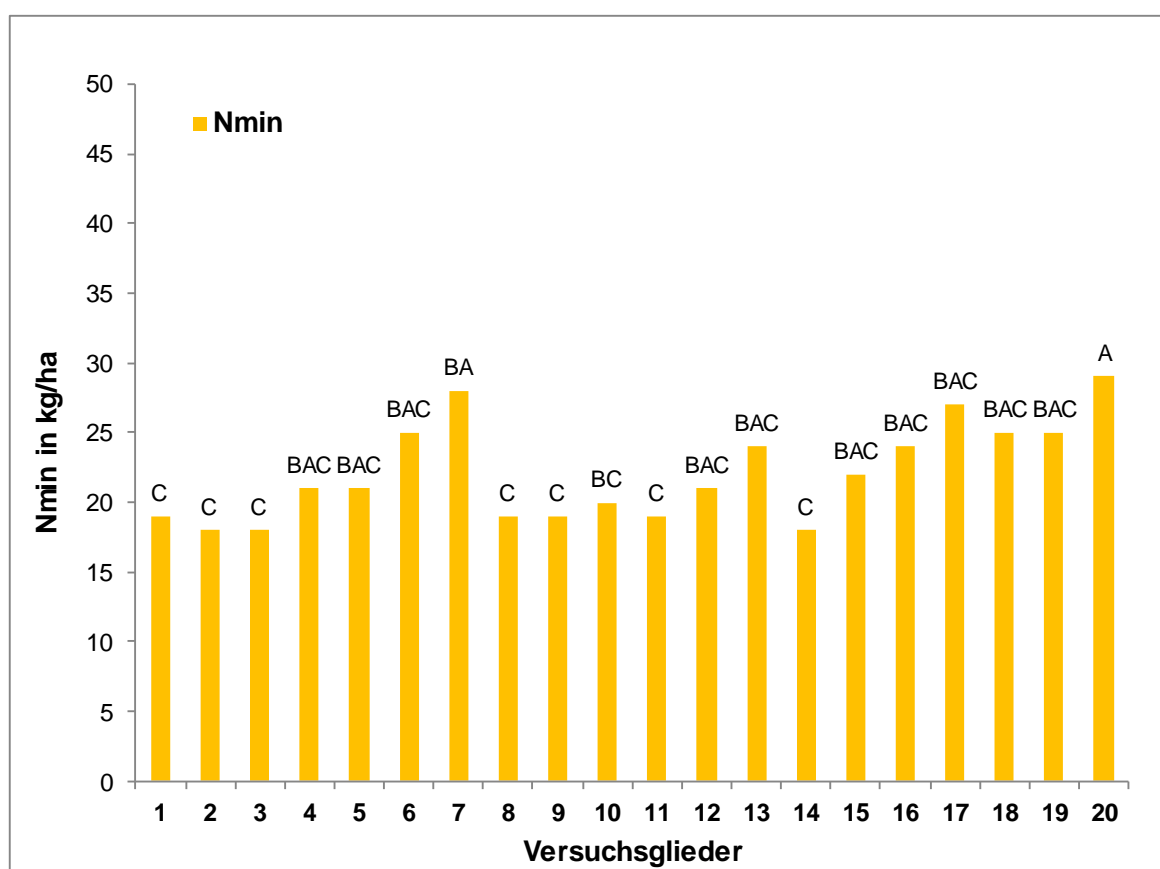


Abb. 53: N_{\min} -Gehalte im Boden nach der Maisernte je Versuchsglied, Versuch 559. Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den N_{\min} -Gehalten.

4.3.4 Mineraldüngeräquivalente V 559

Wie in Kapitel 4.1.4.1 bereits beschrieben, fordert die Düngeverordnung eine Wirksamkeit von 50 % (Gesamtstickstoff) bei Biogasgärrest (DüV, 2017). Bei den untersuchten Versuchsvarianten konnten nur fünf Versuchsglieder die von der DüV geforderte Mindestwirksamkeit erreichen. Versuchsglied 12 erreichte eine Wirksamkeit von 53 % des ausgebrachten Düngers (Abbildung 54). Hierbei wurden 170 kg N/ha BGR mit SC-Technik in den Bestand ausgebracht, kombiniert mit einer Unterfußdüngung von 30 kg N/ha. Die Varianten, bei welcher 170 kg N/ha BGR mit BV ausgebracht und sofort eingearbeitet wurden und eine mineralischen Ergänzungsdüngung von 30 kg N/ha (Versuchsglied 8) bzw. 60 kg N/ha (Versuchsglied 13) erfolgte, war das MDÄ bezogen auf den Ertrag bei 58 bzw. 59 %. Ein noch höheres MDÄ konnten die Versuchsglieder 10 (MDÄ 60 %) und 14 (MDÄ 65 %) erzielen. Hierbei wurden 100 kg N/ha BGR mit BV vor der Saat und sofortiger Einarbeitung und 70 kg N/ha mittels SC-Technik in den Bestand ausgebracht. Bei Versuchsglied 14 wurden im Vergleich zu Versuchsglied 10 zusätzlich zur Unterfußdüngung von 30 kg N/ha noch weitere 30 kg N/ha in den Bestand ausgebracht.

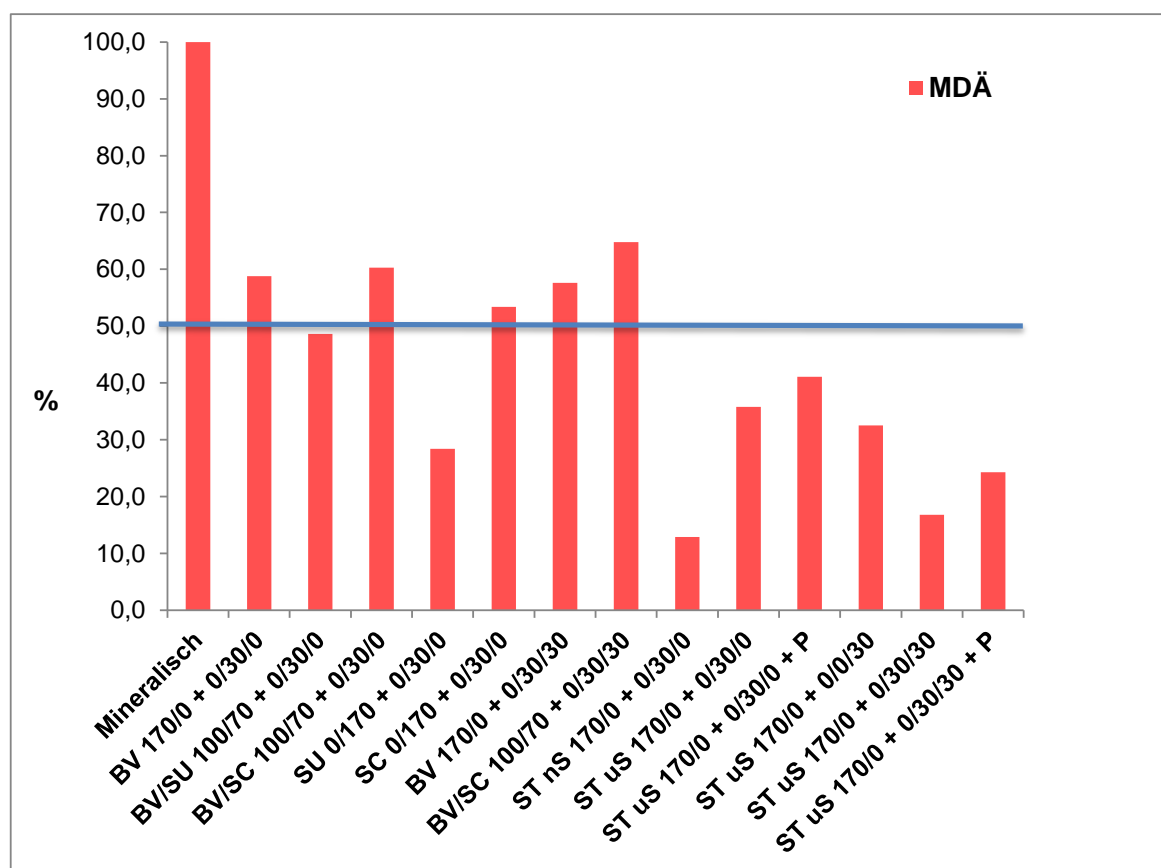


Abb. 54: Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) je Versuchsglied, Versuch 559. BV=Breitverteilung, SU=Schleppschuh, SC=Scheibentechnik Mais, ST=Strip Tillage, nS=neben Saatreihe, uS=unter Saatreihe, P=Piadin.

4.4 N-Saldo über die Fruchtfolge

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die N-Salden nur auf die Einzelparzelle bzw. das einzelne Versuchsglied betrachtet. In der nachfolgenden Abbildung 55 wurden die N-Salden über eine dreijährige Fruchtfolge von Winterweizen/Winterweizen/Silomais (WW/WW/SM) berechnet.

Die hellblauen, gepunkteten Säulen zeigen den Saldo, der mit den Versuchserträgen gerechnet wurde. Es ist bekannt, dass die Erträge in Versuchen höher ausfallen als in der Praxis bei gleichem Faktoreinsatz (fehlendes Vorgewende, Fahrgassen, Randwirkungen). Daher wurde der Saldo auch für Praxisbedingungen mit 10 % weniger Ertrag bestimmt (blaue Säulen).

Bei der mineralischen Variante wurde immer das Ertragsoptimum im Versuchsmittel (Winterweizen: Düngung KAS 210 kg N/ha, Silomais: Düngung KAS 190 kg N/ha) unterstellt. Bei Variante „Gülle 170 Schuh“ wurden 170 kg N/ha mit SU über BGR in den Bestand (Silomais und Winterweizen) ausgebracht. Bei Winterweizen wurden zusätzlich 60 kg N/ha über KAS gedüngt, bei Mais nur 30 kg N/ha. Bei der Variante „Gülle 170 Scheibe“ wurde der BGR mit der Scheibentechnik ausgebracht, alle anderen Faktoren sind analog zur Variante „Gülle 170 Schuh“. Im Fruchtfolgeglied Silomais wurde von einer Gülleausbringung zur Zwischenfrucht nach der Winterweizenernte in Höhe von 60 kg Gesamtstickstoff/ha ausgegangen, was im Saldo mit 54 kg N/ha (nach Abzug der Ausbringungsverluste von BGR) angerechnet werden muss.

Bei optimalen Bedingungen im Versuch konnte über die Fruchtfolge gesehen, mit einer rein mineralischen Düngung ein N-Saldo von 10 kg/ha erreicht werden (blau gepunktete Säule). Wird der Biogasgärrest mittels SU-Technik in den Bestand ausgebracht (mit mineralischer Ergänzungsdüngung, wie beschrieben) liegt der N-Saldo bei optimalsten Bedingungen bei 42 kg/ha. Bei einer Ausbringung des Biogasgärrests mit Scheibentechnik in den Bestand (mit mineralischer Ergänzungsdüngung, wie beschrieben) beträgt der N-Saldo unter optimalsten Bedingungen 28 kg/ha.

Bei der rein mineralischen Variante ist unterstellt, dass der Betrieb langjährig intensiv organisch gedüngt hat. Hier wird bei Variante „mineralisch“ eine N-Nachlieferung durch organische Dünger in Höhe von 10 % (17 kg N/ha) berücksichtigt (blauer gepunkteter Balken).

Die blauen Balken stellen die N-Salden mit den Praxiserträgen über die Fruchtfolge dar. Bei einer rein mineralischen Düngung über die Fruchtfolge WW/WW/SM (unter Berücksichtigung der N-Nachlieferung aus organischer Düngung) wird in der Praxis ein N-Saldo von 48 kg/ha erreicht. Wird der Biogasgärrest über die SU-Technik im Betrieb ausgebracht, ergibt sich ein N-Saldo von 64 kg/ha. Eine Gülleausbringung mit Scheibentechnik bringt einen N-Saldo von 52 kg/ha mit sich. Die Düngeverordnung schreibt im Nährstoffvergleich maximal einen N-Saldo von 50 kg/ha vor. Dieser kann nur erreicht werden, wenn ausschließlich mineralisch gedüngt wird. Die Gülleausbringung mittels Scheibentechnik überschreitet die Vorgaben der Düngeverordnung nur knapp. Bei optimalen Witterungsbedingungen könnte die erlaubte Grenze erreicht werden. Jedoch muss eine Scheibentechnik entwickelt werden, bei der die Ausbringungsverluste noch weiter gesenkt werden können. Die Technik Schleppeisen zur Gülleausbringung wird die geforderte Grenze im Saldo, auch bei optimalsten Bedingungen, bei der besagten Fruchtfolge nicht einhalten können.

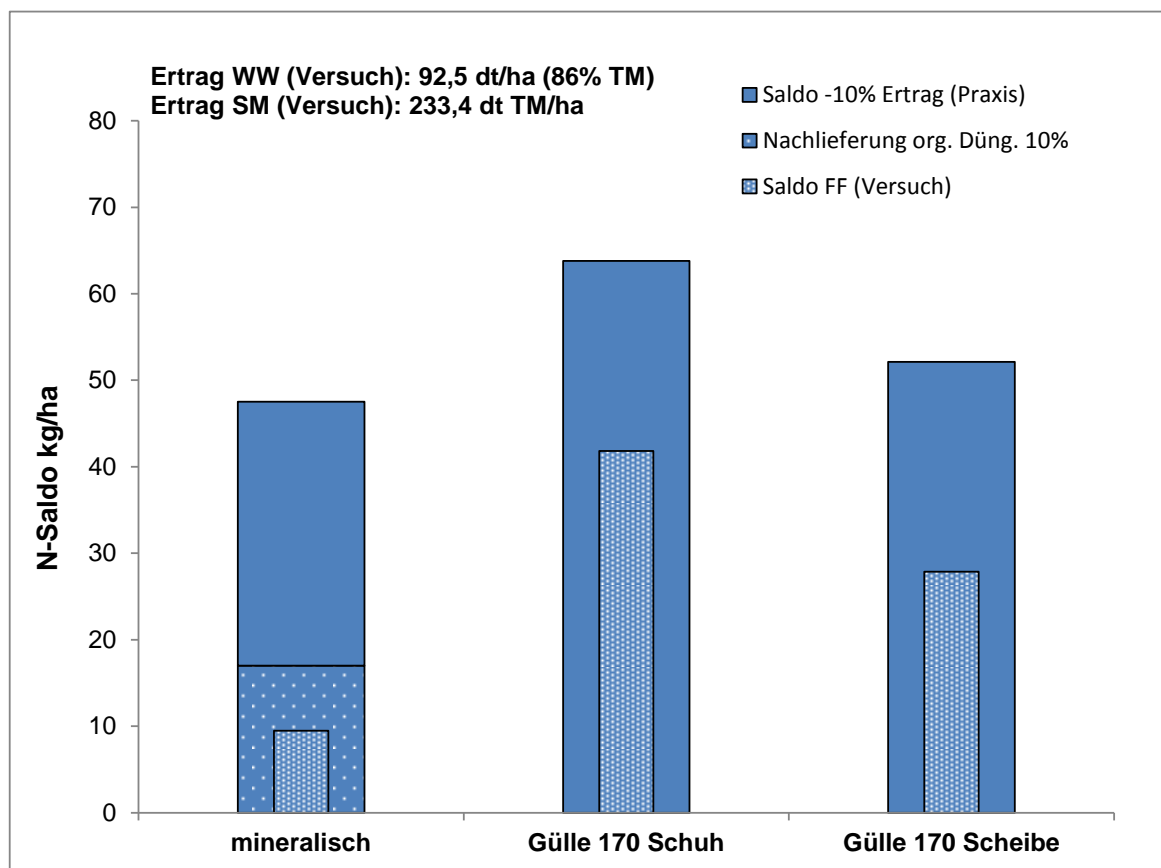


Abb. 55: N-Saldo über die Fruchtfolge (Getreide/Getreide/Mais) bei Biogasgärrestdüngung mittels Schleppschuh und Scheibe im Vergleich zur mineralischen Düngung.

5 Fazit

Aus den Versuchsergebnissen des Projektes „Optimierung der Gülleausbringung unter Berücksichtigung der Novellierung der Düngeverordnung und der NEC-Richtlinie“ konnten neue Erkenntnisse zur organischen und mineralischen Düngung sowie zu den verschiedenen Ausbringtechniken gewonnen werden.

Winterweizen

Wird in Winterweizen im bestehenden Bestand die Scheibentechnik tief (SC 2) eingesetzt, so kommt es zu einem Ertragsschaden von 5 dt/ha im Vergleich zur Schleppschuhtechnik (SU). Durch die „normale“ Scheibentechnik (SC1) konnte kein signifikanter Ertragsschaden gegenüber dem Schleppschuh tief festgestellt werden. Die Scheibentechnik tief führt bei einer „Blindüberfahrt“ zu signifikant höheren Rohproteingehalten als der Schleppschuh.

Eine Ausbringung von Biogasgärrest ohne mineralische Ergänzung mit Schleppschlauchtechnik auf gefrorenen Boden führt zu höheren Erträgen als zu Vegetationsbeginn. In der Tendenz wirkt sich die Schleppschuhtechnik gegenüber der Schleppschlauchtechnik, wenn keine mineralische Ergänzungsdüngung erfolgt, positiv auf den Ertrag und Rohproteingehalt aus. In der Praxis ist jedoch nicht Schleppschuh gleich Schleppschuh (Auflagedruck). Im Folgeversuch wird ein Schleppschuh mit höherem Auflagedruck eingesetzt und damit größere Unterschiede beim Vergleich der beiden Techniken erwartet. Werden 85 kg N/ha BGR zu Vegetationsbeginn und eine mineralische Ergänzungsdüngung von 90 kg N/ha ausgebracht, sind keine Ertragsunterschiede hinsichtlich der verwendeten Ausbringtechnik fest zu stellen. Der Rohproteingehalt ist jedoch bei der Ausbringtechnik Scheibe tief signifikant höher als mit der SC 1 oder Schleppschuhtechnik (SU).

Wird der Düngezeitpunkt der organischen Düngung unter sonst gleichen Bedingungen nach hinten verschoben (BBCH 30), wird ein Ertragsdefizit bei der tiefen Scheibentechnik im Vergleich zur Schleppschuhtechnik in Höhe von 3,4 dt/ha gemessen (Pflanzenschäden). Der Qualitätsparameter „Rohprotein“ ist jedoch signifikant höher als bei der Schleppschuhtechnik.

Eine Aufteilung der organischen Düngung, mit einer Ausbringmenge von jeweils 85 kg N/ha zu Vegetationsbeginn und BBCH 30 sowie einer mineralischen Ergänzungsdüngung von 60 kg N/ha führt mit der Ausbringtechnik Scheibe zu signifikant höheren Erträgen. Der Rohproteingehalt ist mit 11,3 % um nur 0,3 % geringer als mit der tiefen Scheibentechnik.

Der N_{\min} -Gehalt nach der Ernte liegt bei der Scheibentechnik bei ca. 35 kg/ha und das MDÄ am höchsten bei ca. 70 %. Werden die 170 kg N/ha BGR als eine Gabe zu Vegetationsbeginn mit der Scheibentechnik ausgebracht, so sind die untersuchten Parameter nur leicht niedriger als bei aufgeteilter organischer Düngung.

Betriebswirtschaftlich ist eine einmalige Düngung des BGR in voller Höhe (170 kg N/ha) zu Vegetationsbeginn, mit 60 kg N/ha mineralischer Ergänzungsdüngung am sinnvollsten. Eine Gärrestdüngung zu Frost mit Schleppschlauch führt aufgrund von höheren N-Verlusten zu geringeren Rohproteingehalten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass von den eingesetzten Ausbringtechniken die Scheibentechnik unter den gegebenen Versuchsbedingungen ökologisch und auch be-

triebswirtschaftlich am besten abschneidet, jedoch muss diese Technik noch verbessert werden, damit noch geringere Ausbringverluste erzielt werden können. Optimal wäre eine tiefe Scheibe, die so konstruiert und einstellbar ist, dass keine Pflanzenschäden entstehen. Die Entwicklung einer solchen Scheibe ist u.a. das Ziel im Folgeprojekt.

Silomais

Das in der Praxis am weitesten verbreitete Verfahren nach einer abfrierenden Zwischenfrucht, 170 kg N/ha BGR breitflächig vor der Saat verteilt, sofort eingearbeitet und Unterfußdüngung von 30 kg N/ha, führt gegenüber aufwändigeren Verfahren zu ähnlichen Erträgen. Im Versuch ist das N-Saldo im negativen Bereich, der N_{\min} -Wert ist mit 22 kg/ha im Vergleich zu den anderen untersuchten Varianten im Versuch 558 am geringsten. Die Stickstoffwirkung aus der organischen Düngung liegt mit 65 % auf einem sehr hohen Niveau womit die Vorgaben der Düngeverordnung eingehalten werden können. Eine noch bessere N-Wirkung von BGR wird bei einer zusätzlichen mineralischen Ergänzungsdüngung von 30 kg N/ha, bei sonst analogen Voraussetzungen erreicht.

Es muss jedoch festgestellt werden, dass das Verfahren nicht für Flächen geeignet ist, die den Zwischenfruchtaufwuchs zum Erosionsschutz benötigen. Die Einarbeitung mit der Kreiselegge lässt kein ausreichendes erosionsverringendes Pflanzenmaterial übrig. Auch dazu werden im Folgeprojekt Verfahren untersucht.

Die gleiche N-Wirkung wie zuvor wird mit Variante „170 kg N/ha BGR mit Scheibentechnik tief vor der Saat, 30 kg N/ha Unterfußdüngung und Saatbettbereitung“ erreicht, der N-Saldo ist noch besser.

Die Strip Tillage Technik kann unter den Versuchsbedingungen nicht überzeugen, es sind weder höhere Erträge noch niedrigere N_{\min} -Werte nach der Ernte oder ein besserer Saldo zu erzielen. Eine Zugabe von Piadin zum BGR bei Strip Tillage Varianten führt zu signifikant geringeren Erträgen.

Wird nach der Zweitfrucht Grünroggen die Gülle in den Bestand bei einer Wuchshöhe von 30 cm mit Schleppschuhtechnik ausgebracht, führt dies zu geringeren Erträgen.

Eine Unterfußdüngung hat in der Tendenz einen positiven Ertragseffekt.

Die N-Salden dürfen nicht auf die Kultur bezogen betrachtet werden, sondern müssen über die Fruchtfolge gesehen werden. Hierbei kann die nach der Düngeverordnung (DÜV) vorgeschriebene N-Saldo-Grenze von 50 kg/ha unter Praxisbedingungen mit der Scheibentechnik fast eingehalten werden. Mit einer Optimierung der Scheibentechnik und einer Düngung zu optimalen Zeitpunkten sowie gezielte Düngeraufteilungen können Landwirte die Vorgaben der DüV, ohne geringere Erträge erwarten zu müssen, einhalten.

6 Literaturverzeichnis

- Demmel, M., & Lutz, S. (2017). *Auswahl, Evaluierung und Optimierung von Verfahren und Technik zur Applikation von Flüssigmist bzw. flüssigen Gärresten in Mais*.
- DüV. (26. Mai 2017). Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). 1-16.
- DWD. (2018). *Deutschlandwetter im Jahr 2018*. Pressemitteilung, Deutscher Wetterdienst (DWD).
- LfL. (2019). *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Agrarmeteorologisches Messnetz*. Abgerufen am 22. Mai 2019 von <https://www.wetter-by.de>
- LfU. (2018). *UmweltAtlas Bayern, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)*. Abgerufen am 15. Mai 2019 von ww.umweltatlas.bayern.de
- Offenberger, K., Mikolajewski, S., Sitte, W., Sperger, C., & Wendland, M. (2016). Ammoniakverluste nach der Aufbringung von flüssigen organischen Düngern. *VDLUFA-Schriftenreihe*, S. 1-9.
- Orthman Manufacturing, Inc. (2019). *Orthman*. Abgerufen am 24. Juni 2019 von <http://www.orthman.com/our-products.aspx?itemid=2048&pagetitle=1tRIPr>

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 den Leiter des Versuchsgutes Puch und seiner Mitarbeiter wären die Versuche nicht in dem Umfang und der herausragenden 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 bei der Beschaffung der Technik, der Organisation der Leihtechnik und bei unseren Umbauwünschen.

Die Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der LfL führte in bewährter Qualität alle Untersuchungen durch, ihnen sei ebenso gedankt wie der Abteilung Versuchsbetriebe für die Versuchsverrechnung.