



**Entwicklung
emissionsarmer und praxisgerechter
Gülleausbringtechnik
auf Grünlandstandorten in Franken**

Bericht über die
Testung emissionsarmer und praxisgerechter
Gülleapplikationstechnik in Feldversuchen



Projektbericht

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

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

Förderkennzeichen: A/18/21

Geschäftszeichen: G2-7316-1/4

Projektlaufzeit: Oktober 2018 bis Dezember 2024

Projektleiter: Dr. Michael Diepolder

Projektbearbeiter: Sven Raschbacher, Florian Bleicher (bis 02.2024), Benno Schmitt (bis 02.2024), Julian Goppelt (bis 09.2022), Dominik Schmitt (bis 02.2022)

Fertigstellung im: Dezember 2024

**Entwicklung
emissionsarmer und praxisgerechter
Gülleausbringtechnik
auf Grünlandstandorten in Franken**

**Bericht über die
Testung emissionsarmer und praxisge-
rechter Gülleapplikationstechnik
in Feldversuchen**

Sven Raschbacher

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Zusammenfassung | 9 |
| 1 Einleitung | 13 |
| 2 Material und Methoden | 16 |
| 2.1 Analysen, Technik und Datenerfassung | 16 |
| 2.1.1 Bodenuntersuchung | 16 |
| 2.1.2 Güllemanagement und Bestimmung der Gülleinhaltsstoffe | 16 |
| 2.1.3 Eingesetzte Applikationstechnik | 17 |
| 2.1.3.1 Gülletrac | 17 |
| 2.1.3.2 Eingesetzte Applikationstechniken für flüssige organische Dünger | 19 |
| 2.1.4 Erfassung der klimatischen Bedingungen während und unmittelbar nach der Gülleapplikation | 22 |
| 2.1.5 Ertragsfeststellung und Bestimmung des Trockenmassegehalts des Ernteguts | 23 |
| 2.1.6 Bestimmung der Pflanzeninhaltsstoffe..... | 23 |
| 2.1.7 Bonitur der Narbenschäden | 24 |
| 2.1.8 Bonitur der sichtbaren Güllereste..... | 24 |
| 2.2 Versuche | 27 |
| 2.2.1 Beschreibung der Versuchsstandorte | 27 |
| 2.2.2 Wetter im gesamten Versuchszeitraums an den Versuchsstandorten | 29 |
| 2.2.3 Versuchsdurchführung und Versuchsaufbau an den drei Standorten..... | 32 |
| 2.3 Versuchsauswertungen | 37 |
| 2.3.1 Parameter zur Beurteilung der N-Effizienz..... | 37 |
| 2.3.1.1 N _{Ges} -Ertrag | 37 |
| 2.3.1.2 N-Salden | 37 |
| 2.3.1.3 N-Mineraldüngeräquivalent | 38 |
| 2.3.2 Datenhaltung, Auswertung und Statistik..... | 38 |
| 3 Ergebnisse und Diskussion | 40 |
| 3.1 Überprüfung der ausgebrachten Güllemengen (Auslitern) | 40 |
| 3.2 Klimatische Bedingungen während und unmittelbar nach der Gülleapplikation | 44 |
| 3.3 Nährstoffgehalte der eingesetzten Rindergüllen und tatsächlich gedüngte Nährstoffmengen | 48 |
| 3.4 Versuchsergebnisse zur N-Effizienz | 52 |
| 3.4.1 N _{Ges} -Erträge | 52 |
| 3.4.1.1 Einfluss der Applikationstechnik und der Aufteilung der Güllejahresgabe | 56 |
| 3.4.1.2 Einfluss des Einsatzzeitpunktes (Höhe des Pflanzenbestands) | 59 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.4.1.3 | Einfluss einer Gülleverdünnung mit Wasser | 60 |
| 3.4.1.4 | Einfluss der bodennahen Applikationstechniken (ohne Gülledüngung) | 62 |
| 3.4.1.5 | Einfluss unterschiedlicher Wachstumsbedingungen | 63 |
| 3.4.1.6 | Einfluss der klimatischen Bedingungen während und unmittelbar nach der Güllesausbringung | 65 |
| 3.4.2 | N-Salden und N-Mineraldüngeräquivalente | 67 |
| 3.5 | Versuchsergebnisse zur Narbenschädigung | 72 |
| 3.5.1 | Einfluss der Applikationstechnik | 73 |
| 3.5.2 | Einfluss der mineralischen Düngung sowie der bodennahen Applikationstechniken (ohne Gülledüngung) | 75 |
| 3.6 | Versuchsergebnisse zur Futtermittelschmutzung | 78 |
| 3.6.1 | Rohaschegehalte des geernteten Materials | 78 |
| 3.6.2 | Boniturergebnisse der sichtbaren Güllereste in den Pflanzenbeständen | 83 |
| | Literaturverzeichnis | 88 |
| 4 | Danksagung | 90 |
| 5 | Anhang | 91 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------------------------------|---|
| A | Aufwuchs |
| BaySG | Bayerische Staatsgüter |
| CAL | Calcium-Acetat-Lactat |
| CaO | Calciumoxid |
| CaCl ₂ | Calciumchlorid |
| C _{org} | organischer Kohlenstoff |
| DüV | Düngeverordnung |
| FM | Frischmasse |
| GD | Grenzdifferenz |
| GPS | Global Positioning System |
| ICP-OES | Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma |
| K ₂ O | Kaliumoxid |
| LfL | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft |
| MD | Mineraldünger |
| Mg | Magnesium |
| MgO | Magnesiumoxid |
| N | Stickstoff |
| n | Anzahl |
| Na ₂ CO ₃ | Natriumcarbonat |
| NaOH | Natriumhydroxid |
| NEC | National Emission Ceilings |
| N _{Ges} | Gesamtstickstoff (Untersuchungsmethode: Erntegut (N-Dumas, Gülle Kjeldahl) |
| NH ₃ | Ammoniak |
| NH ₄ -N | Ammoniumstickstoff |
| N-MDÄ | Stickstoff-Mineraldüngeräquivalent |
| NO ₃ -N | Nitratstickstoff |
| n.s. | nicht signifikant |
| N _{schnell} | schnell verfügbarer Stickstoff |
| P ₂ O ₅ | Phosphorpentoxid |
| Q | Quantil |
| RP | Rohprotein |
| RTK | Real Time Kinematic |
| S | Schwefel |
| TM | Trockenmasse |
| TS | Trockensubstanz |
| t-Test | Tukey-Test |
| VDLUFA | Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten |
| VGL | Versuchsglied |
| WDH | Wiederholung |

Zusammenfassung

Das in diesem Bericht dargestellte Projekt (Feldversuche) war Teil eines Forschungsvorhabens, welches aufgrund eines Kabinettsbeschlusses der Bayerischen Staatsregierung durchgeführt wurde. Ziel war es, praxistaugliche Forschungsergebnisse zur emissionsarmen Gülleausbringung insbesondere bei niederschlagsärmeren Bedingungen, zu gewinnen. Dabei sollte auch der in Bayern stark verbreitete, jedoch in wissenschaftlichen Versuchen kaum getestete Schwenkverteiler in die Versuchsreihen mit aufgenommen werden. Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse sollen Antworten auf offene Fragen und auf die in der Praxis häufig geäußerten Unsicherheiten und Bedenken gegenüber den bodennahen Ausbringetechniken gefunden werden. Hierzu wurden an drei fränkischen Standorten jeweils mehrjährige, ortsfeste Exaktversuche angelegt, die mit Praxistechnik gedüngt wurden. Über den reinen Technikvergleich hinaus wurden weitere praxisrelevante mögliche Einflussgrößen, wie der Zeitpunkt der Güllegabe bei Schleppschuh und Injektion, der Trockensubstanzgehalt der Gülle, die Injektionstiefe und die Anzahl und die Verteilung der Jahresgaben untersucht. Anders als in vielen anderen Experimenten zu diesem Themenkomplex wurden bei den im Rahmen dieses Forschungsprojekts durchgeführten Versuchen keine Gasmessungen (NH₃-Emissionen) durchgeführt. Die N-Effizienz der unterschiedlichen Varianten wurde ausschließlich mit Hilfe des in den Parzellen festgestellten Ertrags und des dazugehörigen Gehalts an N_{Ges} (Gesamtstickstoff) ermittelt und anschließend bewertet. Als Indikator für Futterverschmutzung wurde zum einen der Rohaschegehalt des Ernteguts festgestellt und zum anderen die Parzellen hinsichtlich sichtbarer Güllereste bonitiert. Untersuchungen hinsichtlich mikrobieller Parameter wurden im Rahmen dieses Projekts nicht durchgeführt. Um den Einfluss der verschiedenen Versuchsvarianten hinsichtlich einer möglichen Narbenschädigung bewerten zu können, wurde nach jedem Schnitt eine Bonitur der sichtbaren Narbenschäden durchgeführt.

Im Folgenden werden die an den drei Standorten gewonnen im Hinblick auf die landwirtschaftliche Praxis wesentlichen Versuchsergebnisse kurz beschrieben. Ergänzend sind in Tabelle 1 die wichtigsten Erkenntnisse, inklusive der dazugehörigen Zahlen, vereinfacht zusammengefasst dargestellt.

Ergebnisse zur N-Effizienz

Der mittlere geerntete Jahresertrag an Gesamtstickstoff der mit dem Prallteller gedüngten Varianten war an allen Versuchsstandorten niedriger als bei den verschiedenen bodennahen Ausbringetechniken (Schleppschuh, Scheibeninjektion). Mit ganz wenigen Ausnahmen sind diese Unterschiede auch statistisch absicherbar. Der Schwenkverteiler scheint hinsichtlich der N-Effizienz eine gewisse Zwischenstellung zwischen der Breitverteilung mittels Prallteller und den bodennahen Ausbringetechniken einzunehmen. Die mit dem Schwenkverteiler erzielten N_{Ges}-Erträge unterschieden sich jedoch weder von der Pralltellervariante noch von den meisten bodennahen Techniken signifikant. Hinsichtlich des Termins der Gülleapplikation (6-8 cm bzw. 10-15 cm Aufwuchshöhe) konnten bei den getesteten bodennahen Applikationstechniken keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt werden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse klar die Vorzüglichkeit der bodennahen Ausbringtechniken, wobei zwischen den bodennahen Techniken, anderes als häufig in der Literatur beschrieben, kaum gerichtete Unterschiede zu erkennen waren. Dies mag auf den ersten Blick zwar etwas irritierend erscheinen, ist jedoch pflanzenbaulich durchaus nachvollziehbar. Die nur an einem Standort getestete Gülleverdünnung (TS-Gehalt 2,4 bis 2,9 %) mit Wasser hat bei keiner der getesteten Techniken zu signifikanten Mehrerträgen gegenüber der jeweils identischen Technik ohne Wasserverdünnung geführt.

Um die Frage zu beantworten, ob durch den Einsatz bodennaher Techniken (insbesondere Schlitzgeräte) ein rein technikbedingter negativer Einfluss vorhanden sein kann, wurden die unterschiedlichen Techniken ohne Gülle, jedoch mit einer nachträglich verabreichten mineralischen Düngung eingesetzt und mit einer in gleicher Höhe mineralisch gedüngten Variante ohne Technikeinsatz verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass ein rein technikbedingter negativer Einfluss hinsichtlich der Ertragsbildung ausgeschlossen werden konnte. Damit im Einklang sind die Boniturergebnisse zur Erhebung der Narbenschäden. Es konnten an allen Standorten nur unwesentliche Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Varianten, bei denen die bodennahen Ausbringtechniken ohne Gülle eingesetzt wurden und den ausschließlich mineralisch gedüngten Vergleichsvarianten, festgestellt werden.

Beim Einsatz der bodennahen Ausbringtechniken mit unverdünnter Gülle wurden, sowohl bei günstigen als auch bei ungünstigen Vegetationsbedingungen Mehrerträge gegenüber den beiden Breitverteilungstechniken erzielt. Die Höhe der Mehrerträge lag relativ gesehen immer auf ähnlichem Niveau. Eine Gülleverdünnung mit Wasser hatte insbesondere einen positiven Effekt, wenn der Ausbringung günstige Vegetationsbedingungen folgten. Bei ungünstigen Vegetationsbedingungen führte eine Gülleverdünnung beim Einsatz des Pralltellers zu Mindererträgen. Da die Witterungsbedingungen in den Wochen nach der Gülleapplikation bis zur Ernte nicht vorhersehbar sind, ist für die landwirtschaftliche Praxis, in der in der Regel unverdünnte Gülle zum Einsatz kommen, der zuerst genannte Zusammenhang von wesentlicher Bedeutung.

Sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Temperaturen während und unmittelbar nach der Gülleausbringung konnten mit unverdünnter Gülle Ertragsvorteile durch die bodennahen Ausbringtechniken im Vergleich zu einer Ausbringung mit dem Prallteller erzielt werden. Relativ lagen diese Ertragsvorteile bei beiden Ausbringbedingungen (hohe bzw. niedrige Temperaturen) auf einem ähnlichen Niveau. Beim Einsatz der Pralltellertechnik im Zusammenhang mit verdünnter Gülle kam es bei höheren Temperaturen zu relativen Mindererträgen gegenüber einer Düngung mit unverdünnter Gülle.

Hinsichtlich der Frage, ob es unter den besonderen klimatischen Bedingungen (trockene Lagen, häufig Sommertrockenheit) effizienter ist, eine innerhalb eines Jahres vorgegebene Güllmenge, bei einer vorgesehenen Nutzungsintensität von drei bis vier Schnitten besser auf drei oder auf zwei Gaben aufzuteilen, kann festgehalten werden, dass die Aufteilung der Jahresgüllmenge auf zwei Düngetermine, insbesondere zu den ersten beiden Aufwüchsen, meist zu höheren Erträgen geführt hat.

Tabelle 1: Vereinfachte Zusammenfassung der wichtigsten an den drei Versuchsstandorten gewonnen Versuchsergebnisse (Mittel 2020-2023)

| Klassifizierung und getestete Parameter | Prallteller | Schwenkverteiler | Schleppschuh über Boden | Schleppschuh | Schleppschuh (10-15cm) | Schlitstechnik Veenhuis ³⁾ | Schlitzt. Veenhuis (10-15cm) | Schlitstechnik Duport | Prallteller | Schleppschuh | Schlitstechnik Veenhuis ³⁾ | |
|---|--|------------------|-------------------------|--------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--|-------------|--------------|---------------------------------------|--|
| Eingesetzte Rindergülle (TS in %) | Standard unverdünnt (4,9 bis 6,4 %) | | | | | | | Verdünnt (2,4 bis 2,9 %) | | | | |
| Aussagegüte der Ergebnisse (Daten aus *, **, *** ³ oder mehr Wertepaaren) | *** | ** | ** | *** | *** | *** | * | *** | * | * | * | |
| Mittlerer N_{ges}-Jahres-Relativtrag¹⁾ (%) im Vergleich zur Referenz Prallteller mit Standardgülle | Aufteilung der Güllejahresgabe auf 2. Düngetermine war effizienter als eine Aufteilung auf 3. Düngetermine | | | | | | | Aufteilung der Güllejahresgabe wurde nicht getestet | | | | |
| Mittlere N-Mineraldüngeräquivalente (%) ²⁾ Spanweiten (Versuchsorte) | 100 | 107 | 117 | 112 | 114 | 114 | 116 | 113 | 100 | 114 | 104 | |
| Mittlerer N_{ges}-Relativtrag der Aufwüchse (%) im Vergleich zur Referenz Prallteller mit Standardgülle in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen während der Vegetation (günstig ≥ 20 dt TM/ha; ungünstig < 20 dt TM/ha) | 24-47 | 31-33 | 38-48 | 38-54 | 41-47 | 39-60 | 36 | 37-46 | 46 | 61 | 49 | |
| Mittlerer N_{ges}-Relativtrag der Aufwüchse (%) im Vergleich zur Referenz Prallteller mit Standardgülle in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen bei und unmittelbar nach der Ausbringung (niedrige Temperaturen Ø 9 °C; höhere Temperaturen Ø 21 °C) | Mit allen Techniken, besonders mit den bodennahen Ausbringtechniken, wurden sowohl bei günstigen als auch bei ungünstigen Vegetationsbedingungen Mehrerträge, die relativ gesehen immer auf ähnlichem Niveau lagen, gegenüber der Referenz erzielt. | | | | | | | Mehrerträge bei günstigen, Mindererträge (insb. Prallteller) bei ungünstigen Vegetationsbedingungen gegenüber Referenz | | | | |
| Mittlerer bonitierter Narbenschaden (%) | Mit nahezu allen Techniken, besonders mit den bodennahen Ausbringtechniken, wurden sowohl bei niedrigen als auch bei höheren Temperaturen während und unmittelbar nach der Ausbringung Mehrerträge, die relativ gesehen immer auf ähnlichem Niveau lagen, gegenüber der Referenz erzielt. (Ausnahme Prallteller verdünnt: Mindererträge bei höheren Tempertaren) | | | | | | | | | | | |
| Rohaschegehalt (g/kg TM) als Indikator für Futtermverschmutzung | Die Wahl der Applikationstechnik hatte nahezu keinen Einfluss auf die Höhe der bonitierten Narbenschäden. | | | | | | | | | | | |
| Mittlere sichtbare Güllereste¹⁾ (Boniturnote) als Indikator für Futtermverschmutzung (Boniturschema mit Noten von 1-9; wobei mit steigender Boniturnote die sichtbaren Güllereste zunehmen, Noten von 1-6 können als unbedenklich bewertet werden) | Die Wahl der Applikationstechnik hatte keinen Einfluss auf die Höhe des Rohaschegehalts. | | | | | | | | | | | |
| | 1,4 | 2,2 | 2,7 | 2,6 | 4,0 | 1,3 | 1,8 | 1,4 | 0,3 | 1,5 | 0,4 | |

1) Mittelwerte enthalten sowohl Ergebnisse aus den Varianten, bei denen die Güllejahresgabe auf 3 als auch auf 2 Düngetermine aufgeteilt wurde.

2) Mittelwerte enthalten nur Ergebnisse aus den Varianten, bei denen die Güllejahresgabe auf 3 Düngetermine aufgeteilt wurde (Hintergrund Berechnung N-MDÄ). An einem Versuchsstandort lag das Niveau der N-MDÄs höher als an den andren Standorten. Daher ist ist nur ein Vergleich gleichfarbiger Werte sinnvoll.

3) Bei einer Aufteilung der Jahresgabe auf 3 Düngetermine betrug die Injektionstiefe 2-3 cm, bei verdünnter Gülle und 2 Düngeterminen betrug die Injektionstiefe 3-4 cm.

Die in den Versuchen ermittelten N-Mineraldüngeräquivalente liegen, je nach Standort, auf unterschiedlichen Niveaus. Sie belegen aber an allen Versuchsstandorten einmal mehr die Vorzüglichkeit der bodennahen Ausbringtechniken gegenüber den Breitverteilungstechniken. Die in der Düngeverordnung für die Düngebedarfsermittlung bei Grünland ab 2025 anzusetzende Mindestwirksamkeit von 60 % für den Gesamtstickstoffgehalt der gedüngten Rindergülle wurde in den Versuchen meist nicht erreicht.

Ergebnisse zur Narbenschädigung

Die bonitierten Narbenschäden lagen an allen Versuchsstandorten auf einem niedrigen Niveau. Die Auswertungen haben gezeigt, dass die Intensität der Narbenschäden maßgeblich vom Termin und nur von untergeordneter Bedeutung von der Variante beeinflusst wurde. Die wenigen signifikanten Unterschiede zwischen den Applikationstechniken lagen auf einem pflanzenbaulich unbedeutenden Niveau. Einfach auf den Punkt gebracht, kann man feststellen, dass die Wahl der Applikationstechnik nahezu keinen Einfluss auf die Höhe des bonitierten Narbenschadens hatte. Dies gilt unabhängig davon, auf wie viele Düngetermine die Jahresgabe aufgeteilt wurde.

Ergebnisse zur Futtermverschmutzung

Mit den im Jahresverlauf aufeinanderfolgenden Schnitten nahm allorts auch der Rohaschegehalt zu. Begründung dafür war wahrscheinlich der wesentlich höhere Kräuteranteil auf den Versuchsflächen beim 2. und insbesondere beim 3. Aufwuchs. Entscheidend ist jedoch, dass kein Zusammenhang zwischen dem Rohaschegehalt und den Düngevarianten gefunden werden konnte.

An allen Standorten wurden, unabhängig von der Anzahl der jährlichen Düngetermine, beim Einsatz des Schleppschuhs im Vergleich zu den anderen Applikationstechniken die höchsten Boniturnoten hinsichtlich sichtbarer Güllereste festgestellt. Dabei lagen die Mittelwerte bei einer Düngung in den wachsenden Bestand (Bestandshöhe 10–15 cm) signifikant höher als bei einer Düngung unmittelbar nach dem Schnitt bzw. zu Vegetationsbeginn (Bestandshöhe 6–8 cm). Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Praxis kann festhalten werden, dass sich beim Schleppschuh optisch wahrnehmbare Güllereste („Güllewürste“) in den Pflanzenbeständen zeigten. Entscheidend ist dabei allerdings dass diese Werte in einem, nach dem Boniturschema definierten, unbedenklichen Bereich liegen.

1 Einleitung

Es ist bekannt, dass Ammoniak (NH_3) sich durch seine Eigenschaften negativ auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt auswirken kann. NH_3 und dessen Abbauprodukte sind in der Atmosphäre unerwünscht, da die daraus entstehende N-Deposition unter anderem zur Eutrophierung und Versauerung von Ökosystemen beiträgt und indirekt klimarelevant wirkt. Des Weiteren trägt das Gas zur Bodenversauerung und zur Feinstaubbelastung bei.

Ziel internationaler Abkommen zur Luftreinhaltung ist es Luftschadstoffemissionen zu mindern. Deshalb wurden in der, aufgrund des Göteborg -Protokolls, erlassenen NEC-Richtlinie (National Emission Ceilings) Höchstmengen für Luftschadstoffe festgelegt. Die im Dezember 2016 beschlossene Richtlinie schreibt eine Minderung der Ammoniakemissionen (gegenüber dem Referenzjahr 2005) bis 2030 um 29 % vor. Für Deutschland gilt, dass die Landwirtschaft mit 92 % (Umweltbundesamt, 2024) der Hauptemittent von Ammoniak ist, wobei der überwiegende Anteil auf die Tierhaltung zurückzuführen ist. Dabei stellen die Wirtschaftsdünger eine bedeutende Emissionsquelle dar (Rösemann et al., 2021). NH_3 -Verluste treten im Stall, während der Lagerung sowie beim Ausbringen von Wirtschaftsdüngern auf und müssen so weit wie möglich reduziert werden.

Generell gilt, dass aufgrund der Höhe ihres Emissionsbeitrags die Landwirtschaft hierbei in besonderer Verantwortung und unter großem Anpassungsdruck steht. Um die, in der NEC-Richtlinie festgelegten Reduktionen hinsichtlich NH_3 erreichen zu können, sind insbesondere von der Landwirtschaft massive Anstrengungen notwendig.

Um in der Landwirtschaft NH_3 -Emissionsminderung zu erzielen, ist es äußerst sinnvoll bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern anzusetzen. Zum einen, weil im Gegensatz zum Stallbereich vergleichsweise kurzfristig und kostengünstig Lösungen gefunden werden können und zum anderen, weil bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern hohe NH_3 -Emissionen entstehen können. Die Einflussfaktoren, welche die Höhe der NH_3 -Emissionen bei der Ausbringung bestimmen, sind vielfältig. Wesentliche Einflussfaktoren sind die Ausbringtechnik, der Ausbringtermin und die Art bzw. die Zusammensetzung des organischen Düngemittels.

Der Übertritt des Ammoniaks bei flüssigen organischen Düngemitteln von der flüssigen Phase in die flüchtige Gasphase, tritt bevorzugt dann auf, wenn die Gülle eine große Kontaktfläche zur Außenluft hat, von der das emittierte NH_3 dann durch Luftbewegungen abgeführt werden kann. Maßgebend für den Emissionsverlauf sind dabei die ersten Stunden nach der Ausbringung. Diese Bedingungen sind vor allem bei der Breitverteilung (z.B. Prallteller, Schwenkverteiler) gegeben. Die mit emissionsmindernden Ausbringtechniken (Schleppschlauch, Schleppschuh, Injektionstechnik) zu erzielenden positiven Effekte beruhen vor allem darauf, dass die Fläche und/oder die Zeit der Exposition der flüssigen Wirtschaftsdünger reduziert wird. Deshalb wird beim Einsatz der sogenannten emissionsmindernden, bodennahen Ausbringtechniken im Vergleich zur Breitverteilung weniger NH_3 in die Luft

emittiert und damit bleibt mehr Ammoniak in den flüssigen Wirtschaftsdüngern für das Pflanzenwachstum zurück. Eine Zusammenstellung von Mittelwerten aus zahlreichen europäischen Experimenten (Webb et al., 2010 zitiert nach Hugenin-Eile et al., 2018) belegt zum einen eine deutliche NH_3 -Emissionsreduktion durch den Einsatz bodennaher Ausbringtechniken im Vergleich zur Breitverteilung auf Grünlandflächen, zum anderen zeigt sie aber auch die extreme Schwankungsbreite. Im Vergleich zur Referenzmethode Breitverteilung konnte durch den Einsatz des Schleppschlauchs die NH_3 -Emission um 0 bis 74 % (45 Experimente), durch die Ausbringung mittels Schleppschuh um 57 bis 70 % (37 Experimente) und durch den Einsatz von Injektionstechniken mittels Schlitzverfahren um 60 bis 99 % (56 Experimente) gesenkt werden. Allerdings sollte an dieser Stelle auch erwähnt werden, dass die bodennahen Ausbringtechniken vergleichsweise hohe Anschaffungskosten haben, nicht in steilerem Gelände eingesetzt werden können und es immer wieder, allerdings durch die Wissenschaft nicht belegt, Bedenken hinsichtlich Futtermittelverschmutzung durch anhaftende Reste des organischen Düngers am Erntegut und Narbenschädigung (Scheibeninjektionstechnik) gibt.

Neben der Ausbringtechnik beeinflussen auch die Umgebungsbedingungen (Boden, Witterung) sowie die Zusammensetzung der organischen Dünger (insbesondere der TS-Gehalt) die Geschwindigkeit der Infiltration in den Boden und damit den NH_3 -Verlust. Durch eine Verdünnung der Gülle sowie durch die Wahl eines günstigen Ausbringzeitpunktes (kühl, feucht, windstill, kein wassergesättigter respektive komplett ausgetrockneter Boden) können die NH_3 -Verluste reduziert werden.

Mit Hilfe der Düngeverordnung (DüV) sollten in Deutschland ein Großteil der dargestellten Zusammenhänge in deutsches Recht umgesetzt werden. Um insbesondere NH_3 -Emissionen zu senken, können verschiedenen Verfahren in Betracht gezogen werden. Als Standardverfahren für Grünland, Dauergrünland oder mehrschnittigem Feldfutterbau fordert die DüV im § 6 Abs. 3 (Bundesministerium der Justiz, 2021a) jedoch, dass ab dem 1.02.2025 flüssige Wirtschaftsdünger mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff oder Ammoniumstickstoff nur noch streifenförmig auf den Boden aufgebracht oder direkt in den Boden eingebracht werden dürfen. Die DüV lässt im Zuge der Länderermächtigung verschiedenen Ausnahmen von dieser Regelung aufgrund von agrarstrukturellen oder naturräumlichen Erschwernissen zu. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, andere Verfahren zu genehmigen, soweit diese zu vergleichbar geringen NH_3 -Emissionen wie die bodennahe streifenförmige Ausbringtechnik führen. Für den Großteil der durch bayerische Landwirte bewirtschafteten Grünlandflächen dürften die zwei zuletzt genannten Punkte eine eher untergeordnete Rolle spielen, d.h. die bodennahen Ausbringtechniken werden zukünftig standardmäßig auf den meisten Flächen eingesetzt werden müssen.

Das in diesem Bericht dargestellte Projekt war Hauptteil eines Forschungsvorhabens, welches aufgrund eines Kabinettsbeschlusses der Bayerischen Staatsregierung beantragt und durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten genehmigt wurde. Ziel war es, praxistaugliche Forschungsergebnisse hinsichtlich emissionsarmer Gülleausbringung, insbesondere bei niederschlagsärmeren Bedingungen, zu gewinnen. Außerdem sollte der in Bayern stark verbreitete, jedoch in wissenschaftlichen Versuchen sehr selten getestete, Schwenkverteiler („Möscha-Verteiler“) in die Versuchsreihen integriert werden. Es sollten mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse Antworten auf offene Fragen und auf die in der Praxis häufig geäußerten Unsicherheiten und Bedenken gegenüber den bodennahen Ausbringtechniken gefunden werden. Hierzu wurden an drei fränkischen Standorten jeweils fünfjährige, ortsfeste Versuche mit 20 bis 24 Varianten und jährlich 3 bis 4 Ernten angelegt. Mit Hilfe der Versuche wurden wichtige Daten zur Klärung der N-Effizienz, der Narbenschädigung und der Futtermittelverschmutzung in Abhängigkeit der verschiedenen praxistauglichen Ausbringtechniken für flüssige Wirtschaftsdünger gewonnen. Über den reinen Technikvergleich hinaus wurden weitere praxisrelevante mögliche Einflussgrößen wie der Zeitpunkt der Güllegabe bei Schleppschuh und Injektion, der Trockensubstanzgehalt der Gülle, die Injektionstiefe und die Anzahl und die Verteilung der Jahresgaben untersucht. In der wissenschaftlichen Literatur gibt es, wie zu Beginn beschrieben, eine gute Datenbasis hinsichtlich der tatsächlich gemessenen NH_3 -Emissionen bei derartigen Versuchen. Bezüglich der Wirksamkeit des Stickstoffs, der aufgrund der emissionsarmen Ausbringung zusätzlich in den Boden gelangt und in N-Ertrag umgesetzt wird, gibt es hingegen nur wenige Untersuchungen im deutschsprachigen Raum. Weil nicht nochmals bekanntes Wissen (Reduzierung der NH_3 -Verluste) nachvollzogen werden sollte und die entsprechende Messtechnik an der LfL nicht vorhanden war, wurden keine NH_3 -Emissionsmessungen durchgeführt. Die N-Effizienz wurde mit Hilfe des in den Parzellen festgestellten Ertrags und des dazugehörigen N-Gehalts ermittelt und anschließend bewertet.

2 Material und Methoden

2.1 Analysen, Technik und Datenerfassung

2.1.1 Bodenuntersuchung

Vor Versuchsbeginn im Frühjahr 2019 wurden Bodenproben an den drei Versuchsstandorten gezogen. Da aufgrund der Geologie und der jahrelangen einheitlichen Vorbewirtschaftung der Flächen keine kleinräumigen Unterschiede in den untersuchten Parametern zu erwarten waren, war eine Beprobung von jeweils einer Mischprobe je Wiederholung ausreichend. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung waren zum einen für die Charakterisierung des Bodens der Versuchsstandorte notwendig und zum anderen konnte auf eventuelle Besonderheiten (z.B. Nährstoffmangelversorgung) bei der Versuchsplanung entsprechend reagiert werden. Die Böden wurden auf zwei Tiefen (0-10 und 10-20 cm) beprobt.

Die Bodenproben wurden im Fachzentrum für Analytik der Bayerischen Landesanstalt für Wein- und Gartenbau nach den Untersuchungsmethoden, wie sie im Methodenbuch Band I des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) beschrieben sind, untersucht. Es wurden die Bodenart (Methode D2.1) mittels Fingerprobe, der pH-Wert (Methode A5.11), P_2O_5 und K_2O im Calcium-Acetat-Lactat-Auszug (A6.2.1.1), Mg im Calciumchlorid-Auszug (Methode A6.2.4.1) und der organische Kohlenstoff (C_{org}) durch Verbrennung bei $550^\circ C$ und Gasanalyse (A4.1.3.2) bestimmt.

2.1.2 Gülle-Management und Bestimmung der Gülleinhaltsstoffe

In allen Versuchsjahren wurde jeweils im Winter vor der ersten Gülleausbringung im Frühjahr eine ca. $120 m^3$ fassende Güllegrube der Bayerischen Staatsgüter (BaySG) am Standort Schwarzenau mit Rindergülle befüllt. Die Rindergülle stammte aus einem bayerischen Milchviehbetrieb der Umgebung. Ziel war es, die in den Versuchen eingesetzten Güllen jährlich auf einen TS-Gehalt von ca. 6,5 % einzustellen. Hintergrund war, dass in den Versuchen eine Gülle mit einem TS-Gehalt, der in etwa dem mittleren TS-Gehalt bayerischer Rindergüllen von etwa 6,5 bis 7 % (interne Auswertung LfL, 2018) entspricht, verwendet werden sollte. Die sich jeweils zu Jahresbeginn in der Grube befindene Güllemenge war ausreichend, um die geplanten organischen Düngungen der drei Versuchsstandorte für ein komplettes Versuchsjahr durchführen zu können. Dies ermöglichte eine Versuchsdurchführung mit annähernd identischen Gülleinhaltsstoffen zu allen Düngeterminen während eines Versuchsjahres. Ziel war es auch den Versuchsfehler, welcher aufgrund schwankender Nährstoffgehalte von organischen Düngemitteln bei derartigen Versuchen häufig sehr groß ist, zu minimieren.

Die Rindergüllen wurden vor jeder Ausbringung in der Güllegrube mit einem Stabmixer vollkommen homogenisiert. Nach dem Abpumpen der Güllen, in das für den Transport zum jeweiligen Versuchsstandort vorgesehene, Güllefass (Zubringer), erfolgte die Probenahme. Die Gülleproben wurden vor Ort bis zum Transport ins Labor tiefgefroren aufbewahrt.

Im Labor der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wurden die in den Versuchen eingesetzten Rindergüllen nach den Untersuchungsmethoden des VDLUFA Methodenbuchs Band II 1 untersucht. Die Güllen wurden auf die Parameter Trockenmasse (Methode 4.2.4 (1995)), Gesamtstickstoff (Kjeldahl, Methode 3.5.1.1 (2004)), organische Substanz (Methode 10.1, 6 (2014)) und über die ICP-OES-Methode (Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma, Methode 6 (2014)) auf P_2O_5 , K_2O , MgO , S, und CaO hin analysiert. Ammoniumstickstoff wurde mittels Wasserdampfdestillation bestimmt (Abwandlung der Methode DIN EN 15475: (2009) anstatt $NaOH$ wurde Na_2CO_3 benutzt) für den Feststellung des pH-Werts wurde ein pH-Meter der Firma WTW benutzt.

2.1.3 Eingesetzte Applikationstechnik

2.1.3.1 Gülletrac

Zur Durchführung der flüssigen organischen Düngung der Versuche wurde ein Gülletrac (Prototyp in Kooperation der Firmen Fuß Spezialfahrzeugbau GmbH und BSA GmbH) angeschafft. Der Gülletrac (Abbildung 1) ist ein Selbstfahrer mit einem im Heck aufgebauten 3 m^3 fassenden Tank. Am Heck können über eine Dreipunkthydraulik verschiedene Ausbringtechniken (Praxistechnik) angebaut werden.



Abbildung 1: Gülletrac mit angebaute Pralltellertechnik im Versuch

Um die im Parzellenversuch zahlreichen Rangier- und Wendemanöver auf engstem Raum durchführen zu können wurde eine Vierradlenkung verbaut. Ferner besitzt der Gülletrac eine Reifendruckregelanlage und ist mit einem RTK-Lenksystem ausgestattet. Laut Leistungsverzeichnis sollte der Gülletrac in der Lage sein, geschwindigkeitsunabhängig eine durch den Benutzer eingestellte Ausbringmenge mit einer Abweichung von $\pm 5\%$ zu erreichen. Vorgesehen ist, dass sich die durch die Drehkolbenpumpe beförderte Menge an

organischem Dünger, entsprechend der sich ändernden Fahrgeschwindigkeit anpasst, so dass die voreingestellte Ausbringmenge in m^3/ha konstant bleibt. Die Steuerung erfolgt mittels einer elektronischen Ausbringmengenregelung. Leider stellte sich jedoch bei der Überprüfung der Ausbringmengen heraus (siehe Kapitel 3.1), dass die elektronische Ausbringmengenregelung mit sich automatisch an die Fahrgeschwindigkeit anpassender Pumpendrehzahl für die Durchführung von Exaktversuchen zu ungenau ist. Daher wurde im Jahr 2020 die Gülleausbringung von der automatischen Anpassung der auszubringenden Güllemengen, auf eine konstante Drehzahl der Drehkolbenpumpe und damit auf eine konstante Förderleistung (l/min) umgestellt. Die Ausbringmenge (m^3/ha) wird bei dieser Art der Versuchsdurchführung allein über die Fahrgeschwindigkeit gesteuert. Dies erforderte eine immense und zu Versuchsbeginn nicht absehbare Mehrarbeit, sowohl in der Durchführung vor Ort als auch in der Versuchsvorbereitung. Es wurden für alle Anbaugeräte aufwändige Kurven, die den Zusammenhang zwischen Fahrgeschwindigkeit und Ausbringmenge wiedergeben, erstellt. Mit Hilfe der den Kurven zugrundeliegenden Formeln wurden für jede Ausbringmenge und jedes Gerät jährlich die notwendigen Zielgeschwindigkeiten, die sich aufgrund von Versuchsplan und Gülleanalyseergebnis ergaben, im Vorfeld der Versuchsdurchführung berechnet und anschließend im Versuch anvisiert.



Abbildung 2: Überprüfung der Ausbringgenauigkeit des Schwenkverteilers mit Wasser

In jedem Versuchsjahr erfolgte jeweils im Frühjahr vor der ersten und im Herbst nach der letzten Düngung eine Überprüfung der Ausbringgenauigkeit (Auslitern), um zu gewährleisten, dass die in den Versuchen geplanten organischen Düngemengen tatsächlich appliziert wurden. Nur wenn die Ergebnisse aus Frühjahr und Herbst innerhalb einer gewissen Toleranz (max. $\pm 5\%$ Abweichung vom Zielwert) lagen, konnte davon ausgegangen werden, dass die technikbedingten Düngefehler in einem für die Versuchsauswertung akzeptablen Rahmen lagen. Nachdem mehrere Tests zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei unterschiedlichen Flüssigkeiten (Gülle, Wasser) zu dem Ergebnis geführt hatten, dass mit der im Versuch verwendeten Gülle die gleichen Ausbringmengen wie mit Wasser, bei identischen Einstellungen (Fahrgeschwindigkeit, Pumpendrehzahl), erzielt wurden, erfolgte ein

Großteil der Überprüfungen mit Wasser. Abbildung 2 zeigt exemplarisch die Überprüfung der Ausbringgenauigkeit des Schwenkverteilers mit Wasser.

Des Weiteren wurde der Gülletrac dazu verwendet, die verschiedenen eingesetzten Ausbringtechniken mittels eines Tiefladers zu den verschiedenen, teilweise über 100 km voneinander entfernten, Versuchsstandorten zu transportieren.

2.1.3.2 Eingesetzte Applikationstechniken für flüssige organische Dünger

Neben den sogenannten Breitverteilungsverfahren Prallteller (Referenz) und Schwenkverteiler wurden in den Versuchen streifenförmige bodennahe Ausbringtechniken getestet. Während Tabelle 2 eine Übersicht sämtlicher in den Versuchen eingesetzten Applikationstechniken zeigt, sind in Abbildung 3 bis Abbildung 7 die einzelnen Applikationstechniken jeweils in Detailaufnahme und im versuchstechnischen Einsatz zu sehen.

Tabelle 2: Übersicht der in den Versuchen eingesetzten Applikationstechniken für flüssige Wirtschaftsdünger

| Produktangaben | Breitverteilung | | bodennahe streifenförmige Ausbringung | | |
|--------------------|-----------------|------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|
| | Prallteller | Schwenkverteiler | Schleppschuh | Schlitzgerät | Schlitzgerät |
| Hersteller | Eigenbau | Möscha | Bomech | Veenhuis | Duport |
| Modell | - | S-55 N | Speedy One | Euroject | Alltrack |
| Arbeitsbreite in m | 3 | ca. 10 | 3 | 3,04 | 2,88 |
| Scharabstand in m | - | - | 0,25 | 0,19 | 0,18 |
| Arbeitstiefe in cm | 0 | 0 | 0 | var. bis 5 | var. bis 4 |
| Bodenanpassung | - | - | mechanisch | hydraulisch | mechanisch |



Abbildung 3: Prallteller (Eigenbau) in Detailaufnahme und im Einsatz

Für die Pralltellervarianten wurde eine durch die Landesanstalt für Landwirtschaft (Institut für Landtechnik und Tierhaltung) für eine Arbeitsbreite von drei Metern (Parzellenbreite) eigens angefertigte Konstruktion mit nach unten abstrahlendem Prallteller verwendet. Die Parzellen, auf denen eine Düngung mittels Schwenkverteiler, welcher im Vergleich zum Prallteller größere Tropfen erzeugt, vorgesehen war, wurden mit praxisüblicher Technik gedüngt. Aufgrund der Arbeitsbreite (10 m) mussten im Versuch für jede Parzelle, auf der eine Düngung mit Schwenkverteiler vorgesehen war - anstatt der wie bei allen anderen Varianten üblichen einen Parzelle - jeweils 5 nebeneinanderliegende Parzellen angelegt werden.



Abbildung 4: Schwenkverteiler (Möscha) in Detailaufnahme und im Einsatz

Die in den Versuchen eingesetzten streifenförmigen Ausbringtechniken waren praxisübliche Produkte, deren Arbeitsbreiten auf die Parzellenbreite angepasst wurden. Um den flüssigen organischen Dünger gleichmäßig auf die Schläuche zu verteilen und einen optimalen Fluss zu gewährleisten, wurden bei den drei bodennahen Ausbringtechniken Gülleschneidverteiler eingesetzt. Beim Schleppschuh sind an jedem Schlauchauslauf schuh- bzw. kufenähnliche Werkzeuge (Auflagedruck ca. 10 kg/Schar) angebracht. Diese bewirken ein Scheiteln bzw. Öffnen der Grasnarbe, so dass die Gülle, je nach Auflagedruck und Bodenzustand direkt auf den Boden bzw. in den leicht angeritzten obersten Bodenbereich abgelegt wird. Neben dem klassischen Einsatz mit Bodenkontakt, wurde in den Versuchen der Schleppschuh auch leicht angehoben (ca. 10 cm über dem Boden) getestet. Dies unter anderem deshalb, da diese Art der Gülleapplikation einer Ausbringung mittels Schleppschlauch sehr nahekommen dürfte.



Abbildung 5: Schleppschuh (Bomech) in Detailaufnahme und im Einsatz

In den Versuchen wurden zwei verschiedene Schlitztechniken eingesetzt. Bei beiden Injektionstechniken wird mit runden Schneidescheiben die Grasnarbe aufgeschnitten und der flüssige organische Dünger nachfolgend in diese Schlitze abgelegt. Durch die Ablage direkt in den Boden und nicht auf die Bodenoberfläche infiltriert der flüssige Anteil an den organischen Düngern schnell in tiefere Bodenschichten. Die beiden Schlitztechniken unterschieden sich vor allem durch die Boden Anpassung. Während beim Gerät der Firma Duport die Anpassung mechanisch (Spiralfedern) erfolgt, kommt beim Euroject der Firma Veenhuis eine hydraulische Boden Anpassung, welche eine hohe Laufruhe gewährleistet, zum Einsatz.



Abbildung 6: Schlitztechnik (Veenhuis) in Detailaufnahme und im Einsatz



Abbildung 7: Schlitztechnik (Duport) in Detailaufnahme und im Einsatz

2.1.4 Erfassung der klimatischen Bedingungen während und unmittelbar nach der Gülleapplikation

Da bekannt ist, dass die Witterungsbedingungen während und insbesondere nach der Ausbringung von organischen Düngern einen erheblichen Einfluß auf die gasförmigen Stickstoffverluste haben (Offenberger et. al, 2017), ist es notwendig, dass bei einem objektiven versuchstechnischen Vergleich unterschiedlicher Ausbringtechniken möglichst einheitliche Witterungsbedingungen herrschen. Da die vollständige Düngung der Versuche i.d.R mindestens 6 Stunden dauerte, ist klar, dass für die unterschiedlichen Varianten keine einheitlichen klimatischen Bedingungen herrschen können. Um diese ungleiche Behandlung der Varianten und damit den Versuchsfehler zu reduzieren, wurde die Reihenfolge der organischen Düngemaßnahmen zeitlich randomisiert. D.h. die Reihenfolge, in der die einzelnen Applikationstechniken eingesetzt wurden, variierte von Düngetermin zu Düngetermin. Zur Dokumentation der klimatischen Ausbringbedingungen wurde für jeden Versuch ein Formblatt (siehe Anhang Abbildung 41) erstellt, welches zu jedem Düngetermin auszufüllen war. Auf dem Formblatt wurden die Zeitspannen, in denen die verschiedenen Applikationstechniken eingesetzt wurden, notiert. Durch die Aufzeichnungen war es möglich, im Nachgang mit Hilfe der Daten, der jeweils zum Versuchsstandort nächst gelegenen Wetterstation, den in den Versuchen geprüften Varianten individuelle Wetterdaten zuzuordnen. Die gebildeten Mittelwerte für Temperatur, Windgeschwindigkeit (jeweils Ausbringzeitpunkt und folgende 4h) sowie der Wert für die nach der Ausbringung gefallenen Niederschläge (24 folgende Stunden nach der Ausbringung) wurden bei der Versuchsauswertung zu Mittel- bzw. Summenwerten verrechnet. Demzufolge konnten die klimatischen Applikationsbedingungen der Varianten objektiv verglichen und bewertet werden.

2.1.5 Ertragsfeststellung und Bestimmung des Trockenmassegehalts des Ernteguts

Die Ernten aller Versuchspartzen wurden mit dem Grüngutvollernter F-55 der Firma Haldrup GmbH durchgeführt. Bei den 3 m breiten Partzen wurde eine 1,50 m breite Kernberntung durchgeführt, die Schnitthöhe betrug ca. 7 cm. Bei der Ernte mit dem Grüngutvollernter wird das Erntegut von Doppelmessern abgeschnitten und anschließend in den Wiegebehälter befördert. Während dieses Vorgangs werden Proben für die TM-Bestimmung und die Qualitätsanalysen gezogen, indem eine Teilmenge (ca. 400 bis 1000g) des Ernteguts zu einem Häcksler transportiert, dort zerkleinert anschließend in Kabine transportiert wird. Dort wird das gehäckselte Erntegut in Crispac-Beutel gefüllt. Nach der Überfahrt der Partzele wird zum einen das Erntegut im Wiegebehälter (Bunker) und zum anderen der mittlerweile etikettierte zugehörige Crispac-Beutel gewogen. Die Daten (FM-Erntegewichte und zugehörige Partzele) werden in der Erntesoftware gespeichert und stehen anschließend zur weiteren Verwendung für die Versuchsauswertung zur Verfügung.

Für die Bestimmung der Trockenmasse (TM) wurden die von jeder Partzele gezogenen und am Vollernter gewogenen Crispac-Beutel mit dem gehäckselten Erntegut nach Abschluss der Ernte auf einer Flachsatztrocknung (Vortrocknung) getrocknet und anschließend gewogen. Um den Restwassergehalt zu ermitteln, wurden Referenzproben, die bereits bei 60°C vorgetrocknet wurden, bei einer Temperatur von 105°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und im Anschluss gewogen. Der sich aus den Rückwaageergebnissen (Rückwaage 60 bzw. 105°C) der Referenzproben ergebende Faktor wurde verwendet um sämtliche Rückwaageergebnisse bei 60°C zu korrigieren, d.h. sämtliche TM-Ergebnisse in diesem Bericht sind bezogen auf eine Trockenmasse bei einer Trocknung bei 105°C.

2.1.6 Bestimmung der Pflanzeninhaltsstoffe

Für die Analyse der Inhaltsstoffe wurden die bei 60°C getrockneten Proben jeder Partzele an die entsprechenden Labore der Landesanstalt für Landwirtschaft übermittelt. Im Labor wurden die Proben nach Methoden des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) analysiert.

Der Gehalt an Gesamtstickstoff (N_{Ges}) wurde nach der Methode N-Dumas bestimmt (nach VDLUFA Methodenbuch, Band III, Methode 4.1.2 (2004)). Der Rohproteingehalt wurde standardmäßig aus dem N_{Ges} -Gehalt durch Multiplikation mit dem Faktor 6,25 abgeleitet.

Die Bestimmung des Rohaschegehalts (nach VDLUFA Methodenbuch, Band III, Methode 8.1 (1976)) ist Teil der Weender Analyse und erfolgte durch Verbrennung. Die Rohasche umfasst die anorganischen Bestandteile. Ziel war es mit Hilfe des Rohaschegehalts Aussagen zur Futterschmutzung treffen zu können.

Darüber hinaus wurden die Pflanzeninhaltsstoffe Phosphor, Kalium, Magnesium, Kalzium, Natrium, Kupfer, Zink, Chlor, Schwefel (nur Standorte Rüdenhausen und Ebensfeld) mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse festgestellt (nach VDLUFA Methodenbuch, Band III, Methode 10.8.3 (2006)). Auf die mit der Röntgenfluoreszenzanalyse festgestellten

Analyseergebnisse wird im Ergebnisteil nicht näher eingegangen, da diese in erster Linie dazu dienen allgemeingültige Aussagen zur Futterqualität und zu Nährstoffentzügen im Grünland in eher trockenen Lagen (z.B. Basiszahlen) treffen zu können.

2.1.7 Bonitur der Narbenschäden

Um den Einfluss der verschiedenen Versuchsvarianten hinsichtlich einer möglichen Narbenschädigung bewerten zu können, wurde an allen drei Standorten, sofern es terminlich möglich war, nach jedem Schnitt eine Bonitur der sichtbaren Narbenschäden durchgeführt. Dabei wurde bei jeder Parzelle die Narbenschädigung in Prozent (%) mittels visueller Bonitur geschätzt. Vereinfacht gesagt wurde abgeschätzt, wieviel Prozent der jeweiligen Parzelle unbewachsen ist (siehe auch Boniturbogen im Anhang Abbildung 42). Die Ursache der Narbenschäden spielte hierbei keine Rolle, d.h. es gingen sämtliche Narbenschäden, sei es durch Mäuse, Auswinterung, sonstiges oder durch die Düngerapplikation verursacht, in die Bonitur mit ein. Um Fehler, die durch eine subjektive Wahrnehmung verursacht werden könnten, möglichst klein zu halten, wurden die Versuche immer durch dieselbe Person bonitiert.

2.1.8 Bonitur der sichtbaren Güllereste

Um ein genaueres Bild hinsichtlich der immer wieder diskutierten Futtermittelverschmutzung („Güllewürste“) durch den Einsatz der bodennahen Applikationstechniken, insbesondere des Schleppschlauchs und des Schleppschuhs, zu bekommen, wurde in dem Projekt versucht, neben der Feststellung des Rohaschegehalts noch einen weiteren Parameter zur Beurteilung zu installieren. Die sichtbaren Güllereste (in erster Linie Faserstoffe) wurden, nach dem im Folgenden näher beschriebene Schema, bonitiert (siehe auch Boniturbogen im Anhang Abbildung 43). Mit Hilfe des Boniturschemas können äußerst subjektive Beobachtungen zur Futtermittelverschmutzung in einen objektiveren Maßstab übertragen werden. Interessant war auch, wie sich die Untersuchungswerte für Rohasche (qualitativer Laborwert) und die Bonitur (visueller Parameter) zueinander verhalten.

Die Parzellen der drei Versuche wurden jeweils am Tag der Ernte kurz vor dem Schnitt visuell durch dieselbe Person bonitiert. Mit Hilfe des Boniturschemas wurde versucht, die eine saubere Futterwerbung beeinflussenden Parameter hinsichtlich Intensität und Lage (Position über dem Boden) der sichtbaren Güllereste zu erfassen. Hintergrund der Erfassung der Lage ist, dass tiefer abgelegte Gülle bei optimal eingestellter Arbeitshöhe der Werbetechniken (Zetten, Wenden, Schwaden, Pick-up) zu einer geringeren Futtermittelverschmutzung als höher im Bestand liegende Güllereste führen dürften. In der Abbildung 8 sind beispielhaft Fotos aus den Versuchen mit der jeweils zugehörigen Bonitur dargestellt.

Aufgrund der aufgeführten Zusammenhänge wurden den am Versuch festgestellten Bonituren nach dem in der Tabelle 3 dargestellten Schema Boniturnoten zugeteilt. Dabei gilt: Je höher die Boniturnote, desto problematischer könnte der sichtbare Güllerest für die Futterwerbung sein. Wobei Boniturnoten von 0 bis 6 bei gut eingestellter Werbetechnik

wahrscheinlich unproblematisch hinsichtlich einer Futtermverschmutzung im eingefahrenen Futter sein dürften.



Abbildung 8: Beispiele unterschiedlicher Bonituren der sichtbaren Güllereste in den Versuchen

Tabelle 3: Übersicht zu den Bonituren der sichtbaren Güllereste

| Bezeichnung ¹⁾ | Beschreibung | Boniturnote |
|---------------------------|--|-------------|
| 0 | keine Güllereste | 0 |
| 1 | Güllereste meist nur am Boden, d.h. es muss regelrecht nach den Gülleresten gesucht werden | 2 |
| | Gülleebänder direkt am bzw. im Boden, < 1 cm über Bodenoberfläche, Restbestand sauber | |
| 1G1 | Gülleebänder nur leicht zu sehen | 1 |
| 1G2 | Gülleebänder klar zu erkennen | 2 |
| 1G3 | Gülleebänder sehr deutlich, nahezu wie nach der Düngung | 3 |
| 2 | Güllereste beim direkten Hineinschauen in den Bestand zu erkennen, d.h., das höhere Gras muss zur Seite geschoben werden | 4 |
| | Gülleebänder auf und über Boden, 1 bis < 3 cm ü. der Bodenoberfläche, Restbestand sauber | |
| 2G1 | Gülleebänder nur leicht zu sehen | 3 |
| 2G2 | Gülleebänder klar zu erkennen | 4 |
| 2G3 | Gülleebänder sehr deutlich, nahezu wie nach der Düngung | 5 |
| 3 | Güllereste mit dem ersten Blick auf den Blättern zu erkennen, ohne dass das höhere Gras zur Seite geschoben werden muss | 6 |
| | Gülleebänder auf und über dem Boden, 3-6 cm über der Bodenoberfläche, Restbestand sauber | |
| 3G1 | Gülleebänder nur leicht zu sehen | 5 |
| 3G2 | Gülleebänder klar zu erkennen | 6 |
| 3G3 | Gülleebänder sehr deutlich, nahezu wie nach der Düngung | 7 |
| 4 | Güllereste sind sehr deutlich zu erkennen, d.h. es sind sehr deutliche Güllereste auf den Blättern zu erkennen | 8 |
| | Gülleebänder auf und über dem Boden, > 6 cm über der Bodenoberfläche, Restbestand sauber | |
| 4G1 | Gülleebänder nur leicht zu sehen | 7 |
| 4G2 | Gülleebänder klar zu erkennen | 8 |
| 4G3 | Gülleebänder sehr deutlich, nahezu wie nach der Düngung | 9 |

1) G-Bonituren (Buchstabe G in der Bezeichnung) sind für die bodennahen Ausbringtechniken vorgesehen; Bonituren ohne Buchstaben sind für die Breitverteilungstechniken vorgesehen

Dem Autor ist es wichtig herauszustellen, dass diese Art der Bonitur und deren Bewertung nur ein Versuch ist, die dargelegten Zusammenhänge darzustellen. Dieses System erhebt nicht den Anspruch, vollständig und zweifelsfrei die Zusammenhänge zu erfassen. Ebenfalls ist an dieser Stelle klar festzuhalten, dass von einer schlechten Boniturnote nicht direkt auf eine mikrobielle Belastung des Ernteguts geschlossen werden kann.

2.2 Versuche

2.2.1 Beschreibung der Versuchsstandorte

Tabelle 4: Wichtige Daten zur Charakterisierung der drei Versuchsstandorte

| Parameter | Versuchsstandorte | | |
|---|---|---|---|
| | Rüdenhausen | Bad Windsheim | Ebensfeld |
| Lage | | | |
| Landkreis | Kitzingen | Neustadt Aisch-Bad-Windsheim | Lichtenfels |
| Regierungsbezirk | Unterfranken | Mittelfranken | Oberfranken |
| Erzeugungsgebiet | Steigerwald Vorland | Steigerwald Vorland | Oberfränkisches Hügelland |
| Höhe über NN (m) | 264 | 334 | 255 |
| Nutzung/Geologie/Boden (Ergebnisse der Bodenuntersuchung (0-10 cm)) | | | |
| Nutzung | Dauergrünland (Wiese) | Dauergrünland (Wiese) | Dauergrünland (Wiese) |
| Geologische Formation | Alluvium vermischt mit Keuper und Muschelkalk | Alluvium vermischt mit Keuper und Muschelkalk | Dillivium vermischt mit Kreide und Jura |
| Bodenzahl | 38 | 58 | 42 |
| Humusklasse/Bodenart | anmooriger Boden/toniger Lehm | Mineralboden /Ton | Mineralboden /sandiger Lehm |
| Humusgehalt in % | 17 | 13 | 5 |
| pH (CaCl ₂) | 6,4 | 7,0 | 5,6 |
| Gehaltsklasse P ₂ O ₅ (CAL) | E (sehr hoch) | D (hoch) | A (niedrig) |
| Gehaltsklasse K ₂ O (CAL) | E (sehr hoch) | E (sehr hoch) | C (optimal) |
| Gehaltsklasse Mg (CaCl ₂) | E (sehr hoch) | E (sehr hoch) | C (optimal) |
| Klima (Mittelwerte (1991 bis 2023) der jeweils naheliegendsten Wetterstation) | | | |
| Jahresniederschlag (mm) | 542,2 | 626,9 | 595,3 |
| Temperatur (°Celsius) | 10,0 | 9,5 | 9,3 |

Die Tabelle 4 gibt einen Überblick der wichtigsten Daten zur Charakterisierung der drei fränkischen Versuchsstandorte in bayerischen Trockenlagen. An allen seit Jahrzehnten als Wiesen, mit regelmäßiger organischer und mineralischer Düngung, genutzten Standorten liegt die mittlere Temperatur über 9 °C und es fallen durchschnittlich unter 650 mm Niederschlag. Während die Standorte Rüdenhausen und Bad Windsheim Auenstandorte mit hohen Humusgehalten (17 % bzw. 13 %) und schweren Böden (hoher Tongehalt) sind, liegt der mittelschwere Standort Ebensfeld (sandiger Lehm) in einem hügeligen Gebiet und weist einen vergleichsweise niedrigen Humusgehalt (5 %) auf. Die Ergebnisse der vor Versuchsbeginn im Jahr 2019 durchgeführten Bodenuntersuchung zeigen, dass die beiden Standorte Rüdenhausen und Bad Windsheim sowohl einen hohen pH-Wert aufweisen als auch, dass sie mit den Nährstoffen Phosphat, Kali und Magnesium mehr als ausreichend hoch versorgt sind. In Ebensfeld liegt der anzustrebende pH-Wert mit 5,6 etwas unter dem anzustrebenden

Optimum. Während der Boden bei Kali und Magnesium eine optimale Bodenversorgung hat, weist im Falle von Phosphat die Bodenuntersuchung nur die Gehaltsklasse niedrig aus.

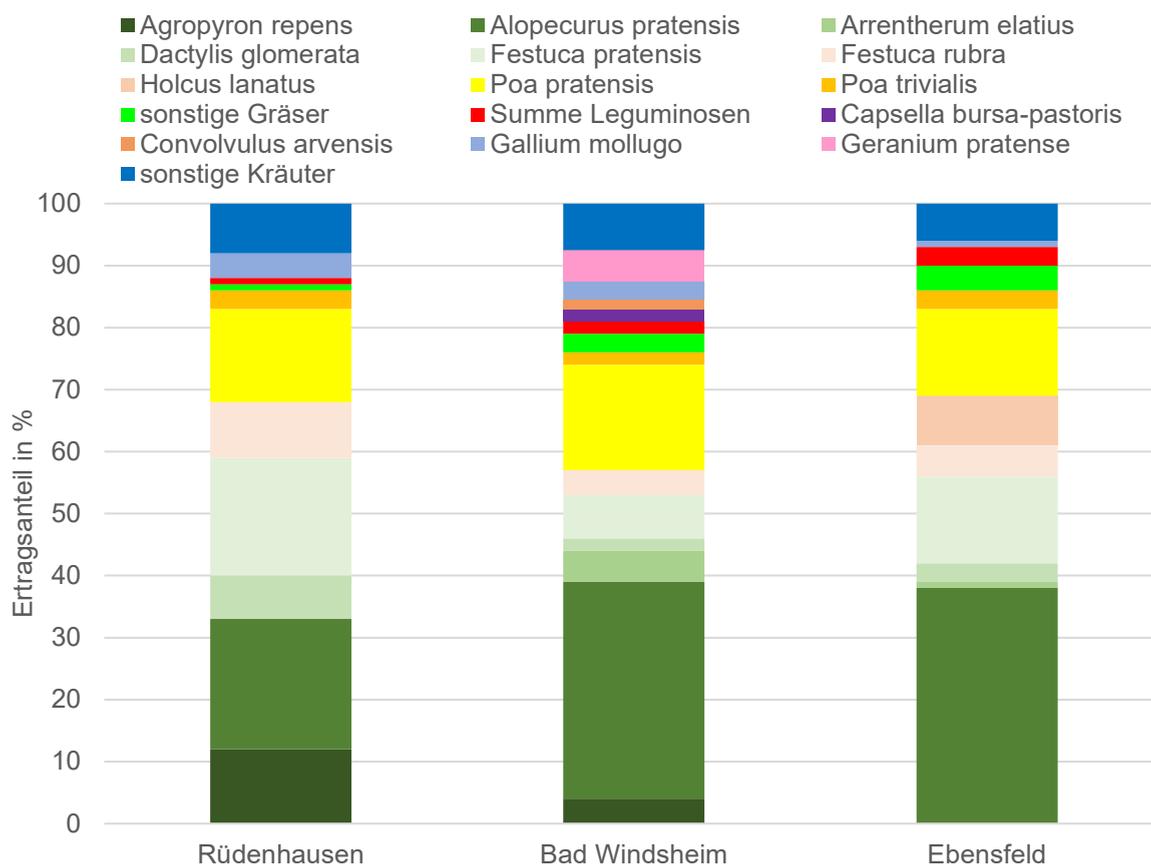


Abbildung 9: Geschätzte FM-Ertragsanteile (Bestandsaufnahmen 1. Aufwuchs 2019) der Hauptbestandbildner an den drei Versuchsstandorten

Die im Mai 2019 in Anlehnung nach der Methode von Klapp & Stählin (1936) durchgeführten Bestandsaufnahmen zeigen, dass die Anzahl der gefunden Pflanzenarten mit mehr als 0,5 % Ertragsanteil in der Frischmasse (FM) in Rüdénhausen (25 Arten) am niedrigsten lag. In Bad Windsheim konnten 32 Arten und in Ebensfeld 43 Pflanzenarten gefunden werden.

Der festgestellte Gräseranteil (Abbildung 9) lag in Rüdénhausen und in Ebensfeld mit ca. 90% sehr hoch, in Bad Windsheim lag der Anteil bei knapp 80%. Leitgräser waren an allen drei Standorten *Alopecurus pratensis* (Wiesenfuchsschwanz), *Festuca pratensis* (Wiesenschwingel) sowie als Untergras *Poa pratensis* (Wiesenrispe). In Bad Windsheim und in Ebensfeld lag der Anteil an sonstigen Gräsern deutlich höher als in Rüdénhausen. Auffällig waren auch die hohen Anteile an Gräsern mit nur geringem Futterwert. So wurden in Rüdénhausen Anteile von knapp 10% und an den beiden anderen Standorten Anteile von rund 5 % an *Festuca rubra* (Rotschwingel) festgestellt. Des Weiteren lag der Anteil an *Holcus lanatus* (Wolliges Honiggras) in Ebensfeld bei 8 % und in Rüdénhausen wurde ein erheblicher Anteil (12 %) an *Agropyron repens* (Quecke) festgestellt.

Leguminosen, in erster Linie *Trifolium repens* (Weißklee), waren an allen Standorten mit maximal 3 % (Ebensfeld) kaum im Bestand vorhanden.

Der Standort Bad Windsheim wies mit knapp 20 % den größten FM-Ertragsanteil an Kräutern auf. Besonders auffällig war *Geranium Pratense* (Wiesenstorchschnabel) mit 5 %.

2.2.2 Wetter im gesamten Versuchszeitraums an den Versuchsstandorten

Der Verlauf der Witterung im Versuchszeitraum an der jeweils zum Versuchsstandort naheliegendsten Wetterstation ist in Abbildung 10 bis Abbildung 12 dargestellt. Tabelle 5 bis Tabelle 7 zeigen eine Zusammenstellung von Niederschlagssummen und mittleren Temperaturen für bestimmte Zeiträume an den zu den Versuchsstandorten naheliegendsten Wetterstationen.

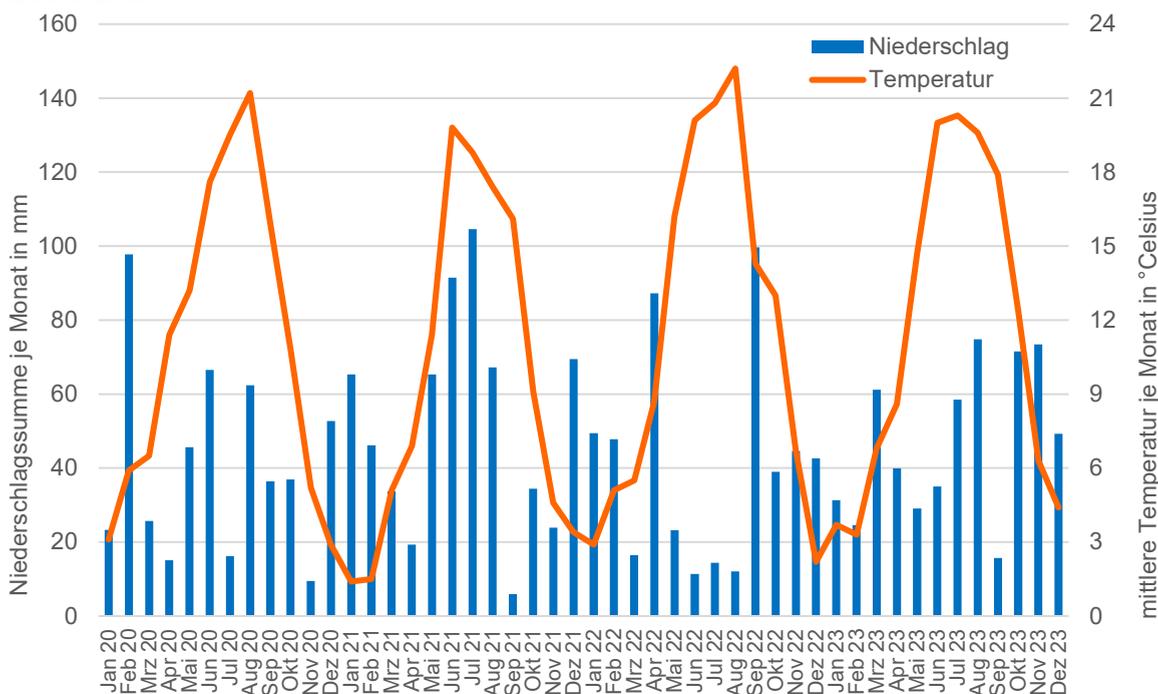


Abbildung 10: Temperatur (Monatsmittelwerte) und Niederschlag (Monatssummen) in den Jahren 2020 bis 2024 am Standort Rüdenhausen (Quelle: Wetterstation Schwarzenau)

Tabelle 5: Zusammenstellung von Niederschlagssummen und mittleren Temperaturen für bestimmte Zeiträume am Standort Rüdenhausen (Quelle: Wetterstation Schwarzenau)

| Zeitraum | Parameter | Jahr | | | | Mittel (20-23) | Mittel (91-23) |
|----------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|
| | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | | |
| Jahr (1.1. bis 31.12.) | ΣNiederschlag in mm | 488,1 | 626,8 | 487,8 | 564,5 | 541,8 | 542,2 |
| | Mittlere Temp.in °C | 11,1 | 9,6 | 11,5 | 11,5 | 10,9 | 10,0 |
| Vegetation (1.3. bis 1.10.) | ΣNiederschlag in mm | 304,8 | 421,9 | 303,4 | 385,8 | 354,0 | - |
| | Mittlere Temp. in °C | 14,5 | 13,1 | 15,1 | 15,0 | 14,4 | - |
| Sommermonate (1.6. bis 30.9.) | ΣNiederschlag in mm | 181,5 | 269,2 | 137,5 | 184,0 | 193,1 | - |
| | Mittlere Temp. in °C | 18,6 | 18,0 | 18,0 | 19,5 | 18,5 | - |

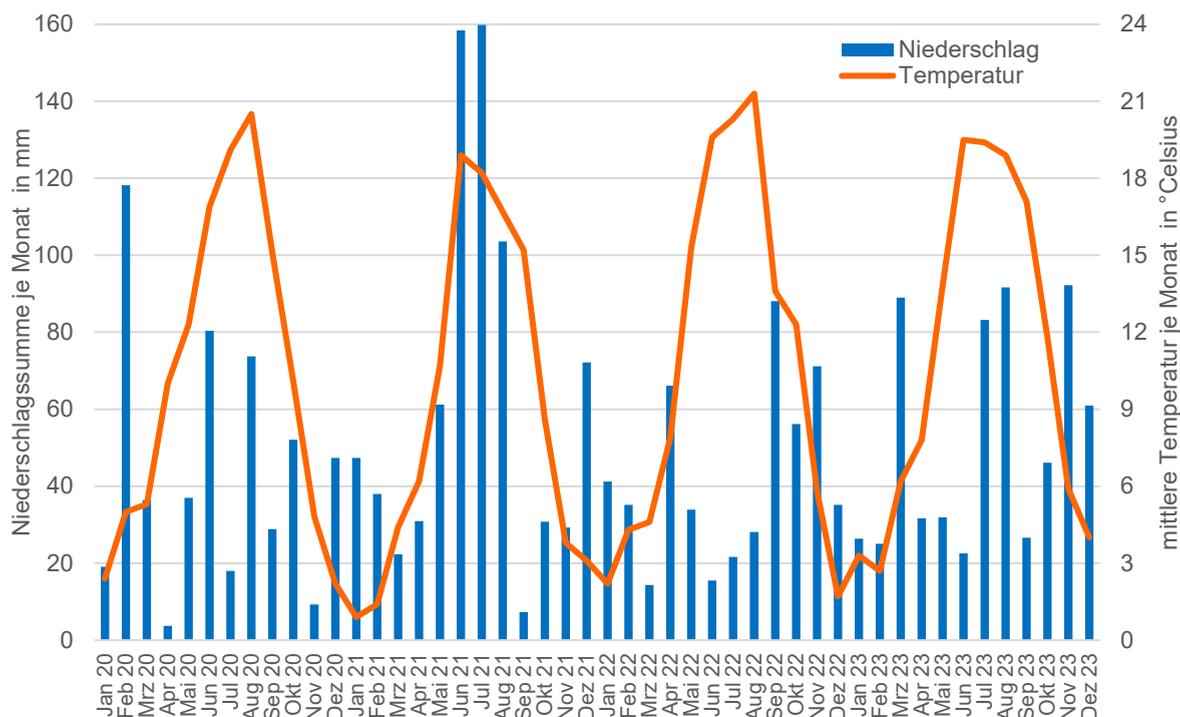


Abbildung 11: Temperatur (Monatsmittelwerte) und Niederschlag (Monatssummen) in den Jahren 2020 bis 2024 am Standort Bad Windsheim (Quelle: Wetterstation Kaubenheim)

Tabelle 6: Zusammenstellung von Niederschlagssummen und mittleren Temperaturen für bestimmte Zeiträume am Standort Bad Windsheim (Quelle: Wetterstation Kaubenheim)

| Zeitraum | Parameter | Jahr | | | | Mittel (20-23) | Mittel (91-23) |
|----------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|
| | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | | |
| Jahr (1.1. bis 31.12.) | ΣNiederschlag in mm | 524,2 | 761,2 | 506,5 | 627,4 | 604,8 | 595,3 |
| | Mittlere Temp. in °C | 10,3 | 9,0 | 10,7 | 10,9 | 10,2 | 9,3 |
| Vegetation (1.3. bis 1.10.) | ΣNiederschlag in mm | 330,2 | 574,3 | 323,8 | 422,8 | 412,8 | - |
| | Mittlere Temp. in °C | 13,7 | 12,4 | 14,4 | 14,3 | 13,7 | - |
| Sommermonate (1.6. bis 30.9.) | ΣNiederschlag in mm | 201,0 | 429,1 | 153,4 | 224,0 | 251,9 | - |
| | Mittlere Temp. in °C | 17,9 | 17,3 | 17,3 | 18,7 | 17,8 | - |

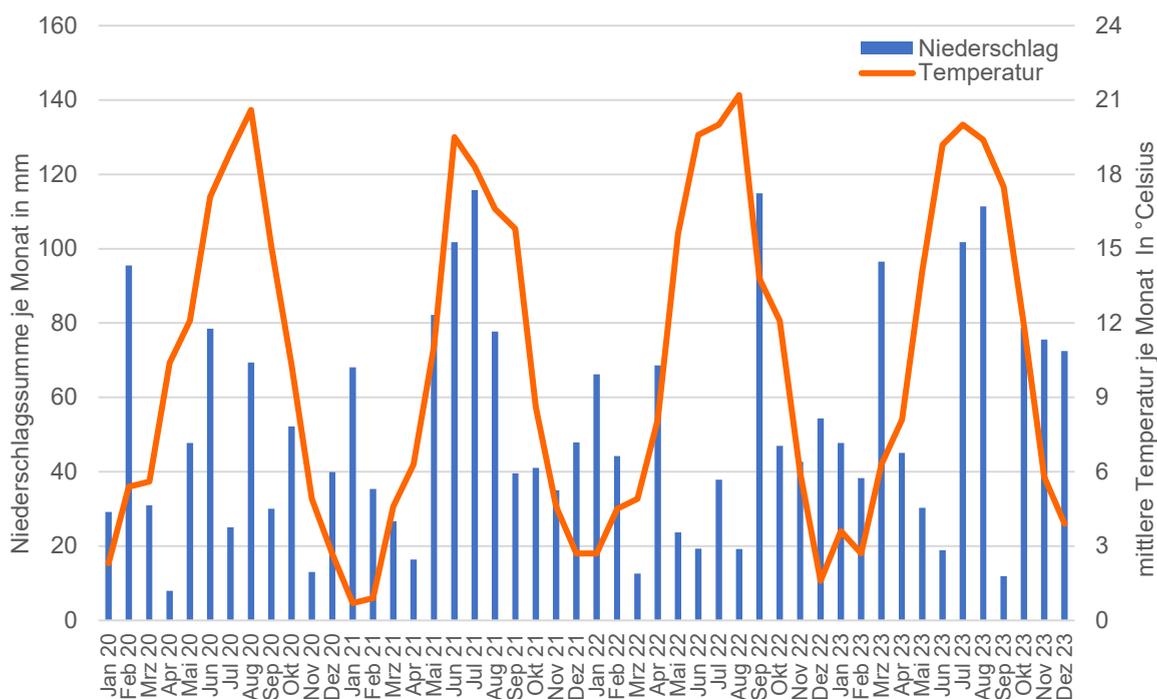


Abbildung 12: Temperatur (Monatsmittelwerte) und Niederschlag (Monatssummen) in den Jahren 2020 bis 2024 am Standort Ebensfeld (Quelle: Wetterstation Bad Staffelstein)

Tabelle 7: Zusammenstellung von Niederschlagssummen und mittleren Temperaturen für bestimmte Zeiträume am Standort Ebensfeld (Quelle: Wetterstation Bad Staffelstein)

| Zeitraum | Parameter | Jahr | | | | Mittel (20-23) | Mittel (91-23) |
|----------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|
| | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | | |
| Jahr (1.1. bis 31.12.) | ΣNiederschlag in mm | 519,5 | 687,6 | 550,7 | 728,5 | 621,6 | 626,9 |
| | Mittlere Temp. in °C | 10,5 | 9,1 | 10,8 | 11,0 | 10,4 | 9,5 |
| Vegetation (1.3. bis 1.10.) | ΣNiederschlag in mm | 341,9 | 501,2 | 343,2 | 494,4 | 420,2 | - |
| | Mittlere Temp. in °C | 13,8 | 12,6 | 14,4 | 14,6 | 13,8 | - |
| Sommermonate (1.6. bis 30.9.) | ΣNiederschlag in mm | 203,0 | 334,9 | 191,4 | 243,9 | 243,3 | - |
| | Mittlere Temp. in °C | 17,9 | 17,6 | 17,6 | 19,0 | 18,0 | - |

Versuchsjahr 2020

An allen Standorten fielen im Februar 2020 erhebliche Niederschläge (Rüdenhausen 20 %, Bad Windsheim 23 %, Ebensfeld 16 % des standortspezifischen Gesamtjahresniederschlags). Die Monate März und April waren sehr niederschlagsarm, dennoch konnten vor allem aufgrund der Niederschläge im Februar in Rüdenhausen und Ebensfeld durchschnittliche Erträge beim ersten Schnitt in der ersten Maihälfte erzielt werden. In Bad Windsheim (Σ Niederschlag April 4 mm) hatte die trockene Witterung eine stärkere Auswirkung auf den Ertrag. Hier wurde der niedrigste Ertrag beim 1.Aufwuchs in den vier Versuchsjahren

erzielt. Gute Wachstumsbedingungen in den Monaten Mai und Juni führten an allen drei Standorten zu hohen Erträgen beim 2. Schnitt Ende Juni. Die geringen Niederschläge in Kombination mit den sehr heißen Temperaturen in den Monaten von Juli bis Oktober führten dazu, dass die Bestände unter extremen Trockenstress litten. In den ausgetrockneten Böden (insbesondere am Standort Rüdenhausen) bildeten sich Schrumpfungsrisse. Infolgedessen konnten beim 3. Schnitt Ende Oktober nur sehr geringe Erträge erzielt werden.

Versuchsjahr 2021

Das Jahr 2021 war im Versuchszeitraum (2020 bis 2023) an den Standorten Rüdenhausen und Bad Windsheim das Jahr mit den meisten (in Ebensfeld mit den zweitmeisten) Niederschlägen. Die Niederschlagssummen lagen an allen drei Standorten deutlich über bzw. die durchschnittliche Jahrestemperatur deutlich unter dem jeweiligen ortsüblichen langjährigen Mittel. Die hohen Niederschläge, sowohl während der Vegetation als auch in den meist relativ trockenen Sommermonaten, führten dazu, dass es im Jahr 2021 möglich war, vier Aufwüchse zu erzielen. Allerdings führten die massiven Niederschläge in den Sommermonaten (insbesondere in Bad Windsheim) auch dazu, dass Versuchsflächen kurzfristig überschwemmt wurden und deshalb Düngetermine verschoben werden mussten.

Versuchsjahr 2022

Aufgrund ausreichender Niederschläge im April konnten standortübergreifend gute Erträge beim 1. Schnitt erzielt werden. Die geringen Niederschlagsmengen in den warmen Monaten Mai bis Mitte September führten dazu, dass vermehrt Schrumpfungsrisse im Boden (insbesondere am Standort Rüdenhausen) auftraten und die Erträge beim 2. und 3. Schnitt sehr gering ausfielen.

Versuchsjahr 2023

Das Jahr 2023 war unter anderem von einem sehr nassen Vegetationsbeginn geprägt. Erhebliche Niederschläge im März und April haben an allen Standorten zu lange unbefahrbaren Versuchsflächen geführt. Daher konnte in Rüdenhausen und Ebensfeld die Düngung zum ersten Aufwuchs erst in der zweiten Aprilhälfte durchgeführt werden. Die ausreichende Versorgung mit Wasser und die ansteigenden Temperaturen führten zu Spitzenerträgen beim 1. Aufwuchs. Aufgrund eher mäßiger Niederschlagsmengen in den sehr heißen Monaten Mai und Juni viel der Ertrag des 2. Schnitts vergleichsweise gering aus. Infolge hoher Niederschläge in den Monaten Juli und August konnten beim 3. Schnitt Spitzenerträge erzielt werden.

2.2.3 Versuchsdurchführung und Versuchsaufbau an den drei Standorten

Die drei Versuche wurden als ortsfeste, einfaktorielle lateinische Rechtecke mit jeweils vier Wiederholungen angelegt.

Da die jährliche Nutzungshäufigkeit in den Regionen, in denen die Versuche durchgeführt wurden, aufgrund der nicht vorhersehbaren Witterung in den Sommermonaten, nicht immer gleich ist, wurden die Versuchspläne auf eine 3 bis 4malige Nutzung ausgelegt.

Die Düngungen erfolgten i.d.R. bei guter Befahrbarkeit des Bodens zum 1. Aufwuchs im Frühjahr (Vegetationsbeginn), zum 2. und zum 3. Aufwuchs. Lediglich im Jahr 2021 erfolgte in Rüdenhausen, aufgrund technischer Mängel des Gülletracs, die zum 3. Aufwuchs vorgesehene Düngung erst zum 4. Aufwuchs. Wie bereits in Kapitel 2.1.4 genauer beschrieben, variierte die zeitliche Reihenfolge der organischen Düngungsmaßnahmen von Düngungstermin zu Düngungstermin. Außerdem wurden mit Hilfe des GPS (Global Positioning System) gesteuerten automatischen Lenksystems alle Techniken von Termin zu Termin um 6 cm versetzt in den Parzellen eingesetzt, um bei den bodennahen Applikationstechniken eine Ausbringung von Schlitz auf Schlitz bzw. Gülleband auf Gülleband zu vermeiden. Die in den Versuchsplänen vorgesehene mineralische Düngung der Parzellen erfolgte per Hand. Dabei entsprach die Höhe der Ausgleichsdüngung (P_2O_5 und K_2O) in etwas der Nährstoffmenge, die bei den organisch gedüngten Varianten ausgebracht wurde.

Aus Gründen des Grundsatzes, dass alle Versuchsglieder, ausgenommen der Versuchsfrage, möglichst gleich zu behandeln sind, wurden die mineralisch gedüngten Parzellen der Stickstoffsteigerung (VGL 1-5) an den Düngeterminen mit dem Gülletrac überfahren. Somit wurde sichergestellt, dass die mineralisch gedüngten Versuchsglieder hinsichtlich des Bodendrucks identisch behandelt wurden.

Da in diesem Projekt der Fokus auf der N-Düngewirkung liegt und Effekte, die durch andere Nährstoffe generiert werden, möglichst ausgeschlossen werden sollten, wurden die Versuchsflächen jährlich zu Vegetationsbeginn vor dem ersten Düngetermin mit 25 kg S/ha (Kieserit) gedüngt. Auf der, mit dem Nährstoff P_2O_5 unterversorgten Versuchsfläche in Ebensfeld (siehe Kapitel 2.2.1) wurde jährlich 200 kg P_2O_5 /ha (Triple-Superphosphat) vor Vegetationsbeginn ausgebracht.

Alle Versuchsflächen wurden mindestens einmal jährlich gewalzt. Im Abstand von ca. 2 Wochen fand eine Kontrolle hinsichtlich Mäusebefall, mit wenn nötig durchgeführter Bekämpfung, statt. Um eine negative Beeinträchtigung des Versuchsergebnisses durch unterschiedliche hohe Leguminosenanteile in den verschiedenen Parzellen zu vermeiden, wurde der Leguminosenanteil (Ertragsanteil in der Frischmasse) regelmäßig kontrolliert. Bei einer Überschreitung eines Ertragsanteils von 5 % wurde eine Bekämpfung (Einzelpflanzenbehandlung) durchgeführt. Dies war im gesamten Versuchszeitraum nur jeweils einmal in Bad Windsheim und Ebensfeld notwendig.

Die Bonituren der sichtbaren Güllereste wurden am Erntetermin kurz vor der Ernte und die Bonituren der Narbenschädigung nach Abschluss der Ernte und dem Abfahren des Ernteguts durchgeführt.

Aufgrund logistischer Zwänge, unterschiedlicher Standortbedingungen und technischer Gegebenheiten an den Versuchsstandorten war der Versuchsaufbau der drei Versuche unterschiedlich (siehe Versuchspläne, Tabelle 8 bis Tabelle 10).

Tabelle 8: Versuchsplan am Standort Rüdenhausen

| Vgl. | Variante | $\sum N_{\text{Ges}}$ (kg/ha) | Düngung $N_{\text{Ges}}/P_2O_5/K_2O$ (kg Nährstoff/ha) zu | | |
|------|---|----------------------------------|--|---------------|-----------------------------|
| | | | Aufwuchs 1 | Aufwuchs 2 | Aufwuchs 3 ¹⁾ |
| 1 | ohne N-Düngung + PK-Ausgleich | 0 | 0/25/80 | 0/25/80 | 0/25/80 |
| 2 | KAS + PK | 45 | 15/25/80 | 15/25/80 | 15/25/80 |
| 3 | KAS + PK | 90 | 30/25/80 | 30/25/80 | 30/25/80 |
| 4 | KAS + PK | 135 | 45/25/80 | 45/25/80 | 45/25/80 |
| 5 | KAS + PK | 195 | 65/25/80 | 65/25/80 | 65/25/80 |
| 6 | KAS + PK ob. auf, 3 x Schlepps. o. Gülle | | | | |
| 7 | KAS + PK ob. auf, 3 x Veenh. o. Gü. 2-3cm | 135 | 45/25/80 | 45/25/80 | 45/25/80 |
| 8 | KAS + PK o. auf, 2 ²⁾ x Veen. o. Gülle 3-4cm | | | | |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller | 210 | 105 kg N | - | 105 kg N |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh | 210 | 105 kg N | - | 105 kg N |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis 3-4cm tief | 210 | 105 kg N | - | 105 kg N |
| 12 | 2 x Gülle Schlepps. (10-15cm Bestand) | 210 | 105 kg N | - | 105 kg N |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3cm tief | 210 | 70 kg N | 70 kg N | 70 kg N |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3cm tief | 210 | 70 kg N | 70 kg N | 70 kg N |
| 15 | 3 x Gülle Veenh. (10-15cm Bestand) 2-3cm | 210 | 70 kg N | 70 kg N | 70 kg N |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 210 | 70 kg N | 70 kg N | 70 kg N |
| 17 | 3 x Gülle Schlepps. (10-15cm Bestand) | 210 | 70 kg N | 70 kg N | 70 kg N |
| 18 | 3 x Gülle Schleppschuh über Boden | 210 | 70 kg N | 70 kg N | 70 kg N |
| 19 | 3x Gülle Prallteller | 210 | 70 kg N | 70 kg N | 70 kg N |
| 20 | 3x Gülle Schwenkverteiler | 210 | 70 kg N | 70 kg N | 70 kg N |

1) im Jahr 2021 erfolgte die geplante Düngung zum 3. Aufwuchs erst zum 4. Aufwuchs, der 3. Aufwuchs wurde nicht gedüngt

2) zu den Aufwüchsen 1 und 3

Alle Versuchspläne beginnen (VGL 1-5) mit einer mineralischen N-Steigerung in Kombination mit einer einheitlichen Phosphat- und Kaliergänzungsdüngung. Diese Versuchsglieder dienen in erster Linie dazu Kurven, die für die Bestimmung von Mineraldüngeräquivalenten notwendig sind, zu erstellen.

Bei den Versuchsgliedern 6 bis 8 (Rüdenhausen, Bad Windsheim) bzw. 7 bis 10 (Ebensfeld) wurden die unterschiedlichen Applikationstechniken ohne organische Düngemittel eingesetzt. Es erfolgte eine mineralische Düngung in Höhe von Versuchsglied 4. Damit können aufgrund der identischen Düngung Rückschlüsse zu einer vermeintlichen Beeinträchtigung

der Applikationstechniken, unabhängig vom eingesetzten organischen Düngemittel, gezogen werden.

Die folgenden Varianten 9 bis 20 (Rüdenhausen, Bad Windsheim) sowie 11 bis 19 (Ebensfeld) sind vor allem dazu gedacht, die unterschiedlichen Applikationstechniken für organische Düngemittel miteinander zu vergleichen. Ebenso werden unterschiedliche Einsatztermine (Düngung unmittelbar nach bzw. ein bis zwei Wochen nach dem Schnitt) und Düngestrategien (Aufteilung der Gaben) bei standortspezifischen gleichen N_{Ges} -Düngemengen verglichen.

Tabelle 9: Versuchsplan am Standort Bad Windsheim

| Vgl. | Variante | $\sum N_{Ges}$ (kg/ha) | Düngung $N_{Ges}/P_2O_5/K_2O$ (kg Nährstoff/ha) zu | | |
|------|---|---------------------------|--|---------------|---------------|
| | | | Aufwuchs 1 | Aufwuchs 2 | Aufwuchs 3 |
| 1 | ohne N-Düngung + PK-Ausgleich | 0 | 0/25/80 | 0/15/60 | 0/15/60 |
| 2 | KAS + PK | 45 | 19/25/80 | 13/15/60 | 13/15/60 |
| 3 | KAS + PK | 90 | 36/25/80 | 27/15/60 | 27/15/60 |
| 4 | KAS + PK | 135 | 55/25/80 | 40/15/60 | 40/15/60 |
| 5 | KAS + PK | 195 | 79/25/80 | 58/15/60 | 58/15/60 |
| 6 | KAS + PK ob. auf, 3x Schlepps. o. Gülle | | | | |
| 7 | KAS + PK ob. auf, 3x Veenh. 2-3 cm o. Gü. | 135 | 55/25/80 | 40/15/60 | 40/15/60 |
| 8 | KAS + PK ob. auf, 2 ¹ x Veenh. 3-4 cm o. Gü. | | | | |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller | 170 | 85 kg N | - | 85 kg N |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh | 170 | 85 kg N | - | 85 kg N |
| 11 | 2 x Gülle Schlitztechnik Veenhuis 3-4 cm | 170 | 85 kg N | - | 85 kg N |
| 12 | 2 x Gülle Schleppschuh | 170 | 85 kg N | 85 kg N | - |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3 cm tief | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3 cm tief | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 15 | 2 x Gülle Veenhuis 3-4 cm tief | 170 | 85 kg N | 85 kg N | - |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 17 | 2 x Gülle Prallteller | 170 | 85 kg N | 85 kg N | - |
| 18 | 3 x Gülle Schleppschuh über Boden | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |

1) zu den Aufwüchsen 1 und 3

In Ebensfeld wurden bei den Varianten 20 bis 24 mit Wasser (1:1) verdünnte Gülle eingesetzt. Der Zusatz von Wasser erfolgte bei jedem Düngetermin direkt am Versuch. Bei

Variante 6 wurde vor der mineralischen Düngung die Menge an Wasser, welche bei den Varianten 20-24 mit Gülleverdünnung je Parzelle für die Verdünnung erforderlich war, aufgebracht. Hintergrund war es, den vermeintlichen Effekt des Wassers (Trockenstandort) auf den Ertrag beurteilen zu können.

Tabelle 10: Versuchsplan am Standort Ebensfeld

| Vgl. | Variante | ΣN_{Ges} (kg/ha) | Düngung $N_{\text{Ges}}/P_2O_5/K_2O$ (kg Nährstoff/ha) zu | | |
|------|--|------------------------------------|---|---------------|---------------|
| | | | Aufwuchs 1 | Aufwuchs 2 | Aufwuchs 3 |
| 1 | ohne N-Düngung + PK-Ausgleich | 0 | 0/25/80 | 0/15/60 | 0/15/60 |
| 2 | KAS + PK | 40 | 16/25/80 | 12/15/60 | 12/15/60 |
| 3 | KAS + PK | 80 | 32/25/80 | 24/15/60 | 24/15/60 |
| 4 | KAS + PK | 120 | 48/25/80 | 36/15/60 | 36/15/60 |
| 5 | KAS + PK | 180 | 72/25/80 | 54/15/60 | 54/15/60 |
| 6 | KAS + PK ob. auf + 3 x Bereg. Wasser ²⁾ | 120 | | | |
| 7 | KAS + PK ob. auf, 3 x Schleppschuh o. Gü. | 120 | | | |
| 8 | KAS + PK ob. auf, 3 x DuPort 2-3 cm o. Gü. | 120 | 48/25/80 | 36/15/60 | 36/15/60 |
| 9 | KAS + PK ob. auf, 3 x Veenh. 2-3 cm o. Gü. | 120 | | | |
| 10 | KAS + PK o. auf, 2 x Veenh. ⁴⁾ 3-4 cm o. Gü. | 120 | | | |
| 11 | 3 x Gülle (Standard) Prallteller | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 12 | 3 x Gülle (Standard) Schleppschuh | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 13 | 3 x Gülle (Standard) Veenhuis 2-3 cm tief | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 14 | 3 x Gülle (Standard) DuPort 2-3 cm tief | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 15 | 3 x Gü. (Stand.) Schlepp. (Best. 10-15 cm) | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 16 | 2 x Gü. (Stand.) Schlepp. (Best. 10-15 cm) | 170 | 85 kg N | 85 kg N | - |
| 17 | 2 x Gülle (Standard) Prallteller | 170 | 85 kg N | 85 kg N | - |
| 18 | 2 x Gülle (Standard) Schleppschuh | 170 | 85 kg N | 85 kg N | - |
| 19 | 2 x Gülle (Standard) Veenhuis 3-4 cm tief | 170 | 85 kg N | 85 kg N | - |
| 20 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Prallteller | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 21 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Schleppschuh | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 22 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Veenhuis 2-3 cm tief | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 23 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Veenhuis 4-5 cm tief | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |
| 24 | 3 x Gü.; Schlepps. (A1,A2) ²⁾ , Vennh. (A3) ³⁾ | 170 | 68 kg N | 51 kg N | 51 kg N |

1) Wassermenge entsprechend der Gülleverdünnung

2) Gülle (Standard)

3) Gülle (1:1 verdünnt)

4) zu Aufwuchs 1 und 2

2.3 Versuchsauswertungen

Aufgrund des zwar in vielen Teilen ähnlichen aber doch definitiv unterschiedlichen Versuchsaufbaus an den drei Standorten (siehe Kapitel 2.2.3) wurden alle Versuche einzeln verrechnet.

2.3.1 Parameter zur Beurteilung der N-Effizienz

Versuche bei denen die gasförmigen NH_3 -Verluste in Abhängigkeit der Applikationstechnik für flüssige organische Dünger festgestellt wurden, sind in der Literatur hinlänglich bekannt (siehe Kapitel 1). Durch Gasmessungen am Feld konnten klare Aussagen hinsichtlich NH_3 -Verluste und demzufolge auch zu einem effizienten N-Einsatz getroffen werden. In den wenigsten Fällen wurde bei diesen Versuchen jedoch der gedüngte Stickstoff in Relation zu dem vom Feld abgefahrenen Stickstoff gesetzt, da meist keine Ertragsfeststellungen stattfanden. Mit Hilfe der in diesem Projekt durchgeführten TM-Ertrags- und N_{Ges} -Gehaltserfassung der unterschiedlichen Varianten sollte eine Bewertung der N-Effizienz erfolgen. Dazu wurden die im Folgenden näher beschriebenen Parameter N_{Ges} -Ertrag, N-Salden und N-Mineraldüngeräquivalent berechnet und verglichen.

2.3.1.1 N_{Ges} -Ertrag

Um eine Aussage darüber zu erhalten, wie effizient der bei der Düngung eingesetzte Stickstoff bei den verschiedenen Varianten verwertet wurde, ist es sinnvoll, den durch das Erntegut abgefahrenen Stickstoff zu ermitteln. Eine alleinige Betrachtung des Trockenmasseertrags wäre unvollständig, da der zwischen den Varianten unterschiedliche N-Gehalt des Ernteguts nicht berücksichtigt würde. Zur Berechnung des N_{Ges} -Ertrags wurde der Trockenmasseertrag mit dem N_{Ges} -Gehalt des Pflanzenmaterials multipliziert.

2.3.1.2 N-Salden

Bei N-Salden wird die N-Abfuhr von der N-Zufuhr durch Düngung abgezogen. N-Salden ermöglichen einen Vergleich verschiedener Varianten hinsichtlich ihrer N-Effizienz. Im vorliegenden Bericht wurden N_{Ges} -Salden (N_{Ges} -Zufuhr durch Düngung minus N_{Ges} -Ertrag) und N_{schnell} -Salden (Zufuhr von schnellverfügbarem Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$ bei organischem Dünger bzw. $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ bei Mineraldüngern) durch Düngung minus N_{Ges} -Ertrag) berechnet und verglichen. In den Versuchen nicht festgestellte N-Zufuhren (z.B. N-Deposition, N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat, N-Fixierung Leguminosen, N-Nachlieferung aus der N-Düngung des Vorjahrs) blieben bei der Bildung der N-Salden unberücksichtigt.

2.3.1.3 N-Mineraldüngeräquivalent

Das N-Mineraldüngeräquivalent (N-MDÄ) bewertet die Stickstoffwirkung organischer Dünger im Vergleich zur Stickstoffwirkung von Mineraldünger. Die Ertragswirkung (N_{Ges} -Ertrag) der verschiedenen organisch gedüngten Varianten wurden jeweils in Beziehung zur Ertragswirkung (N_{Ges} -Ertrag) der Varianten mit mineralischer N-Düngung (Kurve aus der mineralischen N-Steigerung) gesetzt. Demzufolge ergab sich für jede Variante mit organischer Düngung ein N-MDÄ, welches in % angegeben wird. Beispielsweise bedeutet ein N-MDÄ von 39 % für die Variante Gülleausbringung mittels Schleppschuhtechnik, dass eine Ausbringung von 170 kg N_{Ges} /ha mit organischem Dünger mittels Schleppschuhtechnik zu demselben N_{Ges} -Ertrag führt wie die Ausbringung von 66 kg N_{Ges} /ha mit mineralischem Dünger (siehe Abbildung 13).

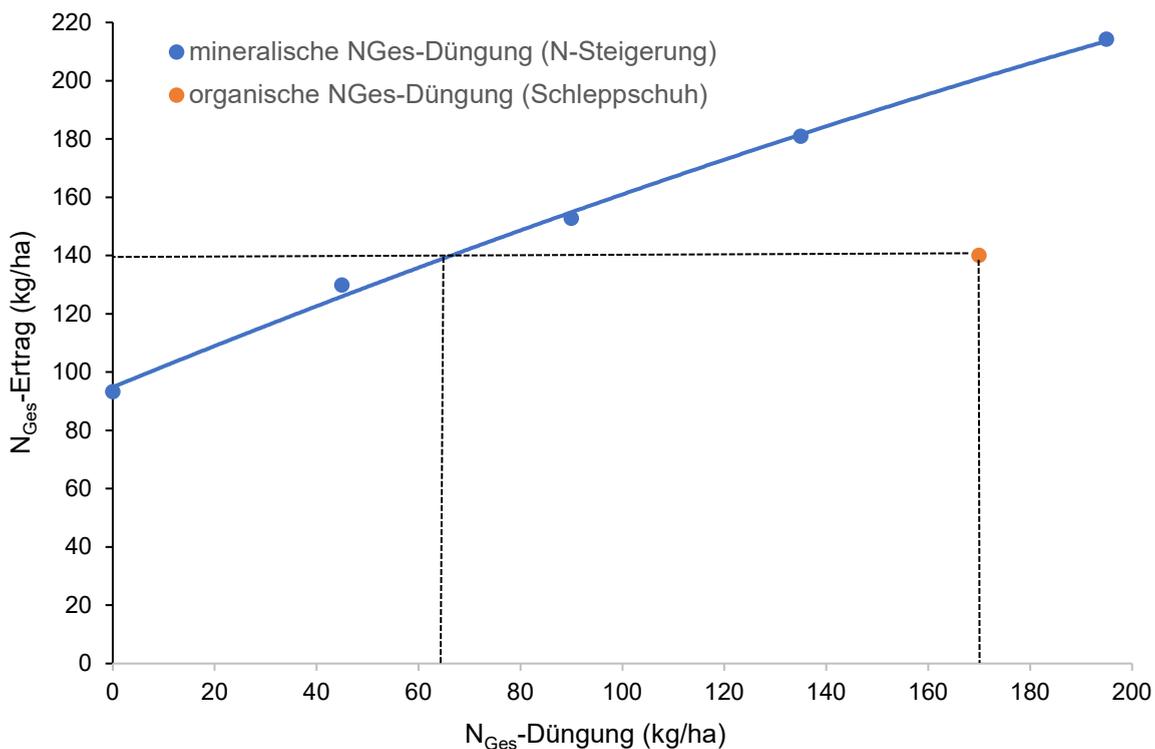


Abbildung 13: Beispiel zur Ermittlung eines N-Mineraldüngeräquivalents;
 $N\text{-MDÄ} = (66 \text{ kg } N_{Ges}/\text{ha mineralisch} / 170 \text{ kg } N_{Ges}/\text{ha organisch (Schlepps.)}) * 100 = 39 \%$

2.3.2 Datenhaltung, Auswertung und Statistik

Für die Datenhaltung und Auswertungen wurden folgende Programme eingesetzt:

- Standardsoftware (Microsoft-Office 365)
- SAS-Programmpaket (Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)
- PIAF und PIAF-Stat (Version 5.96, proPlant GmbH, Münster)

Die varianzanalytische Versuchsauswertungen wurden mit PIAF-Stat und mit der Statistiksoftware SAS durchgeführt. Zur Ermittlung signifikanter Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern wurde der t-Test verwendet. Die in dem Bericht dargestellten Boxplots

wurden mit Microsoft Excel erstellt. Während das x den Mittelwert kennzeichnet wird der Medianwert als durchgezogenen Strich in der Box dargestellt. Die Box gibt den Bereich an, in dem die mittleren 50 % aller Werte (Q1 bis Q3) liegen. Sofern keine Ausreißerwerte in den dargestellten Datensätzen enthalten sind, geben die Whisker den Minimal- bzw. Maximalwert an. Sind Ausreißer (Werte größer als das 1,5 fache des Interquartilsabstands (Länge der Box)) vorhanden, dann stellen vereinfacht gesagt die Whisker die Mini- bzw. Maximalwerte des Datensatzes ohne die Ausreißer dar.

3 Ergebnisse und Diskussion

Im Projektantrag war vorgesehen, dass die drei Parzellenversuche mit einem technischen Erprobungsjahr (2019) und einer vierjährigen Kernlaufzeit (2020 bis 2023) durchgeführt werden sollten. Technische Probleme (Gülletrac) bei der Steuerung der Gülleausbringmengen im ersten Versuchsjahr (2019) führten dazu, dass die erforderlichen wissenschaftlichen Genauigkeiten für die Gülleausbringmenge bei einigen Anbaugeräten trotz aller Bemühungen nicht erreicht werden konnte (siehe Kapitel 3.1). Infolgedessen genügen die Ergebnisse aus dem Jahr 2019 nicht den wissenschaftlichen Ansprüchen und wurden daher nicht in die Gesamtauswertung mit einbezogen. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse beziehen sich, sofern nichts anderes angegeben, immer auf die Versuchsjahre 2020 bis 2023.

Um den Versuchsfehler bei pflanzenbaulichen Feldversuchen möglichst gering zu halten, sollten alle Versuchspartellen, bis auf den variierenden Faktor, möglichst gleichbehandelt werden. Zum einen spielen diesbezüglich die Auswahl der Versuchsfläche (Lage, Homogenität), die Versuchsanlage (Randomisierung, Wiederholungen) eine wichtige Rolle und zum anderen ist es wichtig andere Streuungsursachen weitgehend auszuschließen. Um zu zeigen, inwieweit die Versuchsergebnisse durch die Güllmengensteuerung (siehe Kapitel 2.1.3.1), die unterschiedlichen Witterungsbedingungen während und unmittelbar nach der Gülleapplikation (siehe Kapitel 2.1.4) und die ggf. schwankenden Gülleinhaltsstoffe (siehe Kapitel 2.1.2.) beeinflusst wurden, werden im Folgenden Auswertungen dazu vor den eigentlichen Versuchsergebnissen dargestellt.

3.1 Überprüfung der ausgebrachten Güllmengen (Auslitern)

In Abbildung 14 bis Abbildung 18 ist dargestellt, inwieweit bei der jährlichen Überprüfung die jeweils angestrebten Zielwerte (m^3 Gülle/ha) bei den verschiedenen Anbaugeräten in den einzelnen Jahren erreicht werden konnten.

Die in Abbildung 14 dargestellten extrem hohen Abweichungen von den angestrebten Zielwerten entsprechen in keiner Weise dem wissenschaftlichen Standard. Für eine ausreichende Versuchsgüte sollte eine Abweichung vom Zielwert von maximal $\pm 5\%$ eingehalten werden. Die hohen Abweichungen von den Zielwerten im Versuchsjahr 2019 haben zum einen dazu geführt, dass die im Jahr 2019 gewonnenen Ergebnisse aus den Parzellenversuchen nicht in die Gesamtauswertungen über die gesamten Versuchszeiträume mit einbezogen wurden. Zum anderen wurde aufgrund der schlechten Ergebnisse die Güllmengensteuerung der Ausbringtechnik umgestellt. Von der vom Hersteller im Gülletrac verbauten automatischen Mengensteuerung mit sich der Fahrgeschwindigkeit anpassender Drehzahl der Drehkolbenpumpe, auf eine Mengensteuerung, die sich über die Fahrgeschwindigkeit (konstante Drehzahl der Güllpumpe) regelt (siehe Kapitel 2.1.3.1). Das neue System zur Steuerung der Gülleausbringmenge kam ab dem Versuchsjahr 2020 zum Einsatz.

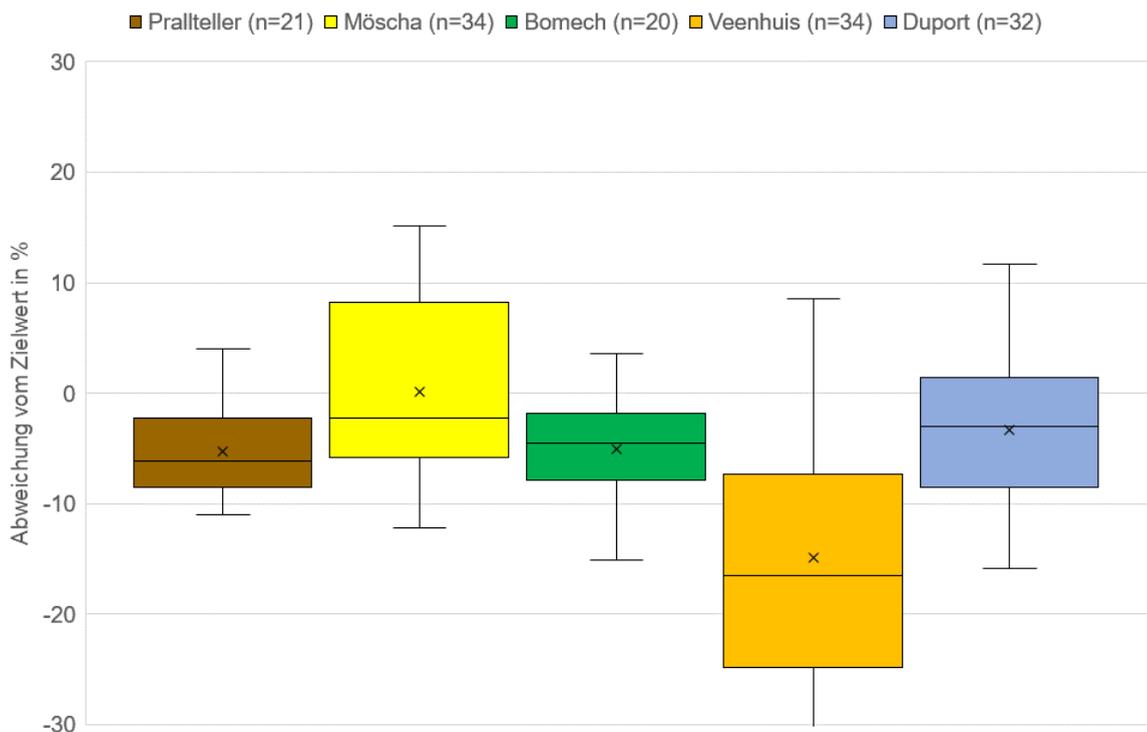


Abbildung 14: Abweichung vom gewünschten Zielwert bei den eingesetzten Gülleapplikationstechniken im Jahr 2019

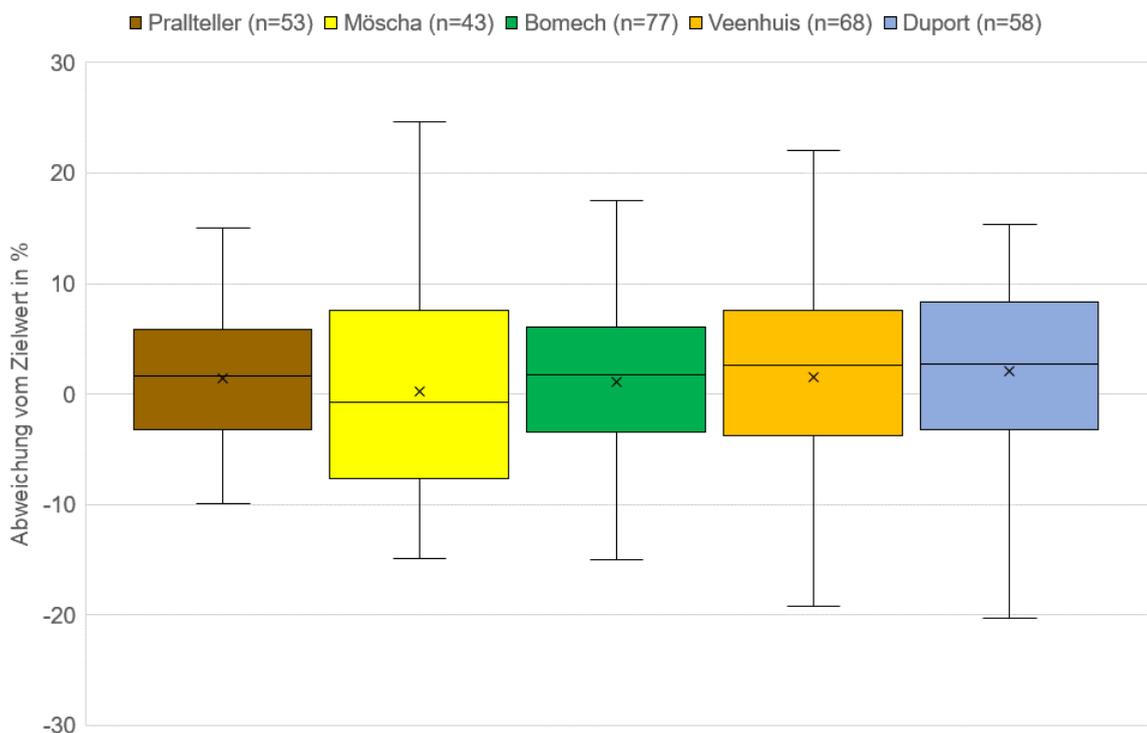


Abbildung 15: Abweichung vom gewünschten Zielwert bei den eingesetzten Gülleapplikationstechniken im Jahr 2020

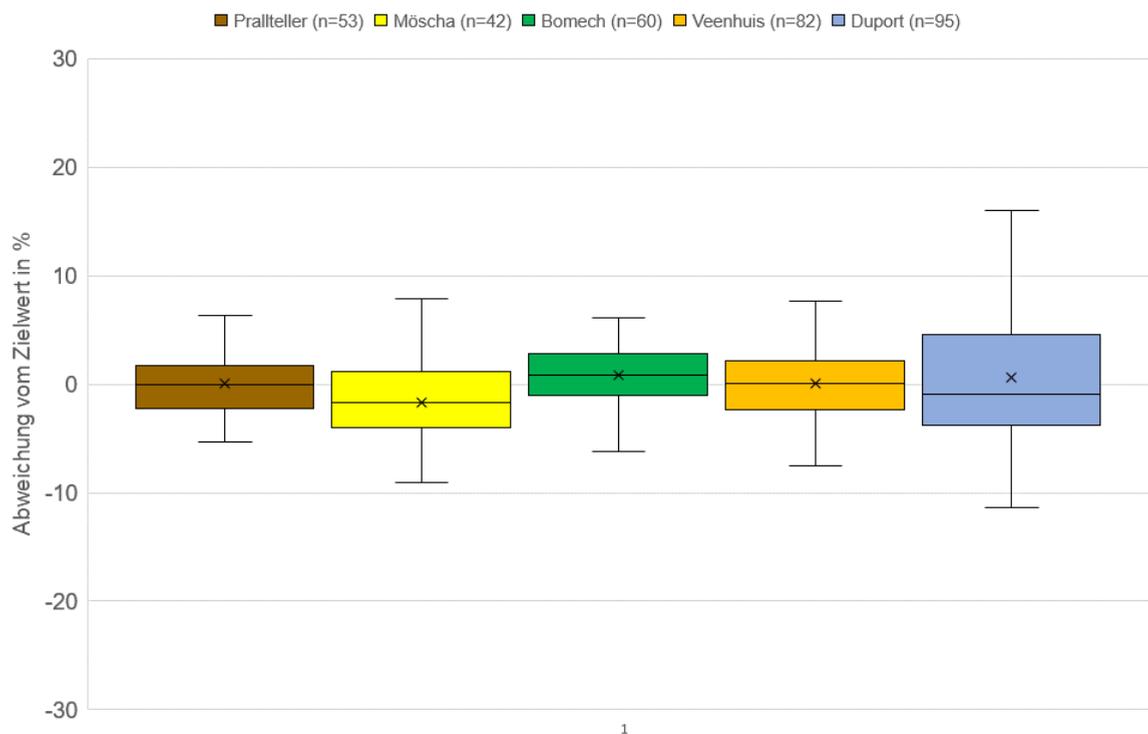


Abbildung 16: Abweichung vom gewünschten Zielwert bei den eingesetzten Gülleapplikationstechniken im Jahr 2021

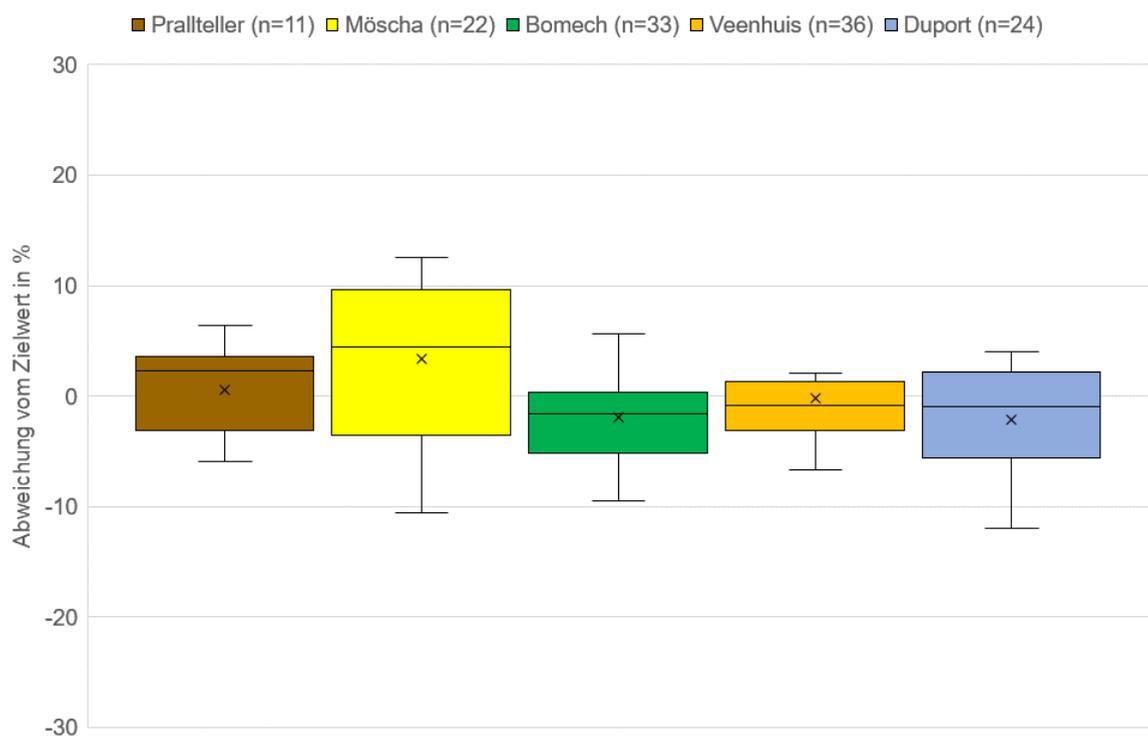


Abbildung 17: Abweichung vom gewünschten Zielwert bei den eingesetzten Gülleapplikationstechniken im Jahr 2022

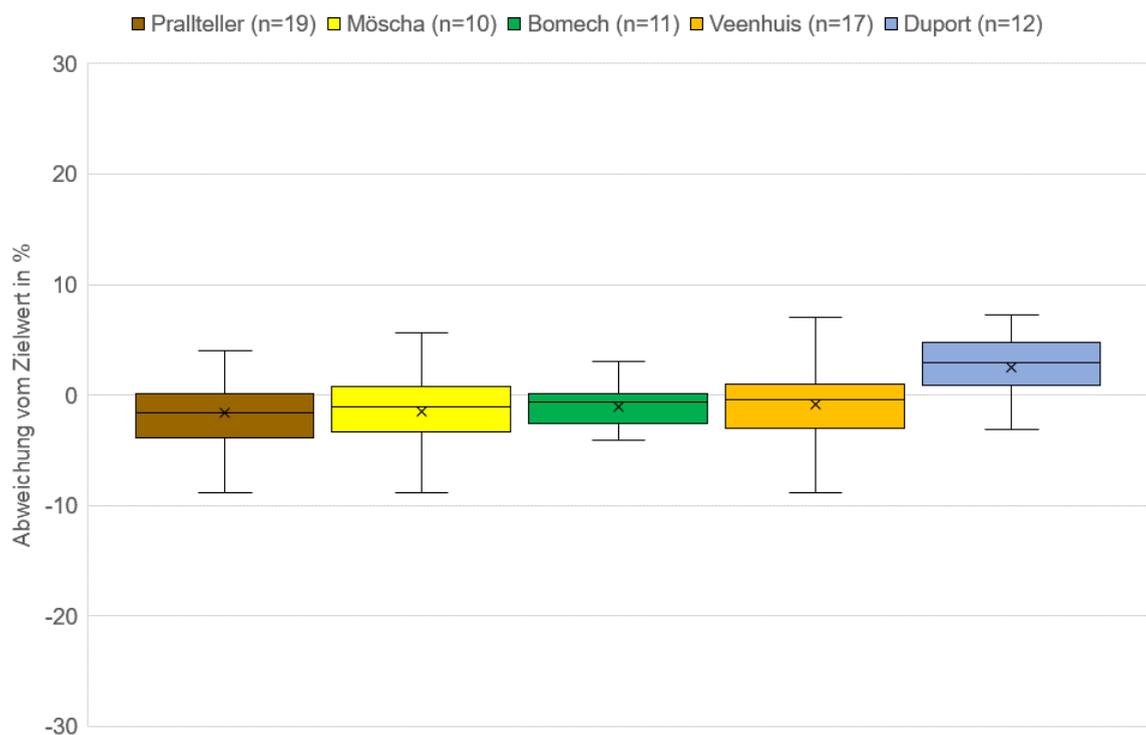


Abbildung 18: Abweichung vom gewünschten Zielwert bei den eingesetzten Gülleapplikationstechniken im Jahr 2023

Der Vergleich der Jahre 2020 bis 2023 zeigt, dass im Jahr 2020 die Schwankungsbreiten der getesteten Ausbringtechniken höher als in den anderen Jahren war. Dies deshalb, da nach der Umstellung der Gülleausbringmengensteuerung im Jahr 2020 erstmals Kurven (Ausbringmenge in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit) zur Ausbringmengensteuerung bei konstanter Pumpendrehzahl ermittelt werden mussten. Aufgrund der im Vergleich zu den Folgejahren geringeren Datendichte, wiesen die sich ergebenden Kurven eine geringere Datenschärfe auf. Demzufolge kam es auch bei den Tests zur Ausbringgenauigkeit zu etwas höheren Abweichungen bei den Zielwerten. Die Mittelwerte der einzelnen Techniken lagen in den Jahren 2020 bis 2023 nahe Null. Demzufolge ist davon auszugehen, dass bei keiner der Ausbringtechniken gegenüber den anderen Techniken tendenziell höhere bzw. niedrigere Ausbringmengen bei gleicher Zielmenge verabreicht wurden. Die Abweichungen von den Zielwerten liegen größtenteils, jedoch meist gerade noch, innerhalb des geforderten Toleranzbereichs. D.h., in den Versuchen wurden die angestrebten Güllemengen tatsächlich ausgebracht und der Versuchsfehler, der sich aufgrund der Mengensteuerung ergab, konnte in einem vertretbaren Rahmen gehalten werden, wenngleich geringere Abweichungen aus wissenschaftlicher Sicht durchaus wünschenswert gewesen wären.

Es bleibt festzuhalten, dass derartige Versuche (Vergleich unterschiedlicher Ausbringtechniken unter Praxisbedingungen) maßgeblich von der Genauigkeit der Ausbringmengen beeinflusst werden und diese deshalb regelmäßig überprüft werden sollten. Die Erfahrungen aus diesem Projekt haben gezeigt, dass mit der zur Verfügung gestandenen Ausbringtechnik

nur mit größtmöglichem Einsatz hinsichtlich Überprüfung und Erstellung von Kurven zur Ableitung der Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Ausbringmenge (siehe Kapitel 2.1.3.1) wissenschaftlich vertretbare Versuche durchgeführt werden können.

3.2 Klimatische Bedingungen während und unmittelbar nach der Gülleapplikation

Die Varianztabelle (Tabelle 11) zeigt, dass sich mehr oder weniger an allen drei Standorten die Versuchsjahre und die einzelnen Aufwüchse hinsichtlich der klimatischen Bedingungen während und nach der Gülleapplikation voneinander unterscheiden.

Die mittlere Temperatur (Ausbringzeitpunkt und folgende 4h) stieg allerorts vom 1., über den 2. zum 3. Applikationstermin (signifikante Unterschiede). An allen drei Standorten herrschten in dem insgesamt und auch während der Vegetation sehr heißen Jahr 2022 (siehe Kapitel 2.2.2) im Mittel der Ausbringtermine die heißesten Bedingungen. Auffällig ist auch, dass in Bad Windsheim und Ebensfeld die Reihung der Jahre hinsichtlich der Temperatur identisch war.

Die mittleren Windgeschwindigkeiten (Ausbringzeitpunkt und folgende 4h) waren immer auf einem niedrigen Niveau und die Reihenfolgen bei Aufwüchsen und Jahren war an allen Orten verschieden.

Niederschläge innerhalb von 24h nach der Gülledüngung traten an den Versuchsstandorten sehr selten auf. Es kam allerorts kaum zu signifikanten Unterschieden zwischen den Applikationsterminen und Jahren. Einzige hervorzuhebende Ausnahmen stellen das Jahr 2021 und der Applikationstermin zum 3. Aufwuchs in Ebensfeld dar. Ursache für die deutlich signifikanten Unterschiede war ein Starkregenereignis unmittelbar nach der Düngung zum 3. Aufwuchs im Juli 2021.

Wesentlichster Punkt, hinsichtlich einer sauberen Versuchsauswertung, ist jedoch, dass sich standortübergreifend die verschiedenen organisch gedüngten Versuchsglieder hinsichtlich aller klimatischen Bedingungen nicht voneinander unterscheiden. In Abbildung 19 bis Abbildung 21 sind die standortspezifisch jeweils nahezu identischen mittleren klimatischen Bedingungen während und nach der Gülleausbringung sämtlicher mit Gülle gedüngten Varianten der drei Versuchsstandorte dargestellt.

Tabelle 11: Varianztabelle mit wichtigen Streuungsursachen, F-Werten, Grenzdifferenzen und Mittelwerten mit den zugehörigen Signifikanzniveaus für die klimatischen Bedingungen während und nach der Gülleapplikation an den drei Versuchsstandorten

| Parameter | F-Werte ^{PR>F} | | | t-Test GD _{5%} | | | Mittel und Signifikanzniveau | | |
|----------------------------------|----------------------------|-------|------|-------------------------|-------|------|---|--|-----------------|
| | Jahr | Aufw. | Vgl. | Jahr | Aufw. | Vgl. | Jahr | Aufw. | Vgl. |
| Rüdenhausen ¹⁾ | | | | | | | | | |
| Temperatur (°C) | 31*** | 62*** | <1 | 1,89 | 2,16 | n.s. | 14,8 A (2020) 15,1 A (2023) 17,6 B (2021) 22,9 C (2022) | 12,4 A (1) 17,2 B (2) 22,0 C (4) 23,4 C (3) | siehe Abbildung |
| Windgeschwindigkeit (km/h) | 30*** | 3- | <1 | 0,43 | n.s. | n.s. | 2,17 A (2022) 2,76 B (2020) 3,47 C (2021) 4,08 D (2023) | 2,81 A (3) 3,03 A (4) 3,25 A (1) 3,30 A (2) | |
| Niederschlag (mm) (3 Ereignisse) | 2 | 5** | 1 | n.s. | 0,11 | n.s. | 0,00 A (2020) 0,25 A (2023) 0,35 A (2021) 0,42 A (2022) | 0,00 A (1) 0,00 A (4) 0,22 A (3) 0,76 B (2) | |
| Bad Windsheim | | | | | | | | | |
| Temperatur (°C) | 20*** | 51*** | <1 | 2,40 | 2,10 | n.s. | 7,6 A (2021) 11,7 B (2023) 14,2 C (2020) 16,5 C (2022) | 7,4 A (1) 14,3 B (2) 17,6 C (3) | siehe Abbildung |
| Windgeschwindigkeit (km/h) | 17*** | 37*** | <1 | 0,79 | 0,69 | n.s. | 2,76 A (2022) 3,10 A (2020) 4,40 B (2023) 5,27 C (2021) | 2,59 A (2) 3,21 A (3) 5,36 B (1) | |
| Niederschlag (mm) (4 Ereignisse) | 35*** | 15*** | <1 | 0,92 | 0,80 | n.s. | 0,00 A (2022) 0,00 A (2020) 0,04 A (2023) 3,90 B (2021) | 0,15 A (1) 0,71 A (2) 2,38 B (3) | |
| Ebensfeld | | | | | | | | | |
| Temperatur (°C) | 33*** | 98*** | <1 | 1,68 | 1,47 | n.s. | 13,6 A (2021) 16,4 B (2023) 17,2 B (2020) 21,9 C (2022) | 12,0 A (1) 18,6 B (2) 22,7 C (3) | siehe Abbildung |
| Windgeschwindigkeit (km/h) | 23*** | 8*** | <1 | 0,36 | 0,31 | n.s. | 1,64 A (2022) 2,15 B (2023) 2,69 C (2020) 3,07 D (2021) | 2,19 A (3) 3,19 A (1) 2,73 B (2) | |
| Niederschlag (mm) (4 Ereignisse) | 22*** | 15*** | <1 | 4,34 | 3,80 | n.s. | 0,06 A (2022) 0,12 A (2020) 2,62 A (2023) 15,29 B (2021) | 1,69 A (2) 2,00 A (1) 12,0 B (3) | |

Hinweis: *** $PR>F \leq 0,001$; ** $PR>F \leq 0,01$; * $PR>F \leq 0,05$; ohne $PR>F > 0,01$; n.s. nicht signifikant

1) In 2021 keine Düngung zum 3. Aufwuchs (Die vorgesehene Düngung erfolgte zum 4. Aufwuchs); Werte zum 4. Aufwuchs nur in 2021

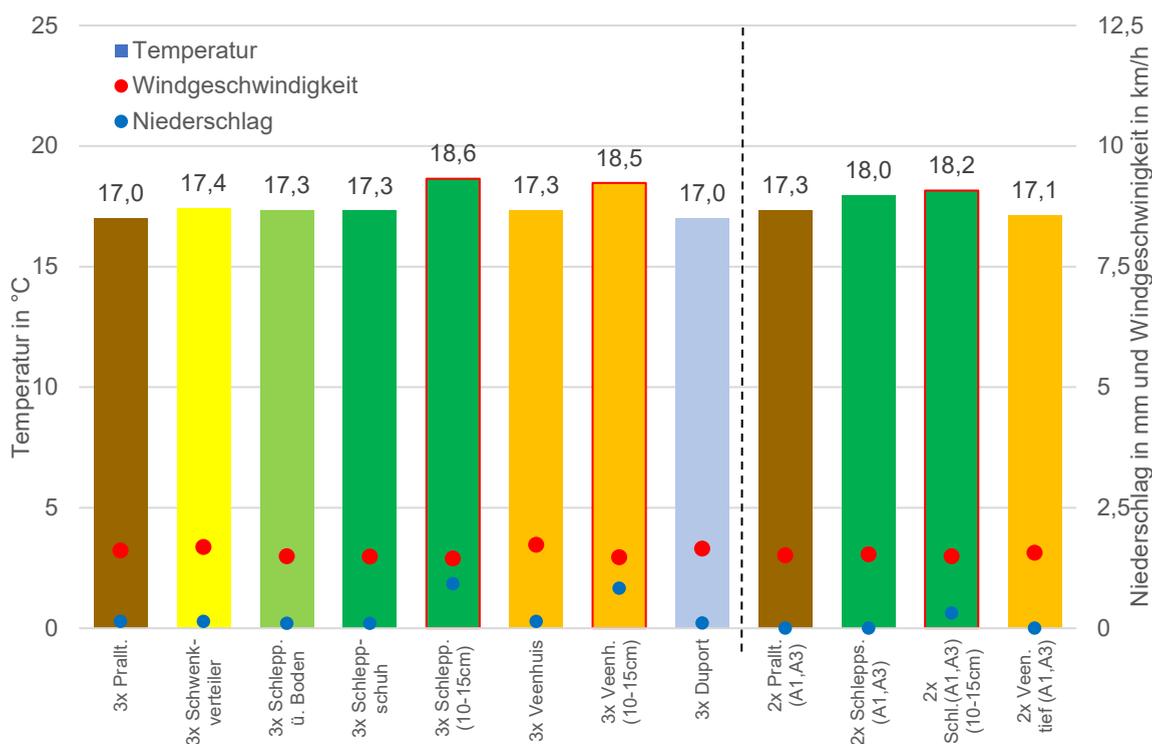


Abbildung 19: Mittlere klimatische Bedingungen während und nach der Gülleausbringung aller Güllevarianten am Standort Rüdendhausen (Werte 2020 bis 2023)

Auffällig ist sowohl bei den drei Mal als auch bei den zweimal gedüngten Varianten in Rüdendhausen, dass die jeweils später gedüngten Varianten (Wuchshöhe 10–15 cm) ein etwas höheres Temperaturniveau aufwiesen. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass hier die Düngungen immer ca. 1 bis 2 Wochen später im Jahresverlauf als bei den übrigen Varianten durchgeführt wurden.

In Bad Windsheim lag das Temperaturniveau deutlich niedriger als bei den beiden anderen Standorten. Die Temperaturen der jeweils zum gleichen Zeitpunkt gedüngten Varianten waren nahezu identisch. Die Durchschnittstemperatur der drei Mal gedüngten Varianten war leicht höher als die der lediglich zum ersten und dritten Aufwuchs gedüngten Varianten. Die Varianten, welche nur zum ersten und zweiten Aufwuchs gedüngt wurden, wiesen die niedrigste Durchschnittstemperatur bei der Düngung auf.

Am Standort Ebensfeld lagen die mittleren Temperaturen bei den dreimal gedüngten Varianten etwa 2,5 Grad höher als bei den Varianten, bei denen die Düngung nur zum ersten und zum zweiten Aufwuchs durchgeführt wurde. Leicht auffällig sind nur der bei den später gedüngten Varianten (10–15 cm Wuchshöhe) etwas höhere mittlere Niederschlag und die etwas niedrigere Durchschnittstemperatur bei der Variante „3 x Duport“.

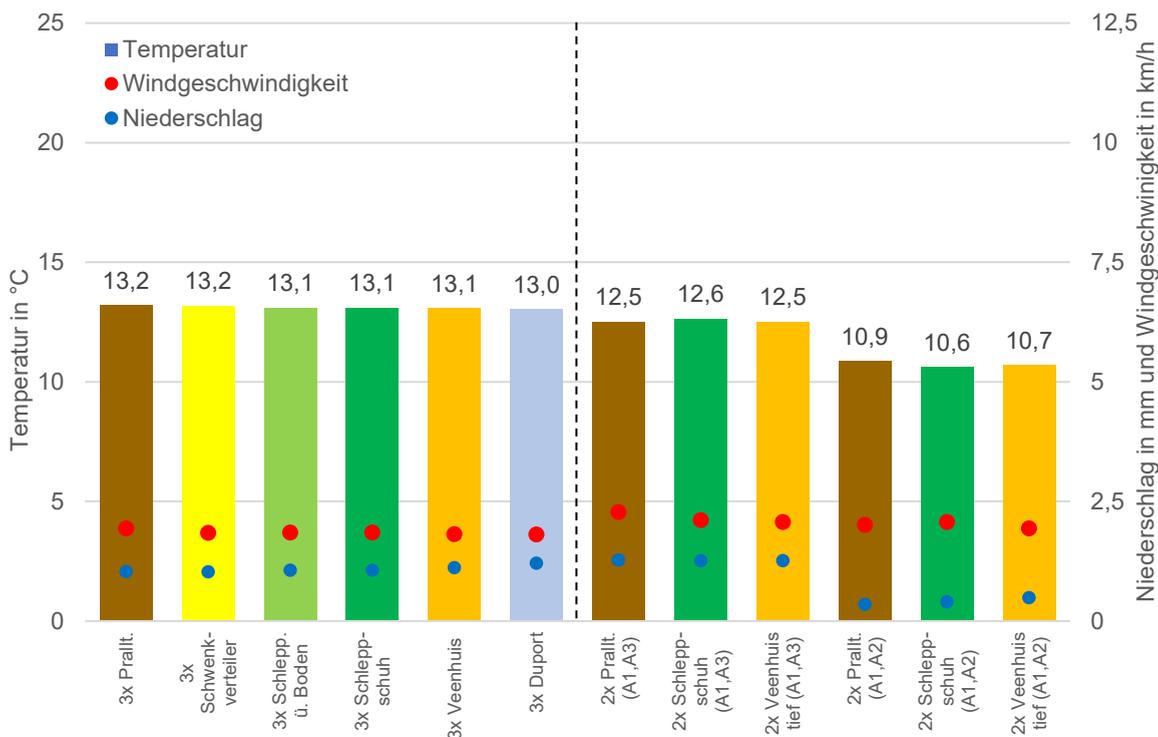


Abbildung 20: Mittlere klimatische Bedingungen während und nach der Gülleausbringung aller Güllevarianten am Standort Bad Windsheim (Werte 2020 bis 2023)

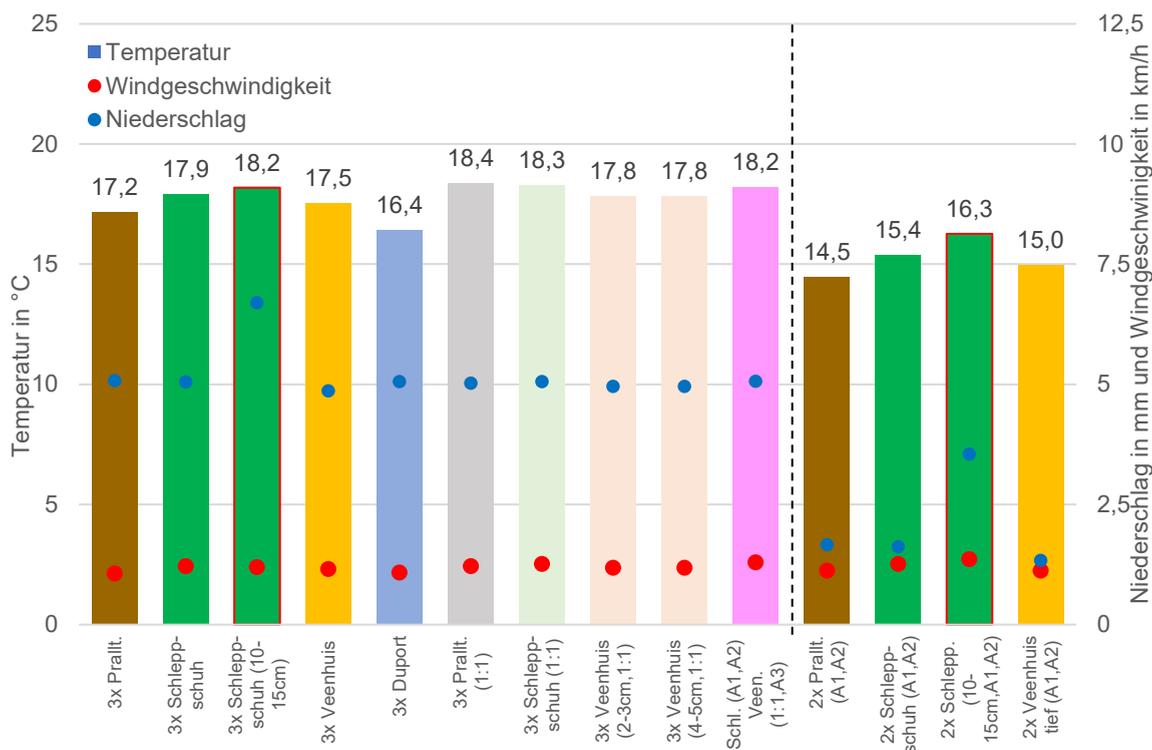


Abbildung 21: Mittlere klimatische Bedingungen während und nach der Gülleausbringung aller Güllevarianten am Standort Ebsfeld (Werte 2020 bis 2023)

3.3 Nährstoffgehalte der eingesetzten Rindergüllen und tatsächlich gedüngte Nährstoffmengen

Die Gülleinhaltsstoffe der in einzelnen Jahren in den Versuchen eingesetzten Rindergüllen (Tabelle 12) entsprachen in etwa den Nährstoffgehalten/Nährstoffverhältnissen bayerischer Rindergüllen (Knöferl et al., 2022). Hervorzuheben sind die sehr niedrigen Standardabweichungen bei den verschiedenen Mittelwerten der in den Versuchen eingesetzten Güllen. Diese sind ein Hinweis dafür, dass in jedem Versuchsjahr zu allen Düngeterminen eine homogene Gülle mit annähernd identischen Gülleinhaltsstoffen eingesetzt wurde. D.h. ein möglicher Versuchsfehler aufgrund schwankender Nährstoffgehalte der eingesetzten Güllen konnte nahezu ausgeschlossen werden.

Tabelle 12: Gülleinhaltsstoffe und TS-Gehalte der in den Versuchen eingesetzten Rindergüllen in den einzelnen Versuchsjahren

| Jahr | Gülle | n | Mittelwert Nährstoffgehalte und (Standardabw.) in kg/m ³ bzw. % (TS) | | | | | |
|------|--------|------|---|--------------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------|
| | | | N _{Ges} | NH ₄ -N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | MgO | TS |
| 2020 | Stand. | 15 | 3,22 (0,12) | 1,91 (0,07) | 1,08 (0,07) | 3,55 (0,20) | 0,86 (0,05) | 6,37 (0,40) |
| | 1:1 | 3 | 1,47 | 0,87 | 0,40 | 1,50 | 0,33 | 2,51 |
| 2021 | Stand. | 15 | 2,81 (0,15) | 1,58 (0,07) | 1,15 (0,24) | 2,93 (0,27) | 0,91 (0,15) | 6,01 (0,60) |
| | 1:1 | 3 | 1,43 | 0,80 | 0,47 | 1,43 | 0,37 | 2,88 |
| 2022 | Stand. | 9-14 | 2,81 (0,18) | 1,56 (0,05) | 1,34 (0,66) | 3,20 (0,20) | 0,92 (0,08) | 5,73(0,27) |
| | 1:1 | 3 | 1,55 | 0,80 | 0,50 | 1,60 | 0,40 | 2,81 |
| 2023 | Stand. | 7-10 | 2,47 (0,26) | 1,27 (0,06) | 1,12 (0,06) | 2,81 (0,14) | 0,81 (0,06) | 4,91 (0,13) |
| | 1:1 | 2 | 1,10 | 0,50 | 0,50 | 1,70 | 0,40 | 2,41 |

In Tabelle 13 bis Tabelle 15 sind die tatsächlich gedüngten Nährstoffmengen an den drei Versuchsstandorten dargestellt. Die Nährstoffmengen wurden aus den in den Versuchen aufgebrauchten Ausbringmengen und den in der Tabelle 12 aufgeführten Nährstoffgehalten berechnet.

Auffällig ist, dass an allen Standorten die angestrebten Zielwerte in jedem Versuchsjahr knapp unterschritten wurden. Die Begründung hierfür ist, dass der jeweils zu Jahresbeginn - bei der Beprobung der Versuchsgülle direkt aus der Güllegrube - festgestellte N_{Ges}-Gehalt minimal höher lag als der Mittelwert der N_{Ges}-Gehalte, der bei der Versuchsdurchführung aus den Fässern gewonnen Proben. Da aufgrund des zu Jahresbeginn ermittelten etwas höheren N_{Ges}-Gehalts der Gülle die Ausbringmengen errechnet wurden, lagen die tatsächlich gedüngten N-Mengen etwas unter den angestrebten Werten.

Wichtig für die Versuchsauswertung war jedoch, dass sichergestellt werden konnte, dass alle mit Gülle gedüngten Varianten während eines Versuchsjahres mit identischen Nährstoffmengen gedüngt wurden und somit ein wissenschaftlich sauberer Vergleich dieser Varianten möglich und sinnvoll ist.

Tabelle 13: Gedüngte Nährstoffmengen in den Versuchsjahren am Standort Rüdenhausen

| Vgl. | Variante | Zielwert N _{Ges} (kg/ha) | tatsächlich gedüngte N _{Ges} (NH ₄ -N ¹)/P ₂ O ₅ /K ₂ O Mengen (kg/ha) | | | | |
|------|---|---|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Mittel |
| 1 | ohne N-Düngung + PK-Ausgleich | 0 | 0/75/240 | | | | |
| 2 | KAS + PK | 45 | 45/75/240 | | | | |
| 3 | KAS + PK | 90 | 90/75/240 | | | | |
| 4 | KAS + PK | 135 | 135/75/240 | | | | |
| 5 | KAS + PK | 195 | 195/75/240 | | | | |
| 6 | KAS + PK oben auf, 3 x Schlepps. ohne Gülle | | | | | | |
| 7 | KAS + PK o. a., 3 x Veenhuis ohne Gü. 2-3cm | 135 | 135/75/240 | | | | |
| 8 | KAS + PK o. a., 2 ²)x Veenhuis o. Gü. 3-4cm | | | | | | |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller ² | 210 | | | | | |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh ² | 210 | | | | | |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis 3-4cm tief ² | 210 | | | | | |
| 12 | 2 x Gülle Schleppschuh (10-15cm Bestand) ² | 210 | | | | | |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3cm tief | 210 | | | | | |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3cm tief | 210 | 208 (123)/ | 204 (114)/ | 204 (113)/ | 199 (103)/ | 204 (113)/ |
| 15 | 3 x Gülle Veenhuis (10-15cm) 2-3cm tief | 210 | 70/ 229 | 84/ 212 | 97/ 232 | 91/ 184 | 86/ 214 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 210 | | | | | |
| 17 | 3 x Gülle Schleppschuh (10-15cm Bestand) | 210 | | | | | |
| 18 | 3 x Gülle Schleppschuh über Boden | 210 | | | | | |
| 19 | 3x Gülle Prallteller | 210 | | | | | |
| 20 | 3x Gülle Schwenkverteiler | 210 | | | | | |

1) nur bei den Güllevarianten 9 bis 20,

bei den Varianten 2 bis 8 wurde KAS eingesetzt (50 % NH₄-N, 50 % NO₃-N)

2) zu den Aufwüchsen 1 und 3

Tabelle 14: Gedüngte Nährstoffmengen in den Versuchsjahren am Standort Bad Windsheim

| Vgl. | Variante | Ziel- Wert N _{Ges} (kg/ha) | tatsächlich gedüngte N _{Ges} (NH ₄ -N ¹)/P ₂ O ₅ /K ₂ O Mengen (kg/ha) | | | | |
|------|--|--|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Mittel |
| 1 | ohne N-Düngung + PK-Ausgleich | 0 | | | 0/75/240 | | |
| 2 | KAS + PK | 45 | | | 45/75/240 | | |
| 3 | KAS + PK | 90 | | | 90/75/240 | | |
| 4 | KAS + PK | 135 | | | 135/75/240 | | |
| 5 | KAS + PK | 195 | | | 195/75/240 | | |
| 6 | KAS + PK oben auf, 3x Schleppschuh o. Gü. | | | | | | |
| 7 | KAS + PK o. auf, 3x Veenhuis 2-3cm o. Gü. | 135 | | | 135/75/240 | | |
| 8 | KAS + PK o. a., 2 ² x Veenhuis 3-4cm o. Gü. | | | | | | |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller | 170 | | | | | |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh | 170 | | | | | |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis 3-4cm | 170 | | | | | |
| 12 | 2 x Gülle Schleppschuh | 170 | | | | | |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3cm tief | 170 | | | | | |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3cm tief | 170 | 168 (100)/ 56/ | 165 (93)/ 68/ | 165 (91)/ 78/ | 161 (83)/ 73/ | 165 (92)/ 69/ |
| 15 | 2 x Gülle Veenhuis 3-4cm tief | 170 | 185 | 172 | 187 | 184 | 182 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 170 | | | | | |
| 17 | 2 x Gülle Prallteller | 170 | | | | | |
| 18 | 3 x Gülle Schleppschuh über Boden | 170 | | | | | |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 170 | | | | | |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 170 | | | | | |

1) nur bei den Güllevarianten 9 bis 20,

bei den Varianten 2 bis 8 wurde KAS eingesetzt (50 % NH₄-N, 50 % NO₃-N)

2) zu den Aufwüchsen 1 und 3

Da nur am Standort Ebensfeld Versuche mit einer 1:1 (Gülle:Wasser) verdünnten Gülle durchgeführt wurden, liegen für die verdünnte Gülle nur wenige Untersuchungsergebnisse vor. D.h. die Mittelwerte der Nährstoffgehalte weisen im Vergleich zu den Mittelwerten der Standardgülle nicht dieselbe Güte auf. Demzufolge unterliegen die jährlich gedüngten Nährstoffmengen bei den Varianten mit verdünnter Gülle stärkeren Schwankungen. Der annähernd identische N_{Ges}-Mittelwert über die Jahre (siehe letzte Spalte) zeigt, dass ein Vergleich der mit Standard- bzw. verdünnter Gülle gedüngten Varianten durchaus gezogen werden kann.

Tabelle 15: Gedüngte Nährstoffmengen in den Versuchsjahren am Standort Ebensfeld

| Vgl. | Variante | Zielwert N _{Ges} (kg/ha) | tatsächlich gedüngte N _{Ges} (NH ₄ -N ¹)/P ₂ O ₅ /K ₂ O Mengen (kg/ha) | | | | |
|------|---|---|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Mittel |
| 1 | ohne N-Düngung + PK-Ausgleich | 0 | 0/45/200 | | | | |
| 2 | KAS + PK | 40 | 40/45/200 | | | | |
| 3 | KAS + PK | 80 | 80/45/200 | | | | |
| 4 | KAS + PK | 120 | 120/45/200 | | | | |
| 5 | KAS + PK | 180 | 180/45/200 | | | | |
| 6 | KAS + PK oben auf + 3 x Beregnung Wasser ²⁾ | 120 | 120/55/200 | | | | |
| 7 | KAS + PK oben auf, 3 x Schleppschuh o. Gü. | 120 | | | | | |
| 8 | KAS + PK o. auf, 3 x Duport 2-3 cm o. Gü. | 120 | | | | | |
| 9 | KAS + PK o. auf, 3 x Veenh. 2-3 cm o. Gü. | 120 | | | | | |
| 10 | KAS + PK o.a., 2 x Vee. (A1,A2) 3-4 cm o. Gü. | 120 | | | | | |
| 11 | 3 x Gülle (Standard) Prallteller | 170 | 168 165 165 162 165 (100)/ (93)/ (92)/ (83)/ (92)/ 56/ 68/ 78/ 73/ 69/ 186 172 188 184 183 | | | | |
| 12 | 3 x Gülle (Standard) Schleppschuh | 170 | | | | | |
| 13 | 3 x Gülle (Standard) Veenhuis 2-3 cm tief | 170 | | | | | |
| 14 | 3 x Gülle (Standard) Duport 2-3 cm tief | 170 | | | | | |
| 15 | 3 x Gü. (Standard) Schlepps. (Best. 10-15 cm) | 170 | | | | | |
| 16 | 2 x Gü. (Standard) Schlepps. (Best. 10-15 cm) | 170 | | | | | |
| 17 | 2 x Gülle (Standard) Prallteller | 170 | | | | | |
| 18 | 2 x Gülle (Standard) Schleppschuh | 170 | | | | | |
| 19 | 2 x Gülle (Standard) Veenhuis 3-4 cm tief | 170 | | | | | |
| 20 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Prallteller | 170 | | | | | |
| 21 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Schleppschuh | 170 | 153 (91)/ | 168 (94)/ | 182 (94)/ | 144 (78)/ | 162 (89)/ |
| 22 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Veenhuis 2-3 cm tief | 170 | 41/ 157 | 55/ 168 | 58/ 188 | 71/ 195 | 56/ 177 |
| 23 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Veenhuis 4-5 cm tief | 170 | | | | | |
| 24 | 3 x Gülle Schlepps. (A1,A2) ³⁾ , Veenhuis (A3) ⁴⁾ | 170 | 164 (97)/ 52/177 | 166 (93)/ 64/171 | 170 (92)/ 72/188 | 156 (82)/ 71/195 | 164 (91)/ 65/183 |

1) nur bei den Güllevarianten 11 bis 24,

bei den Varianten 2 bis 9 wurde KAS eingesetzt (50 % NH₄-N, 50 % NO₃-N)

2) Wassermenge entsprechend der Gülleverdünnung

3) Gülle (Standard)

4) Gülle (1:1 verdünnt)

5) zu Aufwuchs 1 und Aufwuchs 2

3.4 Versuchsergebnisse zur N-Effizienz

3.4.1 N_{Ges}-Erträge

Zur Berechnung der N_{Ges}-Erträge als wichtigen Parameter für die N-Effizienz wurden, wie in Kapitel 2.3.1.1 beschrieben, der TM-Ertrag und der N_{Ges}-Gehalt des Pflanzenmaterials multipliziert. Für interessierte Leser sind zu einen die mittleren (2020 bis 2023) TM-Erträge der einzelnen Aufwüchse sowie die Gesamtjahreserträge in den einzelnen Jahren (Anhang: Tabelle 29 bis Tabelle 31) und zum anderen die mittleren Rohproteingehalte der einzelnen Aufwüchse der drei Versuchsstandorte (Anhang: Tabelle 32 bis Tabelle 34) dargestellt.

Der Tabelle 16 ist zu entnehmen, dass die im Versuchsmittel (2020 bis 2023) erzielten N_{Ges}-Erträge maßgeblich vom Einzeljahr beeinflusst wurden. Bei der Betrachtung der Jahressummen in den einzelnen Jahren fällt auf, dass an allen drei Standorten ähnliche Jahreseffekte zu beobachten waren. Im Jahr 2022 mit extremer Sommertrockenheit und demzufolge sehr geringen Erträgen beim 2. und 3. Aufwuchs wurden im Versuchsmittel die niedrigsten Erträge erzielt. Das Ertragsniveau des Jahres 2020, mit sehr trockenen Bedingungen für den 3. Aufwuchs lag etwas über dem Niveau von 2022. Die höchsten Erträge wurden an allen drei Standorten in den Jahren 2021 (4. Schnitte) und 2023 erzielt. Ferner zeigt die Tabelle aber auch den für die Beantwortung der Versuchsfragen weitaus wichtigeren Zusammenhang, nämlich dass die N_{Ges}-Erträge (Versuchsmittel 2020 bis 2023) entscheidend durch die Versuchsvarianten beeinflusst wurden.

Tabelle 16: Varianztabelle mit wichtigen Streuungsursachen, F-Werten, Grenzdifferenzen und Mittelwerten mit den zugehörigen Signifikanzniveaus für die mittleren N_{Ges}-Jahreserträge (2020 bis 2023) an den drei Versuchsstandorten

| Versuchsort | F-Werte ^{PR>F} | | t-Test GD _{5%} (kg N/ha u. Jahr) | | Mittelwert (kg N/ha u. Jahr) und Signifikanzniveau | |
|---------------|----------------------------|-------|--|------|--|--------------------------------|
| | Jahr | Vgl. | Jahr | Vgl. | Jahr | Vgl. |
| Rüdenhausen | 376*** | 63*** | 4,8 | 10,7 | 190,7 A (2021) 138,5 B (2023) 121,0 C (2020) 119,7 C (2022) | siehe Tabellen und Abbildungen |
| Bad Windsheim | 612*** | 42*** | 5,2 | 11,6 | 193,6 A (2023) 180,8 B (2021) 113,7 C (2020) 102,8 D (2022) | |
| Ebensfeld | 183*** | 31*** | 4,9 | 12,0 | 159,6 A (2023) 143,7 B (2021) 118,3 C (2020) 106,9 D (2022) | |

Hinweis: *** PR>F ≤ 0,001;

Tabelle 17 bis Tabelle 19 zeigen eine Übersicht der mittleren N_{Ges} -Erträge der einzelnen Aufwüchse, der N_{Ges} -Gesamtjahreserträge in den einzelnen Jahren sowie deren Mittel. Eine detaillierte Betrachtung und Diskussion mit Hilfe der in den Tabellen dargestellten Daten erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit in den anschließenden Kapiteln.

Tabelle 17: Mittlere N_{Ges} -Erträge der einzelnen Aufwüchse sowie die N_{Ges} -Gesamtjahreserträge in den einzelnen Jahren am Standort Rüdenhausen

| Vgl. | Variante | mittlere N_{Ges} -Erträge (kg/ha) | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|--|------|------|-----------------|--------------|-------|-------|-------|--------------|
| | | Aufwuchs (Mittel 20-23) | | | | Jahressummen | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 ¹⁾ | 2000 | 2021 | 2022 | 2023 | Mittel |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 34,4 | 19,3 | 22,6 | 15,4 | 70,0 | 97,6 | 60,8 | 92,4 | 80,2 |
| 2 | 45 N KAS + PK | 44,7 | 25,1 | 33,1 | 23,4 | 97,2 | 132,0 | 93,2 | 112,8 | 108,8 |
| 3 | 90 N KAS + PK | 60,7 | 30,8 | 36,2 | 29,0 | 123,6 | 170,0 | 120,0 | 127,2 | 135,2 |
| 4 | 135 N KAS + PK | 74,8 | 40,9 | 49,3 | 40,8 | 154,4 | 228,4 | 148,4 | 169,2 | 175,1 |
| 5 | 195 N KAS + PK | 101 | 50,7 | 56,5 | 53,0 | 198,4 | 300,8 | 185,6 | 202,4 | 221,8 |
| 6 | 135 N + PK o. auf, 3 x Schlepp. | 78,9 | 41,4 | 48,6 | 40,9 | 160,4 | 247,2 | 153,2 | 155,6 | 179,1 |
| 7 | 135 N + PK o. auf, 3 x Veenh. | 73,4 | 37,0 | 49,1 | 38,0 | 146,4 | 228,4 | 144,8 | 156,4 | 169,0 |
| 8 | 135 N + PK o. auf, 2 ²⁾ x Veenh. | 75,1 | 40,1 | 49,0 | 43,6 | 150,8 | 246,8 | 148,8 | 154,8 | 175,3 |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller ²⁾ | 63,6 | 23,3 | 31,8 | 25,3 | 97,6 | 158,0 | 112,0 | 132,4 | 125,0 |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh ²⁾ | 75,1 | 27,9 | 34,5 | 33,4 | 123,2 | 194,4 | 127,2 | 139,6 | 146,1 |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis ²⁾ 3-4cm tief | 71,3 | 26,3 | 37,7 | 35,0 | 118,0 | 193,6 | 125,6 | 139,6 | 144,2 |
| 12 | 2 x Gülle Schlepps. ²⁾ (10-15cm) | 73,6 | 27,9 | 37,3 | 37,6 | 123,2 | 200,0 | 122,0 | 148,8 | 148,5 |
| 13 | 3 x Gülle Dupont 2-3cm tief | 69,4 | 28,9 | 37,7 | 28,8 | 119,6 | 192,0 | 118,0 | 143,6 | 143,3 |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3cm tief | 59,6 | 29,7 | 36,8 | 28,2 | 108,0 | 177,6 | 116,0 | 131,2 | 133,2 |
| 15 | 3 x Gülle Veenh. (10-15cm) | 53,7 | 31,0 | 36,8 | 30,6 | 102,4 | 180,8 | 107,2 | 126,8 | 129,3 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 61,0 | 29,8 | 34,0 | 30,8 | 110,4 | 182,0 | 108,0 | 129,2 | 132,4 |
| 17 | 3 x Gülle Schlepps.(10-15cm) | 63,0 | 31,5 | 35,4 | 30,6 | 118,8 | 192,0 | 106,0 | 132,8 | 137,4 |
| 18 | 3 x Gülle Schlepps. ü. Boden | 60,2 | 29,2 | 34,3 | 29,9 | 108,0 | 177,6 | 103,6 | 136,4 | 131,4 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 49,8 | 26,0 | 30,0 | 24,3 | 94,4 | 148,8 | 88,4 | 116,0 | 111,9 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 56,0 | 26,1 | 33,2 | 27,3 | 94,4 | 166,8 | 105,2 | 122,8 | 122,3 |
| t-Test GD_{5%} | | | | | | | | | | 10,7 |

1) 4. Aufwuchs nur im Jahr 2021 (die geplante Düngung zum 3. Aufwuchs erfolgte erst zum 4. Aufwuchs, der 3. Aufwuchs wurde nicht gedüngt)

2) zu den Aufwüchsen 1 und 3

Tabelle 18: Mittlere N_{Ges} -Erträge der einzelnen Aufwüchse sowie die N_{Ges} -Gesamtjahreserträge in den einzelnen Jahren am Standort Bad Windsheim

| Vgl. | Variante | mittlere N_{Ges} -Erträge (kg/ha) | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|------|------|-----------------|--------------|-------|-------|-------------|--------------|
| | | Aufwuchs (Mittel 20-24) | | | | Jahressummen | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 ¹⁾ | 2000 | 2021 | 2022 | 2023 | Mittel |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 31,5 | 27,0 | 27,3 | 30,2 | 67,2 | 125,6 | 56,8 | 123,6 | 93,3 |
| 2 | 45 N KAS + PK | 50,5 | 38,6 | 34,4 | 24,4 | 96,0 | 157,6 | 96,4 | 169,2 | 129,8 |
| 3 | 90 N KAS + PK | 64,2 | 44,8 | 39,0 | 19,3 | 118,4 | 192,0 | 104,8 | 195,6 | 152,7 |
| 4 | 135 N KAS + PK | 79,8 | 55,0 | 40,4 | 22,2 | 137,6 | 242,4 | 124,4 | 219,2 | 180,9 |
| 5 | 195 N KAS + PK | 100,8 | 57,3 | 50,2 | 23,0 | 190,0 | 281,2 | 139,2 | 246,4 | 214,2 |
| 6 | 135 N+ PK o. auf, 3 x Schlepps. | 75,7 | 58,7 | 43,3 | 17,4 | 152,4 | 221,6 | 118,0 | 236,8 | 182,2 |
| 7 | 135 N + PK o. auf, 3 x Veenhuis | 78,1 | 60,4 | 40,1 | 18,5 | 154,8 | 220,0 | 128,0 | 230,0 | 183,2 |
| 8 | 135 N + PK o. auf, 2 ²⁾ x Veenhuis | 77,3 | 55,3 | 37,8 | 17,6 | 138,8 | 216,0 | 116,8 | 228,0 | 174,9 |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller ²⁾ | 57,4 | 33,6 | 31,9 | 21,6 | 96,0 | 148,8 | 92,0 | 176,8 | 128,4 |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh ²⁾ | 60,3 | 35,6 | 32,6 | 19,5 | 102,0 | 163,6 | 90,8 | 178,4 | 133,7 |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis ²⁾ 3-4 cm tief | 62,7 | 33,2 | 36,5 | 25,4 | 96,8 | 171,2 | 96,4 | 190,0 | 138,6 |
| 12 | 2 x Gülle Schleppschuh ³⁾ | 56,3 | 46,4 | 34,4 | 22,2 | 108,8 | 173,2 | 102,4 | 186,8 | 142,8 |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3 cm tief | 58,9 | 35,7 | 36,0 | 23,2 | 102,4 | 170,0 | 85,6 | 188,0 | 136,5 |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3 cm tief | 59,1 | 37,1 | 35,7 | 26,2 | 107,2 | 167,6 | 94,8 | 184,0 | 138,4 |
| 15 | 2 x Gülle Veenh. ³⁾ 3-4 cm tief | 62,2 | 42,8 | 34,6 | 25,6 | 110,4 | 173,6 | 108,4 | 192,0 | 146,1 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 55,1 | 42,1 | 36,8 | 22,9 | 97,6 | 162,4 | 103,2 | 196,4 | 139,9 |
| 17 | 2x Gülle Prallteller ³⁾ | 58,7 | 36,1 | 35,1 | 24,6 | 105,2 | 165,2 | 94,8 | 178,8 | 136,0 |
| 18 | 3 x Gülle Schlepps. ü. Boden | 59,6 | 43,8 | 36,6 | 26,0 | 102,4 | 172,4 | 109,6 | 202,0 | 146,6 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 50,6 | 36,7 | 32,0 | 21,4 | 91,2 | 147,6 | 98,4 | 162,4 | 124,9 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 54,3 | 39,5 | 32,6 | 19,9 | 99,2 | 144,4 | 94,4 | 188,0 | 131,5 |
| t-Test GD_{5%} | | | | | | | | | 11,6 | |

1) 4. Aufwuchs nur im Jahr 2021

2) zu den Aufwüchsen 1 und 3

3) zu den Aufwüchsen 1 und 2

Tabelle 19: Mittlere N_{Ges}-Erträge der einzelnen Aufwüchse sowie die N_{Ges}-Gesamtjahreserträge in den einzelnen Jahren am Standort Ebsfeld

| Vgl. | Variante | mittlere N _{Ges} -Erträge (kg/ha) | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--|------|------|-----------------|--------------|-------|-------|-------|--------------|
| | | Aufwuchs (Mittel 20-24) | | | | Jahressummen | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 ¹⁾ | 2000 | 2021 | 2022 | 2023 | Mittel |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 27,7 | 17,9 | 24,0 | 16,7 | 57,6 | 76,0 | 69,3 | 92,2 | 73,8 |
| 2 | 40N KAS + PK | 40,4 | 26,3 | 30,4 | 15,8 | 87,6 | 108,8 | 86,9 | 121,2 | 101,1 |
| 3 | 80 N KAS + PK | 49,0 | 28,5 | 35,3 | 17,0 | 107,2 | 134,8 | 98,0 | 128,8 | 117,2 |
| 4 | 120 N KAS + PK | 65,2 | 37,8 | 42,5 | 17,8 | 158,8 | 174,0 | 114,2 | 153,6 | 150,1 |
| 5 | 180 N KAS + PK | 96,6 | 46,7 | 52,5 | 22,4 | 200,4 | 254,0 | 169,6 | 182,0 | 201,5 |
| 6 | 120 N KAS + PK o. auf + 3 x H ₂ O | 63,9 | 36,6 | 40,1 | 15,4 | 144,4 | 170,8 | 115,8 | 146,5 | 144,4 |
| 7 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x Schl. | 73,3 | 38,7 | 42,8 | 20,0 | 146,4 | 206,4 | 128,0 | 158,2 | 159,8 |
| 8 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x DuPort | 64,2 | 38,6 | 41,6 | 16,4 | 156,4 | 176,8 | 115,2 | 146,4 | 148,7 |
| 9 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x Veenh. | 64,0 | 38,6 | 41,9 | 18,2 | 160,0 | 176,0 | 119,4 | 140,4 | 148,9 |
| 10 | 120 N KAS + PK o. auf, 2 x Vee. ²⁾ | 69,2 | 39,8 | 46,0 | 18,9 | 151,6 | 193,6 | 130,7 | 162,9 | 159,7 |
| 11 | 3 x Gülle (Stand.) Prallteller | 52,2 | 26,7 | 32,3 | 25,2 | 90,0 | 140,0 | 96,8 | 143,4 | 117,6 |
| 12 | 3 x Gülle (Stand.) Schleppschuh | 55,0 | 28,5 | 36,8 | 25,3 | 101,6 | 159,2 | 100,0 | 145,4 | 126,5 |
| 13 | 3 x Gülle (Stand.) Veenh. 2-3 cm | 58,2 | 30,0 | 37,9 | 26,9 | 116,0 | 159,2 | 103,9 | 152,2 | 132,8 |
| 14 | 3 x Gülle (Stand.) Duport 2-3 cm | 49,9 | 27,5 | 35,5 | 26,9 | 97,2 | 153,2 | 91,4 | 136,4 | 119,6 |
| 15 | 3 x Gü. (Stand.) Schl. (10-15 cm) | 48,8 | 27,7 | 36,8 | 27,0 | 100,4 | 154,0 | 96,1 | 129,3 | 120,0 |
| 16 | 2 x Gü. ²⁾ (Stand.) Schl. (10-15 cm) | 57,2 | 35,4 | 35,8 | 25,0 | 113,6 | 172,8 | 101,2 | 151,0 | 134,7 |
| 17 | 2 x Gülle ²⁾ (Stand.) Prallteller | 51,7 | 26,6 | 32,4 | 21,8 | 94,0 | 137,6 | 96,4 | 136,4 | 116,1 |
| 18 | 2 x Gülle ²⁾ (Stand.) Schleppschuh | 63,7 | 34,5 | 34,7 | 22,3 | 110,0 | 160,8 | 117,4 | 166,0 | 138,6 |
| 19 | 2 x Gü. ²⁾ (Stand.) Veenh. 3-4 cm | 59,1 | 36,9 | 33,0 | 21,0 | 126,4 | 156,8 | 95,7 | 157,8 | 134,2 |
| 20 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Prallteller | 55,4 | 26,6 | 30,4 | 22,0 | 108,4 | 140,0 | 93,6 | 129,4 | 117,9 |
| 21 | 3 x Gülle (1:1) Schleppschuh | 62,6 | 29,7 | 36,2 | 24,6 | 110,4 | 177,2 | 107,8 | 143,0 | 134,6 |
| 22 | 3 x Gülle (1:1) Veenhuis 2-3 cm tief | 51,7 | 26,8 | 35,1 | 22,8 | 92,0 | 144,4 | 104,9 | 135,4 | 119,2 |
| 23 | 3 x Gülle (1:1) Veenhuis 4-5 cm tief | 54,7 | 28,2 | 33,4 | 23,2 | 100,8 | 144,4 | 98,6 | 144,6 | 122,1 |
| 24 | 3 x Gü., Schl. (A1,A2) ³⁾ , Ven. A3 ⁴⁾ | 61,9 | 30,7 | 33,7 | 23,2 | 108,8 | 158,4 | 115,8 | 145,9 | 132,2 |
| t-Test GD_{5%} | | | | | | | | | | 12,0 |

1) 4. Aufwuchs (ohne Düngung) nur im Jahr 2021

2) zu den Aufwüchsen 1 und 2

3) Gülle (1:1 verdünnt)

4) Standardgülle

Die Betrachtung der mittleren N_{Ges} -Erträge der einzelnen Aufwüchse zeigt, dass an allen Standorten der erste Aufwuchs maßgeblich am Jahresertrag beteiligt war. Der Ertragsanteil (Versuchsmittel, nicht in den Tabellen dargestellt) betrug in beinahe allen Jahren, in denen die Bestände drei Mal geerntet wurden, ca. 50 %. Ausnahmen bildeten mit ca. 40 % Ertragsanteil nur die Ernten der 1. Aufwüchse in Bad Windsheim im Jahr 2020 und in Ebensfeld im Jahr 2023. In den Jahren mit 4 Nutzungen lag der Ertragsanteil des 1. Aufwuchses allerorts unter 40 %.

3.4.1.1 Einfluss der Applikationstechnik und der Aufteilung der Güllejahresgabe

In Abbildung 22 bis Abbildung 24 sind die N_{Ges} -Erträge in Abhängigkeit der verschiedenen Gülleapplikationstechniken jeweils bei einer Aufteilung der Güllegaben (identische Jahresgüllemenge) auf drei bzw. zwei Düngeterminen an den unterschiedlichen Standorten dargestellt.

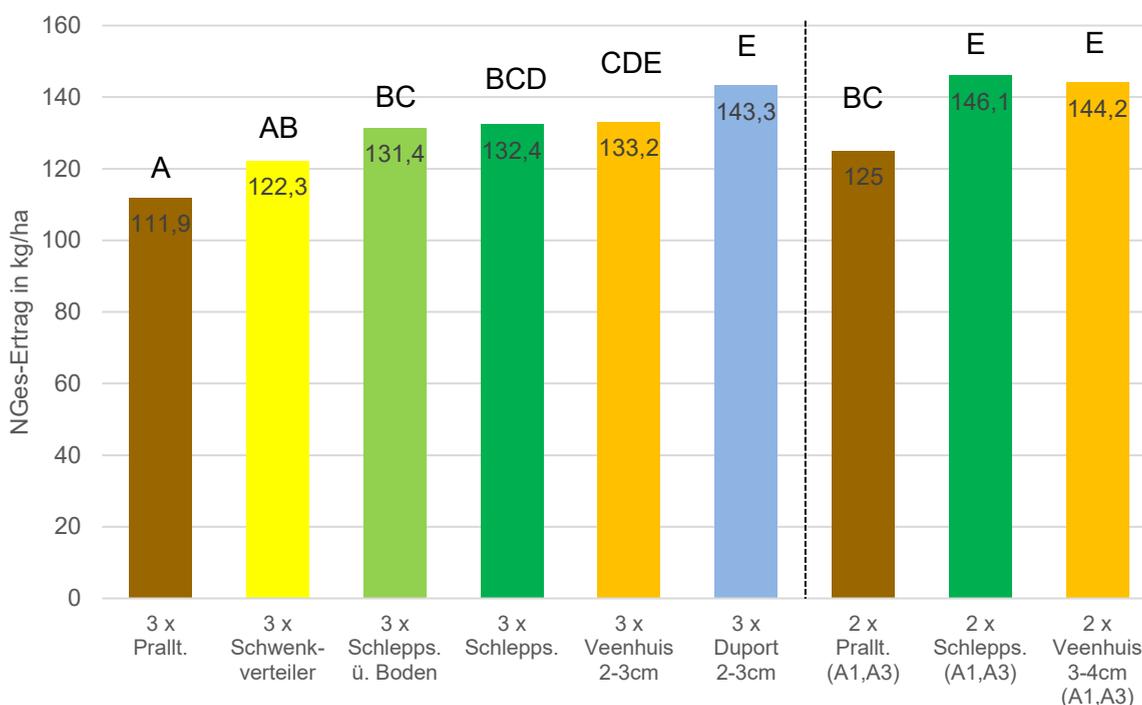


Abbildung 22: Mittlerer (2020 bis 2024) N_{Ges} -Jahresertrag in Abhängigkeit von der Gülle-Applikationstechnik bei drei (zu A1, A2, A3) und bei zwei Ausbringterminen (zu A1, A2) am Standort Rüdenshausen (t-Test $GD_{5\%}$ 10,7 kg N_{Ges} /ha)

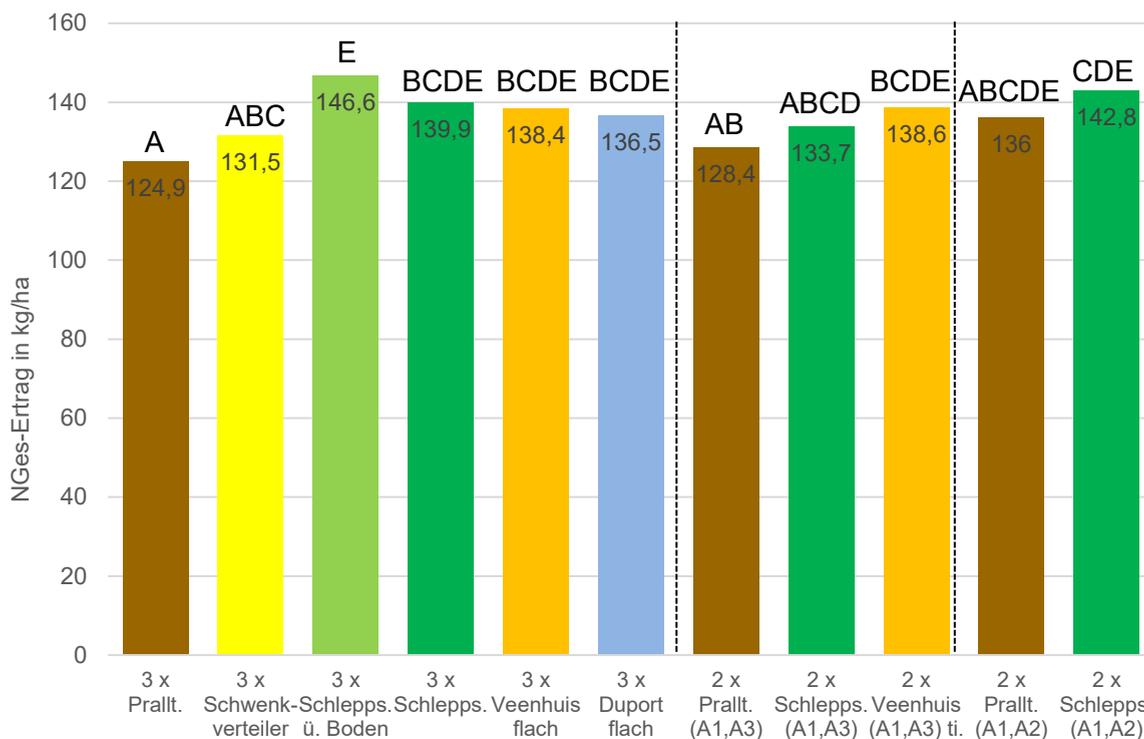


Abbildung 23: Mittlerer (2020 bis 2024) N_{Ges}-Jahresertrag in Abhängigkeit von der Gülle-Applikationstechnik bei drei (zu A1, A2, A3) und bei zwei Ausbringterminen (zu A1, A3 bzw. zu A1, A2) am Standort Bad Windsheim (t-Test GD_{5%} 11,6 kg N_{Ges}/ha)

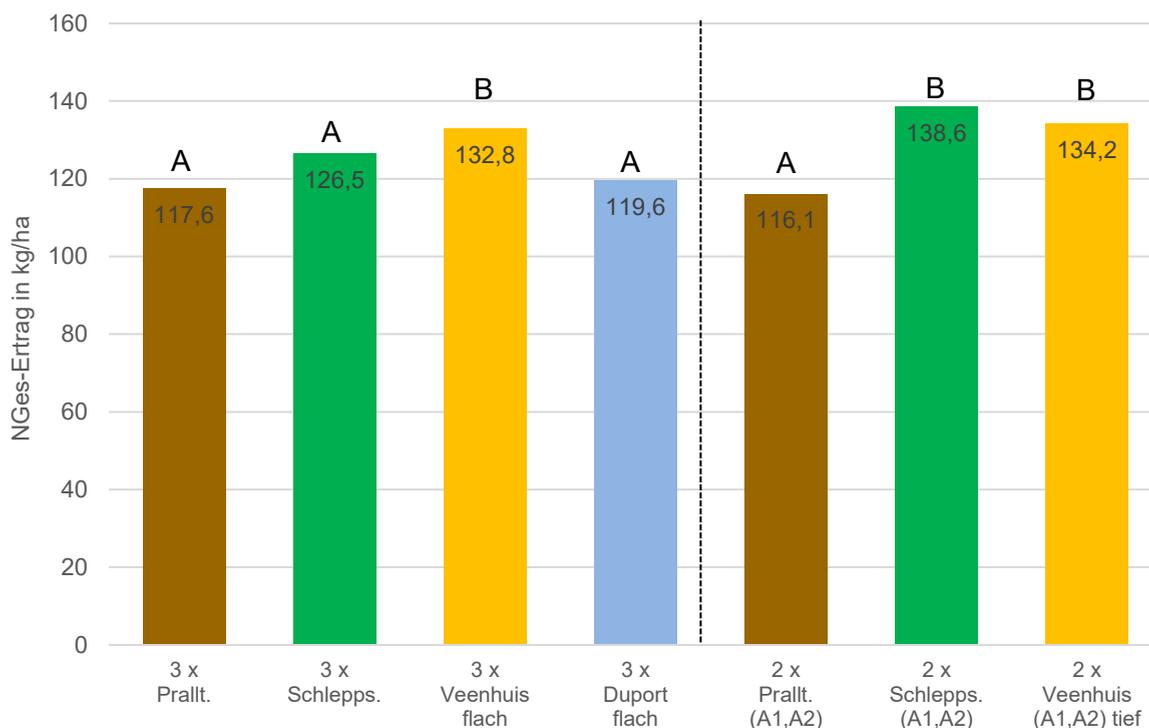


Abbildung 24: Mittlerer (2020 bis 2024) N_{Ges}-Jahresertrag in Abhängigkeit von der Gülle-Applikationstechnik bei drei (zu A1, A2, A3) und bei zwei Ausbringterminen (zu A1, A2) am Standort Ebensfeld (t-Test GD_{5%} 12,0 kg N_{Ges}/ha)

Der N_{Ges} -Ertrag der mit dem Prallteller gedüngten Varianten ist sowohl bei dreimaliger als auch bei zweimaliger Düngung an allen 3 Standorten niedriger als der aller bodennahen Ausbringetechniken. Mit ganz wenigen Ausnahmen sind diese Unterschiede auch statistisch absicherbar. Der Schwenkverteiler scheint eine gewisse Zwischenstellung zwischen der Breitverteilung mittels Prallteller und den bodennahen Ausbringetechniken einzunehmen. Die mit dem Schwenkverteiler bei drei Güllegaben erzielten N_{Ges} -Erträge sind weder von der Pralltellervariante noch von den meisten bodennahen Techniken signifikant verschieden. Die Ergebnisse zeigen klar die Vorzüglichkeit der bodennahen Ausbringetechniken, wobei zwischen den bodennahen Techniken kaum gerichtete Unterschiede zu erkennen sind.

An dieser Stelle sei der Vollständigkeit halber noch die praxisferne „Spielvariante“ (Variante 24 in Ebensfeld) kurz besprochen (siehe Tabelle 19). Ziel war es unter der Voraussetzung, dass es kaum betrieblichen Zwänge gibt, die Gülle nach bestmöglichem Wissen, hinsichtlich minimaler gasförmiger N-Verluste, auszubringen. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Variante mit zu den ertragsreichsten Varianten gehörte.

Hinsichtlich der Frage, ob es unter den besonderen klimatischen Bedingungen (trockene Lagen, häufig Sommertrockenheit) effizienter ist, eine innerhalb eines Jahres vorgegebene Güllemenge bei drei bis vier beabsichtigten Schnitten pro Jahr besser auf drei Düngetermine (jeweils zum 1., 2. und 3. Aufwuchs) oder auf zwei Gaben (zum 1. und 2. bzw. zum 1. und 3. Aufwuchs) aufzuteilen kann Folgendes festgehalten werden. In Bad Windsheim und in Ebensfeld konnten bei einer Aufteilung der Jahresgaben auf den 1. und 2. Aufwuchs bei nahezu allen getesteten Ausbringetechniken Mehrerträge gegenüber einer dreimaligen Güllegabe erzielt werden (Ausnahme Prallteller Ebensfeld). Während in Rüdenhausen eine Aufteilung auf die Aufwüchse 1 und 3 bei allen Techniken zu signifikanten Mehrerträgen führte, waren in Bad Windsheim keine Unterschiede festzustellen.

Ein Vergleich mit der Literatur zeigt, dass die in diesem Forschungsprojekt festgestellten Ertragsvorteile der bodennahen Ausbringetechniken gegenüber der Referenztechnik Prallteller relativ hoch sind. Dies dürfte auf die im Mittel der Versuchsreihe im Vergleich zu anderen Versuchsreihen höheren Temperaturen, bei und unmittelbar nach der Ausbringung, zurückzuführen sein. Lorenz und Steffen (2011) stellten bei einer Ausbringung mit dem Schleppschlauch 2 %, bei Schleppschuh 7 % und bei der Injektion mittels Schlitztechnik 11 % Mehrertrag fest. Anzumerken ist dabei jedoch, dass bei Lorenz und Steffen die TM -Erträge und nicht die N_{Ges} -Erträge verglichen wurden. Auf den ersten Blick verwundern die trotz präziser Versuchsdurchführung nicht vorhandenen signifikanten Unterschiede zwischen den bodennahen Ausbringetechniken, zumal gerade bei der Injektionstechnik aufgrund von Literaturangaben weitere Minderungspotenziale der Ammoniakabgasung gegenüber dem Prallteller als bei der Schleppschuhtechnik zu erwarten wären. Überschlägt man jedoch grob, u.a. in Anlehnung an Haehni et al. (2016) bzw. Buchen-Tschiskale et al. (2022), die absoluten eingesparten N-Mengen, so liegen diese bei rund 3-5 kg N/ha und Düngungstermin bzw. rund 10 kg N/ha und Jahr. Zudem ist davon auszugehen, dass ein relevanter Teil dieses auf den Boden aufgebrauchten Stickstoffs innerhalb kurzer Zeit in das Mikrobiom des

Bodens inkorporiert wird und nicht dem Aufwuchs bzw. den Folgeaufwüchsen zur Verfügung steht.

3.4.1.2 Einfluss des Einsatzzeitpunktes (Höhe des Pflanzenbestands)

An den Standorten Rüdenhausen und Ebensfeld wurden unterschiedliche Einsatztermine beim Düngen mit den bodennahen Ausbringetechniken Schleppschuh bzw. Scheibeninjektionstechnik getestet. Zum einen wurden die Geräte direkt zu Vegetationsbeginn bzw. unmittelbar nach den Schnitten (Wuchshöhe des Pflanzenbestands ca. 6-8 cm) eingesetzt und zum anderen erfolgte der Einsatz, je nach Vegetationsbedingungen, ca. 1 bis 2 Wochen später (Wuchshöhe des Pflanzenbestands ca. 10-15 cm). Hinter der Testung der späteren Termine stand die Frage, ob durch den längeren Pflanzenbestand, welcher eine stärkere Beschattung des Güllebandes bewirkt, und infolgedessen reduzierte NH_3 -Verluste propagiert werden, tatsächlich höhere N_{Ges} -Erträge zu erwarten sind.

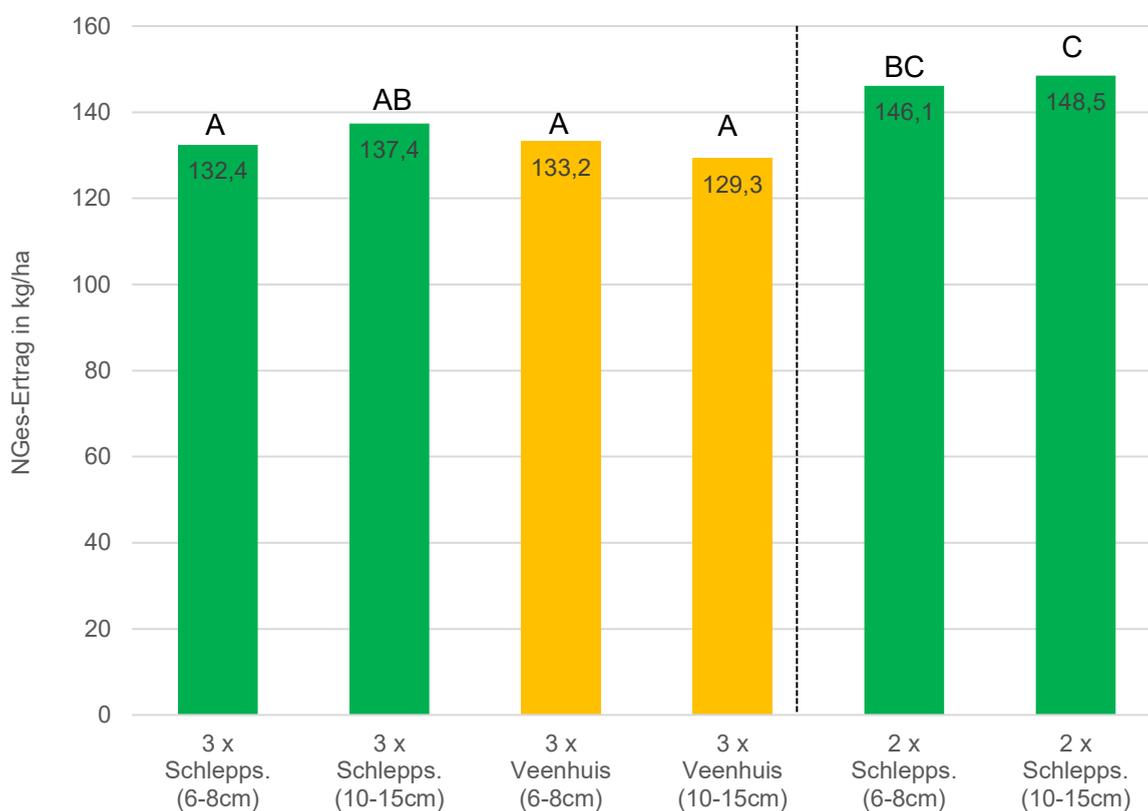


Abbildung 25: Mittlerer (2020 bis 2024) N_{Ges} -Jahresertrag in Abhängigkeit der Aufwuchshöhe des Grünlandbestandes bei unterschiedlichen bodennahen Gülle-Applikationstechniken bei drei (zu A1, A2, A3) und bei zwei Ausbringterminen (zu A1, A2) am Standort Rüdenhausen (t-Test $\text{GD}_{5\%}$ 10,7 kg N_{Ges} /ha)

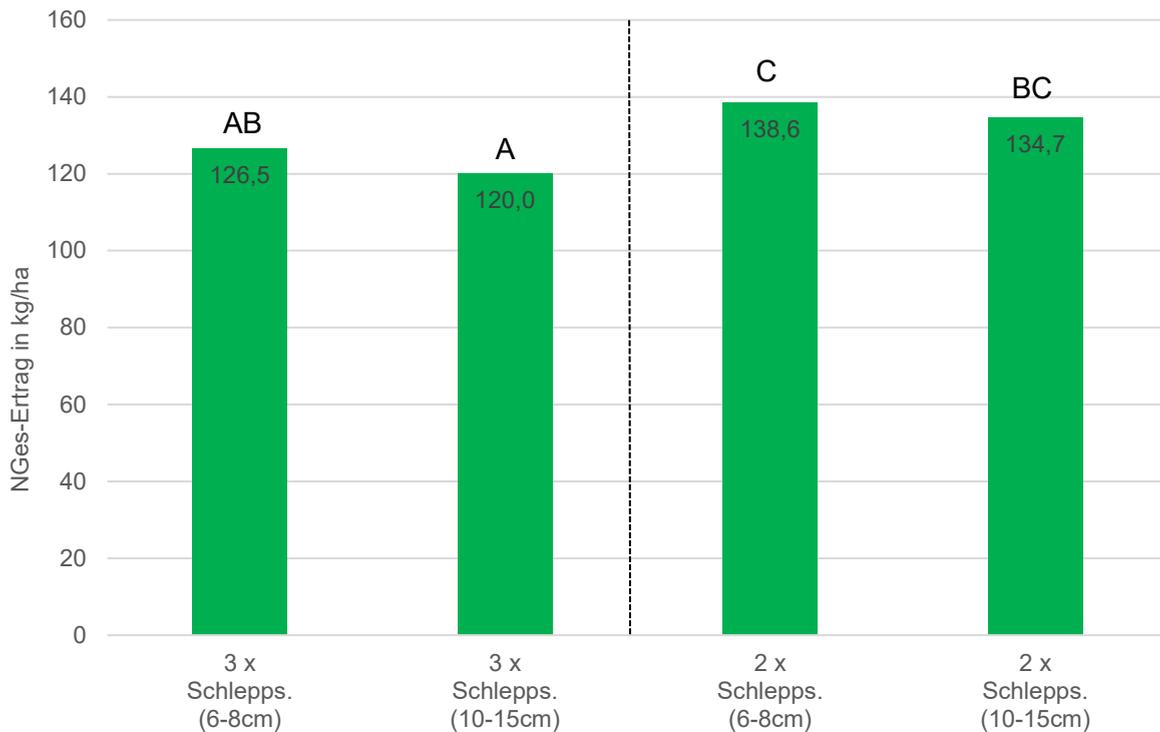


Abbildung 26: Mittlerer (2020 bis 2024) N_{Ges} -Jahresertrag in Abhängigkeit der Aufwuchshöhe des Grünlandbestandes bei einer Gülleapplikation mittels Schleppschuhtechnik bei drei (zu A1, A2, A3) und bei zwei Ausbringterminen (zu A1, A2) am Standort Ebensfeld (t-Test $GD_{5\%}$ 12,0 kg N_{Ges} /ha)

Abbildung 25 und Abbildung 26 zeigen, dass der Einsatztermin hinsichtlich des N_{Ges} -Ertrags bei beiden eingesetzten Techniken keine Rolle spielte. Sowohl in Rüdenhausen (Schleppschuh und Scheibenschlitztechnik) als auch in Ebensfeld (Schleppschuh) waren unabhängig von der Anzahl der Düngetermine, auf welche die jährliche Jahresgabe aufgeteilt wurde, keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Einsatzzeitpunkten (6-8 cm bzw. 10-15 cm) festzustellen. Auffällig waren jedoch, wie im Kapitel 3.4.1.1 bereits beschrieben, die jeweils signifikanten Ertragsvorteile bei einer Verteilung der Jahresgabe auf zwei Düngetermine gegenüber einer dreimaligen Düngung.

3.4.1.3 Einfluss einer Gülleverdünnung mit Wasser

Da in Ebensfeld das Ertragsniveau von Variante 6 (120 kg N/ha Mineraldünger mit Wasserzusatz in Höhe des Wasseranteils der 1:1 mit Wasser verdünnten Güllevarianten) identisch mit Variante 4 (120 kg N/ha Mineraldünger ohne Wasserzusatz) war, konnte ein vermeintlicher „Gießeffekt“ für die Varianten mit verdünnter Gülle ausgeschlossen werden.

Die jeweiligen paarweise Vergleiche (Gülle Standard versus Gülle 1:1 mit Wasser verdünnt) der unterschiedlichen Ausbringtechniken zeigen, dass eine Wasserverdünnung bei keiner der getesteten Techniken zu signifikant höheren N_{Ges} -Erträgen geführt hat (siehe Abbildung 27). Während beim Einsatz des Schleppschuhs eine Gülleverdünnung zu einem tendenziell (nicht signifikant) höheren Ertrag führte, wurden bei der Verwendung von

Schlitztechnik Mindererträge erzielt. Sofern nicht tiefer geschlitzt wurde, waren die Mindererträge sogar statistisch absicherbar. Eine mögliche Begründung hierfür ist, dass die doppelt so hohen Güllemengen bei verdünnter Gülle nicht annähernd vollständig in die gezogenen Schlitze injiziert werden konnten. Dadurch waren bei diesen Varianten wesentlich höhere Mengen der oberflächlichen Abgasung ausgesetzt als bei den Varianten mit unverdünnter Gülle.

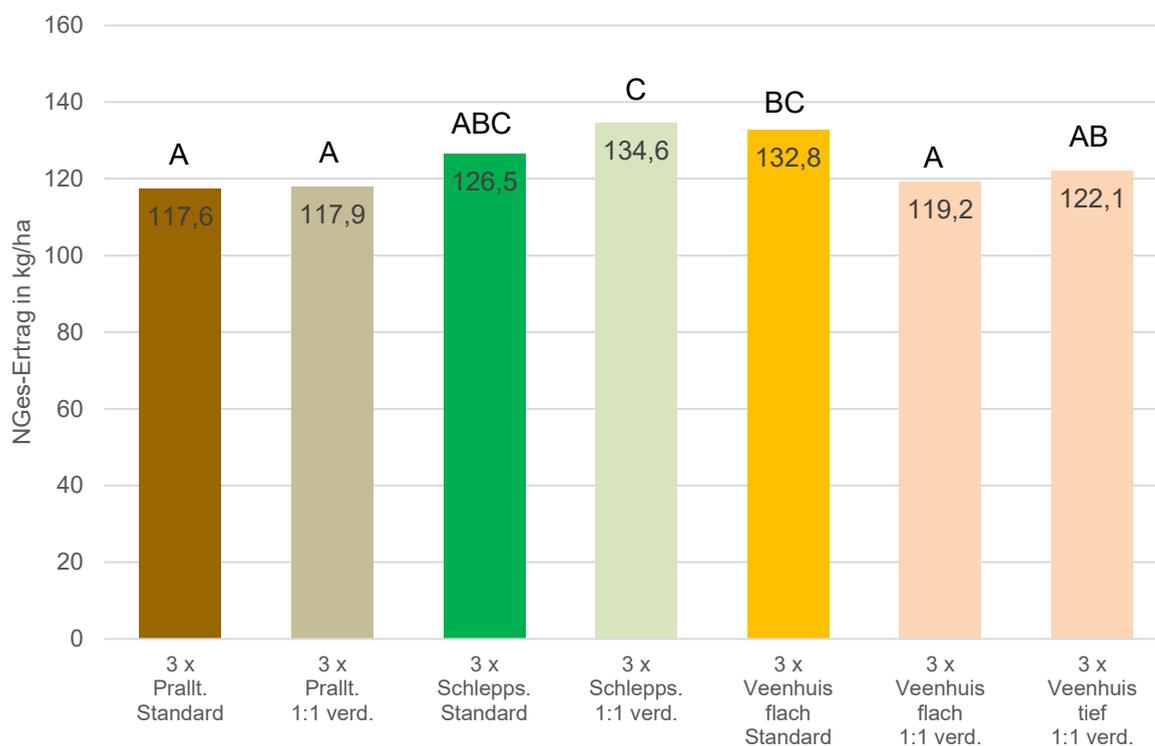


Abbildung 27: Mittlerer (2020 bis 2024) N_{Ges}-Jahresertrag in Abhängigkeit von einer Gülleverdünnung bei verschiedenen Applikationstechniken am Standort Ebsfeld (t-Test GD_{5%} 12,0 kg N_{Ges}/ha)

Die gewonnenen Ergebnisse untermauern somit unter Bezug auf den N_{Ges}-Ertrag nicht den vielfach in der Literatur (z.B. Frick et al., 1996) beschriebenen, auf Gasmessungen beruhenden, positiven Effekt einer Wasserverdünnung von flüssigen organischen Düngern hinsichtlich der Minderung von NH₃-Verlusten. Allerdings zeigen Experimente auch, dass der Minderungseffekt unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann und stark witterungsabhängig ist. Offenberger et al. (2017) stellten bei einer Ausbringung von Rindergülle auf Grünland durch eine Verdünnung des Trockensubstanzgehalts von 7 % auf 3 % unter bestimmten Bedingungen ebenfalls nur geringfügige Unterschiede hinsichtlich der NH₃-Verluste fest. Bei einer Vergleichsreihe, bei der der summierte N-Verlust (NH₃) in % des gedüngten Ammoniums von verdünnter (3% TS) und unverdünnter (7%) Rindergülle zu verschiedenen Tageszeiten an einem warmen Sommertag geprüft wurden, zeigte sich folgendes Ergebnis. Bei einer Ausbringung um 7 Uhr unterschieden sich die Verluste noch deutlich, d.h. bei der Variante mit unverdünnter Gülle lag der Verlust 17% höher als bei der Variante mit verdünnter Gülle. Deutlich geringere Unterschiede wurden allerdings bei höheren

Temperaturen festgestellt. Bei einer Ausbringung um 13 Uhr betrug der Unterschied 2 % und um 20 Uhr 4 %. Inwiefern die klimatischen Bedingungen während und unmittelbar nach der Gülleapplikation, unter anderem auch beim Einsatz von mit Wasser verdünnter Gülle, Einfluss auf den N_{Ges} -Ertrag hatten wird auch im Kapitel 3.4.1.6 diskutiert.

3.4.1.4 Einfluss der bodennahen Applikationstechniken (ohne Gölledüngung)

Um die Frage zu beantworten, inwieweit ein möglicher positiver N_{Ges} -Ertragseffekt aufgrund geringerer gasförmiger NH_3 -Verluste bei der Verwendung bodennaher Applikationstechniken durch eine vermeintliche Narbenschädigung geschmälert werden könnte, wurden die Techniken auch ohne organische Düngemittel eingesetzt. Diese Varianten wurden unmittelbar nach dem Einsatz der Techniken mineralisch in Höhe des Versuchsglieds 4 gedüngt. Damit konnten aufgrund der identischen Düngung Rückschlüsse zu einer vermeintlichen Beeinträchtigung der Applikationstechniken, unabhängig vom eingesetzten organischen Düngemittel, gezogen werden. Die Abbildung 28 zeigt, dass an allen drei Standorten keine signifikanten N_{Ges} -Ertragsunterschiede zwischen der Variante ohne Technikeinsatz und den Varianten, bei denen die bodennahen Techniken eingesetzt wurden, festgestellt werden konnten. D.h., ein rein technikbedingter negativer Einfluss der bodennahen Techniken konnte ausgeschlossen werden.

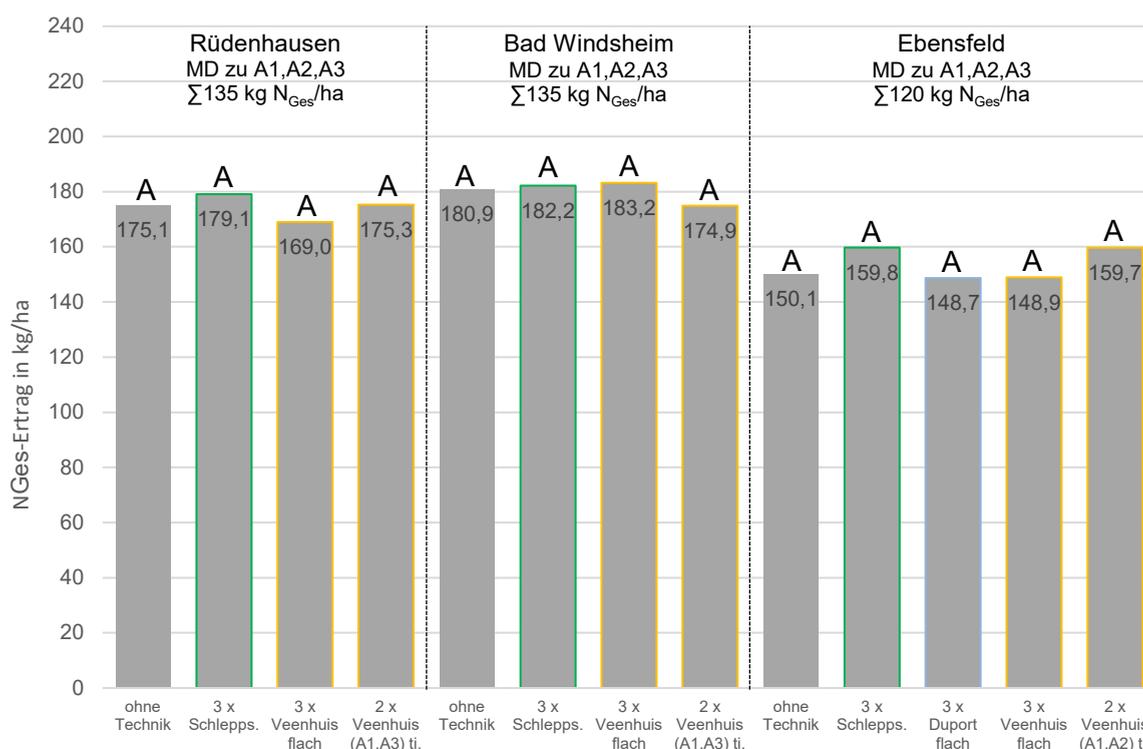


Abbildung 28: Mittlerer (2020 bis 2024) N_{Ges} -Jahresertrag in Abhängigkeit der verschiedenen bodennahen Applikationstechniken (ohne Gölledüngung) bei ausschließlich mineralischer Düngung an den Standorten Rüdtenhausen (t-Test GD (5%) 10,7 kg N_{Ges} /ha), Bad Windsheim (t-Test GD_{5%} 11,6 kg N_{Ges} /ha) und Ebensfeld (t-Test GD (5%) 12,0 kg N_{Ges} /ha)

3.4.1.5 Einfluss unterschiedlicher Wachstumsbedingungen

Die unterschiedlichen N_{Ges} -Erträge im Mittel über den gesamten Versuchszeitraum und in den einzelnen Jahren an den drei Standorten wurden in vorherigen Kapiteln ausführlich beschrieben und diskutiert. Offen sind jedoch Fragen dazu, inwiefern die unterschiedlichen N_{Ges} -Erträge von den Wachstumsbedingungen der einzelnen Aufwüchse während der Vegetation beeinflusst wurden. Ziel der folgenden Auswertung war es einerseits, Informationen darüber zu gewinnen, ob und in welcher Höhe Ertragsunterschiede zwischen den Varianten bei Aufwüchsen, bei denen günstige Vegetationsbedingungen herrschten und demzufolge auch hohe Erträge erzielt werden konnten, festzustellen waren. Andererseits sollte überprüft werden, ob und auch in welcher Höhe Ertragsunterschiede in Phasen mit ungünstigen Vegetationsbedingungen erzielt wurden.

Um die dargestellten Fragen zu beantworten, wurden die jeweils 48 Datensätze der drei Standorte, in denen jeder Parzelle für jeden Aufwuchs in jedem Jahr ein N_{Ges} -Ertrag zugeordnet war (4 Jahre x 3 gedüngte Aufwüchse x 4 WDH = 48), verwendet. Es wurden standortspezifisch jeweils zwei Datensätze mit unterschiedlichen Vegetationsbedingungen gebildet. Zum einen ein Datensatz mit allen Aufwüchsen, bei denen günstigen Vegetationsbedingungen (TM-Ertrag ≥ 20 dt TM/ha) herrschten und zum anderen ein Datensatz mit ungünstigen Wachstumsbedingungen (TM-Erträge < 20 dt/ha). Anschließend wurden die Mittelwerte der N_{Ges} -Erträge für die zu vergleichenden Versuchsglieder für beide Datensätze berechnet und zusätzlich als Relativerträge gegenüber der Referenztechnik Prallteller ausgegeben. Ferner wurde das mittlere N-Düngungsniveau für die beiden Datensätze berechnet.

Für interessierte Leser sind die sich aufgrund der im vorherigen Absatz beschriebenen Auswertungen und Berechnungen ergebenden Tabellen für die drei Versuchsstandorte im Anhang (Tabelle 35 bis Tabelle 37) dargestellt. Die Tabellen zeigen deutlich, dass die absoluten N_{Ges} -Ertragsvorteile der bodennahen Ausbringetechniken gegenüber der Referenztechnik Prallteller bei günstigen Vegetationsbedingungen (insgesamt höheres Ertragsniveau) deutlich höher als bei ungünstigen Bedingungen (insgesamt niedrigeres Ertragsniveau) waren. Ein Blick auf die Relativerträge zeigt aber auch, dass diese bei beiden Datenreihen häufig ähnlich hoch waren. Ausnahmen bildeten eigentlich nur die Variante Duport in Rüdenshausen und die mit Wasser verdünnten Güllevarianten in Ebensfeld.

In Abbildung 29 sind die Relativerträge (Mittel der Aufwüchse) bei den verschiedenen Applikationstechniken gegenüber der Referenztechnik Prallteller im Mittel (gewichtetes Mittel) der Versuche bei unterschiedlichen Vegetationsbedingungen zusammengefasst dargestellt. Da nicht jede Variante an jedem Ort getestet wurde, sind unter den unterschiedlichen Varianten die Anzahl der zur Verfügung gestandenen Datensätze angegeben, was ein gewisser Hinweis auf die Sicherheit der Aussage sein kann.

Die Abbildung zeigt zum einen, dass mit unverdünnter Gülle (im Versuch \emptyset TS-Gehalt 5,8%) sowohl unter günstigen (grün umrandete Reihe) als auch unter ungünstigen Vegetationsbedingungen (rot umrandete Reihe) beim Einsatz der bodennahen

Applikationstechniken höhere Relativerträge als mit den Breitverteilungstechniken erzielt wurden. Zum anderen ist zu erkennen, dass die relativen Ertragsvorteile der beiden Datenreihen bis auf wenige Ausnahmen auf einem ähnlichen Niveau lagen. Auffällig ist, dass bei der Scheibentechnik Duport bei trockenen Bedingungen der positive Effekt etwas weniger ausgeprägt war als bei günstigen Vegetationsbedingungen. Der Grund hierfür liegt darin, weil das verhältnismäßig leichte Scheibeninjektionsgerät bei trockenen Bedingungen (vor allem in Rüdenhausen) nicht immer ausreichend tief (2 bis 3 cm) in den Boden versenkt werden konnte, so dass ein Teil der ausgebrachten Gülle der Exposition ausgesetzt war. An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass dies mit einer moderneren Heckhydraulik am Trägerfahrzeug wahrscheinlich vermeidbar gewesen wäre.

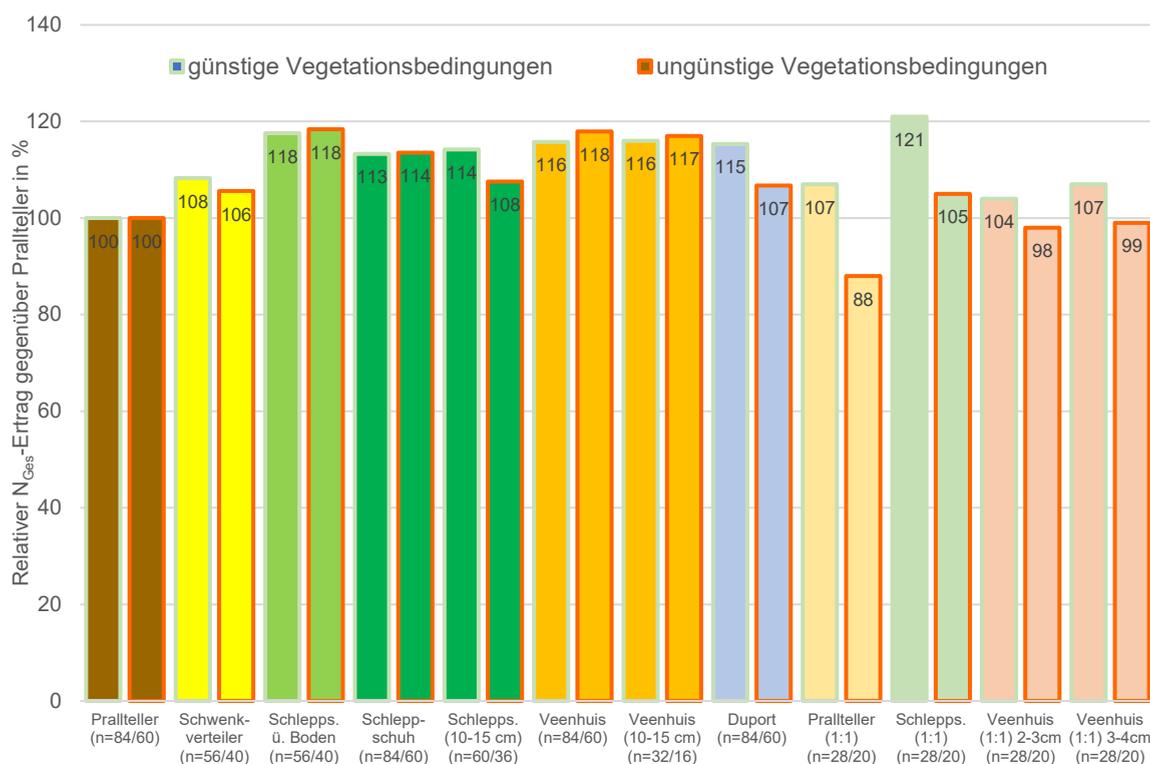


Abbildung 29: N_{Ges} -Relativerträge (Mittel der Aufwüchse) der verschiedenen Applikationstechniken gegenüber der Referenztechnik Prallteller im Mittel (gewichtetes Mittel) der Versuche bei unterschiedlichen Vegetationsbedingungen

Beim Betrachten der Varianten mit Gülleverdünnung lässt sich erkennen, dass unter günstigen Vegetationsbedingungen Mehrerträge gegenüber der Referenztechnik (Prallteller ohne Gülleverdünnung) erzielt werden konnten. Bei ungünstigen Vegetationsbedingungen wurden hingegen insbesondere bei der Variante Prallteller, Mindererträge gegenüber der Referenz erzielt (Ausnahme Schleppschuh verdünnt). Außerdem waren bei günstigen Vegetationsbedingungen bei allen Varianten mit Gülleverdünnung die relativen Mehrerträge höher als bei ungünstigen Bedingungen.

Da die Witterungsbedingungen in den Wochen nach der Gülleapplikation bis zur Ernte nicht vorhersehbar sind, dürfte für die landwirtschaftliche Praxis, in der in der Regel unverdünnte

Güllen zum Einsatz kommen, folgender Punkt entscheidend sein. Unabhängig von den Witterungsbedingungen während der Vegetation lassen sich immer Ertragsvorteile beim Einsatz bodennaher Applikationstechniken erzielen.

3.4.1.6 Einfluss der klimatischen Bedingungen während und unmittelbar nach der Güllesausbringung

Um Informationen darüber zu bekommen, ob und ggf. inwieweit die klimatischen Bedingungen während und unmittelbar nach der Gülleausbringung Einfluss auf die N_{Ges} -Erträge hatten, wurden ähnlich wie im Kapitel 3.4.1.5 die kompletten 48 Datensätze (hier die nur drei Mal zu den selben Zeitpunkten gedüngten und geernteten Aufwüchse) der drei Standorte in jeweils zwei Datensätze aufgeteilt. Der erste Datensatz enthielt nur die Daten der Aufwüchse, bei denen die mittlere Temperatur während und in den folgenden 4 h nach der Applikation unter 12 °C lag. Der zweite Datensatz enthielt hingegen die Daten der Aufwüchse, bei denen die mittlere Temperatur bei 12 °C oder darüber lag. Anschließend wurden die Mittelwerte der N_{Ges} -Erträge für die zu vergleichenden Versuchsglieder für beide Datensätze berechnet und zusätzlich als Relativerträge gegenüber der Referenztechnik Prallteller ausgegeben. Außerdem wurde das mittlere N-Düngungsniveau und die mittleren klimatischen Bedingungen für die beiden Datensätze berechnet.

Die hier beschriebenen Auswertungen für die drei Versuchsstandorte sind, für im Detail interessierte Leser, im Anhang (Tabelle 38 bis Tabelle 40) dargestellt. Die Tabellen zeigen deutlich, dass die absoluten N_{Ges} -Ertragsvorteile der bodennahen Ausbringtechniken gegenüber der Referenztechnik Prallteller bei wärmeren Ausbringbedingungen (insgesamt niedrigeres Ertragsniveau) deutlich geringer als bei kühleren Bedingungen waren. Der wesentliche Grund für diesen deutlichen Unterschied im Ertragsniveau der Absoluterträge dürfte in der Tatsache liegen, dass in der Datenreihe mit den wärmeren Ausbringbedingungen auch mehr Datensätze von den in der Regel ertragsärmeren zweiten und dritten Aufwüchsen enthalten waren. Ein Blick auf die Relativerträge zeigt aber auch, dass diese bei beiden Datenreihen bis auf wenige Ausnahmen auf einem ähnlichen Niveau lagen.

In Abbildung 30 sind die Relativerträge der verschiedenen Applikationstechniken gegenüber der Referenztechnik Prallteller im Mittel (gewichtetes Mittel) der Versuche bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (mittlere Temperatur bei und 4 h nach der Ausbringung) zusammengefasst dargestellt. Da nicht jede Variante an jedem Ort getestet wurde, sind unter den unterschiedlichen Varianten die Anzahl der zur Verfügung gestandenen Datensätze angegeben, was ein gewisser Hinweis auf die Sicherheit der Aussage sein kann.

Es ist zu erkennen, dass mit unverdünnter Gülle sowohl bei wärmeren (Mittel 21 °C, rot umrandete Reihe) als auch bei kühleren Ausbringbedingungen (Mittel 9 °C, blau umrandete Reihe) beim Einsatz der bodennahen Applikationstechniken höhere Relativerträge als mit den Breitverteilungstechniken erzielt wurden. Außerdem lässt sich feststellen, dass die Ertragsvorteile beider Datenreihen auf einem ähnlichen Niveau lagen.

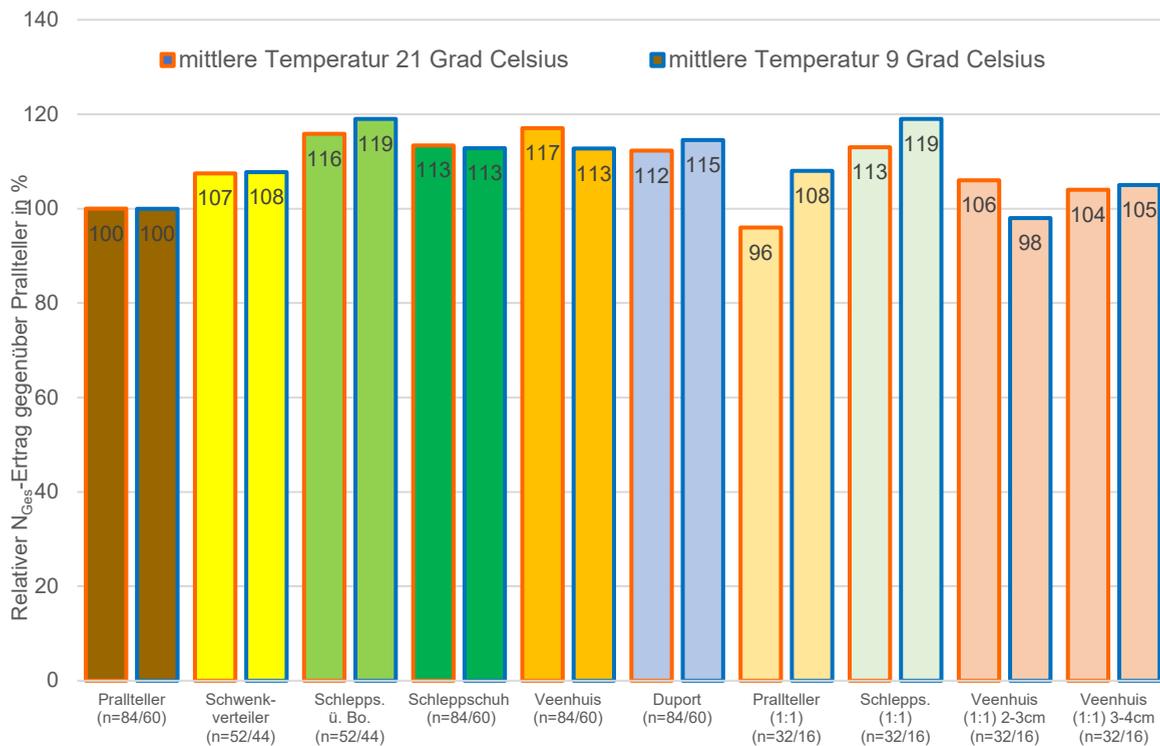


Abbildung 30: N_{Ges} -Relativerträge (Mittel der Aufwüchse) der verschiedenen Applikationstechniken gegenüber der Referenztechnik Prallteller im Mittel (gewichtetes Mittel) der Versuche bei unterschiedlichen Temperaturen (gewichtete Mittel) während und nach der Ausbringung

Betrachtet man die Varianten (siehe Abb. 29, rechts), bei denen die verschiedenen Techniken mit verdünnter Gülle eingesetzt wurden, fallen vergleichsweise stärkere Unterschiede zwischen den jeweiligen beiden Datenreihen (mittlere Temperatur 21 bzw. 9 °C) auf. Bedingt kann dies auch auf den geringen Stichprobenumfang zurückgeführt werden. Auffällig ist aber, dass eine Gülleverdünnung beim Einsatz der Pralltellertechnik bei warmen Ausbringbedingungen zu relativen Mindererträgen gegenüber einer Düngung mit unverdünnter Gülle (hier Abb. 29 ganz links) geführt hat. Relative Mehrerträge konnten nur bei kühleren Bedingungen erzielt werden. Der hier dargestellte Zusammenhang ist wahrscheinlich der Grund für das insgesamt (N_{ges} -Jahresmittel 2020 bis 2024) schlechte Abschneiden dieser Variante (siehe Kapitel 3.4.1.3.).

3.4.2 N-Salden und N-Mineraldüngeräquivalente

Tabelle 20 bis Tabelle 22 zeigen die Mittelwerte (2020 bis 2023) der N-Salden und der N-Mineraldüngeräquivalente der an den drei Standorten durchgeführten Versuche.

Tabelle 20: N-Salden sowie N-Mineraldüngeräquivalente am Standort Rüdenhausen

| Vgl. | Variante | Mittelwerte (2020 bis 2023) | | |
|------|---|------------------------------------|--|--------------|
| | | N _{Ges} -Saldo (kg/ha) | N _{schnell} -Saldo (kg/ha) | N-MDÄ (%) |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | -80,2 | -80,2 | - |
| 2 | 45 N KAS + PK | -63,8 | -63,8 | - |
| 3 | 90 N KAS + PK | -45,2 | -45,2 | - |
| 4 | 135 N KAS + PK | -40,1 | -40,1 | - |
| 5 | 195 N KAS + PK | -26,8 | -26,8 | - |
| 6 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Schlepp. | -44,1 | -44,1 | - |
| 7 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Veenh. | -34,0 | -34,0 | - |
| 8 | 135 N KAS + PK o. auf, 2 x Veenh. (A1,A3) | -40,3 | -40,3 | - |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller (A1,A3) | 78,8 | -11,8 | (34,0) |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh (A1,A3) | 57,7 | -32,9 | (47,9) |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis (A1,A3) 3-4cm tief | 59,6 | -31,0 | (46,4) |
| 12 | 2 x Gülle Schlepps. (A1,A3) (10-15cm) | 55,3 | -35,3 | (49,4) |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3cm tief | 60,5 | -30,1 | 45,9 |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3cm tief | 70,6 | -20,0 | 38,9 |
| 15 | 3 x Gülle Veenh. (10-15cm) | 74,5 | -16,1 | 35,5 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 71,4 | -19,2 | 38,1 |
| 17 | 3 x Gülle Schlepps.(10-15cm) | 66,4 | -24,2 | 41,2 |
| 18 | 3 x Gülle Schlepps. ü. Boden | 72,4 | -18,2 | 37,7 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 91,9 | 1,3 | 23,7 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 81,5 | -9,1 | 30,8 |

Hinweis: Bei den Varianten mit nur zweimaliger Gülldüngung sind die Mineraldüngeräquivalente nur bedingt zu verwenden, da zur Berechnung der Mineraldüngeräquivalente die mineralischen Düngungsvarianten (VGL 1 bis 5) mit jeweils drei Düngeterminen verwendet wurden.

Tabelle 21: N-Salden sowie N-Mineraldüngeräquivalente am Standort Bad Windsheim

| Vgl. | Variante | Mittelwerte (2020 bis 2023) | | |
|------|---|------------------------------------|--|--------------|
| | | N _{Ges} -Saldo (kg/ha) | N _{Schnell} -Saldo (kg/ha) | N-MDÄ (%) |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | -93,3 | -93,3 | - |
| 2 | 45 N KAS + PK | -84,8 | -84,8 | - |
| 3 | 90 N KAS + PK | -62,7 | -62,7 | - |
| 4 | 135 N KAS + PK | -45,9 | -45,9 | - |
| 5 | 195 N KAS + PK | -19,2 | -19,2 | - |
| 6 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Schlepp. | -47,2 | -47,2 | - |
| 7 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Veenh. | -48,2 | -48,2 | - |
| 8 | 135 N KAS + PK o. auf, 2 x Veenh. (A1,A3) | -39,9 | -39,9 | - |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller (A1,A3) | 36,4 | -36,7 | (30,2) |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh (A1,A3) | 31,1 | -42,0 | (34,7) |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis (A1,A3) 3-4 cm tief | 26,2 | -46,9 | (39,0) |
| 12 | 2 x Gülle Schleppschuh (A1,A2) | 22,0 | -51,1 | (43,5) |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3 cm tief | 28,3 | -44,8 | 36,9 |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3 cm tief | 26,4 | -46,7 | 39,1 |
| 15 | 2 x Gülle Veenh. (A1,A2) 3-4 cm tief | 18,7 | -54,4 | (39,0) |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 24,9 | -48,2 | 41,1 |
| 17 | 2x Gülle Prallteller (A1,A2) | 28,8 | -44,3 | (37,1) |
| 18 | 3 x Gülle Schlepps. ü. Boden | 18,2 | -54,9 | 47,8 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 39,9 | -33,2 | 27,6 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 33,3 | -39,8 | 33,5 |

Hinweis: Bei den Varianten mit nur zweimaliger Gülldüngung sind die Mineraldüngeräquivalente nur bedingt zu verwenden, da zur Berechnung der Mineraldüngeräquivalente die mineralischen Düngungsvarianten (VGL 1 bis 5) mit jeweils drei Düngeterminen verwendet wurden.

Tabelle 22: N-Salden sowie N-Mineraldüngeräquivalente am Standort Ebensfeld

| Vgl. | Variante | Mittelwerte (2020 bis 2023) | | |
|------|---|------------------------------------|--|--------------|
| | | N _{Ges} -Saldo (kg/ha) | N _{schnell} -Saldo (kg/ha) | N-MDÄ (%) |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | -73,8 | -73,8 | - |
| 2 | 40N KAS + PK | -61,1 | -61,1 | - |
| 3 | 80 N KAS + PK | -37,2 | -37,2 | - |
| 4 | 120 N KAS + PK | -30,1 | -30,1 | - |
| 5 | 180 N KAS + PK | -21,5 | -21,5 | - |
| 6 | 120 N KAS + PK o. auf + 3 x Wasser | -24,4 | -24,4 | - |
| 7 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x Schlepp. | -39,8 | -39,8 | - |
| 8 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x DuPort | -28,7 | -28,7 | - |
| 9 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x Veenh. | -28,9 | -28,9 | - |
| 10 | 120 N KAS + PK o. auf, 2 x Veenh. (A1,A2) | -39,7 | -39,7 | - |
| 11 | 3 x Gülle (Stand.) Prallteller | 47,4 | -25,6 | 47,1 |
| 12 | 3 x Gülle (Stand.) Schleppschuh | 38,5 | -34,5 | 53,9 |
| 13 | 3 x Gülle (Stand.) Veenh. 2-3 cm tief | 32,2 | -40,8 | 59,9 |
| 14 | 3 x Gülle (Stand.) Duport 2-3 cm tief | 45,5 | -27,6 | 46,5 |
| 15 | 3 x Gü. (Stand.) Schlepp. (10-15 cm) | 45,1 | -28,0 | 46,5 |
| 16 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Schl. (10-15 cm) | 30,4 | -42,7 | (60,2) |
| 17 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Prallteller | 48,9 | -24,1 | (45,1) |
| 18 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Schleppschuh | 26,5 | -46,6 | (66,9) |
| 19 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Veenh. 3-4 cm tief | 30,8 | -42,2 | (60,8) |
| 20 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Prallteller | 43,9 | -28,6 | 46,2 |
| 21 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Schleppschuh | 27,2 | -45,4 | 60,7 |
| 22 | 3 x Gülle (1:1 verd.) Veenhuis 2-3 cm tief | 42,6 | -29,9 | 48,9 |
| 23 | 3 x Gülle (1:1 verd.) Veenhuis 4-5 cm tief | 39,7 | -32,9 | 52,2 |
| 24 | Schl. (A1,A2 verd.), Vennh. (A3, Stand.) | 31,8 | -41,2 | 60,2 |

Hinweis: Bei den Varianten mit nur zweimaliger Gülledüngung sind die Mineraldüngeräquivalente nur bedingt zu verwenden, da zur Berechnung der Mineraldüngeräquivalente die mineralischen Düngungsvarianten (VGL 1 bis 5) mit jeweils drei Düngeterminen verwendet wurden.

Für die mineralisch gedüngten Varianten ergaben sich an allen Standorten negative N-Salden, welche der Höhe der mineralischen N-Düngung folgten. D.h. je niedriger die mineralische N-Düngung war, desto negativer waren die Salden. Die N_{ges}-Salden der organisch gedüngten Varianten lagen allerorts im positiven Bereich, wobei an dem höher organisch gedüngten Standort Rüdenhausen auch die Salden höher lagen. Außerdem zeigen die N-

Salden die Vorzüglichkeit der bodennahen Ausbringetechniken gegenüber den Breitverteilungstechniken. Im Gegensatz zu den N_{Ges} -Salden liegen die $N_{schnell}$ -Salden der organisch gedüngten Varianten alle (Ausnahme VGL 19 Prallteller in Rüdenhausen) im negativen Bereich. Die $N_{schnell}$ -Salden ermöglichen einen unmittelbaren Vergleich der mineralisch gedüngten Varianten mit den organisch gedüngten Varianten als die N_{Ges} -Salden, da bei der Berechnung der N-Zufuhren nur der schnellverfügbare Stickstoff (bei den organische gedüngten Varianten NH_4-N) berücksichtigt wurde. Ein Vergleich der organisch gedüngten Varianten jeweils mit dem, mit schnell verfügbarem Stickstoff in ähnlicher Höhe gedüngten, Versuchsglied 3 zeigt, dass in Rüdenhausen und in Bad Windsheim die mineralische Variante effizienter war als sämtliche organisch gedüngten Varianten. In Ebensfeld konnten einige wenige Varianten das Niveau der mineralischen Variante erreichen.

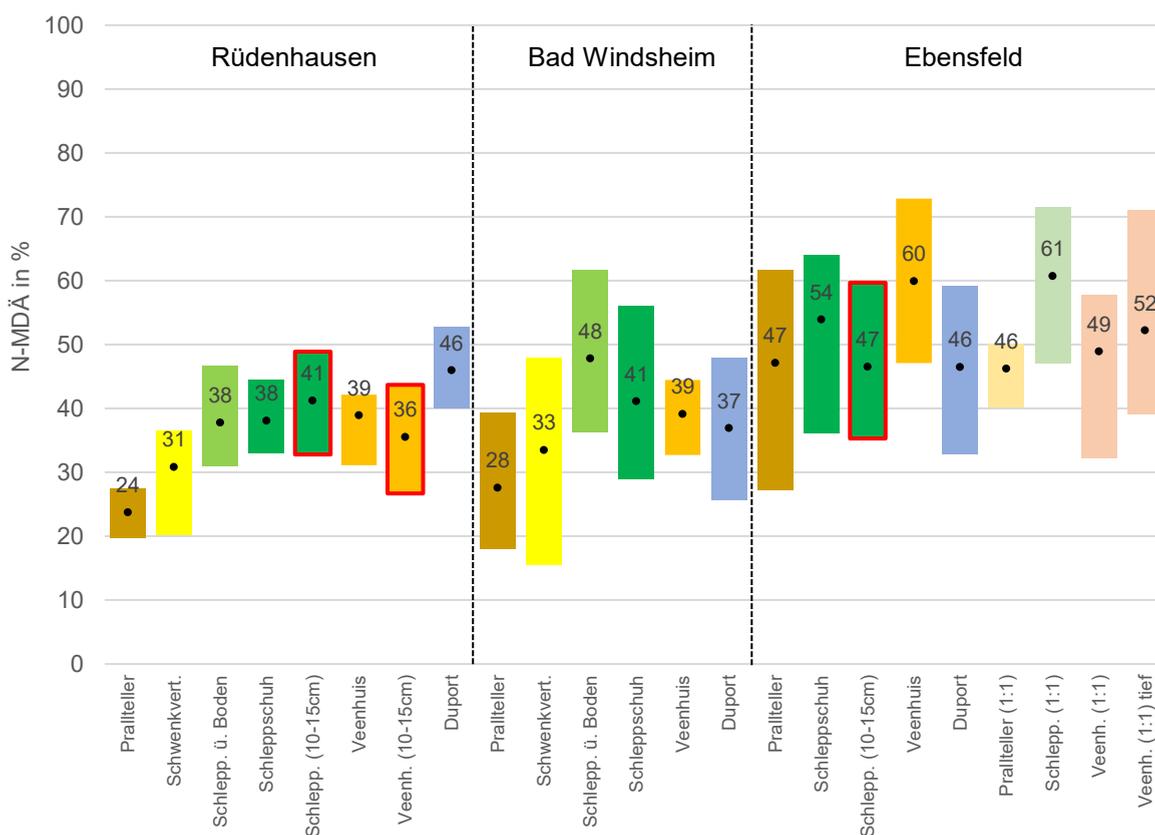


Abbildung 31: Mittlere N-Mineraldüngeräquivalente (2020 bis 2024) mit Spannweiten (Min/Max) aller Varianten mit Gülleausbringung zu drei Düngeterminen an den drei Versuchsstandorten.

In der Abbildung 31 sind die in Tabelle 20 bis Tabelle 22 enthaltenen N-Mineraldüngeräquivalente für diejenigen organischen Düngervarianten zusammengefasst, bei denen die N-Jahresgabe auf drei Termine verteilt wurde. Ergänzend zu den Mittelwerten sind auch die Spannweiten (Min/Max), die sich aus den unterschiedlichen Werten der Einzeljahre ergeben, abgebildet. Neben einer starken Schwankung zwischen den Jahren (Min/Max) zeigt die Abbildung auch die unterschiedlichen standortspezifischen Niveaus der N-

Mineraldüngeräquivalente. Allen Standorten gemeinsam war, dass im Mittel aller Techniken im Jahr 2023 die höchsten Mineraldüngeräquivalente erzielt wurden. Ebenfalls hohe Werte ergaben sich in Rüdenhausen im Versuchsjahr 2021 sowie in Ebensfeld in den Jahren 2021 und 2022. Außerdem belegen die dargestellten Werte auch unter diesem Blickwinkel die Vorzüglichkeit der bodennahen Ausbringtechniken gegenüber den Breitverteilungstechniken.

Die aktuelle Düngeverordnung schreibt für die Düngebedarfsermittlung bei Grünland und mehrschnittigen Feldfutterbau ab 2025 eine Mindestwirksamkeit für den Gesamtstickstoffgehalt bei Rindergülle von 60 % (Bundesministerium der Justiz, 2021b) vor. Wie zu erkennen ist, konnte unter den trockenen Versuchsbedingungen die in der Düngebedarfsermittlung anzusetzende Mindestwirksamkeit meist nicht erreicht werden. Eine in der landwirtschaftlichen Praxis kaum erfüllbare Vorgabe der Düngeverordnung kann jedoch Anlass zur Diskussion sein. Kritiker könnten nicht ganz zu Unrecht bemängeln, dass durch das Nichterreichen der in der Düngebedarfsermittlung, aufgrund der Vorgaben hinsichtlich der Mindestwirksamkeit, errechneten Nährstoffmenge, der tatsächliche Nährstoffbedarf nicht gedeckt und demzufolge das Ertragspotential des jeweiligen Standorts nicht ausgeschöpft wird. Allerdings kann dem entgegengesetzt werden, dass die in der Düngebedarfsermittlung angesetzte N-Nachlieferung aus dem Boden sowie der Abschlag aufgrund der N-Fixierung durch Leguminosen deutlich niedriger als die tatsächliche N-Nachlieferung der Standorte (siehe N-Salden VGL 1 Bad Windsheim und Ebensfeld) sein kann.

3.5 Versuchsergebnisse zur Narbenschädigung

Die Narbenschäden in den Versuchen lagen an allen drei Versuchsstandorten auf einem niedrigen Niveau. Im Mittel über den gesamten Versuchszeitraum betrug der Anteil an geschädigter Parzellenfläche in Rüdenhausen und Ebensfeld 1,4 % und in Bad Windsheim 2,1 %.

Tabelle 23: Varianztabelle mit wichtigen Streuungsursachen, F-Werten, Grenzdifferenzen und Mittelwerten und den zugehörigen Signifikanzniveaus für das Merkmal Narbenschäden (Werte 2020 bis 2023) an den drei Versuchsorten

| Ver- suchs- ort | F-Werte ^{PR>F} | | | t-Test GD _{5%} (%) | | | Mittelwert (%) und Signifikanzniveau | | |
|-----------------------|----------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|------|--|--|----------------------|
| | Jahr | Aufw. | Vgl. | Jahr | Aufw. | Vgl. | Jahr | Aufw. | Vgl. |
| Rüden- hausen | 240*** | 17*** | 12*** | 0,08 | 0,11 | 0,18 | 0,84 A (2020) 1,28 B (2021) 1,53 C (2022) 1,98 D (2023) | 1,33 A (3) 1,36 B (2) 1,59 B (1) | siehe Abbildungen |
| Bad Winds- heim | 131*** | 37*** | 8*** | 0,13 | 0,15 | 0,28 | 1,58 A (2020) 1,80 B (2022) 2,11 C (2021) 2,79 D (2023) | 1,87 A (2) 2,05 B (1) 2,38 B (3) | |
| Ebens- feld | 368*** | 37*** | 7*** | 0,09 | 0,11 | 0,22 | 0,79 A (2021) 1,19 B (2020) 1,39 C (2022) 2,36 D (2023) | 1,31 A (3) 1,35 A (2) 1,69 B (1) | |

Hinweis: *** PR>F ≤ 0,001;

Aus der Varianztabelle (Tabelle 23) lässt sich ablesen, dass bei allen drei Standorten das Einzeljahr mit Abstand den größten Einfluss auf die Narbenschädigung der Versuchspartellen hatten. An allen drei Standorten wurden im Versuchsjahr 2023 im Versuchsmittel die größten Narbenschäden festgestellt. Eine detaillierte Betrachtung der Narbenschäden, die bei den einzelnen Aufwüchsen in den verschiedenen Jahren bonitiert wurden, zeigt zum einen, dass an allen Standorten beim ersten Aufwuchs des Jahres 2023 (sehr feuchte Bedingungen bei der Düngung) mit die höchsten Narbenschäden des ganzen Versuchszeitraums bonitiert wurden. Zum anderen zeigen die Einzelergebnisse, dass auch die Folgeaufwüchse meist auf einem überdurchschnittlichen Niveau lagen. Einen weitaus geringeren Einfluss hatten die Aufwüchse (1., 2. oder 3. Aufwuchs). Für die Beantwortung der Versuchsfragen entscheidend ist jedoch der, vergleichsweise geringe, Einfluss der Versuchsglieder auf die Boniturergebnisse. In den nachfolgenden Kapiteln 3.5.1 und 3.5.2 wird dargestellt, inwiefern die bonitierten Narbenschädigungen durch die einzelnen Varianten beeinflusst wurde.

3.5.1 Einfluss der Applikationstechnik

Abbildung 32 bis Abbildung 34 zeigen, dass die bonitierten Narbenschäden beim Einsatz der unterschiedlichen Applikationstechniken an allen Versuchsstandorten auf einem ähnlichen Niveau lagen und kaum signifikante Unterschiede gefunden werden konnten. In Rüdenhausen bewegen sich die Mittelwerte zwischen 1,2 und 1,5 %, in Bad Windsheim zwischen 1,2 und 1,4 % und in Ebensfeld zwischen 1,6 und 2,2 %. Die wenigen signifikanten Unterschiede konnten vor allem aufgrund des sehr großen Stichprobenumfangs gewonnen werden, sind ungerichtet (Vergleich der Orte) und auf einem pflanzenbaulich unbedeutenden Niveau. Einfach auf den Punkt gebracht, kann man feststellen, dass die Wahl der Applikationstechnik nahezu keinen Einfluss auf die Höhe des bonitierten Narbenschadens hatte. Dies gilt unabhängig davon auf wie viele Düngetermine die Jahresgabe aufgeteilt wurde. Ferner kann festgehalten werden, dass, bei einer Betrachtung aller Boniturtermine, das Niveau der Narbenschädigung bei einer Aufteilung der Jahresgabe auf drei bzw. zwei Düngetermine ähnlich hoch lag.

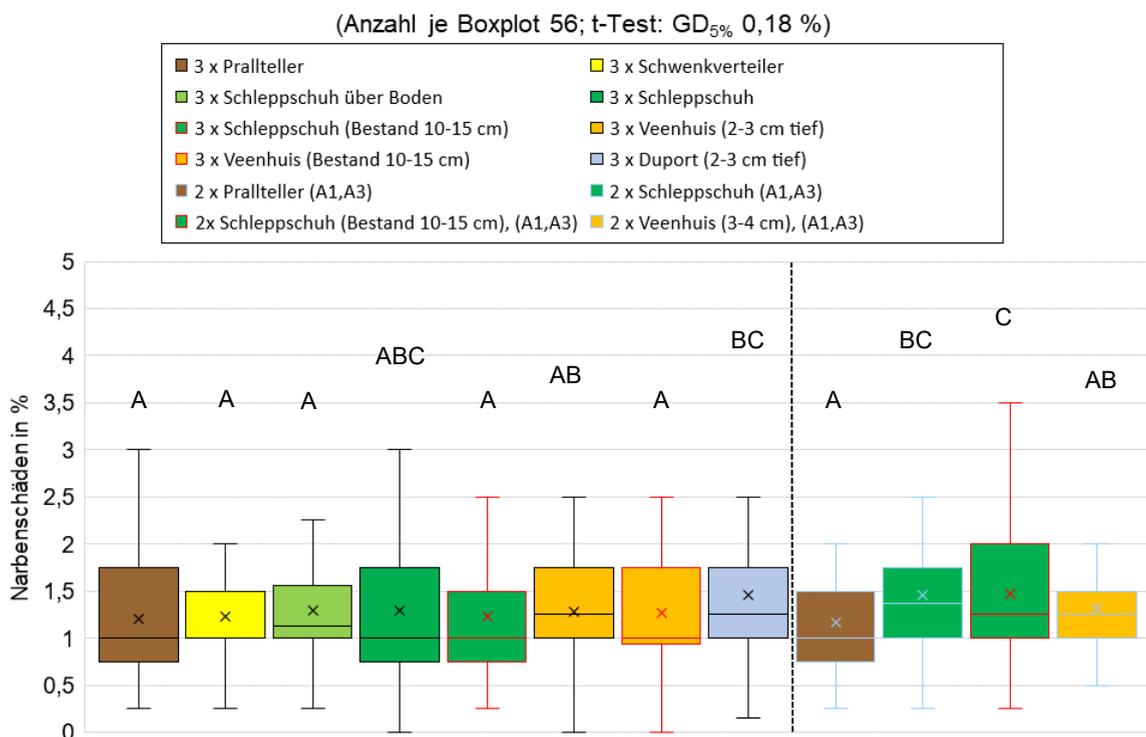


Abbildung 32: Narbenschäden (2020 bis 2023) bei Gülledüngung mit den unterschiedlichen Applikationstechniken am Versuchsstandort Rüdenhausen

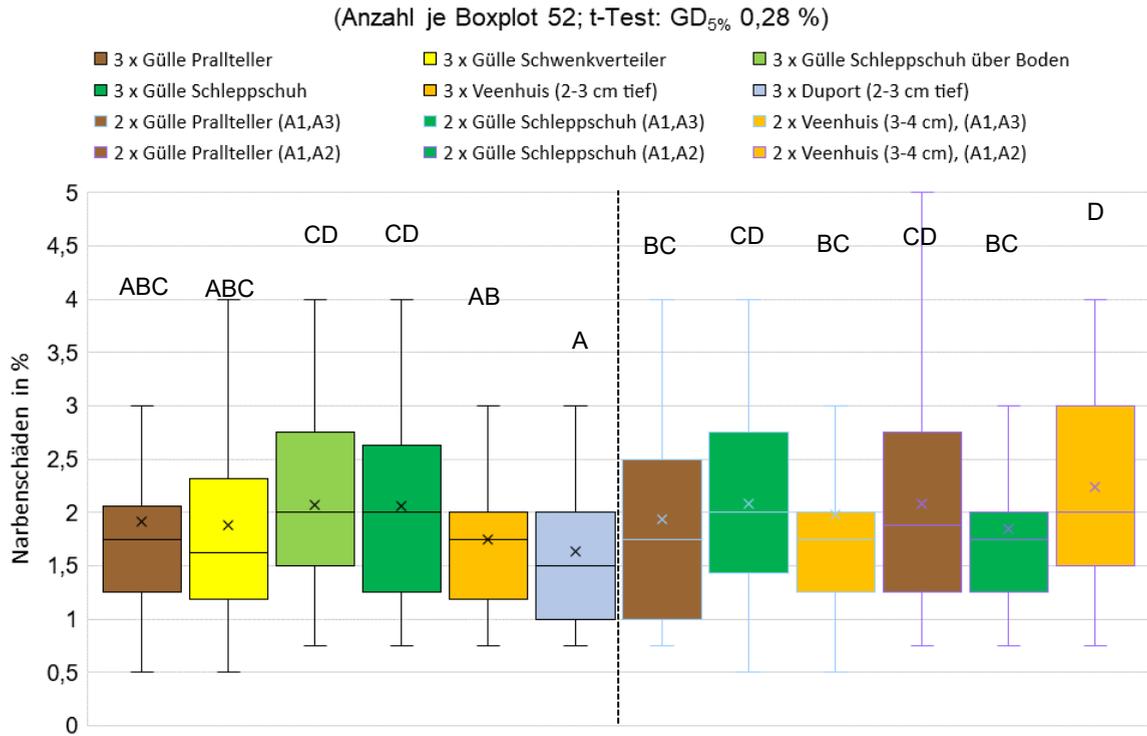


Abbildung 33: Narbenschäden (2020 bis 2023) bei Gülledüngung mit den unterschiedlichen Applikationstechniken am Versuchsstandort Bad Windsheim

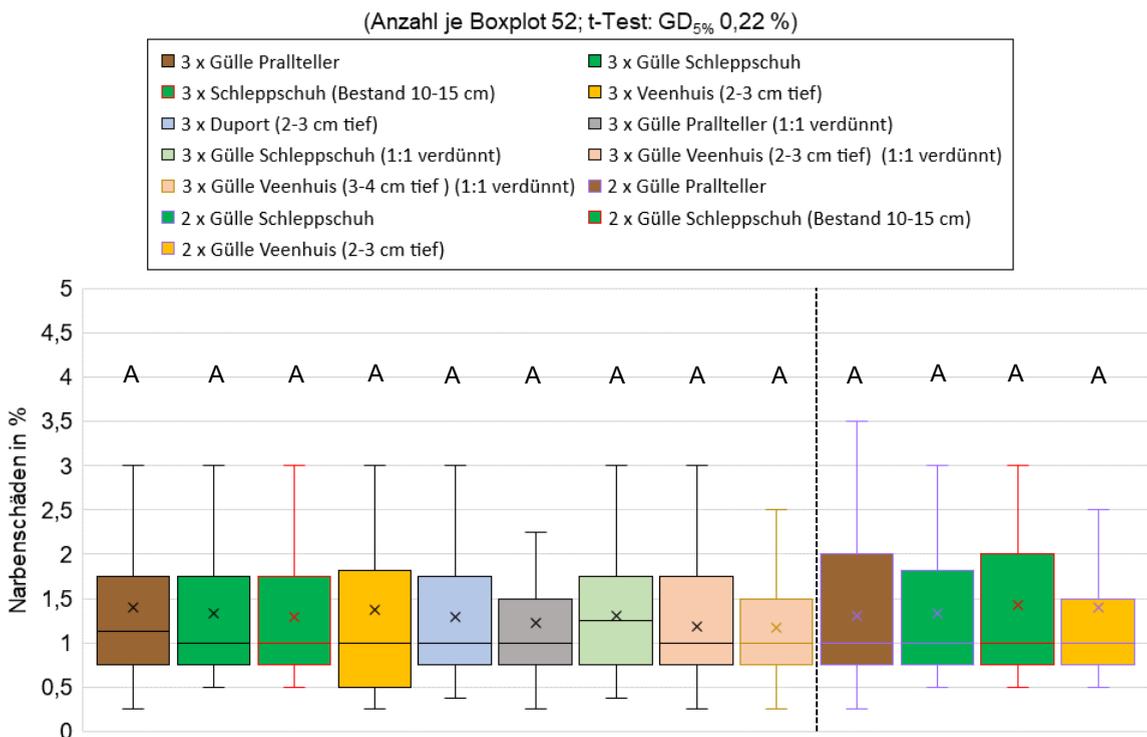


Abbildung 34: Narbenschäden (2020 bis 2023) bei Gülledüngung mit den unterschiedlichen Applikationstechniken am Versuchsstandort Ebensfeld

3.5.2 Einfluss der mineralischen Düngung sowie der bodennahen Applikationstechniken (ohne Gülledüngung)

In Abbildung 35 bis Abbildung 37 sind die Werte der bonitierten Narbenschäden der mineralisch gedüngten Varianten der drei Versuchsstandorte dargestellt. Zum einen sind die Narbenschäden der mineralischen N-Steigerungen und zum anderen die Narbenschäden der Varianten, bei denen die verschiedenen Applikationstechniken ohne Gülle, jedoch mit Mineraldünger eingesetzt wurden, abgebildet.

Die Mittelwerte der Narbenschäden nahmen mit der Steigerung der mineralischen N-Düngung mehr oder weniger stark zu. An allen drei Standorten konnten signifikante Unterschiede zwischen den Varianten ohne N-Düngung den Varianten mit 90 (Rüdenhausen und Bad Windsheim) bzw. 80 kg N/ha (Ebensfeld) und den am höchsten gedüngte Varianten (195 kg N/ha in Rüdenhausen und Bad Windsheim bzw. 180 kg N/ha in Ebensfeld) festgestellt werden. Eine mögliche Begründung könnte der, aufgrund der ertragreicheren Aufwüchse bei den höher gedüngten Varianten, gestiegene Schädlingsdruck sein. Mehr Ertrag und demzufolge höhere Aufwüchse bedeutet, dass für Schädlinge wie Mäuse auch mehr Futter und eine höhere Deckung zur Verfügung steht. Eine weitere Begründung könnte sein, dass die höher gedüngten Parzellen, aufgrund der hohen mineralischen N-Gaben, wesentlich artenärmer waren und damit die Nutzungselastizität der Bestände vergleichsweise niedrig war. D.h. diese Bestände konnten witterungsbedingt entstandene Lücken in der Narbe weniger gut kompensieren.

An allen Standorten kam es nur zu unwesentlichen Unterschieden zwischen den Mittelwerten der Varianten, bei denen die bodennahen Ausbringtechniken ohne Gülle (jedoch mit Mineraldünger oben auf) eingesetzt wurden und den identisch ausschließlich mineralisch gedüngten Varianten ohne Technikeinsatz. Dieses Ergebnis steht Einklang mit der in Kapitel 3.4.1.4 getroffenen Feststellung, dass keine signifikanten N_{Ges} -Ertragsunterschiede zwischen den Varianten ohne Technikeinsatz und den Varianten, bei denen die bodennahen Techniken eingesetzt wurden, gemessen werden konnten.

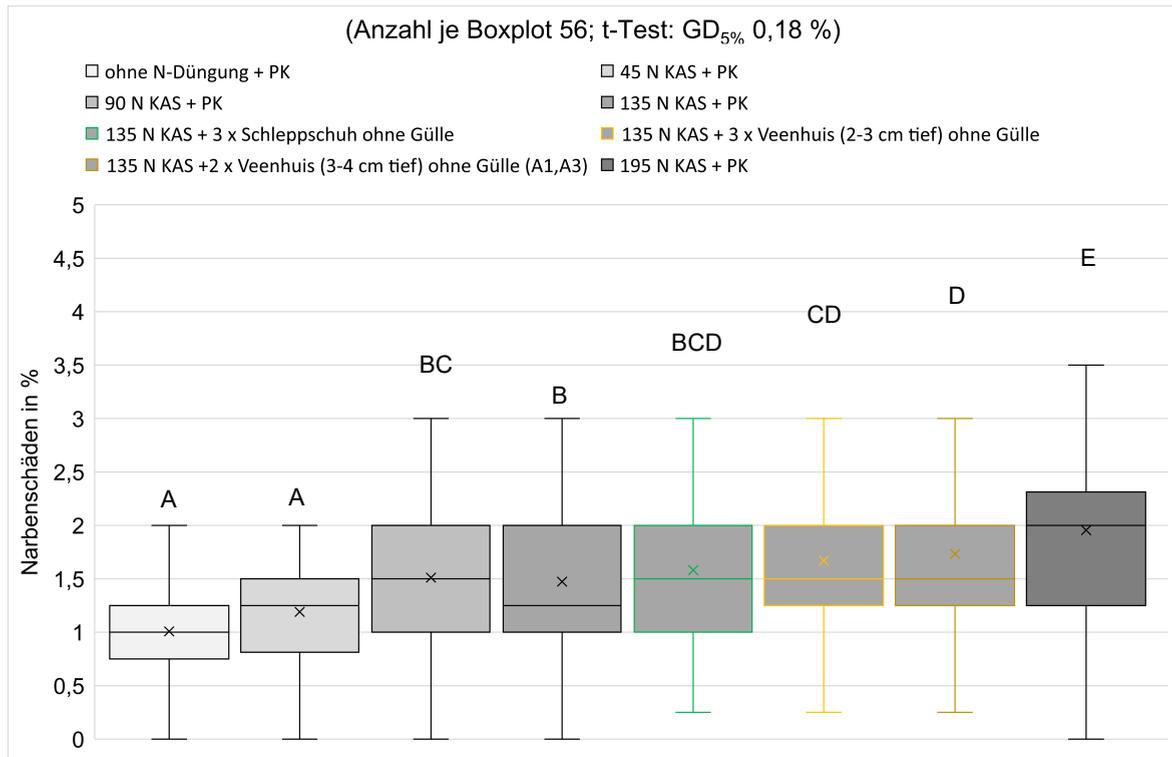


Abbildung 35: Narbenschäden (2020 bis 2023) der mineralisch gedüngten Varianten am Versuchsstandort Rüdenshausen

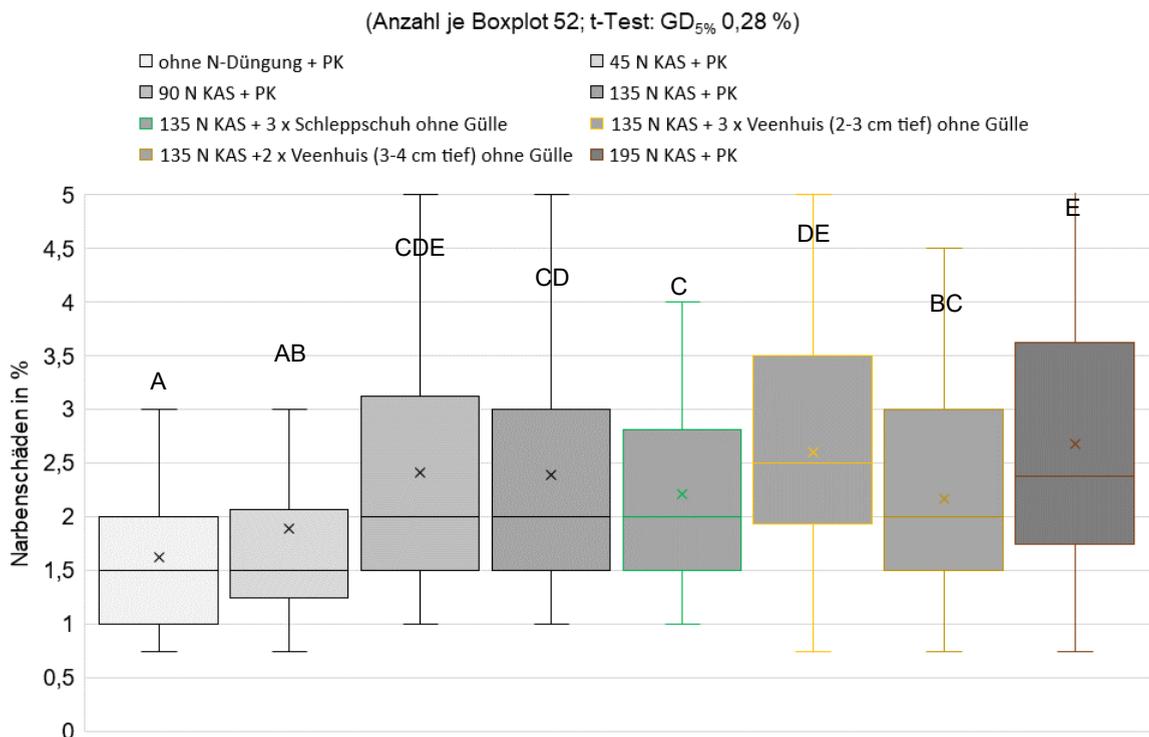


Abbildung 36: Narbenschäden (2020 bis 2023) der mineralisch gedüngten Varianten am Versuchsstandort Bad Windsheim

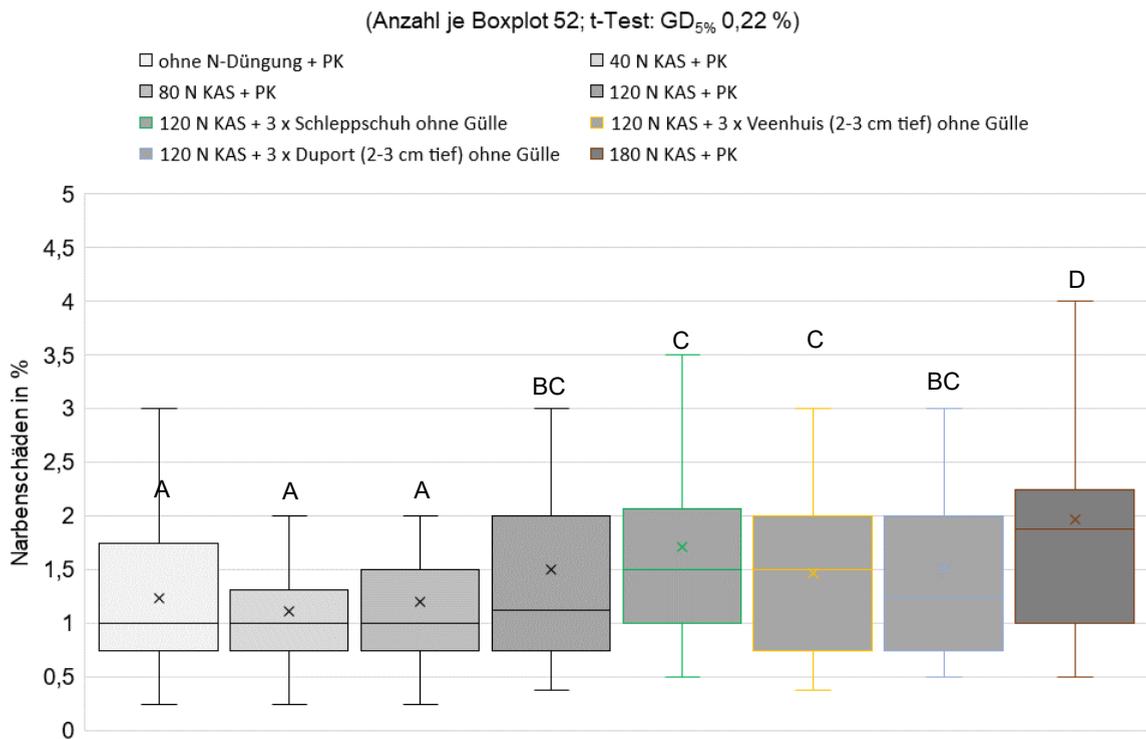


Abbildung 37: Narbenschäden (2020 bis 2023) der mineralisch gedüngten Varianten am Versuchsstandort Ebenfeld

3.6 Versuchsergebnisse zur Futterverschmutzung

Im Rahmen dieses Projekts erfolgte auch eine Zusammenarbeit in dem vom Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft federführend durchgeführten Forschungsprojekts „Einflussfaktor Gülleapplikationstechnik auf die Futterhygiene (Kurztitel: Grashygiene 1)“. In dem Projekt Grashygiene 1 sollten Fragen dazu, inwiefern Düngung (mineralische Düngung und Gölledüngung mit verschiedenen Applikationstechniken) zu einer Futterverschmutzung und zu einer Beeinträchtigung der Hygiene des Futters führen kann, beantwortet werden. Dazu wurde im Jahr 2020 in unmittelbarer Nähe zum Versuch in Rüdenhausen ein zweiter Exaktversuch, welcher mit denselben Applikationstechniken, wie die in diesem Bericht vorgestellten Versuche, gedüngt wurde, angelegt. Anschließend wurden die aus den einzelnen Parzellen unter praxisähnlichen Bedingungen gewonnen Proben zu Silageproben im Labormaßstab weiterverarbeitet und hinsichtlich futterhygienischer Parameter (z.B. Gärqualität, mikrobielle Belastung) untersucht. Die Ergebnisse können im Endbericht des Forschungsprojekts Grashygiene 1 (Harms et al., 2022) nachgelesen werden.

Wenn es auch, wie oben dargestellt, nicht primäres Ziel dieses Forschungsprojekts war, Aussagen zur Futterverschmutzung zu tätigen, konnten dennoch einige Erkenntnisse in Ergänzung zum Projekt Grashygiene, gewonnen werden

3.6.1 Rohaschegehalte des geernteten Materials

Als Indikator für die Verschmutzung von Grüngut wird in der landwirtschaftlichen Praxis häufig der Rohaschegehalt im Futter herangezogen. Als Orientierungswert gilt ein Wert von kleiner 90 g/kg TM für den 1. Schnitt bzw. kleiner 100 g/kg TM bei Folgeschnitten (Harms et al., 2022). Der Rohascheanteil des Grünguts selbst wird von dessen Artenzusammensetzung bestimmt. Es gilt, je höher der Blätteranteil, umso höher ist der Rohaschegehalt. Außerdem weisen Leguminosen und Kräuter deutlich höhere Mineralstoffgehalte als Gräser auf. Ein maßgeblicher Einfluss der Artenzusammensetzung auf die gemessenen Rohaschegehalte der verschiedenen Varianten kann aufgrund der Ergebnisse der regelmäßig in den Versuchen durchgeführten Bestimmung der Artenzusammensetzung ausgeschlossen werden. Neben erdigen (z.B. Maulwurfshügel, kleine Ameisenhaufen) Verschmutzungen, die bei der Ernte entstehen können, können auch den Pflanzen anhaftende Göllereste den Rohascheanteil im Grüngut erhöhen.

Die Varianztabelle Tabelle 24 zeigt deutlich, dass die Höhe der Rohaschegehalte an allen Standorten maßgeblich von den Jahren und im Prinzip nicht von den Varianten beeinflusst wurden. Bei einer ausschließlichen Betrachtung der ersten Aufwüchse kann man erkennen, dass an allen Standorten im Versuchsjahr 2020 die niedrigsten Werte festgestellt wurden. Bei den zweiten Aufwüchsen wiesen die Jahre 2020 und 2021 wesentlich höhere Werte auf als die anderen beiden Versuchsjahre.

Mit den im Jahresverlauf aufeinanderfolgenden Schnitten nahm allerorts auch der Rohaschegehalt zu. Begründung dafür war wahrscheinlich der variantenübergreifend wesentlich höhere Kräuteranteil auf den Versuchsflächen beim 2. und insbesondere beim 3. Aufwuchs.

Tabelle 24: Varianztabelle mit wichtigen Streuungsursachen, F-Werten, Grenzdifferenzen und Mittelwerten und den zugehörigen Signifikanzniveaus für den Rohaschegehalt (Werte 2020 bis 2023) an den drei Versuchsorten

| Versuchsort (Aufwuchs) | F-Werte ^{PR>F} | | t-Test GD _{5%} (g/kg TM) | | Mittelwert (g/kg TM) und Signifikanzniveau | |
|---|----------------------------|------|--------------------------------------|------|--|----------------|
| | Jahr | Vgl. | Jahr | Vgl. | Jahr | Vgl. |
| Rüdenhausen (1. Aufwuchs) | 40*** | 2*** | 2,6 | 5,8 | 86 A (2022) 85 A (2021) 83 A (2023) 73 B (2020) | siehe Tabellen |
| Rüdenhausen (2. Aufwuchs) | 60*** | 1 | 2,4 | n.s. | 92 A (2021) 87 B (2020) 80 C (2023) 77 D (2022) | |
| Rüdenhausen (3. Aufwuchs ¹⁾) | 23*** | 1 | 4,9 | n.s. | 108 A (2023) 107 A (2022) 94 B (2021) 92 B (2020) | |
| Bad Windsheim (1. Aufwuchs) | 67*** | 1 | 4,8 | n.s. | 106 A (2023) 94 B (2021) 92 B (2022) 71 C (2020) | |
| Bad Windsheim (2. Aufwuchs) | 103*** | 1 | 7,0 | n.s. | 127 A (2020) 105 B (2021) 77 C (2022) 71 C (2023) | |
| Bad Windsheim (3. Aufwuchs) | 84*** | 1 | 6,1 | n.s. | 138 A (2020) 113 B (2021) 104 C (2022) 90 D (2023) | |
| Ebensfeld (1. Aufwuchs) | 18*** | 2* | 4,8 | 9,9 | 91 A (2021) 87 B (2023) 82 C (2022) 77 C (2020) | |
| Ebensfeld (2. Aufwuchs) | 109*** | 1 | 2,7 | n.s. | 101 A (2020) 97 B (2021) 82 C (2023) 81 D (2022) | |
| Ebensfeld (3. Aufwuchs) | 21*** | 1 | 4,3 | n.s. | 114 A (2021) 111 AB (2022) 107 B (2023) 97 C (2020) | |

Hinweis: *** PR>F ≤ 0,001; ** PR>F ≤ 0,01; * PR>F ≤ 0,05; ohne PR>F > 0,01; n.s. nicht signifikant

1) In 2021 keine Düngung zum 3. Aufwuchs (Die vorgesehene Düngung erfolgte zum 4. Aufwuchs), daher wurden die Werte des 4. Aufwuchses (2021) bei der Mittelwertberechnung dem 3. Aufwuchs zugewiesen.

In Tabelle 25 bis Tabelle 27 sind die mittleren Rohaschegehalte der einzelnen Aufwüchse an den drei Versuchsstandorten dargestellt.

Tabelle 25: Mittlere Rohaschegehalte (2020 bis 2023) der einzelnen Aufwüchse am Standort Rüdenhausen

| Vgl. | Variante | Rohaschegehalte (Mittel 20-23) in g/kg TM | | |
|-------------------------------|---|---|-------------|-------------|
| | | Aufwuchs 1 | Aufwuchs 2 | Aufwuchs 3 |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 76 | 82 | 99 |
| 2 | 45 N KAS + PK | 81 | 83 | 100 |
| 3 | 90 N KAS + PK | 83 | 88 | 103 |
| 4 | 135 N KAS + PK | 84 | 83 | 101 |
| 5 | 195 N KAS + PK | 86 | 85 | 97 |
| 6 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Schleppschuh | 83 | 85 | 109 |
| 7 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Veenh. | 80 | 83 | 100 |
| 8 | 135 N KAS + PK o. auf, 2 x Veenh. (A1,A3) | 82 | 85 | 104 |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller (A1,A3) | 87 | 84 | 97 |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh (A1,A3) | 82 | 82 | 100 |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis (A1,A3) 3-4cm tief | 83 | 85 | 102 |
| 12 | 2 x Gülle Schlepps. (A1,A3) (10-15cm) | 84 | 87 | 98 |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3cm tief | 81 | 81 | 100 |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3cm tief | 79 | 81 | 97 |
| 15 | 3 x Gülle Veenhuis (10-15cm) | 78 | 82 | 109 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 82 | 85 | 98 |
| 17 | 3 x Gülle Schleppschuh (10-15cm) | 79 | 86 | 98 |
| 18 | 3 x Gülle Schleppschi über Boden | 81 | 84 | 95 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 90 | 85 | 98 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 79 | 82 | 101 |
| t-Test GD_{5%} | | 5,8 | n.s. | n.s. |

Hinweise: Da im Jahr 2021 die geplante Düngung zum 3. Aufwuchs erst zum 4. Aufwuchs durchgeführt wurde, wurden bei der Mittelwertbildung die Rohaschegehalte des 4. Aufwuchses (2021) den 3. Aufwüchsen zugeordnet.

n.s. nicht signifikant

Tabelle 26: Mittlere Rohaschegehalte (2020 bis 2023) der einzelnen Aufwüchse am Standort Bad Windsheim

| Vgl. | Variante | Rohaschegehalte (Mittel 20-23) in g/kg TM | | |
|-------------------------------|---|---|-------------|-------------|
| | | Aufwuchs 1 | Aufwuchs 2 | Aufwuchs 3 |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 84 | 93 | 115 |
| 2 | 45 N KAS + PK | 90 | 91 | 121 |
| 3 | 90 N KAS + PK | 95 | 93 | 109 |
| 4 | 135 N KAS + PK | 101 | 105 | 110 |
| 5 | 195 N KAS + PK | 91 | 105 | 106 |
| 6 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Schleppschuh | 96 | 95 | 111 |
| 7 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Veenhuis | 92 | 93 | 108 |
| 8 | 135 N KAS + PK o. auf, 2 x Veenh. (A1,A3) | 94 | 99 | 114 |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller (A1,A3) | 91 | 90 | 108 |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh (A1,A3) | 86 | 91 | 110 |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis (A1,A3) 3-4 cm tief | 87 | 96 | 103 |
| 12 | 2 x Gülle Schleppschuh (A1,A2) | 89 | 90 | 110 |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3 cm tief | 86 | 88 | 107 |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3 cm tief | 88 | 100 | 105 |
| 15 | 2 x Gülle Veenhuis (A1,A2) 3-4 cm tief | 90 | 99 | 112 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 88 | 91 | 123 |
| 17 | 2x Gülle Prallteller (A1,A2) | 90 | 90 | 121 |
| 18 | 3 x Gülle Schleppschuh ü. Boden | 94 | 105 | 112 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 92 | 89 | 104 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 91 | 97 | 116 |
| t-Test GD_{5%} | | n.s. | n.s. | n.s. |

Hinweise: Der Daten des 4. Aufwuchses aus dem Jahr 2021 (ungedüngter Aufwuchs) sind hier nicht aufgeführt.
n.s. nicht signifikant

Tabelle 27: Mittlere Rohaschegehalte (2020 bis 2023) der einzelnen Aufwüchse am Standort Ebensfeld

| Vgl. | Variante | Rohaschegehalte (Mittel 20-23) in g/kg TM | | |
|-------------------------------|---|---|-------------|-------------|
| | | Aufwuchs 1 | Aufwuchs 2 | Aufwuchs 3 |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 76 | 87 | 111 |
| 2 | 40N KAS + PK | 83 | 89 | 108 |
| 3 | 80 N KAS + PK | 82 | 91 | 105 |
| 4 | 120 N KAS + PK | 83 | 90 | 105 |
| 5 | 180 N KAS + PK | 83 | 89 | 105 |
| 6 | 120 N KAS + PK o. auf + 3 x Wasser | 85 | 89 | 103 |
| 7 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x Schlepp. | 84 | 94 | 104 |
| 8 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x DuPort | 84 | 86 | 104 |
| 9 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x Veenh. | 87 | 90 | 109 |
| 10 | 120 N KAS + PK o. auf, 2 x Veenh. (A1,A2) | 88 | 89 | 108 |
| 11 | 3 x Gülle (Stand.) Prallteller | 100 | 92 | 111 |
| 12 | 3 x Gülle (Stand.) Schleppschuh | 80 | 90 | 105 |
| 13 | 3 x Gülle (Stand.) Veenh. 2-3 cm tief | 81 | 91 | 104 |
| 14 | 3 x Gülle (Stand.) Duport 2-3 cm tief | 85 | 89 | 106 |
| 15 | 3 x Gü. (Stand.) Schlepp. (10-15 cm) | 81 | 91 | 110 |
| 16 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Schl. (10-15 cm) | 86 | 90 | 106 |
| 17 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Prallteller | 85 | 91 | 114 |
| 18 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Schleppschuh | 83 | 93 | 108 |
| 19 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Veenh. 3-4 cm tief | 80 | 89 | 106 |
| 20 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Prallteller | 84 | 90 | 107 |
| 21 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Schleppschuh | 83 | 91 | 109 |
| 22 | 3 x Gülle (1:1 verd.) Veenhuis 2-3 cm tief | 80 | 90 | 115 |
| 23 | 3 x Gülle (1:1 verd.) Veenhuis 4-5 cm tief | 81 | 91 | 106 |
| 24 | Schl. (A1,A2 verd.), Vennh. (A3, Stand.) | 92 | 99 | 111 |
| t-Test GD_{5%} | | n.s. | n.s. | n.s. |

Hinweise: Der Daten des 4. Aufwuchses aus dem Jahr 2021 (ungedüngter Aufwuchs) sind hier nicht aufgeführt.
n.s. nicht signifikant

Den Tabellen ist zu entnehmen, dass im Mittel der Jahre beim ersten und zweiten Schnitt bis auf wenige Ausnahmen die Orientierungswerte für sauberes Futter bei allen Varianten erreicht werden konnten. Beim 3. Aufwuchs wurden in Bad Windsheim und in Ebensfeld die Orientierungswerte überschritten. In Rüdenhausen hingegen konnten, bis auf wenige Ausnahmen, die Orientierungswerte erreicht werden.

Entscheidend ist jedoch, dass kein Zusammenhang zwischen dem Rohaschegehalt als Parameter für die Futtermittelverschmutzung und den Düngevarianten gefunden werden konnte. Damit bestätigen die hier gefundenen Ergebnisse, die von Harms et al. (2022, 2024) diesbezüglich festgestellten Zusammenhänge. Auffällig ist jedoch, dass nicht nur keine Unterschiede zwischen den Gülleapplikationstechniken, sondern auch keine Unterschiede zwischen den mit Gülle gedüngten und den ausschließlich mineralisch gedüngten Varianten festgestellt werden konnte. Dieser Zusammenhang wirft die Frage auf, ob der Rohaschegehalt ein geeigneter Parameter ist, um eine ggf. auftretende Futtermittelverschmutzung aufgrund von Gülleanhaftungen feststellen zu können. Leider kann im Rahmen dieses Projekts keine Antwort auf diese Frage gegeben werden

3.6.2 Boniturergebnisse der sichtbaren Güllereste in den Pflanzenbeständen

Die Varianztabelle (Tabelle 28) gibt einen Überblick hinsichtlich der die Bonituren der sichtbaren Güllereste beeinflussenden Faktoren an den drei Versuchsstandorten.

An allen Standorten wurden im Mittel in den Jahren 2020 und 2021 höhere sichtbare Güllereste als in den beiden anderen Versuchsjahren festgestellt. Vergleichsweise niedrige Niederschlagsmengen von der Düngung bis zur Bonitur sowie wesentlich kürzere Standzeiten der Aufwüchse in den Jahren 2020 und 2021 können, nach der Überprüfung der Daten, als Begründung ausgeschlossen werden. Eventuell könnten die höheren TS-Gehalte der in den Jahren 2020 und 2021 in den Versuchen applizierten Rindergüllen zu den beschriebenen Jahreseffekten beigetragen haben.

Der Einfluss des Aufwuchses auf die Höhe der Boniturnoten kann in erster Linie auf die Zusammensetzung der Stichprobenumfänge zurückgeführt werden und hat deshalb weniger mit der tatsächlichen Vorzüglichkeit mancher Aufwüchse zu tun. Aufgrund der randomisierten Versuchsanlage und der dementsprechenden Berücksichtigung in der Versuchsverrechnung ging in die Mittelwertbildung der einzelnen Aufwüchse immer dieselbe Anzahl an Versuchsgliedern ein, allerdings wurden aber nicht zu jedem Aufwuchs gleich viele Varianten gedüngt (siehe Versuchspläne in Kapitel 2.2.3.). Dies führte dazu, dass die Mittelwerte derjenigen Aufwüchse, bei denen mehr Varianten organisch gedüngt wurden, höher ausfielen.

Tabelle 28: Varianztabelle mit wesentlichen Streuungsursachen, F-Werten, Grenzdifferenzen und Mittelwerten und den zugehörigen Signifikanzniveaus für die Boniturergebnisse zu den sichtbaren Gülleresten (Werte 2020 bis 2023) an den drei Versuchsorten

| Versuchs- ort (Termine) | F-Werte ^{PR>F} | | | t-Test GD _{5%} (Boniturnote) | | | Mittelwert (Boniturnote) und Signifikanzniveau | | |
|--|----------------------------|--------------------|--------------|--|--------------------|-------------|--|--|-------------------|
| | Jahr | Aufw. ² | Vgl. | Jahr | Aufw. ² | Vgl. | Jahr | Aufw. ² | Vgl. |
| Rüden- hausen ¹⁾ (A1,A2,A3) | 24*** | 57*** | 61*** | 0,22 | 0,19 | 0,49 | 1,68 A (2021) 1,62 A (2020) 1,32 B (2023) 0,83 C (2022) | 1,94 A (1) 1,20 B (2) 0,94 C (3) | siehe Abbildungen |
| Rüden- hausen ¹⁾ (A1,A3) | 24*** | 103*** | 43*** | 0,27 | 0,19 | 0,61 | 1,77 A (2021) 1,65 A (2020) 1,62 A (2023) 0,73 B (2022) | 1,94 A (1) 0,94 B (3) | |
| Bad Windsheim (A1,A2,A3) | 35*** | 48*** | 48*** | 0,15 | 0,19 | 0,34 | 1,24 A (2020) 1,14 A (2021) 0,76 B (2022) 0,54 C (2023) | 1,13 A (1) 1,09 A (2) 0,54 B (3) | |
| Bad Windsheim (A1,A3) | 36*** | 76*** | 27*** | 0,19 | 0,19 | 0,42 | 1,24 A (2020) 1,08 A (2021) 0,67 B (2022) 0,34 C (2023) | 1,13 A (1) 0,54 B (3) | |
| Bad Windsheim (A1,A2) | 31*** | 0 | 48*** | 0,19 | n.s. | 0,42 | 1,52 A (2020) 1,33 B (2021) 0,84 C (2022) 0,74 C (2023) | 1,13 A (1) 1,09 A (2) | |
| Ebensfeld (A1,A2,A3) | 41*** | 43*** | 43*** | 0,15 | 0,18 | 0,44 | 1,25 A (2020) 1,05 B (2021) 0,75 C (2022) 0,30 D (2023) | 1,17 A (2) 0,90 B (1) 0,44 C (3) | |
| Ebensfeld (A1,A2) | 44*** | 12*** | 46*** | 0,15 | 0,22 | 0,54 | 1,68 A (2020) 1,17 B (2021) 0,84 C (2022) 0,44 D (2023) | 1,17 A (2) 0,90 B (1) | |

Hinweis: *** PR>F ≤ 0,001; ** PR>F ≤ 0,01; * PR>F ≤ 0,05; ohne PR>F > 0,01; n.s. nicht signifikant

1) In 2021 keine Düngung zum 3. Aufwuchs (Die vorgesehene Düngung erfolgte zum 4. Aufwuchs), daher wurden die Werte des 4. Aufwuchses (2021) bei der Mittelwertberechnung dem 3. Aufwuchs zugewiesen.

2) geringe Aussagekraft, da nicht ausschließlich auf die Aufwüchse zurückzuführen (siehe Text)

In Abbildung 38 bis Abbildung 40 sind die Boniturnoten hinsichtlich der sichtbaren Güllereste in Abhängigkeit der verschiedenen Gülleapplikationstechniken jeweils bei einer Aufteilung der Güllegaben (identische Jahresgüllemenge) auf drei bzw. zwei Düngetermine an den unterschiedlichen Standorten dargestellt.

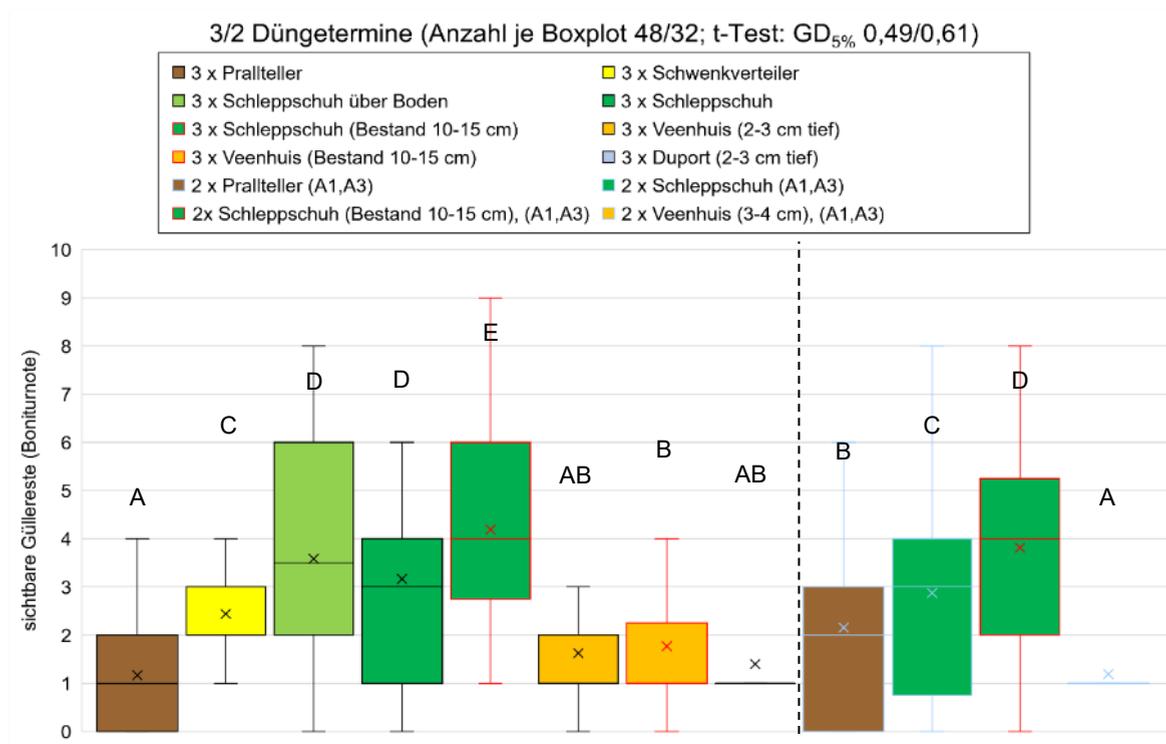


Abbildung 38: Boniturnoten der sichtbaren Güllereste (2020 bis 2023) bei den unterschiedlichen Applikationstechniken am Versuchstandort Rüdenshausen (Die Signifikanzniveaus beziehen sich auf die jeweilige Vergleichsgruppe (3 bzw. 2 jährliche Düngetermine))

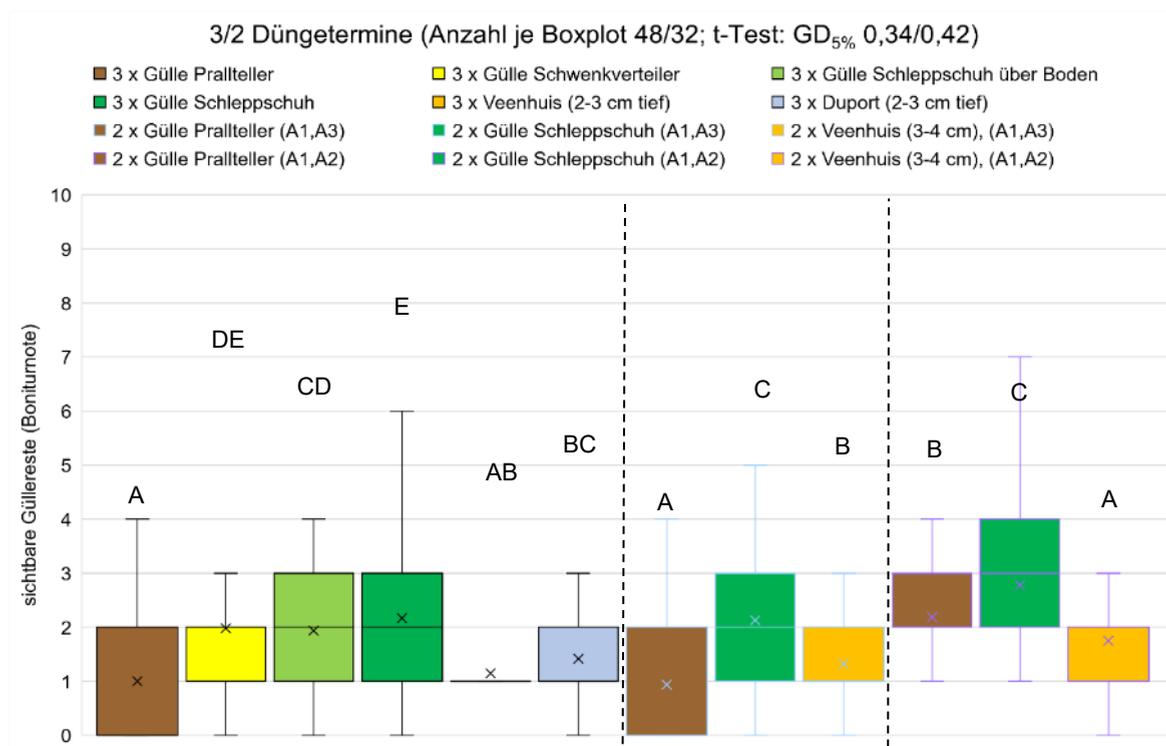


Abbildung 39: Boniturnoten der sichtbaren Güllereste (2020 bis 2023) bei den unterschiedlichen Applikationstechniken am Versuchstandort Bad Windsheim (Die Signifikanzniveaus beziehen sich auf die jeweilige Vergleichsgruppe (3 bzw. 2 jährliche Düngetermine))

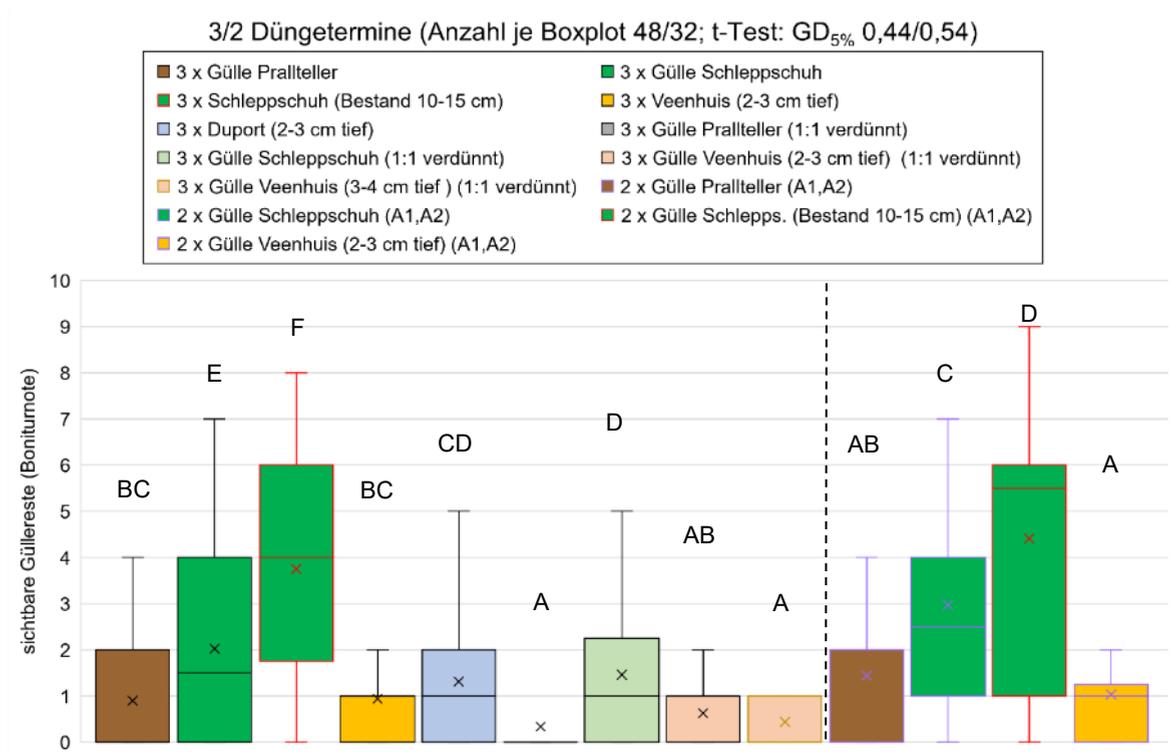


Abbildung 40: Boniturnoten der sichtbaren Güllereste (2020 bis 2023) bei den unterschiedlichen Applikationstechniken am Versuchsstandort Ebensfeld (Die Signifikanzniveaus beziehen sich auf die jeweilige Vergleichsgruppe (3 bzw. 2 jährliche Düngetermine))

Sowohl die Varianztabelle als auch die Abbildungen zeigen, dass die Niveaus der boniterten sichtbaren Güllereste standortspezifisch unterschiedlich waren. In Rüdenhausen, dem Standort, an dem die höchsten Düngemengen appliziert wurden, ergaben sich demzufolge auch die höchsten Boniturnoten. In Ebensfeld wurden etwas höhere Werte als bei dem in der Höhe identisch gedüngten Standort Bad Windsheim festgestellt. Positiv anzumerken ist, dass sich standortübergreifend bei keiner der getesteten Applikationstechniken im Mittel eine höhere Boniturnote als 4,2 ergab. Damit lagen die, nach dem hier angesetzten Bewertungsmaßstab, mittleren sichtbaren Güllereste deutlich unter 7 und damit in einem unproblematischen Bereich (siehe auch Kapitel 2.1.8). Allerdings sollte an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass in Rüdenhausen und Ebensfeld vereinzelt auch Werte im kritischen Bereich (Boniturnote 7-9) festgestellt wurden.

Hinsichtlich der Reihung der verschiedenen Applikationstechniken zeigten sich standortübergreifend ähnliche Muster. Bei einer Ausbringung der Gülle mittels Prallteller oder bodennaher Injektionstechnik (Scheibenschlitzgräte) unabhängig von einer Gülleverdünnung (siehe Standort Ebensfeld) ergaben sich die niedrigsten Werte. Signifikant höhere Werte ergaben sich bei einer Gülleausbringung mit dem Schwenkverteiler. Während in Rüdenhausen mit einer Ausbringung mittels Schleppschuh sowie Schleppschuh über Boden signifikant höhere Werte als bei einer Düngung mittels Schwenkverteiler festgestellt wurden, lagen in Bad Windsheim diese drei Varianten auf einem ähnlichen Niveau. An allen Standorten, unabhängig von der Anzahl der jährlichen Düngetermine, wurden, sofern getestet, bei

der Variante Schleppschuh in den wachsenden Bestand (Bestandshöhe 10-15 cm) die höchsten Boniturnoten festgestellt. Die Mittelwerte waren jeweils signifikant höher als bei einer Applikation mittels Schleppschuh bei einer Bestandshöhe von 6-8 cm. Am Standort Ebensfeld wurden beim Einsatz von Prallteller und Schlitztechnik jeweils in Kombination mit Gülleverdünnung die niedrigsten Werte festgestellt.

Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Praxis kann festhalten werden, dass die immer wieder diskutierten augenscheinlich festgestellten höheren Güllereste („Güllewürste“) beim Einsatz bodennaher Ausbringtechniken für den Schleppschuh bestätigt werden konnten. Allerdings liegen die vergleichsweise schlechteren Werte in einem, nach dem Boniturschema definierten, unbedenklichen Bereich. Ferner konnten mit der qualitativen Bestimmung des Rohaschegehalts als Parameter zur Bewertung der Futtermittelverschmutzung nahezu keine Unterschiede zwischen den Applikationstechniken festgestellt werden.

Literaturverzeichnis

Buchen-Tschiskale, C., Fuß, R., Well, R., Reinsch, T., Taube, F., Kormala Nyameasem, J., Zutz, M., Kluß, C., Ruser, R., Müller, T., Essich, C., Olf, H., ten Huf, M., Recke, G., Jorisson, T., Jensen, S., Flessa, H. (2022):

GülleBest: Mit welcher Technik lassen sich Gülle und Gärreste emissionsarm ausbringen?

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Projektbrief 2022/41, 2 S.

Bundesministerium der Justiz (Stand 2021):

Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV); Stand August 2021, S. 8 (2021a), S. 23 (2021b)

Frick R., H. Menzi, P. Katz (1996):

Ammoniakverluste nach Hofdüngeranwendung. Stark unterschiedliche Verluste je nach Bedingungen. FAT-Bericht Nr. 486 (1996), Hrsg.: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-Tänikon, S. 9-10

Harms, K., Misthilger, B., Schneider, M., Schättler, J., Pflanzelt, S., Volkmer, S., Spiekers, H., Schwaiger, K., Guldimann, C., Geißler, H., Diepolder, M., Raschbacher, S., Goppelt, J., Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (LfL- AQU3) (2022):

Endbericht des Forschungsprojekts „Einflussfaktor Gülleapplikationstechnik auf die Futterhygiene“ Kurztitel: Grashygiene (A/19/13), S. 17-23

Harms, K., Spiekers, H., Misthilger, B., Schneider, Volkmer, S., Würfel, S., Guldimann, C., Geißler, H., Diepolder, M., Raschbacher, S., Goppelt, J., Abteilung Laboranalytik (LfL- AL3, Grub), Heinz, M., Hofmockel, J. Tröster, M., BaySG (Grub und Achselschwang) (2024):

Endbericht des Forschungsprojekts „Einflussfaktor Gülleapplikationstechnik auf die Futterhygiene im Praxismaßstab (Grashygiene 2)“ (A/21/19), S. 19-25

Huguenin-Elie, O., Nyfeler, D., Ammann, C., Latsch, A., Richnert, W.:

Einfluss der Gülleapplikationstechnik auf Ertrag und Stickstoffflüsse im Grasland
Broschüre der Serie Tieremissionen 2018, S. 238

Klapp, E., Stählin, A. (1936):

Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistung des Grünlandes, Ulmer-Verlag, Stuttgart

Knöferl, R., Diepolder, M., Offenberger, K., Raschbacher, S., Brandl, M., Kavka, A., Hippich, L., Schmücker, R. Sperger, C., Kalmbach, S.:

Basisdaten-Tabelle 5a

Leitfaden für Düngung von Acker- und Grünland, S. 104

Lorenz, F. und Steffens G. (2011):

Entwicklung und Überprüfung von Techniken zur Gülleausbringung auf Grünland mit geringer Ammoniak- und Geruchsfreisetzung, geringer Nitratwaschung und guter Ertragswirkung.

Gülle 11: Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, internationale Tagung im Kloster Reuthe (D), 51-54.

Offenberger, K., Mikolajewski, S., Sitte, W., Sperger, C., Wendland, M. (2017):

Ammoniakverluste nach der Aufbringung von flüssigen organischen Düngern
Kongressband 129. VDLUFA-Kongress 2017 in Freising, S. 192-196

Rösemann, C., Haenel, H-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., Fuß, R. (2021):

Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2019: Report zu Methoden und Daten (RMD) Berichterstattung 2021.
Thünen Rep 67

Umweltbundesamt (2022): Ammoniak-Emissionen, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschaedstoff-emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen#entwicklung-seit-1990> (Zugriff am 08.11.2024).

4 Danksagung

An vorderster Stelle gilt der Dank den Kollegen Benno Schmitt, Dominik Schmitt, Florian Bleicher und Julian Goppelt. Ohne deren gewissenhafter Arbeitsweise und weit über das übliche Maß hinaus gehenden Einsatzes wäre ein erfolgreicher Projektverlauf, unter den schwierigen Rahmenbedingungen, nicht möglich gewesen. Ferner war die äußerst kollegiale Zusammenarbeit, insbesondere im Hinblick auf das zur Verfügung stellen von notwendigen Maschinen und Geräten, mit dem Staatsgut Schwarzenau (BaySG) von Bedeutung. Ein besonderer Dank gilt den für die Außenwirtschaft zuständigen Mitarbeitern für die ausgesprochen gute Kooperations- und Hilfsbereitschaft und deren positive Einstellung, immer alles möglich zu machen.

Ein herzliches Dankeschön gilt den landwirtschaftlichen Betrieben für das zur Verfügung stellen der Versuchsflächen, die unkomplizierte Zusammenarbeit, deren Hilfe und das Rücksichtnehmen auf die Besonderheiten des Versuchswesens.

Für die Zusammenarbeit sei den Kollegen der Versuchszentren Nord-West Bayern sowie Nord-Ost Bayern ebenso, wie der Abteilung Laboranalytik (LfL) und dem Fachzentrum für Analytik (LWG) für die Durchführung der Untersuchungen und der Arbeitsgruppe IPZ 1e (LfL) für die kollegiale Zusammenarbeit und die Datenverwaltung in PIAF gedankt.

Auf keinen Fall unerwähnt sollen die Kolleginnen und Kollegen, die zum einen auf eine sehr spontane Art und Weise bei Personalmangel bei der Versuchsdurchführung behilflich waren und zum anderen durch einen fachlichen Austausch zum Gelingen des Projekts mit beigetragen haben, bleiben.

Zu guter Letzt sei dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Finanzierung des Projektes gedankt.

5 Anhang

Erhebungsbogen zur Dokumentation der Ausbringzeiten für die unterschiedlichen Applikationstechniken beim Versuch 460

Ort: Rüdenhausen

Datum:

Mittlere Bestandshöhe in cm:

Applikationstermin (Zutreffendes ankreuzen):

| | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| zum 1. Aufwuchs | zum 2. Aufwuchs | zum 3. Aufwuchs | zum 4. Aufwuchs |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|

Ausbringzeiten der unterschiedlichen Applikationstechniken:

| Applikationstechnik (Versuchsglieder) (Gedüngte Versuchsglieder ankreuzen) | Uhrzeit |
|---|------------------------------|
| Prallteller (9/19): | von bis |
| Schwenkverteiler (20): | von bis |
| Schleppschuh (10/12/16/17/18): | von bis |
| Schlitztechnik Veenhuis (11/14/15): | von bis |
| Schlitztechnik Du Port (13): | von bis |

Bodenzustand während der Applikation (Zutreffendes ankreuzen):

| | | | | |
|---------------------------------------|---------|--------|------|-----------|
| sehr trocken (z.B. Schrumpfungsrisse) | trocken | feucht | nass | sehr nass |
|---------------------------------------|---------|--------|------|-----------|

Himmel während und in den folgenden 2h nach der Applikation (Zutreffendes ankreuzen):

| | | |
|--------|-------------------|---------|
| sonnig | teilweise bewölkt | bedeckt |
|--------|-------------------|---------|

Schlitztiefe ~~Veenhuis~~ in cm (flach/tief):

Schlitztiefe Du Port in cm:

Bemerkung:

.....

.....

.....

Abbildung 41: Beispiel eines Erhebungsbogens zur Dokumentation der Ausbringzeiten für die unterschiedlichen Applikationstechniken

Tabelle 29: Mittlere TM-Erträge der einzelnen Aufwüchse sowie die TM-Gesamtjahreserträge in den einzelnen Jahren am Standort Rüdenhausen

| Vgl. | Variante | mittlere TM -Erträge (dt/ha) | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|------------------------------|------|------|-----------------|--------------|-------|------|------|-------------|
| | | Aufwuchs (Mittel 20-23) | | | | Jahressummen | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 ¹⁾ | 2000 | 2021 | 2022 | 2023 | Mittel |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 14,9 | 9,5 | 8,7 | 6,4 | 31,2 | 43,4 | 23,7 | 40,7 | 34,7 |
| 2 | 45 N KAS + PK | 18,9 | 12,2 | 12,5 | 10,3 | 40,6 | 61,7 | 34,0 | 48,4 | 46,2 |
| 3 | 90 N KAS + PK | 25,7 | 14,1 | 13,4 | 12,8 | 48,5 | 76,9 | 44,3 | 56,0 | 56,4 |
| 4 | 135 N KAS + PK | 28,8 | 17,7 | 16,9 | 16,7 | 58,4 | 94,8 | 52,4 | 64,7 | 67,6 |
| 5 | 195 N KAS + PK | 35,6 | 18,8 | 18,6 | 19,7 | 65,5 | 109,6 | 62,2 | 74,6 | 78,0 |
| 6 | 135 N + PK o. auf, 3 x Schlepp. | 30,2 | 17,9 | 17,0 | 17,0 | 58,9 | 101,7 | 54,7 | 62,1 | 69,3 |
| 7 | 135 N + PK o. auf, 3 x Veenh. | 28,5 | 15,4 | 16,7 | 15,5 | 52,6 | 95,4 | 49,3 | 60,6 | 64,5 |
| 8 | 135 N + PK o. auf, 2 ²⁾ x Veenh. | 28,4 | 16,2 | 15,8 | 16,8 | 54,0 | 96,3 | 49,6 | 58,6 | 64,6 |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller ²⁾ | 26,1 | 11,2 | 11,7 | 10,4 | 39,0 | 70,2 | 42,0 | 55,5 | 51,7 |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh ²⁾ | 30,6 | 13,2 | 12,3 | 13,5 | 49,1 | 82,8 | 48,1 | 58,0 | 59,5 |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis ²⁾ 3-4cm tief | 27,6 | 12,1 | 13,2 | 13,8 | 45,5 | 80,3 | 45,6 | 54,2 | 56,4 |
| 12 | 2 x Gülle Schlepps. ²⁾ (10-15cm) | 27,7 | 12,7 | 13,1 | 13,3 | 46,5 | 79,1 | 42,0 | 59,9 | 56,9 |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3cm tief | 27,7 | 13,3 | 13,0 | 11,7 | 46,9 | 80,5 | 43,6 | 56,4 | 56,8 |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3cm tief | 24,0 | 13,7 | 13,0 | 11,0 | 43,0 | 76,4 | 41,7 | 52,8 | 53,5 |
| 15 | 3 x Gülle Veenh. (10-15cm) | 22,2 | 13,9 | 13,8 | 12,2 | 41,8 | 78,4 | 38,9 | 53,1 | 53,0 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 26,2 | 14,3 | 12,9 | 12,6 | 45,9 | 83,2 | 41,6 | 55,8 | 56,6 |
| 17 | 3 x Gülle Schlepps.(10-15cm) | 25,3 | 14,3 | 12,8 | 11,6 | 47,2 | 80,1 | 38,2 | 56,1 | 55,4 |
| 18 | 3 x Gülle Schlepps. ü. Boden | 25,9 | 14,1 | 13,0 | 12,8 | 44,1 | 81,5 | 40,1 | 58,9 | 56,1 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 21,6 | 12,2 | 11,3 | 9,3 | 39,6 | 65,9 | 35,2 | 49,1 | 47,4 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 24,0 | 12,4 | 12,4 | 10,7 | 40,5 | 72,8 | 40,9 | 51,8 | 51,5 |
| t-Test GD_{5%} | | | | | | | | | | 4,1 |

1) 4. Aufwuchs nur im Jahr 2021 (die geplante Düngung zum 3. Aufwuchs erfolgte erst zum 4. Aufwuchs, der 3. Aufwuchs wurde nicht gedüngt)

2) zu den Aufwüchsen 1 und 3

Tabelle 30: Mittlere TM-Erträge der einzelnen Aufwüchse sowie die TM-Gesamtjahreserträge in den einzelnen Jahren am Standort Bad Windsheim

| Vgl. | Variante | mittlere TM -Erträge (dt/ha) | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|------------------------------|------|------|-----------------|--------------|-------|------|------|-------------|
| | | Aufwuchs (Mittel 20-24) | | | | Jahressummen | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 ¹⁾ | 2000 | 2021 | 2022 | 2023 | Mittel |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 14,2 | 13,5 | 10,4 | 12,7 | 31,7 | 54,3 | 23,5 | 55,5 | 41,3 |
| 2 | 45 N KAS + PK | 21,5 | 18,2 | 12,8 | 10,9 | 42,7 | 68,3 | 35,1 | 75,3 | 55,3 |
| 3 | 90 N KAS + PK | 26,7 | 21,1 | 14,1 | 9,5 | 50,5 | 83,4 | 40,2 | 83,0 | 64,3 |
| 4 | 135 N KAS + PK | 32,1 | 24,5 | 14,2 | 11,6 | 57,6 | 99,6 | 48,7 | 89,0 | 73,7 |
| 5 | 195 N KAS + PK | 36,4 | 23,9 | 16,7 | 11,5 | 71,6 | 107,9 | 50,2 | 89,9 | 79,9 |
| 6 | 135 N + PK o. auf, 3 x Schlepp. | 29,9 | 25,4 | 15,0 | 9,2 | 59,0 | 91,7 | 46,6 | 93,2 | 72,6 |
| 7 | 135 N + PK o. auf, 3 x Veenh. | 29,4 | 24,8 | 13,1 | 9,4 | 57,9 | 84,6 | 45,7 | 90,5 | 69,7 |
| 8 | 135 N + PK o. auf, 2 ²⁾ x Veenh. | 30,0 | 24,7 | 13,4 | 9,6 | 56,8 | 89,2 | 44,1 | 92,1 | 70,5 |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller ²⁾ | 24,6 | 16,8 | 11,3 | 10,1 | 42,6 | 65,9 | 36,8 | 75,7 | 55,2 |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh ²⁾ | 25,4 | 18,0 | 11,6 | 9,6 | 46,2 | 72,5 | 36,2 | 74,9 | 57,4 |
| 11 | 2 x Gülle Veenhuis ²⁾ 3-4 cm tief | 25,8 | 16,6 | 12,6 | 11,9 | 43,5 | 73,7 | 38,2 | 76,6 | 58,0 |
| 12 | 2 x Gülle Schleppschuh ³⁾ | 24,1 | 22,3 | 12,7 | 11,0 | 48,0 | 77,5 | 42,8 | 79,2 | 61,9 |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3 cm tief | 25,0 | 17,9 | 12,9 | 11,5 | 45,9 | 76,3 | 34,5 | 77,9 | 58,6 |
| 14 | 3 x Gülle Veenhuis 2-3 cm tief | 25,4 | 17,8 | 13,0 | 12,3 | 46,8 | 74,6 | 37,9 | 77,7 | 59,3 |
| 15 | 2 x Gülle Veenh. ³⁾ 3-4 cm tief | 26,4 | 20,2 | 12,4 | 12,8 | 48,0 | 75,8 | 44,6 | 80,4 | 62,2 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 24,6 | 20,6 | 13,7 | 10,7 | 44,6 | 75,2 | 40,9 | 85,8 | 61,6 |
| 17 | 2x Gülle Prallteller ³⁾ | 24,8 | 17,5 | 13,1 | 12,1 | 46,4 | 75,5 | 36,8 | 75,6 | 58,6 |
| 18 | 3 x Gülle Schlepps. ü. Boden | 25,5 | 21,2 | 13,4 | 12,4 | 45,7 | 77,7 | 42,5 | 87,3 | 63,3 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 22,3 | 17,5 | 11,5 | 9,5 | 39,7 | 65,0 | 38,6 | 71,8 | 53,8 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 23,0 | 20,0 | 12,2 | 9,1 | 47,2 | 65,7 | 37,5 | 79,5 | 57,5 |
| t-Test GD_{5%} | | | | | | | | | | 4,8 |

1) 4. Aufwuchs nur im Jahr 2021

2) zu den Aufwüchsen 1 und 3

3) zu den Aufwüchsen 1 und 2

Tabelle 31: Mittlere TM-Erträge der einzelnen Aufwüchse sowie die TM-Gesamtjahreserträge in den einzelnen Jahren am Standort Ebenfeld

| Vgl. | Variante | mittlere TM -Erträge (dt/ha) | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|------------------------------|------|------|-----------------|--------------|-------|------|------|-------------|
| | | Aufwuchs (Mittel 20-24) | | | | Jahressummen | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 ¹⁾ | 2000 | 2021 | 2022 | 2023 | Mittel |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 14,7 | 10,0 | 10,4 | 7,5 | 29,8 | 37,0 | 32,0 | 49,2 | 37,0 |
| 2 | 40N KAS + PK | 20,4 | 14,9 | 13,5 | 7,6 | 45,9 | 54,7 | 40,2 | 62,2 | 50,7 |
| 3 | 80 N KAS + PK | 23,5 | 15,5 | 15,8 | 9,2 | 53,9 | 66,9 | 41,9 | 65,4 | 57,0 |
| 4 | 120 N KAS + PK | 30,4 | 18,7 | 18,5 | 9,4 | 73,0 | 84,1 | 47,9 | 74,8 | 69,9 |
| 5 | 180 N KAS + PK | 39,6 | 19,9 | 20,3 | 11,2 | 78,2 | 104,2 | 67,2 | 81,0 | 82,6 |
| 6 | 120 N + PK o. auf + 3 x Wasser | 29,2 | 18,1 | 17,3 | 7,9 | 65,7 | 80,0 | 51,6 | 69,0 | 66,6 |
| 7 | 120 N + PK o. auf, 3 x Schlepp. | 31,6 | 18,2 | 18,0 | 10,5 | 62,5 | 92,0 | 54,9 | 72,1 | 70,4 |
| 8 | 120 N + PK o. auf, 3 x DuPort | 27,8 | 19,1 | 17,5 | 8,8 | 69,0 | 80,0 | 49,3 | 68,0 | 66,6 |
| 9 | 120 N + PK o. auf, 3 x Veenh. | 28,9 | 19,0 | 17,6 | 9,3 | 70,6 | 82,3 | 52,4 | 65,9 | 67,8 |
| 10 | 120 N + PK o. auf, 2 x Veenh. ²⁾ | 29,5 | 19,2 | 19,2 | 9,9 | 66,1 | 88,7 | 53,5 | 73,5 | 70,5 |
| 11 | 3 x Gülle (Stand.) Prallteller | 24,8 | 13,4 | 14,0 | 11,6 | 43,9 | 67,1 | 39,1 | 70,5 | 55,1 |
| 12 | 3 x Gülle (Stand.) Schleppschuh | 26,4 | 15,2 | 15,7 | 12,5 | 49,9 | 76,8 | 44,2 | 70,7 | 60,4 |
| 13 | 3 x Gülle (Stand.) Veenh. 2-3 cm | 27,0 | 15,4 | 16,0 | 12,9 | 55,1 | 75,3 | 44,8 | 71,4 | 61,6 |
| 14 | 3 x Gülle (Stand.) Duport 2-3 cm | 23,3 | 14,8 | 15,1 | 13,3 | 47,8 | 74,6 | 39,4 | 64,5 | 56,6 |
| 15 | 3 x Gü. (Stand.) Schl. (10-15 cm) | 22,6 | 14,2 | 15,7 | 13,9 | 47,7 | 73,0 | 40,3 | 62,8 | 55,9 |
| 16 | 2 x Gü. ²⁾ (Stand.) Schl. (10-15 cm) | 25,8 | 17,3 | 15,5 | 13,0 | 55,3 | 79,2 | 41,1 | 71,8 | 61,8 |
| 17 | 2 x Gülle ²⁾ (Stand.) Prallteller | 24,4 | 13,7 | 14,6 | 10,8 | 47,3 | 68,2 | 41,3 | 65,1 | 55,5 |
| 18 | 2 x Gülle ²⁾ (Stand.) Schleppschuh | 30,1 | 17,5 | 15,0 | 10,8 | 53,5 | 77,3 | 50,7 | 79,5 | 65,3 |
| 19 | 2 x Gü. ²⁾ (Stand.) Veenh. 3-4 cm tief | 27,8 | 19,1 | 14,3 | 11,0 | 61,6 | 75,7 | 44,4 | 74,1 | 63,9 |
| 20 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Prallteller | 26,7 | 14,4 | 13,4 | 11,4 | 55,2 | 70,2 | 40,4 | 63,4 | 57,3 |
| 21 | 3 x Gülle (1:1) Schleppschuh | 29,8 | 16,3 | 15,7 | 12,2 | 55,7 | 83,8 | 49,4 | 70,7 | 64,9 |
| 22 | 3 x Gülle (1:1) Veenhuis 2-3 cm tief | 24,5 | 14,3 | 14,7 | 10,9 | 47,0 | 68,5 | 43,8 | 65,7 | 56,3 |
| 23 | 3 x Gülle (1:1) Veenhuis 4-5 cm tief | 25,8 | 15,0 | 14,5 | 11,5 | 50,2 | 68,7 | 42,8 | 71,2 | 58,2 |
| 24 | 3 x Gü., Schl. (A1,A2) ³⁾ , Venn. A3 ⁴⁾ | 28,7 | 16,3 | 14,6 | 11,5 | 55,7 | 76,7 | 45,6 | 72,1 | 62,5 |
| t-Test GD_{5%} | | | | | | | | | | 4,8 |

1) 4. Aufwuchs (ohne Düngung) nur im Jahr 2021

2) zu den Aufwüchsen 1 und 2

3) Gülle (1:1 verdünnt)

4) Standardgülle

Tabelle 32: Mittlere (2020 bis 2023) Rohproteingehalte der einzelnen Aufwüchse am Standort Rüdenhausen

| Vgl. | Variante | Rohproteingehalte (Mittel 20-23) in g/kg TM | | | |
|------|--|---|-----|-----|------------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 ¹⁾ |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 140 | 145 | 125 | 167 |
| 2 | 45 N KAS + PK | 142 | 149 | 130 | 172 |
| 3 | 90 N KAS + PK | 143 | 148 | 138 | 177 |
| 4 | 135 N KAS + PK | 162 | 161 | 147 | 186 |
| 5 | 195 N KAS + PK | 169 | 179 | 167 | 202 |
| 6 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Schleppschuh | 156 | 164 | 147 | 186 |
| 7 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Schlitz hydr. | 159 | 162 | 149 | 196 |
| 8 | 135 N KAS + PK o. a., 2 x Schlitz hydr.(A1,A3) | 161 | 165 | 152 | 204 |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller (A1,A3) | 147 | 152 | 129 | 180 |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh (A1,A3) | 146 | 154 | 129 | 187 |
| 11 | 2 x Gülle Schlitz hydr. (A1,A3) 3-4cm tief | 153 | 162 | 132 | 184 |
| 12 | 2 x Gülle Schlepps. (A1,A3) (10-15cm) | 155 | 166 | 136 | 190 |
| 13 | 3 x Gülle Duport 2-3cm tief | 155 | 157 | 135 | 193 |
| 14 | 3 x Gülle Schlitz hydr. 2-3cm tief | 154 | 155 | 135 | 188 |
| 15 | 3 x Gülle Schlitz hydr. (10-15cm) | 104 | 152 | 138 | 180 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 146 | 146 | 132 | 176 |
| 17 | 3 x Gülle Schleppschuh (10-15cm) | 149 | 156 | 137 | 187 |
| 18 | 3 x Gülle Schleppschu über Boden | 145 | 146 | 130 | 177 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 148 | 145 | 133 | 175 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 148 | 146 | 132 | 177 |

1) 4. Aufwuchs nur im Jahr 2021 (die geplante Düngung zum 3. Aufwuchs erfolgte erst zum 4. Aufwuchs, der 3. Aufwuchs wurde nicht gedüngt)

Tabelle 33: Mittlere (2020 bis 2023) Rohproteingehalte der einzelnen Aufwüchse am Standort Bad Windsheim

| Vgl. | Variante | Rohproteingehalte (Mittel 20-23) in g/kg TM | | | |
|------|---|---|-----|-----|------------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 ¹⁾ |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 141 | 123 | 168 | 148 |
| 2 | 45 N KAS + PK | 151 | 130 | 174 | 139 |
| 3 | 90 N KAS + PK | 155 | 132 | 182 | 127 |
| 4 | 135 N KAS + PK | 157 | 138 | 186 | 120 |
| 5 | 195 N KAS + PK | 175 | 148 | 197 | 124 |
| 6 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Schleppschuh | 161 | 143 | 186 | 119 |
| 7 | 135 N KAS + PK o. auf, 3 x Schlitz hydr. | 171 | 150 | 194 | 123 |
| 8 | 135 N KAS + PK o. a., 2 x Schlitz hydr. (A1,A3) | 166 | 140 | 188 | 116 |
| 9 | 2 x Gülle Prallteller (A1,A3) | 149 | 124 | 182 | 133 |
| 10 | 2 x Gülle Schleppschuh (A1,A3) | 150 | 123 | 177 | 128 |
| 11 | 2 x Gülle Schlitz hydr. (A1,A3) 3-4 cm tief | 152 | 124 | 188 | 134 |
| 12 | 2 x Gülle Schleppschuh (A1,A2) | 147 | 129 | 176 | 127 |
| 13 | 3 x Gülle Schlitz mech. 2-3 cm tief | 148 | 125 | 183 | 125 |
| 14 | 3 x Gülle Schlitz hydr. 2-3 cm tief | 146 | 130 | 179 | 132 |
| 15 | 2 x Gülle Schlitz hydr. (A1,A2) 3-4 cm tief | 148 | 129 | 182 | 127 |
| 16 | 3 x Gülle Schleppschuh | 141 | 127 | 176 | 132 |
| 17 | 2x Gülle Prallteller (A1,A2) | 150 | 129 | 178 | 128 |
| 18 | 3 x Gülle Schleppschuh ü. Boden | 148 | 128 | 179 | 130 |
| 19 | 3 x Gülle Prallteller | 146 | 129 | 178 | 140 |
| 20 | 3 x Gülle Schwenkverteiler | 149 | 125 | 172 | 136 |

1) 4. Aufwuchs (ohne Düngung) nur im Jahr 2021

Tabelle 34: Mittlere (2020 bis 2023) Rohproteingehalte der einzelnen Aufwüchse am Standort Ebensfeld

| Vgl. | Variante | Rohproteingehalte (Mittel 20-23) in g/kg TM | | | |
|------|--|---|-----|-----|------------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 ¹⁾ |
| 1 | ohne N-Düngung + PK | 120 | 113 | 152 | 139 |
| 2 | 40N KAS + PK | 125 | 111 | 149 | 130 |
| 3 | 80 N KAS + PK | 131 | 116 | 149 | 115 |
| 4 | 120 N KAS + PK | 134 | 126 | 153 | 119 |
| 5 | 180 N KAS + PK | 153 | 145 | 172 | 124 |
| 6 | 120 N KAS + PK o. auf + 3 x Wasser | 137 | 127 | 154 | 122 |
| 7 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x Schlepp. | 145 | 133 | 160 | 120 |
| 8 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x Schlitz mech. | 144 | 126 | 160 | 117 |
| 9 | 120 N KAS + PK o. auf, 3 x Schlitz hydr. | 139 | 129 | 158 | 121 |
| 10 | 120 N KAS + PK o. auf, 2 x Schlitz hydr.. (A1,A2) | 147 | 130 | 158 | 120 |
| 11 | 3 x Gülle (Stand.) Prallteller | 133 | 126 | 157 | 136 |
| 12 | 3 x Gülle (Stand.) Schleppschuh | 131 | 118 | 159 | 126 |
| 13 | 3 x Gülle (Stand.) Schlitz hydr. 2-3 cm tief | 136 | 123 | 159 | 130 |
| 14 | 3 x Gülle (Stand.) Schlitz hydr. 2-3 cm tief | 134 | 117 | 158 | 127 |
| 15 | 3 x Gü. (Stand.) Schlepp. (10-15 cm) | 136 | 123 | 159 | 121 |
| 16 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Schl. (10-15 cm) | 140 | 128 | 158 | 121 |
| 17 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Prallteller | 133 | 124 | 150 | 126 |
| 18 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Schleppschuh | 133 | 125 | 156 | 129 |
| 19 | 2 x Gülle (A1,A2,Stand.) Schlitz hydr. 3-4 cm tief | 133 | 121 | 155 | 119 |
| 20 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Prallteller | 131 | 117 | 158 | 120 |
| 21 | 3 x Gülle (1:1 verdünnt) Schleppschuh | 132 | 113 | 161 | 126 |
| 22 | 3 x Gülle (1:1 verd.) Schlitz hydr. 2-3 cm tief | 132 | 118 | 162 | 130 |
| 23 | 3 x Gülle (1:1 verd.) Schlitz hydr. 4-5 cm tief | 132 | 118 | 157 | 125 |
| 24 | Schl. (A1,A2 verd.), Schlitz hydr. (A3, Stand.) | 136 | 120 | 156 | 127 |

1) 4. Aufwuchs (ohne Düngung) nur im Jahr 2021

Tabelle 35: N_{Ges}- Erträge der unterschiedlichen Applikationstechniken im Vergleich zur Referenztechnik Prallteller bei unterschiedlichen Vegetationsbedingungen am Standort Rüdenhausen

| Technik | Vegetationsbedingungen ¹⁾ | N _{Ges} Düngung | | N _{Ges} -Ertrag | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----|--------------------------|----------------|
| | | Mittel (kg N/ha) | n | Mittel (kg N/ha) | relativ (%) |
| Mineraldünger | alle | 30 | 48 | 43,1 | - |
| | günstig | 30 | 32 | 55,6 | - |
| | ungünstig | 30 | 16 | 18,25 | - |
| Prallteller | alle | 70 | 48 | 35,0 | 100 |
| | günstig | 70 | 32 | 44,9 | 100 |
| | ungünstig | 70 | 16 | 15,4 | 100 |
| Schwenk-verteiler | alle | 70 | 48 | 38,2 | 109 |
| | günstig | 70 | 32 | 49,3 | 110 |
| | ungünstig | 70 | 16 | 16,3 | 105 |
| Schleppschuh über Boden | alle | 70 | 48 | 41,4 | 118 |
| | günstig | 70 | 32 | 52,9 | 118 |
| | ungünstig | 70 | 16 | 18,3 | 119 |
| Schleppschuh | alle | 70 | 48 | 41,6 | 119 |
| | günstig | 70 | 32 | 53,1 | 118 |
| | ungünstig | 70 | 16 | 18,7 | 121 |
| Schleppschuh (10-15 cm) | alle | 70 | 48 | 43,2 | 123 |
| | günstig | 70 | 32 | 124 | 124 |
| | ungünstig | 70 | 16 | 18,1 | 117 |
| Schlitztechnik Veenhuis | alle | 70 | 48 | 42,1 | 120 |
| | günstig | 70 | 32 | 53,8 | 120 |
| | ungünstig | 70 | 16 | 18,6 | 121 |
| Schlitztechnik Veenhuis (10-15 cm) | alle | 70 | 48 | 40,6 | 116 |
| | günstig | 70 | 32 | 51,9 | 116 |
| | ungünstig | 70 | 16 | 18,0 | 117 |
| Schlitztechnik Duport | alle | 70 | 48 | 45,1 | 129 |
| | günstig | 70 | 32 | 59,1 | 131 |
| | ungünstig | 70 | 16 | 17,3 | 112 |

Hinweis: Zur Einschätzung des Ertragsniveaus sind in den ersten Zeilen die Ergebnisse der ausschließlich mineralisch gedüngten Variante 3 (30 kg N/ha und Aufwuchs) angegeben.

1) günstig: ausreichende Wasserversorgung (TM-Erträge >20dt TM/ha und Aufwuchs); ungünstig: mangelhafte Wasserversorgung (TM Erträge <20dt TM/ha und Aufwuchs)

Tabelle 36: N_{Ges}- Erträge der unterschiedlichen Applikationstechniken im Vergleich zur Referenztechnik Prallteller bei unterschiedlichen Vegetationsbedingungen am Standort Bad Windsheim

| Technik | Vegetationsbedingungen ¹⁾ | N _{Ges} Düngung | | N _{Ges} -Ertrag | |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----|--------------------------|----------------|
| | | Mittel (kg N/ha) | n | Mittel (kg N/ha) | relativ (%) |
| Mineraldünger | alle | 30 | 48 | 49,3 | - |
| | günstig | 31,5 | 24 | 71,3 | - |
| | ungünstig | 29 | 24 | 27,4 | - |
| Prallteller | alle | 57 | 48 | 39,8 | 100 |
| | günstig | 60 | 24 | 55,2 | 100 |
| | ungünstig | 54 | 24 | 24,4 | 100 |
| Schwenk-verteiler | alle | 57 | 48 | 42,1 | 106 |
| | günstig | 60 | 24 | 58,4 | 106 |
| | ungünstig | 54 | 24 | 25,9 | 106 |
| Schleppschuh über Boden | alle | 57 | 48 | 46,7 | 117 |
| | günstig | 60 | 24 | 64,6 | 117 |
| | ungünstig | 54 | 24 | 28,7 | 118 |
| Schleppschuh | alle | 57 | 48 | 44,7 | 112 |
| | günstig | 60 | 24 | 61,6 | 112 |
| | ungünstig | 54 | 24 | 27,8 | 114 |
| Schlitztechnik Veenhuis | alle | 57 | 48 | 43,9 | 110 |
| | günstig | 60 | 24 | 61,4 | 111 |
| | ungünstig | 54 | 24 | 26,5 | 109 |
| Schlitztechnik Duport | alle | 57 | 48 | 43,5 | 109 |
| | günstig | 60 | 24 | 60,7 | 110 |
| | ungünstig | 54 | 24 | 26,4 | 108 |

Hinweis: Zur Einschätzung des Ertragsniveaus sind in den ersten Zeilen die Ergebnisse der ausschließlich mineralisch gedüngten Variante 3 (36/27/27 kg N/ha und Aufwuchs_{1/2/3}) angegeben.

1) günstig: ausreichende Wasserversorgung (TM-Erträge >20dt TM/ha und Aufwuchs); ungünstig: mangelhafte Wasserversorgung (TM Erträge <20dt TM/ha und Aufwuchs)

Tabelle 37 N_{Ges}- Erträge der unterschiedlichen Applikationstechniken im Vergleich zur Referenz Prallteller bei unterschiedlichen Vegetationsbedingungen am Standort Ebenfeld

| Technik | Vegetationsbedingungen ¹⁾ | N _{Ges} Düngung | | N _{Ges} -Ertrag | |
|--|--------------------------------------|--------------------------|----|--------------------------|----------------|
| | | Mittel (kg N/ha) | n | Mittel (kg N/ha) | relativ (%) |
| Mineraldünger | alle | 27 | 48 | 37,6 | - |
| | günstig | 29 | 28 | 43,4 | - |
| | ungünstig | 24 | 20 | 29,5 | - |
| Prallteller | alle | 57 | 48 | 37,0 | 100 |
| | günstig | 61 | 28 | 42,6 | 100 |
| | ungünstig | 51 | 20 | 29,3 | 100 |
| Schleppschuh | alle | 57 | 48 | 40 | 108 |
| | günstig | 61 | 28 | 46,4 | 109 |
| | ungünstig | 51 | 20 | 31,3 | 107 |
| Schleppschuh (10-15 cm) | alle | 57 | 48 | 37,8 | 102 |
| | günstig | 61 | 28 | 43,8 | 103 |
| | ungünstig | 51 | 20 | 29,4 | 100 |
| Schlitztechnik Veenhuis | alle | 57 | 48 | 42,0 | 113 |
| | günstig | 61 | 28 | 48,9 | 115 |
| | ungünstig | 51 | 20 | 32,4 | 111 |
| Schlitztechnik Duport | alle | 57 | 48 | 37,6 | 101 |
| | günstig | 61 | 28 | 43,4 | 102 |
| | ungünstig | 51 | 20 | 29,5 | 101 |
| Prallteller (Gülle 1:1) | alle | 57 | 48 | 37,4 | 101 |
| | günstig | 61 | 28 | 45,7 | 107 |
| | ungünstig | 51 | 20 | 25,9 | 88 |
| Schleppschuh (Gülle 1:1) | alle | 57 | 48 | 42,8 | 116 |
| | günstig | 61 | 28 | 51,5 | 121 |
| | ungünstig | 51 | 20 | 38,7 | 105 |
| Schlitztechnik Veenhuis (Gülle 1:1) | alle | 57 | 48 | 37,9 | 102 |
| | günstig | 61 | 28 | 44,4 | 104 |
| | ungünstig | 51 | 20 | 28,7 | 98 |
| Schlitztechnik Veenhuis (4-5 cm tief) (Gülle 1:1) | alle | 57 | 48 | 38,7 | 105 |
| | günstig | 61 | 28 | 45,7 | 107 |
| | ungünstig | 51 | 20 | 28,9 | 99 |

Hinweis: Zur Einschätzung des Ertragsniveaus sind in den ersten Zeilen die Ergebnisse der ausschließlich mineralisch gedüngten Variante 3 (32/24/24 kg N/ha und Aufwuchs_{1/2/3}) angegeben.

1) günstig: ausreichende Wasserversorgung (TM-Erträge >20dt TM/ha und Aufwuchs); ungünstig: mangelhafte Wasserversorgung (TM Erträge <20dt TM/ha und Aufwuchs)

Tabelle 38: N_{Ges}- Erträge der unterschiedlichen Applikationstechniken im Vergleich zur Referenztechnik Prallteller bei unterschiedlichen Temperaturen während und nach der Ausbringung am Standort Rüdenhausen

| Technik | Kategorie ²⁾ | N _{Ges} Düngung | | N _{Ges} -Ertrag | | mittl. Wetterbedingungen bei der Ausbringung ¹⁾ | | |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|----|--------------------------|----------------|--|------------------|------------|
| | | Mittel (kg N/ha) | n | Mittel (kg N/ha) | relativ (%) | Temp. (°C) | Windg. (km/h) | NS (mm) |
| Mineral- dünger | alle | 30 | 48 | 43,0 | - | 17,2 | 3,3 | 0,1 |
| | >12 °C | 30 | 32 | 34,7 | - | 20,2 | 2,8 | 0,0 |
| | <12 °C | 30 | 16 | 60,0 | - | 11,5 | 4,2 | 0,4 |
| Prallteller | alle | 70 | 48 | 35,0 | 100 | 17,0 | 3,2 | 0,1 |
| | >12 °C | 70 | 32 | 27,0 | 100 | 20,0 | 2,7 | 0,0 |
| | <12 °C | 70 | 16 | 51,3 | 100 | 11,0 | 4,2 | 0,4 |
| Schwenk- verteiler | alle | 70 | 48 | 38,2 | 109 | 17,4 | 3,4 | 0,1 |
| | >12 °C | 70 | 32 | 29,5 | 109 | 20,5 | 2,8 | 0,0 |
| | <12 °C | 70 | 16 | 55,8 | 109 | 11,4 | 4,6 | 0,4 |
| Schlepp- schuh ü. Boden | alle | 70 | 48 | 41,4 | 118 | 17,3 | 3,0 | 0,1 |
| | >12 °C | 70 | 32 | 31,6 | 117 | 20,4 | 2,7 | 0,0 |
| | <12 °C | 70 | 16 | 61,0 | 119 | 11,2 | 3,5 | 0,3 |
| Schlepp- schuh | alle | 70 | 48 | 41,6 | 119 | 17,3 | 3,0 | 0,1 |
| | >12 °C | 70 | 32 | 31,8 | 118 | 20,4 | 2,7 | 0,0 |
| | <12 °C | 70 | 16 | 61,4 | 120 | 11,1 | 3,4 | 0,3 |
| Schlitz- technik Veenhuis | alle | 70 | 48 | 42,1 | 120 | 17,3 | 3,5 | 0,1 |
| | >12 °C | 70 | 32 | 33,9 | 126 | 19,8 | 2,9 | 0,0 |
| | <12 °C | 70 | 16 | 58,3 | 114 | 12,4 | 4,6 | 0,4 |
| Schlitz- technik Duport | alle | 70 | 48 | 45,1 | 129 | 17,0 | 3,3 | 0,1 |
| | >12 °C | 70 | 32 | 34,4 | 128 | 19,6 | 2,8 | 0,0 |
| | <12 °C | 70 | 16 | 66,6 | 130 | 11,9 | 4,4 | 0,3 |

Hinweis: Zur Einschätzung des Ertragsniveaus sind in den ersten Zeilen die Ergebnisse der ausschließlich mineralisch gedüngten Variante 3 (30 kg N/ha und Aufwuchs) angegeben.

1) Mittlere Temperaturen (Ausbringzeitpunkt und folgende 4h), mittlere Windgeschwindigkeiten (Ausbringzeitpunkt und folgende 4h) und die im Mittel gefallenen Niederschlag innerhalb 24 Stunden nach der Gülleausbringung

2) Die Ergebnisse der gedüngten Aufwüchse wurden in Abhängigkeit der Ausbringbedingungen verschiedenen Kategorien zugeordnet.

Tabelle 39: N_{Ges}- Erträge der unterschiedlichen Applikationstechniken im Vergleich zur Referenztechnik Prallteller bei unterschiedlichen Temperaturen während und nach der Ausbringung am Standort Bad Windsheim

| Technik | Kategorie ²⁾ | N _{Ges} Düngung | | N _{Ges} -Ertrag | | mittl. Wetterbedingungen bei der Ausbringung ¹⁾ | | |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|----|--------------------------|----------------|--|------------------|------------|
| | | Mittel (kg N/ha) | n | Mittel (kg N/ha) | relativ (%) | Temp. (°C) | Windg. (km/h) | NS (mm) |
| Mineral- dünger | alle | 29 | 48 | 49,28 | - | 13,1 | 3,7 | 1,1 |
| | >12 °C | 27 | 20 | 43,03 | - | 20,9 | 2,8 | 0,0 |
| | <12 °C | 32 | 28 | 53,8 | - | 7,5 | 4,3 | 1,9 |
| Prallteller | alle | 57 | 48 | 39,8 | 100 | 13,2 | 3,9 | 1,0 |
| | >12 °C | 51 | 20 | 35,0 | 100 | 21,2 | 3,0 | 0,0 |
| | <12 °C | 61 | 28 | 43,1 | 100 | 7,5 | 4,5 | 1,8 |
| Schwenk- verteiler | alle | 57 | 48 | 42,1 | 106 | 13,2 | 3,7 | 1,0 |
| | >12 °C | 51 | 20 | 36,8 | 105 | 21,4 | 2,8 | 0,0 |
| | <12 °C | 61 | 28 | 45,9 | 107 | 7,3 | 4,3 | 1,8 |
| Schlepp- schuh ü. Boden | alle | 57 | 48 | 46,7 | 117 | 13,1 | 3,7 | 1,1 |
| | >12 °C | 51 | 20 | 40,2 | 114 | 20,4 | 2,7 | 0,0 |
| | <12 °C | 61 | 28 | 51,3 | 119 | 7,8 | 4,4 | 1,8 |
| Schlepp- schuh | alle | 57 | 48 | 44,7 | 112 | 13,1 | 3,7 | 1,1 |
| | >12 °C | 51 | 20 | 39,8 | 113 | 20,4 | 2,7 | 0,0 |
| | <12 °C | 61 | 28 | 48,2 | 112 | 7,8 | 4,4 | 1,8 |
| Schlitz- technik Veenhuis | alle | 57 | 48 | 43,9 | 110 | 13,1 | 3,6 | 1,1 |
| | >12 °C | 51 | 20 | 37,0 | 106 | 21,0 | 2,8 | 0,0 |
| | <12 °C | 61 | 28 | 48,9 | 113 | 7,4 | 4,2 | 1,9 |
| Schlitz- technik Duport | alle | 57 | 48 | 43,5 | 109 | 13,0 | 3,6 | 1,2 |
| | >12 °C | 51 | 20 | 35,6 | 102 | 20,8 | 2,8 | 0,0 |
| | <12 °C | 61 | 28 | 49,2 | 114 | 7,4 | 4,2 | 2,1 |

Hinweis: Zur Einschätzung des Ertragsniveaus sind in den ersten Zeilen die Ergebnisse der ausschließlich mineralisch gedüngten Variante 3 (36/27/27 kg N/ha und Aufwuchs1/2/3) angegeben.

1) Mittlere Temperaturen (Ausbringzeitpunkt und folgende 4h), mittlere Windgeschwindigkeiten (Ausbringzeitpunkt und folgende 4h) und die im Mittel gefallenen Niederschlag innerhalb 24 Stunden nach der Gülleausbringung

2) Die Ergebnisse der gedüngten Aufwüchse wurden in Abhängigkeit der Ausbringbedingungen verschiedenen Kategorien zugeordnet.

Tabelle 40: N_{Ges}-Erträge der unterschiedlichen Applikationstechniken im Vergleich zur Referenztechnik Prallteller bei unterschiedlichen Temperaturen während und nach der Ausbringung am Standort Ebensfeld

| Technik | Kategorie ²⁾ | N _{Ges} Düngung | | N _{Ges} -Ertrag | | mittl. Wetterbedingungen bei der Ausbringung ¹⁾ | | |
|---|-------------------------|--------------------------|----|--------------------------|----------------|--|------------------|------------|
| | | Mittel (kg N/ha) | n | Mittel (kg N/ha) | relativ (%) | Temp. (°C) | Windg. (km/h) | NS (mm) |
| Mineraldünger | alle | 27 | 48 | 37,6 | - | 17,7 | 2,3 | 5,0 |
| | >12 °C | 25 | 32 | 33,1 | - | 21,5 | 2,1 | 6,0 |
| | <12 °C | 30 | 16 | 46,6 | - | 10,1 | 2,9 | 3,2 |
| Prallteller | alle | 57 | 48 | 37,0 | 100 | 17,2 | 2,1 | 5,1 |
| | >12 °C | 53 | 32 | 31,3 | 100 | 21,6 | 2,1 | 6,0 |
| | <12 °C | 64 | 16 | 48,6 | 100 | 8,3 | 2,3 | 3,3 |
| Schleppschuh | alle | 57 | 48 | 40 | 108 | 17,9 | 2,4 | 5,1 |
| | >12 °C | 53 | 32 | 34,2 | 109 | 21,6 | 2,1 | 6,0 |
| | <12 °C | 64 | 16 | 52,0 | 107 | 10,6 | 3,2 | 3,3 |
| Schlitztechnik Veenhuis | alle | 57 | 48 | 42,0 | 113 | 17,5 | 2,3 | 4,9 |
| | >12 °C | 53 | 32 | 36,0 | 115 | 21,5 | 2,2 | 6,0 |
| | <12 °C | 64 | 16 | 54,1 | 111 | 9,6 | 2,6 | 2,7 |
| Schlitztechnik Duport | alle | 57 | 48 | 37,6 | 101 | 16,4 | 2,2 | 5,1 |
| | >12 °C | 53 | 32 | 32,1 | 103 | 20,8 | 2,0 | 6,0 |
| | <12 °C | 64 | 16 | 48,6 | 100 | 7,6 | 2,4 | 3,3 |
| Prallteller (Gülle 1:1) | alle | 57 | 48 | 37,4 | 101 | 18,4 | 2,4 | 5,0 |
| | >12 °C | 53 | 32 | 29,9 | 96 | 21,6 | 2,1 | 6,0 |
| | <12 °C | 64 | 16 | 52,5 | 108 | 11,9 | 3,1 | 3,2 |
| Schleppschuh (Gülle 1:1) | alle | 57 | 48 | 42,8 | 116 | 18,3 | 2,5 | 5,1 |
| | >12 °C | 53 | 32 | 35,4 | 113 | 21,7 | 2,1 | 6,0 |
| | <12 °C | 64 | 16 | 57,6 | 119 | 11,4 | 3,3 | 3,3 |
| Schlitz. Veenhuis (Gülle 1:1) | alle | 57 | 48 | 37,9 | 102 | 17,8 | 2,4 | 5,0 |
| | >12 °C | 53 | 32 | 33,1 | 106 | 21,5 | 2,1 | 6,0 |
| | <12 °C | 64 | 16 | 47,4 | 98 | 10,5 | 3,0 | 3,0 |
| Schlitz. Veenhuis 4-5 cm tief (Gülle 1:1) | alle | 57 | 48 | 38,7 | 105 | 17,8 | 2,4 | 5,0 |
| | >12 °C | 53 | 32 | 32,6 | 104 | 21,5 | 2,1 | 6,0 |
| | <12 °C | 64 | 16 | 51,0 | 105 | 10,5 | 3,0 | 3,0 |

Hinweis: Zur Einschätzung des Ertragsniveaus sind in den ersten Zeilen die Ergebnisse der ausschließlich mineralisch gedüngten Variante 3 (32/24/24 kg N/ha und Aufwuchs1/2/3) angegeben.

1) Mittlere Temperaturen (Ausbringzeitpunkt und folgende 4h), mittlere Windgeschwindigkeiten (Ausbringzeitpunkt und folgende 4h) und die im Mittel gefallenen Niederschlag innerhalb 24 Stunden nach der Gülleausbringung

2) Die Ergebnisse der gedüngten Aufwüchse wurden in Abhängigkeit der Ausbringbedingungen verschiedenen Kategorien zugeordnet