



HOCHSCHULE
NEUBRANDENBURG
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft & Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Agrarwirtschaft B. Sc.

Einfluss einer Gärrestgabe und des Einsatzes eines Nitrifikationshemmers auf die Produktivität von Winterweizen im Vergleich zur mineralischen Düngung im Feldversuch

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science (B.Sc.)

Vorgelegt von:

Norman Pfeiffer

Erstprüferin:

Frau Prof. Dr. Silvia Bachmann-Pfabe

Zweitprüfer:

Herr Prof. Dr. Eike Stefan Döbers

Tag der Einreichung:

04.02.2025

URN:

urn:nbn:de:gbv:519-thesis-2024-0711-6

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	iv
Danksagung	vii
1 Einleitung	1
2 Stand des Wissens	3
2.1 Kennzahlen des Winterweizenanbaus	3
2.2 Düngung von E-Weizen	4
2.3 Vorzüge einer organischen Düngung	5
2.4 Wirkungsweise von Nitrifikationshemmer	8
3 Material und Methoden	9
3.1 Versuchsstandort	9
3.1.1 Landwirtschaftsbetrieb	9
3.1.2 Versuchsfläche	10
3.1.3 Wetter und Klima	11
3.2 Versuchsplanung	13
3.2.1 Düngungsplan	13
3.2.2 Versuchsaufbau	18
3.3 Datenerhebung	20
3.3.1 Stickstoffmessungen	20
3.3.2 Ernte	21
3.3.3 Qualitätsuntersuchung	22
3.3.4 Berechnungen und Statistik	23
4 Ergebnisse	27
4.1 Ergebnisse Feldversuch	27
4.1.1 Stickstoffaufnahme-Messung	27
4.1.1.1 Analyse der Varianten	28
4.1.1.2 Analyse der Standorte	28

4.1.1.3	Analyse der Interaktion von Variante und Standort	29
4.1.1.4	Analyse der Wiederholungen.....	30
4.1.1.5	Analyse der Korrelationen.....	31
4.1.2	Ernteergebnisse	31
4.1.2.1	Analyse der Varianten	33
4.1.2.2	Analyse der Standorte.....	36
4.1.2.3	Analyse der Interaktion von Variante und Standort	40
4.1.2.4	Analyse der Wiederholungen.....	41
4.1.2.5	Analyse der Korrelationen	42
4.2	Ergebnisse Kostenrechnung.....	44
4.2.1	Düngemittleinsparung der Varianten	44
4.2.2	Ausbringungskosten der Varianten.....	47
5	Diskussion	48
5.1	Versuchsplanung und Versuchsdurchführung	48
5.2	Stickstoff-Messungen	48
5.3	Ernteergebnisse	50
5.3.1	Ährenanzahl.....	50
5.3.2	Spindelstufen	51
5.3.3	Strohertrag	52
5.3.4	Kornertrag.....	53
5.3.5	Harvest-Index.....	54
5.3.6	Einzelährenertrag.....	55
5.3.7	Tausendkorngewicht.....	55
5.3.8	Hektolitergewicht	56
5.3.9	Rohprotein	57
5.3.10	Fallzahl	58
5.3.11	Stickstoffentzug und Stickstoffsaldo	58
5.4	Düngeersparnis und Ausbringungskosten der Düngevarianten	59
6	Zusammenfassung.....	62
	Bibliografie.....	64
	Eidesstattliche Erklärung	67
	Anhang	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Trockensubstanz, organische Substanz und Nährstoffgehalte verschiedener organischer Düngemittel im Vergleich Quelle: LWK Niedersachsen, 2021 (eigene Darstellung 2025)	7
Tabelle 2:	Tabellarischer Vergleich der Stickstoffgaben im Vegetationsverlauf je Variante in Kilogramm Stickstoff je Hektar (eigene Darstellung 2025)	17
Tabelle 3:	N-Tester-Werte der verschiedenen Messtermine mit Anzahl, Mittelwert, Minimum, Maximum, Standard-Abweichung und Spannweite (eigene Darstellung 2024)	27
Tabelle 4:	Ernteergebnisse gesamt mit Anzahl, Mittelwert, Minimum, Maximum, Standard-Abweichung und Spannweite (eigene Darstellung 2024)	32
Tabelle 5:	Signifikante Korrelationen zwischen den Ertrags- und Qualitätskriterien (eigene Darstellung 2025).....	43
Tabelle 6:	Berechnung der praktischen Düngeersparnis der Gärrestvariante gegenüber der mineralischen Variante in Euro je Hektar (eigene Darstellung 2024)	45
Tabelle 7:	Berechnung des Kostenausgleichs der Nährstoffdifferenz der Gärrest Variante zur mineralischen Variante (eigene Darstellung 2024)	46
Tabelle 8:	Kurzfassung der Berechnung und des Vergleichs der Ausbringkosten der Düngevarianten in Euro je Hektar (eigene Darstellung 2024)	47
Tabelle 9:	Untersuchung der ausgebrachten Gärreste hinsichtlich der Nährstoffgehalte durch die LUFA Rostock, Probe entnommen aus dem Ausbringfass am Tag der Ausbringung (eigene Darstellung 2024)	69
Tabelle 10:	Untersuchung der Qualitäten des geernteten Weizens vom mittleren Gärrestpunkt der zweiten Wiederholung im Vergleich zwischen der Analyse der LUFA Rostock und der eigenen Analyse (eigene Darstellung 2024).....	69
Tabelle 11:	Berechnung der Ausbringungskosten der verschiedenen Düngevarianten (eigene Darstellung 2024)	69

Tabelle 12:	Mittelwerte der N-Tester-Messungen je Düngevariante, Standort und Wiederholung (eigene Darstellung 2025)	70
Tabelle 13:	Mittelwerte der Ernteparameter je Düngevariante, Standort und Wiederholung (eigene Darstellung 2025)	70
Tabelle 14:	Varianzanalyse der Stickstoffmessungen zu den drei Messterminen (eigene Darstellung 2025)	71
Tabelle 15:	Post-hoc-Test der Stickstoffmessungen zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)	72
Tabelle 16:	Post-hoc-Test der Stickstoffmessungen zwischen den Standorten.....	73
Tabelle 17:	Post-hoc-Test der Stickstoffmessungen zwischen den Wiederholungen (eigene Darstellung 2025).....	74
Tabelle 18:	Korrelationsanalyse der N-Tester-Werte (eigene Darstellung 2025).....	74
Tabelle 19:	Varianzanalyse der Ernteergebnisse (eigene Darstellung 2025).....	75
Tabelle 20:	Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)	79
Tabelle 21:	Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Standorten.....	84
Tabelle 22:	Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Wiederholungen (eigene Darstellung 2025).....	87
Tabelle 23:	Korrelationsanalyse der Ernteergebnisse Teil 1 (eigene Darstellung 2025)	90
Tabelle 24:	Korrelationsanalyse der Ernteergebnisse Teil 2 (eigene Darstellung 2025)	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bodenschätzung der Versuchsfläche - hinterlegt mit einem Luftbild des Gerstenbestands aus dem Juni 2022 (Geoportal-MV)	11
Abbildung 2:	Monatssumme der Niederschläge und Monatsmittel der Temperatur im Anbaujahr 2023-2024 für Goldberg (eigene Darstellung 2024).....	12

Abbildung 3:	Monatssummen der Niederschläge des Anbaujahres 2023-2024 und dem dreißigjährigen Mittel der Jahre 1991-2020 im Vergleich (eigene Darstellung 2024)	13
Abbildung 4:	Streifenablage der Gärreste in dem Weizenbestand mit einem Schleppschuhverteiler (eigene Darstellung 2024)	15
Abbildung 5:	Bonitur- und Erntepunkte des Versuchsfelds bearbeitet und überlagert mit QGIS mit einem Luftbild aus dem Jahr 2022 vom Geoportal-MV und zwei NDVI-Karten aus den Jahren 2019 und 2022 vom EO-Browser im Monat Juni mit der Fruchtart Gerste (eigene Darstellung 2024).....	18
Abbildung 6:	Beerntung der Boniturspunkte am 21.07.2024 mit einer Heckenschere (eigene Darstellung 2024)	21
Abbildung 7:	N-Tester Messwerte in relativen Einheiten des ersten Messtermins im April der verschiedenen Standorte (eigene Darstellung 2024).....	28
Abbildung 8:	N-Tester Messwerte in relativen Einheiten des dritten Messtermins im Juni der verschiedenen Standorte (eigene Darstellung 2024).....	29
Abbildung 9:	Interaktion von Variante und Standort in Bezug auf den N-Tester Wert in relativen Einheiten am ersten Messtermin im April (eigene Darstellung 2024)	30
Abbildung 10:	Ährenanzahl je Quadratmeter der verschiedenen Düngevarianten (eigene Darstellung 2024)	33
Abbildung 11:	Strohertrag in Gramm je Quadratmeter der verschiedenen Düngevarianten (eigene Darstellung 2024)	34
Abbildung 12:	Kornertrag in Gramm je Quadratmeter der verschiedenen Düngevarianten (eigene Darstellung 2024)	34
Abbildung 13:	Harvest-Index in Prozent je Düngevariante (eigene Darstellung 2024).....	35
Abbildung 14:	Hektolitergewicht in Kilogramm je Hektoliter der verschiedenen Düngevarianten (eigene Darstellung 2024)	36
Abbildung 15:	Ährenanzahl je Quadratmeter der verschiedenen Düngevarianten und Standorte (eigene Darstellung 2024)	37
Abbildung 16:	Strohertrag der verschiedenen Standorte als Frischmasse in Gramm je Quadratmeter (eigene Darstellung 2024)	37

Abbildung 17:	Kornertrag der verschiedenen Standorte als Frischmasse in Gramm je Quadratmeter (eigene Darstellung 2024)	38
Abbildung 18:	Harvest-Index in Prozent je Standort (eigene Darstellung 2024)	39
Abbildung 19:	Tausendkorngewicht in Gramm je Standort (eigene Darstellung 2024)	39
Abbildung 20:	Hektolitergewicht in Kilogramm je Hektoliter der verschiedenen Standorte (eigene Darstellung 2024)	40
Abbildung 21:	Interaktion von Düngevariante und Standort auf den Strohertrag als Frischmasse in Gramm je Quadratmeter (eigene Darstellung 2024)	41
Abbildung 22:	Düngebedarfsermittlung der Versuchsfläche erstellt mit dem Düngebedarfs- und -planungsprogramms M-V der LMS Agrarberatung GmbH (Agrargenossenschaft Groß Niendorf e. G. 2024)	68

Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen meines Bachelorstudiums an der Hochschule Neubrandenburg im Studiengang Agrarwirtschaft. Ich möchte mich bei allen Beteiligten herzlich bedanken, die mich während meines Studiums und meiner Abschlussarbeit unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meiner Erstbetreuerin, Frau Prof. Dr. Bachmann-Pfabe, für die Unterstützung bei der Findung des Themas sowie der Planung und Auswertung des Feldversuchs.

Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. Dobers, meinem Zweitbetreuer, für die Unterstützung in Fragen der Standortwahl, der Erntemethodik und des Pflanzenbaus.

Ich möchte auch Frau Weier für ihre Hilfe bei der Anwendung von QGIS danken. Dank ihrer Unterstützung konnten die Boniturstellen den Standorten entsprechend ihrer Güte auf dem Acker erfolgreich eingerichtet werden.

Ein herzliches Dankeschön geht ebenfalls an Herrn Schulze, Frau Kleist und Frau Schultze für die Bereitstellung der notwendigen Gerätschaften und die praktische Unterstützung bei der Umsetzung und Ergebniserfassung des Versuchs.

Ein besonderer Dank gilt der Agrargenossenschaft Groß Niendorf e. G., insbesondere dem Geschäftsführer Herrn Jörg Thieß, für die Unterstützung bei der Planung und Umsetzung des Versuchs. Erst durch seine Hilfe konnte das Projekt realisiert werden. Auch den Traktoristen der Agrargenossenschaft danke ich, die mit Sorgfalt und Engagement auf die genaue Umsetzung geachtet und den zusätzlichen Aufwand mitgetragen haben.

1 Einleitung

Die Weltproduktion von Weizen stellt einen bedeutenden Bestandteil der globalen Ernährung dar und ist in den letzten Jahren stetig gewachsen (Lütke Entrup & Schäfer, 2011). Im Anbaujahr 2023/2024 wurde Weizen weltweit auf 222,7 Millionen Hektar angebaut, wobei China und die Europäische Union die führenden Produzenten waren (Ahrens, 2024). In Deutschland ist Winterweizen mit einem Anteil von 43% der Gesamtgetreideanbaufläche die bedeutendste Getreide- und Weizenart. Im Jahr 2024 wurde ein Durchschnittsertrag von 72,4 Dezitonnen pro Hektar erzielt (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2024).

Weizen wird nicht nur als Nahrungsmittel für den Menschen genutzt, sondern auch als Futtermittel für Tiere und zur Energieproduktion. Die globale Produktion von Weizen lag im Jahr 2024 bei 796,2 Millionen Tonnen, während die Nachfrage 804,9 Millionen Tonnen betrug. Dies verdeutlicht eine leichte Angebotslücke und den weiterhin bestehenden Hunger von rund 733 Millionen Menschen weltweit, insbesondere in Afrika und Asien (Pott, 2024).

Deutschland ist ein bedeutender Exporteur von Weizen, da etwa ein Drittel des heimischen Weizens exportiert wird. In diesem Zusammenhang ist es von großer Bedeutung die Weizenproduktion zu steigern und gleichzeitig die Produktivität und Effektivität des Anbaus zu maximieren. Eine wichtige Rolle dabei spielen Düngemittel, insbesondere Stickstoff, der in hohen Mengen benötigt wird. Die Produktion von Stickstoffdünger erfordert jedoch erhebliche Mengen an Erdgas, was zu einer höheren Rohstoffabhängigkeit und Preisvolatilität führt. Die Herstellung von Ammoniak, einem Hauptbestandteil von Stickstoffdüngemitteln, verbraucht 1,8 bis 2,0 Kilogramm Erdgas pro Kilogramm Ammoniak (Knittel u. a., 2020).

In den letzten Jahren sind die Preise für Düngemittel aufgrund geopolitischer Unsicherheiten, insbesondere durch den Ukraine-Konflikt, stark gestiegen. Dies hat zu einer Reduzierung des Düngemittelabsatzes geführt und die Landwirtschaft vor Herausforderungen gestellt (Statistisches Bundesamt, 2022). In dieser Situation müssen Landwirte nach kostengünstigen Alternativen suchen, um den Ertrag und die Qualität für den Weltmarkt zu sichern, ohne die Umwelt und Ressourcen übermäßig zu belasten.

Organische Düngemittel, wie beispielsweise Gärreste, bieten eine umweltfreundliche Alternative zu synthetischen Düngemitteln. Sie sind nicht nur lokal verfügbar, wodurch der Transportweg verringert wird, sondern tragen auch zum Ressourcenschutz bei und erhöhen die Bodenfruchtbarkeit. Darüber hinaus fördern sie durch ihr breites Nährstoffspektrum das Pflanzenwachstum und können langfristig Erträge steigern. Durch die Kreislaufwirtschaft, die organische Düngemittel unterstützen, können landwirtschaftliche Betriebe unabhängiger von externen Rohstoffen werden. Oft werden diese organischen Substrate noch als Abfallprodukte gesehen und sind kostenlos oder preiswert verfügbar. Sie haben das Potential die Produktion zu sichern, den Einsatz von mineralischen Dünger zu reduzieren und den Weizen kostengünstiger zu erzeugen.

Diese Arbeit untersucht, ob ein teilweises Ersetzen von mineralischen Stickstoffdüngemitteln durch Gärreste im Winterweizenanbau zu ähnlichen Erträgen und Qualitäten führen kann, wie eine vollständige mineralische Stickstoffdüngung. Zudem wird die Wirkung des Nitrifikationshemmers Piadin untersucht, um die Nährstoffverfügbarkeit zu optimieren und die Umweltbelastung durch Nährstoffausträge zu reduzieren. Die Hypothesen dieser Arbeit lauten:

1. Eine teilweise Düngung mit Gärresten führt nicht zu Ertrags- oder Qualitätseinbußen im Vergleich zur vollständigen mineralischen Stickstoffdüngung.
2. Der Einsatz des Nitrifikationshemmers Piadin steigert den Kornertrag und den Rohproteingehalt von Winterweizen im Vergleich zur reinen Gärrestdüngung.
3. Der Ertragsunterschied zwischen schwächeren und stärkeren Teilflächen eines Ackers wird bei einer Gärrestdüngung stärker ausgeprägt sein.
4. Eine Düngung mit Gärresten führt zu einer Steigerung des Gewinns für den Landwirt im Vergleich zur vollständigen mineralischen Stickstoffdüngung.

Das Ziel der Arbeit ist es, eine Düngeempfehlung für Winterweizen mit Gärresten zu entwickeln, um den Einsatz mineralischer Düngemittel zu verringern und gleichzeitig den Ertrag und die Qualität zu sichern.

2 Stand des Wissens

2.1 Kennzahlen des Winterweizenanbaus

Im Jahr 2024 wurden in Deutschland insgesamt 2,49 Millionen Hektar Weizen angebaut, mit einem Durchschnittsertrag von 72,4 Dezitonnen pro Hektar (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2024). In Mecklenburg-Vorpommern betrug die Weizenanbaufläche 277.920 Hektar, wobei der Durchschnittsertrag bei 78 Dezitonnen pro Hektar lag. Der sechsjährige Durchschnitt für den Weizenertrag in Mecklenburg-Vorpommern liegt bei 75 Dezitonnen je Hektar (Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern (LAIV MV), 2024).

Die Zusammensetzung des Kornertrags wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, insbesondere durch die Bestandesdichte (Ährenzahl je Quadratmeter), die Kornzahl je Ähre und das Tausendkorngewicht. Für ein Ertragsziel von 70 Dezitonnen pro Hektar eines Einzelährentyps lauten die optimalen Werte wie folgt (Lütke Entrup & Schäfer, 2011):

- Ährenanzahl: 400 bis 450 Ähren pro Quadratmeter
- Kornzahl je Ähre: mehr als 40 Körner
- Tausendkorngewicht: zwischen 48 und 55 Gramm je tausend Körner

Für den Agrarhandel gelten zudem strenge Qualitätsanforderungen, wenn Weizen als Elite-Weizen eingestuft werden soll. Dieser muss folgende Kriterien erfüllen:

- Feuchtigkeit des Korns: maximal 14,5 Prozent
- Naturalgewicht: mindestens 78 Kilogramm je Hektoliter
- Proteingehalt: über 14 Prozent
- Fallzahl: mindestens 275 Sekunden

Diese Standards sichern die hohe Qualität des Weizens und stellen sicher, dass er den Anforderungen für den Handel und die Weiterverarbeitung gerecht wird (team agrar GmbH, 2024).

2.2 Düngung von E-Weizen

Stickstoff spielt eine zentrale Rolle im Wachstum und in der Entwicklung von Winterweizen, da dieser Nährstoff primär für die Bildung von Aminosäuren, Chlorophyll und Enzymen benötigt wird. Damit hat dieser direkten Einfluss auf den Ertrag sowie die Qualität des Weizens. Der Stickstoffbedarf von Winterweizen konzentriert sich insbesondere auf die Frühjahrsmonate, wo er in den kritischen Entwicklungsstadien ausreichend verfügbar sein sollte.

Für Qualitätsweizen, der einen Rohproteingehalt von mindestens 14 Prozent erzielen soll, gilt ein Stickstoffbedarf von 260 Kilogramm pro Hektar bei einem Ertrag von 80 Dezitonnen pro Hektar. Abhängig vom fünfjährigen Ertragsdurchschnitt wird dieser Bedarf angepasst. Weitere Faktoren wie die Vorfrucht, mineralisierter Stickstoff im Boden, Nachlieferung von Stickstoff aus organischen Düngemitteln des Vorjahres, sowie äußere Umstände wie das Wetter können den tatsächlichen Stickstoffbedarf beeinflussen. Das ermittelte Düngebedarfssaldo gibt an, welche Menge an Stickstoff noch ausgebracht werden muss, um den tatsächlichen Bedarf an Stickstoff zu decken (*Düngeverordnung - (DüV)*, 2020).

Die erste Stickstoffdüngung erfolgt zum Vegetationsbeginn und hat die Förderung der Triebanzahl pro Quadratmeter sowie die Entwicklung der Spindelstufen der Ähre zur Zielsetzung. Zu diesem Zeitpunkt werden etwa 60 bis 80 Kilogramm Stickstoff pro Hektar verabreicht, was einem Viertel bis einem Drittel des gesamten Stickstoffbedarfs entspricht. Dünnere oder schwach entwickelte Bestände erhalten tendenziell mehr Stickstoff, während dickere und stärker entwickelte Bestände weniger Stickstoff benötigen (Knittel u. a., 2020).

Die wichtigste Stickstoffdüngung erfolgt jedoch zum Zeitpunkt des Schossens. In der Phase des Streckungswachstums (EC 30) bis zum Ährenschieben (EC 49) nimmt der Winterweizen am meisten Stickstoff auf. In dieser Phase werden etwa 80 bis 130 Kilogramm Stickstoff pro Hektar aufgenommen. Zu Beginn des Schossens (EC 30-32) werden 25 bis 50 Prozent des gesamten Düngebedarfs ausgebracht, um starke Triebe und hohe Kornzahlen je Ähre zu fördern (Knittel u. a., 2020).

Die Spätdüngung erfolgt ab dem Ährenschieben (EC 49/51) bis zum Beginn der Blüte (EC 61) (Lütke Entrup & Schäfer, 2011). In der Kornfüllungsphase werden etwa 60 bis 100 Kilogramm Stickstoff pro Hektar aufgenommen. Eine frühere Stickstoffgabe fördert das Einzelkorngewicht, während eine spätere Gabe den Rohproteingehalt steigert (Knittel u. a., 2020).

Das Stickstoff-Saldo (Stickstoff-Zufuhr abzüglich Stickstoff-Abfuhr) sollte idealerweise positiv sein, um das volle Potenzial einer Sorte auszuschöpfen zu können und hohe Qualitäten zu erzielen. Ein positiver Stickstoff-Saldo zeigt, dass genügend Stickstoff zur Verfügung steht. Bei einem Saldo von bis zu 50 Kilogramm pro Hektar ist kein erhöhter mineralisierter Stickstoff im Boden (N-min) zu erwarten. Die Düngeverordnung setzte zeitweise den zulässigen Höchstwert für den Stickstoffüberschuss bei 50 Kilogramm Stickstoff pro Hektar an, hob diesen im Jahr 2020 wiederum auf (*Düngeverordnung* - (DüV), 2020). Fachliteratur empfiehlt einen Stickstoffsaldo im positiven Bereich bis zu 30 Kilogramm Stickstoff je Hektar, um die Austragungsgefahr gering zu halten und trotzdem die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten sowie einen Puffer für das Pflanzenwachstum zu bieten (Lütke Entrup & Schäfer, 2011).

Die Ausbringung organischer Dünger wie Gärreste sollte aufgrund der intensiven Frühjahrswachstumsperiode frühzeitig erfolgen. Organischer Stickstoff muss erst mineralisiert werden, was je nach Bodenbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit) einige Wochen bis Monate dauern kann. Eine frühe Ausbringung minimiert die Gefahr von Stickstoffverlusten in gasförmiger Form, die durch hohe Temperaturen und direkte Sonneneinstrahlung begünstigt werden kann. Zudem wird durch eine frühzeitige Ausbringung der Gärreste auch der möglichen unzureichenden Umsetzung aufgrund von Feuchtigkeitsmangel entgegengewirkt. Es muss jedoch zusätzlich beachtet werden, dass der frühe Ausbringungstermin hinsichtlich der Befahrbarkeit des Bodens und des Risikos der Nährstoffauswaschung sorgfältig abgewogen werden muss (Möller u. a., 2019).

2.3 Vorzüge einer organischen Düngung

Die Zufuhr organischer Substanz trägt nicht nur zur Erhaltung des Humusgehalts des Bodens bei, sondern kann diesen sogar steigern. Wirtschaftsdünger, als eine Form organischer Düngemittel, liefern nicht nur einzelne Nährstoffe, sondern versorgen den Boden und die Pflanzen mit einem breiten Spektrum an Nährstoffen (Tabelle 9). Beson-

ders ausgeprägt sind dabei die drei Grundnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium. Je nach Düngerart kann mit einer einzigen Ausbringung der Bedarf an diesen Nährstoffen ganz oder teilweise gedeckt werden.

Der Stickstoff in organischen Düngern liegt zum Teil in pflanzenverfügbarer Form als Ammonium und zum Teil in organisch gebundener Form vor. Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) in organischen Düngern ist hinsichtlich seiner Wirkung dem Ammonium-Stickstoff aus Mineraldüngern gleichzusetzen, sofern der Wirtschaftsdünger fachgerecht ausgebracht wird. Der Ammonium-Stickstoff wird daher in der Regel im Jahr der Ausbringung vollständig genutzt. Der organisch gebundene Stickstoff hingegen wird in die Bodensubstanz integriert und nach einer Mineralisierung in den Folgejahren verwertet. Die Vergärung organischer Dünger verbessert die Stickstoffverfügbarkeit, da Mikroorganismen die organische Substanz abbauen und mineralisieren (Schultheiß & Harder, 2006). Bei regelmäßiger organischer Düngung, beispielsweise mit Gülle auf Ackerland, wird im Jahr der Ausbringung eine Ausnutzung von etwa 50 Prozent des gesamten Stickstoffs erwartet. Im zweiten Jahr beträgt die Ausnutzung etwa 10 bis 20 Prozent und im dritten Jahr 5 bis 10 Prozent. So ergibt sich eine Langzeitwirkung, die den Düngebedarf in den Folgejahren reduziert (Knittel u. a., 2020).

Der Anteil an Ammonium-Stickstoff im verwendeten Gärrest beträgt 2,93 Kilogramm je Kubikmeter Substrat, während der Gesamtstickstoff bei 4,57 Kilogramm je Kubikmeter liegt. Rechnerisch wären somit bereits 64 Prozent des gesamten Stickstoffs im Jahr der Ausbringung pflanzenverfügbar. Nach der Düngeverordnung müssen mindestens 60 Prozent des Gesamtstickstoffs im Ausbringungsjahr und zehn Prozent des Gesamtstickstoffs im Folgejahr als pflanzenverfügbar angerechnet werden (*Düngeverordnung - (DüV)*, 2020).

Die Phosphat- und Kaliumversorgung in Wirtschaftsdüngern ist grundsätzlich in ihrer gesamten Menge pflanzenverfügbar. Das Phosphat liegt größtenteils als Phytinphosphat vor, das durch Mikroorganismen abgebaut wird. Im Jahr der Ausbringung wird eine Mineralisierung von 60 Prozent erwartet, während die restliche Freisetzung in den Folgejahren erfolgt. Kalium in organischer Substanz ist wasserlöslich und nicht in organischen Verbindungen eingebaut, was eine schnelle Verfügbarkeit für die Pflanzen bedeutet (Knittel u. a., 2020).

Die Versorgung mit Spurennährstoffen hängt von der Art des Wirtschaftsdüngers ab. Viehhaltende Betriebe haben häufig einen höheren Anteil an Spurennährstoffen, was eine gute Versorgung gewährleistet. Diese Menge wird jedoch stark durch die Fütterung der Tiere beeinflusst. Der Einsatz von Gülle bietet grundsätzlich eine hohe Versorgung mit Spurennährstoffen, wobei der Bor-Gehalt häufig niedrig ist und bei der Düngung in Abhängigkeit vom Bedarf der Kulturen berücksichtigt werden sollte (Knittel u. a., 2020).

Der Trockensubstanzgehalt, der organische Trockensubstanzgehalt und die Nährstoffgehalte können unter den verschiedenen organischen Düngemitteln sehr unterschiedlich sein. Nachfolgend wurden verschiedene Wirtschaftsdünger von Tieren und die im Versuch verwendeten Gärreste zum Vergleich dargestellt Tabelle 1.

Tabelle 1: Trockensubstanz, organische Substanz und Nährstoffgehalte verschiedener organischer Düngemittel im Vergleich Quelle: LWK Niedersachsen, 2021 (eigene Darstellung 2025)

Düngemittel	Trockensubstanzgehalt (%)	organischer Trockensubstanzgehalt (%)	Gesamtstickstoffgehalt (kg/m ³)	Ammoniumstickstoffanteil (kg/m ³)	Phosphor-pentoxid (kg/m ³)
Mastbullengülle	10	8	4,8	2,6	2,1
Milchkuh-/ Färsengülle Laufstall	8	6	3,7	1,7	1,5
Rindermist	23	17	5,0	0,5	3,2
Mastschwein- Gülle Durchschnit	6	5	5,5	3,3	2,7
Sauengülle Standard	4	3	4,5	2,7	2,6
Schweinemist	25	19	6,0	0,5	6,5
Hühnertrockenkot Standard	50	38	22,2	4,7	19,8
Hähnchenmist Standard	50	38	27,0	6,6	21
Im Versuch verwendete Gärreste	5,3	3,9	4,6	2,9	1,1

Der Einsatz organischer Dünger schont Ressourcen. Die Herstellung von Stickstoffdünger ist energieintensiv, da hierfür Erdgas benötigt wird, um synthetischen Stickstoff durch Ammoniaksynthese zu erzeugen. Dies macht die Düngerpreise abhängig von den

Energiekosten. Düngephosphate werden aus Gestein gewonnen und Kalium wird aus Salzen extrahiert. Beides sind endliche Ressourcen. Die Kreislaufwirtschaft organischer Dünger trägt zur Schonung dieser Ressourcen bei. Allerdings ist der Maschineneinsatz bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern höher, da die Nährstoffe schwächer konzentriert sind. Die Energieaufwendungen sind jedoch geringer als die der Düngemittelherstellung (Schultheiß & Harder, 2006).

2.4 Wirkungsweise von Nitrifikationshemmer

Bei kalten und nassen Böden sowie einer frühen Düngeapplikation besteht das Risiko, dass Pflanzenbestände nicht alle verfügbaren Nährstoffe, insbesondere Nitrat, effizient aufnehmen können. Dies kann zu Nährstoffverlusten durch Auswaschung in die wurzelfernen Schichten des Bodens führen. Besonders bei Kulturen mit langsamer Jugendentwicklung kann es sinnvoll sein, eine Stabilisierung des Düngers in Betracht zu ziehen.

Die Stabilisierung durch einen Nitrifikationshemmer verzögert die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat, indem die Nitrifikation gehemmt wird. Der verwendete Nitrifikationshemmer Piadin basiert auf den Wirkstoffen 3-Methylpyrazol und N-((3(5)-Methyl-1H-pyrazol-1-yl)methyl)acetamid (MPA) und wirkt gezielt auf die Bakterien *Nitrosomonas*, die für die Oxidation von Ammonium zu Nitrat verantwortlich sind. Diese Hemmung blockiert die Enzyme, die für die Nitrifikation erforderlich sind, und verlangsamt so den Umwandlungsprozess (SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, 2024). Dies ist besonders vorteilhaft auf leichten und auswaschungsgefährdeten Böden, da das hohe Risiko der Nährstoffauswaschung verringert und resultierend die Düngeeffizienz erhöht wird. Die Düngegaben können dadurch zusammengelegt werden können. Mit steigender Temperatur und der Aktivierung des Bodenlebens werden diese Stabilisatoren schließlich abgebaut. Die von Pflanzen bevorzugte Ammoniumernährung sowie die dem Wachstum angepasste Nachlieferung von Nitrat, führen zu pflanzenbaulichen Vorteilen, die das Wachstum und die Nährstoffaufnahme verbessern können (Fuchs, 2011).

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsstandort

3.1.1 Landwirtschaftsbetrieb

Der Feldversuch wurde im Anbaujahr 2023/2024 bei der Agrargenossenschaft Groß Niendorf e. G. durchgeführt. Der Landwirtschaftsbetrieb ist ein Haupterwerbsbetrieb in Mecklenburg-Vorpommern, im Landkreis Ludwigslust-Parchim. Die Agrargenossenschaft besteht seit 1990 und entstand aus einem Teil der ehemaligen LPG Pflanzenproduktion Zölkow.

Groß Niendorf liegt in der Bodengroßlandschaft der Grundmoränenplatten und lehmigen Endmoränen im Jungmoränengebiet Norddeutschlands. Das Ausgangsgestein der Bodenbildung ist Geschiebelehm (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2023). Die vorherrschenden Böden sind sandige bis sandig-lehmige Parabraunerden mit einer Bodengüte von 15 bis 55 Bodenpunkten (Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg Vorpommern and Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen, 2023). Diese Böden sind fruchtbar und bestens für die Pflanzenproduktion geeignet.

Der Landwirtschaftsbetrieb betreibt Ackerbau, Futterbau und eine Rindermast auf rund 1000 Hektar Ackerland und 150 Hektar Grünland. Auf den Ackerflächen werden in den Fruchtfolgen Weizen, Raps, Gerste, Triticale, Roggen, Zwischenfrüchte, Mais, Erbsen und Zuckerrüben angebaut. Der fünfjährige-Durchschnittsertrag von Winterweizen liegt bei 77 Dezitonnen Korn je Hektar Weizen.

Die Agrargenossenschaft pflügt regelmäßig, setzt chemischen Pflanzenschutz nach guter fachlicher Praxis ein, führt regelmäßige Grunddüngungen auf Grundlage von Bodenuntersuchungen durch und arbeitet mit drei- bis fünfgliedrigen Fruchtfolgen. Die Düngung erfolgt überwiegend mineralisch und teilweise organisch mit Festmist und Gülle der eigenen Rindermast sowie mit Gärresten aus einer benachbarten Biogasanlage.

Der Betrieb legt regelmäßig Sorten- und Saatversuche für verschiedene Züchter und Hersteller und für den eigenen Bedarf an. Zudem werden Flächen des Betriebes für Bonituren des Staatlichen Amts für Landwirtschaft und Umwelt Westmecklenburg (StALU) sowie des Landesamts für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LALLF) genutzt. Der Betrieb ist nahezu vollständig eigenmechanisiert. Ein Güllefass mit Schleppschuhgestänge wird für die Ausbringung der Gärreste und Gülle eingesetzt, während der Mineraldünger mit einem Zentrifugalstreuer verteilt wird.

3.1.2 Versuchsfläche

Die Versuchsfläche befindet sich am Ortsrand von Groß Niendorf, an der Verbindungsstraße nach Runow. Sie erstreckt sich über eine Fläche von 18,5 Hektar und weist sandige bis lehmige Böden auf. Die Bodenwertzahlen variieren zwischen 24 und 47 Bodenpunkten, wobei die Bodenarten Sand, anlehmiger Sand und lehmiger Sand vorliegen. Der westliche Teil der Fläche, in Richtung Runow, ist von sandigeren Arealen geprägt, was auf der linken Seite der nachfolgenden Grafik (Abb. 1) dargestellt ist. Dieser sandige Bereich wird von einem lehmigeren, schmalen Streifen durchzogen. Im östlichen Teil der Fläche, in Richtung Groß Niendorf, wird der Boden zunehmend lehmiger. Das Gelände ist von sanften Kuppen und Senken durchzogen und steigt in Richtung Osten leicht an, mit Höhenunterschieden von fünf bis acht Metern. Es gibt keine nennenswerten Hindernisse auf der Fläche. Seit Beginn der Bewirtschaftung durch die Agrargesellschaft wird der Ackerschlag einheitlich bearbeitet.



Abbildung 1: Bodenschätzung der Versuchsfläche - hinterlegt mit einem Luftbild des Gerstenbestands aus dem Juni 2022 (Geoportal-MV)

Die Vorfrucht des Weizens war Raps, der wiederum nach Gerste und Triticale angebaut wurde. Im Anbaujahr des Düngungsversuchs 2023/2024 wurde die Fläche mit Winterweizen der Sorte Ponticus bestellt. Ponticus ist ein Eliteweizen und Einzelährentyp. Der Weizen wurde am 21.09.2023 ausgedrillt und die Aussaatstärke betrug 240 keimfähige Körner je Quadratmeter. Die Bodenbearbeitung erfolgte pfluglos unter Verwendung eines Grubbers.

Die letzte Bodenuntersuchung wurde am 30.09.2022 durchgeführt. Die Bodenart wurde als anlehmgiger Sand klassifiziert, mit einem Humusgehalt zwischen 2,0 und 3,9 Prozent. Der pH-Wert des Bodens lag bei 6,3. Die Untersuchung der Grundnährstoffe ergab für Phosphor und Magnesium eine Versorgung der Stufe D und für Kalium der Stufe C.

3.1.3 Wetter und Klima

Die Klimadaten von Groß Niendorf wurden aus der 35 Kilometer entfernten Landeshauptstadt Schwerin herangezogen. Die Wetterdaten stammen von der 15 Kilometer entfernten Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in Goldberg. Groß Niendorf

befindet sich klimatisch im gemäßigten Kontinentalklima, wobei bei Nord- und Nordostwindlagen auch einige schwache maritime Einflüsse spürbar sind (Thomaß, 2024).

Im 30-jährigen Durchschnitt (1991–2020) liegt die Jahresmitteltemperatur in Groß Niendorf bei 9,2 Grad Celsius und die Jahresniederschlagssumme bei 598 Millimeter je Quadratmeter (Deutscher Wetterdienst (DWD), 2024). In der folgenden Grafik sind die Wetterdaten für das Anbaujahr 2023/2024 dargestellt (Abb. 2).

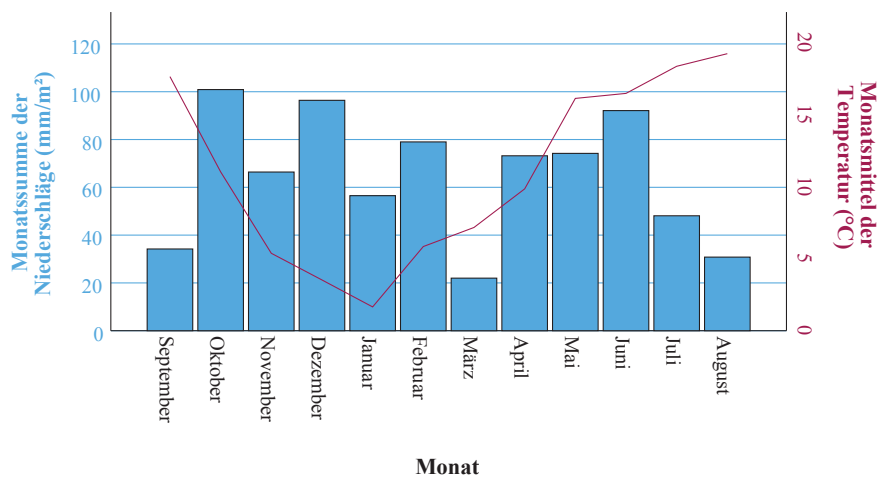


Abbildung 2: Monatssumme der Niederschläge und Monatsmittel der Temperatur im Anbaujahr 2023-2024 für Goldberg (eigene Darstellung 2024)

Zur Beurteilung der Niederschlagsmengen und deren Verteilung im Anbaujahr des Düngungsversuchs 2023/2024 wurden die Daten des 30-jährigen Mittels mit den Niederschlagsdaten des aktuellen Anbaujahres verglichen (Abb. 3). Es zeigte sich, dass die Niederschläge zum Zeitpunkt der Herbstbestellung und des Feldaufgangs des jungen Getreides deutlich erhöht waren. Besonders der Monat Oktober wies Niederschlagsmengen auf, die doppelt so hoch waren wie der 30-jährige Durchschnitt. Auch der November verzeichnete höhere Niederschlagsmengen als üblich. Diese überdurchschnittlichen Niederschläge setzten sich bis in den Februar fort. Der Februar gilt oft als Beginn der Vegetationsperiode. In dieser Zeit werden erste Düngemaßnahmen zur Pflanzenstärkung durchgeführt. Im Jahr 2024 war dies aufgrund der stark erhöhten Niederschlagsmengen erschwert. Erst der März brachte weniger Niederschlag als üblich und sorgte für bessere Bedingungen für das Frühjahrswachstum und die Düngung der Pflanzen. Die Monate von April bis Juni verzeichneten erneut erhöhte Niederschlagsmengen, die generell ein gutes Pflanzenwachstum unterstützten aber auch hohe Infektionsgefahren für Pilzkrankheiten bieten. Allerdings traten diese Nieder-

schläge nicht gleichmäßig auf, wodurch es einzelne Trockenphasen über mehrere Wochen gab.

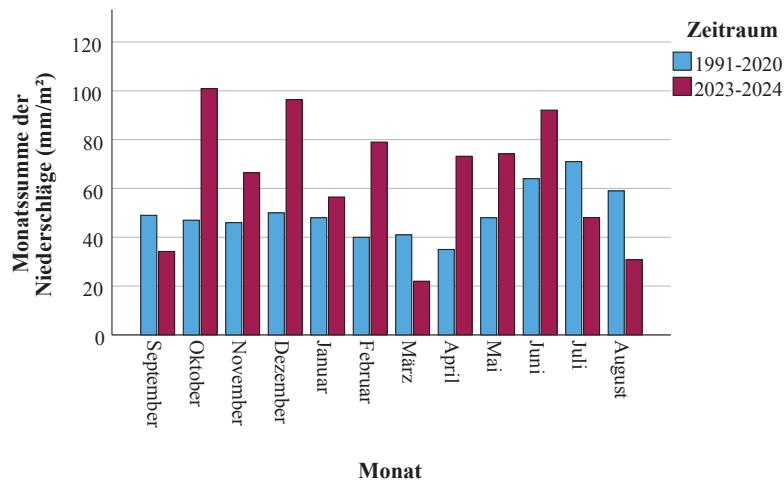


Abbildung 3: Monatssummen der Niederschläge des Anbaujahres 2023-2024 und dem dreißigjährigen Mittel der Jahre 1991-2020 im Vergleich (eigene Darstellung 2024)

3.2 Versuchsplanung

3.2.1 Düngungsplan

Der Düngungsplan für den Versuch wurde von der Agrargenossenschaft vorgelegt und beinhaltete die Festlegung der Anzahl der Düngegaben, der Düngerarten sowie der Ausbringungsmengen und -termine. Der Plan wurde in Zusammenarbeit mit dem Betrieb geringfügig angepasst, um die Wirksamkeit der Gärreste besser berücksichtigen zu können. Die Versuchsflächen der mineralischen Variante wurden dabei wie die anderen Weizenflächen des Betriebes behandelt und gedüngt. Der Schwerpunkt wurde auf die Qualität und die Züchtervorgaben der R.A.G.T. Saaten Deutschland GmbH gelegt.

Anfang Februar wurde die Düngebedarfsermittlung unter Verwendung des Düngebedarfs- und -planungsprogramms M-V der LMS Agrarberatung GmbH durchgeführt. Die Ermittlung des Düngebedarfs für den Winterweizen (E-Weizen) erfolgte gemäß der Düngeverordnung mit einer Ertragserwartung von 80 Dezitonnen pro Hektar, wobei ein Nährstoffentzug von 260 Kilogramm Stickstoff je Hektar zugrunde gelegt wurde. Da der fünfjährige Ertragsdurchschnitt bei 77 Dezitonnen je Hektar liegt, wurde die Ertragserwartung korrigiert, was zu einem Abschlag von drei Kilogramm Stickstoff pro

Hektar führte. Zusätzlich wurde der mineralisierte Stickstoff im Boden (N-min) zu Vegetationsbeginn durch Richtwerte der LMS Agrarberatung in Höhe von 15 Kilogramm Stickstoff pro Hektar berücksichtigt, was den Düngebedarf weiter reduzierte. Darüber hinaus wurde die Nährstoffrücklieferung des Winterrapses mit einem Abschlag von 10 Kilogramm Stickstoff pro Hektar einbezogen. Insgesamt ergab sich ein Stickstoff-Düngebedarf von 233 Kilogramm Stickstoff je Hektar für den Winterweizen (Abb. 22).

Der Grundnährstoffbedarf für Phosphor, Kalium, Magnesium, Schwefel und Calcium wurde in die Düngebedarfsermittlung mit einbezogen, basierend auf Bodenuntersuchungen aus dem Jahr 2022. Diese Nährstoffe wurden in diesem Versuch nur am Rande betrachtet, da der Fokus beim Stickstoff lag. Die Zufuhren aller Nährstoffe zwischen den Varianten wurden bestmöglich angeglichen.

Die erste Düngung des Weizens wurde aufgrund der feuchten Witterung und der niedrigen Temperaturen in zwei Teile untergliedert: eine Eins-A- und eine Eins-B-Gabe. Die Eins-A-Gabe fand am 24. Februar 2024 statt, wobei der Weizenbestand mit einer einheitlichen Düngermenge versorgt wurde. Dabei wurden 61,45 Kilogramm Stickstoff (N) und 9,1 Kilogramm Magnesiumoxid (MgO) pro Hektar durch einem Kalkammonsalpeter ausgebracht (Tabelle 2).

Am 05. März 2024 wurde auf den Versuchsstreifen der organischen Variante sowie der organischen Variante mit Nitrifikationshemmer die Gärrestausbringung durchgeführt. Der Zeitpunkt wurde aufgrund der Befahrbarkeit gewählt und sollte so früh wie möglich erfolgen. Die ursprünglich geplante Ausbringmenge von 20 Kubikmetern pro Hektar wurde nicht ganz erreicht. 18,64 Kubikmeter pro Hektar mit 51,11 Kilogramm Stickstoff pro Hektar wurden tatsächlich ausgebracht. Das Gärsubstrat wurde an diesem Tag mithilfe eines mobilen Rührwerks homogenisiert. Zudem wurde eine Probe des Substrates entnommen und zur Nährstoffanalyse an das Labor der LUFA Rostock geschickt (Tabelle 9).

Für die dritte Düngevariante wurde der Nitrifikationshemmer Piadin des Düngemittelherstellers SKW Piesteritz ausgebracht. Dies ist der einzige Unterschied in der Düngung, der diese Variante von der Gärrest-Variante unterscheidet. Entsprechend der Herstellerempfehlung wurde eine Menge von fünf Litern pro Hektar angewendet, was mit einer Fassladung von 22 Kubikmetern und der Ausbringmenge von 18,64 Kubikmeter je Hektar etwa einer Fläche von 1,22 Hektar betraf. Die tatsächliche Menge an Pia-

din betrug damit ungefähr vier Liter pro Hektar. Zur Einmischung des Piadins wurde es vor dem Befüllen des Güllefasses in den Ansaugschlauch gegeben. Durch das Befüllen und die Durchmischung auf der etwa ein Kilometer langen Fahrt zum Versuchsfeld vermischte sich das Piadin mit dem Gärsubstrat.

Die Ausbringungsbedingungen waren optimal. Der Himmel war bewölkt und die Temperaturen lagen unter zehn Grad Celsius. Mithilfe der Schleppschuh-Ausbringtechnik wurden die Weizenpflanzen kaum beschmutzt und die Gärreste wurden in schmalen Streifen im Abstand von 25 Zentimetern abgelegt (Abb. 4). Der Schleppschuh öffnete den Boden leicht durch einen Schlitz, was den Gärresten eine bessere Einlagerung ermöglichte und den Luftkontakt reduzierte, wodurch die Wirksamkeit des Substrates erhöht und die Verluste minimiert wurden.



Abbildung 4: Streifenablage der Gärreste in dem Weizenbestand mit einem Schleppschuhverteiler (eigene Darstellung 2024)

Gelegentlich kam es zu Verstopfungen an einigen Schläuchen, wodurch an diesen Schleppschuhen zeitweise keine Gärrestausbringung stattfand. Diese Mängel waren noch Monate nach der Ausbringung sichtbar, da an diesen Stellen keine Streifen mit Substratreten erkennbar waren. Um dieser Fehlerquelle entgegenzuwirken, wurden die Bonitur- und Erntepunkte örtlich so angepasst, dass immer alle Streifen mit Gärrest abgedeckt waren. Die örtliche Verschiebung der Punkte war dabei minimal und betrug nur wenige Dezimeter.

Am 06. März 2024 wurde auf der mineralischen Variante eine Kaliumdüngung durchgeführt, bei der 150 Kilogramm Korn Kali mit 40% Kaliumoxid (K_2O), 6 % Magnesiumoxid und 4 % Schwefel (S) ausgebracht wurden. Dies entspricht einer Kaliumgabe von 60 Kilogramm Kaliumoxid, 9 Kilogramm Magnesiumoxid und 6 Kilogramm Schwefel. Diese Düngung konnte auf den Gärrestvarianten eingespart werden, da durch die Ausbringung von 18,64 Kubikmetern Substrat 20,32 Kilogramm Phosphorpentoxid (P_2O_5), 67,29 Kilogramm Kaliumoxid, 9,69 Kilogramm Magnesiumoxid (MgO) und 9,32 Kilogramm Schwefel ausgebracht wurden.

Am 20. März 2024 wurde dann die Eins-B Stickstoffgabe mit Schwefelsaures Ammoniak (SSA) vorgenommen. Auf der mineralischen Variante wurden 31,5 Kilogramm Stickstoff je Hektar sowie 36 Kilogramm Schwefel je Hektar ausgebracht. Auf den Gärrestvarianten waren es 25,22 Kilogramm Stickstoff und 28,83 Kilogramm Schwefel je Hektar. Die Gabe auf den Gärrest Varianten wurden nur geringfügig reduziert, um gleiche Schwefelmengen in den Varianten zu haben, da die Gärrestdüngung bereits neun Kilogramm Schwefel je Hektar lieferte.

Die zweite Stickstoffgabe erfolgte am 11. April 2024 mit Kalkammonsalpeter (KAS). Auf der mineralischen Variante wurden 60,75 Kilogramm Stickstoff und 13,5 Kilogramm Magnesiumoxid je Hektar ausgebracht. Auf der Gärrestvariante wurde nur 36,49 Kilogramm Stickstoff und 8,11 Kilogramm Magnesiumoxid je Hektar durch den KAS ausgebracht, da die Gärreste zu diesem Zeitpunkt bereits teilweise mineralisiert waren und den Pflanzen Stickstoff zur Verfügung stellten.

Die dritte Stickstoffgabe erfolgte am 04. Mai 2024 ebenfalls mit Kalkammonsalpeter. Diese Gabe wurde auf der Gärrestvariante weiter reduziert, um die Mineralisierung und die Verfügbarkeit des Gärsubstrates zu berücksichtigen. Auf der mineralischen Variante wurden 48,61 Kilogramm Stickstoff und 7,2 Kilogramm Magnesiumoxid je Hektar gestreut. Die Gärrestvariante erhielt nur 20,43 Kilogramm Stickstoff und 3,03 Kilogramm Magnesiumoxid je Hektar.

Am 22. Mai 2024 erfolgte schließlich die vierte und letzte Stickstoffgabe, die Abschlussgabe zur Qualitätssicherung, ebenfalls mit Kalkammonsalpeter. Sowohl die mineralische als auch die Gärrestvariante erhielten 34,79 Kilogramm Stickstoff und 5,2 Kilogramm Magnesiumoxid je Hektar, um die Qualität der Ernte zu sichern.

Tabelle 2: Tabellarischer Vergleich der Stickstoffgaben im Vegetationsverlauf je Variante in Kilogramm Stickstoff je Hektar (eigene Darstellung 2025)

Datum	Düngemittel	Ausgebrachte Nährstoffmengen auf der Mineraldünger-Variante (kg/ha)					Ausgebrachte Nährstoffmengen auf der Gärrest und der Gärrest mit Nitrifikationshemmer-Variante (kg N/ha)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
24.02.2024	Kalkammon- salpeter	61,45			9,1		61,45			9,1	
05.03.2024	Gärrest		keine Gabe				51,11	20,32	67,29	9,69	9,32
06.03.2024	Korn Kali			60	9		keine Gabe				
20.03.2024	Schwefel- saures Ammoniak	31,50				36	25,22				28,83
11.04.2024	Kalkammon- salpeter	60,75		13,5			36,49			8,11	
04.05.2024	Kalkammon- salpeter	48,61		7,20			20,43			3,03	
22.05.2024	Kalkammon- salpeter	34,79		5,20			34,79			5,20	

Die Nährstoffgaben unterscheiden sich insgesamt nur geringfügig zwischen den Varianten. Die Gärrestvariante erhielt im Vergleich zur mineralischen Variante 7,38 Kilogramm weniger Stickstoff pro Hektar, 20,32 Kilogramm mehr Phosphorpentoxid pro Hektar, 7,04 Kilogramm mehr Kaliumoxid pro Hektar, 7,08 Kilogramm weniger Magnesiumoxid pro Hektar und 3,88 Kilogramm weniger Schwefel pro Hektar. Diese Unterschiede, insbesondere beim Stickstoff, wurden in der Planung nicht berücksichtigt und entstanden hauptsächlich durch praktische Gegebenheiten bei der Ausbringung der Mineraldüngergaben auf dem Feld.

Die tatsächlichen Düngerwerte basieren auf den Angaben der Fahrer und des Düngerstreuers und resultieren aus Einstell- und/oder Fahrfehlern bei der Ausbringung. Diese geringfügigen Unterschiede machen nur einen kleinen Prozentsatz der Gesamtmasse aus und ließen sich nicht vollständig vermeiden. Eine detaillierte Kostenrechnung der Düngerersparnisse und Ausbringungskosten ist im Ergebnisteil dieser Arbeit enthalten (Tabelle 6).

3.2.2 Versuchsaufbau

Das Ziel des Versuchsaufbaus war es, den Versuch so praxisnah und repräsentativ wie möglich für den Betrieb zu gestalten und dabei gleichzeitig verschiedene Zonen des Ackerschlagens zu berücksichtigen. Um die Gegebenheiten des Betriebs zu berücksichtigen, der mit einem Fahrgassenabstand von 30 Metern arbeitet, wurden die Versuchsstreifen auf eine Größe von jeweils 30 Metern angelegt.

Für jeden Versuchsstreifen, der im Folgenden als Fahrgasse bezeichnet wird, wurden drei Bonitur- und Erntepunkte festgelegt, die auf verschiedene Ertragsniveaus (schwaches, mittleres und starkes Ertragsniveau) abgestimmt waren. Zusätzlich wurden für jede Variante zwei Wiederholungen angelegt, sodass insgesamt drei Versuchsstreifen pro Variante mit jeweils drei Punkten festgelegt wurden (Abb. 5). Damit wurden insgesamt neun Punkte für jede Variante untersucht, und jeder Standort innerhalb der Variante wurde dreifach beurteilt. Dieser Aufbau ermöglicht eine umfassende Bewertung der Variablen und stellt sicher, dass die Ergebnisse sowohl auf unterschiedlichen Ertragsniveaus als auch innerhalb jeder Variante zuverlässig und aussagekräftig sind.

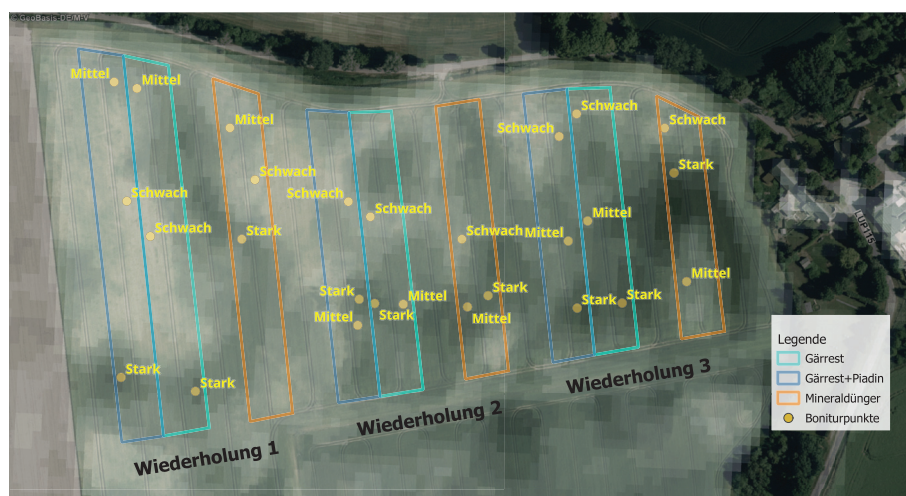


Abbildung 5: Bonitur- und Erntepunkte des Versuchsfelds bearbeitet und überlagert mit QGIS mit einem Luftbild aus dem Jahr 2022 vom Geoportal-MV und zwei NDVI-Karten aus den Jahren 2019 und 2022 vom EO-Browser im Monat Juni mit der Fruchtart Gerste (eigene Darstellung 2024)

Zum Zeitpunkt der Versuchsanlage war noch nicht festgelegt, ob eine Versuchsernte mit dem Mähdrescher durchgeführt werden würde. Daher wurde zwischen den Varianten der Gärrestdüngung und der Mineraldüngung jeweils ein Schutzstreifen ange-

legt. Hintergrund ist, dass die Arbeitsweise des Schleuderdüngestreuers keine präzise Parzellenabteilung ermöglicht, da dieser nach dem Überlappungsprinzip arbeitet. Um diese Unsicherheit zu berücksichtigen, wurde stets zwischen den Varianten der Gärreste und des Mineraldüngers eine Arbeitsbreite des Düngerstreuers freigelassen, die nicht in diesem Versuch berücksichtigt wurde. Dies stellt eine Möglichkeit dar, wie ein landwirtschaftlicher Betrieb einen Versuch für die maschinelle Ernte anlegen kann. Aufgrund des hohen Zeit- und Arbeitsaufwands wurde die maschinelle Ernte jedoch nicht durchgeführt. Dennoch wurde die Arbeitsweise des Schleuderdüngestreuers bei der Anordnung der Bonitur- und Erntepunkte beachtet. Diese wurden möglichst nah an die Fahrgasse gelegt, sodass sie nicht im Überlappungsbereich des Düngerstreuers standen, in dem möglicherweise weniger Dünger ausgebracht wurde als in der Nähe der Fahrgasse.

Für die Festlegung der Bonitur- und Erntepunkte des Versuchs diente die erzeugte Karte (Abb. 5) als Hilfsmittel. Hierzu wurde das Programm QGIS zusammen mit den Daten des Geoportals-MV und des EO-Browsers genutzt. Zunächst wurde die Bodenschätzung der Ackerfläche aus dem Geoportal als Layer in QGIS importiert. Diese Karte zeigte bereits einige Standortunterschiede, da sie sowohl die Bodengüte als auch ein Luftbild zur Differenzierung des Pflanzenwachstumspotenzials enthielt. Das Luftbild des Ackerschlags aus dem Juni 2022 zeigte einen Gerstenbestand, dessen Wachstums- und Abreifedauer maßgeblich von der Wasserversorgung beeinflusst werden. Der Zeitpunkt der Strohabreife ist ein guter Indikator für das differenzierte Wachstum, da dieser auf die unterschiedlich langen Zeiträume der Photosynthese und damit der Assimilat-Einlagerung ins Korn hinweist. Standorte, die früher abreifen, sind meist sandigere Böden mit geringerer Wasserhaltefähigkeit, während Standorte mit längerer grüner Phase tendenziell lehmigere Böden mit höherer Wasserhaltefähigkeit aufweisen (Geisler, 1983).

Zur genaueren Differenzierung des Pflanzenwachstums wurden auf das Luftbild des Geoportals Satellitenbilder aus dem EO-Browser gelegt. Diese Bilder werden in Zeitabständen von zwei Tagen aufgenommen und bieten eine Rückschau auf vergangene Jahre. Für die Karte wurden Aufnahmen des EO-Browsers aus dem Juni 2022 und Juni 2019 verwendet, in denen ebenfalls Gerste angebaut wurde. Um den Unterschied in der Photosyntheseleistung besser sichtbar zu machen, wurde die NDVI-Karte (Normalized Difference Vegetation Index) verwendet. Diese zeigt die Reflektion der Strahlung:

Eine hohe Reflektion deutet auf geringe Photosynthese und schwächeres Pflanzenwachstum hin, was auf der NDVI-Karte hellgrün dargestellt wird. Eine geringe Reflektion zeigt eine starke Photosynthese und damit ein intensiveres Pflanzenwachstum an, was auf der Karte dunkelgrün erscheint.

Die festgestellten Unterschiede in der Photosyntheseleistung, kombiniert mit den Informationen zur Bodengüte und dem Luftbild, wurden als Indiz für unterschiedliche Ertragsstandorte und Ertragspotenziale im Versuch genutzt. Die NDVI-Karten wurden in QGIS als Layer hinzugefügt und auf die Bodengütekarte des Geoportals überlagert. Durch Erhöhen der Transparenz der NDVI-Karten konnte eine visuelle Vereinheitlichung der verschiedenen Layer erfolgen. Auf Basis dieser Vorgehensweise wurden die schwachen, mittleren und starken Ertragsstandorte des Versuchs festgelegt. Dabei wurde darauf geachtet, dass besonders innerhalb der Wiederholung möglichst konstante Standorte ausgewählt wurden. Diese mussten nicht unbedingt die extremsten minimalen oder maximalen Standorte sein, sondern vor allem tendenziell beständige schwächere und stärkere Standorte innerhalb der Wiederholung, um die Standortbedingungen zwischen den Varianten möglichst gering zu halten. Dennoch sind die Bodengüten zwischen den Wiederholungen nicht gleich, da der Acker sehr heterogen ist.

Die markierten Punkte wurden in QGIS gespeichert und auf ein Garmin GPS-Gerät übertragen, um die genaue Position mit einer Genauigkeit von weniger als einem Meter zu bestimmen und mit Stäben im Feld zu kennzeichnen. Die Versuchsfläche der mineralischen Variante beträgt 1,6 Hektar. Die restliche Fläche, einschließlich der beiden Gärrest-Varianten sowie des Vorgewendes und der Zwischenstreifen, wurde mit Gärrest gedüngt und umfasst insgesamt 16,9 Hektar.

3.3 Datenerhebung

3.3.1 Stickstoffmessungen

Der Chlorophyllgehalt der Pflanzen wurde an drei Terminen im April, Mai und Juni im Versuchsjahr 2024 gemessen. Dabei wurden an jedem Boniturpunkt in einem Umkreis von einem Meter insgesamt drei Messungen pro Termin durchgeführt. Da jede Stickstoff (N-Tester) Messung ein Mittelwert aus 30 Einzelmessungen ist, wurden für jeden Boniturpunkt und Termin insgesamt 90 Blätter hinsichtlich ihres Chlorophyllgehalts

untersucht. Als Messgerät kam ein Yara N-Tester der Hochschule Neubrandenburg zum Einsatz, der aus der ersten Generation der N-Tester von Yara stammt. Alle Messungen wurden vom Autor persönlich durchgeführt.

3.3.2 Ernte

Die Ernte des Winterweizens fand am 21. Juli 2024 statt. Die Erntebedingungen waren sehr gut, da die Temperaturen über 25 Grad Celsius lagen, was den Beginn der Parzellenernte um 11 Uhr ermöglichte. Die Feuchtigkeit des Getreides betrug 14 Prozent, gemessen mit einem Schnellfeuchtmessgerät der Firma Pfeuffer. Das Stroh war ebenfalls abgereift und trocken. Die Ernte der 27 Parzellen wurde gegen 19 Uhr abgeschlossen.

An der Ernte beteiligten sich neben dem Autor auch der Geschäftsführer des Betriebes, Jörg Thieß. Pro Boniturspunkt wurde jeweils ein Quadratmeter geerntet. Die Ernteparzellen wurden immer von der Straße aus gesehen und hinter dem Markierungsstab mit Zollstöcken ausgelegt. Mit einer Heckenschere wurde das Getreide auf eine Stoppelhöhe von acht Zentimetern abgeschnitten, wobei ein Brett als Maßhilfe für die Höhe diente. Die geernteten Getreidepflanzen wurden in Papiertüten verpackt und mit den entsprechenden Angaben beschriftet (Abb. 6).



Abbildung 6: Beerntung der Boniturspunkte am 21.07.2024 mit einer Heckenschere (eigene Darstellung 2024)

Drei Tage nach der Ernte wurden die Säcke mit den Ernteproben nach Neubrandenburg transportiert, um die Ergebnisse zu erfassen. Zunächst wurde das Gesamtgewicht der Frischmasse aus Korn und Stroh durch Wiegen der Säcke ermittelt. Anschließend wurde die Anzahl der Ähren pro Sack gezählt und separat verpackt, um diese später

ausdreschen zu können. Auf dieser Grundlage wurde die Ährenanzahl je Quadratmeter ermittelt.

Für die Erfassung der Spindelstufen – insgesamt, reduziert und fertil – wurden jeweils 15 Ähren je Sack bzw. Quadratmeter zur Datenerhebung verwendet wurden. Anschließend wurden die Ähren mit dem stationären Mähdrescher der Hochschule, Modell Haldrup, ausgedroschen. Der Mähdrescher wurde zu Beginn anhand des ersten Probetocks exakt eingestellt, und diese Einstellung wurde für den gesamten weiteren Prozess beibehalten. Während des Dreschens wurden die Körnerverluste kontinuierlich überwacht und beliefen sich auf nur wenige Schmachtkörner. Diese Verluste wurden akzeptiert, um zu vermeiden, dass zu viel Spreu in das Erntegut gelangte und dieses verunreinigte.

Nach dem Dreschen wurden die Körner gewogen und der ermittelte Wert wurde als Kornertrag in Frischmasse pro Quadratmeter verwendet. Der Strohertrag in Frischmasse konnte durch Abzug des Kornertrags von der Gesamterntemasse berechnet werden.

3.3.3 Qualitätsuntersuchung

Die Qualitätsbestimmung der Weizenproben wurde mit den Geräten der Hochschule Neubrandenburg durchgeführt. Eine Vergleichsprobe wurde an ein unabhängiges Labor, die LUFA Rostock, geschickt, um die Ergebnisse abzugleichen.

Für die Bestimmung des Tausendkorngewichts (TKG) wurde das TKG-Zählgerät der Firma Pfeuffer verwendet. Dabei wurden 1000 Körner gezählt, die anschließend gewogen wurden. Das Hektolitergewicht wurde aufgrund fehlender spezieller Geräte provisorisch ermittelt. Hierfür wurde ein Messzylinder verwendet, der zunächst leer gewogen wurde. Anschließend wurde der Zylinder bis zur Oberkante mit Wasser befüllt und erneut gewogen. Aufgrund der bekannten Dichte des Wassers kann angenommen werden, dass das ermittelte Gewicht des Wassers dem Volumen des Zylinders entspricht. Nachdem der Messzylinder getrocknet wurde, wurde er bis zum Rand mit Weizen befüllt und der Füllstand gleichmäßig glatt gestrichen. Das Gewicht des Zylinders mit dem Weizen wurde dann ermittelt. Das Hektolitergewicht wurde durch die Berechnung des Verhältnisses zwischen dem Gewicht des Weizens und dem Volumen des Zylinders bestimmt. Diese Messwerte dienen lediglich als Vergleich zwischen den Vari-

anten und Standorten und sind nicht als exakte Laborwerte oder Qualitätsbestimmungen zu verstehen.

Die Fallzahl wurde mit einem Fallzahlmessgerät des Typs FN 1500 der Marke Perten bestimmt. Dazu wurde das Getreide zunächst vermahlen und die Feuchtigkeit des Korns mit einem Feuchtigkeitsschnellmessgerät ermittelt. Da diese Werte leicht schwanken können, wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt und der Mittelwert gebildet. Auch die Fallzahl selbst wurde mit einer Doppelbestimmung gemessen, da auch hier Schwankungen auftraten.

Der Rohproteingehalt wurde mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bestimmt, das verwendete Gerät der Hochschule Neubrandenburg ist ein FT-NIR-Spektrometer MPA II der Firma Bruker Optik. Für die Bestimmungen des Rohproteingehalts wurden sowohl eine unvermahlene als auch eine vermahlene Weizenprobe analysiert. Die vermahlene Probe wies im Vergleich zur unvermahlenden Probe einen konstant höheren Proteingehalt auf. Die Analyse des Labors der LUFA ergab eine annähernde Übereinstimmung mit der vermahlenden Probe. (Tabelle 10)

3.3.4 Berechnungen und Statistik

Für die Datenerfassung wurde zunächst Microsoft Excel verwendet, um die Daten zu sammeln, zu speichern und grundlegende Aufbereitungen vorzunehmen.

Der Ernteindex (Harvestindex) wurde rechnerisch bestimmt, indem der Kornertrag in Frischmasse durch den Gesamtertrag in Frischmasse geteilt wurde. Da das Erntegut nicht getrocknet wurde, ist dieser Wert nicht direkt mit Tabellenwerten vergleichbar, da diese mit der Trockenmasse arbeiten. Für Vergleichszwecke kann der Wert verwendet werden, da sowohl die Kornfeuchte als auch die Strohfeuchte konstant und trocken waren. Der Parameter Einzelährenertrag wurde durch die Division des Kornertrags durch die Ährenanzahl berechnet. Der tatsächliche Stickstoffentzug der Bonitur- und Erntepunkte wurde mit dem jeweiligen Ertrag und dem Proteingehalt der gemahlenen Probe errechnet. Dazu wurden die Nährstoffgehalte für Weizen aus der aktuellen Düngeverordnung (*Düngeverordnung - (DüV)*, 2020) sowie Ergänzungen von (Knittel u. a., 2020) für Weizenkorn mit 14 % Restfeuchte und den verschiedenen Proteingehalten der vermahlenden Probe herangezogen. Der Stickstoffentzug wurde mit der Stick-

stoffzufuhr durch die Düngung verrechnet, sodass der resultierende Wert den Stickstoffsaldo darstellt.

In einer zweiten Phase wurde das Statistikprogramm IBM-SPSS genutzt. Die statistische Auswertung wurde mit SPSS unter Verwendung von Mittelwertvergleichen, Varianzanalysen und Korrelationsanalysen durchgeführt. Zudem wurden Grafiken in SPSS entwickelt, um die Ergebnisse anschaulicher darzustellen.

Die Varianzanalyse wurde in SPSS mit einem multivariaten Test durchgeführt. Die durchgeführten Varianzanalysen wurden auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5 \%$ abgesichert, was bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit, fehlerhafte Ergebnisse zu erhalten, bei 5 % liegt. Annähernd signifikante Werte, die sich bis zu einem Fehlerniveau von $\alpha = 10 \%$ bewegen, wurden ebenfalls beachtet und als „Tendenz“ bezeichnet. Um spezifische Unterschiede zwischen den Variablen zu identifizieren, wurde der Post-hoc-Test (nach Varianzgleichheit des Typs Bonferroni) angewendet.

Die Korrelation wurde in SPSS bivariat mit dem Pearson-Korrelationskoeffizienten durchgeführt, wobei das Signifikanzniveau wie bei der Varianzanalyse festgelegt wurde.

Die Ernteergebnisse wiesen teils starke Schwankungen und ungewöhnliche Messwerte auf. Zur Überprüfung dieser wurde ein grafischer Ausreißertest in SPSS mittels Boxplots durchgeführt. Für jeden Parameter wurde ein Boxplot mit allen 27 Messergebnissen erstellt. Mögliche Ausreißer, die den 1,5-fachen Interquartilsabstand der ersten oder dritten Quartile überschreiten, wurden als Ausreißer markiert. Diese wurden durch einen Ausreißertest nach Standardnormalverteilung (Z-Standardisierung) überprüft. In einer Standardnormalverteilung liegen 99 % der Z-Werte zwischen -2,58 und +2,58 (Field, 2018). Werte die diesen Bereich über- oder unterschreiten, gelten als wahrscheinlich als Ausreißer. Die festgestellten Ausreißer wurden nochmals auf Mess-, Rechen- und Übertragungsfehler geprüft. Einige wenige Ausreißer konnten so beseitigt werden. Messwerte, die nicht erklärt werden konnten und mehrfach als deutliche Ausreißer auftraten, wurden aus der Auswertung ausgeschlossen. Diese Ausgrenzung hatte jedoch keinen Einfluss auf die statistische Signifikanz der Varianzanalyse. Aus der Analyse wurden die Punkte „Gärrest plus Nitrifikationshemmer schwach“ aus Wiederholung eins (GP 1 Sw) und „Gärrest plus Nitrifikationshemmer stark“ aus Wiederholung drei (GP 3 St) entfernt. Es wird angenommen, dass diese Punkte durch andere Ein-

flüsse als die Düngungsmaßnahme, wie beispielsweise ein sehr schlechter oder besonders stark wüchsiger Standort, beeinflusst wurden, der bei der Punktfestlegung mit Satellitenkarten nicht als Ausreißer erkannt wurde.

Die Box-Plots des Ergebnisteils zeigen keine Mittelwerte, diese wurden bei signifikanten Unterschieden im umliegenden Text erwähnt oder generell im Anhang. Die Buchstaben über den Plots zeigen die signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Ausprägungen. Plots, welche den selben Buchstaben enthalten, weisen keine signifikanten Unterschiede untereinander auf, Plots mit unterschiedlichen Buchstaben hingegen schon.

Die Berechnungen der Düngekosten erfolgten auf Basis der Einkaufskosten des Düngers der Agrargenossenschaft. Diese wurden mit den eingesparten Mengen verrechnet.

Die Nährstoffunterschiede wurden theoretisch über verschiedene Dünger angeglichen, um einen direkten Kostenvergleich durchzuführen (Tabelle 7). Der Stickstoff wurde über Kalkammonsalpeter verrechnet, das Phosphorpentoxid über Triplesuperphosphat, das Kaliumoxid mit Korn-Kali und das Magnesiumoxid sowohl über Kalkammonsalpeter als auch Korn-Kali, da beide Düngemittel auch Magnesiumoxid enthalten. Der Schwefel wurde über Korn-Kali abgerechnet. Da die Mengen des Kalkammonsalpeters und des Korn Kalis nicht ausreichten (die Mengen orientierten sich an den Hauptnährstoffen), wurde die verbleibende Differenz mit Kieserit aufgefüllt.

Die Ausbringungskosten wurden mit dem KTBL-Tool „Feldarbeitsrechner“ (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 2024) berechnet, wobei die Maschinen- und Flächenausstattungen an die Betriebsgegebenheiten angepasst wurden. Für die Mineraldüngerausbringung wurde mit einem zwei Kubikmeter Schleuderstreuer gerechnet, auf einer Fläche von 20 Hektar und mit einer Entfernung von einem Kilometer zum Lager. Die Kaliumgabe erfolgte auf zwei Hektar der mineralischen Teilfläche (1,6 Hektar). Die Arbeitsbreite von 24 Metern war kleiner als die im Betrieb verwendeten 30 Meter, und der Düngerstreuer hatte ein Volumen von drei Kubikmeter statt zwei Kubikmeter. Die Schlepperleistung betrug 152 Kilowatt statt 102 Kilowatt. Eine lineare Extrapolation wurde für den am stärksten preisabhängigen Faktor, die Arbeitsbreite, durchgeführt, um die Maschinenkosten und Arbeitszeit exakt anzupassen. Andere Abweichungen mussten hingenommen werden, sind jedoch geringfügig.

Für die Gärrestausbringung wurde das Verfahren der Gülleausbringung mit Schleppschlauch gewählt. Die Feldgröße wurde mit 20 Hektar, die Ausbringmenge 20 Kubikmeter und die Entfernung zum Lager mit einem Kilometer gerechnet. Die Aufrührung der Gülle wurde nicht berücksichtigt. Der verwendete Schlepper hatte 200 Kilowatt statt der tatsächlichen 191 Kilowatt, und die Arbeitsbreite der Maschine wurde mit 24 Metern statt 30 Metern berechnet. Das Fassvolumen von 24 Kubikmeter war höher als das tatsächliche Volumen von Kubikmeter. Zudem wurde ein Schleppschuhverteiler anstelle eines Schleppschlauchverteilers verwendet. Die Ausbringmenge (am preisabhängigsten) wurde auf den tatsächlichen Wert (18,64 Kubikmeter) extrapoliert, und Maschinenkosten sowie Arbeitszeitbedarf neu berechnet. Die sonstigen Abweichungen sind geringfügig.

Die Dieselskosten wurden mit einem Preis von 1,15 Euro pro Liter kalkuliert, der aktuell etwas abweicht und höher ist. Die Lohnkosten basieren auf einem Bruttolohn von 13,73 Euro pro Stunde und beinhalten die effektiven Kosten einer festangestellten Arbeitskraft (Achilles u. a., 2022). Die Arbeitserledigungskosten in der Kostenrechnung Tabelle 11 resultieren aus dem Arbeitskraftbedarf und den Lohnkosten. Die Ausbringungskosten setzen sich aus Arbeitserledigungs- und Maschinenkosten zusammen und ergeben sich je Variante aus der Summe aller Ausbringkosten.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse Feldversuch

4.1.1 Stickstoffaufnahme-Messung

Die erste Messung fand am 27.04.2024 im Entwicklungsstadium EC 32 (Zwei-Knoten-Stadium) statt. Der Mittelwert der Messergebnisse wurde mit der Atfarm-App zusammen mit dem Wachstumsstadium, der bisherigen Düngehöhe und dem Ertragsziel zu einer Düngeempfehlung für Stickstoff berechnet (Yara International ASA, 2024). Diese Düngeempfehlung betrug 20 Kilogramm Stickstoff je Hektar.

Der zweite Messtermin war am 25.05.2024 im Entwicklungsstadium EC 61 (Beginn der Blüte). Zu diesem Zeitpunkt war die letzte Düngergabe gerade abgeschlossen und der Düngebedarf lag bei 20 Kilogramm Stickstoff je Hektar. Das Programm der Atfarm-App berücksichtigt nur das Wachstumsstadium EC 55 und nicht EC 61, weshalb für diese Berechnung das Stadium EC 55 verwendet wurde.

Die dritte Messung erfolgte am 23.06.2024 im Entwicklungsstadium EC 75 (Mitte der Milchreife). Zu diesem Zeitpunkt begann das Fahnenblatt abzusterben. Der photosynthetisch aktive grüne Anteil des Blattes variierte je nach Standort, war jedoch an keinem Standort größer als die Hälfte des Blattes.

Die ausführliche Varianzanalyse (Tabelle 14) sowie ein Tabelle aller Mittelwerte zwischen den Variablen und Ausprägungen (Tabelle 12) sind im Anhang zu finden.

Tabelle 3: N-Tester-Werte der verschiedenen Messtermine mit Anzahl, Mittelwert, Minimum, Maximum, Standard-Abweichung und Spannweite (eigene Darstellung 2024)

Messtermin	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Std.-Abweichung	Spannweite
April (EC 32)	81	630,41	566	699	23,31	131
Mai (EC 61)	81	666,23	616	508	19,94	92
Juni (EC 75)	81	491,33	375	603	52,72	228

4.1.1.1 Analyse der Varianten

Die Stickstoff Messungen mit dem Yara N-Tester zeigten an allen drei Messterminen April ($p = 0,711$), Mai ($p = 0,975$) und Juni ($p = 0,223$) keine signifikanten Unterschiede der Messwerte zwischen den Varianten. Der Post-hoc-Test zwischen den Varianten (Tabelle 15) sind im Anhang zu finden.

4.1.1.2 Analyse der Standorte

Die erste Messung der N-Tester-Werte im April ergab einen hochsignifikanten Unterschied zwischen den Standorten, mit einem p-Wert unterhalb 0,001 (Abb. 7). Den höchsten Mittelwert erzielte der starke Standort mit einem N-Tester-Wert von 645, gefolgt vom mittleren Standort (624) und dem schwachen Standort (623). Der Post-hoc-Test zeigte, dass der schwache Standort sich signifikant vom starken Standort unterschied ($p < 0,001$). Ebenso wurde ein signifikanter Unterschied zwischen dem mittleren Standort und dem starken Standort festgestellt ($p < 0,001$).

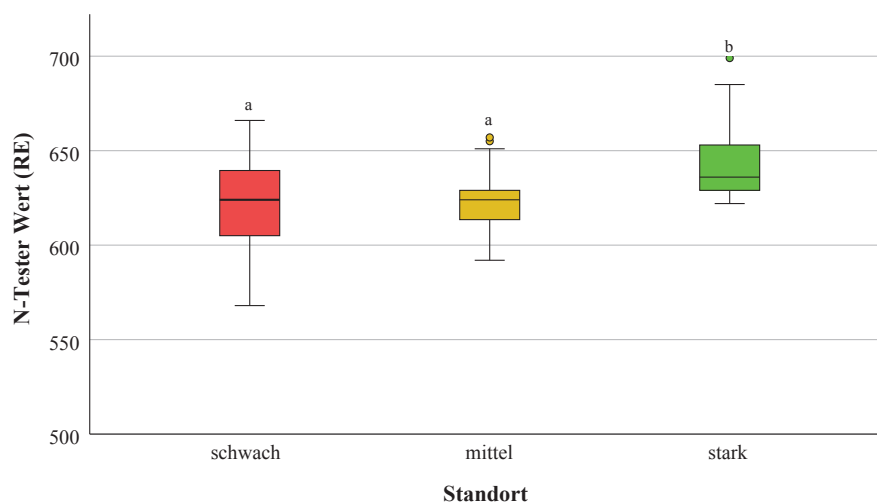


Abbildung 7: N-Tester Messwerte in relativen Einheiten des ersten Messtermins im April der verschiedenen Standorte (eigene Darstellung 2024)

Die zweite Messung im Mai ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Standorten ($p = 0,169$).

Die dritte Messung im Juni ergab signifikante Unterschiede zwischen den Standorten, mit einem p-Wert unterhalb 0,001 (Abb. 8). Der Post-hoc-Test zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen dem mittleren Standort (Mittelwert = 463) und dem starken

Standort (Mittelwert = 515) mit einem p-Wert unterhalb 0,001. Zwischen dem schwachen Standort (Mittelwert = 496) und dem mittleren Standort wurde ebenfalls ein signifikanter Unterschied festgestellt ($p = 0,47$). Der Unterschied zwischen dem schwachen und dem starken Standort war hingegen nicht signifikant ($p = 0,415$). Alle Ergebnisse des Post-hoc-Tests sind im Anhang (Tabelle 16) zu finden.

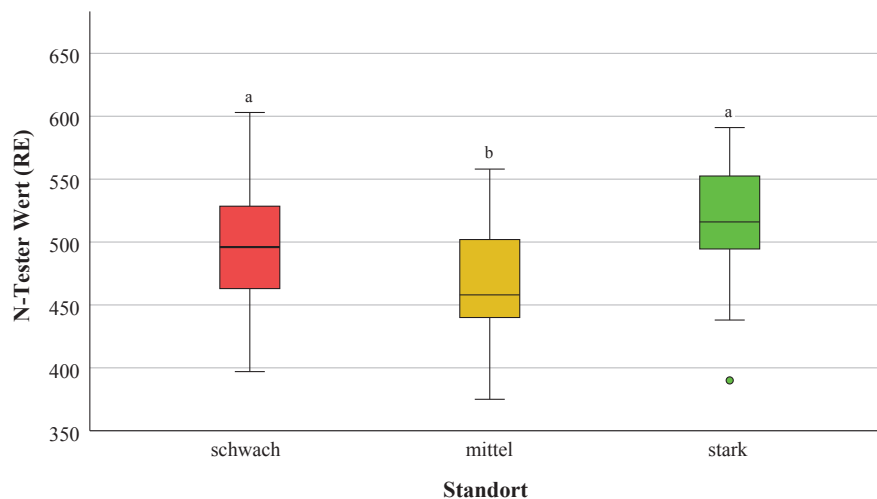


Abbildung 8: N-Tester Messwerte in relativen Einheiten des dritten Messtermins im Juni der verschiedenen Standorte (eigene Darstellung 2024)

4.1.1.3 Analyse der Interaktion von Variante und Standort

Die Interaktion von Variante und Standort zeigte sich in den N-Tester-Werten am ersten Messtermin im April als signifikant unterschiedlich. Der p-Wert betrug 0,02. Unterschiede in den N-Tester-Werten zwischen den Standorten traten vor allem bei der Gärrest- und der Gärrest mit Nitrifikationshemmer-Variante auf. Während auf dem schwachen Standort die rein mineralische Variante die höchsten N-Tester-Werte erzielte, übertraf auf dem starken Standort die Gärrestdüngung die mineralische Stickstoffdüngung (Abb. 9).

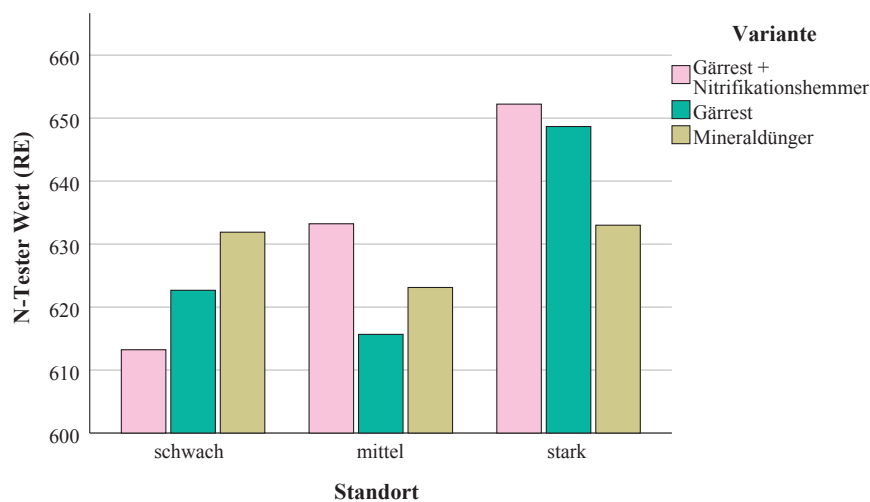


Abbildung 9: Interaktion von Variante und Standort in Bezug auf den N-Tester Wert in relativen Einheiten am ersten Messtermin im April (eigene Darstellung 2024)

Am zweiten Messtermin im Mai ($p = 0,16$) und am dritten Messtermin im Juni ($p = 0,997$) wurde keine signifikante Interaktion zwischen Variante und Standort festgestellt.

4.1.1.4 Analyse der Wiederholungen

Die N-Tester-Werte unterschieden sich beim ersten Messtermin im April signifikant zwischen den Wiederholungen ($p = 0,02$). Der Post-hoc-Test zeigte signifikante Unterschiede zwischen Wiederholung zwei (Mittelwert = 620) und Wiederholung drei (Mittelwert = 636), mit einem p-Wert von 0,007 sowie zwischen Wiederholung eins (Mittelwert = 636) und Wiederholung zwei ($p = 0,008$). Zwischen Wiederholung eins und Wiederholung drei wurde jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt ($p = 1,0$).

Die Messwerte des zweiten Termins im Mai wiesen ebenfalls einen signifikanten Unterschied auf ($p < 0,001$). Der Post-hoc-Test zeigte signifikante Unterschiede zwischen Wiederholung eins (Mittelwert = 657) und Wiederholung drei (Mittelwert = 680) sowie zwischen Wiederholung zwei (Mittelwert = 662) und Wiederholung drei ($p < 0,001$). Zwischen Wiederholung eins und Wiederholung zwei wurde jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt ($p = 1,0$).

Am dritten Messtermin im Juni zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied in den N-Tester-Werten zwischen den Wiederholungen ($p = 0,017$). Der Post-hoc-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen Wiederholung zwei (Mittelwert = 511)

und Wiederholung drei (Mittelwert = 473), mit einem p-Wert von 0,014. Zwischen Wiederholung eins (Mittelwert = 489) und Wiederholung zwei wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt ($p = 0,283$), ebenso wenig zwischen Wiederholung eins und Wiederholung drei ($p = 0,674$). Alle Ergebnisse des Post-hoc-Tests zwischen den Wiederholungen sind im Anhang (Tabelle 17) zu finden.

4.1.1.5 Analyse der Korrelationen

Der N-Tester-Wert des ersten Messtermins korreliert signifikant mit den Werten des zweiten und des dritten Termins. Die Korrelationskoeffizienten (r) liegen bei 0,245 bzw. 0,266, und die p-Werte betragen 0,028 bzw. 0,016. Diese Zusammenhänge sind moderat positiv, was darauf hinweist, dass höhere N-Tester-Werte im ersten Messtermin auch mit höheren N-Tester-Werten im zweiten und dritten Termin verbunden sind.

Der N-Tester-Wert des zweiten Messtermins korreliert nicht signifikant mit dem des dritten Messtermins. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,144 und der p-Wert liegt bei 0,201.

Die vollständige Korrelationsanalyse der N-Tester-Werte ist dem Anhang zu entnehmen (Tabelle 18).

4.1.2 Ernteergebnisse

Die Ernteparameter wurden an 27 Bonitурpunkten gemessen, jedoch werden die Ergebnisse in dieser Auswertung nur an 25 Punkten dargestellt und beurteilt, da zwei Punkte als Ausreißer identifiziert und aus der Analyse entfernt wurden (3.3.4)

Die Ernteergebnisse wurden je Quadratmeter und in Frischmasse erfasst. Zu den gemessenen Ertragskomponenten gehören die Ährenanzahl, die Gesamtanzahl der Spindelstufen, die reduzierten Spindelstufen, die fertilen Spindelstufen, die Erntemenge von Korn und Stroh sowie das Tausendkorngewicht. Zusätzlich wurden Qualitätskomponenten wie das Hektolitergewicht, das Rohprotein des unvermahlenden und des vermahlenden Korns sowie die Fallzahl berücksichtigt. Aus diesen Werten wurden der Harvestindex, der Einzelährenertrag sowie der Stickstoffentzug und das Stickstoffsaldo berechnet.

Die Parameter unterlagen teils größeren Schwankungen, die hauptsächlich durch den Standort bedingt waren, weshalb sie zunächst getrennt betrachtet wurden. Besonders der Parameter Strohertrag wies die größten Schwankungen auf. Die Ährenanzahl und der Kornertrag schwankten weniger stark, während die anderen Parameter kaum variierten. Die Ergebnisse der Ertrags-, Qualitäts- und Berechnungsparameter sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst (Tabelle 4). Die Mittelwerte aller Parameter je Variable und Ausprägungsstufe sind im Anhang (Tabelle 13) zu finden.

Tabelle 4: Ernteergebnisse gesamt mit Anzahl, Mittelwert, Minimum, Maximum, Standard-Abweichung und Spannweite (eigene Darstellung 2024)

Variablen	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	Std.-Abweichung	Spannweite
Ähren gesamt (je m ²)	25	452,20	378,00	552,00	37,96	174,00
Spindelstufen gesamt (je Ähre)	25	22,18	21,60	23,20	0,42	1,60
reduzierte Spindelstufen (je Ähre)	25	3,53	2,93	4,60	0,28	1,67
gefüllte Spindelstufen (je Ähre)	25	18,62	17,27	19,93	0,63	2,66
Erntemenge Stroh (g FM /m ²)	25	1097,92	802,00	1543,00	180,40	741,00
Erntemenge Korn (g FM/m ²)	25	860,48	745,00	974,00	61,11	229,00
Harvest Index (%)	25	0,44	0,33	0,50	0,04	0,16
Einzelährenertrag (g/Ähre)	25	1,91	1,51	2,19	0,17	0,68
TKG (g)	25	40,80	36,00	47,00	2,8	11,00
Hektolitergewicht (kg/hl)	25	72,00	64,00	76,00	3	12,00
Rohprotein unvermahlen (%)	25	12,32	10,34	13,57	0,84	3,23
Rohprotein vermahlen (%)	25	13,68	11,99	14,90	0,73	2,91
Fallzahl (s)	25	418,00	381,00	475	21,00	94,00
Stickstoffentzug (kg/ha)	25	177,15	152,40	205,51	12,80	53,11
Stickstoffsaldo (kg/ha)	25	55,19	26,95	77,32	12,06	50,37

4.1.2.1 Analyse der Varianten

Bei der Betrachtung der drei Düngevarianten zeigen sich nur vereinzelt signifikante Unterschiede, basierend auf dem Signifikanzniveau von fünf Prozent. Die vollständige Varianzanalyse der Ernteergebnisse ist im Anhang zu finden (Tabelle 19).

Die Ährenzahl pro Variante zeigt tendenzielle Unterschiede. Die Gärrest-Variante erzielte im Mittel die höchste Ährenzahl mit 470 Ähren pro Quadratmeter, gefolgt von der Mineraldünger-Variante (444 Ä/m²) und der Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer (439 Ä/m²). Die Varianzanalyse ergab einen p-Wert von 0,08, was keinen signifikanten Unterschied nach einem 5%-Signifikanzniveau anzeigt, aber nahe an 0,05 liegt und daher als tendenziell signifikant betrachtet wird. Es gibt eine Tendenz, dass die Düngungsvarianten die Ährenzahl beeinflussen (Abb. 10). Der Post-hoc-Test zeigt jedoch keine spezifischen signifikanten Unterschiede.

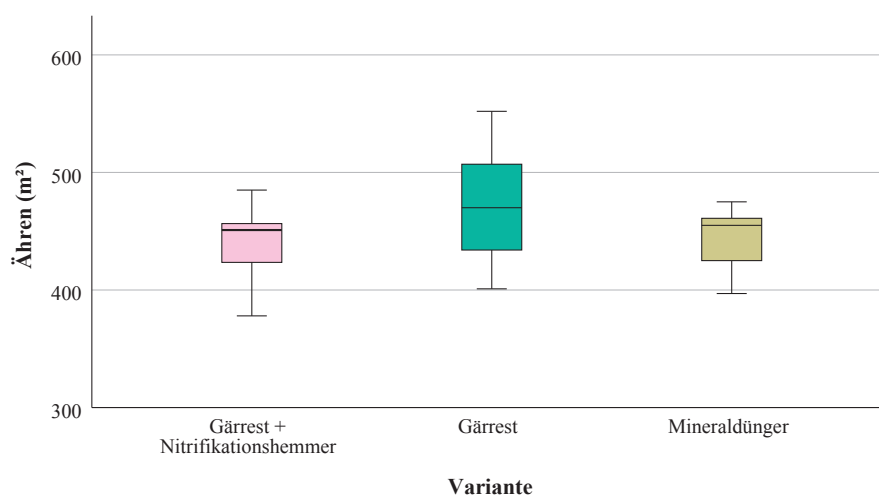


Abbildung 10: Ährenzahl je Quadratmeter der verschiedenen Düngevarianten (eigene Darstellung 2024)

Die Erntemenge des Strohs zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten da der p-Wert 0,03 beträgt. Den höchsten Strohertrag erzielte im Mittel die Gärrest-Variante mit 1165 Gramm pro Quadratmeter, gefolgt von der Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer (1077 g/m²) und der Mineraldünger-Variante (1048 g/m²) (Abb. 11). Der Post-hoc-Test zeigt, dass der Unterschied nur zwischen der Gärrest-Variante und der Mineraldünger-Variante signifikant ist (p-Wert = 0,033). Zwischen Gärrest und Gärrest mit Nitrifikationshemmer besteht kein signifikanter Unterschied (p-Wert =

0,176), ebenso wenig zwischen Gärrest mit Nitrifikationshemmer und Mineraldünger (p-Wert = 1,0).

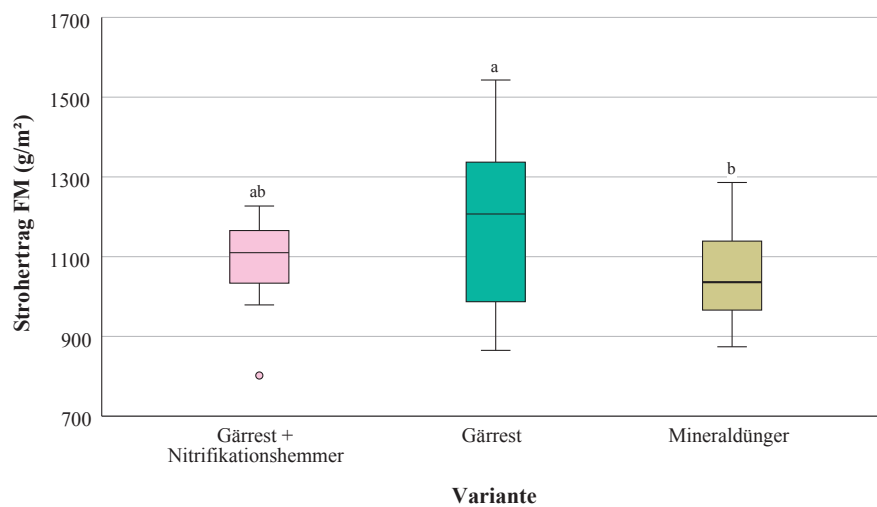


Abbildung 11: Strohhertrag in Gramm je Quadratmeter der verschiedenen Düngewarianten (eigene Darstellung 2024)

Die Erntemenge des Korns zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten (Abb. 12). Der p-Wert beträgt 0,710. Der höchste Mittelwert wurde bei der Mineraldünger-Variante mit 874 Gramm pro Quadratmeter erzielt, gefolgt von der Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer (858 g/m²) und der Gärrest-Variante (849 g/m²).

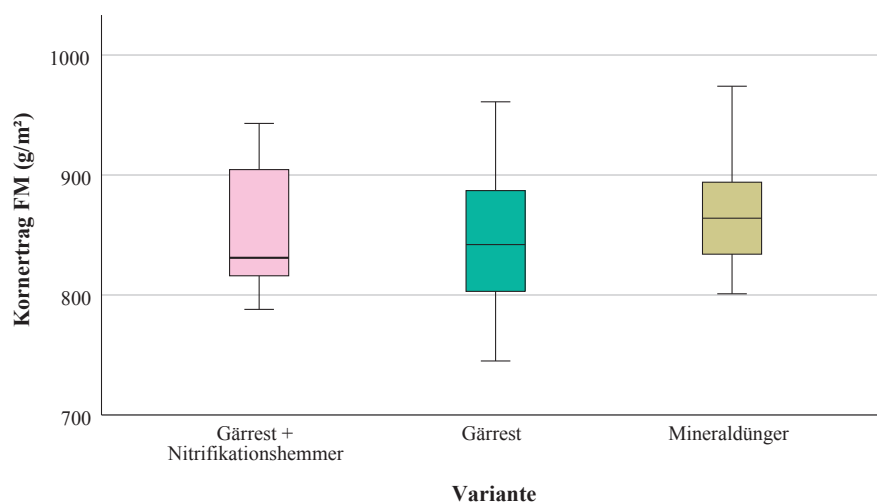


Abbildung 12: Kornertrag in Gramm je Quadratmeter der verschiedenen Düngewarianten (eigene Darstellung 2024)

Der Harvestindex zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten, der p-Wert beträgt 0,037 (Abb. 13). Den höchsten Harvest-Index erzielte die Mineraldünger-Variante mit 0,46 %, gefolgt von der Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer (0,44 %) und der Gärrest-Variante (0,43 %). Der Post-hoc-Test zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen der Gärrest- und der Mineraldünger-Variante (p-Wert = 0,036). Zwischen Gärrest und Gärrest mit Nitrifikationshemmer sowie zwischen Gärrest mit Nitrifikationshemmer und Mineraldünger gibt es keinen signifikanten Unterschied (p-Werte = 0,327 und 1,0).

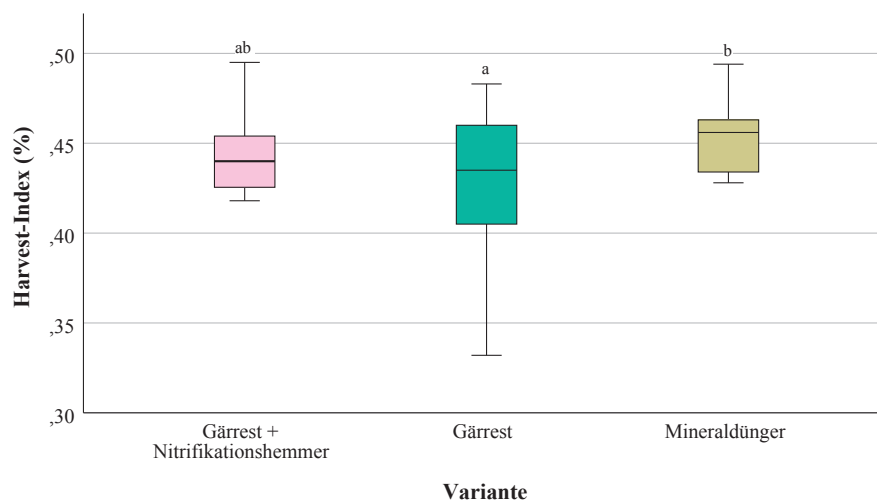


Abbildung 13: Harvest-Index in Prozent je Düngevariante (eigene Darstellung 2024)

Das provisorisch gemessene Hektolitergewicht zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten (p-Wert = 0,07). Es lässt sich jedoch eine Tendenz erkennen, dass es sich annähernd signifikant unterscheidet (Abb. 20). Den höchsten Mittelwert erzielte die Gärrest-Variante mit 73 Kilogramm pro Hektoliter, gefolgt von der Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer (71 kg/hl) und der Gärrest-Variante (71 kg/hl). Der Post-hoc-Test ergab keine signifikanten Unterschiede.

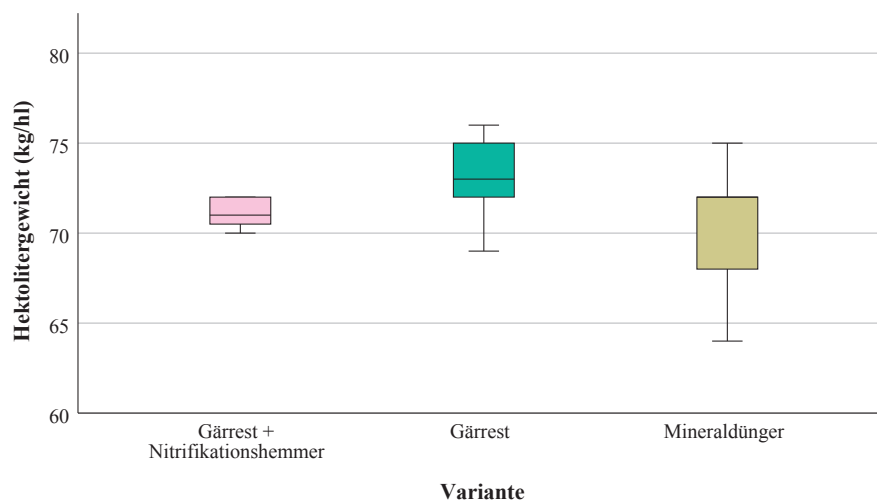


Abbildung 14: Hektolitergewicht in Kilogramm je Hektoliter der verschiedenen Düngevarianten (eigene Darstellung 2024)

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten für die gesamte Anzahl an Spindelstufen ($p = 0,335$), die reduzierten Spindelstufen je Ähre ($p = 0,251$), die Erntemenge von Stroh und Korn ($p = 0,261$), den Einzelährenertrag ($p = 0,125$), das Tausendkorngewicht ($p = 0,983$), das Rohprotein des unvermahlenden Korns ($p = 0,817$), das Rohprotein des vermahlenden Korns ($p = 0,595$), die Fallzahl ($p = 0,207$), den Stickstoffentzug ($p = 0,255$) und das Stickstoffsaldo ($p = 0,803$) festgestellt. Alle Ergebnisse des Post-hoc-Test zwischen den Varianten sind im Anhang dargestellt (Tabelle 20).

4.1.2.2 Analyse der Standorte

Die Ährenanzahl je Quadratmeter unterscheidet sich signifikant zwischen den Standorten, der p-Wert beträgt 0,019 (Cross reference to deleted element zn05hes9zgp). Die größte Ährenanzahl im Mittel erzielte der starke Standort mit 475 Ähren pro Quadratmeter, gefolgt vom mittleren Standort (451 Ä/m²) und dem schwachen Standort (431 Ä/m²). Der Post-hoc-Test zeigt einen signifikanten Unterschied nur zwischen dem starken und dem schwachen Standort (p -Wert = 0,027). Zwischen dem starken und dem mittleren sowie dem mittleren und dem schwachen Standort wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt (p -Werte = 0,317 und 0,563).

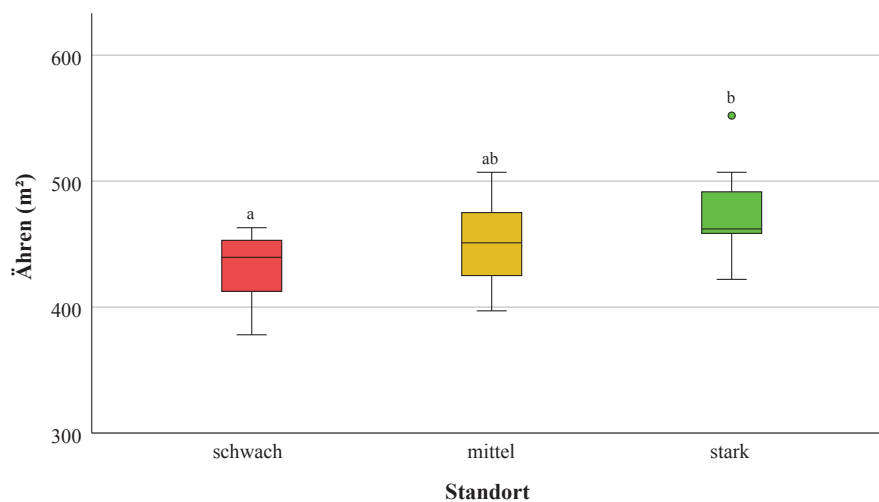


Abbildung 15: Ährenanzahl je Quadratmeter der verschiedenen Düngevarianten und Standorte (eigene Darstellung 2024)

Die Erntemenge des Strohs unterscheidet sich signifikant je nach Standort, der p-Wert liegt unterhalb 0,001 (Abb. 16). Den höchsten Strohertrag erzielte im Mittel der starke Standort mit 1233 Gramm pro Quadratmeter, gefolgt vom mittleren Standort (1097 g/m²) und dem schwachen Standort (1048 g/m²). Der Post-hoc-Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen dem schwachen und dem starken Standort (p-Wert < 0,001), dem mittleren und dem starken Standort (p-Wert = 0,016) sowie dem schwachen und dem mittleren Standort (p-Wert = 0,018).

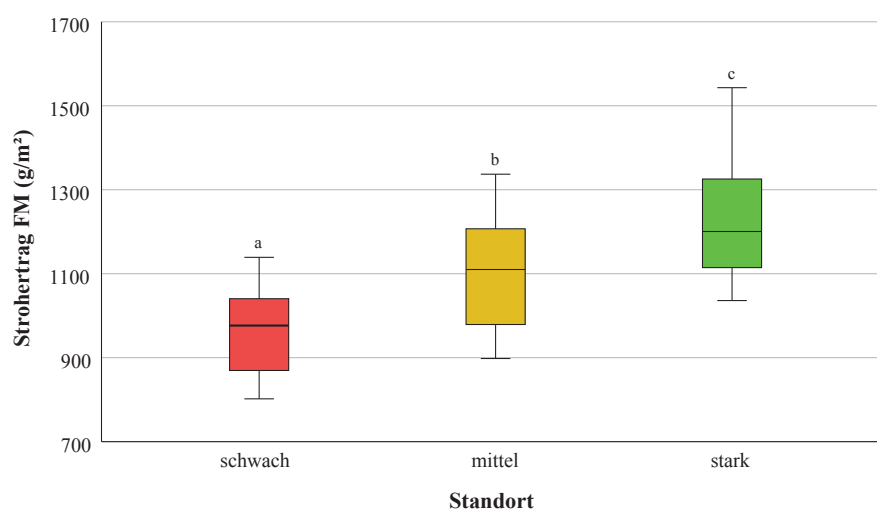


Abbildung 16: Strohertrag der verschiedenen Standorte als Frischmasse in Gramm je Quadratmeter (eigene Darstellung 2024)

Die Erntemenge des Korns unterscheidet sich nicht signifikant je Standort, da der p-Wert bei 0,256 liegt (Abb. 17). Im Mittel war der Kornertrag auf den starken und mittleren Standorten am höchsten, mit jeweils 874 Gramm pro Quadratmeter, während er auf dem schwachen Standort am niedrigsten war (832 g/m²).

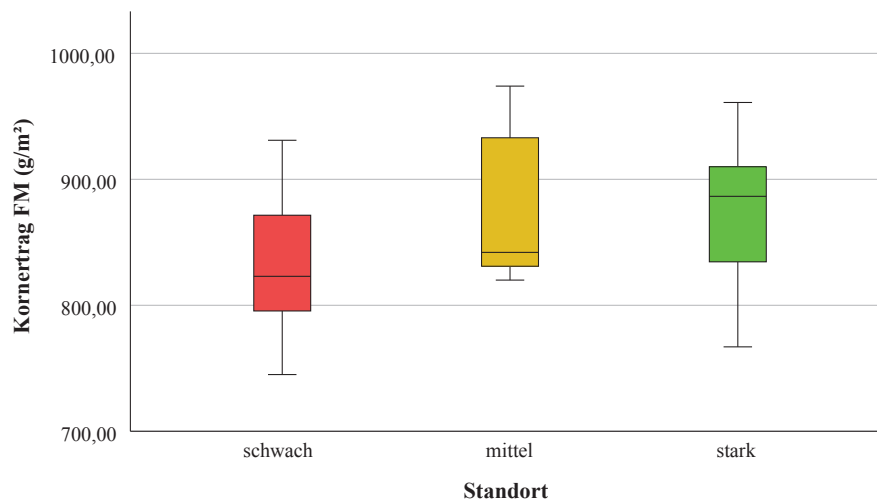


Abbildung 17: Kornertrag der verschiedenen Standorte als Frischmasse in Gramm je Quadratmeter (eigene Darstellung 2024)

Der Harvestindex unterscheidet sich signifikant je nach Standort, der p-Wert beträgt 0,002 (Abb. 18). Im Mittel erzielte der schwache Standort den höchsten Harvest-Index mit 0,46 %, gefolgt vom mittleren Standort (0,44 %) und dem starken Standort (0,42 %). Der Post-hoc-Test zeigt einen signifikanten Unterschied nur zwischen dem schwachen und dem starken Standort (p-Wert = 0,003). Zwischen dem mittleren und dem starken Standort gibt es eine Tendenz zu einem signifikanten Unterschied (p-Wert = 0,06), während zwischen dem schwachen und dem mittleren Standort kein signifikanter Unterschied besteht (p-Wert = 0,336).

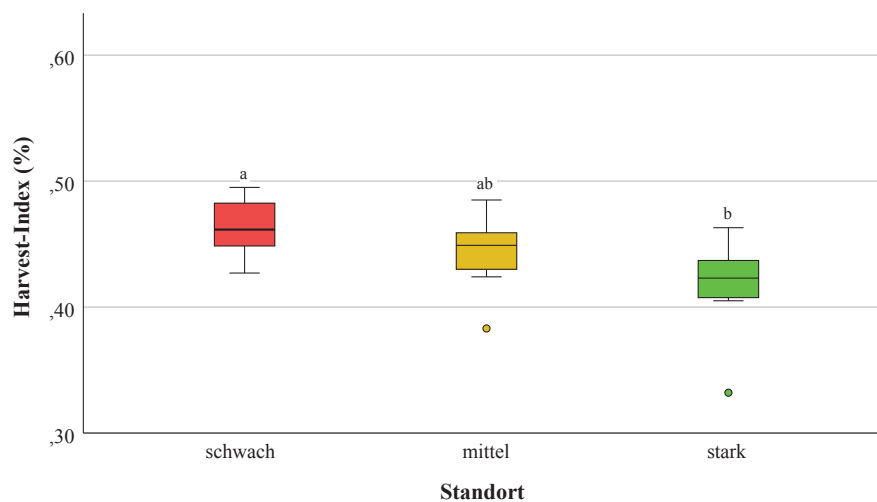


Abbildung 18: Harvest-Index in Prozent je Standort (eigene Darstellung 2024)

Das Tausendkorngewicht (TKG) unterscheidet sich signifikant je nach Standort, der p-Wert beträgt 0,043 (Abb. 19). Der schwache Standort erzielte den höchsten Mittelwert mit 43 Gramm, gefolgt vom mittleren Standort (40 g) und dem starken Standort (39 g). Der Post-hoc-Test zeigt einen signifikanten Unterschied nur zwischen dem schwachen und dem starken Standort (p-Wert = 0,049). Zwischen dem schwachen und dem mittleren sowie dem mittleren und dem starken Standort bestehen keine signifikanten Unterschiede (p-Werte = 0,219 und 1,0).

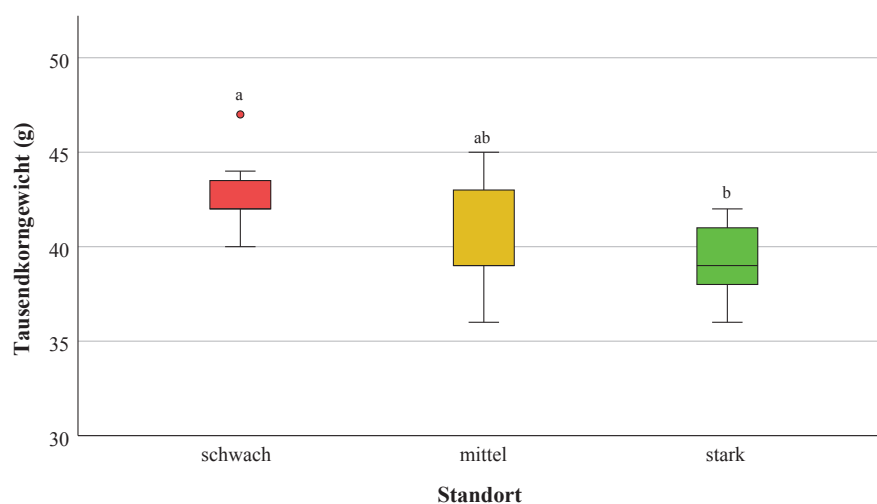


Abbildung 19: Tausendkorngewicht in Gramm je Standort (eigene Darstellung 2024)

Das provisorische Hektolitergewicht zeigt keinen signifikanten Unterschied je Standort (p-Wert = 0,07), weist jedoch eine Tendenz zu einem signifikanten Unterschied auf (Abb. 20). Den höchsten Mittelwert erzielte der schwache Standort mit 74 Kilogramm

pro Hektoliter, gefolgt vom mittleren und starken Standort (je 71 kg/hl). Der Post-hoc-Test zeigt ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten (schwach vs. stark: p-Wert = 0,079, schwach vs. mittel: p-Wert = 0,13, mittel vs. stark: p-Wert = 1,0).

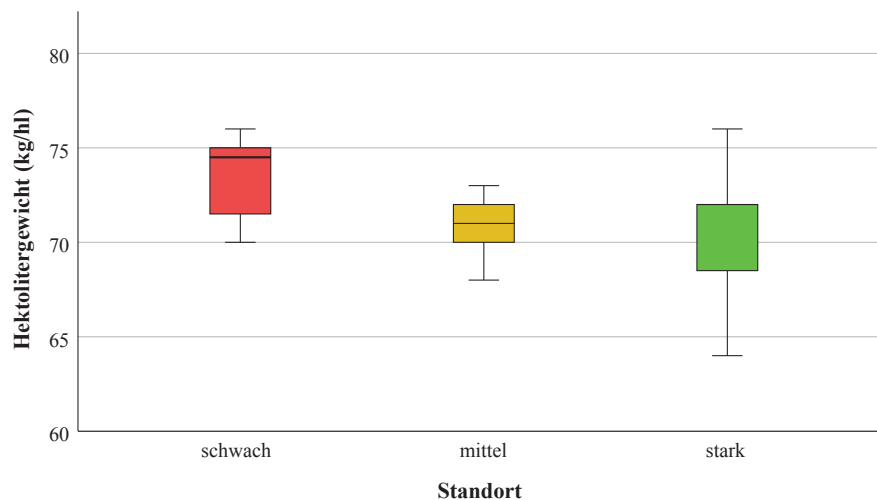


Abbildung 20: Hektolitergewicht in Kilogramm je Hektoliter der verschiedenen Standorte (eigene Darstellung 2024)

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten für die Gesamtzahl der Spindelstufen je Ähre ($p = 0,234$), die reduzierten Spindelstufen je Ähre ($p = 0,908$), die ausgebildeten Spindelstufen je Ähre ($p = 0,554$), den Einzelährenertrag ($p = 0,554$), den Rohproteingehalt des unvermahlenden Korns ($p = 0,527$), den Rohproteingehalt des vermahlenden Korns ($p = 0,239$), die Fallzahl ($p = 0,293$), den Stickstoffentzug ($p = 0,113$) und das Stickstoffsaldo ($p = 0,113$) festgestellt. Alle Ergebnisse des Post-hoc-Test zwischen den Standorten sind im Anhang dargestellt (Tabelle 21).

4.1.2.3 Analyse der Interaktion von Variante und Standort

Die Erntemenge des Strohs unterscheidet sich signifikant bei Interaktion, der p-Wert beträgt 0,031. Während auf dem schwachen Standort die Mineraldünger-Variante die höchsten Stroherträge erzielte, kehrte sich dieses Verhältnis am starken Standort um: Dort führte die Gärrestdüngung zu den höchsten Stroherträgen und übertraf die rein mineralische Stickstoffdüngung (Abb. 21).

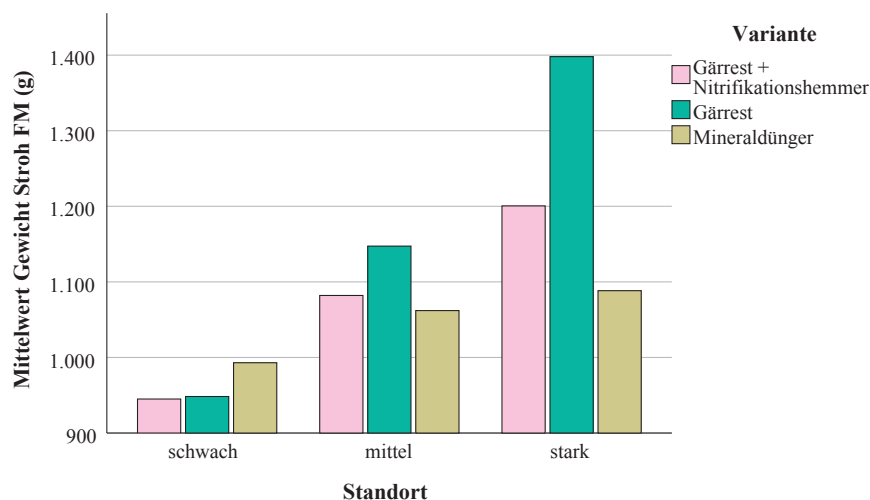


Abbildung 21: Interaktion von Düngevariante und Standort auf den Strohertrag als Frischmasse in Gramm je Quadratmeter (eigene Darstellung 2024)

Die Ährenanzahl je Quadratmeter ($p = 0,287$), die gesamten Spindelstufen je Ähre ($p = 0,770$), die reduzierten Spindelstufen je Ähre ($p = 0,717$) und die ausgebildeten Spindelstufen je Ähre ($p = 0,811$) zeigen bei der Interaktion keine signifikanten Unterschiede. Es wurden bei Interaktionen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede für die Erntemenge des Korns ($p = 0,681$), den Harvestindex ($p = 0,425$), den Einzelährenertrag ($p = 0,586$), das Tausendkorngewicht ($p = 0,807$), das provisorische Hektolitergewicht ($p = 0,495$), den Rohproteingehalt des unvermahlten Korns ($p = 0,821$), den Rohproteingehalt des vermahlten Korns ($p = 0,996$), die Fallzahl ($p = 0,207$), den Stickstoffzug ($p = 0,817$) und das Stickstoffsaldo ($p = 0,817$) festgestellt.

4.1.2.4 Analyse der Wiederholungen

Die Ährenanzahl unterscheidet sich signifikant zwischen den Wiederholungen (p -Wert = 0,053), was bis zu einem p -Wert von 0,055 als signifikant gilt. Den höchsten Mittelwert erzielte die dritte Wiederholung mit 471 Ähren pro Quadratmeter, gefolgt von der zweiten Wiederholung (450 Ä/m²) und der ersten Wiederholung (437 Ä/m²). Der Post-hoc-Test zeigt keine signifikanten Unterschiede, jedoch wird der p -Wert von 0,098 zwischen der ersten und dritten Wiederholung als tendenziell signifikant gewertet. Zwischen der zweiten und dritten sowie der ersten und zweiten Wiederholung bestehen keine signifikanten Unterschiede (p -Werte = 0,464 und 1,0).

Die Erntemenge des Strohs unterscheidet sich signifikant zwischen den Wiederholungen, der p-Wert liegt unterhalb 0,001. Den höchsten Strohertrag erzielte im Mittel die dritte Wiederholung mit 1207 Gramm pro Quadratmeter, gefolgt von der zweiten Wiederholung (1081 g/m²) und der ersten Wiederholung (1008 g/m²). Der Post-hoc-Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen der ersten und dritten (p-Wert = 0,001) sowie der zweiten und dritten Wiederholung (p-Wert = 0,025). Zwischen der ersten und zweiten Wiederholung wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt (p-Wert = 0,304).

Der Harvest-Index zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Wiederholungen, der p-Wert beträgt 0,004. Den höchsten Mittelwert erzielte die erste Wiederholung mit 0,46 %, gefolgt von der zweiten Wiederholung (0,45 %) und der dritten Wiederholung (0,42 %). Der Post-hoc-Test zeigt diesen Unterschied nur zwischen der ersten und dritten Wiederholung (p-Wert = 0,01). Zwischen der zweiten und dritten Wiederholung besteht eine Tendenz zu einem signifikanten Unterschied (p-Wert = 0,063).

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Wiederholungen in Bezug auf gesamte Spindelstufen (p = 0,338), reduzierte Spindelstufen (p = 0,707), gefüllte Spindelstufen (p = 0,296), Erntemenge des Korns (p = 0,605), Einzelährenertrag (p = 0,509), Tausendkorngewicht (p = 0,189), provisorisches Hektolitergewicht (p = 0,301), Rohproteingehalt des unvermahlenden (p = 0,353) und vermahlenden Korns (p = 0,501), Fallzahl (p = 0,772), Stickstoffentzug (p = 0,359), Stickstoffsaldo (p = 0,359) festgestellt. Die vollständigen Ergebnisse des Post-hoc-Test zwischen den Wiederholungen sind im Anhang dargestellt (Tabelle 17).

4.1.2.5 Analyse der Korrelationen

Im Folgenden werden alle signifikanten und tendenziell signifikanten Korrelationen zwischen den untersuchten Parametern präsentiert (Tabelle 5). Beziehungen ohne Darstellung sind nicht signifikant. Eine Darstellung aller Korrelationen befindet sich im Anhang (Tabelle 23). Besonders viele Korrelationen wurden für die Parameter Standort, Ährenanzahl und Wiederholung ermittelt, während Fallzahl und Rohproteingehalt nur wenige Korrelationen aufwiesen. Auch beim Kornertrag traten weniger Korrelationen auf als ursprünglich erwartet.

Tabelle 5: Signifikante Korrelationen zwischen den Ertrags- und Qualitätskriterien (eigene Darstellung 2025)

Parameter 1	Parameter 2	Korrelationskoeffizient (r)	p-Wert	Beziehung
Ährenanzahl	Strohertrag	0,823	< 0,001	stark positiv
	Harvest-Index	-0,708	< 0,001	stark negativ
	Einzelährenertrag	-0,677	< 0,001	stark negativ
	Tausendkorngewicht	-0,507	0,01	moderat negativ
	Stickstoffentzug	0,602	< 0,001	stark positiv
	Stickstoffsaldo	-0,685	< 0,001	stark negativ
Spindelstufen gesamt	Spindelstufen reduziert	0,798	< 0,001	stark positiv
Spindelstufen reduziert	Spindelstufen gefüllt	-0,674	< 0,001	stark negativ
Spindelstufen gefüllt	Hektolitergewicht	-0,369	0,07	tendenziell moderat negativ
	Stickstoffentzug	-0,381	0,06	tendenziell moderat negativ
Strohertrag	Kornertrag	0,358	0,079	tendenziell moderat positiv
	Harvest-Index	-0,916	< 0,001	stark negativ
	Stickstoffsaldo	-0,618	< 0,001	stark negativ
Kornertrag	Einzelährenertrag	0,495	0,012	moderat positiv
	Stickstoffentzug	0,672	< 0,001	stark positiv
Harvest-Index	Einzelährenertrag	0,495	0,012	moderat positiv
	Tausendkorngewicht	0,641	< 0,001	stark positiv
Einzelährenertrag	Tausendkorngewicht	0,573	0,003	moderat positiv
	Rohproteingehalt unvermahlen	-0,593	0,002	moderat negativ

Tabelle 5: Signifikante Korrelationen zwischen den Ertrags- und Qualitätskriterien (eigene Darstellung 2025)

Parameter 1	Parameter 2	Korrelationskoeffizient (r)	p-Wert	Beziehung
Tausendkorngewicht	Rohproteingehalt vermahlen	-0,613	0,001	stark negativ
	Hektolitergewicht	0,662	< 0,001	stark positiv
Rohproteingehalt der unvermahlenen Probe	Rohproteingehalt unvermahlen	-0,432	0,035	moderat negativ
	Rohproteingehalt der vermahlenen Probe	0,856	< 0,001	stark positiv
Rohproteingehalt der vermahlenen Probe	Fallzahl	0,425	0,034	moderat positiv
Stickstoffentzug	Stickstoffsaldo	-0,960	< 0,001	stark negativ

4.2 Ergebnisse Kostenrechnung

4.2.1 Düngemittleinsparung der Varianten

Die Düngung der Varianten ist annähernd gleich hinsichtlich der Nährstoffgehalte (3.2.1). Die Agrargenossenschaft hat in diesem Frühjahr den Dünger Kalkammonsalpete für 264 Euro je Tonne eingekauft, der 40 prozentige Korn-Kali wurde für 320,65 Euro je Tonne eingekauft. Das schwefelsaure Ammoniak wurde für 277 Euro je Tonne eingekauft und das Kieserit kostete 278 Euro je Tonne. Der Nitrifikationshemmstoff Piacin wurde für 3,58 Euro je Liter bezogen. Der verwendete Tripple-Phosphat der Nährstoffausgleichsrechnung wurde von der Agrargenossenschaft dieses Jahr nicht eingekauft, es wurden Preise einer Fachzeitschrift verwendet. Dieser kostete im Februar 2024 540 Euro je Tonne (Deutscher-Landwirtschaftsverlag-GmbH, 2024). Nachfolgend wurden Berechnungen mit diesen Preisen erstellt.

Der Betrieb hat durch die Gärrestgabe praktisch 150 Kilogramm Korn Kali, 30 Kilogramm Schwefelsaures Ammoniak und 194 Kilogramm Kalkammonsalpeter eingespart. Die Berechnung dieser Ersparnis befindet in der folgenden Tabelle (Tabelle 6). Nach dieser wurde die eingesparte Düngemenge mit dem Einkaufspreisen des Dün-

gers der Agrargenossenschaft im Frühjahr 2024 multipliziert. Demnach ergibt sich insgesamt eine Einsparung von mineralischen Dünger in Höhe von 107,45 Euro je Hektar und 374 Kilogramm Aufwandmenge je Hektar bei der Gärrest Variante. Zusätzlich muss beachtet werden, dass zehn Prozent des Gesamtstickstoffs der Gärreste laut Düngeverordnung (*Düngeverordnung* - (DüV), 2020) im Folgejahr angerechnet werden muss. Dies würde einer Stickstoffmenge von 8,52 Kilogramm Stickstoff je Hektar entsprechen, dieser wird ebenfalls aufgrund der Langzeitwirkung eingespart. Mit Kalkammonsalpeter verrechnet ergibt dies eine weitere Kostenersparnis von 8,33 Euro je Hektar, welche nicht in die Gesamtersparnis in dieser Arbeit mit eingerechnet werden. Der Maschinenaufwand der Düngung wird im weiteren Verlauf dieses Kapitel betrachtet und berechnet.

Tabelle 6: Berechnung der praktischen Düngeersparnis der Gärrestvariante gegenüber der mineralischen Variante in Euro je Hektar (eigene Darstellung 2024)

Düngerart	Düngerpreis (€/t)	eingesparte Düngermenge (t/ ha)	Ersparnis (€/ha)
Kalkammonsalpeter (KAS)	264	0,194	51,22
Schwefelsaures Ammoniak (SSA)	277	0,03	8,13
Korn-Kali 40	320,65	0,15	48,1
Dünger Gesamt		0,374	107,45

Die dritte Variante Gärrest mit dem Nitrifikationshemmer Piadin beinhaltet die gleichen Ausbringkosten und Düngekosten wie die Gärrest Variante. Lediglich die Aufwandmenge Piadin je Hektar kommt zu den Düngekosten dazu. Mit der geplanten Ausbringmenge von fünf Liter je Hektar wären das zusätzliche Kosten von 17,90 Euro je Hektar. Dadurch entsteht eine Düngemittelersparnis der Gärrest mit Nitrifikationshemmer Variante gegenüber der Mineraldünger Variante in Höhe von 89,55 Euro. Da die tatsächliche Ausbringmenge vier Liter betrug, betragen die Kosten für das Piadin auf 14,32 Euro je Hektar. Somit ergibt sich eine Ersparnis von 93,13 Euro je Hektar gegenüber der Mineraldünger Variante.

Tatsächlich wurden geringfügige Mengen mehr oder weniger ausgebracht. In der Gärrestvariante fehlen 7,38 Kilogramm Stickstoff je Hektar, dieser wurde hauptsächlich bei der Düngung mit Kalkammonsalpeter weniger gestreut. Beim Phosphorpentoxid wurden durch den Phosphor-Gehalt des Gärrestes 20,32 Kilogramm je Hektar mehr ausgebracht. Zudem wurden 7,04 Kilogramm Kaliumoxid je Hektar mehr ausgebracht.

Beim Magnesiumoxid wurden 7,08 Kilogramm je Hektar und beim Schwefel 3,88 Kilogramm weniger in der Gärrestvariante ausgebracht. Der Stickstoff wurde über den Kalkammonsalpeter, das Phosphorpentoxid über Triplesuperphosphat, das Kaliumoxid mit Korn-Kali, das Magnesiumoxid ebenfalls über den Kalkammonsalpeter und den Korn Kali verrechnet, da in beiden Düngemitteln auch Magnesiumoxid enthalten ist. Der Schwefel wurde über das Korn Kali verrechnet. Da die Mengen des Kalkammonsalpeters und des Korn Kalis nicht ausreichten (Mengen orientierten sich an Hauptnährstoff), wurde die restliche Differenz mit Kieserit aufgefüllt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Berechnung des Kostenausgleichs der Nährstoffdifferenz der Gärrest Variante zur mineralischen Variante (eigene Darstellung 2024)

Nährstoff	Nährstoffdifferenz (kg/ha)	Verrechnet mit Düngerart	benötigte Menge Dünger (kg/ha)	Restmenge Differenz Nährstoff (kg/ha)	Düngemittel Preis (€/t)	Kosten Differenz (€/ha)
Stickstoff	-7,38	Kalkammonsalpeter	27,33	0	264,00	+7,22
Phosphor-pentoxid	+20,32	Triplesuperphosphat	44,17	0	540,00	-23,85
Kaliumoxid	+7,04	Korn Kali	17,60	0	320,65	-5,64
Magnesium-oxid	-7,08	Kalkammonsalpeter, Korn Kali	-	-7,05		
Schwefel	-3,88	Korn Kali	-	-4,58		
Magnesium-oxid	-7,05	Kieserit	28,20	0	278,00	+7,84
Schwefel	-4,58	Kieserit		+0,96		
Summe		allen				-14,43

Verrechnet man die minimalen Nährstoffunterschiede der Düngegaben der verschiedenen Düngevarianten ergibt sich eine weitere Kostendifferenz in der Summe von minus 14,43 Euro je Hektar. Diese Kosten hat die Gärrestvariante gegenüber der mineralischen Variante zusätzlich zu den oben errechneten praktischen Nährstoffeinsparung eingespart. Die zusätzliche Phosphorgabe der Gärreste erbringt hauptsächlich die größeren Ersparungen. In diesem Modell wurden die möglichen zusätzlichen Ausbringkosten der Dünger nicht mit kalkuliert, da in beiden Varianten theoretisch noch zwei Überfahrten mit dem Mineraldüngerstreuer erfolgen müssten. Die Kostendifferenz dieser beiden Überfahrten beläuft sich auf Cent Beträge (Vgl.4.2.2).

4.2.2 Ausbringungskosten der Varianten

Die Gärrest Variante verzeichnete eine extra Überfahrt mit dem Güllefass, jedoch auch die Einsparung der Kaliumgabe mit dem Zentrifugalstreuer sowie die Reduzierung von drei Stickstoffgaben.

Eine Überfahrt mit dem Düngerstreuer beläuft sich auf ungefähre Kosten in Höhe von fünf bis sieben Euro je Hektar. Die Überfahrt mit dem Güllefass beläuft sich auf ungefähr 70 Euro Kosten je Hektar. Die Ausbringungskosten aller aufgeführten Düngemaßnahmen der mineralischen Variante belaufen sich auf 35,10 Euro je Hektar. Die Ausbringungskosten der Gärrest Variante belaufen sich auf 96,05 Euro je Hektar (Tabelle 8). Demnach war die Gärrest-Ausbringung 60,95 Euro teurer als in der mineralischen Variante. Der Grund hierfür sind die hohen Einsatzkosten des Güllefasses durch die geringere Flächenleistung und die höheren Maschinenkosten. Diese Zahlen sind nur Richtwerte und als annähernd anzusehen, da die verwendeten Maschinen- und Arbeitskraftkosten geringfügig abweichen.

Tabelle 8: Kurzfassung der Berechnung und des Vergleichs der Ausbringkosten der Düngervarianten in Euro je Hektar (eigene Darstellung 2024)

Düngevariante	Maschinenkosten (€/ha)	Arbeits erledigungskosten (€/ha)	Ausbringungskosten (€/ha)
Mineraldünger	24,35	10,75	35,10
Gärrest	76,70	19,35	96,05
Differenz	-52,35	-8,60	-60,95

Die ausführliche Berechnungstabelle befindet sich im Anhang (Tabelle 11).

5 Diskussion

5.1 Versuchsplanung und Versuchsdurchführung

Grundsätzlich war die Planung, die Umsetzung und Auswertung des Versuchs erfolgreich. Es konnten viele Ergebnisse gesammelt, statistische Auswertungen und Schlussfolgerung aus diesen unternommen werden. Allgemeine Fehlerquellen wie die Standortheterogenität oder Messfehler wurden durch verwendeten Methoden bestmöglich reduziert.

Bei der Bearbeitung des Versuchs fiel auf, dass die Wirksamkeit der Gärreste schwer einzuschätzen ist. Die Beurteilung der Stickstoffbereitstellung sollte durch weitere Versuche besser erforscht werden.

Eine maschinelle Ernte mit einem Mähdrescher, der eine Ertragskartierung beinhaltet, könnte auf größeren Parzellen eine gute Möglichkeit bieten, die Ertrags- und Qualitätsunterschiede präziser zu erfassen.

5.2 Stickstoff-Messungen

Die Stickstoff-Messung zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Daher lässt sich schließen, dass es keine Unterschiede in der Stickstoffversorgung der Weizenpflanzen trotz der unterschiedlichen Düngevarianten gibt und die Varianten den Stickstoff gleich effizient aufgenommen haben. Da in allen Varianten eine gleiche Stickstoffversorgung der Pflanzen festgestellt wurde, ist es möglich, dass die Gärreste am ersten Messtermin (27.04.2024) noch nicht vollständig wirksam in Bezug auf die Stickstoffmineralisierung waren. Zu diesem Zeitpunkt waren auf der Gärrest-Variante 20,57 Kilogramm mehr Stickstoff ausgebracht als auf der Mineraldünger-Variante. Aufgrund der Messwerte lässt sich nicht annehmen, dass der Stickstoffbedarf der Pflanzen bereits gedeckt war, da die Stickstoffmessung für die Mineraldünger-Variante einen Düngebedarf von 20 Kilogramm Stickstoff pro Hektar ergab. Zum Zeitpunkt der zweiten Messung war die gesamte Stickstoffmenge der Gärreste verfügbar, da die Stickstoffwerte in beiden Varianten gleich waren und die Gärrest-Variante 7,29 Kilogramm weniger Stickstoff pro Hektar erhielt. Aufgrund des höheren Anteils an Ammoniumstick-

stoff (64 %) in den Gärresten, der im Ausbringungsjahr pflanzenverfügbar ist, hätte der Unterschied zwischen den Varianten bei etwa 3,4 Kilogramm Stickstoff pro Hektar liegen müssen, da gemäß Düngeverordnung 60 Prozent des Gesamtstickstoffs als anrechenbar im Ausbringungsjahr gilt (*Düngeverordnung* - (DüV), 2020).

Die Betrachtung der Standorte ergab signifikante Unterschiede sowohl bei der ersten Messung im April als auch bei der letzten Messung im Juni. Bei der ersten Messung waren die Standorte „schwach“ und „mittel“ gleich, während der Standort „stark“ signifikant höhere Werte aufwies (ca. 20 relative Einheiten). Der starke Standort scheint mehr Stickstoff bis zum Wachstumsstadium EC 32 aufzunehmen als der schwache und mittlere Standort. Bei einem gleichen Ertragsziel unterscheidet sich jedoch die Düngeempfehlung der Atfarm-App nicht. Wird bei einem schwachen Standort ein Ertrag von sieben Tonnen pro Hektar angenommen, bleibt die Empfehlung unverändert. Für den starken Standort mit neun Tonnen pro Hektar ergibt sich ein etwa 20 Kilogramm pro Hektar höherer Düngebedarf. Da die Ertragsunterschiede realistisch sind und vor allem durch die Wasserhaltefähigkeit der verschiedenen Böden bestimmt werden, sollte eine differenzierte Düngung in Betracht gezogen werden, um starke Standorte bedarfsgerechter zu fördern.

Die zweite Messung zeigte, dass sich diese Unterschiede bis Ende Mai angleichen, sodass die Standorte sich nicht mehr unterscheiden. Bei Anpassung der Ertragserwartungen an den Standort ergab sich hingegen ein Stickstoffbedarf von null Kilogramm pro Hektar bei niedriger Ertragserwartung und 40 Kilogramm pro Hektar bei höherer Ertragserwartung. Dies spricht ebenfalls für eine bedarfsgerechtere und teilflächenspezifischere Stickstoffverteilung, um das Stickstoffsaldo auf einem konstanten Niveau zu halten und ausreichend Stickstoff für die Kornfüllung sowie den Proteingehalt sicherzustellen.

Die letzte Messung im Juni zeigte signifikante Unterschiede zwischen den schwachen und mittleren sowie den mittleren und starken Standorten, wobei die Unterschiede deutlicher ausfielen. Aufgrund der Messfehler bei den abgestorbenen Blättern und den Einsatz außerhalb der empfohlenen Wachstumsstadien wird diese Messung nicht tiefergründiger betrachtet. Allgemein bleibt jedoch zu sagen, dass am dritten Messtermin (23.06.2024) das für die Photosynthese und den Ertrag wichtige Farnblatt deutliche Nekrosen aufwies. Diese traten wahrscheinlich durch hohe Temperaturen der letzten Monate auf, welche verkürzte Wachstumsstadien und ein gehindertes Wurzelwachs-

tum hervorbringen. Dazu kommen die hohen Niederschlagsmengen, welche für überdurchschnittliche Pilzinfektionen sorgten. Diese Stressbedingungen sorgten für eine verfrühte Abreife (Hanus u. a., 2008).

Die Interaktion von Standort und Variante zeigte nur beim ersten Messtermin einen signifikanten Unterschied. Bei den Gärrest-Varianten war die Stickstoffversorgung der Pflanzen mit zunehmender Standortgüte höher, bei der Mineraldünger-Variante hingegen gleichbleibend. Der organische Dünger wird auf stärkeren Standorten besser und schneller verwertet, was auf eine bessere Absorption des Bodens, eine höhere mikrobielle Biomasse zur Umwandlung des Ammoniums oder eine bessere Wurzelerschließung der Pflanzen zurückzuführen sein könnte. Die auf die Gärrestdüngung folgenden Stickstoffdüngungen könnten auf starken Standorten reduziert und auf schwachen Standorten erhöht werden, um diese Unterschiede auszugleichen.

Die Wiederholungen zeigen zu den verschiedenen Messterminen teilweise signifikante Unterschiede. Dies kann durch die Bodenunterschiede der verschiedenen Wiederholungen hervorgerufen worden sein.

5.3 Ernteergebnisse

5.3.1 Ährenanzahl

Die Ährenanzahl wird nicht signifikant von der Düngevariante beeinflusst, ein tendenzieller Unterschied zeigt sich dennoch. Die Gärrest-Variante weist sowohl die höchste Ährenanzahl als auch die größte Stroherntemenge auf, wobei starke Schwankungen je nach Standort zu beobachten sind. Dies könnte auf die frühe und hohe Stickstoffverfügbarkeit zurückzuführen sein. Hohe Ährenzahlen auf starken Standorten können durch einen hohen Stickstoffgehalt zum Bestocken und Schossbeginn begünstigt worden sein, was zu einer Vielzahl von Trieben geführt hat. Diese Entwicklung wurde bei den anderen Varianten, die geringere Stickstoffmengen erhielten (wie die Mineraldünger-Variante und Gärrest mit Nitrifikationshemmer-Variante), gehemmt, sodass der Stickstoff später verstärkt für den Kornertrag zur Verfügung stand. Es scheint, dass die organische Düngung das Biomassewachstum fördert.

Eine Überlegung zur Optimierung der Gärrest-Variante wäre, die Kalkammonsalpeter-Gabe nach den Gärrest-Applikation etwas zurückhaltender zu gestalten, um mehr Stickstoff in den späteren Phasen des Schossens, der Blüte und der Kornfüllung bereitzustellen und somit die Kornmasse besser zu unterstützen. Eine andere Möglichkeit wäre, die erste Gabe mit schwefelsauren Ammoniak zu verabreichen und die Stickstoffgabe nach der Gärrestausrückführung mit Kalkammonsalpeter zu vollziehen sowie stärker zu reduzieren, um übermäßiges Biomassewachstum zu bremsen und den Stickstoff in den späteren Wachstumsphasen stärker in das Kornwachstum zu investieren. Zudem könnte eine Düngemittelsparung erzielt werden, indem der hohe Anteil an Ammoniumstickstoff im Gärsubstrat stärker angerechnet wird, anstatt nur die vorgeschriebene Mindestanrechenbarkeit zu verwenden.

Der Standort hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Ährenanzahl. Im Durchschnitt wurden 430 Ähren pro Quadratmeter gezählt, wobei auf den starken Standorten über 470 Ähren pro Quadratmeter erreicht wurden. Auf den schwachen Standorten lag die Anzahl der Ähren im Mittel etwa 50 Ähren weniger pro Quadratmeter als auf den starken Standorten. Für ein Ertragsziel von sieben Tonnen wurden die notwendigen Ährenzahlen von 400 bis 450 erreicht, sollten jedoch, insbesondere auf den schwachen Standorten, gesteigert werden, um höhere Erträge zu sichern. Dies könnte durch eine intensivere Düngung während der Bestockung und des Schossens erreicht werden. Allerdings muss die Gefahr einer unzureichenden Wasserversorgung zu späteren Zeitpunkten bedacht werden.

Die positive Korrelation der Ährenanzahl mit dem Strohertrag und dem Stickstoffentzug sowie die signifikant unterschiedlichen Ährenanzahlen je Standort unterstreichen den Aspekt der teilflächenspezifischen Düngung.

Zudem hatten die Wiederholungen einen Einfluss auf die Ährenanzahl, was an den Bodenunterschieden der verschiedenen Wiederholungen liegen kann.

5.3.2 Spindelstufen

Im Durchschnitt wurden 22 Spindelstufen angelegt, 3,5 Spindelstufen reduziert und insgesamt 18,6 gefüllte Spindelstufen erzielt. Die Werte schwanken nur geringfügig, und es sind keine Unterschiede zwischen den Varianten festzustellen. Eine höhere Standortgüte führt tendenziell zu einer größeren Anzahl an Spindelstufen. Je mehr

Spindelstufen angelegt wurden, desto mehr fertile und weniger reduzierte Spindelstufen waren vorhanden. Daraus lässt sich schließen, dass stärkere Standorte mit einer höheren Anzahl an Spindelstufen weniger anfällig für Reduktionsprozesse sind als schwächere Standorte. Allgemein hat die Ertragskomponente Spindelstufen keine große Variation. Es kann möglich zudem sein, dass die Bestimmung der Werte anhand von 15 Ähren nicht repräsentativ genug war um Unterschiede festzustellen.

5.3.3 Strohertrag

Der Strohertrag lag im Durchschnitt bei 1,1 Kilogramm pro Quadratmeter und variierte signifikant zwischen den Varianten. Der größte Effekt war zwischen der Mineraldünger-Variante mit 1,05 Kilogramm pro Quadratmeter und der Gärrest-Variante mit 1,16 Kilogramm pro Quadratmeter. Die Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer lag mit 1,08 Kilogramm pro Quadratmeter eher in der Nähe der Mineraldünger-Variante. Die Gärrest-Variante wies auch den größten Variationskoeffizienten mit 17 Prozent auf, welche fast doppelt so hoch wie bei den anderen Varianten ist. Für einen Feldversuch ist diese Variation nicht überdurchschnittlich hoch und akzeptabel. Der Strohertrag zeigte einen starken positiven Zusammenhang mit der Ährenanzahl. Wie bereits bei der Ährenanzahl vermutet, führte die frühe und hohe Stickstoffdüngung durch die Gärreste zu einer stärkeren Bestockung und Triebanlage, während der Nitrifikationshemmer diesen Effekt etwas dämpfte.

Der Standort hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Strohertrag. Je besser der Standort war, desto höher war der Strohertrag. Der Unterschied zwischen starken und schwachen Standorten lag im Mittel bei mehr als 2,5 Dezitonnen je Hektar. Dies kann mit der besseren Wasserverfügbarkeit und andererseits mit der besseren Nährstoffversorgung (einschließlich der Mineralisierung der Gärreste) zusammen hängen.

Die Interaktion zwischen Standort und Variante zeigte, dass die Gärrest-Varianten auf stärkeren Standorten deutlich höhere Stroherträge erzielten. Besonders die Gärrest-Variante reagierte stärker auf den Standort als die Mineraldünger-Variante. Auf den besseren Standorten wird das Gärsubstrat effizienter verwertet, was bei der Planung der zukünftigen Stickstoffgaben berücksichtigt werden sollte. Die Stickstoffgabe nach der Gärsubstratausbringung könnte auf stärkeren Standorten reduziert und auf schwächeren Standorten erhöht werden, um die Verwertungsunterschiede auszugleichen und das übermäßige Biomassewachstum zu bremsen. Die Zugabe eines Nitrifikati-

onshemmers scheint das starke Biomassewachstum zu dämpfen, indem dieser die Umwandlung von Ammonium in Nitrat hemmt.

Der Strohertrag steht tendenziell moderat positiv mit dem Kornertrag in Verbindung. Ein höherer Strohertrag führt zu einem geringeren Tausendkorngewicht. Zudem sorgt mehr Stroh für ein niedrigeres Stickstoff-Saldo und einen höheren Stickstoffentzug, obwohl nur das Korn abgefahren wurde. Der Zusammenhang zwischen Strohertrag und Kornertrag muss daher berücksichtigt werden.

5.3.4 Kornertrag

Die Kornerträge der verschiedenen Düngevarianten unterscheiden sich nicht signifikant. Es ist daher möglich, mit einer Gärrestgabe denselben Kornertrag zu erzielen wie mit einer Mineraldüngergabe. Auch die Gärreste mit Nitrifikationshemmer zeigten keinen signifikanten Ertragsunterschied. Der durchschnittliche Kornertrag lag bei 86 Dezitonnen je Hektar, was über dem Betriebsdurchschnitt und den Erwartungen liegt, da auch sandige Bereiche mit Bodenzahlen unter 30 vorhanden sind. Der Ertrag der Gärrest-Variante lag im Mittel bei 85 Dezitonnen je Hektar, während die Variante mit Nitrifikationshemmer einen Ertrag von 86 Dezitonnen je Hektar erzielte. Der Unterschied beträgt im Durchschnitt nur etwa einem Prozent und ist nicht signifikant. Der Kornertrag der Mineraldünger-Variante lag bei 87 Dezitonnen je Hektar was einen Unterschied von rund drei Prozent zur Gärrest-Variante bedeutet aber ebenfalls nicht signifikant ist. Die Erträge der Gärrest-Variante schwankten am stärksten, während die der Mineraldünger-Variante die geringsten Schwankungen aufwiesen. Die Standardabweichung lag im Mittel bei fünf bis sieben Dezitonnen je Hektar, was grundsätzlich gering ist. Grundsätzlich ist zu sagen, dass man einen Anteil von 20-25 Prozent des Gesamt-Stickstoff durch organischen Stickstoff aus Gärresten düngen kann, ohne signifikante Ertragsunterschiede festzustellen. Die Zugabe des Nitrifikationshemmer erbringt keinen Mehrertrag, der signifikant ist. In mehrjährigen Feldversuchen wurde die Düngung von Wintergetreide mit höheren Mengen an organischem Stickstoff, ergänzt durch Nitrifikationshemmer, durchgeführt. Es wurde ein Ertragszuwachs von etwa zwei Prozent sowie ein höherer Stickstoffentzug festgestellt, was mit den in diesem Versuch ermittelten Größenordnungen vergleichbar ist (Fuchs, 2011).

Auch nach Standort wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Im Durchschnitt betrug der Unterschied zwischen schwachen und starken Standorten lediglich fünf Dezitonnen je Hektar. Dies ist ebenfalls gering und deutet darauf hin, dass die Weizenpflanzen auf dem schwachen Standort trotz einer signifikant geringeren Ährenanzahl nahezu gleiche Erträge erzielen konnten. Der Grund hierfür sind signifikant höhere Einzelkorngewichte, die durch die reduzierten Konkurrenzbedingungen zwischen den Weizenpflanzen gefördert werden (Geisler, 1983).

Es wurde signifikant festgestellt, dass der Rohproteingehalt mit steigendem Kornertrag sinkt. Auf das Hektolitergewicht oder Tausendkorngewicht hatte der Kornertrag jedoch keinen Einfluss. Demnach könnte auf schwachen Standorten mit niedrigen Erträgen Qualitätsweizen produziert werden. Ein hoher Kornertrag führt zu höheren Stickstoffentzügen und geringeren Stickstoffsalden. In Hoch-Ertragszonen wäre es daher sinnvoll, mehr Stickstoff zu düngen, da der Bedarf dort größer ist. Das gleiche gilt umgekehrt, eine teilflächenspezifische Düngung könnte insbesondere auf so heterogenen Feldern wie dem Versuchsfeld von Vorteil sein, um auf starken Standorten die Erträge zu steigern und auf schwachen Standorten Dünger und Kosten einzusparen.

5.3.5 Harvest-Index

Der Harvest-Index weist einen Mittelwert von 0,44 auf. Ein optimaler Wert liegt bei etwa 0,5. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass dieser Wert auf Trockenmasse basiert, während im vorliegenden Versuch die Frischmasse verwendet wurde, was zu Abweichungen führen kann (Hanus u. a., 2008). Der Mittelwert der Gärrest-Variante lag bei 0,43 Prozent, der der Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer bei 0,44 Prozent und der der Mineraldünger-Variante bei 0,46 Prozent. Es trat ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten Mineraldünger und Gärrest auf. Der Harvest-Index der Gärrest-Variante wies die niedrigsten Werte auf, was darauf hinweist, dass in dieser Variante ein geringerer Anteil Korn an der Gesamtmasse geerntet wurde im Vergleich zu den anderen Varianten. Die Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer lag zwischen den beiden anderen Varianten, wobei sie der Mineraldünger-Variante näher kam. Ein signifikanter Unterschied zu den beiden anderen Varianten war jedoch nicht erkennbar. Dies könnte ein Indiz für die Wirkung des Nitrifikationshemmers Piadin sein.

Zwischen den Standort zeigen sich auch signifikante Unterschiede, allerdings nur zwischen dem schwachen und dem starken Standort. Der Mittelwert des schwachen Standortes liegt bei 0,46 Prozent, während der des starken Standortes bei 0,42 Prozent liegt. Der mittlere Standort hat einen Wert von 0,44 Prozent. Der Harvest-Index korreliert sehr stark negativ mit dem Strohertrag. An den starken Standorten, an denen mehr Triebe und somit auch mehr Strohertrag vorhanden sind, fällt der Harvest-Index niedriger aus. Der Strohertrag ist volatiler als der Kornertrag und steigt stärker an, wenn sich der Standort verbessert. Daher sinkt der Harvest-Index mit zunehmender Standortgüte und steigenden Kornertrag (Geisler, 1983). Auch die Wiederholungen zeigten ähnliche Werte und Verläufe des Harvest-Indexes, was erneut auf die Verbesserung der Standortgüte hinweist.

5.3.6 Einzelährenertrag

Der Einzelährenertrag liegt im Mittel bei 1,91 Gramm pro Ähre. Zwischen den Düngevarianten, den verschiedenen Standorten und den Wiederholungen wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Der Wert zeigt eine allgemeine Streuung, die durch die Wechselwirkungen mit den Ertragskomponenten wie Ährenanzahl, Stroh und Korn erklärbar ist. Es besteht teilweise ein negativer Einfluss zwischen den Ertragskomponenten, höhere Ährenzahlen gehen mit geringeren Einzelährenerträgen einher, was durch die Konkurrenz um Assimilate bedingt ist (Kübler, 1994). Interessant sind auch die Korrelationen mit dem Tausendkorngewicht (moderat positiv) und dem Rohproteingehalt (moderat bis stark negativ). Die Korrelation zum Tausendkorngewicht zeigt, dass der höhere Einzelährenertrag durch das größere Korngewicht bedingt ist. Die Korrelation mit dem Rohproteingehalt verdeutlicht, wie die Proteinkonzentration sinkt, wenn mehr Körner in einer Ähre um die Nährstoffe konkurrieren.

5.3.7 Tausendkorngewicht

Das Tausendkorngewicht spielt die wichtigste Rolle unter den Ertragskomponenten, da es am stärksten variiert. Ein hohes Tausendkorngewicht kann nur durch einen ungehinderten Stofftransport ins Korn erreicht werden, wobei das Fahnenblatt den größten Anteil daran liefert. Faktoren wie Hitze, Lager und Krankheitsbefall, die die Abreife des Fahnenblattes beschleunigen, beeinträchtigen das Tausendkorngewicht und somit direkt den Ertrag. Im Durchschnitt liegt es in diesem Versuch bei 41 Gramm je Tausend Körner. Für ein Ertragsziel von 70 Dezitonnen je Hektar sollte das Tausendkorngewicht

jedoch über 48 Gramm liegen, und bei einem Ertragsziel von 100 Dezitonnen je Hektar sind bis zu 60 Gramm erforderlich (Lütke Entrup & Schäfer, 2011). Zwischen den Düngevarianten wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt, jedoch zeigten die Werte eine deutliche standortabhängige Streuung. Der Post-hoc-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen dem starken und dem schwachen Standort. Das Tausendkorngewicht des schwachen Standortes lag im Mittel bei 43 Gramm, während es am starken Standort bei 39 Gramm lag. Dieser Unterschied lässt sich durch die Konkurrenz um Assimilate zwischen den Körnern und Trieben erklären.

Das Tausendkorngewicht korreliert auch mit anderen Ertragskomponenten. Höhere Ährenzahlen und Stroherträge gehen mit einem niedrigeren Tausendkorngewicht einher, während steigende Tausendkorngewichte den Kornertrag, das Hektolitergewicht und den Rohproteingehalt der unvermahlenden Probe erhöhen. Die niedrigen Tausendkorngewichte sind vermutlich das Resultat verschiedener Umwelteinflüsse. Ungünstige Wetterbedingungen wie Trockenheit und Hitze oder hohe Infektionsrisiken mit Pilzkrankheiten durch viel Feuchtigkeit können das Wachstum der Körner beeinträchtigen und die Konkurrenz um Ressourcen verstärken. Dies kann die Zellteilung, das Wachstum des Keimlings sowie die Bildung von Aleuron- und Speicherzellen hemmen. Wassermangel, Hitze und Pilzkrankheiten können zudem zur frühzeitigen Reduktion der Assimilationsfläche führen, was die Korneinlagerung stoppt und zu leichteren Körnern und einem niedrigeren Tausendkorngewicht führt. Im Mai und Juni fielen in der Region des Versuchsfeldes größere Niederschlagsmengen bei höheren Temperaturen, was das Infektionsrisiko deutlich erhöhte und die Abreife beschleunigte. Auf dem Versuchsfeld wurde unter anderem ein erhöhter Septoria-Befall festgestellt. Eine optimale Gesunderhaltung der Pflanze ist daher entscheidend für hohe Tausendkornenerträge und den daraus resultierenden höheren Kornertrag (Lütke Entrup & Schäfer, 2011).

5.3.8 Hektolitergewicht

Das Hektolitergewicht muss mit Vorsicht betrachtet werden, da die Messung, wie zuvor beschrieben, nur provisorisch durchgeführt wurde. Im Mittel lag der gemessene Wert bei 72 Kilogramm je Hektoliter. Eine Laboranalyse einer Probe durch die LUFA Rostock ergab 76 Kilogramm je Hektoliter, während die eigene Messung 72 Kilogramm je Hektoliter zeigte. Der ermittelte Wert weicht daher deutlich ab und sollte nicht mit den Literaturwerten, sondern lediglich mit den eigenen Werten verglichen werden. Generell schwankte der Wert stärker als erwartet. Die Gärrest-Variante wies

die größten Standardabweichungen und den höchsten Wert auf, während die Mineraldünger-Variante den geringsten Wert und die kleinste Streuung zeigte. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten konnte nicht festgestellt werden. Es deutet auf ein Trend zu den bereits beschriebenen Mittelwertunterschieden.

Auch der Standort beeinflusste das Hektolitergewicht nicht signifikant, jedoch zeigte sich ein Trend. Schwache Standorte wiesen ein höheres Hektolitergewicht auf als starke Standorte. Dies ist auf die bereits erläuterten Konkurrenzbeziehungen zurückzuführen. Eine positive Korrelation zum Tausendkorngewicht und eine negative Korrelation zur Anzahl der ausgebildeten Spindelstufen wurden festgestellt. Das Hektolitergewicht der LUFA Rostock, obwohl es sich bei den Messungen um einen durchschnittlichen Standort handelt, erreicht nicht die Qualitätsanforderungen für Elite-Weizen. Die nicht erreichte Zielmarke könnte – ähnlich wie beim Tausendkorngewicht – auf negative Umwelteinflüsse zurückzuführen sein, die sich auf die Kornfüllung auswirkten und damit auch das Gewicht und die Form der Körner beeinträchtigten. Die Karyopsen wurden möglicherweise nicht ausreichend ausgebildet und/oder gefüllt. Diese Beobachtungen zeigen Auswertungen der Landessortenversuche der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV (LFA) ebenfalls (Michel, 2024).

5.3.9 Rohprotein

Der Rohproteingehalt spielt eine entscheidende Rolle beim Erreichen der geforderten Elite-Qualität. Besonderes Augenmerk wurde auf den vermahlenden Wert gelegt, da dieser besser mit dem Laborwert der LUFA Rostock übereinstimmt. Dennoch sind die Werte nicht identisch, weshalb die ermittelten Ergebnisse nur als annähernd betrachtet werden sollten und nicht mit den Literaturwerten verglichen werden können. Der Laborwert stammt von einem mittleren Standort, der festgestellte Proteingehalt von 12,6 Prozent erreichte jedoch nicht die geforderten Werte von 14 Prozent.

Die geringeren Proteingehalte könnten durch Umweltfaktoren bedingt sein. Wassermangel aufgrund von Trockenheit, Hitzestress oder ein erhöhtes Infektionsrisiko können das vorzeitige Absterben der photosynthetisch aktiven Blattfläche begünstigen, was wiederum die Proteinbildung hemmt oder unterbricht. Auf landesweit geringere Proteingehalte verwies die Landesforschungsanstalt ebenfalls aus bereits genannten Gründen (Michel, 2024). Ein Assimilat Mangel aufgrund fehlenden Stickstoffs ist hin-

gegen unwahrscheinlich, da im Mai ausreichend Stickstoff ausgebracht wurde und laut Stickstoffmessung kein zusätzlicher Bedarf bestand.

Zwischen den Varianten, den Standorten und den Wiederholungen wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Daraus lässt sich schließen, dass weder die Düngervarianten noch der Standort einen nennenswerten Einfluss auf den Rohproteingehalt haben. Ein höherer Rohproteingehalt korreliert negativ mit dem Kornertrag, dem Harvest-Index und dem Einzelährenertrag, jedoch positiv mit der Fallzahl.

Eine mögliche Strategie wäre auf den stärkeren Standorten etwas mehr Stickstoff auszubringen und auf den schwächeren Standorten die Düngermenge etwas zu reduzieren, da der Rohproteingehalt negativ mit dem Kornertrag korreliert. Aufgrund der nicht signifikanten Unterschiede zwischen Standorten sollte die Differenz trotzdem nicht allzu groß sein.

5.3.10 Fallzahl

Die Fallzahl liegt im Durchschnitt bei 418 Sekunden, was als sehr hoch und ausreichend gilt. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten, den Standorten und den Wiederholungen festgestellt, jedoch zeigte die Fallzahl eine gewisse Variabilität. Es besteht eine positive Korrelation zum Proteingehalt.

5.3.11 Stickstoffentzug und Stickstoffsaldo

Der Stickstoffentzug und das Stickstoffsaldo wurden berechnet und berücksichtigen den Kornertrag sowie den jeweiligen festgestellten Proteingehalt. Da der Proteingehalt nur annähernd bestimmt wurde, sind auch der Stickstoffentzug und das Stickstoffsaldo als Richtwerte zu betrachten.

Im Durchschnitt lag der Stickstoffentzug bei 177,15 Kilogramm Stickstoff je Hektar und das Stickstoffsaldo bei 55,19 Kilogramm Stickstoff je Hektar. Der Toleranzbereich bis zu einem positiven Stickstoffsaldo von 50 Kilogramm je Hektar wurde geringfügig überschritten. Ursächlich hierfür wird die gehinderte Aufnahme aufgrund früheren Abreifens gewesen sein und den dadurch geringeren Korngewicht und Rohproteingehalt. Zwischen den Varianten, den Standorten und den Wiederholungen wurden keine signifikanten Unterschiede bei den beiden Parametern festgestellt. Der Stickstoffsaldo zeigte Schwankungen von mehr als 50 Kilogramm Stickstoff pro Hektar, mit Höchstwer-

ten von 77 Kilogramm pro Hektar und den niedrigsten Werten von 27 Kilogramm pro Hektar.

Der Stickstoffentzug korreliert positiv mit der Anzahl der Ähren sowie dem Stroh- und Kornertrag. Er korreliert negativ, mit der Anzahl der fertilen Spindelstufen, dem Einzelährenertrag und dem Harvest-Index.

Das Stickstoffsaldo korreliert negativ mit den gefüllten Spindelstufen und höherem Stroh- sowie Kornertrag. Er korreliert positiv mit dem Harvest-Index. Wäre der Proteingehalt nicht in den Entzug mit einbezogen worden, wären die Effekte möglicherweise deutlicher ausgeprägt.

Wie bereits zuvor erwähnt, könnte auch bezüglich des Stickstoffentzug und -saldo eine teilflächenspezifische Düngung basierend auf den Ertragszonen angewendet werden. Das Ziel wäre, zu hohe Stickstoffsalden auf ertragsschwächeren Standorten zu vermeiden, um überschüssigen, nicht aufgenommenen Stickstoff einzusparen und vor Nährstoffausträgen zu schützen. Auf den ertragsstärkeren Standorten könnte das Stickstoffsaldo durch eine höhere Düngung erhöht werden, falls das Saldo negativ oder ausgeglichen ist. Das Ziel hierbei wäre, den Proteingehalt sowie den Kornertrag zu steigern und zu sichern, da die Stickstoffsalden auf diesen Flächen tendenziell niedriger sind und teilweise nicht die empfohlenen Optima (positiv bis zu 30 kg/ha) erreichen, sodass sie nicht ausreichend Puffer bieten, um die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu erhalten (Lütke Entrup & Schäfer, 2011). Ein Zu- oder Abschlag der Düngung, besonders der Qualitätsgabe, wäre jedoch denkbar aufgrund der negativen Korrelation von Stickstoffsaldo und Kornertrag.

5.4 Düngeersparnis und Ausbringungskosten der Düngevarianten

Die praktische Düngeersparnis bezieht sich auf die tatsächliche Einsparung an mineralischen Dünger, die in diesem Versuchsfeld durch die Gärrestgabe erzielt wurde. Bei der Gärrest-Variante gegenüber der Mineraldünger-Variante beträgt diese Einsparung 374 Kilogramm Mineraldünger je Hektar. Der Geldvorteil der Düngemittleinsparung liegt bei 107,45 Euro je Hektar für die Gärrest-Variante und bei 93,13 Euro je Hektar für die Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer.

Die tatsächliche Düngeersparnis berücksichtigt die Annahme einer gleichen Düngemenge zwischen den Varianten, da die Unterschiede aus der praktischen Nährstoffgabe angeglichen wurden. In diesem Fall ergibt sich eine Düngermittelseinsparung von 121,88 Euro je Hektar für die Gärrest-Variante und 103,98 Euro je Hektar für die Gärrest-Variante mit Nitrifikationshemmer, basierend auf der empfohlenen Aufwandmenge von fünf Litern je Hektar. Diese Einsparungen wurden im Vergleich zur Mineraldünger-Variante erzielt, wenn die Nährstoffversorgung exakt angeglichen wurde. Die tatsächliche Düngermittelseinsparung würde sich auf 371,39 Kilogramm je Hektar belaufen. Diese beachtliche Menge bietet die Möglichkeit Ressourcen und Energie zu sparen sowie eine gewisse Unabhängigkeit vom Düngemarkt zu erreichen.

Die Ausbringkosten mindern die Geldvorteile der Düngerersparnis. Die Ausbringung von Mineraldünger mit einem Schleuderstreuer ist kostengünstig, da sie mit hoher Flächenleistung und niedrigen Maschinenkosten verbunden ist. Eine solche Überfahrt kostet etwa fünf bis acht Euro je Hektar, abhängig von der ausgebrachten Menge. Die Ausbringung der Gärreste mit einem Pumptankwagen ist aufgrund höherer Maschinenkosten und geringerer Flächenleistung teurer. Eine Überfahrt kostet hier rund 70 Euro, wobei der Betrag stark von der Ausbringmenge abhängt. Die Mehrkosten für die Düngemittelausbringung der Gärrest-Variante betragen insgesamt etwa 60,95 Euro je Hektar. Diese Ausbringungskosten können jedoch geringfügig variieren, da sie auf Werten aus einem Web-Tool basieren, das nicht exakt die betrieblichen Gegebenheiten widerspiegelt.

Der ökonomische Geldwertvorteil, der sich aus der tatsächlichen Düngemittelseinsparung und den gesamten Ausbringungskosten der Gärrest-Variante ergibt, beläuft sich auf 60,93 Euro je Hektar. Diese geringeren Kosten steigern direkt den Gewinn je Hektar, da der gleiche Ertrag mit einem geringeren Einsatz von Betriebsmitteln erzielt werden kann. Möglich wird dies durch die kostenlose Bereitstellung von Gärresten durch Biogasanlagen. Besonders vorteilhaft ist das, wenn ausreichend Lagerplatz vorhanden ist, da Biogasanlagen und tierhaltende Betriebe im Winter häufig nicht genügend Lagerkapazitäten bieten können und ihre Substrate teilweise kostenlos zur Verfügung stellen. Es wäre auch möglich, das Substrat zu einem Preis von bis zu 3,26 Euro je Kubikmeter zu beziehen, ohne die Kosten der Mineraldünger-Variante zu überschreiten. Zudem bieten die Vorteile der Mehrnährstoffdüngung, der Biomasseanreicherung, der Förderung von Bodenorganismen und des Humusaufbaus sowie die langfristige Ertragsstei-

gerung durch den Einsatz von Gärresten weiterhin einen Mehrwert. Zu berücksichtigen ist, dass zehn Prozent des Gesamt-Stickstoffs der Gärreste nach Düngeverordnung im Folgejahr anzurechnen sind. Dies würde im folgenden Jahr, mit Kalkammonsalpeter gerechnet, eine Kostenersparnis von 8,33 Euro je Hektar alleine bei den Nährstoffkosten bringen.

Der Einsatz des Nitrifikationshemmers Piadin zeigte keine deutliche Wirkung, auch wenn Tendenzen erkennbar waren, dass das Mittel eine gewisse Wirkung zeigte und kleine Einflüsse auf das Pflanzenwachstum hatte. In anderen Versuchen konnte ein Ertragszuwachs sowie ein höherer Nährstoffentzug durch den Einsatz eines Nitrifikationshemmers nachgewiesen werden (Fuchs, 2011). Allgemein wird die Wirksamkeit des Nitrifikationshemmers auf nur einige Prozente beim Kornenertrag durch diese Feldversuche bestätigt, diese wenigen Prozente wurden auch in diesem Feldversuch beobachtet. Der Nitrifikationshemmer stellt jedoch eine Art Absicherung für Landwirte dar. Bei ungünstigen Bedingungen, wie etwa schwer vorhersehbaren großen Niederschlagsmengen bei niedrigen Temperaturen, kann er dazu beitragen, die Nährstoffsicherung zu gewährleisten und die Auswaschung von Nährstoffen zu verhindern. Dies kann die Düngeneffizienz steigern und eine frühzeitige Ausbringung absichern. Zudem kann der pflanzliche Luxuskonsum von Nitrat gebremst werden, dies zeichnete sich ebenfalls tendenziell in diesen Versuch ab. Mögliche negative Effekte des chemischen Nitrifikationshemmers wurden in dieser Arbeit nicht behandelt, sollten aber ebenfalls berücksichtigt werden. Der Einsatz des Mittels erfolgt zu Zeiten der höheren Gefahr von Auswaschungen in die Natur und kann selbst negative Umweltauswirkungen haben, wie teilweise Konzentration des Mittels im Grundwasser nachgewiesen werden (Schaffer, 2019). Für eine genauere Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Mittels sollten weitere Versuche durchgeführt werden. Es wäre zudem denkbar, das Mittel gezielt auf sandigen und besonders auswaschungsgefährdeten Böden einzusetzen. Eine genauere Dosierung und kontinuierliche Einmischung des Mittels könnte ebenfalls die Wirksamkeit steigern, da in diesem Versuch etwas weniger als die empfohlene Aufwandmenge verwendet wurde und das Mittel nicht kontinuierlich in den Schlauch eingemischt, sondern vor dem Ansaugen des Substrats zugeführt wurde.

6 Zusammenfassung

Ziel dieses Feldversuchs war die Entwicklung einer Düngeempfehlung für die Gärrestdüngung im Winterweizen, mit dem Ziel, den Einsatz mineralischer Düngemittel zu reduzieren und gleichzeitig Ertrag sowie Qualität der Ernte zu sichern. Der Versuch wurde auf einem Versuchsfeld mit einer Elite-Weizensorte durchgeführt. Es wurden drei Düngevarianten mit jeweils drei Wiederholungen angelegt, wobei für jede Wiederholung drei Untersuchungspunkte eingerichtet wurden. Die Mineraldünger-Variante erhielt eine herkömmliche Düngung, die Gärrest-Variante wurde Anfang März mit 18,64 Kubikmeter Gärrest pro Hektar (51,11 Kilogramm Stickstoff pro Hektar) gedüngt und anschließend mit entsprechenden Abzügen ebenfalls mit Mineraldünger versorgt. Die dritte Variante wurde ähnlich wie die Gärrestvariante behandelt, zusätzlich wurde bei der Gärrestausbringung ein Nitrifikationshemmer hinzugefügt. In der Untersuchung wurden die Stickstoffaufnahme im April, Mai und Juni erfasst sowie eine Ernte- und Qualitätsbestimmung durchgeführt.

Die Stickstoffmessungen zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten. Zwischen den Standorten traten jedoch teilweise signifikante Unterschiede auf, was die Relevanz einer teilflächenspezifischen Düngung unterstreicht. Zudem wurde festgestellt, dass starke Standorte organischen Stickstoff schneller verwerten können als schwächere. Dieser Effekt war bei Mineraldüngung kaum zu beobachten.

Die Ernteergebnisse zeigten signifikante Effekte der Gärrestdüngung auf das Biomassewachstum, die Ährenanzahl und den Strohertrag, insbesondere auf den stärkeren Standorten. Der Kornertrag sowie die Qualitätskriterien wiesen jedoch keine signifikanten Verbesserungen auf. Ein leichter Trend zeigte jedoch, dass die Gärrestvariante tendenziell schwächer abschnitt als die beiden anderen Varianten. Die Variante mit dem Nitrifikationshemmer lag meist über der Gärrestvariante und unter der Mineraldünger-Variante. Die Wirkung und ein potenzieller Vorteil des Nitrifikationshemmers wurde erkennbar.

Grundsätzlich zeigt die Gärrestgabe das Potenzial, eine Mineraldüngergabe zu ersetzen, ohne signifikante Einbußen bei Ertrag und Qualität. Es sollte darauf geachtet werden, nach der Ausbringung die Wirksamkeit regelmäßig zu überprüfen und entsprechende Anpassungen bei späteren Stickstoffgaben zügig vorzunehmen.

Die Kostenrechnung verdeutlicht, dass die Gärrestvariante ein Potenzial zur Effizienzsteigerung aufweist. Die Gärrestgabe in dieser Höhe ermöglicht eine Einsparung von über 350 kg Mineraldünger, was bei entsprechenden Düngerpreisen einen geldwerten Vorteil von über 120 Euro pro Hektar bringen kann. Allerdings fallen die Ausbringungskosten der Gärreste rund zehnmal höher aus als die des Mineraldüngers. In diesem Versuch beliefen sich die Ausbringungskosten der Gärrestvariante auf über 60 Euro, hauptsächlich bedingt durch hohe Maschinenkosten. Trotz der höheren Ausbringungskosten resultiert eine Kosteneinsparung von über 60 Euro pro Hektar, welche den Gewinn je Hektar direkt steigern. Zudem könnten Gärreste bis zu einem Substratpreis von bis zu etwa drei Euro pro Kubikmeter bezogen werden, ohne dass zusätzliche Kosten gegenüber der Mineraldüngervariante entstehen. Der Nitrifikationshemmer hat moderate Kosten von rund 15 Euro pro Hektar und sollte besonders bei frühzeitiger Ausbringung oder auf leichten Standorten als Absicherung eingesetzt werden.

Die Gärreste bieten zahlreiche Vorteile für Pflanzen und Boden ohne die Quantität oder Qualität des Weizens zu beeinträchtigen, zudem bieten sie ein Einsparpotential von mineralischen Düngemitteln sowie die Steigerung des Gewinns für den Landwirt. Gärsubstrat sollte bei Möglichkeit regelmäßig zur Weizendüngung eingesetzt werden.

Bibliografie

- Achilles, W., Brucker, L., & Bukhovets, O. (2022). *Betriebsplanung landwirtschaft 2022/2023* (28. Auflage, S. 800 Seiten) [Book]. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- Ahrens, S. (2024). *Anbaufläche der wichtigsten getreidearten weltweit bis 2023/24* (Web Page 19.12.2024). statista GmbH. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28883/umfrage/anbauflaeche-von-getreide-weltweit/>
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. (2023). *Bodenatlas* (Web Page 30.10.2024). <https://bodenatlas.bgr.de>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2024). *Erntebericht 2024* [Report]. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/erntebericht-2024.pdf>
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (2024). *Vieljährige mittelwerte der klimatischen parameter in deutschland* (Web Page 17.12.2024). https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html
- Deutscher-Landwirtschaftsverlag-GmbH. (2024). *Erzeugerpreise für düngemittel* (Web Page 01.01.2025). <https://markt.agrarheute.com/>
- Düngeverordnung - (DüV). (2020). [Statute]. https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2020/
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th edition, S. xxix, 1070 Seiten) [Book]. SAGE.
- Fuchs, C. K., Michael; Schuster. (2011). Verbesserung der n-effizienz und verringerung von umweltbeeinflussungen organischer dünger durch die gezielte anwendung von nitrifikationsinhibitoren [Journal Article]. *Gemeinsame Tagung Der Deutschen Gesellschaft Für Pflanzenernährung e. V. Und Der Gesellschaft Für Pflanzenbauwissenschaften e. V. Sowie 54. Jahrestagung Der GPW*, 234–235. https://www.stickstoff2011.uni-kiel.de/tagungsband/Tagungsband_2011.pdf#page=251

- Geisler, G. (1983). *Ertragsphysiologie von kulturarten des gemäßigten klimas* (S. 205 Seiten) [Book]. Verlag Paul Parey.
- Hanus, H., Heyland, K.-U., & Keller, E. R. (2008). *Getreide und futtergräser* (S. 687 S.) [Book]. Ulmer.
- Knittel, H., Albert, E., & Ebertseder, T. (2020). *Praxishandbuch dünger und düngung* (3. Auflage, S. 368 Seiten) [Book]. Agrimedia.
- Kübler, E. (1994). *Weizenanbau* (S. 191 S) [Book]. Ulmer.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL). (2024). *KTBL-feldarbeitsrechner* (Web Page 30.12.2024). <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/home.html>
- Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg Vorpommern and Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen. (2023). *Geoportal MV* (Web Page 30.10.2024). <https://www.geoportal-mv.de/portal/Suche/Themenkarten/Details?id=48>
- Lütke Entrup, N., & Schäfer, B. C. (2011). *Lehrbuch des pflanzenbaus; band 2 kulturpflanzen* (3. Aufl., S. XX, 1036 S.) [Book]. AgroConcept.
- Michel, V. (2024). *Einordnung der LSV winterweizen 2024 in die langjährige bewertung* [Report]. https://www.landwirtschaft-mv.de/Veranstaltungskalender-und-%E2%80%93beitr%C3%A4ge/Acker_und_Pflanzebau/?id=551&processor=processor.safveranstaltung
- Möller, K., Schultheiß, U., Wulf, S., & Schimmelpfennig, S. (2019). *Düngung mit gärresten. Eigenschaften - ausbringung - kosten* (Aktualisierte Neuauflage, S. 64 Seiten) [Book]. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
- Pott, S. (2024). *Welthungerhilfe stellt welthunger-index 2024 vor* (Web Page 19.12.2024). Deutsche Welthungerhilfe e. V. <https://www.welthungerhilfe.de/presse/pressemitteilungen/welthungerhilfe-stellt-welthunger-index-2024-vor?.com>
- Schaffer, R., Mario; Schmid. (2019). *Untersuchungen zum vorkommen von*

nitrifikations- und urease-inhibitoren in niedersächsischen oberflächengewässern [Report]. https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/147843/Untersuchungen_zum_Vorkommen_von_Nitrifikations-_und_Urease-_inhibitoren_in_niedersaechsischen_Oberflaechengewaessern_-_Landesweiter_Ueberblick_und_Identifikation_von_Belastungsschwerpunkten.pdf

Schultheiß, U., & Harder, H. (2006). *Verwertung von wirtschafst- und sekundärrohstoffdüngern in der landwirtschaft. Nutzen und risiken; KTBL-vortragstagung vom 19. Bis 20. April 2006 in osnabrück; [im rahmen der KTBL-tage 2006]* (S. 272 S) [Book]. KTBL.

SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH. (2024). *PIADIN – der stickstoffoptimierer*. (Web Page 17. Dezember 2024). <https://www.piadin.de/#home>

Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern (LAIV MV). (2024). *Getreideernte 2024 – ergebnisse aus mecklenburg-vorpommern* (Web Page 17. Dezember 2024). <https://www.laiv-mv.de/Statistik/Presse-und-Service/Pressemitteilungen/?id=204191&processor=processor.sa.pressemitteilung>

Statistisches Bundesamt. (2022). *Hohe gaspreise beeinträchtigen düngemittelindustrie* (Web Page 19.12.2024). https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_N060_51.html?.com

team agrar GmbH. (2024). *Einkaufbedingungen und abrechnungsmodalitäten für getreide inkl. Mais, hülenfrüchte und ölsaaten* [Report]. https://assets.team.de/f/252999/x/ee97c62946/einkaufsbedingungen-getreide_team-agrar_nord.pdf

Thomaß, M. (2024). *Klima schwerin – wetter und klimadaten* (Web Page 17. Dezember 2024). <https://www.wetterskipia.de/klima/klima-schwerin.php>

Yara International ASA. (2024). *Empfehlungen für n-tester* (Web Page 21.12.2024). <https://app.at.farm/farms>

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne die Hilfe anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Alle aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind entsprechend gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde in dieser oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Ich bin damit einverstanden, dass meine Bachelorarbeit in der Hochschulbibliothek veröffentlicht wird.

Name, Ort, Datum

Anhang



Schlagaufzeichnung

Düngeplanung : **145 - Schlag 134 - 18.50 ha** §13a-Kulisse: Nein
 Betrieb : 276139003200001 Agrargenossenschaft Groß Niendorf e.G. Jahr: **2024**

Düngeplanung 2024 Status: Planung Unterstatus: Offen Nutzung: Acker
 Vorfrüchte: 2023 / Winterraps (Korn) 2022 / Wintergerste, 12 % RP 2021 / Wintertriticale, 13 % RP

Bodenuntersuchung				[mg/100 g Boden]			[kg/ha]
Analyse Nr. / Datum	Bodenart	Humusgehalt %	pH	P	K	Mg	CaO 3jährig
134 - 30.09.2022	SI 2	2,0-3,9	6,3	8,8 / D	11,9 / C	12,1 / D	1000

Düngung in Höhe der Abfuhr

		Nein	Nein

Organische Düngung Vorjahr: 0,0 kg N / ha ☐ Kompost

Düngebedarfsermittlung gem. § 4 DüV

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S
	[kg/ha]					
Winterweizen, > 14 % RP E	260	25	135	30	4000	25
Zu-/Abschlag Ertragsdifferenz	-3					
N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat						
N-Nachlieferung org. Düngung Vorjahr						
Abzug Nmin Frühjahr	-15					
Nährstoffüberschuss / Düngebedarf Vorjahr		35	200	30	4000	
Nährstoffrücklieferung aus Vorkultur (Winterraps (Korn))	-10					
Bestandesentw. und Vegetationsverspätung						
Düngebedarf	233	25	135	30	4000	25

Düngung	Datum	Menge	N-Gehalt	N-Mind estwirk.	N-Ge samt	NH ₄ -N	N-ver fügbar	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S
Nährstoffzufuhr Gesamt												
Düngesaldo Winterweizen, > 14 % RP E								-233	-25	-135	-30	-400

Ernte

Datum	Frucht	Ertrag Schlag [dt]	Ertrag [dt/ha]	Abnehmer / Lager

Nährstoffabfuhr (Haupt-, Zweit-, Zwischenfrucht)

Datum	Ernteart oder Art der Grünlandnutzung	Ertrag [dt/ha]	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Summe [kg/ha]

Summe der Nährstoffabfuhr [kg/ha]

Notizen

Seite 1 von 2

Abbildung 22: Düngebedarfsermittlung der Versuchsfläche erstellt mit dem Düngebedarfs- und -planungsprogramms M-V der LMS Agrarberatung GmbH (Agrargenossenschaft Groß Niendorf e. G. 2024)

Tabelle 9: Untersuchung der ausgebrachten Gärreste hinsichtlich der Nährstoffgehalte durch die LUFA Rostock, Probe entnommen aus dem Ausbringfass am Tag der Ausbringung (eigene Darstellung 2024)

Parameter	Einheit	Ergebnis in der Frischmasse
Trockenmasse	kg/m ³	53
organische Trockensubstanz	kg/m ³	39,18
Gesamtstickstoff	kg/m ³	4,57
Ammonium-Stickstoff	kg/m ³	2,93
Phosphorpentoxid	kg/m ³	1,09
Kaliumoxid	kg/m ³	3,61
Magnesiumoxid	kg/m ³	0,52

Tabelle 10: Untersuchung der Qualitäten des geernteten Weizens vom mittleren Gärrestpunkt der zweiten Wiederholung im Vergleich zwischen der Analyse der LUFA Rostock und der eigenen Analyse (eigene Darstellung 2024)

Parameter	Einheit	Untersuchung LUFA Rostock	Eigene Untersuchung
Feuchte in Originalprobe	%	12,9	11,8
Besatz in Originalprobe	%	1,5	-
Schmactkorn 2mm Sieb	%	0,2	-
Aspiration	%	1,4	-
Hektolitergewicht	kg/hl	76,05	72
Rohprotein	%	12,6	13,04
Fallzahl	s	491	435

Tabelle 11: Berechnung der Ausbringungskosten der verschiedenen Düngevarianten (eigene Darstellung 2024)

Dünge-variante	Düngemittel	Ausbring-ungsmenge (kg/ha)	Arbeits-erledi-gungs-kosten (€/ha)	Maschinen-kosten (€/ha)	Ausbring-ungskos-ten (€/ha)	Ausbringungs-kosten insgesamt je Variante (€/ha)
Mineral-dün-ger	Korn Kali	150	2,37	4,85	7,22	
Mineral- dün-ger	Schwefel-saures Ammoniak	150	1,72	3,47	5,19	
Mineral- dün-ger	Kalkammon-salpeter	230	1,51	4,52	6,03	
Mineral- dün-ger	Kalkammon-salpeter	230	1,51	4,52	6,03	

Tabelle 11: Berechnung der Ausbringungskosten der verschiedenen Düngevarianten (eigene Darstellung 2024)

Dünge-variante	Düngemittel	Ausbring-ungs-menge (kg/ha)	Arbeits-erledi-gungs-kosten (€/ha)	Maschinen-kosten (€/ha)	Ausbring-ungskos-ten (€/ha)	Ausbringungs-kosten insgesamt je Variante (€/ha)
Mineral- dün-ger	Kalkammon-salpeter	180	1,72	3,75	5,47	
Mineral-dün-ger	Kalkammon-salpeter	130	1,94	3,24	5,18	35,10
Gärrest	Gärrest	18640	10,75	59,86	70,61	
Gärrest	Schwefel-saures Ammoniak	120	1,51	3,14	4,65	
Gärrest	Kalkammon-salpeter	230	1,51	4,52	6,03	
Gärrest	Kalkammon-salpeter	140	1,94	3,38	5,32	
Gärrest	Kalkammon-salpeter	80	1,72	2,56	4,28	
Gärrest	Kalkammon-salpeter	130	1,94	3,24	5,18	96,05

Tabelle 12: Mittelwerte der N-Tester-Messungen je Düngevariante, Standort und Wiederholung (eigene Darstellung 2025)

Parameter	Düngevariante			Standort			Wiederholung		
	Gärrest	Gärrest mit Nitrifikations-hemmer	Mineral-dünger	schwach	mittel	stark	eins	zwei	drei
N-Tester-Wert April	629	633	629	623	624	645	636	657	489
N-Tester-Wert Mai	666	666	666	669	661	669	620	662	511
N-Tester-Wert Juni	494	501	479	496	463	515	636	680	473

Tabelle 13: Mittelwerte der Ernteparameter je Düngevariante, Standort und Wiederholung (eigene Darstellung 2025)

Parameter	Düngevariante			Standort			Wiederholung		
	Gärrest	Gärrest mit Nitrifikationshemmer	Mineral-dünger	schwach	mittel	stark	eins	zwei	drei
Ährenanzahl (je m²)	470,00	439,14	444,44	431,38	450,67	474,75	436,63	449,67	470,63
Spindelstufen gesamt (je Ähre)	22,22	22,34	22,02	22,02	22,12	22,39	22,39	22,13	22,01
Spindelstufen reduziert(je Ähre)	3,71	3,35	3,49	3,59	3,55	3,45	3,45	3,56	3,58
Spindelstufen besetzt (je Ähre)	18,42	18,99	18,53	18,42	18,55	18,89	18,93	18,50	18,43
Strohertrag (g FM/m²)	1164,56	1076,71	1047,78	964,25	1097,11	1232,50	1008,38	1080,56	1207,00
Kornertrag (g FM/m²)	848,78	857,57	874,44	832,00	874,00	873,75	847,88	868,33	864,25
Harvest-Index (%)	0,43	0,44	0,46	0,46	0,44	0,42	0,46	0,45	0,42
Einzelähren-ertrag (g/Ähre)	1,82	1,96	1,97	1,93	1,95	1,85	1,95	1,94	1,85
Tausendkorn-	40,67	40,71	40,89	42,75	40,33	39,25	41,75	41,00	39,50

Tabelle 13: Mittelwerte der Ernteparameter je Düngevariante, Standort und Wiederholung (eigene Darstellung 2025)

Parameter	Düngevariante			Standort			Wiederholung		
	Gärrest	Gärrest mit Nitrifikationshemmer	Mineraldünger	schwach	mittel	stark	eins	zwei	drei
gewicht (g)									
Hektolitergewicht (kg/hl)	73,11	71,14	70,67	73,50	71,00	70,63	72,75	71,00	71,38
Rohprotein unvermahlen (%)	12,22	12,23	12,49	12,48	12,03	12,49	12,44	11,96	12,61
Rohprotein vermahlen (%)	13,71	13,38	13,89	13,91	13,29	13,90	13,62	13,50	13,96
Fallzahl (s)	418,89	406,29	426,56	425,88	410,11	419,38	419,88	414,00	421,00
Stickstoffentzug (kg/ha)	175,88	171,45	182,85	172,06	175,47	184,13	173,96	177,00	180,51
Stickstoffsaldo (kg/ha)	53,84	58,28	54,16	60,39	56,68	48,33	58,49	55,15	55,19

Tabelle 14: Varianzanalyse der Stickstoffmessungen zu den drei Messterminen (eigene Darstellung 2025)

Tests der Zwischensubjekteffekte						
Quelle	Abhängige Variable	Typ III Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	N-Tester Wert 1 April	17871,778 ^a	10	1787,178	4,886	0,000
	N-Tester Wert 2 Mai	11007,605 ^b	10	1100,760	3,704	0,001
	N-Tester Wert 3 Juni	63488,889 ^c	10	6348,889	2,797	0,006
Konstanter Term	N-Tester Wert 1 April	32190493,444	1	32190493,444	88001,019	0,000
	N-Tester Wert 2 Mai	35953348,457	1	35953348,457	120991,388	0,000
	N-Tester Wert 3 Juni	19554084,000	1	19554084,000	8615,050	0,000
Variante	N-Tester Wert 1 April	250,889	2	125,444	0,343	0,711
	N-Tester Wert 2 Mai	15,284	2	7,642	0,026	0,975
	N-Tester Wert 3 Juni	6968,963	2	3484,481	1,535	0,223
Standort	N-Tester Wert 1 April	8218,741	2	4109,370	11,234	0,000
	N-Tester Wert 2 Mai	1082,173	2	541,086	1,821	0,169
	N-Tester Wert 3 Juni	36604,667	2	18302,333	8,064	0,001
Wiederholung	N-Tester Wert 1 April	4804,667	2	2402,333	6,567	0,002
	N-Tester Wert 2 Mai	7890,840	2	3945,420	13,277	0,000
	N-Tester Wert 3 Juni	19548,222	2	9774,111	4,306	0,017
Variante * Standort	N-Tester Wert 1 April	4597,481	4	1149,370	3,142	0,020
	N-Tester Wert 2 Mai	2019,309	4	504,827	1,699	0,160
	N-Tester Wert 3 Juni	367,037	4	91,759	0,040	0,997
Fehler	N-Tester Wert 1 April	25605,778	70	365,797		

Tabelle 14: Varianzanalyse der Stickstoffmessungen zu den drei Messterminen (eigene Darstellung 2025)

Tests der Zwischensubjekteffekte						
Quelle	Abhängige Variable	Typ III Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Gesamt	N-Tester Wert 2 Mai	20800,938	70	297,156		
	N-Tester Wert 3 Juni	158883,111	70	2269,759		
	N-Tester Wert 1 April	32233971,000	81			
	N-Tester Wert 2 Mai	35985157,000	81			
	N-Tester Wert 3 Juni	19776456,000	81			
Korrigierte Gesamtvariation	N-Tester Wert 1 April	43477,556	80			
	N-Tester Wert 2 Mai	31808,543	80			
	N-Tester Wert 3 Juni	222372,000	80			
a. R-Quadrat = ,411 (korrigiertes R-Quadrat = ,327)						
b. R-Quadrat = ,346 (korrigiertes R-Quadrat = ,253)						
c. R-Quadrat = ,286 (korrigiertes R-Quadrat = ,183)						

Tabelle 15: Post-hoc-Test der Stickstoffmessungen zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)

Mehrere Vergleiche							
Bonferroni							
Abhängige Variable	(I) Variante	(J) Variante	Mittelwertdiff-erenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
N-Tester Wert 1 April	GP	G	3,89	5,205	1,000	-8,88	16,66
		M	3,56	5,205	1,000	-9,21	16,32
	G	GP	-3,89	5,205	1,000	-16,66	8,88
		M	-0,33	5,205	1,000	-13,10	12,43
	M	GP	-3,56	5,205	1,000	-16,32	9,21
		G	0,33	5,205	1,000	-12,43	13,10
N-Tester Wert 2 Mai	GP	G	-0,81	4,692	1,000	-12,32	10,69
		M	-1,00	4,692	1,000	-12,51	10,51
	G	GP	0,81	4,692	1,000	-10,69	12,32
		M	-0,19	4,692	1,000	-11,69	11,32
	M	GP	1,00	4,692	1,000	-10,51	12,51
		G	0,19	4,692	1,000	-11,32	11,69
N-Tester Wert 3 Juni	GP	G	7,19	12,967	1,000	-24,62	38,99
		M	22,26	12,967	0,271	-9,55	54,06
	G	GP	-7,19	12,967	1,000	-38,99	24,62
		M	15,07	12,967	0,747	-16,73	46,88
	M	GP	-22,26	12,967	0,271	-54,06	9,55
		G					

Tabelle 15: Post-hoc-Test der Stickstoffmessungen zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)

Mehrere Vergleiche							
Bonferroni							
Abhängige Variable	(I) Variante	(J) Variante	Mittelwertdiff-erenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
	G		-15,07	12,967	0,747	-46,88	16,73
Grundlage: beobachtete Mittelwerte. Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 2269,759.							

Tabelle 16: Post-hoc-Test der Stickstoffmessungen zwischen den Standorten

Mehrere Vergleiche							
Bonferroni							
Abhängige Variable	(I) Standort	(J) Standort	Mittelwertdiff-erenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
N-Tester Wert 1 April	schwach	mittel	-1,41	5,205	1,000	-14,18	11,36
		stark	-22,04 [*]	5,205	0,000	-34,81	-9,27
	mittel	schwach	1,41	5,205	1,000	-11,36	14,18
		stark	-20,63 [*]	5,205	0,001	-33,40	-7,86
	stark	schwach	22,04 [*]	5,205	0,000	9,27	34,81
		mittel	20,63 [*]	5,205	0,001	7,86	33,40
N-Tester Wert 2 Mai	schwach	mittel	8,00	4,692	0,278	-3,51	19,51
		stark	0,52	4,692	1,000	-10,99	12,03
	mittel	schwach	-8,00	4,692	0,278	-19,51	3,51
		stark	-7,48	4,692	0,346	-18,99	4,03
	stark	schwach	-0,52	4,692	1,000	-12,03	10,99
		mittel	7,48	4,692	0,346	-4,03	18,99
N-Tester Wert 3 Juni	schwach	mittel	32,11 [*]	12,967	0,047	0,31	63,92
		stark	-19,44	12,967	0,415	-51,25	12,36
	mittel	schwach	-32,11 [*]	12,967	0,047	-63,92	-0,31
		stark	-51,56 [*]	12,967	0,001	-83,36	-19,75
	stark	schwach	19,44	12,967	0,415	-12,36	51,25
		mittel	51,56 [*]	12,967	0,001	19,75	83,36
Grundlage: beobachtete Mittelwerte. Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 2269,759.							
*. Die Mittelwertdifferenz ist in Stufe ,05 signifikant.							

Tabelle 17: Post-hoc-Test der Stickstoffmessungen zwischen den Wiederholungen (eigene Darstellung 2025)

Bonferroni							
Mehrere Vergleiche							
Abhängige Variable	(I) Wiederholung	(J) Wiederholung	Mittelwertdiff-erenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
N-Tester Wert 1 April	1	2	16,11 [*]	5,205	0,008	3,34	28,88
		3	-0,44	5,205	1,000	-13,21	12,32
	2	1	-16,11 [*]	5,205	0,008	-28,88	-3,34
		3	-16,56 [*]	5,205	0,007	-29,32	-3,79
	3	1	0,44	5,205	1,000	-12,32	13,21
		2	16,56 [*]	5,205	0,007	3,79	29,32
N-Tester Wert 2 Mai	1	2	-4,37	4,692	1,000	-15,88	7,14
		3	-22,78 [*]	4,692	0,000	-34,29	-11,27
	2	1	4,37	4,692	1,000	-7,14	15,88
		3	-18,41 [*]	4,692	0,001	-29,92	-6,90
	3	1	22,78 [*]	4,692	0,000	11,27	34,29
		2	18,41 [*]	4,692	0,001	6,90	29,92
N-Tester Wert 3 Juni	1	2	-22,00	12,967	0,283	-53,81	9,81
		3	15,89	12,967	0,674	-15,92	47,69
	2	1	22,00	12,967	0,283	-9,81	53,81
		3	37,89 [*]	12,967	0,014	6,08	69,69
	3	1	-15,89	12,967	0,674	-47,69	15,92
		2	-37,89 [*]	12,967	0,014	-69,69	-6,08
Grundlage: beobachtete Mittelwerte. Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 2269,759.							
*. Die Mittelwertdifferenz ist in Stufe ,05 signifikant.							

Tabelle 18: Korrelationsanalyse der N-Tester-Werte (eigene Darstellung 2025)

Korrelationen				
		N-Tester Wert 1 April	N-Tester Wert 2 Mai	N-Tester Wert 3 Juni
N-Tester Wert 1 April	Pearson-Korrelation	1	,245 [*]	,266 [*]
	Sig. (2-seitig)		0,028	0,016
	N	81	81	81
N-Tester Wert 2 Mai	Pearson-Korrelation	,245 [*]	1	0,144
	Sig. (2-seitig)	0,028		0,201
	N	81	81	81
N-Tester Wert 3 Juni	Pearson-Korrelation	,266 [*]	0,144	1
	Sig. (2-seitig)	0,016	0,201	

Tabelle 18: Korrelationsanalyse der N-Tester-Werte (eigene Darstellung 2025)

Korrelationen				
	N-Tester Wert 1 April		N-Tester Wert 2 Mai	
	N-Tester Wert 3 Juni			
N	81	81	81	
**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.				
*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.				

Tabelle 19: Varianzanalyse der Ernteergebnisse (eigene Darstellung 2025)

Tests der Zwischensubjekteffekte						
Quelle	Abhängige Variable	Typ III Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	Ähren ges.	23075,757 ^a	10	2307,576	2,810	0,038
	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	1,836 ^b	10	0,184	1,087	0,432
	reduzierte Spindelstufen	1,067 ^c	10	0,107	0,630	0,766
	gefüllte Spindelstufen	4,119 ^d	10	0,412	1,043	0,459
	Gewicht Stroh FM (g)	680589,518 ^f	10	68058,952	9,481	0,000
	Gewicht Körner FM (g)	26216,860 ^g	10	2621,686	0,579	0,806
	Harvest Index (%)	,024 ^h	10	0,002	4,808	0,004
	Einzelährenertrag (g)	,314 ⁱ	10	0,031	1,139	0,401
	TKG (g)	92,333 ^j	10	9,233	1,402	0,274
	Hektolitergewicht (kg/hl)	106,334 ^k	10	10,633	1,982	0,117
	RP % unv.	4,920 ^l	10	0,492	0,574	0,809
	RP % verm.	4,012 ^m	10	0,401	0,628	0,768
	Fallzahl (sek.)	5189,197 ⁿ	10	518,920	1,415	0,269
	N-Entzug (kg N/t FM)	1652,708 ^o	10	165,271	1,015	0,477
	N-Saldo (kg/ha)	1210,853 ^p	10	121,085	0,743	0,677
Konstanter Term	Ähren ges.	4902210,613	1	4902210,613	5968,820	0,000
	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	11892,380	1	11892,380	70402,978	0,000
	reduzierte Spindelstufen	299,037	1	299,037	1765,120	0,000
	gefüllte Spindelstufen	8401,423	1	8401,423	21266,921	0,000
	Gewicht Stroh FM (g)	29070095,868	1	29070095,868	4049,472	0,000
	Gewicht Körner FM (g)	17841116,879	1	17841116,879	3938,599	0,000
	Harvest Index (%)	4,711	1	4,711	9355,229	0,000
	Einzelährenertrag (g)	88,792	1	88,792	3223,438	0,000
	TKG (g)	40144,653	1	40144,653	6093,903	0,000
	Hektolitergewicht (kg/hl)	124281,399	1	124281,399	23166,489	0,000
	RP % unv.	3670,829	1	3670,829	4283,236	0,000

Tabelle 19: Varianzanalyse der Ernteergebnisse (eigene Darstellung 2025)

Tests der Zwischensubjekteffekte						
Quelle	Abhängige Variable	Typ III Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Variante	RP % verm.	4528,616	1	4528,616	7087,452	0,000
	Fallzahl (sek.)	4218192,455	1	4218192,455	11499,435	0,000
	N-Entzug (kg N/t FM)	755685,994	1	755685,994	4639,732	0,000
	N-Saldo (kg/ha)	73835,984	1	73835,984	453,332	0,000
	Ähren ges.	4990,125	2	2495,063	3,038	0,080
	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	0,400	2	0,200	1,183	0,335
	reduzierte Spindelstufen	0,518	2	0,259	1,530	0,251
	gefüllte Spindelstufen	1,383	2	0,691	1,750	0,210
	Gewicht Stroh FM (g)	65066,174	2	32533,087	4,532	0,030
	Gewicht Körner FM (g)	3183,559	2	1591,780	0,351	0,710
	Harvest Index (%)	0,004	2	0,002	4,223	0,037
	Einzelährenertrag (g)	0,133	2	0,067	2,417	0,125
	TKG (g)	0,230	2	0,115	0,017	0,983
	Hektolitergewicht (kg/hl)	28,056	2	14,028	2,615	0,108
	RP % unv.	0,351	2	0,175	0,205	0,817
	RP % verm.	0,688	2	0,344	0,539	0,595
	Fallzahl (sek.)	1296,792	2	648,396	1,768	0,207
	N-Entzug (kg N/t FM)	492,103	2	246,052	1,511	0,255
	N-Saldo (kg/ha)	72,793	2	36,397	0,223	0,803
	Ähren ges.	8736,757	2	4368,378	5,319	0,019
Standort	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	0,546	2	0,273	1,616	0,234
	reduzierte Spindelstufen	0,033	2	0,016	0,097	0,908
	gefüllte Spindelstufen	0,737	2	0,368	0,932	0,417
	Gewicht Stroh FM (g)	355329,715	2	177664,858	24,749	0,000
	Gewicht Körner FM (g)	13645,027	2	6822,514	1,506	0,256
	Harvest Index (%)	0,011	2	0,005	10,677	0,002
	Einzelährenertrag (g)	0,034	2	0,017	0,616	0,554
	TKG (g)	52,180	2	26,090	3,960	0,043
	Hektolitergewicht (kg/hl)	34,727	2	17,364	3,237	0,070
	RP % unv.	1,148	2	0,574	0,670	0,527
	RP % verm.	2,027	2	1,013	1,586	0,239
	Fallzahl (sek.)	985,261	2	492,630	1,343	0,293
	N-Entzug (kg N/t FM)	833,949	2	416,974	2,560	0,113

Tabelle 19: Varianzanalyse der Ernteergebnisse (eigene Darstellung 2025)

Tests der Zwischensubjekteffekte						
Quelle	Abhängige Variable	Typ III Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Wiederholung	N-Saldo (kg/ha)	834,030	2	417,015	2,560	0,113
	Ähren ges.	5988,257	2	2994,128	3,646	0,053
	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	0,396	2	0,198	1,172	0,338
	reduzierte Spindelstufen	0,121	2	0,060	0,356	0,707
	gefüllte Spindelstufen	1,051	2	0,526	1,330	0,296
	Gewicht Stroh FM (g)	230246,178	2	115123,089	16,037	0,000
	Gewicht Körner FM (g)	4721,120	2	2360,560	0,521	0,605
	Harvest Index (%)	0,009	2	0,004	8,450	0,004
	Einzelährenertrag (g)	0,040	2	0,020	0,718	0,505
	TKG (g)	24,773	2	12,386	1,880	0,189
	Hektolitergewicht (kg/hl)	14,061	2	7,030	1,310	0,301
	RP % unv.	1,922	2	0,961	1,121	0,353
	RP % verm.	0,928	2	0,464	0,726	0,501
	Fallzahl (sek.)	193,057	2	96,528	0,263	0,772
	N-Entzug (kg N/t FM)	359,298	2	179,649	1,103	0,359
	N-Saldo (kg/ha)	359,349	2	179,675	1,103	0,359
Variante * Standort	Ähren ges.	4572,484	4	1143,121	1,392	0,287
	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	0,305	4	0,076	0,451	0,770
	reduzierte Spindelstufen	0,358	4	0,090	0,528	0,717
	gefüllte Spindelstufen	0,620	4	0,155	0,392	0,811
	Gewicht Stroh FM (g)	104474,721	4	26118,680	3,638	0,031
	Gewicht Körner FM (g)	10539,428	4	2634,857	0,582	0,681
	Harvest Index (%)	0,002	4	0,001	1,033	0,425
	Einzelährenertrag (g)	0,081	4	0,020	0,731	0,586
	TKG (g)	10,499	4	2,625	0,398	0,807
	Hektolitergewicht (kg/hl)	19,123	4	4,781	0,891	0,495
	RP % unv.	1,292	4	0,323	0,377	0,821
	RP % verm.	0,108	4	0,027	0,042	0,996
	Fallzahl (sek.)	2488,458	4	622,115	1,696	0,207
	N-Entzug (kg N/t FM)	249,601	4	62,400	0,383	0,817
	N-Saldo (kg/ha)	249,606	4	62,402	0,383	0,817
Fehler	Ähren ges.	11498,243	14	821,303		
	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	2,365	14	0,169		

Tabelle 19: Varianzanalyse der Ernteergebnisse (eigene Darstellung 2025)

		Tests der Zwischensubjekteffekte					
Quelle	Abhängige Variable	Typ III Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	
Gesamt	reduzierte Spindelstufen	2,372	14	0,169			
	gefüllte Spindelstufen	5,531	14	0,395			
	Gewicht Stroh FM (g)	100502,322	14	7178,737			
	Gewicht Körner FM (g)	63417,380	14	4529,813			
	Harvest Index (%)	0,007	14	0,001			
	Einzelährenertrag (g)	0,386	14	0,028			
	TKG (g)	92,227	14	6,588			
	Hektolitergewicht (kg/hl)	75,106	14	5,365			
	RP % unv.	11,998	14	0,857			
	RP % verm.	8,945	14	0,639			
	Fallzahl (sek.)	5135,443	14	366,817			
	N-Entzug (kg N/t FM)	2280,219	14	162,873			
	N-Saldo (kg/ha)	2280,236	14	162,874			
	Ähren ges.	5146695,000	25				
	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	12297,688	25				
	reduzierte Spindelstufen	315,032	25				
	gefüllte Spindelstufen	8675,770	25				
	Gewicht Stroh FM (g)	30916800,000	25				
	Gewicht Körner FM (g)	18600280,000	25				
	Harvest Index (%)	4,907	25				
Korrigierte Gesamtvariation	Einzelährenertrag (g)	92,111	25				
	TKG (g)	41719,000	25				
	Hektolitergewicht (kg/hl)	128632,000	25				
	RP % unv.	3811,478	25				
	RP % verm.	4693,706	25				
	Fallzahl (sek.)	4380933,000	25				
	N-Entzug (kg N/t FM)	788487,407	25				
	N-Saldo (kg/ha)	79649,426	25				
	Ähren ges.	34574,000	24				
	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	4,201	24				
	reduzierte Spindelstufen	3,439	24				
	gefüllte Spindelstufen	9,650	24				
	Gewicht Stroh FM (g)	781091,840	24				

Tabelle 19: Varianzanalyse der Ernteergebnisse (eigene Darstellung 2025)

Tests der Zwischensubjekteffekte						
Quelle	Abhängige Variable	Typ III Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
	Gewicht Körner FM (g)	89634,240	24			
	Harvest Index (%)	0,031	24			
	Einzelährenertrag (g)	0,699	24			
	TKG (g)	184,560	24			
	Hektolitergewicht (kg/hl)	181,440	24			
	RP % unv.	16,918	24			
	RP % verm.	12,957	24			
	Fallzahl (sek.)	10324,640	24			
	N-Entzug (kg N/t FM)	3932,927	24			
	N-Saldo (kg/ha)	3491,089	24			
		a. R-Quadrat = ,667 (korrigiertes R-Quadrat = ,430)				
		b. R-Quadrat = ,437 (korrigiertes R-Quadrat = ,035)				
		c. R-Quadrat = ,310 (korrigiertes R-Quadrat = -,182)				
		d. R-Quadrat = ,427 (korrigiertes R-Quadrat = ,017)				
		e. R-Quadrat = ,808 (korrigiertes R-Quadrat = ,671)				
		f. R-Quadrat = ,871 (korrigiertes R-Quadrat = ,779)				
		g. R-Quadrat = ,292 (korrigiertes R-Quadrat = -,213)				
		h. R-Quadrat = ,775 (korrigiertes R-Quadrat = ,613)				
		i. R-Quadrat = ,449 (korrigiertes R-Quadrat = ,055)				
		j. R-Quadrat = ,500 (korrigiertes R-Quadrat = ,143)				
		k. R-Quadrat = ,586 (korrigiertes R-Quadrat = ,290)				
		l. R-Quadrat = ,291 (korrigiertes R-Quadrat = -,216)				
		m. R-Quadrat = ,310 (korrigiertes R-Quadrat = -,184)				
		n. R-Quadrat = ,503 (korrigiertes R-Quadrat = ,147)				
		o. R-Quadrat = ,420 (korrigiertes R-Quadrat = ,006)				
		p. R-Quadrat = ,347 (korrigiertes R-Quadrat = -,120)				

Tabelle 20: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)

Bonferroni							
Abhängige Variable	(I) Variante	(J) Variante	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Ähren ges.	Gärrest + Nitrifikations-hemmer	Gärrest	-30,9683	14,44247	0,150	-70,2193	8,2828
		Mineral-	-5,3016	14,44247	1,000	-44,5527	33,9495

Tabelle 20: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)

Bonferroni		Mehrere Vergleiche					
Abhängige Variable	(I) Variante	(J) Variante	Mittelwert-diffe- renz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	Gärrest	dünger					
		Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	30,9683	14,44247	0,150	-8,2828	70,2193
		Mineral- dünger	25,6667	13,50969	0,235	-11,0494	62,3827
		Gärrest + Nitrifikations- hemmer	5,3016	14,44247	1,000	-33,9495	44,5527
	Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	-25,6667	13,50969	0,235	-62,3827	11,0494
		Gärrest	0,1389	0,20712	1,000	-0,4240	0,7018
		Mineral- dünger	0,3189	0,20712	0,438	-0,2440	0,8818
		Gärrest	Gärrest	-0,1389	0,20712	1,000	-0,7018
	Mineral-dünger	+ Nitrifikations- hemmer					
		Mineral- dünger	0,1800	0,19375	1,000	-0,3466	0,7066
		Gärrest + Nitrifikations- hemmer	-0,3189	0,20712	0,438	-0,8818	0,2440
		Gärrest	Gärrest	-0,1800	0,19375	1,000	-0,7066
reduzierte Spindel-stu- fen	Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	-0,3608	0,20743	0,312	-0,9245	0,2029
	Mineral- dünger	-0,1363	0,20743	1,000	-0,7001	0,4274	
	Gärrest	Gärrest	0,3608	0,20743	0,312	-0,2029	0,9245
	+ Nitrifikations- hemmer						
Mineral-dünger	Mineral- dünger	0,2244	0,19403	0,800	-0,3029	0,7518	
	Gärrest + Nitrifikations- hemmer	0,1363	0,20743	1,000	-0,4274	0,7001	
	Gärrest	Gärrest	-0,2244	0,19403	0,800	-0,7518	0,3029
	Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	0,5678	0,31675	0,284	-0,2931	1,4286
gefüllte Spindel-stufen	Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Mineral- dünger	0,4644	0,31675	0,494	-0,3964	1,3253
		Gärrest	Gärrest	-0,5678	0,31675	0,284	-1,4286
	Gärrest	+ Nitrifikations- hemmer					

Tabelle 20: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)

Bonferroni			Mehrere Vergleiche					
Abhängige Variable	(I) Variante	(J) Variante	Mittelwert-diffe- renz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall		
						Untergrenze	Obergrenze	
Gewicht Stroh FM (g)	Mineral-dünger	Nitrifikations- hemmer						
		Mineral- dünger	-0,1033	0,29629	1,000	-0,9086	0,7019	
		Gärrest + Nitrifikations- hemmer	-0,4644	0,31675	0,494	-1,3253	0,3964	
		Gärrest	0,1033	0,29629	1,000	-0,7019	0,9086	
		Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	-87,8413	42,69861	0,176	-203,8856	28,2031
	Gärrest	Mineral- dünger	28,9365	42,69861	1,000	-87,1079	144,9809	
		Gärrest	Gärrest	87,8413	42,69861	0,176	-28,2031	203,8856
		+ Nitrifikations- hemmer	Mineral- dünger	116,7778 [*]	39,94089	0,033	8,2282	225,3273
		Mineral-dünger	Gärrest	-28,9365	42,69861	1,000	-144,9809	87,1079
		+ Nitrifikations- hemmer	Gärrest	-116,7778 [*]	39,94089	0,033	-225,3273	-8,2282
Gewicht Körner FM (g)	Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	8,7937	33,91797	1,000	-83,3871	100,9744	
		Mineral- dünger	-16,8730	33,91797	1,000	-109,0538	75,3077	
		Gärrest	Gärrest	-8,7937	33,91797	1,000	-100,9744	83,3871
		+ Nitrifikations- hemmer	Mineral- dünger	-25,6667	31,72736	1,000	-111,8939	60,5605
		Mineral-dünger	Gärrest	16,8730	33,91797	1,000	-75,3077	109,0538
	Gärrest	+ Nitrifikations- hemmer	Gärrest	25,6667	31,72736	1,000	-60,5605	111,8939
		Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	0,0193	0,01131	0,327	-0,0114	0,0501
		Mineral- dünger	-0,0112	0,01131	1,000	-0,0419	0,0195	
		Gärrest	Gärrest	-0,0193	0,01131	0,327	-0,0501	0,0114
		+ Nitrifikations- hemmer						

Tabelle 20: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)

Bonferroni			Mehrere Vergleiche				
Abhängige Variable	(I) Variante	(J) Variante	Mittelwert-diffe- renz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Einzelähren-ertrag (g)	Mineral-dünger	Mineral- dünger	-,0306 ⁺	0,01058	0,036	-0,0593	-0,0018
		Gärrest + Nitrifikations- hemmer	0,0112	0,01131	1,000	-0,0195	0,0419
		Gärrest	,0306 ⁺	0,01058	0,036	0,0018	0,0593
	Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	0,1454	0,08364	0,312	-0,0819	0,3727
		Mineral- dünger	-0,0095	0,08364	1,000	-0,2369	0,2178
		Gärrest	Gärrest + Nitrifikations- hemmer	-0,1454	0,08364	0,312	-0,3727
	Mineral-dünger	Mineral- dünger	-0,1549	0,07824	0,203	-0,3676	0,0577
		Gärrest + Nitrifikations- hemmer	0,0095	0,08364	1,000	-0,2178	0,2369
		Gärrest	Gärrest	0,1549	0,07824	0,203	-0,0577
	Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	0,048	1,2935	1,000	-3,468	3,563
Mineral- dünger		-0,175	1,2935	1,000	-3,690	3,341	
Gärrest		Gärrest + Nitrifikations- hemmer	-0,048	1,2935	1,000	-3,563	3,468
TKG (g)	Mineral-dünger	Mineral- dünger	-0,222	1,2099	1,000	-3,511	3,066
		Gärrest + Nitrifikations- hemmer	0,175	1,2935	1,000	-3,341	3,690
		Gärrest	Gärrest	0,222	1,2099	1,000	-3,066
	Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	-1,97	1,167	0,342	-5,14	1,20
		Mineral- dünger	0,48	1,167	1,000	-2,70	3,65
		Gärrest	Gärrest + Nitrifikations- hemmer	1,97	1,167	0,342	-1,20
	Mineral-dünger	Mineral- dünger	2,44	1,092	0,126	-0,52	5,41
		Gärrest + Nitrifikations- hemmer					
		Gärrest	Gärrest				

Tabelle 20: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)

Bonferroni		Mehrere Vergleiche					
Abhängige Variable	(I) Variante	(J) Variante	Mittelwert-diffe- renz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
RP % unv.	Mineral-dünger	Gärrest	-0,48	1,167	1,000	-3,65	2,70
		+ Nitrifikations- hemmer					
		Gärrest	-2,44	1,092	0,126	-5,41	0,52
	Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	0,0052	0,46654	1,000	-1,2627	1,2732
		Mineral- dünger	-0,2592	0,46654	1,000	-1,5271	1,0087
	Gärrest	Gärrest	-0,0052	0,46654	1,000	-1,2732	1,2627
RP % verm.		+ Nitrifikations- hemmer					
		Mineral- dünger	-0,2644	0,43641	1,000	-1,4505	0,9216
	Mineral-dünger	Gärrest	0,2592	0,46654	1,000	-1,0087	1,5271
		+ Nitrifikations- hemmer					
		Gärrest	0,2644	0,43641	1,000	-0,9216	1,4505
		Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	-0,3329	0,40284	1,000	-1,4277
Fallzahl (sek.)		Mineral- dünger	-0,5173	0,40284	0,660	-1,6121	0,5775
		Gärrest	0,3329	0,40284	1,000	-0,7620	1,4277
		+ Nitrifikations- hemmer					
		Mineral- dünger	-0,1844	0,37682	1,000	-1,2085	0,8397
	Mineral-dünger	Gärrest	0,5173	0,40284	0,660	-0,5775	1,6121
		+ Nitrifikations- hemmer					
Fallzahl (sek.)		Gärrest	0,1844	0,37682	1,000	-0,8397	1,2085
		Gärrest + Nitrifi- kations-hemmer	Gärrest	-12,60	9,652	0,638	-38,83
		Mineral- dünger	-20,27	9,652	0,163	-46,50	5,96
		Gärrest	Gärrest	12,60	9,652	0,638	-13,63
		+ Nitrifikations- hemmer					
		Mineral- dünger	-7,67	9,029	1,000	-32,20	16,87
	Mineral-dünger	Gärrest + Nitrifikations- hemmer	20,27	9,652	0,163	-5,96	46,50

Tabelle 20: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Düngevarianten (eigene Darstellung 2025)

Mehrere Vergleiche							
Bonferroni							
Abhängige Variable	(I) Variante	(J) Variante	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
N-Entzug (kg N/t FM)	Gärrest + Nitrifikations-hemmer	Gärrest	7,67	9,029	1,000	-16,87	32,20
		Gärrest	-4,4306	6,43153	1,000	-21,9099	13,0487
		Mineral-dünger	-11,3992	6,43153	0,294	-28,8785	6,0801
	Gärrest	Gärrest + Nitrifikations-hemmer	4,4306	6,43153	1,000	-13,0487	21,9099
		Mineral-dünger	-6,9687	6,01614	0,798	-23,3191	9,3817
		Mineral-dünger + Nitrifikations-hemmer	11,3992	6,43153	0,294	-6,0801	28,8785
N-Saldo (kg/ha)	Gärrest + Nitrifikations-hemmer	Gärrest	6,9687	6,01614	0,798	-9,3817	23,3191
		Gärrest	4,4294	6,43155	1,000	-13,0500	21,9087
		Mineral-dünger	4,1083	6,43155	1,000	-13,3711	21,5876
	Gärrest	Gärrest + Nitrifikations-hemmer	-4,4294	6,43155	1,000	-21,9087	13,0500
		Mineral-dünger	-0,3211	6,01616	1,000	-16,6716	16,0293
		Mineral-dünger + Nitrifikations-hemmer	-4,1083	6,43155	1,000	-21,5876	13,3711
	Mineral-dünger	Gärrest	0,3211	6,01616	1,000	-16,0293	16,6716

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.
Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 162,874.

*. Die Mittelwertdifferenz ist in Stufe ,05 signifikant.

Tabelle 21: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Standorten

Mehrere Vergleiche							
Bonferroni							
Abhängige Variable	(I) Standort	(J) Standort	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Ähren ges.	schwach	mittel	-19,2917	13,92547	0,563	-57,1377	18,5544
		stark	-43,3750 *	14,32919	0,027	-82,3182	-4,4318

Tabelle 21: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Standorten

		Mehrere Vergleiche					
Bonferroni							
Abhängige Variable	(I) Standort	(J) Standort	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	mittel	schwach	19,2917	13,92547	0,563	-18,5544	57,1377
		stark	-24,0833	13,92547	0,317	-61,9294	13,7627
	stark	schwach	43,3750 [*]	14,32919	0,027	4,4318	82,3182
		mittel	24,0833	13,92547	0,317	-13,7627	61,9294
	schwach	mittel	-0,1082	0,19971	1,000	-0,6510	0,4346
		stark	-0,3750	0,20550	0,268	-0,9335	0,1835
	mittel	schwach	0,1082	0,19971	1,000	-0,4346	0,6510
		stark	-0,2668	0,19971	0,609	-0,8096	0,2760
	stark	schwach	0,3750	0,20550	0,268	-0,1835	0,9335
		mittel	0,2668	0,19971	0,609	-0,2760	0,8096
	reduzierte Spindelstufen	schwach	0,0458	0,20000	1,000	-0,4977	0,5894
		stark	0,1425	0,20580	1,000	-0,4168	0,7018
gefüllte Spindelstufen	mittel	schwach	-0,0458	0,20000	1,000	-0,5894	0,4977
		stark	0,0967	0,20000	1,000	-0,4469	0,6402
	stark	schwach	-0,1425	0,20580	1,000	-0,7018	0,4168
		mittel	-0,0967	0,20000	1,000	-0,6402	0,4469
	schwach	mittel	-0,1369	0,30541	1,000	-0,9670	0,6931
		stark	-0,4737	0,31426	0,462	-1,3278	0,3803
	mittel	schwach	0,1369	0,30541	1,000	-0,6931	0,9670
		stark	-0,3368	0,30541	0,866	-1,1668	0,4932
	stark	schwach	0,4737	0,31426	0,462	-0,3803	1,3278
		mittel	0,3368	0,30541	0,866	-0,4932	1,1668
	Gewicht Stroh FM (g)	schwach	-132,8611 [*]	41,17013	0,018	-244,7514	-20,9708
		stark	-268,2500 [*]	42,36371	0,000	-383,3842	-153,1158
Gewicht Körner FM (g)	mittel	schwach	132,8611 [*]	41,17013	0,018	20,9708	244,7514
		stark	-135,3889 [*]	41,17013	0,016	-247,2792	-23,4986
	stark	schwach	268,2500 [*]	42,36371	0,000	153,1158	383,3842
		mittel	135,3889 [*]	41,17013	0,016	23,4986	247,2792
	schwach	mittel	-42,0000	32,70381	0,660	-130,8809	46,8809
		stark	-41,7500	33,65194	0,705	-133,2077	49,7077
	mittel	schwach	42,0000	32,70381	0,660	-46,8809	130,8809
		stark	0,2500	32,70381	1,000	-88,6309	89,1309
	stark	schwach	41,7500	33,65194	0,705	-49,7077	133,2077
		mittel	-0,2500	32,70381	1,000	-89,1309	88,6309

Tabelle 21: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Standorten

Bonferroni							
Mehrere Vergleiche							
Abhängige Variable	(I) Standort	(J) Standort	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Harvest Index (%)	schwach	mittel	0,0185	0,01090	0,336	-0,0111	0,0481
		stark	,0471 *	0,01122	0,003	0,0166	0,0776
	mittel	schwach	-0,0185	0,01090	0,336	-0,0481	0,0111
		stark	0,0286	0,01090	0,060	-0,0010	0,0583
	stark	schwach	-,0471 *	0,01122	0,003	-0,0776	-0,0166
		mittel	-0,0286	0,01090	0,060	-0,0583	0,0010
Einzelährenertrag (g)	schwach	mittel	-0,0157	0,08065	1,000	-0,2349	0,2035
		stark	0,0817	0,08298	1,000	-0,1438	0,3073
	mittel	schwach	0,0157	0,08065	1,000	-0,2035	0,2349
		stark	0,0974	0,08065	0,741	-0,1218	0,3166
	stark	schwach	-0,0817	0,08298	1,000	-0,3073	0,1438
		mittel	-0,0974	0,08065	0,741	-0,3166	0,1218
TKG (g)	schwach	mittel	2,417	1,2472	0,219	-0,973	5,806
		stark	3,500 *	1,2833	0,049	0,012	6,988
	mittel	schwach	-2,417	1,2472	0,219	-5,806	0,973
		stark	1,083	1,2472	1,000	-2,306	4,473
	stark	schwach	-3,500 *	1,2833	0,049	-6,988	-0,012
		mittel	-1,083	1,2472	1,000	-4,473	2,306
Hektolitergewicht (kg/hl)	schwach	mittel	2,50	1,125	0,130	-0,56	5,56
		stark	2,88	1,158	0,079	-0,27	6,02
	mittel	schwach	-2,50	1,125	0,130	-5,56	0,56
		stark	0,38	1,125	1,000	-2,68	3,43
	stark	schwach	-2,88	1,158	0,079	-6,02	0,27
		mittel	-0,38	1,125	1,000	-3,43	2,68
RP % unv.	schwach	mittel	0,4499	0,44984	1,000	-0,7727	1,6724
		stark	-0,0100	0,46288	1,000	-1,2680	1,2480
	mittel	schwach	-0,4499	0,44984	1,000	-1,6724	0,7727
		stark	-0,4599	0,44984	0,972	-1,6824	0,7627
	stark	schwach	0,0100	0,46288	1,000	-1,2480	1,2680
		mittel	0,4599	0,44984	0,972	-0,7627	1,6824
RP % verm.	schwach	mittel	0,6142	0,38841	0,408	-0,4414	1,6698
		stark	0,0100	0,39968	1,000	-1,0762	1,0962
	mittel	schwach	-0,6142	0,38841	0,408	-1,6698	0,4414
		stark	-0,6042	0,38841	0,426	-1,6598	0,4514

Tabelle 21: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Standorten

Bonferroni							
Mehrere Vergleiche							
Abhängige Variable	(I) Standort	(J) Standort	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Fallzahl (sek.)	stark	schwach	-0,0100	0,39968	1,000	-1,0962	1,0762
		mittel	0,6042	0,38841	0,426	-0,4514	1,6598
	schwach	mittel	15,76	9,306	0,337	-9,53	41,06
		stark	6,50	9,576	1,000	-19,53	32,53
	mittel	schwach	-15,76	9,306	0,337	-41,06	9,53
		stark	-9,26	9,306	1,000	-34,56	16,03
N-Entzug (kg N/t FM)	stark	schwach	-6,50	9,576	1,000	-32,53	19,53
		mittel	9,26	9,306	1,000	-16,03	34,56
	schwach	mittel	-3,4098	6,20130	1,000	-20,2634	13,4438
		stark	-12,0645	6,38108	0,239	-29,4067	5,2777
	mittel	schwach	3,4098	6,20130	1,000	-13,4438	20,2634
		stark	-8,6547	6,20130	0,554	-25,5083	8,1989
N-Saldo (kg/ha)	stark	schwach	12,0645	6,38108	0,239	-5,2777	29,4067
		mittel	8,6547	6,20130	0,554	-8,1989	25,5083
	schwach	mittel	3,7135	6,20132	1,000	-13,1402	20,5671
		stark	12,0650	6,38110	0,239	-5,2773	29,4073
	mittel	schwach	-3,7135	6,20132	1,000	-20,5671	13,1402
		stark	8,3515	6,20132	0,598	-8,5021	25,2052
stark	schwach	-12,0650	6,38110	0,239	-29,4073	5,2773	
	mittel	-8,3515	6,20132	0,598	-25,2052	8,5021	
Grundlage: beobachtete Mittelwerte. Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 162,874.							
*. Die Mittelwertdifferenz ist in Stufe ,05 signifikant.							

Tabelle 22: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Wiederholungen (eigene Darstellung 2025)

		Mehrere Vergleiche					
Bonferroni							
Abhängige Variable	(I) Wiederholung	(J) Wiederholung	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Ähren ges.	1	2	-13,0417	13,92547	1,000	-50,8877	24,8044
		3	-34,0000	14,32919	0,098	-72,9432	4,9432
	2	1	13,0417	13,92547	1,000	-24,8044	50,8877
		3	-20,9583	13,92547	0,464	-58,8044	16,8877

Tabelle 22: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Wiederholungen (eigene Darstellung 2025)

Bonferroni							
Mehrere Vergleiche							
Abhängige Variable	(I) Wiederholung	(J) Wiederholung	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Spindel-stufen an 15 Ä. gesamt	3	1	34,0000	14,32919	0,098	-4,9432	72,9432
		2	20,9583	13,92547	0,464	-16,8877	58,8044
	1	2	0,2578	0,19971	0,653	-0,2850	0,8005
		3	0,3813	0,20550	0,254	-0,1772	0,9397
	2	1	-0,2578	0,19971	0,653	-0,8005	0,2850
		3	0,1235	0,19971	1,000	-0,4193	0,6662
reduzierte Spindel-stufen	3	1	-0,3813	0,20550	0,254	-0,9397	0,1772
		2	-0,1235	0,19971	1,000	-0,6662	0,4193
	1	2	-0,1122	0,20000	1,000	-0,6558	0,4313
		3	-0,1250	0,20580	1,000	-0,6843	0,4343
	2	1	0,1122	0,20000	1,000	-0,4313	0,6558
		3	-0,0128	0,20000	1,000	-0,5563	0,5308
gefüllte Spindel-stufen	3	1	0,1250	0,20580	1,000	-0,4343	0,6843
		2	0,0128	0,20000	1,000	-0,5308	0,5563
	1	2	0,4292	0,30541	0,545	-0,4009	1,2592
		3	0,4988	0,31426	0,404	-0,3553	1,3528
	2	1	-0,4292	0,30541	0,545	-1,2592	0,4009
		3	0,0696	0,30541	1,000	-0,7604	0,8996
Gewicht Stroh FM (g)	3	1	-0,4988	0,31426	0,404	-1,3528	0,3553
		2	-0,0696	0,30541	1,000	-0,8996	0,7604
	1	2	-72,1806	41,17013	0,304	-184,0709	39,7098
		3	-198,6250 [*]	42,36371	0,001	-313,7592	-83,4908
	2	1	72,1806	41,17013	0,304	-39,7098	184,0709
		3	-126,4444 [*]	41,17013	0,025	-238,3348	-14,5541
Gewicht Körner FM (g)	3	1	198,6250 [*]	42,36371	0,001	83,4908	313,7592
		2	126,4444 [*]	41,17013	0,025	14,5541	238,3348
	1	2	-20,4583	32,70381	1,000	-109,3393	68,4226
		3	-16,3750	33,65194	1,000	-107,8327	75,0827
	2	1	20,4583	32,70381	1,000	-68,4226	109,3393
		3	4,0833	32,70381	1,000	-84,7976	92,9643
Harvest Index (%)	3	1	16,3750	33,65194	1,000	-75,0827	107,8327
		2	-4,0833	32,70381	1,000	-92,9643	84,7976
	1	2	0,0113	0,01090	0,957	-0,0184	0,0409

Tabelle 22: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Wiederholungen (eigene Darstellung 2025)

Bonferroni							
Mehrere Vergleiche							
Abhängige Variable	(I) Wiederholung	(J) Wiederholung	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Einzelähren- ertrag (g)	2	3	,0396 [*]	0,01122	0,010	0,0091	0,0701
		1	-0,0113	0,01090	0,957	-0,0409	0,0184
		3	0,0284	0,01090	0,063	-0,0013	0,0580
	3	1	-,0396 [*]	0,01122	0,010	-0,0701	-0,0091
		2	-0,0284	0,01090	0,063	-0,0580	0,0013
	1	2	0,0041	0,08065	1,000	-0,2150	0,2233
		3	0,1003	0,08298	0,741	-0,1253	0,3258
	2	1	-0,0041	0,08065	1,000	-0,2233	0,2150
		3	0,0961	0,08065	0,759	-0,1231	0,3153
	3	1	-0,1003	0,08298	0,741	-0,3258	0,1253
		2	-0,0961	0,08065	0,759	-0,3153	0,1231
TKG (g)	1	2	0,750	1,2472	1,000	-2,639	4,139
		3	2,250	1,2833	0,304	-1,238	5,738
	2	1	-0,750	1,2472	1,000	-4,139	2,639
		3	1,500	1,2472	0,747	-1,889	4,889
	3	1	-2,250	1,2833	0,304	-5,738	1,238
		2	-1,500	1,2472	0,747	-4,889	1,889
Hektoliter- gewicht (kg/hl)	1	2	1,75	1,125	0,427	-1,31	4,81
		3	1,38	1,158	0,765	-1,77	4,52
	2	1	-1,75	1,125	0,427	-4,81	1,31
		3	-0,38	1,125	1,000	-3,43	2,68
	3	1	-1,38	1,158	0,765	-4,52	1,77
		2	0,38	1,125	1,000	-2,68	3,43
RP % unv.	1	2	0,4783	0,44984	0,917	-0,7442	1,7009
		3	-0,1787	0,46288	1,000	-1,4367	1,0792
	2	1	-0,4783	0,44984	0,917	-1,7009	0,7442
		3	-0,6571	0,44984	0,499	-1,8796	0,5655
	3	1	0,1787	0,46288	1,000	-1,0792	1,4367
		2	0,6571	0,44984	0,499	-0,5655	1,8796
RP % verm.	1	2	0,1233	0,38841	1,000	-0,9323	1,1789
		3	-0,3363	0,39968	1,000	-1,4225	0,7500
	2	1	-0,1233	0,38841	1,000	-1,1789	0,9323
		3	-0,4596	0,38841	0,769	-1,5152	0,5960

Tabelle 22: Post-hoc-Test der Ernteergebnisse zwischen den Wiederholungen (eigene Darstellung 2025)

Mehrere Vergleiche							
Bonferroni							
Abhängige Variable	(I) Wiederholung	(J) Wiederholung	Mittelwert-differenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Fallzahl (sek.)	3	1	0,3363	0,39968	1,000	-0,7500	1,4225
		2	0,4596	0,38841	0,769	-0,5960	1,5152
	1	2	5,88	9,306	1,000	-19,42	31,17
		3	-1,13	9,576	1,000	-27,15	24,90
	2	1	-5,88	9,306	1,000	-31,17	19,42
		3	-7,00	9,306	1,000	-32,29	18,29
N-Entzug (kg N/t FM)	3	1	1,13	9,576	1,000	-24,90	27,15
		2	7,00	9,306	1,000	-18,29	32,29
	1	2	-3,0351	6,20130	1,000	-19,8887	13,8185
		3	-6,5470	6,38108	0,967	-23,8892	10,7952
	2	1	3,0351	6,20130	1,000	-13,8185	19,8887
		3	-3,5119	6,20130	1,000	-20,3655	13,3417
N-Saldo (kg/ha)	3	1	6,5470	6,38108	0,967	-10,7952	23,8892
		2	3,5119	6,20130	1,000	-13,3417	20,3655
	1	2	3,3401	6,20132	1,000	-13,5135	20,1938
		3	6,5475	6,38110	0,967	-10,7948	23,8898
	2	1	-3,3401	6,20132	1,000	-20,1938	13,5135
		3	3,2074	6,20132	1,000	-13,6463	20,0610
	3	1	-6,5475	6,38110	0,967	-23,8898	10,7948
		2	-3,2074	6,20132	1,000	-20,0610	13,6463

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.
Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 162,874.

*. Die Mittelwertdifferenz ist in Stufe ,05 signifikant.

Tabelle 23: Korrelationsanalyse der Ernteergebnisse Teil 1 (eigene Darstellung 2025)

Korrelationen											
		Standort	Wiederholung	Ähren ges.	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	reduzierte Spindelstufen	gefüllte Spindelstufen	Gewicht Stroh FM (g)	Gewicht Körner FM (g)	Harvest Index (%)	Einzelähren-ertrag (g)
Variante	Pearson-Korrelation	0,000	0,000	0,029	-0,311	0,118	-0,278	-0,086	0,123	0,152	0,055
	Sig. (2-seitig)	1,000	1,000	0,890	0,130	0,575	0,178	0,682	0,559	0,469	0,793
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Standort	Pearson-Korrelation	1	-0,125	,467*	0,366	-0,154	0,305	,607**	0,279	-,533**	-0,195

Tabelle 23: Korrelationsanalyse der Ernteergebnisse Teil 1 (eigene Darstellung 2025)

		Korrelationen									
		Standort	Wiederholung	Ähren ges.	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	reduzierte Spindelstufen	gefüllte Spindelstufen	Gewicht Stroh FM (g)	Gewicht Körner FM (g)	Harvest Index (%)	Einzelähren-ertrag (g)
Wiederholung	Sig. (2-seitig)		0,552	0,019	0,072	0,463	0,138	0,001	0,177	0,006	0,349
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-0,125	1	0,366	-0,372	0,135	-0,321	,449 ⁺	0,109	-,448 ⁺	-0,240
Ähren ges.	Sig. (2-seitig)		0,552		0,072	0,067	0,521	0,118	0,024	0,603	0,025
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	,467 ⁺	0,366	1	-0,193	0,175	-0,332	,823 ^{**}	0,300	-,758 ^{**}	-,677 ^{**}
Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	Sig. (2-seitig)		0,019	0,072		0,354	0,402	0,105	0,000	0,146	0,000
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	0,366	-0,372	-0,193	1	-0,134	,798 ^{**}	0,056	-0,210	-0,160	0,006
reduzierte Spindelstufen	Sig. (2-seitig)		0,072	0,067	0,354		0,525	0,000	0,790	0,315	0,444
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-0,154	0,135	0,175	-0,134	1	-,674 ^{**}	0,301	0,152	-0,269	-0,063
gefüllte Spindelstufen	Sig. (2-seitig)		0,463	0,521	0,402	0,525		0,000	0,143	0,467	0,193
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	0,305	-0,321	-0,332	,798 ^{**}	-,674 ^{**}	1	-0,194	-0,286	0,082	0,083
Gewicht Stroh FM (g)	Sig. (2-seitig)		0,138	0,118	0,105	0,000	0,000		0,352	0,165	0,698
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	,607 ^{**}	,449 ⁺	,823 ^{**}	0,056	0,301	-0,194	1	0,358	-,916 ^{**}	-,457 ⁺
Gewicht Körner FM (g)	Sig. (2-seitig)		0,001	0,024	0,000	0,790	0,143	0,352		0,079	0,000
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	0,279	0,109	0,300	-0,210	0,152	-0,286	0,358	1	0,034	,495 ⁺
Harvest Index (%)	Sig. (2-seitig)		0,177	0,603	0,146	0,315	0,467	0,165	0,079		0,870
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-,533 ^{**}	-,448 ⁺	-,758 ^{**}	-0,160	-0,269	0,082	-,916 ^{**}	0,034	1	,703 ^{**}
Einzelähren-ertrag (g)	Sig. (2-seitig)		0,006	0,025	0,000	0,444	0,193	0,698	0,000	0,870	
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-0,195	-0,240	-,677 ^{**}	0,006	-0,063	0,083	-,457 ⁺	,495 ⁺	,703 ^{**}	1
TKG (g)	Sig. (2-seitig)		0,349	0,248	0,000	0,977	0,764	0,692	0,022	0,012	0,000
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-,515 ^{**}	-0,331	-,507 ^{**}	-0,039	0,149	-0,115	-,518 ^{**}	0,156	,641 ^{**}	,573 ^{**}
	Sig. (2-seitig)		0,008	0,106	0,010	0,853	0,477	0,584	0,008	0,457	0,001

Tabelle 23: Korrelationsanalyse der Ernteergebnisse Teil 1 (eigene Darstellung 2025)

		Korrelationen									
		Standort	Wiederholung	Ähren ges.	Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	reduzierte Spindelstufen	gefüllte Spindelstufen	Gewicht Stroh FM (g)	Gewicht Körner FM (g)	Harvest Index (%)	Einzelähren-ertrag (g)
Hekto-liter-gewicht (kg/hl)	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-,427*	-0,204	-0,024	-0,214	0,264	-0,369	-0,151	0,260	0,295	0,226
	Sig. (2-seitig)	0,033	0,328	0,910	0,303	0,203	0,070	0,471	0,210	0,152	0,277
RP % unv.	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	0,005	0,087	0,242	-0,007	-0,048	0,021	0,108	-,466*	-0,338	-,593**
	Sig. (2-seitig)	0,982	0,680	0,243	0,973	0,820	0,920	0,608	0,019	0,099	0,002
RP % verm.	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-0,006	0,187	0,289	-0,088	0,091	-0,117	0,142	-,438*	-0,360	-,613**
	Sig. (2-seitig)	0,979	0,371	0,161	0,677	0,665	0,577	0,499	0,029	0,077	0,001
Fallzahl (sek.)	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-0,128	0,022	0,024	-0,319	0,191	-0,285	-0,235	-0,225	0,161	-0,214
	Sig. (2-seitig)	0,542	0,916	0,911	0,121	0,360	0,168	0,258	0,280	0,443	0,305
N-Entzug (kg N/t FM)	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	0,385	0,209	,602**	-0,258	0,240	-0,381	,523**	,672**	-0,302	-0,046
	Sig. (2-seitig)	0,058	0,317	0,001	0,214	0,247	0,060	0,007	0,000	0,142	0,826
N-Saldo (kg/ha)	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-,408*	-0,222	-,685**	0,190	-0,281	0,371	-,618**	-,661**	,409*	0,127
	Sig. (2-seitig)	0,043	0,287	0,000	0,363	0,174	0,068	0,001	0,000	0,042	0,546
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 24: Korrelationsanalyse der Ernteergebnisse Teil 2 (eigene Darstellung 2025)

		Korrelationen						
		TKG (g)	Hektolitergewicht (kg/hl)	RP % unv.	RP % verm.	Fallzahl (sek.)	N Entzug (kg N/t FM)	N-Saldo (kg/ha)
Variante	Pearson-Korrelation	0,027	-0,100	0,131	0,282	0,393	0,365	-0,131
	Sig. (2-seitig)	0,897	0,634	0,531	0,172	0,052	0,072	0,532
	N	25	25	25	25	25	25	25
Standort	Pearson-Korrelation	-,515**	-,427*	0,005	-0,006	-0,128	0,385	-,408*
	Sig. (2-seitig)	0,008	0,033	0,982	0,979	0,542	0,058	0,043
	N	25	25	25	25	25	25	25
Wiederholung	Pearson-Korrelation	-0,331	-0,204	0,087	0,187	0,022	0,209	-0,222

Tabelle 24: Korrelationsanalyse der Ernteergebnisse Teil 2 (eigene Darstellung 2025)

		Korrelationen						
		TKG (g)	Hektolitergewicht (kg/hl)	RP % unv.	RP % verm.	Fallzahl (sek.)	N Entzug (kg N/t FM)	N-Saldo (kg/ha)
Ähren ges.	Sig. (2-seitig)	0,106	0,328	0,680	0,371	0,916	0,317	0,287
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-,507**	-0,024	0,242	0,289	0,024	,602**	-,685**
Spindelstufen an 15 Ä. gesamt	Sig. (2-seitig)	0,010	0,910	0,243	0,161	0,911	0,001	0,000
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-0,039	-0,214	-0,007	-0,088	-0,319	-0,258	0,190
reduzierte Spindelstufen	Sig. (2-seitig)	0,853	0,303	0,973	0,677	0,121	0,214	0,363
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	0,149	0,264	-0,048	0,091	0,191	0,240	-0,281
gefüllte Spindelstufen	Sig. (2-seitig)	0,477	0,203	0,820	0,665	0,360	0,247	0,174
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-0,115	-0,369	0,021	-0,117	-0,285	-0,381	0,371
Gewicht Stroh FM (g)	Sig. (2-seitig)	0,584	0,070	0,920	0,577	0,168	0,060	0,068
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	-,518**	-0,151	0,108	0,142	-0,235	,523**	-,618**
Gewicht Körner FM (g)	Sig. (2-seitig)	0,008	0,471	0,608	0,499	0,258	0,007	0,001
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	0,156	0,260	-,466*	-,438*	-0,225	,672**	-,661**
Harvest Index (%)	Sig. (2-seitig)	0,457	0,210	0,019	0,029	0,280	0,000	0,000
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	,641**	0,295	-0,338	-0,360	0,161	-0,302	,409*
Einzelährenertrag (g)	Sig. (2-seitig)	0,001	0,152	0,099	0,077	0,443	0,142	0,042
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	,573**	0,226	-,593**	-,613**	-0,214	-0,046	0,127
TKG (g)	Sig. (2-seitig)	0,003	0,277	0,002	0,001	0,305	0,826	0,546
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	1	,662**	-,423*	-0,324	0,004	-0,161	0,181
Hektolitergewicht (kg/hl)	Sig. (2-seitig)		0,000	0,035	0,114	0,984	0,443	0,387
	N	25	25	25	25	25	25	25
	Pearson-Korrelation	,662**	1	-0,193	-0,142	0,045	0,080	-0,169
	Sig. (2-seitig)	0,000		0,355	0,497	0,830	0,703	0,420
	N	25	25	25	25	25	25	25

Tabelle 24: Korrelationsanalyse der Ernteergebnisse Teil 2 (eigene Darstellung 2025)

		Korrelationen						
		TKG (g)	Hektolitergewicht (kg/hl)	RP % unv.	RP % verm.	Fallzahl (sek.)	N Entzug (kg N/t FM)	N-Saldo (kg/ ha)
RP % unv.	Pearson-Korrelation	-,423 [*]	-0,193	1	,856 ^{**}	0,241	0,192	-0,159
	Sig. (2-seitig)	0,035	0,355		0,000	0,247	0,358	0,449
	N	25	25	25	25	25	25	25
RP % verm.	Pearson-Korrelation	-0,324	-0,142	,856 ^{**}	1	,425 [*]	0,328	-0,282
	Sig. (2-seitig)	0,114	0,497	0,000		0,034	0,110	0,171
	N	25	25	25	25	25	25	25
Fallzahl (sek.)	Pearson-Korrelation	0,004	0,045	0,241	,425 [*]	1	0,088	-0,002
	Sig. (2-seitig)	0,984	0,830	0,247	0,034		0,675	0,994
	N	25	25	25	25	25	25	25
N Entzug (kg N/t FM)	Pearson-Korrelation	-0,161	0,080	0,192	0,328	0,088	1	-,960 ^{**}
	Sig. (2-seitig)	0,443	0,703	0,358	0,110	0,675		0,000
	N	25	25	25	25	25	25	25
N-Saldo (kg/ha)	Pearson-Korrelation	0,181	-0,169	-0,159	-0,282	-0,002	-,960 ^{**}	1
	Sig. (2-seitig)	0,387	0,420	0,449	0,171	0,994	0,000	
	N	25	25	25	25	25	25	25

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.