

Versuchsbericht 2023

Teil 1: Stabilität des Ammoniumpools bei Anwendung des Cultanverfahrens

Teil 2: Direktsaat bei Zuckerrübe und Winterweizen im niederösterreichischen Alpenvorland

In Zusammenarbeit mit:

Boden.Leben

Wiener Strasse 64
A-3100 St. Pölten

HBLFA Francisco Josephinum / Josephinum Research

Weinzierl 1 / Rottenhauser Straße 1
A-3250 Wieselburg

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit

Spargelfeldstrasse 191
A-1220 Wien

Autoren: DI Peter Prankl, DI Stefan Geyer, Andreas Wilhelm BSc., Matthias Kastenhuber BA, Dr. Markus Gansberger

Ort, Datum: Wieselburg, November 2024

INHALTSVERZEICHNIS (TEIL 1, STABILITÄT DES AMMONIUMPOOLS BEI ANWENDUNG DES CULTANVERFAHRENS)

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage und Problemstellung.....	4
1.2	Zielsetzung	5
2	Stand des Wissens.....	6
2.1	Einfluss der Cultandüngung auf die Stickstoffumsetzung im Boden.....	6
2.2	Einfluss der CULTAN-Düngung auf das Wurzelwachstum von Pflanzen	12
2.3	Einfluss der N-Formen auf Wachstumsverlauf und Ertragsleistung.....	15
2.4	Einfluss einer platzierten N-Düngung (wie CULTAN) auf Wachstumsverlauf und Ertragsleistung	19
2.5	Auswirkungen der Depotdüngung auf die Bodenbiologie	29
3	Material und Methoden.....	31
3.1	Material.....	31
3.1.1	Sorte	31
3.1.2	Düngemittel.....	31
3.1.3	DJI P4 Multispectral	31
3.1.4	Versuchsstandort.....	32
3.2	Methoden	33
3.2.1	Versuchsablauf (Maßnahmen)	33
3.2.2	Parzellenplan - Versuchsdurchführung	34
3.3	Durchgeführte Erhebungen.....	36
3.3.1	Ermittlung der Biomasse	36
3.3.2	Ermittlung der oberirdischen Trockenmasse	36
3.3.3	Ermittlung des C- und N-Gehaltes der oberirdischen Biomasse.....	36
3.3.4	Ermittlung des mineralisierten Stickstoffs (N_{min})	36
3.3.5	Ermittlung des NDVI.....	36
3.3.6	Ermittlung des Kornertrages.....	37
3.3.7	Berechnung der N-Aufnahme.....	37
3.3.8	Datenauswertung.....	37
4	Ergebnisse und Interpretation	38
4.1	N_{min} -Werte und Nitratanteil im Vegetationsverlauf.....	38

4.2	Entwicklung der oberirdischen Biomasse im Vegetationsverlauf.....	39
4.3	N-Gehalt in der oberirdischen Trockenmasse im Vegetationsverlauf.....	40
4.4	N-Aufnahme der oberirdischen Trockenmasse im Vegetationsverlauf.....	41
4.5	Vergleich der gedüngten N-Menge mit der aufgenommenen N-Menge und den N_{\min} - Werten im Boden im Vegetationsverlauf.....	42
4.6	NDVI-Verlauf über die Vegetationsperiode	43
5	Schlussfolgerung / Zusammenfassung.....	44
6	Verzeichnisse.....	45
6.1	Abbildungsverzeichnis	45
6.2	Tabellenverzeichnis	48
7	Literaturverzeichnis	49

1 EINLEITUNG

Zur Bewertung der Cultan-Düngung wurden, in Zusammenarbeit mit dem Verein Boden.Leben, Josephinum Research, der HBLFA Francisco Josephinum und der AGES von 2020 bis 2022 Feldversuche angelegt. Dabei wurden je nach Standort unterschiedliche Cultan-Düngevarianten mit herkömmlichen Düngevarianten bzw. auch mit stabilisierten Düngern verglichen. Im Wesentlichen konnte keine signifikanten Unterschiede im Ertrag und der Qualität festgehalten werden. Im Detail sind die Ergebnisse der angefügten Literatur zu entnehmen. Offen blieb aus den bis 2022 durchgeführten Versuchen, die Frage nach der Stabilität des injizierten Ammoniumpools. Daher wurde 2023 eine gezielte Untersuchung des Ammoniumpools durchgeführt.

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Sowohl aus ökologischer sowie ökonomischer Sicht ist eine hohe N-Effizienz gefragt. Witterungsextreme, wie längere Trockenperioden oder hohe Niederschlagsmengen in kurzer Zeit erschweren eine zielgerichtete Pflanzenernährung. Nitrat-Stickstoff (NO_3^-) wird von der Pflanze leicht und in hohen Mengen aufgenommen. Es ist sehr mobil und erreicht somit schnell die Pflanzenwurzel. Allerdings ist Nitratstickstoff mit der Wasserbewegung leicht verlagerbar und kann unter Sauerstoffmangel (Verdichtungen, Wassersättigung) denitrifizieren. Dabei entsteht letztendlich Lachgas (N_2O) bzw. elementarer Stickstoff (N_2), welche gasförmig entweichen. Versuche von HAUNZ, MAIDL und FISCHBECK (1992) zeigen unter verdichteten, feuchten Bodenverhältnissen Denitrifikationsverluste bis zu 20% der ausgebrachten N-Menge bei Winterweizen (Haunz, Maidl und Fischbeck 1992).

Ammoniumstickstoff (NH_4^+) wird von der Pflanze in wesentlich geringeren Mengen als Nitrat aufgenommen. Der überwiegende Teil des Ammoniums wird über die Nitrifikation (durch die Bodenbakterien Nitrosomonas und Nitrobacter) in Nitrat umgewandelt, wobei diese Umwandlung je nach Bodentemperatur unterschiedlich lange dauert (1 Tag bei 20 °C und 6 Wochen bei 5 °C). Ammonium als solches wird im Boden kaum verlagert. Es wird entweder immobilisiert (Einbau in die mikrobielle Biomasse oder chemisch an die organische Substanz gebunden) oder an Tonminerale sorbiert, d.h. es besteht im Gegensatz zu Nitratstickstoff keine Auswaschungsgefahr. Allerdings kann es bei Trockenheit, hohen Temperaturen und hohen pH-Werten (>7) insbesondere von oberflächennahem Ammonium (nicht eingearbeiteter Ammoniumstickstoff) zur Bildung von Ammoniak (NH_3) kommen, welcher gasförmig entweicht. Des Weiteren wirkt Ammoniumstickstoff in Folge der Nitrifikation stark bodenversauernd und verursacht zusätzlichen Kalkbedarf.

Harnstoff (Amid-Stickstoff) wird überwiegend in Ammoniumstickstoff umgewandelt. Durch das Enzym Urease wird der Harnstoff in Ammoniumcarbonat hydrolysiert. Der durch diesen Prozess verursachte pH-Anstieg kann zu einer Erhöhung der NH_3 -Verluste beitragen.

Boden		Oberflächige Düngung ohne Einarbeitung				
		Harnstoff	AHL	Ammon- sulfat	Kalkammon- salpeter	NPK- Volldünger
Sand	pH 5,6	38	15	4	7	0
Lehm	pH 6,3	25 bis 40	2 bis 9	6	0 bis 9	4
Lehm	pH 7,1	40	22	30	15	4

Abbildung 1: Ammoniakverluste einiger Stickstoffdünger in Abhängigkeit vom pH-Wert in % der gedüngten Stickstoffmenge, 3-jährige Mittelwerte eines Gefäßversuches (Schilling 2000) nach GUTSER 1988)

Neben einer gezielten (z.B. Bemessung nach Ertrag unter zu Hilfenahme elektronischer Messmethoden, teilflächenspezifische Ausbringung stickstoffhaltiger Düngemittel) und sachgerechten Anwendung (z.B. Düngereinarbeitung, Einbeziehung der Bodenbedingungen bei der Ausbringung, Aufteilung in Teilgaben), könnte auch durch eine Depotdüngung eine Effizienzsteigerung erreicht werden.

Unter Depotdüngung versteht man die Anlage von verlustsicheren Stickstoffvorräten im Boden. Dies kann durch Anwendung von stabilisierten Düngern bzw. durch Injektionsdüngung (Cultandüngung) erreicht werden. Bei stabilisierten Düngern werden ammoniumhaltige Stickstoffdünger mit Nitrifikationshemmern bzw. Amiddünger mit Urease- und Nitrifikationsinhibitoren versehen und in den Boden eingebracht.

Bei der CULTAN-Düngung (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) wird Ammonium- bzw. Amidstickstoff punktförmig 4 bis 10 cm tief in den Boden injiziert. Die hohe NH_4 -Konzentration ist toxisch für Pflanzenwurzeln und Mikroorganismen, wodurch mikrobielle Umsetzungen (Nitrifikation) im zentralen Depot unterbleiben. Die Pflanzenwurzeln umwachsen dieses Depot. Unter trockenen Bedingungen soll durch die Injektion eines Flüssigdüngers eine bessere Wirkung erzielt, eine Ausgasung verhindert sowie eine etwaige Nitrat Auswaschung reduziert werden. Des Weiteren zeigt dieses Ausbringungsverfahren eine exakte Mengenbemessung und Querverteilung und lässt eine teilflächenspezifische Ausbringung nach den standortspezifischen Ertragspotenzialen zu. Untersuchungen der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon können diese Ammoniumstabilität insbesondere bei Körnermais nicht gesichert bestätigen (Flisch, et al. 2013).

1.2 Zielsetzung

Der vorliegende Bericht befasst sich mit der Stabilität des Ammoniumpools über die Vegetationsdauer in der Kultur Winterweizen. Zudem werden die N_{\min} -Untersuchungen mit einer betriebsüblichen NAC – Düngung verglichen. Bei allen N_{\min} -Untersuchungsterminen wurde auch die N-Aufnahme der Weizenpflanzen bestimmt und teilweise auch der Gesamt-N-Gehalt des Bodens. Die so erzeugten Datensätze sollen Aussagen über die Wiederauffindbarkeit des gedüngten Stickstoffs ermöglichen.

Nachfolgende Fragestellungen sollen beantwortet werden:

1. Einfluss einer Ammonium-Pool-Ernährung im Vergleich zu einer standortüblichen Kalkammonsalpeter-Düngung auf den N_{\min} -Verlauf im Boden.
2. Stabilitätsdauer des Ammoniumpools
3. Einfluss einer Ammonium-Pool-Ernährung im Vergleich zu einer standortüblichen Kalkammonsalpeter-Düngung auf den Wachstumsverlauf von Winterweizen

2 STAND DES WISSENS

2.1 Einfluss der Cultandüngung auf die Stickstoffumsetzung im Boden

Unter humiden oder semihumiden Bedingungen wird Ammonium am Sorptionskomplex von neutralen bis sauren Böden absorbiert. In den Profilen dieser Böden ist es relativ unbeweglich. Bei der Cultandüngung wird ein Ammoniumdepot im Boden angelegt, wodurch sich vom gesättigten Zentrum nach außen ein Diffusionsgradient aufbaut. Ammonium in Depots wird nicht ins Grundwasser verlagert und kann von Mikroorganismen im Boden auch nicht denitrifiziert werden (Sommer 2003). Durch die Toxizität inmitten des Depots ist die mikrobielle Umsetzung gehemmt. Die Nitrifikation kann ausschließlich vom Rand erfolgen. BLANKENAU (1997) schreibt nach WETSELAAR et al. (1972) ebenfalls von einer geringeren Mikroorganismen-tätigkeit aufgrund der geringeren Oberfläche, der hohen Salz- und Ammoniakkonzentration im Depot (Blankenau 1997).

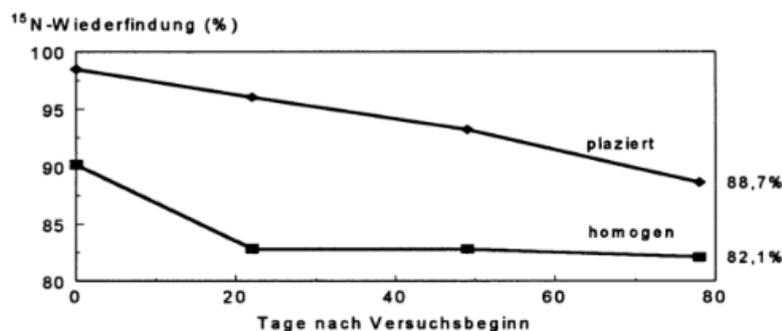


Abbildung 2: Verlauf der N-Wiederfindung (Pflanze + N_{\min} im Boden) in Abhängigkeit von der Düngerapplikation (Blankenau 1997)

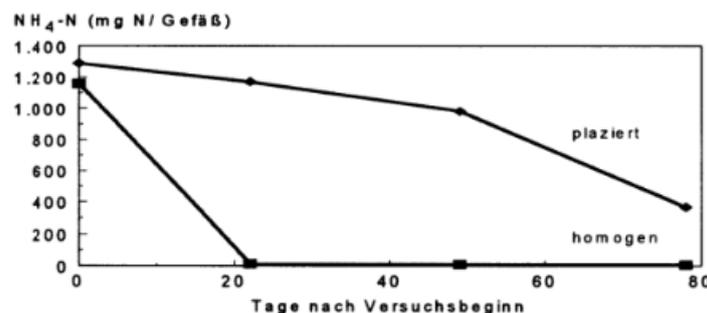


Abbildung 3: Verlauf der NH_4^+-N -Mengen in Abhängigkeit von Düngerapplikation (Blankenau 1997)

Gefäßversuche mit Mais von BLANKENAU (1997) bestätigen, dass durch platzierte Depotdüngung die mikrobielle N-Umsetzung von NH_4^+ gehemmt wird. Im Gegensatz dazu zeigen Versuche von FLISCH et al. (2013) unter Feldbedingungen eine relativ schnelle Nitrifikation des Ammoniumpools.

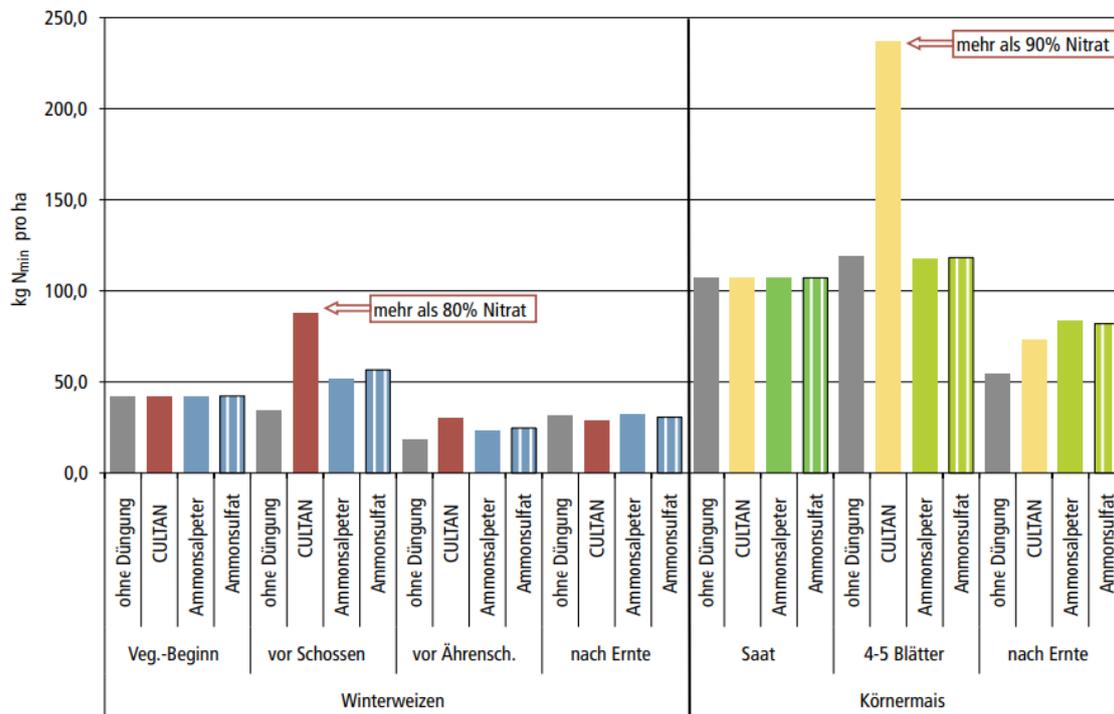


Abbildung 4: Verlauf der N_{\min} -Gehalte in Abhängigkeit des N-Düngungsverfahrens bei Winterweizen und Körnermais. Durchschnitt aus je sechs Versuchen (Flisch, et al. 2013)

In den Versuchen von FLISCH et al. (2013) wurde Ammonsulfat mittels Sternradinjektionsgerät bei Vegetationsbeginn (Weizen) beziehungsweise zur Saat (Mais) appliziert und als Punktedepot 5 bis 7 cm tief in den Boden eingebracht. Die Mineraldünger (Ammonsalpeter und Ammonsulfat) wurden mittels Pneumatikstreuer bei Weizen in 3 Teilgaben und bei Mais in 2 Teilgaben ausgebracht. Die N_{\min} -Proben wurden in einer Tiefe von 0 bis 90 cm entnommen. Das Ergebnis der N_{\min} -Beprobung dieses Versuches ist in Abbildung 4 dargestellt. Der Nachernte- N_{\min} unterscheidet sich bei Weizen kaum. Der Winterweizen war offensichtlich in der Lage, einen großen Teil der sehr hohen N-Mengen beim CULTAN-Verfahren in kurzer Zeit aufzunehmen, was sich im Vergleich zu den übrigen Düngungsverfahren in einer hohen Bestockungsrate und intensiv grün gefärbten Pflanzen äusserte (Flisch, et al. 2013).

Bei Mais lag zum Zeitpunkt der ersten Düngergabe (bei den Varianten Ammonsalpeter und Ammonsulfat granuliert) der N_{\min} -Gehalt der Cultan-Variante bei 180 bis 250 kg N/ha. Im Vergleich zu den übrigen Verfahren, die bis zu diesem Zeitpunkt nicht gedüngt wurden, waren dies 100 bis 150 kg N/ha mehr, also etwa die N-Menge, die im CULTAN-Verfahren zur Saat gedüngt wurde. Über 90% des gemessenen Stickstoffs im Boden lag in Form von Nitrat vor, das heißt, das Ammonium wurde innerhalb von vier bis sechs Wochen praktisch vollständig nitrifiziert. Die Hemmung der Nitrifikation, aufgrund der hohen NH_4 -Konzentration, ein stabiles NH_4 -Depot sowie eine langandauernde NH_4 -Ernährung der Pflanzen, konnte in den Versuchen

von FLISCH et al. (2013) nicht bestätigt werden. In Versuchen von SCHWARZ et. al. konnte bei Mais in einem dreijährigen Versuch (2008 bis 2010) auf verschiedenen Standorten (alluviale Kiese in Aulage und Lössstandorte) mit Cultandüngung die Nitratauswaschung im Durchschnitt um 22% reduziert werden (Schwarz, et al. 2013). Signifikante Ertragsunterschiede zu einer standortüblichen Düngung konnten auf keinem der angeführten Versuche festgestellt werden.

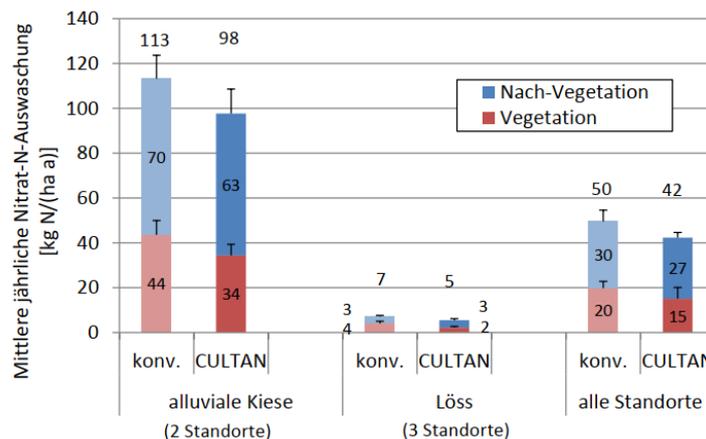


Abbildung 5: Mittlere jährliche Nitrat-N-Auswaschung in Mais 2008 – 2010; Fehlerbalken: Standardfehler; keine signifikanten Unterschiede (Schwarz, et al. 2013)

FARACK und ALBERT (2011) vergleichen in Versuchen zu Winterweizen, Wintergerste und Winterraps die Wirkung von unterschiedlichen Injektionsvarianten (mit und ohne zusätzlicher Kalkammonsalpeter-Applikation) mit einer reinen Kalkammonsalpeterapplikation (Tabelle 1) in Sachsen (Deutschland).

Tabelle 1: Variantenübersicht: Injektionsdüngung bei Wintergetreide (Farack und Albert, 2011)

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				geprüft seit Versuchsjahr
	Herbst Ende Oktober	1. N-Gabe Vegetationsbeginn	2. N-Gabe EC 31	3. N-Gabe EC 55	
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	2005/06
2 Streuen	0	nach BEFU (KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	2005/06
3 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	0	nach BEFU + 50 (KAS)	50 (KAS)	2008/09
4 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	nach BEFU (KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	2008/09
5 Injektion	50 (Inj.)	0	nach BEFU + 100 (Inj.)	0	2009/10
6 Streuen/Injektion	0	nach BEFU (KAS)	100 (Inj.)	0	2005/06
7 Injektion	0	nach BEFU + 100 (Inj.)	0	0	2005/06
8 Injektion/Streuen	0	nach BEFU + 50 (Inj.)	0	50 (KAS)	2009/10
9 Injektion/Streuen	0	0	nach BEFU + 50 (Inj.)	50 (KAS)	2005/06
10 Injektion	0	0	nach BEFU + 100 (Inj.)	0	2005/06

Versuche von FARACK und ALBERT aus 2008/2009 bzw. 2009/2010 (Abbildung 6 und Abbildung 7) zeigen bei Winterweizen höhere N_{min} -Werte bei Herbstinjektion sowohl bei Vegetationsende als auch bei Vegetationsbeginn. Am Standort Pommritz wurden im Versuchsjahr 2008/2009 zu Vegetationsbeginn bei Herbstinjektionsdüngung hohe N_{min} -Werte

in 60 bis 90 cm Tiefe festgestellt. Es muss also davon ausgegangen werden, dass die Depots in diesem Winter nicht stabil waren und damit Stickstoff verlagert wurde. Im Jahr 2010 konnte das nach strengem Winter nicht festgestellt werden. Bei den N_{\min} -Gehalten nach der Ernte gab es zwischen den einzelnen Prüfgliedern in beiden Versuchs Jahren keine nennenswerten Unterschiede.

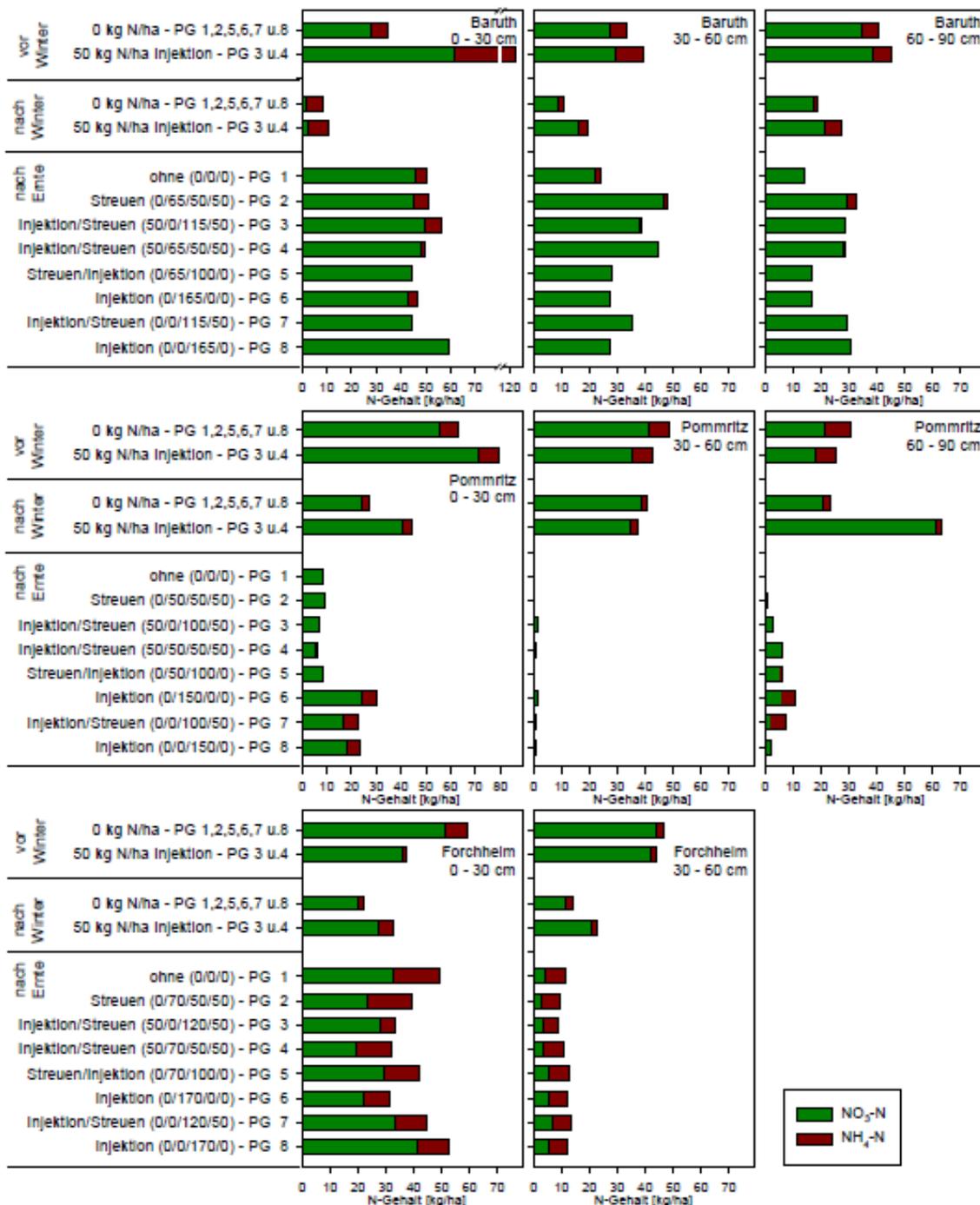


Abbildung 6: Winterweizen: Entwicklung der N_{\min} -Gehalte im Boden im Versuchszeitraum (2008/2009); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3.N-Gabe) (Farack und Albert, 2011)

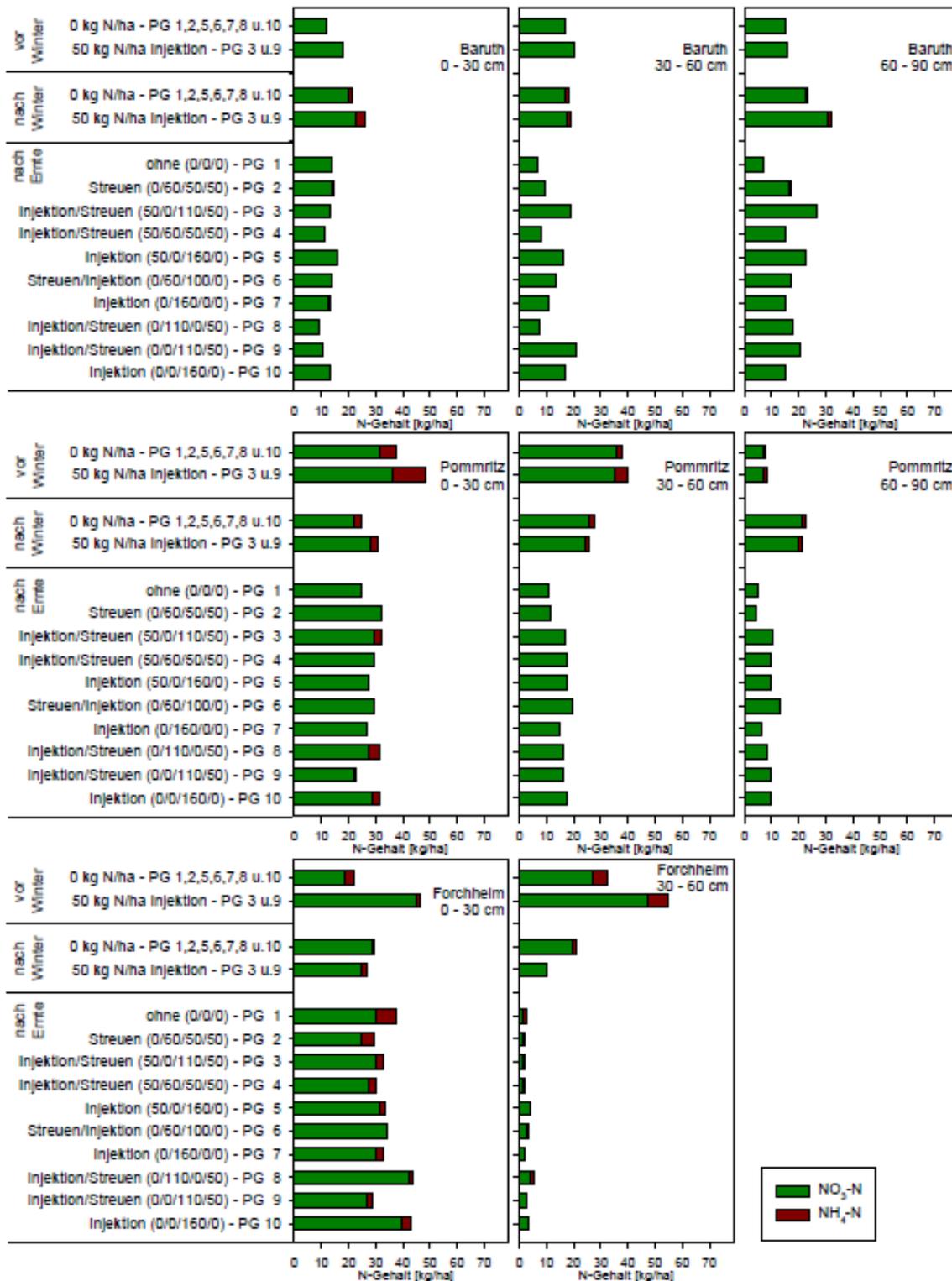


Abbildung 7: Winterweizen: Entwicklung der N_{min} -Gehalte im Boden im Versuchszeitraum (2009/2010); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3.N-Gabe) (Farack und Albert, 2011)

Zu geringen Unterschieden hinsichtlich der N_{min} -Werte im Boden zwischen Cultandüngung im Herbst und Vergleichsdüngung kommt auch WALTER (2003) in seinen Versuchen 1995 bis 2001 (Walter 2003).

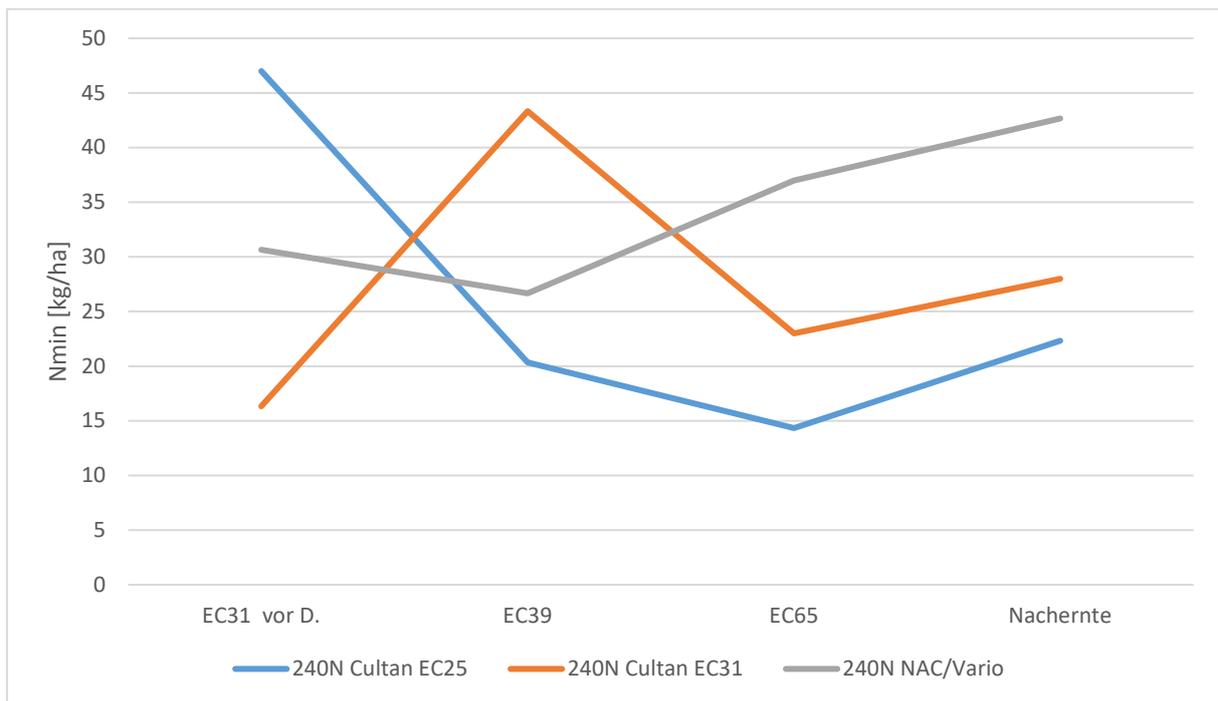


Abbildung 8: N_{min} -Verlauf unterschiedlicher Düngestrategien bei Winterweizen bei einem N-Niveau von 240 kg N/ha (Prankl et al. 2022)

In einem von Prankl et al. (2022) durchgeführten Versuch wurde bei der Kultur Winterweizen eine einmalige Cultandüngung zu zwei unterschiedlichen Düngeterminen (EC 25, EC 31) mit einer geteilten Düngung verglichen. Interessanterweise zeigt die Düngung mit geteilten Gaben einen etwas höheren Rest- N_{min} als die Cultanvarianten, obwohl diese Variante einen höheren N-Entzug hatte. Der Nitratanteil der jeweiligen Variante im Vegetationsverlauf (siehe Abbildung 9) liegt auf ähnlichem Niveau von 50 bis 80%. Wobei der Nitratanteil im Vegetationsverlauf steigt. Die Ergebnisse deuten im Durchschnitt der Wiederholungen nicht auf einen stabilen Ammoniumpool hin, wobei die Werte innerhalb der Wiederholungen stark schwanken.

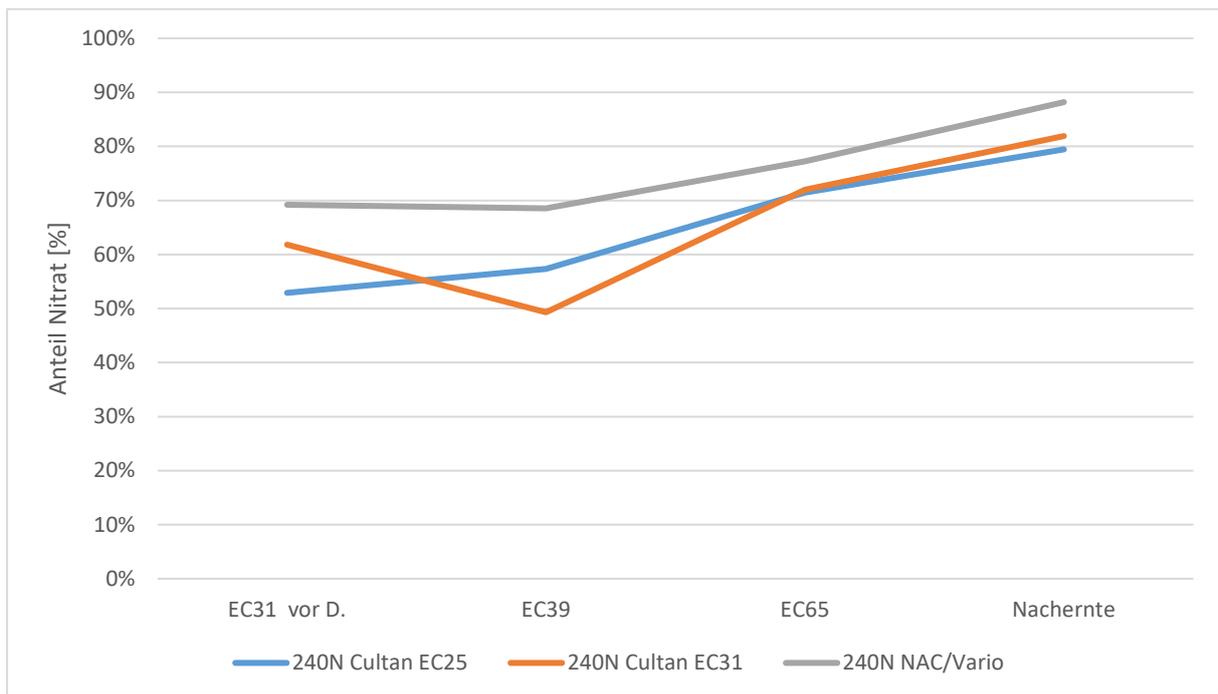


Abbildung 9: Nitratanteil der N_{min} -Proben im Vegetationsverlauf der mit 240 kg N/ha versorgten Versuchsvarianten (Prankl et. al. 2022)

In einem Versuch von Ruser et al. (2011) wurden N_2O -Emissionen und Nitratverlagerungen in gemüsebaulich genutzten Böden quantifiziert, wobei unter anderem eine Depotdüngung durchgeführt wurde. Zur Düngung wurde ausschließlich ASS (Ammonsulfatsalpeter) verwendet. Wobei dieser auch mit einem Nitrifikationshemmstoff (DMPP) bzw. auch als Depotdünger (Banddüngung) ausgebracht wurde. Im Gegensatz zur Depotdüngung wurden bei Verwendung des Nitrifikationshemmstoffes DMPP deutliche Reduktionen der Lachgasemissionen festgestellt. Punktuell hohe Nitratkonzentrationen in der direkten Umgebung des Düngerdepots dürften Grund für die Emissionen gewesen sein, die sich nicht von den Emissionen bei breitflächiger N-Düngung unterschieden. Die Nitratkonzentrationen im Unterboden waren bei den gedüngten Varianten im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle etwas höher. Die höchsten Nitratgehalte wurden bei praxisüblicher N-Düngung ohne Nitrifikationshemmstoff und bei Depotdüngung gemessen.

2.2 Einfluss der CULTAN-Düngung auf das Wurzelwachstum von Pflanzen

Das Wurzelwachstum ist vom Assimilatangebot des Sprosses und vom C-Verbrauch der Wurzel abhängig. Nachdem eine Ammoniumernährung das Sprosswachstum hemmt und damit auch die photosynthetisch aktive Blattmasse verringert, bei Ammoniumernährung aber die N-Assimilation in der Wurzel stattfindet und dort zu einem hohen Bedarf an C-Skeletten führt, ist die Wurzelbiomasse bei Ammoniumernährung im Vergleich zur Nitraternährung vermindert (Walch-Liu und Engels 1997).

NH_4^+ -Ernährung führt zu einer Ansäuerung und NO_3^- zu einer Alkalisierung der Rhizosphäre. Tiefe pH-Werte (<5) führen zu einer höheren Al-Verfügbarkeit. Die Al-Toxizität führt wiederum

zu einem verringerten Wurzelwachstum. Wobei die Beeinflussung des Wurzelwachstums durch den pH-Wert je nach Pflanzenart verschieden ist (WALCH-LIU und ENGELS; 1997 nach RAVEN, HORST und TANG et al.). Nach der Säure-Wachstums-Theorie ist für das Streckenwachstum der Wurzel eine pH-Absenkung im Apoplasten der Streckungszone erforderlich, damit würde eine Alkalisierung der Rhizosphäre bei NO_3^- -Ernährung das Streckenwachstum von Wurzeln verringern. (WALCH-LIU und ENGELS; 1997 nach TANIMOTO). Diese Alkalisierung könnte nach (Mengel 1995) zur Immobilisierung von Eisen führen und damit zu einer gestörten Eisenverteilung (Esch und Kosegarten 1998).

Versuche von WALCH-LIU und ENGELS (1997) zeigen in Fließkultur bei Kartoffel und Tabak ein höheres Wurzel- und Sprosswachstum bei Nitraternährung sowohl bei tiefen pH-Werten (pH 4,5) als auch bei hohen pH-Werten (pH 7). Wobei die Unterschiede bei hohen pH-Werten wesentlich geringer sind. Bei Reis ist die Wurzelentwicklung vom pH-Wert kaum abhängig. Hier zeigen Ammonium und Nitraternährung in Abhängigkeit des pH-Wertes keine Unterschiede. Wobei das Sprosswachstum bei Ammoniumernährung hier höher war. NH_4^+ -Angebot hat die Bestockung von Reis gefördert und damit die Sprossbiomasse und das Spross-/Wurzelverhältnis erhöht.



Abbildung 10: Wurzelmorphologie von Kartoffel bei NH_4^+ - (links) und NO_3^- -Ernährung (rechts) und jeweils bei pH 7 (oben) und pH 4,5 (unten) in der Nährlösung (Walch-Liu und Engels 1997, Mokry 2015)

Nach MOKRY (2015) führt NO_3^- -Ernährung zur Sprossdominanz und NH_4^+ -Ernährung zu einer Wurzel dominanz. Die Absenkung des pH-Wertes im Wurzelapoplasten führt zu einer verbesserten Wurzeleistung. Nebenwurzeln entwickeln sich stärker und es kommt zu einem verbesserten Aufschluss von Phosphat und Spurennährstoffen (Mokry 2015).



Abbildung 11: Wachstum von Spross und Wurzeln bei Mais in Boden-/Wasserkulturen in Abhängigkeit von der verfügbaren N-Form als Nitrat oder Ammonium als „CULTAN“ (Sommer 2003)

In Sand und Wasserkulturen, in denen in der konventionellen Forschung Fragen zur Verträglichkeit der verschiedenen N-Formen für Pflanzen und zum Stoffwechsel umfassend bearbeitet wurden, ist Ammonium für die Pflanzen stets im gesamten Wurzelbereich verfügbar. Unter diesen Voraussetzungen wird es von den Pflanzen mit dem Transpirationsstrom aufgenommen und evtl. in phytotoxischen Konzentrationen im Spross angereichert.

Bei der Cultandüngung wird den Pflanzen das Ammonium in hohen Konzentrationen in Depots angeboten. Unter diesen Voraussetzungen ist der Kontakt des gedüngten Ammoniums mit den Wurzelsystemen der Pflanzen sehr gering (Sommer 2003).

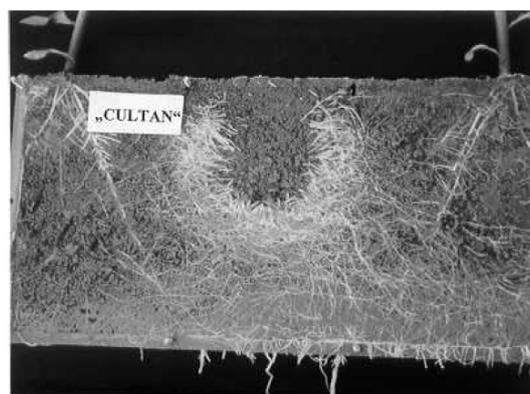


Abbildung 12: Attraktion des Wurzelwachstums bei Mais durch „CULTAN“ (Sommer 2003)

Wie in Abbildung 12 ersichtlich wachsen die Wurzeln um das Ammoniumdepot im Boden. Ammonium in Depots kann nur von den Pflanzen aufgenommen werden, wenn es in den Wurzelspitzen im Grenzbereich der „CULTAN“-Depots direkt in den Proteinstoffwechsel übernommen wird. Dazu ist die Bereitstellung von Kohlenhydraten vom Spross in diesen Wurzelspitzen erforderlich. Aufgrund intensiver Sink-Effekte findet so durch das Ammonium eine Attraktion von Kohlenhydraten von den Bereichen ihrer Synthese im Spross und den Blättern zu den Wurzelspitzen im Grenzbereich der „CULTAN“-Depots statt. Dieses bedeutet, dass in Gegenwart von Ammonium im Vergleich zum Harnstoff oder Nitrat nicht nur die Versorgung der Wurzeln im Bereich der „CULTAN“-Depots mit Kohlenhydraten begünstigt ist, sondern letztlich das gesamte Wurzelsystem der Pflanzen sowie ihre Stängel, Rübenkörper, oder Kartoffelknollen als Sinks, die sich zwischen dem Spross der Pflanzen und den Wurzelspitzen im Bereich der Depots befinden. Das Gleiche gilt für den Transport von Aminosäuren und Amiden in diesen Bereichen (Sommer 2003).

Nach SOMMER (2003) zeigen Pflanzen mit CULTAN-Versorgung ein wesentlich besseres Wurzelsystem als bei Versorgung mit Nitrat oder Harnstoff. Weiters wurde festgestellt, dass bei CULTAN-Düngung mehr Calcium und Kalium aufgenommen wird. Dieses Verhalten kann durch das verbesserte Wurzelsystem erklärt werden. Ebenso wird dadurch die Wasseraufnahme verbessert, was CULTAN ernährte Pflanzen trockenstresstoleranter macht.

2.3 Einfluss der N-Formen auf Wachstumsverlauf und Ertragsleistung

Das Einstellen der Bestandesdichte wird über eine ausreichende N-Versorgung zur Förderung der Triebanlagen oder über Phasen mit N-Limitierung zum Triebabbaubewerkstelligt. In einer Arbeit von BAUER (2014) wurde in Sommergerste (Nährlösungskultur) festgestellt, dass die gedüngte N-Form den Cytokintransport im Xylem beeinflusst. Cytokine sind dafür bekannt, dass sie unter anderem als Signal für die Sprossentwicklung fungieren (HOWELL et al, 2003 nach BAUER, 2014). Das Angebot von Nitrat beeinflusste nicht nur die Bestockung, sondern auch die Cytokintranslokationsrate im Xylem. Im Gegensatz dazu führte die Anwesenheit von Ammonium zu geringeren Triebzahlen je Pflanze und zu einer deutlichen Abnahme der im Xylem transportierten Cytokinmenge. Stand der Sommergerste Harnstoff als N-Quelle zur Verfügung, stellte sie die Bestockung vollkommen ein, und es konnten kaum noch Cytokine im Xylemsaft detektiert werden. Die höchste Bestockung wurde mit Ammonnitrat-Ernährung erreicht (Bauer 2014). Dies könnte an der energetisch deutlich ungünstigeren Nitratassimilation im Vergleich zu der von Ammonium liegen (COX und REISENAUER, 1978 zitiert nach BAUER, 2014).

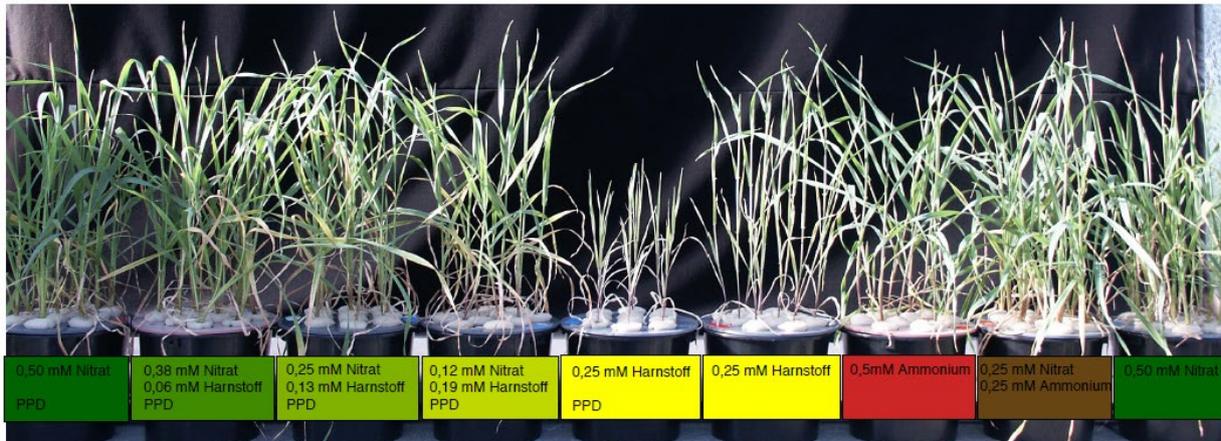


Abbildung 13: Einfluss unterschiedlicher N-Formen auf das Sprosswachstum und die Entwicklung von Sommergerste. Alle Pflanzen wurden nach 3 Tagen Vorkultur N für 40 Tage auf Nährlösung mit den angegebenen N-Konzentrationen weiterkultiviert (PPD ist ein Ureaseinhibitor) (Bauer 2014)

Die Begründung für eine schlechtere Bestockung bei der Verabreichung von Ammonium könnte nach BAKER et al, 1966 sowie MARSCHNER (2012) (zitiert nach BAUER, 2014) an der Versauerung des Mediums liegen. Obwohl bei dem Versuch von BAUER (2014) der pH durch Zugabe von Calciumcarbonat nie unter 6,5 sank, wurden bei reiner Ammoniumernährung Defizite bei der Bestockung festgestellt. Möglicherweise liegt es an der pH-Absenkung im Apoplasten der Wurzel.

(WIESLER 1997) beschreibt den erhöhten C-Bedarf in den Wurzeln bei Ammoniumernährung, was eine weitere Möglichkeit für eine schlechtere Bestockung darstellen könnte, da die C-Gerüste zum limitierenden Faktor werden. BAUER (2014) schloss dies in seinem Gersten-Nährlösungsversuch aus, da die Ammon-Nitrat-Variante eine bessere Bestockung zeigte und hier müsste die limitierende Photosyntheseleistung gleich doppelt zuschlagen. Zum einen durch den Energieverbrauch der Nitratreduktion und zum anderen durch die limitierte Lieferung des 2-oxo-Glutarats für den Aminosäureaufbau aus Ammonium.

Bei der Düngung mit Harnstoff mit Ureaseinhibitor wurden nach BAUER (2014) eine höhere Harnstoffkonzentration im Spross festgestellt. Dies legt nahe, dass der Ureaseinhibitor nicht nur die Ureaseaktivität in der Nährlösung hemmte, sondern auch von der Wurzel aufgenommen und in den Spross verlagert wurde.

Werden Ammonium und Nitrat über einen längeren Zeitraum als ausschließliche N-Quelle angeboten, so kann es zu Verschiebungen bei der Aufnahme von anderen kationischen und anionischen Nährstoffen kommen. So zeigte ein Nährlösungsexperiment mit Weizenkeimlingen, dass diese unter Nitratangebot vermehrt Calcium, Magnesium und Kalium aufnahmen. Dagegen führte die Ernährung mit steigenden Ammoniumanteilen im Medium zu einem Rückgang in der Aufnahme von Calcium und Magnesium (COX und REISENAUER, 1973 zitiert nach BAUER 2014). Einen diesbezüglichen Einfluss auf die Bestockung konnte BAUER (2014) nicht feststellen.

Im Feldversuch bei Winterweizen konnte BAUER (2014) ebenfalls die bestockungsfördernde Wirkung und eine verlangsamte Triebreduktion von Ammon-Nitrat-Dünger nachweisen. Außerdem hemmen die erhöhten Cytokininkonzentrationen im Fahnenblatt unter

Nitraternährung die Umverlagerung von N aus dem Blatt in das Korn und verringerten dadurch die Proteinkonzentration im Korn. Unterstützt wurde dieser Effekt durch eine limitierende Wasserversorgung oder Hitzestress. Bei einer früheren Qualitätsgabe im Fahnenblattstadium konnte dieser Effekt wesentlich verringert werden. Ein Ertragseinfluss der jeweiligen N-Form konnte nicht festgestellt werden. Wobei unter Umständen die absolute N-Menge für die jeweiligen Bestandesdichten der Ammon-Nitrat-Varianten nicht ausreichend war.

Zusammenfassend gibt BAUER (2014) für Wintergetreide in Abhängigkeit des Zeitpunktes und des Entwicklungszustandes die in Abbildung 14 dargestellten Ernährungsempfehlungen. (Edelbauer 2003) sowie COX und REISENAUER (1973) (zitiert nach EDELBAUER 2003) sowie auch (Schilling 2000) weisen auf Vorteile einer kombinierten Pflanzenernährung von Ammonium und Nitrat hin.

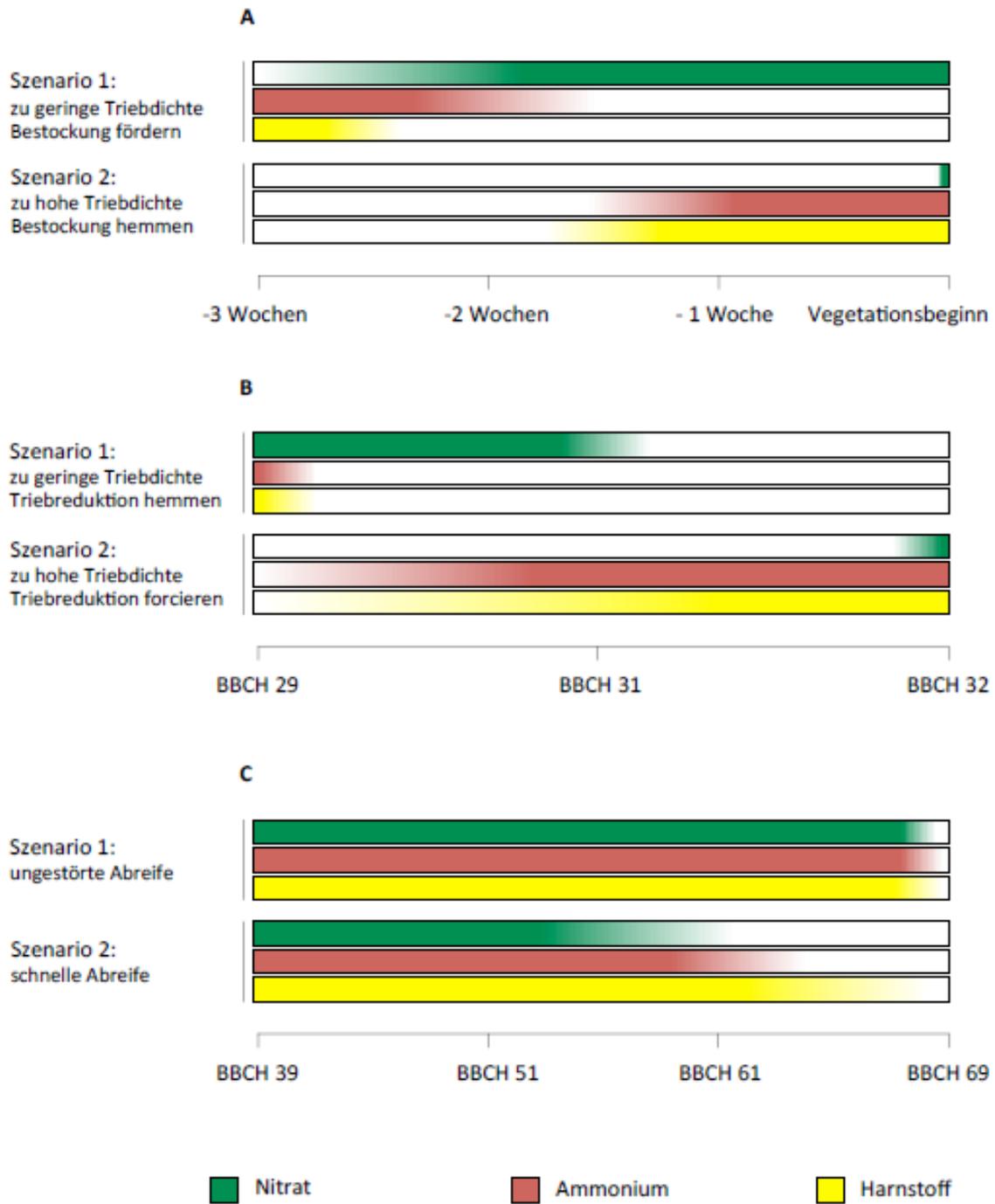


Abbildung 14: Empfehlungen zur Auswahl des Zeitpunktes und der N-Form eines beim Andüngen (N1), beim Nachdüngen (N2) und bei der Qualitätsgabe (N3) (Bauer 2014)

2.4 Einfluss einer platzierten N-Düngung (wie CULTAN) auf Wachstumsverlauf und Ertragsleistung

In einem Gefäßversuch von BLANKENAU (1997) wurde die N-Aufnahme nach platziert und homogen ausgebrachten Ammonsulfat festgestellt. Die Trockenmasselbildung der platzierten Variante war jenen der homogen verteilten Variante deutlich überlegen. Die N-Wiederauffindung (Pflanze und Boden) lag bei der homogenen Variante bei 101,8% und bei der platzierten Variante bei 95%. Möglicherweise traten bei der platzierten Variante gasförmige Verluste auf. Der N_{min} war in beiden Varianten hoch jedoch lag der N bei der platzierten Variante in Form von NH_4^+ und bei der homogenen Variante in Form von NO_3^- vor. Die Immobilisation der homogenen Variante war wesentlich höher als jene der platzierten Variante. Eine Fixierung an Tonminerale konnte nicht festgestellt werden.

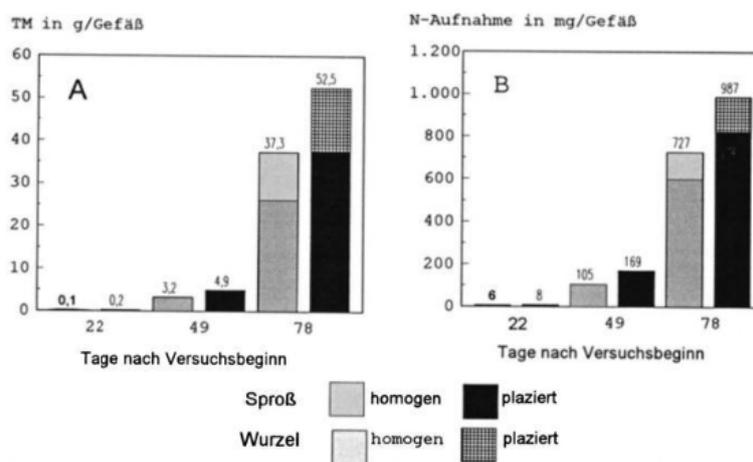


Abbildung 15: Verlauf der Trockenmasseerträge (A) und der N-Aufnahme in Abhängigkeit von der Düngerapplikation (Blankenau 1997)

Tabelle 2: N-Wiederauffindung in der Pflanze und ausgesuchten Bodenfraktionen in Abhängigkeit von der Düngerapplikation (Angaben in % der applizierten Menge) (Blankenau 1997)

	homogen	platziert
Pflanze (Aufwuchs + Wurzel)	49,7	60,7
N_{min}	32,4	28,0
Pflanze + N_{min}	82,1	88,7
Biomasse-N (N_{mik})	1,3	0,6
organischer N	18,4	5,7
N-Immobilisation	19,7	6,3
Gesamt-^{15}N-Wiederauffindung	101,8	95,0

Beim CULTAN-Verfahren werden ammonium- und amidhaltige Dünger eingesetzt. Nitrat ist die vorherrschende anorganische Stickstoffform in Pflanzen und wird nach Aufnahme mit dem Transpirationsstrom durch das Xylem zum Spross bevorzugt in die ausgewachsenen stark transpirierenden Blätter transportiert. Dort wird Nitrat zu Ammonium reduziert oder als Nitrat in den Vakuolen der Blätter gespeichert. Reguliert wird dies durch die Auslastung des Proteinstoffwechsels. Harnstoff wird nach Aufnahme in den Stengeln und in den Blättern zu Ammonium übergeführt. Eine Anpassung an die Leistung des Proteinstoffwechsels so wie bei

Nitrat gibt es hier nicht. Aus diesem Grund sowie aus der Phytotoxizität des Ammoniums muss Harnstoff schnell aus dem CULTAN-Depot in den Proteinstoffwechsel übernommen werden. Die Pflanzen reagieren darauf zunächst mit intensivem vegetativen Wachstum, das optisch beeindruckend sein kann. Bei einer Überlastung des Proteinstoffwechsels kann Harnstoff bei Pflanzen neben latenten auch akute Ammoniumtöxizitäten hervorrufen. N-Verluste durch die Abgabe von Ammoniak nach der Hydrolyse des Harnstoffs über die Blätter können dabei nicht ausgeschlossen werden.

Nitrat und Harnstoff werden von den Pflanzen im wesentlichen im Spross und in den Blättern in den Proteinstoffwechsel übernommen. Als Aminosäuren oder Amide werden sie zusammen mit Kohlenhydraten zu den wachsenden Teilen der Pflanze insbesondere in Spitzen des Sprosses oder zur Basis der Stengel und zu den Wurzeln transportiert. Diese Verlagerung von Amino-Verbindungen von den älteren Blättern zu den jüngeren Teilen der Pflanzen fördert die Alterung der Basis der Pflanzen und ihre Empfindlichkeit gegenüber Krankheiten (insbesondere in geschlossenen Mais und Getreidebeständen). Diese N-Formen werden daher auch als sprossdominante N-Formen bezeichnet.

Ammonium in Depots kann nur von den Pflanzen aufgenommen werden, wenn es in den Wurzelspitzen im Grenzbereich der CULTAN-Depots direkt in den Proteinstoffwechsel übernommen wird. Dazu ist die Bereitstellung von Kohlenhydraten vom Spross in diesen Wurzelspitzen erforderlich. Aufgrund intensiver Sink-Effekte findet so durch das Ammonium eine Attraktion von Kohlenhydraten von den Bereichen ihrer Synthese im Spross und den Blättern zu den Wurzelspitzen im Grenzbereich der CULTAN-Depots statt. Dies bedeutet, dass in Gegenwart von Ammonium im Vergleich zum Harnstoff oder Nitrat nicht nur die Versorgung der Wurzeln im Bereich der CULTAN-Depots mit Kohlenhydraten begünstigt werden, sondern letztlich das gesamte Wurzelsystem der Pflanzen sowie ihre Stengel, Rübenkörper oder Kartoffelknollen als Sinks, die sich zwischen dem Spross der Pflanzen und ihren Wurzelspitzen im Bereich der CULTAN-Depots befinden. Das Gleiche gilt für den Proteinstoffwechsel dieser Pflanzen. Der Transport von Amiden und Aminosäuren vom Bereich der CULTAN-Depots zum Spross wird begünstigt. Dadurch wird auch der Infektionsdruck von Stengelkrankheiten beim Getreide gemindert. Das assimilierte Ammonium wird zu den wachsenden Teilen der Sprosse hin orientiert. Die Translokation von Amino-Fractionen von den älteren Blättern zu den wachsenden Blättern und Teilen des Sprosses wird reduziert. Die Alterung der älteren Blätter wird hinausgezögert und die Krankheitsanfälligkeit gemindert. CULTAN wird als wurzeldominantes Düngesystem bezeichnet (Sommer 2003).

Während der vegetativen Entwicklung des Getreides erfolgt die Synthese von Auxinen und Gibberelinen bevorzugt in den Sprossen der Pflanzen und die von Cytokininen in den Wurzelspitzen (MICHAEL und BERINGER, 1980 nach SOMMER, 2003). Das heißt, durch die Förderung des Wurzelwachstums bei CULTAN-Ernährung wird gleichzeitig die Synthese von Cytokininen im Verhältnis zu Auxinen und Gibberelinen gefördert. Dies trifft auch für junge Getreidepflanzen zu, die am Ende der Bestockung/Beginn des Schossens Stickstoffmangel aufweisen und als Mangelpflanzen stets ein relativ großes Wurzelsystem im Verhältnis zum Spross entwickeln. Wenn in dieser Situation die Pflanzen nach dem CULTAN-Verfahren gedüngt werden, dann werden die bestehenden Verhältnisse zwischen den Phytohormonen nicht nur stabilisiert, sondern durch eine spezifische Förderung des Wurzelwachstums gegenüber dem Sproßwachstum noch verstärkt. Das bedeutet für das Verhalten der Pflanzen im Wachstum mit einer N-Versorgung als CULTAN gegenüber Nitrat oder Harnstoff:

1. Die Blätter des Getreides wachsen in der Schossphase in aufrechter Haltung und starrträchtig.
2. Die Blätter und Stengel der Pflanzen bleiben bis zur Blüte grün bis zu Basis.
3. Die Halme der Pflanzen sind verkürzt.
4. Die Fahnenblätter und Ähren der Pflanzen sind aufgrund der Förderung der Entwicklung Primordien vergrößert.
5. Die Entwicklung der Pflanze wird beschleunigt.
6. Die Zwischenspeicherung von Assimilaten im gesamten Halm vor der Blüte wird erhöht.
7. Die Periode der Abreife wird aufgrund der Reserven an Assimilaten im unteren Halmteil für die Wurzeln verlängert (Sommer 2003).

Wurden Gerste und Weizen im Herbst zu intensiv gedüngt bzw. führte die hohe Nachlieferung von Nitrat zu vegetativ überentwickelten Beständen, so können mit dem CULTAN-Verfahren diese fehlgesteuerten Bestände zu einer normalen Entwicklung übergeführt werden (VIEHAUSEN, 1983 zitiert nach SOMMER, 2003). Erste Versuche bei Raps deuten darauf hin, dass es wahrscheinlich sinnvoll ist, beim W-Raps entsprechend zu verfahren und ihn Ende Dezember oberhalb des Vegetationskegels abzuschlegeln und zum Beginn des Wachstums im Frühjahr nach dem CULTAN-Verfahren zu düngen, wenn er im Herbst vegetativ sehr üppig entwickelt ist (Sommer 2003).

Es wurde wiederholt beobachtet, dass CULTAN ernährte Pflanzen gesünder sind. Die Begründung könnte an den 10 bis 15% höheren Trockenmasse bei CULTAN-Ernährung liegen. Die Zellen dieser Pflanzen sind vielfach kleiner und die Zellwände dicker. Schließlich muss berücksichtigt werden, dass bei den CULTAN-Pflanzen der osmotische Druck in den Zellen geringer ist als in Pflanzen, die mit Nitrat versorgt werden, da in diesen Pflanzen Nitrat mit seinen begleitenden Kationen, insbesondere Calcium, als Osmoregulator fehlt. Darüber hinaus darf nicht übersehen werden, dass nach einer Reduktion des Nitrats der basisch wirksame Überhang an Calcium neutralisiert werden muss (Sommer 2003).

Bei der CULTAN-Ernährung erfolgt Stickstoffverabreichung in einer Gabe. Unter milden klimatischen Verhältnissen sollte bei Wintergetreide der gesamte Stickstoff zum Ende der Bestockung/Beginn des Schossens ohne Nitrifikationshemmer verabreicht werden. Die älteren Blätter sollten N-Mangelsymptome aufweisen. Sollten Bestände aufgrund der Bodennachlieferung keine N-Mangelsymptome aufweisen, so sollte die CULTAN-Düngung zu EC 31 erfolgen. Unter kalten klimatischen Verhältnissen mit einem späten Frühjahr sollte die CULTAN-Düngung zu Vegetationsbeginn erfolgen. Sommergetreide soll in einem Arbeitsgang bei der Saat mit Stickstoff als CULTAN plus Nitrifikationshemmer abgedüngt werden (Sommer 2003).

In einem von Prankl, Gansberger und Datzberger (2021) angelegten Versuch wurden verschiedene Düngestrategien mit Alzon neo-N (Harnstoff mit Urease- und Nitrifikationshemmer), Domamon (Ammoniumsulfat-Harnstofflösung – ausgebracht über das Cultan-Verfahren) und NAC (Kalkammonsalpeter) mit Vario 23 N + 25 SO₃ miteinander verglichen (siehe Abbildung 16). Bei Alzon neo-N und Domamon wurden bei der ersten Düngegabe zwischen 100 und 200 kg N zu EC 25 ausgebracht, während die Varianten mit NAC und Vario 23 N mit 40 bzw. 50 kg N angedüngt wurden. Trotz der starken Andüngung der Alzon neo-N- und Domamonvarianten wurden keine höheren Bestandesdichten im Vergleich zu den NAC/Vario-Varianten festgestellt.

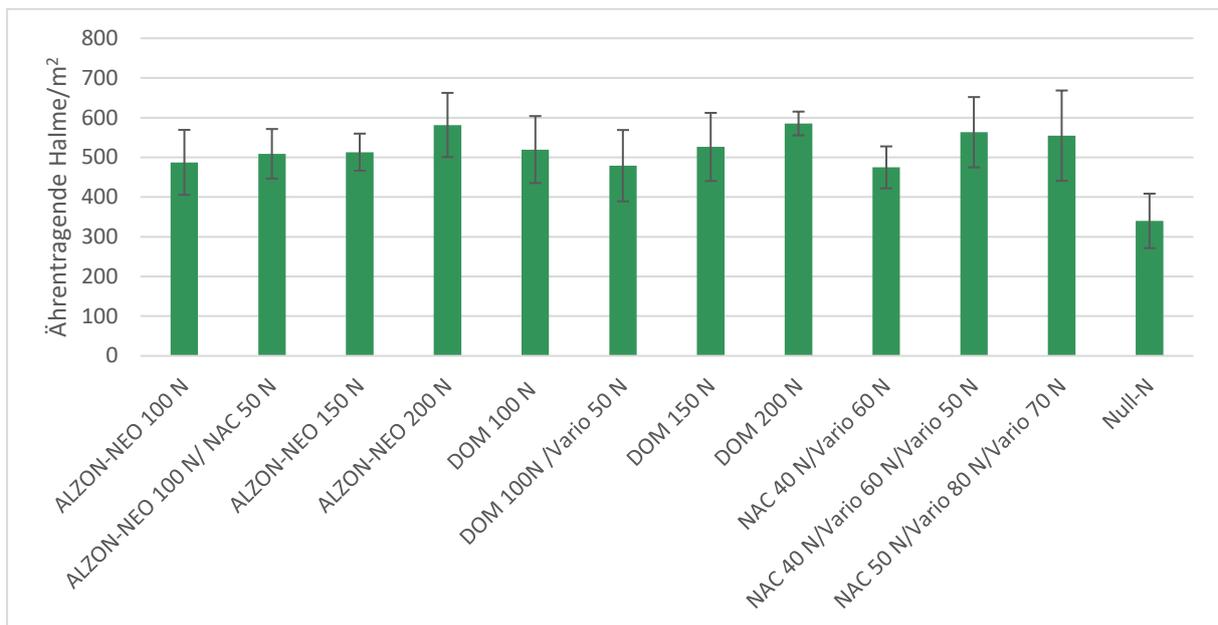


Abbildung 16: Anzahl an ährentragenden Halmen bei Düngung von Alzon neo (Harnstoff mit Urease- und Nitrifikationshemmer), Domamon (Ammoniumsulfat-Harnstofflösung über das Cultan-Verfahren) und NAC (Kalkammonsalpeter) mit Vario 23 N + 25 SO₃ (Kalkammonsalpeter mit granuliertem Ammoniumsulfat) am Versuchsstandort Wieselburg; (Prankl 2021)

Betrachtet man den Ertrag dieses Versuchs (Abbildung 17), so zeigen sich ab 150 kg N/ha keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen den Varianten. Jedoch kann nur in den NAC/Vario-Varianten eine gleichmäßige Steigerung des Ertrages und des Rohproteingehaltes mit Zunahme der N-Menge beobachtet werden. Ähnliches zeigen auch die Versuche von Prankl et al. (2022) am Versuchstandort Wieselburg. Bei Steigerung der N-Düngermenge kommt es nur bei geteilter Düngergabe zu einem kontinuierlichen Anstieg des Rp-Gehaltes, wodurch die NAC/Vario-Varianten eine höhere N-Effizienz zeigen.

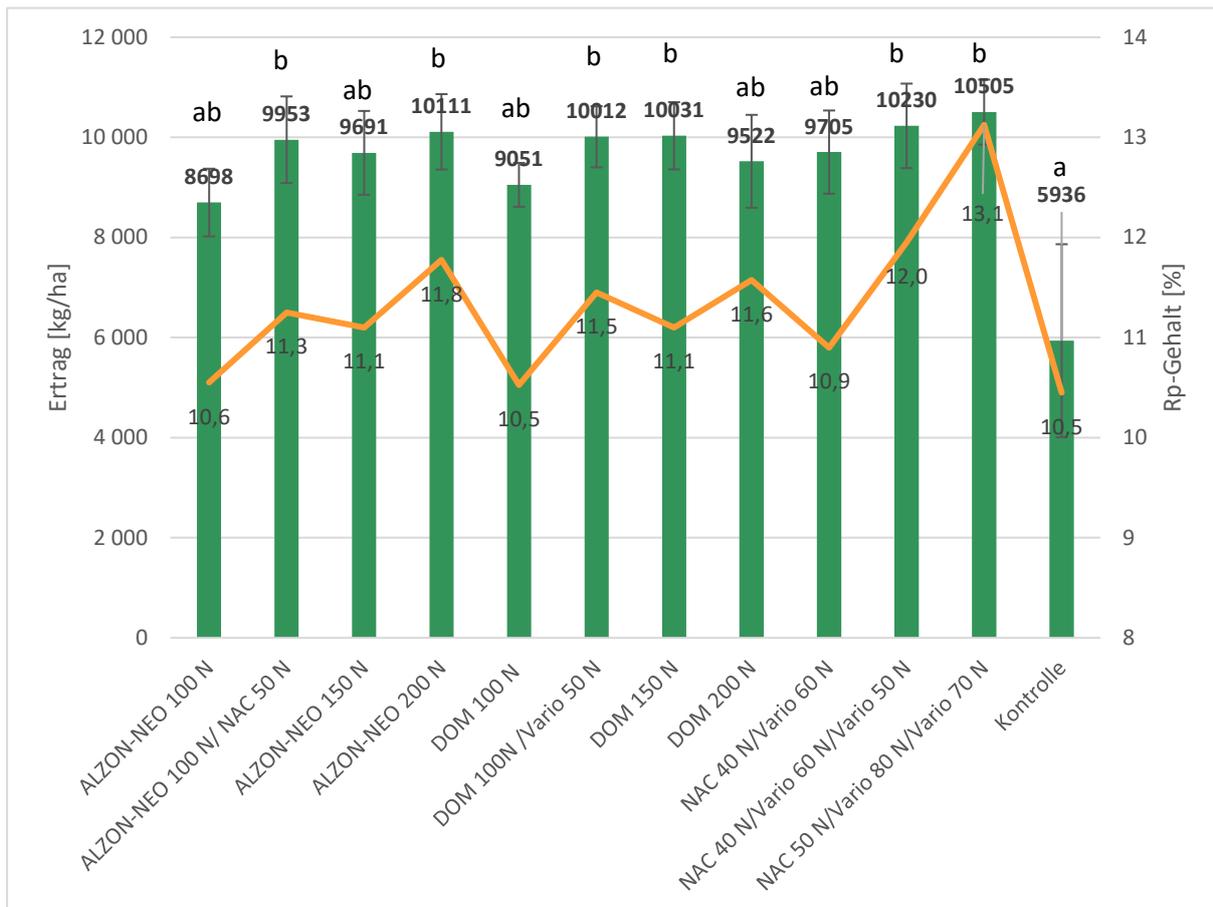


Abbildung 17: Kornertrag und Rohproteingehalt bei Düngung von Alzon neo (Harnstoff mit Urease- und Nitrifikationshemmer), Domamon (Ammoniumsulfat-Harnstofflösung über das Cultan-Verfahren) und NAC (Kalkammonsalpeter) mit Vario 23 N + 25 SO₃ (Kalkammonsalpeter mit granuliertem Ammoniumsulfat) am Versuchstandort Wieselburg; (Prankl 2021)

Zusammenhänge zwischen den N-Bilanzdefiziten (entzogene N-Menge durch das Korn abzüglich der gedüngten N-Menge) und den Nachernte-N_{min}-Werten konnten von Prankl, Gansberger und Datzberger (2021) nicht festgestellt werden (siehe Abbildung 18).

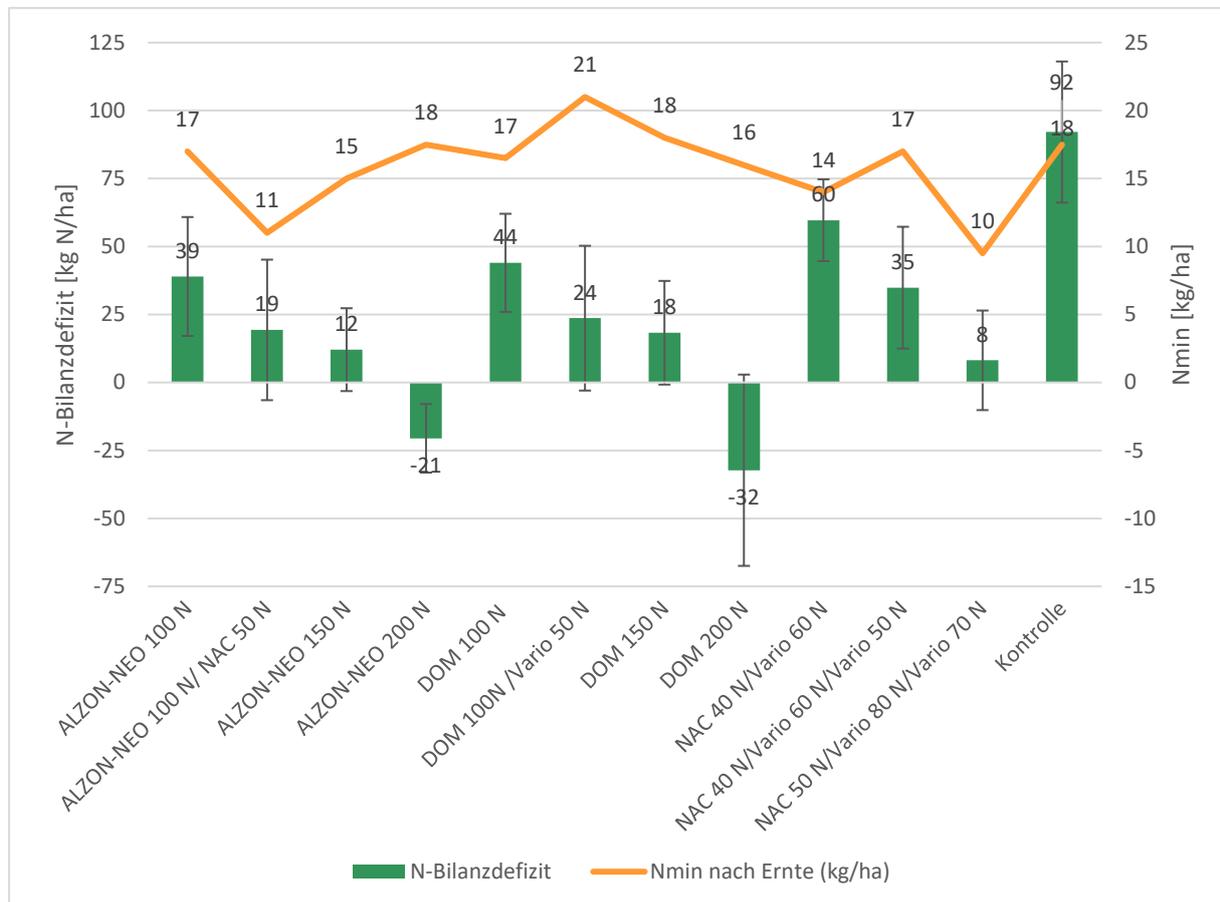


Abbildung 18: N-Bilanzdefizit und Nachernte-N_{min} bei Düngung von Alzon neo (Harnstoff mit Urease- und Nitrifikationshemmer), Domamon (Ammoniumsulfat-Harnstofflösung über das Cultan-Verfahren) und NAC (Kalkammonsalpeter) mit Vario 23 N + 25 SO₃ (Kalkammonsalpeter mit granuliertem Ammoniumsulfat) am Versuchsstandort Wieselburg; (Prankl 2021)

Neben dem Versuchsstandort in Wieselburg wurde auch in Rodingersdorf bei Horn und in Grübern bei Maissau ein Versuch zum Vergleich einer Düngung mit Ammonsulfatsalpeter und Domamon (ausgebracht mit dem Cultan-Verfahren) angelegt. Während sich hinsichtlich des Ertrages auf beiden Standorten kaum Unterschiede zeigten, so zeigen die Varianten mit Ammonsulfatsalpeter und geteilten Düngergaben (3 Teilgaben) höhere Rp-Gehälter gegenüber den Domamon-Varianten, was letztendlich auch zu höheren N-Entzügen der Ammonsulfatsalpeter-Varianten führt. (Prankl 2021)

Nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse aus einer 6-jährigen Fruchtfolge mit Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrüben. Als N-Dünger wurden mit dem CULTAN-Verfahren AHL und Ammonsulfat ausgebracht.

Tabelle 3: Durchschnittserträge bei Winterweizen und Wintergerste in einer Fruchtfolge mit Zuckerrüben, 1986 bis 1991 (Sommer 2003)

N-Düngung	Ähren/m ²	Körner			Stroh	Körner/ Stroh
		dt/ha	TKG	/Ähre	dt/ha	
Winterweizen						
Kopfdüngung In 3 Teilgaben*	510	106	46	46	84	1,1
CULTAN I**	543	104	43	45	84	1,1
CULTAN II***	533	105	43	46	83	1,1
GD 5%		1,8				
Wintergerste						
Kopfdüngung In 3 Teilgaben*	604	99	44	36	77	1,1
CULTAN I**	671	105	40	40	74	1,2
CULTAN II***	604	109	39	46	74	1,2
GD 5%		3,4				

* Kalkammonsalpeter /

** Ammoniumnitrat-/Harnstoff-Lösung

*** Ammoniumsulfat-Lösung

Wie in Tabelle 3 ersichtlich unterscheiden sich die Erträge nach Kopfdüngung und CULTAN kaum voneinander. Ähnliche Ergebnisse erzielten auch FARACK und ALBERT (2011) (Abbildung 19: Winterweizenerträge und Rohproteingehalte von 5 Versuchsjahren am Standort Forchheim. Die gedüngten N-Mengen unterschieden sich nicht zwischen den Varianten (Farack und Albert, 2011)Abbildung 19), ALBERT et. al. (2012) (Abbildung 20) sowie GANSBERGER, KRIPPL und PRANKL (2020) (Abbildung 21) in ihren Versuchen zu Winterweizen. Wobei in den Versuchen von GANSBERGER, KRIPPL und PRANKL (2020) an allen Versuchsstandorten die CULTAN-Varianten höhere Bestandesdichten erzielte.

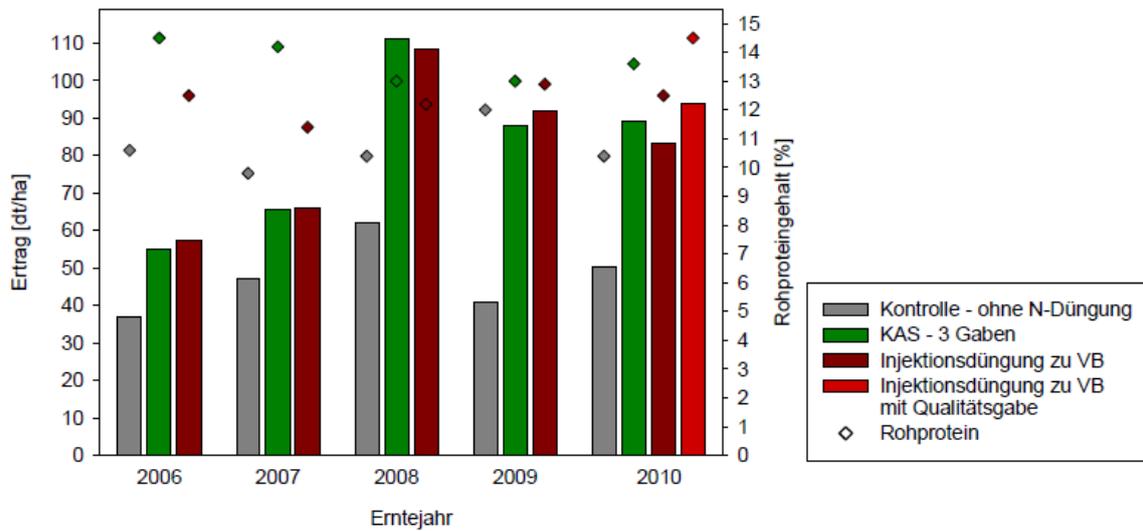


Abbildung 19: Winterweizenerträge und Rohproteingehalte von 5 Versuchsjahren am Standort Forchheim. Die gedüngten N-Mengen unterschieden sich nicht zwischen den Varianten (Farack und Albert, 2011)

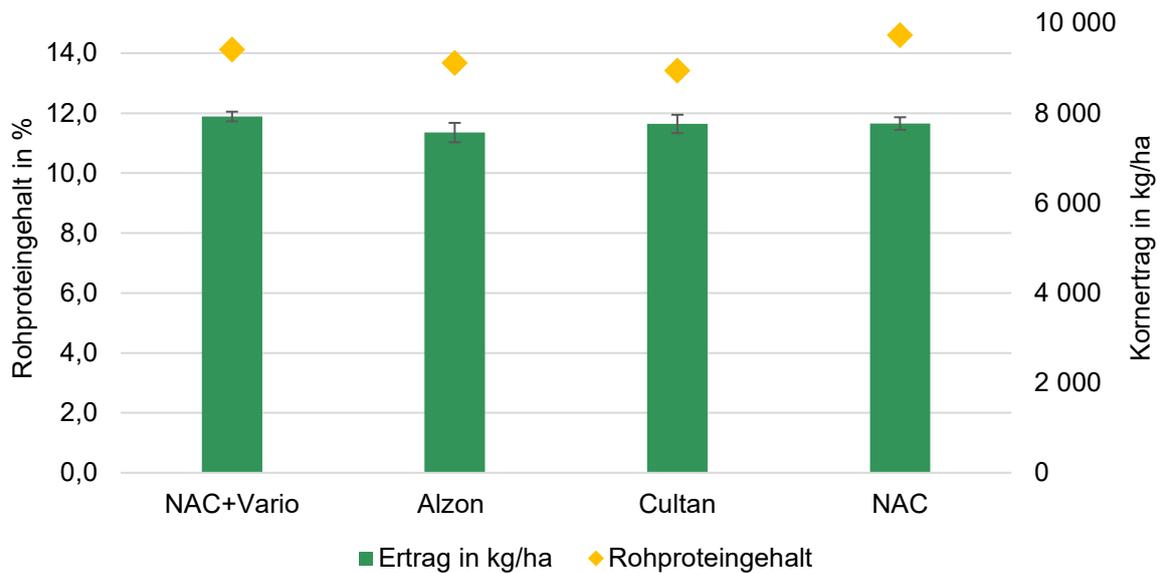


Abbildung 20: Winterweizenerträge und Rohproteingehalte unterschiedlicher Düngestrategien im Versuchsjahr 2020 (Gansberger 2020)

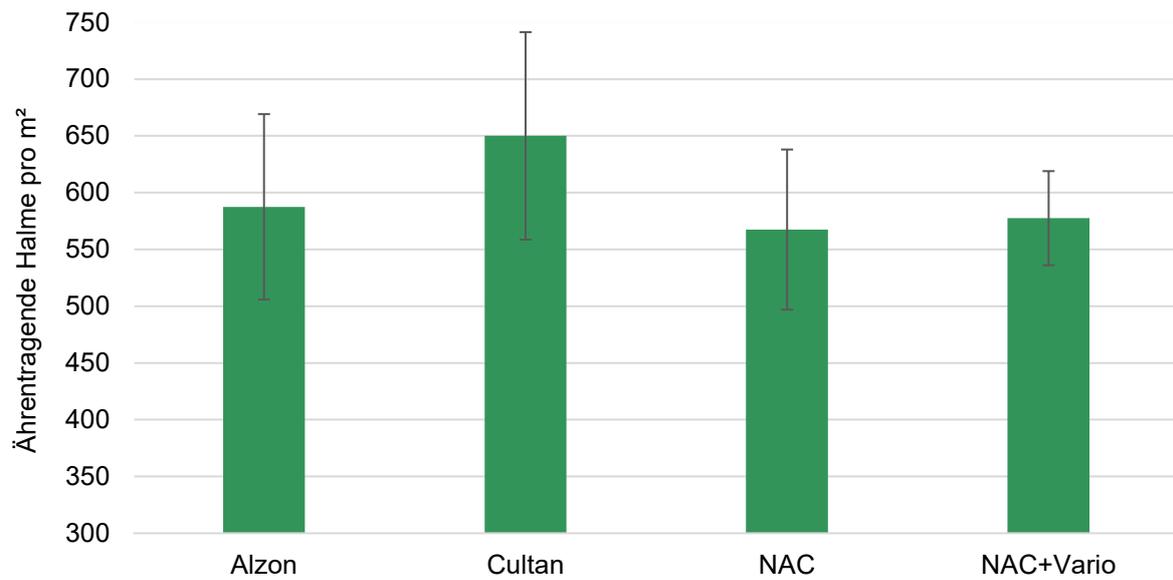


Abbildung 21: Anzahl ährentragender Halme von Winterweizen bei unterschiedlichen Düngestrategien am Standort Wieselburg im Versuchsjahr 2020 (Gansberger 2020)

Bei Körnermais zeigen die Cultan-Varianten gegenüber den Vergleichsvarianten tendenziell geringere Erträge, wobei sich die Ergebnisse mit Ausnahme zur ungedüngten Kontrolle nicht signifikant voneinander unterscheiden. Am Cultan-Injektionsgerät sind im Abstand von 25 cm Sporenräder angebracht, auf welchen sich die Injektionsdüsen befinden. D.h., dass auch in der Mitte zwischen den Maisreihen ein Ammoniumdepot angelegt wird, welches womöglich langsamer bzw. schlechter erschließbar ist. Diese Tatsache wäre eine Begründung für die niedrigeren Erträge der Cultan-Varianten (Prankl et al. 2022).

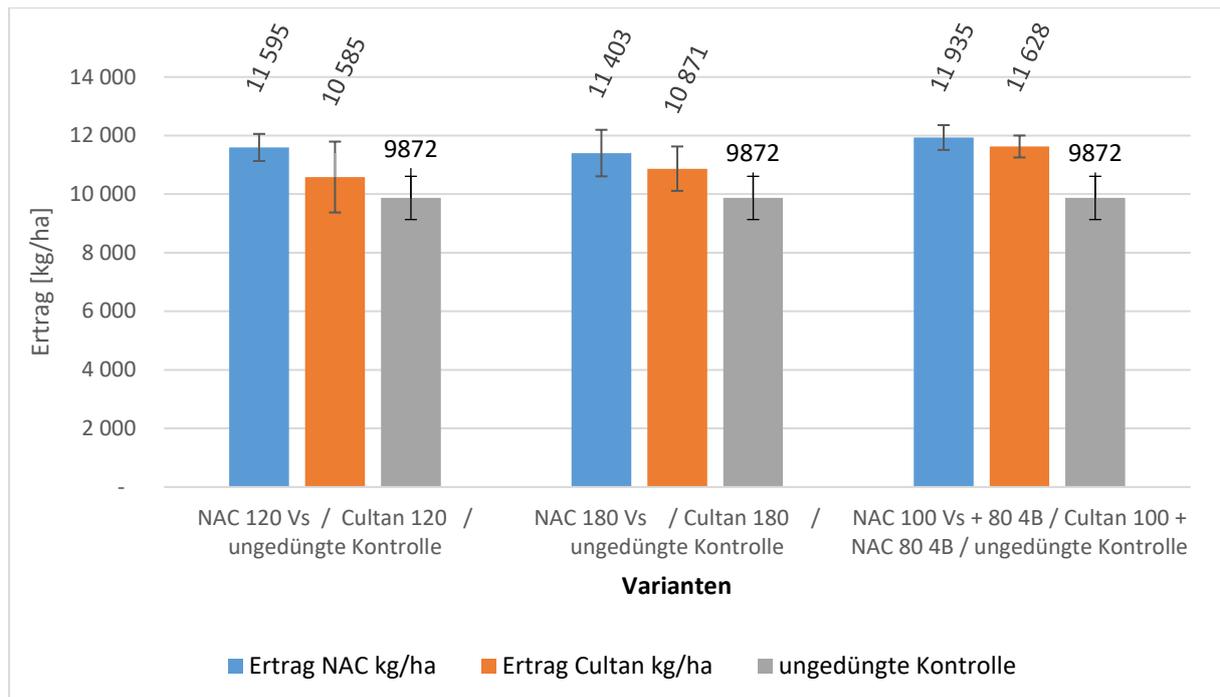
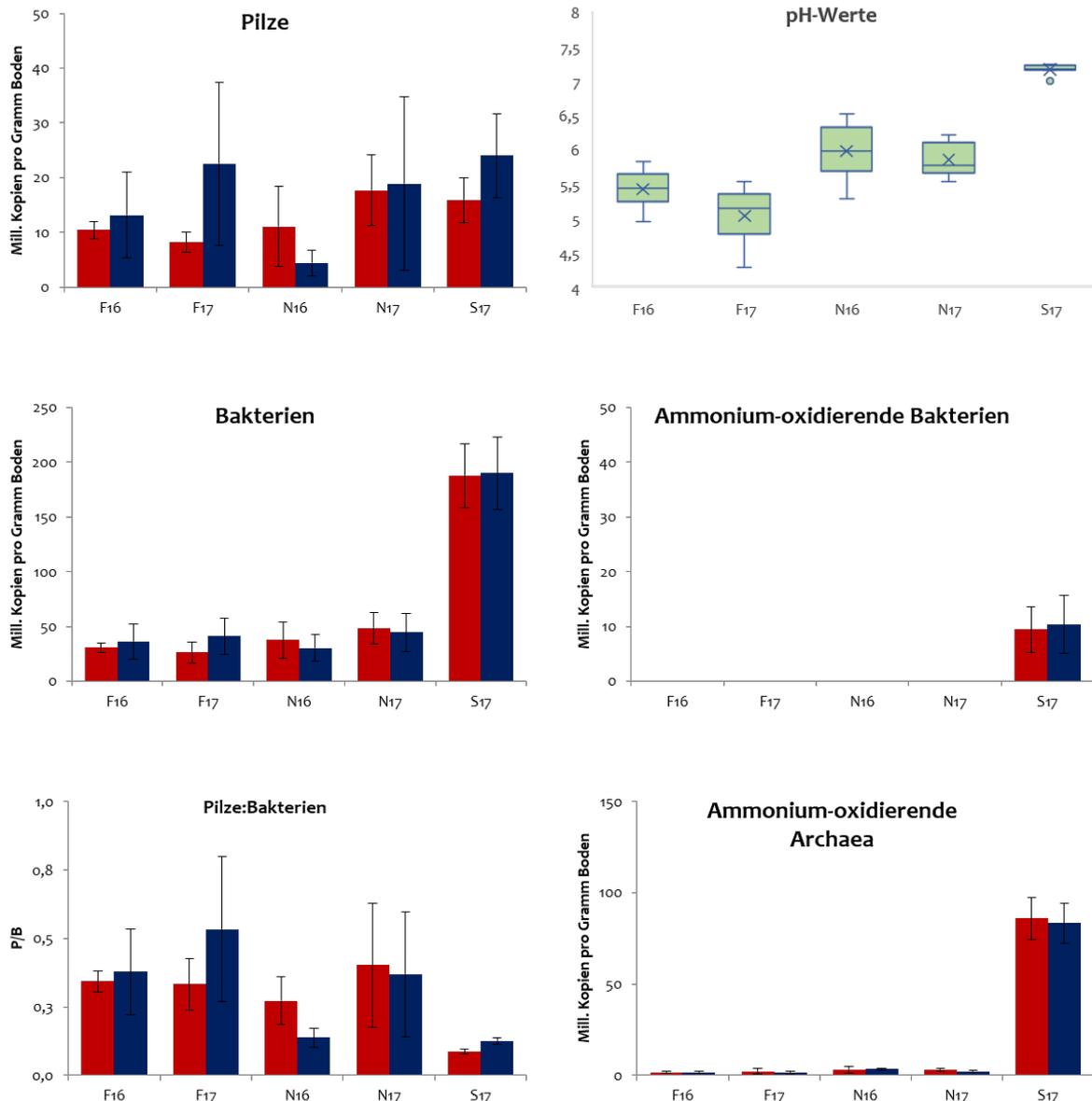


Abbildung 22: Körnermaisertrag (kg/ha) bei Cultan-Düngung (Ammoniumsulfat-Harnstoff-Lösung) im Vergleich zu einer NAC-Düngung und einer ungedüngten Kontrollvariante im niederösterreichischen Alpenvorland – Standort Wieselburg (Prankl et al. 2022)

2.5 Auswirkungen der Depotdüngung auf die Bodenbiologie

Im Bericht von BANDIAN und GORFER (2020) wurden zur Untersuchung verschiedener Mikroorganismen im Boden, Proben von Ackerböden in der Umgebung Freiburg bei Breisgau herangezogen.



Legende: rote Balken: konventionelle Düngung; blaue Balken: Depotdüngung; F16 / F17: Freiburg-St. Georgen 2016 und 2017; N16 / N17; Norsingen 2016 und 2017; S17: Schallstadt 2017

Abbildung 23: Übersicht über verschiedene Bodenparameter: Kopienzahlen für Markergene von Pilzen (links oben), Bakterien (links Mitte), Ammonium-oxidierenden Bakterien (AOB, rechts Mitte), Ammonium-oxidierenden Archaeen (rechts unten) sowie dem Verhältnis von Pilzen zu Bakterien (links unten) sowie dem Boden pH-Werte (gemessen in CaCl_2 ; rechts oben) (Bandian und Gorfer 2020).

Bei diesem Versuch wurden die Auswirkungen von konventioneller Düngung sowie Depotdüngung auf die Bodenbiologie untersucht. Speziell Bakterien, Pilze, Ammonium-oxidierende Bakterien (AOB) sowie Ammonium-oxidierende Archaeen (AOA) wurde in der Untersuchung erfasst. Letztere sind für die Umwandlung von Ammonium zu Nitrit und im Anschluss zu Nitrat verantwortlich, und haben somit Einfluss auf die Nährstoffversorgung der Pflanze. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass die Bakterienmenge und dementsprechend das Verhältnis Pilze zu Bakterien im Zusammenhang mit dem pH-Wert der vorliegenden Böden steht und hier auch Differenzen zwischen den unterschiedlichen Standorten bestanden. Zwischen den Versuchsjahren 2016 und 2017 wurden keine eindeutigen Unterschiede hinsichtlich der Bakterienmenge ermittelt. Schlussendlich wurden bei diesem Versuch keinerlei Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngevarianten (konventionell mit herkömmlicher Streutechnik und Depotdüngung) hinsichtlich der Mikrobiologie festgestellt (Bandian und Gorfer 2020).

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Material

3.1.1 Sorte

Verwendet wurde die Mahlweizensorte SU Habanero. Ein mittellanger Kompensationstyp mit guter Standfestigkeit. Tabelle 4 zeigt die Sortenbeschreibung nach der österreichischen beschreibenden Sortenliste 2023.

Tabelle 4: Sortenbeschreibung der Sorte SU Habanero (AGES 2023)

Mahlweizen																							
Sorte	Anmerkungen	Züchterland	Zulassungsjahr	Grannen/ Kolbenweizen Auswinterung (Frost) 1)	Ährenschieben	Reifezeit (Gelbreife)	Wuchshöhe	Lager	Auswuchs	Mehltau	Braunrost	Gelbrost 9)	Schwarzrost	Blattseptoria (Sept. nodorum)	Septoria tritici-Blattdürre	DTR-Blattdürre	Ährenfusarium	Korntrag - Trockengebiet	Korntrag - Feuchtgebiet	N-Effizienz - Trockengebiet 2)	N-Effizienz - Feuchtgebiet 2)	Vorwiegender Anbau, Eignung 3)	
SU Habanero		D	2021	K	-	7	6	4	3	5	4	5	4	2	4	4	4	4	8	9	6	7	F(T)

3.1.2 Düngemittel

Die Cultandüngung wurde mit ASL (Ammoniumsulfat-Lösung) durchgeführt und über eine Handinjektion (mittels 10 ml Spritze) simuliert. Die ASL wurde auf einen pH-Wert von 3,5 angesäuert.

Ammoniumsulfat-Lösung:

- N-Gehalt: 6,8 Gew.-% N
- S-Gehalt: 8,0 Gew.-% S
- Dichte: 1,18 kg/dm³

Die Vergleichsdüngung wurde mit Kalkammonsalpeter (NAC 27 N) durchgeführt.

NAC 27 N:

- N-Gehalt: 27%
 - Ammonium: 13,5%
 - Nitrat: 13,5%
- Kalk (CaO) 12,5%

3.1.3 DJI P4 Multispectral

Zur präzisen Datenerfassung der Vegetationsebene mittels spektraler Bilderfassung erfolgten die Aufnahme mittels DJI P4 Multispectral. Die Spektralkamera mit fünf Kanälen (blau, grün, rot, Red Edge und Nahinfrarot) + RGB-Kamera liefert die notwendigen Reflexionsdaten zur Berechnung von Vegetationsindexe wie den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

3.1.4 Versuchsstandort

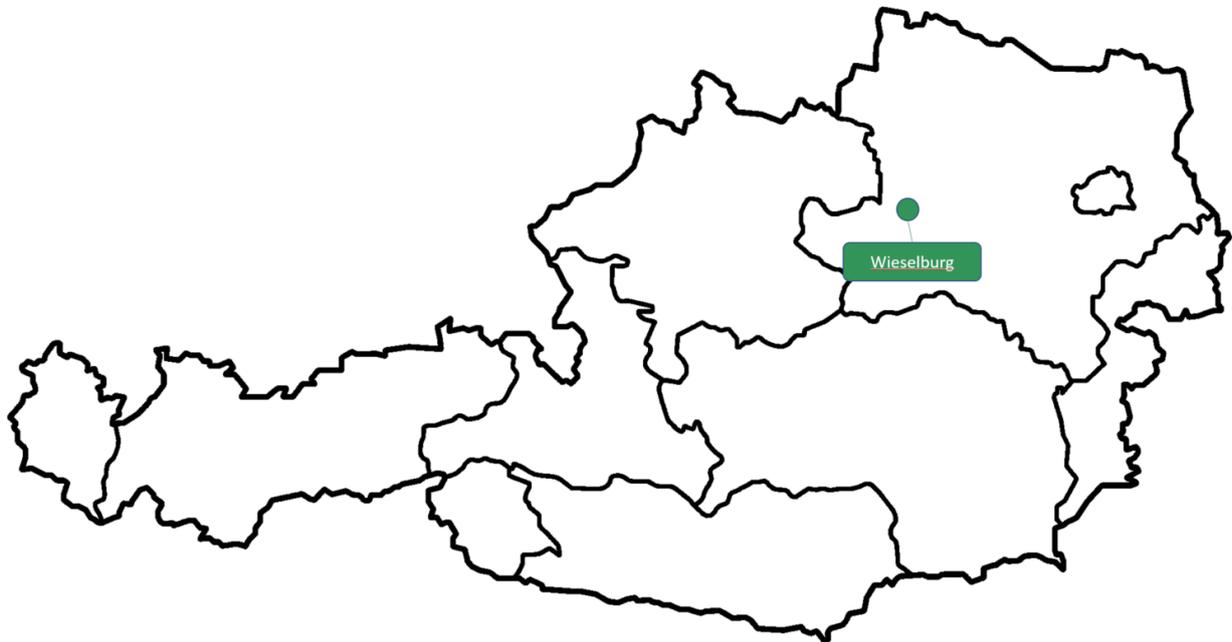


Abbildung 24: Versuchsstandorte

Der Versuch wurde im niederösterreichischen Alpenvorland in Wieselburg durchgeführt.

Standortbeschreibung

Der Versuchsstandort Wieselburg liegt aus geografischer Sicht im niederösterreichischen Alpenvorland. Die Versuchsfläche liegt an den Koordinaten 48.134328, 15.110632.

Die Bodentypen auf unserer Versuchsfläche ergeben sich aus der Parabraunerde und Braunerde. Die hauptsächliche Bodenart ist Schluff und der Anteil von Humus ist schwach- bis mittelhumos. Mit Mull als Humusart wird die Versuchsfläche als sehr ertragreich eingestuft. Der Boden ist tiefgründig und hat wechselfeuchte bis gut versorgte Wasserverhältnisse. Mit 9,6 °C durchschnittlicher Jahrestemperatur ist das Klima in Wieselburg gemäßigt warm. Wobei der Juli mit einem Mittel von 18,9 °C der wärmste Monat und der Jänner mit einem Schnitt von -1,6 °C der kälteste Monat ist. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt in Wieselburg 1007 mm. Hier fällt mit durchschnittlich 105 mm der meiste Niederschlag im Juni, und mit einem Schnitt von knapp 60 mm der wenigste Niederschlag im Jänner.

Witterungsverlauf

Die Witterung 2023 zeichnete sich durch einen milden Winter mit durchschnittlichen Niederschlagsmengen von November 2022 bis Februar 2023 aus. Nach einem vergleichsweise trockenen März folgten sehr hohe Niederschlagsmengen im April und Mai, mit teils intensiven Starkregenereignissen. Daraufhin folgte eine Trockenphase im Juni und Juli, welche im August durch mehrere Niederschläge unterbrochen wurde. Der September und

Oktober waren, wie in Abbildung 25 ersichtlich, überdurchschnittlich warm und trocken bis ein Wetterumschwung im November und Dezember massive Niederschläge nach sich zog.

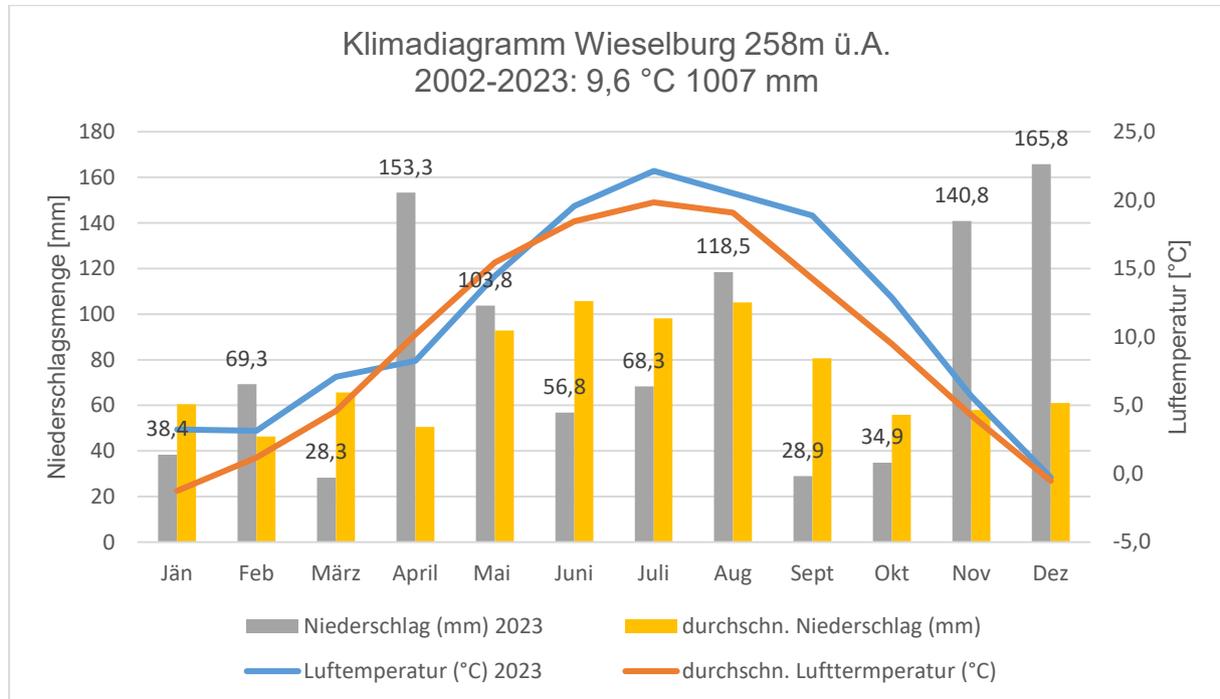


Abbildung 25: Niederschlags- und Temperaturverlauf (2023) im Vergleich zum langjährigen Mittel am Standort Wieselburg (Wasserstandsnachrichten Niederösterreich)

3.2 Methoden

3.2.1 Versuchsablauf (Maßnahmen)

Die nachfolgende Tabelle zeigt alle relevanten Maßnahmen und Betriebsmittelmengen des Versuches.

Tabelle 5: Maßnahmen WW-Versuchsfeld Wieselburg 2023

Datum	Maßnahme	Aufwandsmenge
05.10.2022	Pflanzenschutz (Roundup PowerFlex, 3437/0)	3,00 l/ha
11.10.2022	Aussaat (SU Habanero)	320 Kö./m ²
19.10.2022	Pflanzenschutz (Pontos, 3797/0)	1,00 l/ha
03.03.2023	1. Düngung (NAC) – Düngung der Vergleichsparzellen	60 kg N/ha
20.03.2023	Düngung (ASL) – Handinjektion der Cultanparzellen	180 kg N/ha
22.04.2023	Pflanzenschutz (Medax Top, 3257/0)	0,50 l/ha

27.04.2023	2. Düngung (NAC) – Düngung der Vergleichsparzellen	90 kg N/ha
05.05.2023	Pflanzenschutz (Verben, 4329/0)	0,80 l/ha
22.05.2023	Pflanzenschutz (Revytrex, 4217/0)	1,25 l/ha
24.05.2023	3. Düngung (NAC) – Düngung der Vergleichsparzellen	30 kg N/ha
30.05.2023	Pflanzenschutz (Cymbigon forte, 3998/0)	0,05 l/ha
12.06.2023	Pflanzenschutz (Prosaro, 3054/0)	0,85 l/ha
19.07.2023	Ernte	

3.2.2 Parzellenplan - Versuchsdurchführung

Abbildung 26 zeigt einen Handinjektionsplot. Die Injektionsräder des Cultangerätes haben einen Abstand von 25 cm. Jedes Injektionsrad injiziert alle 13 cm einen Ammoniumpool. Mit Hilfe einer Schablone wurden 9 Handinjektionen (in Abbildung 26 stellen die orangenen Kreise die Injektionsstellen dar – die mittlere Injektionsstelle ist orange ausgefüllt) je Versuchsplot durchgeführt. Die ASL wurde ca. 5 bis 7 cm tief injiziert. Es wurden 180 kg N/ha verabreicht, was einer Injektionsmenge von 7,2 ml je Injektionsstelle entspricht.

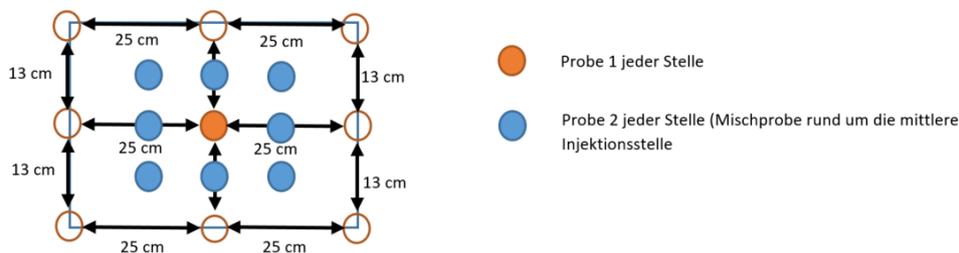


Abbildung 26: Handinjektionsplot für die simulierte CULTAN-Injektion

Während der Vegetationszeit wurden zu vier Terminen (EC 30, EC 39, EC 65, Ernte) Biomasse und N_{\min} -Proben gezogen. Somit ergibt sich bei vierfacher Wiederholung eine Anzahl von 16 Handinjektionsplots (4 Probenahmeterminen und 4 Wiederholungen). Abbildung 27 zeigt den Parzellenplan der Handinjektionsplots. Zu jedem Probenahmetermin wurde von jeder Reihe (R1 bis R4) randomisiert eine Probe entnommen.

Neben den Proben in den Handinjektionsplots wurden auch auf einer mit Kalkammonsalpeter gedüngten Parzelle Vergleichsproben in gleicher Anzahl gezogen. Die Vergleichsparzelle wurde ebenfalls mit 180 kg N versorgt, wobei die Menge in 3 Teilgaben verabreicht wurde (60 kg N am 03.03.2023; 90 kg N am 27.04.2023; 30 kg N am 24.05.2023).

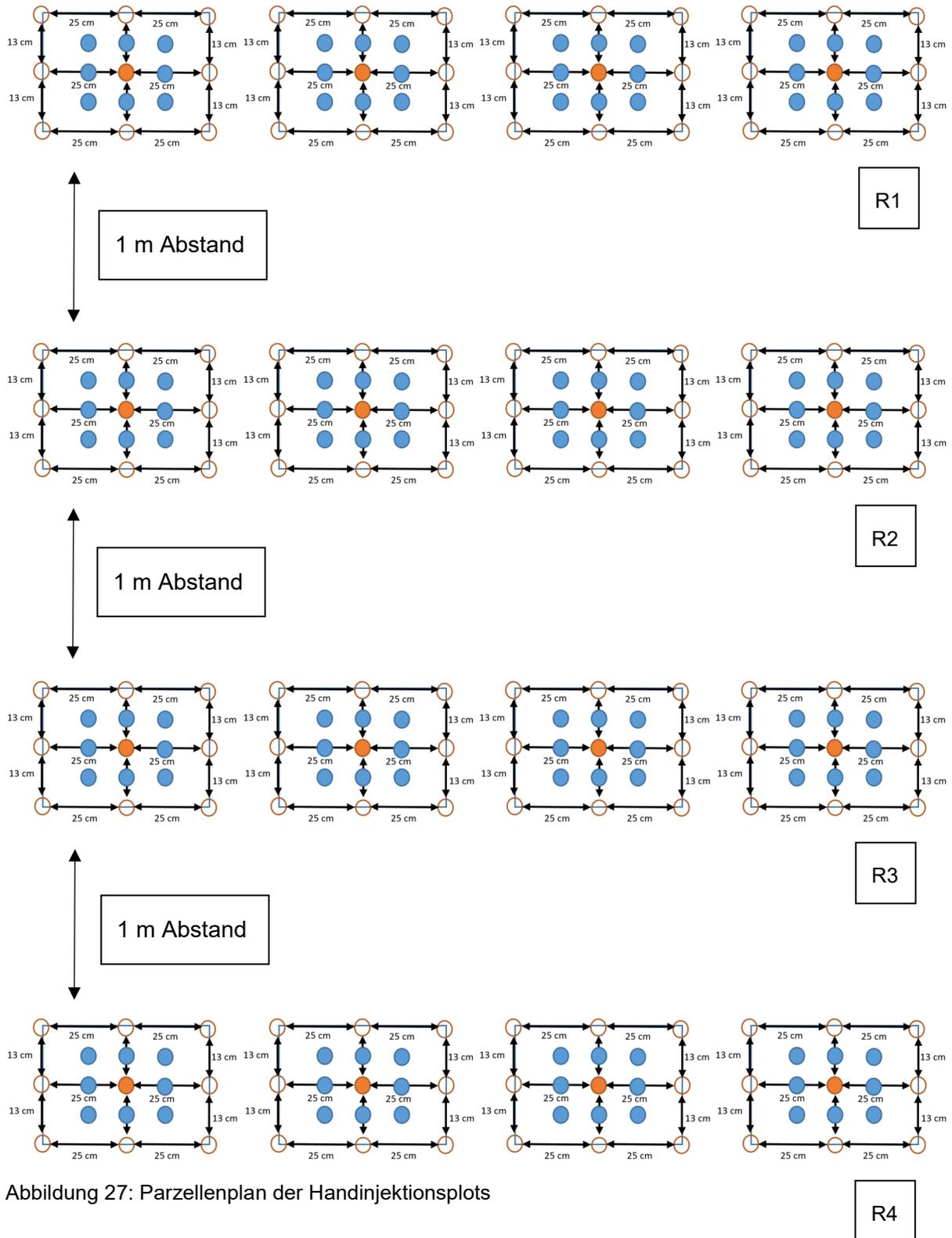


Abbildung 27: Parzellenplan der Handinjektionsplots

3.3 Durchgeführte Erhebungen

3.3.1 Ermittlung der Biomasse

Zu vier verschiedenen Zeitpunkten (EC 30 – 27.04.2023, EC 39 – 23.05.2023, EC 65 – 13.06.2023, Ernte) wurde die Biomasse von jeweils einem Plot einer jeden Reihe entnommen. Es wurde die Frischmasse verwogen und eine Mischprobe für eine Laboruntersuchung (Trockenmasse, C- und N-Gehalt) entnommen. Neben dem Cultanbereich wurden auch vier Proben auf der Vergleichsparzelle gezogen.

3.3.2 Ermittlung der oberirdischen Trockenmasse

Von der unter 3.3.1 beschriebenen Biomasseerhebung wurde eine Teilprobe zur Ermittlung des Trockenmassegehaltes entnommen. Die Probe wurde bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend der prozentuelle Wassergehalt ermittelt.

3.3.3 Ermittlung des C- und N-Gehaltes der oberirdischen Biomasse

Die unter 3.3.2 bestimmten Trockenmassen wurden einer Elementaranalyse zur Bestimmung des C- und N-Gehaltes unterzogen. Die Analysen wurden nach ÖNORM L 1080 und L 16168 durchgeführt.

3.3.4 Ermittlung des mineralisierten Stickstoffs (N_{min})

Zu vier Zeitpunkten (EC 31, EC 39, EC 65, nach der Ernte) wurden nach der Biomasseentnahme eine N_{min} -Proben (0 bis 60 cm) anhand eines Bohrstockes entnommen. Von jedem Handinjektionsplot wurde der Bereich der mittleren Injektionsstelle entnommen und gesondert der Bereich rund um die mittlere Injektionsstelle (siehe Abbildung 26). Bei der Vergleichsparzelle wurde ähnlich vorgegangen, jedoch wurde nur eine Probe je Stelle im Bereich der Biomasseentnahme gezogen (5 Einstiche je Probe). Die Proben wurden unmittelbar gekühlt und anschließend gefroren. Die N_{min} -Bestimmung wurde nach ÖNORM L 1091 von der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft (BAW) bzw. der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) durchgeführt.

3.3.5 Ermittlung des NDVI

Der Versuchsstandort wurde ab 10.03.2023 bis 04.07.2023 im Abstand von zwei Wochen mit einer Drohne mit aufgebauter Multispektralkamera befliegen. Die Kamera erfasst neben dem sichtbaren Lichtbereich (RGB) gesondert folgende Wellenlängen:

- Blau (B): 450 nm (+/- 16 nm)
- Grün (G): 560 nm (+/- 16 nm)
- Rot (R): 650 nm (+/- 16 nm)
- Red Edge (RE): 730 nm (+/- 16 nm)
- Nahinfrarot (NIR): 840 nm (+/- 16 nm)

Die Basisdaten der Überflüge wurden einem „Stitching“ (Einzelaufnahmen werden zu einer Gesamtaufnahme zusammengefügt) und einer Georeferenzierung (mittels aufgestellter Ground Control Points) unterzogen.

Der NDVI wurde auf Basis nachfolgender Formel berechnet:

$$NDVI = \frac{NIR - Rot}{NIR + Rot}$$

3.3.6 Ermittlung des Kornertrages

Die verbliebenen Plots wurden abgeschnitten und mittels Labordrescher gedroschen.

3.3.7 Berechnung der N-Aufnahme

Die Berechnung der N-Aufnahme erfolgte auf Basis der Trockenmasse multipliziert mit dem N-Gehalt.

3.3.8 Datenauswertung

Bei der oberirdischen Biomasse sowie dem N-Gehalt in der oberirdischen Trockenmasse wird das Prozedere eines Zweistichproben-t-Tests angewandt.

Um die Annahme der Normalverteilung (Nullhypothese) zu überprüfen wird der Shapiro-Wilk Test verwendet. Ist die entsprechende Testgröße nicht signifikant, wird im nächsten Schritt der Levene Test angewandt um die Varianzen der beiden Stichproben auf Gleichheit (Nullhypothese) zu testen. Bei nicht signifikanter Testgröße wird der Student t-Test verwendet, um zu bestimmen, ob signifikante Unterschiede zwischen den beiden Stichproben bestehen. Wird die Nullhypothese beim Levene Test verworfen oder ist die Anzahl der Werte in den beiden Stichproben nicht gleich, wird der Welch t-Test verwendet. Wird die Nullhypothese beim Shapiro-Wilk Test zu Beginn bereits verworfen, wird der nichtparametrische Mann-Whitney Test herangezogen, um auf signifikante Unterschiede zwischen den beiden Stichproben zu testen.

Da bei den Bodenproben drei Stichproben verglichen werden („Depot“, „Rundherum“ und „Vergleich“ – siehe Abbildung 28), wird hier das Prozedere der einfachen Varianzanalyse (ANOVA) angewandt. Wie bei den Biomasseproben wird zuerst der Shapiro-Wilk Test (Normalverteilung der Werte in den Stichproben) und bei nicht signifikanter Testgröße im Anschluss der Levene Test (gleiche Varianzen der Stichproben) durchgeführt. Sind beide Testgrößen nicht signifikant, wird die einfache Varianzanalyse verwendet, um auf signifikante Unterschiede zwischen den Stichproben zu testen. Andernfalls, wird der nichtparametrische Kruskal-Wallis Test verwendet. Sind signifikante Unterschiede vorhanden wird ein Posthoc-Test verwendet, um die signifikant abweichenden Stichproben zu identifizieren. Hier wird der Tukey Test verwendet (bei einfacher Varianzanalyse) bzw. der Dunn Test (bei Kruskal-Wallis Test).

Bei allen statistischen Tests wird die Irrtumswahrscheinlichkeit mit $\alpha = 5\%$ gewählt. Sämtliche Berechnungen erfolgen in Python (Version 3.12.5), wobei die beiden Posthoc Tests aus dem Python-Paket scikit-posthocs (Version 0.9.0) stammen und die anderen statistischen Tests aus scipy (Version 1.13.1).

4 ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

4.1 N_{min}-Werte und Nitratanteil im Vegetationsverlauf

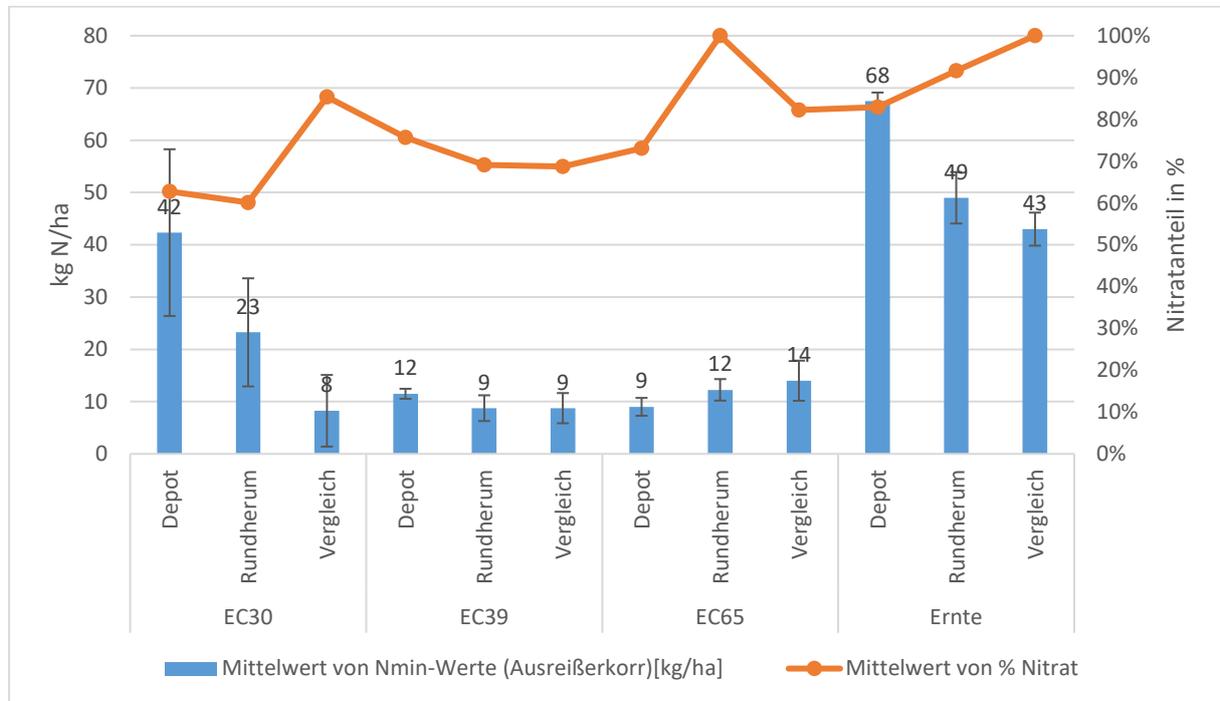


Abbildung 28: Vergleich der N_{min}-Werte und der Nitratanteile zwischen Cultandüngung (Depot und rund um das Depot) und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsparzelle im Vegetationsverlauf

Abbildung 28 zeigt den N_{min}-Verlauf über die Vegetationsperiode. Bei der Cultan-Variante wurden am 20.03.2023 180 kg N/ha in Form von ASL gedüngt. Bei der Vergleichsvariante 60 kg N/ha in Form von Kalkammonsalpeter. Erwartungsgemäß zeigt das Depot zu EC 30 die höchsten N_{min}-Werte, da bis zum 1. Probenahmeterrin am 27.04.2023 nicht die gesamte N-Menge aufgenommen werden konnte. Interessanterweise finden wir rund um das Depot (Variantenbezeichnung Rundherum) auch relativ hohe N_{min}-Werte, was die Stabilität des N-Pools im Boden in Frage stellt. Unterstützt wird diese Annahme durch den relativ hohen Nitratanteil von ca. 60%. Auch in den Versuchen von Prankl et al. (2022) wurde zu EC 31 (ca. 4 Wochen nach der Cultandüngung) ein ähnlich hoher Nitratanteil von 50% bis 60% nachgewiesen. Im weiteren Vegetationsverlauf unterschieden sich die einzelnen Probenahmestellen kaum in ihren N_{min}-Werten. Zu EC 39 befinden sich knapp 140 kg N/ha in der oberirdischen Biomasse (siehe Abbildung 31). Der durchschnittliche Depot-N_{min} liegt zu EC 39 bei ca. 10 kg N/ha. Zu EC 65 zeigt das Depot im Durchschnitt geringere N-Mengen als die Proben rund um das Depot (Rundherum) bzw. auch die Vergleichsvariante mit NAC. Möglicherweise wurde ein höherer Ammoniumteil am Austauscher gebunden. Eine Austauscheruntersuchung wurde nicht durchgeführt. Des Weiteren könnte ein Teil des Stickstoffs ausgewaschen oder ausgegast sein. Der allgemeine Anstieg der N_{min}-Werte ab EC 65 könnte durch eine höhere Bodenmineralisation in Folge des Temperaturanstieges bei ausreichender Feuchtigkeit begründet werden.

4.2 Entwicklung der oberirdischen Biomasse im Vegetationsverlauf

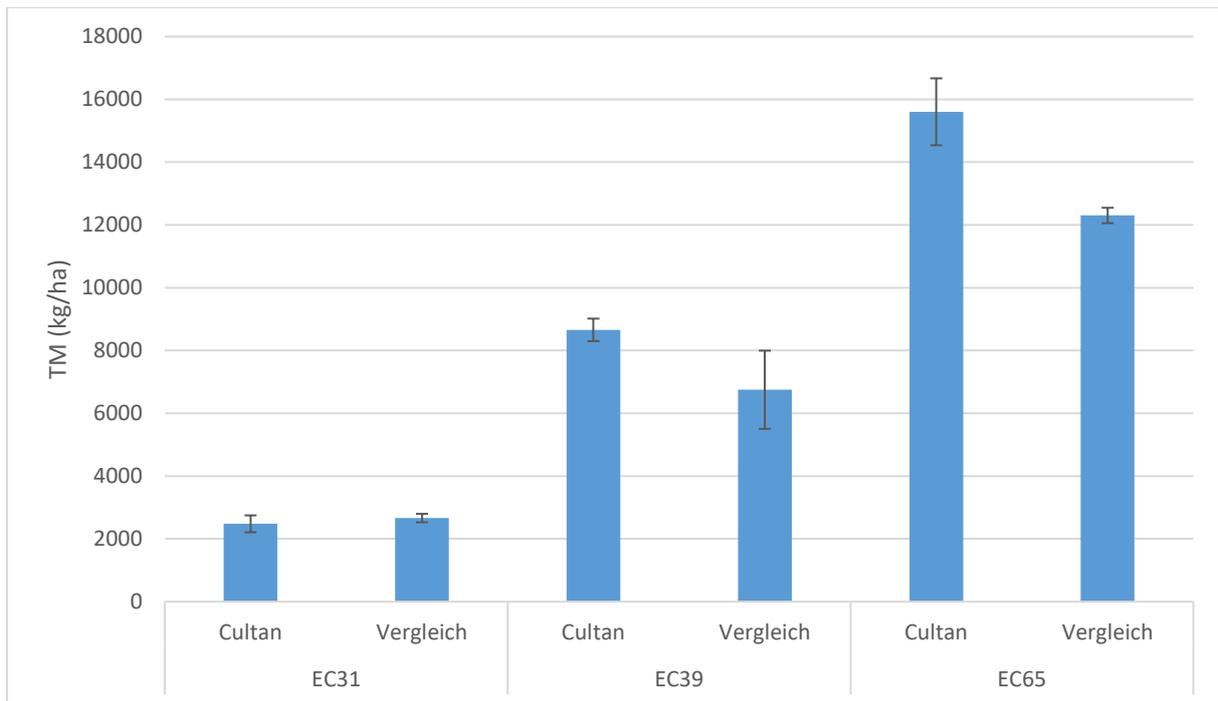


Abbildung 29: Vergleich der Biomasse (Trockenmasse) in kg/ha zwischen Cultandüngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichspartellen im Vegetationsverlauf

In Abbildung 29 ist die Entwicklung der oberirdischen Biomasse der simulierten Cultandüngung und der Vergleichsvariante (mit Kalkammonsalpeter) dargestellt. Ähnlich wie bei Sommer (2003), Gansberger et al. (2020) und Prankl et al. (2021) zeigen auch die in Abbildung 29 dargestellten Ergebnisse höhere Bestandesdichten bei Cultandüngung. Allerdings wurden bei der Cultandüngung immer hohe Mengen Stickstoff in einer Gabe verabreicht. In den Versuchen von Prankl et al. 2021 zeigen auch hoch angedüngte Varianten mit stabilisiertem Dünger höhere Bestandesdichten als die auf 3 Gaben aufgeteilten Kalkammonsalpeter-Varianten. Statistisch zeigt sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ sowohl zu EC 39 als auch zu EC 65 ein signifikanter Unterschied zwischen der Cultan- und der Vergleichsvariante.

4.3 N-Gehalt in der oberirdischen Trockenmasse im Vegetationsverlauf

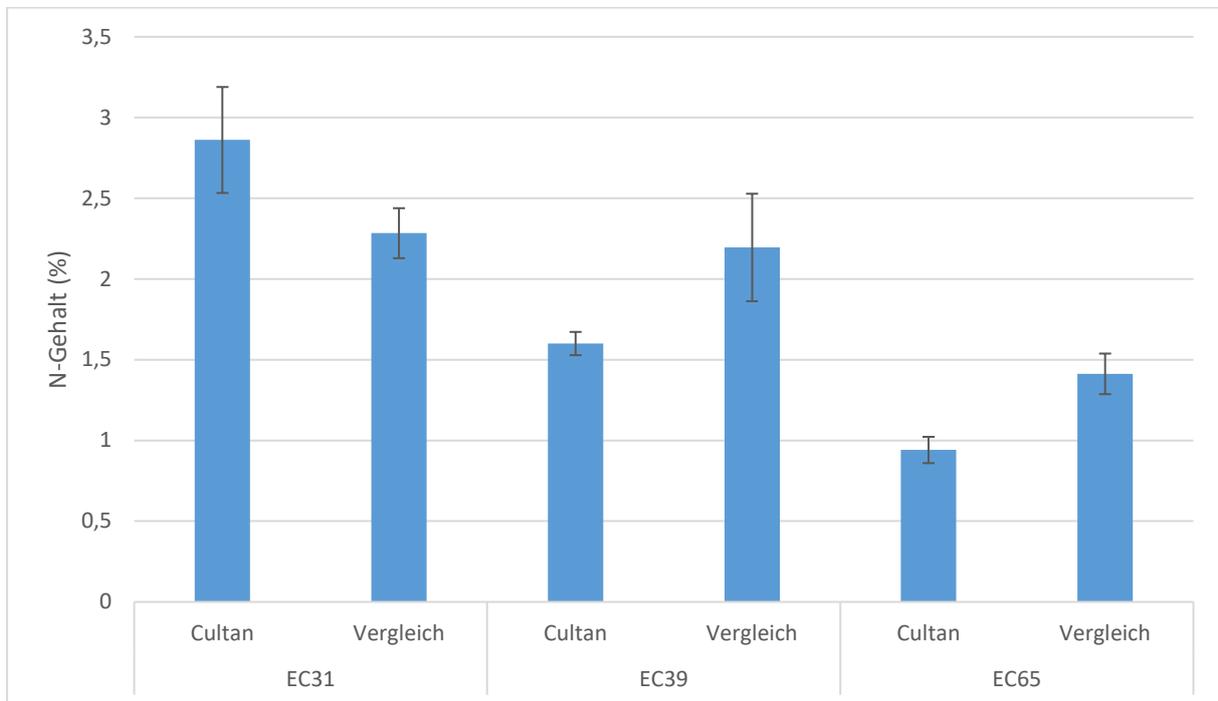


Abbildung 30: Vergleich des N-Gehaltes in % der Trockenmassen zwischen Cultandüngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsparzelle im Vegetationsverlauf

Abbildung 30 zeigt den N-Gehalt der oberirdischen Biomasse der simulierten Cultan-Variante im Vergleich zu der mit Kalkammonsalpeter gedüngten Vergleichsvariante. Während bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=5\%$ zu EC 31 die simulierte Cultan-Variante einen signifikant höheren N-Gehalt im Vergleich zu der mit Kalkammonsalpeter gedüngten Vergleichsvariante aufweist, zeigt sich zu EC39 und EC 65 ein umgekehrtes Bild. Hier weisen die Vergleichsvarianten im Durchschnitt einen signifikant höheren N-Gehalt auf. Dies würde für eine hohe frühe Stickstoffverfügbarkeit sprechen, was auch in weiterer Folge zu einer dementsprechenden Biomassebildung geführt haben könnte (siehe Abbildung 29). Der darauffolgende Verdünnungseffekt führt zu signifikant niedrigeren N-Werten zu EC 39 und EC 65.

4.4 N-Aufnahme der oberirdischen Trockenmasse im Vegetationsverlauf

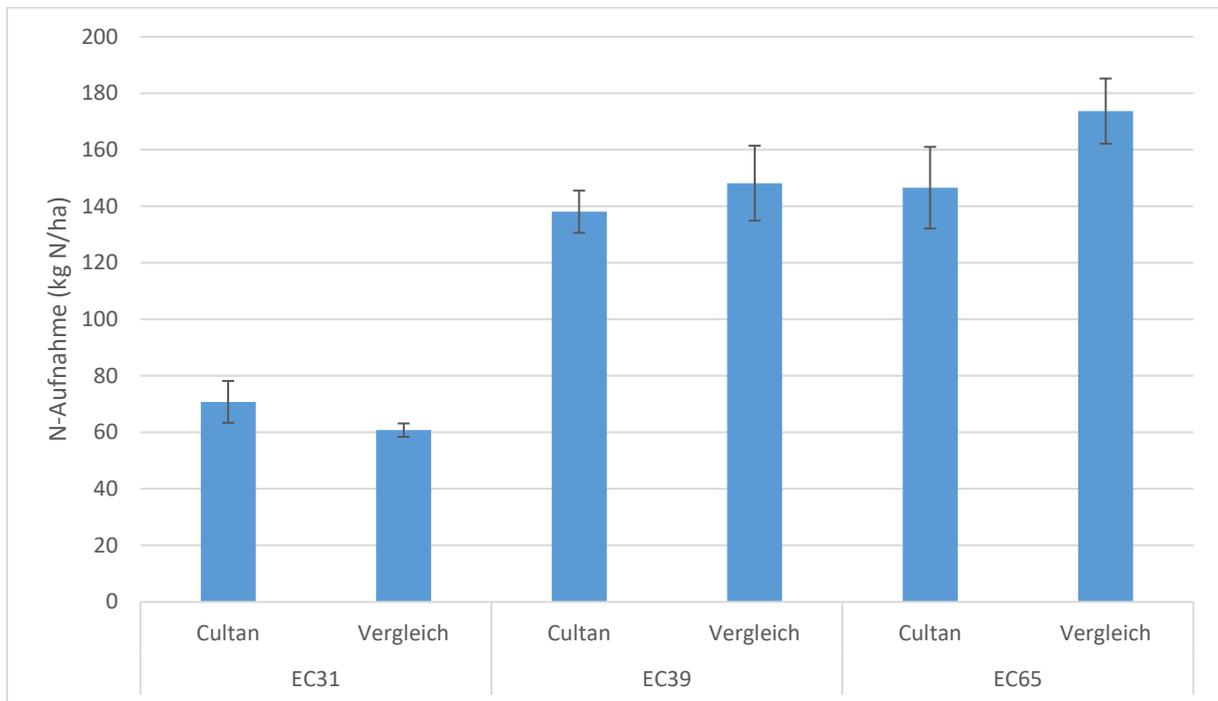


Abbildung 31: Vergleich der N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse (kg/ha) zwischen Cultandüngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsparzelle im Vegetationsverlauf

Durch die in Abbildung 29 dargestellte ermittelte Biomasse und den in Abbildung 30 darstellten ermittelten N-Gehalt lässt sich die N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse errechnen. Abbildung 31 zeigt die N-Aufnahme der simulierten Cultan-Variante sowie der mit Kalkammonsalpeter gedüngten Vergleichsvariante im Vegetationsverlauf. Zu EC 31 besteht zwischen den beiden Varianten bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=5\%$ ein signifikanter Unterschied. Der höhere N-Gehalt hat letztendlich zu einer signifikant höheren N-Aufnahme der simulierten Cultan-Variante geführt. Zu EC 39 besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Varianten. Die mit Kalkammonsalpeter gedüngte Vergleichsvariante hatte zwar einen signifikant höheren N-Gehalt (siehe Abbildung 30) jedoch war die oberirdische Biomasse der simulierten Cultan-Variante (siehe Abbildung 29) höher. Diese Tatsache führte zu keinem signifikanten Unterschied zwischen den beiden Varianten, obwohl die Vergleichsvariante im Durchschnitt 10 kg N/ha mehr aufgenommen hat. Zu EC 65 zeigt die Vergleichsvariante eine signifikant höhere N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse als die simulierte Cultan-Variante. Eine Gabenteilung (3 Düngergaben – 60 kg N/ha zu EC 25, 90 kg N/ha zu EC 31 und 30 kg N/ha zu EC 39) dürfte im Vegetationsverlauf zu höheren N-Aufnahmen der oberirdischen Biomasse geführt haben.

4.5 Vergleich der gedüngten N-Menge mit der aufgenommenen N-Menge und den N_{\min} -Werten im Boden im Vegetationsverlauf

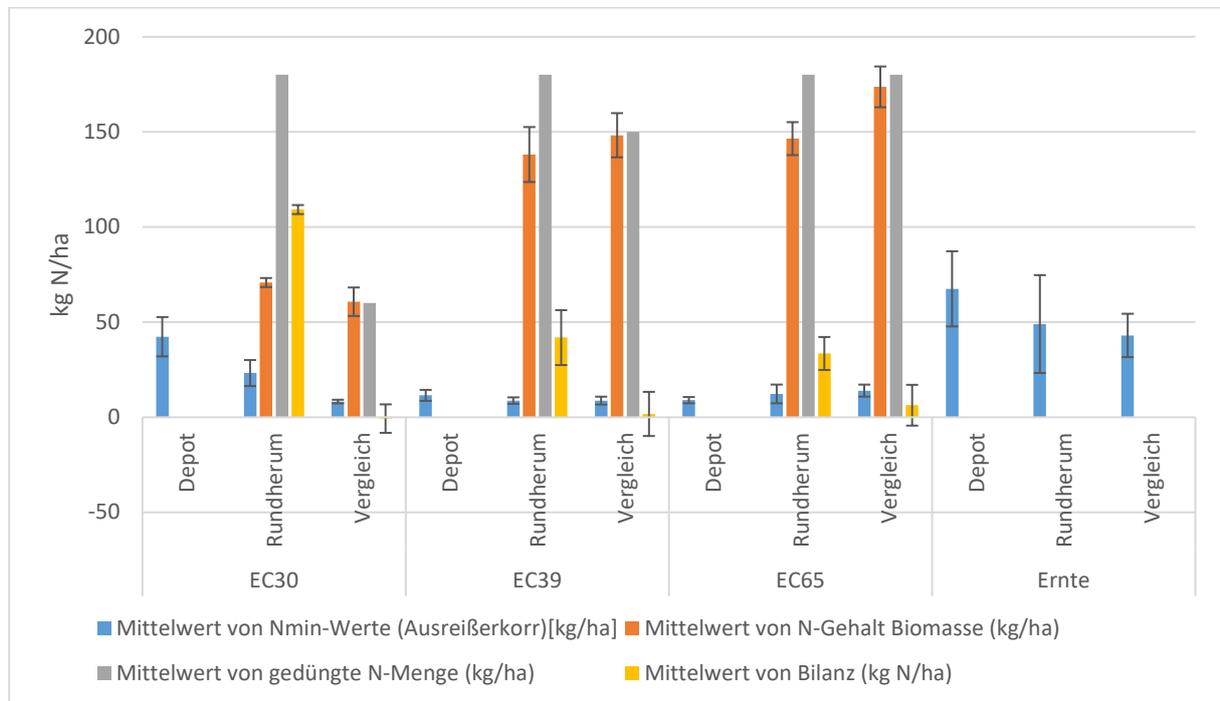


Abbildung 32: Vergleich der gedüngten N-Menge (kg/ha) mit der aufgenommenen N-Menge (kg/ha) der oberirdischen Biomasse und den N_{\min} -Werten (kg/ha) im Boden im Vegetationsverlauf

Abbildung 32 stellt N_{\min} , N-Gehalt der Biomasse, gedüngte N-Menge und die N-Bilanz im Vegetationsverlauf gegenüber. Beim „Depot“ wird nur der N_{\min} -Gehalt dargestellt. Die N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse und die aus der gedüngten N-Menge errechenbare N-Bilanz wird in der Abbildung 32 bei der Cultivariante den N_{\min} -Proben rund um das Depot („Rundherum“) zugeordnet. Der tatsächlich N_{\min} -Gehalt pro ha wäre eigentlich der Durchschnitt aus den N_{\min} -Werten des Depots und rund um das Depot („Rundherum“). Die N-Bilanz (berechnet aus der gedüngten Menge abzüglich der in der oberirdischen Biomasse befindlichen N-Menge) zeigt bei der simulierten Cultandüngung insbesondere zu EC 30 wesentlich höhere Werte, da bei der Cultandüngung keine Gabenteilung durchgeführt wurde. Der Unterschied zwischen der N-Bilanz und den N_{\min} -Werten im Boden kann durch folgende Ursachen begründet werden:

- N-Aufnahme der Wurzelbiomasse
- Ammoniumbindung am Austauscher
- Verluste (durch Auswaschung und Ausgasung)

Abbildung 33 stellt gesondert die N-Bilanzen (gedüngte N-Menge abzüglich der in der oberirdischen Biomasse aufgenommene N) der beiden Varianten im Vegetationsverlauf gegenüber. Während durch geteilte Düngung die N-Bilanz relativ ausgeglichen ist, zeigt sich bei hoher einmaliger Düngung insbesondere bis EC 30 eine stark positive Bilanz, welche mit zunehmender Vegetation natürlich geringer wird.

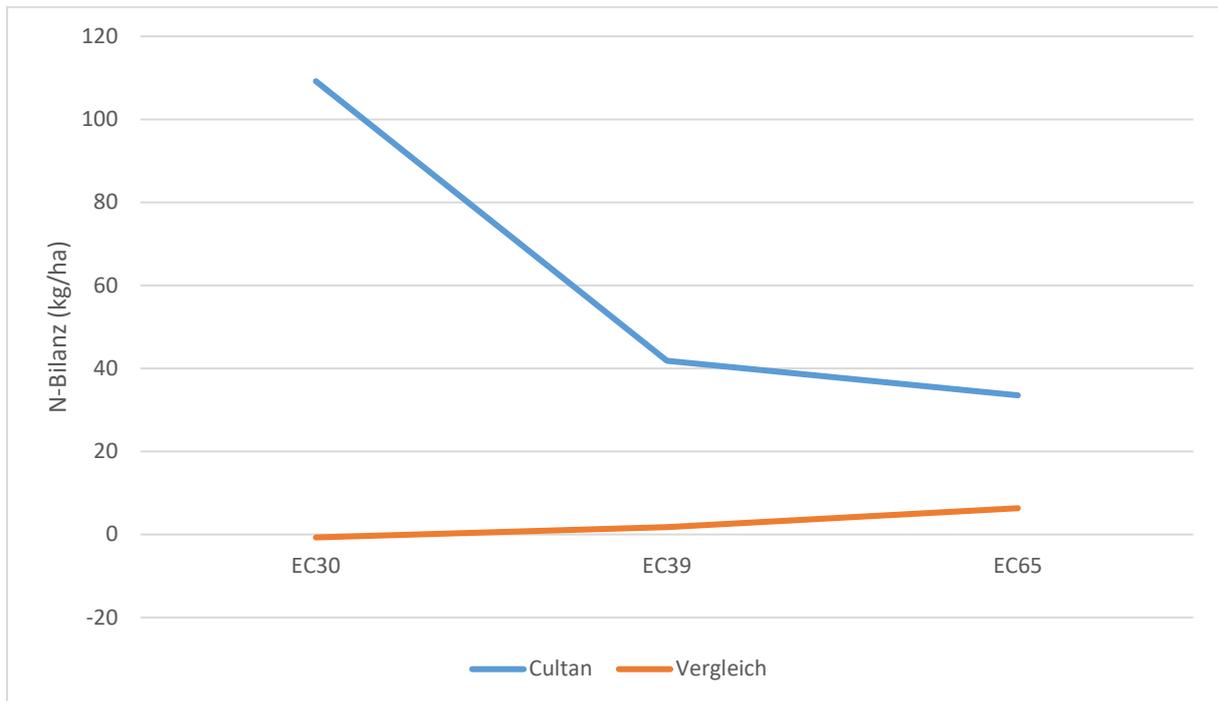


Abbildung 33: Vergleich der N-Bilanz in kg/ha zwischen der simulierten Cultan-Düngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsvariante im Vegetationsverlauf

4.6 NDVI-Verlauf über die Vegetationsperiode

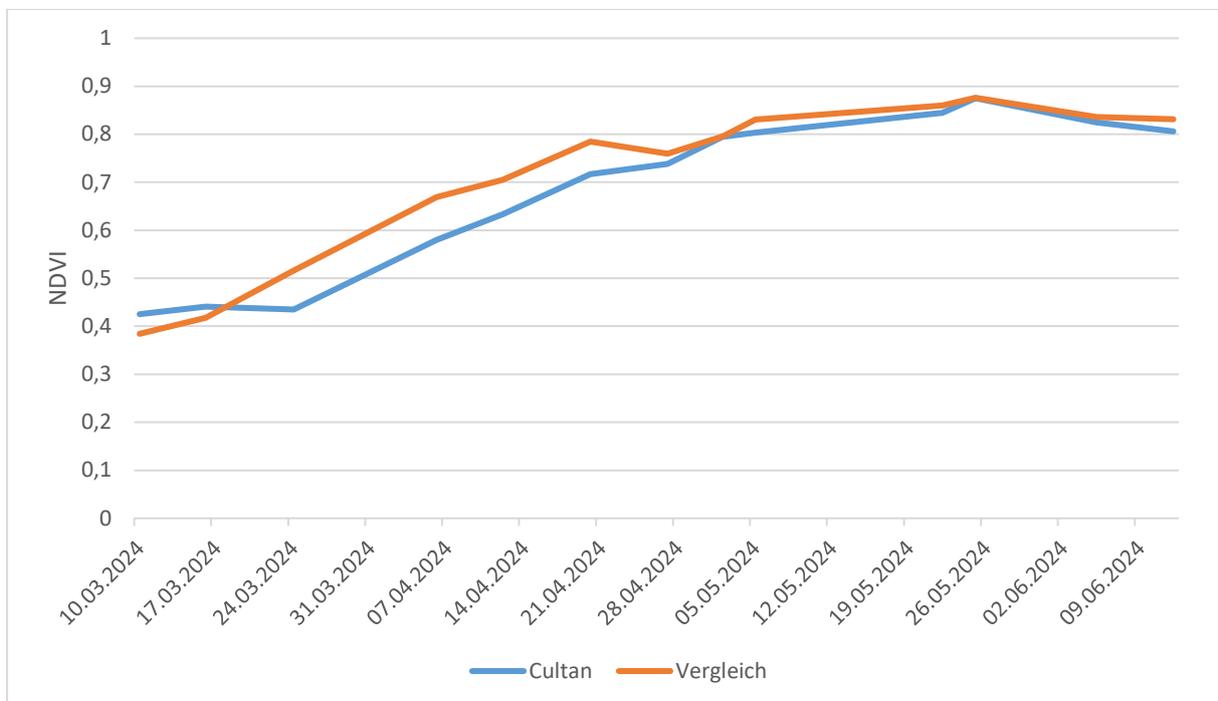


Abbildung 34: Vergleich der NDVI-Verläufe der simulierten Cultan-Düngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsvariante im Vegetationsverlauf

Vergleicht man die NDVI-Verläufe der in Abbildung 34 dargestellten Varianten, so zeigt sich bei der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsvariante ein zügiger NDVI-Anstieg im Frühjahr. Die Vergleichsvariante wurde am 03.03.2023 mit 60 kg N/ha und die Cultan-Variante am 20.03.2023 mit 180 kg N/ha (ASL) gedüngt. Bis zur Anschlussdüngung zeigt die Vergleichsvariante höhere NDVI-Werte als die Cultan-Variante. Ab Ende April zeigen die beiden Kurven einen ähnlichen Verlauf, wobei die Vergleichsvariante immer etwas höher liegt. Das bestätigt auch die N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse (siehe Kap. 4.4.).

5 SCHLUSSFOLGERUNG / ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend kann für das Versuchsjahr 2023 folgendes festgehalten werden:

- Die hohen N-Gaben über das Cultan-Verfahren zeigen erwartungsgemäß höhere N_{\min} -Werte.
- Vier Wochen nach der Applikation zeigen die N_{\min} -Werte der Cultan-Variante im Pool einen Nitratanteil von ca. 60% (ca. 25 kg Nitrat pro ha).
- Zum gleichen Zeitpunkt zeigt die mit Kalkammonsalpeter gedüngte Vergleichsvariante (geteilte Düngergaben 60 kg N/ha; 90 kg N/ha; 30 kg N/ha) mit 85% zwar höhere Nitratanteile, jedoch nur einen Gesamt- N_{\min} -Wert von 8 kg N/ha (d.h. einen Nitratgehalt von 6,8 kg N/ha).
- Aus den genannten Punkten lässt sich schließen, dass eine Gabenteilung zumindest bis Schossbeginn zu einem geringeren Risiko führt. Generell ist die N-Bilanz (gedüngte N-Menge abzüglich aufgenommener N-Menge) der mit Kalkammonsalpeter gedüngten Vergleichsvariante ausgeglichener.
- Zu EC 39 sind alle N_{\min} -Gehalte auf ähnlich niedrigem Niveau.
- Die N-Bilanz (gedüngte N-Menge abzüglich der aufgenommenen N-Menge) zu EC 39 ist bei der Cultan-Variante höher.
- Eine Ammoniumbindung am Austauscherelement wurde nicht untersucht, wäre aber für weitere Untersuchungen empfehlenswert, da möglicherweise Verlustquellen zum Teil ausgeschlossen werden könnten.
- Für eine höhere Ammoniumstabilität gibt es bisher keine Hinweise.

6 VERZEICHNISSE

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ammoniakverluste einiger Stickstoffdünger in Abhängigkeit vom pH-Wert in % der gedüngten Stickstoffmenge, 3-jährige Mittelwerte eines Gefäßversuches (Schilling 2000) nach GUTSER 1988)	5
Abbildung 2: Verlauf der N-Wiederfindung (Pflanze + N_{\min} im Boden) in Abhängigkeit von der Düngerapplikation (Blankenau 1997).....	6
Abbildung 3: Verlauf der NH_4^+ -N-Mengen in Abhängigkeit von Düngerapplikation (Blankenau 1997).....	6
Abbildung 4: Verlauf der N_{\min} -Gehalte in Abhängigkeit des N-Düngungsverfahrens bei Winterweizen und Körnermais. Durchschnitt aus je sechs Versuchen (Flisch, et al. 2013)....	7
Abbildung 5: Mittlere jährliche Nitrat-N-Auswaschung in Mais 2008 – 2010; Fehlerbalken: Standardfehler; keine signifikanten Unterschiede (Schwarz, et al. 2013).....	8
Abbildung 6: Winterweizen: Entwicklung der N_{\min} -Gehalte im Boden im Versuchszeitraum (2008/2009); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3.N-Gabe) (Farack und Albert, 2011)	9
Abbildung 7: Winterweizen: Entwicklung der N_{\min} -Gehalte im Boden im Versuchszeitraum (2009/2010); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3.N-Gabe) (Farack und Albert, 2011)	10
Abbildung 8: N_{\min} -Verlauf unterschiedlicher Düngestrategien bei Winterweizen bei einem N-Niveau von 240 kg N/ha (Prankl et al. 2022)	11
Abbildung 9: Nitratanteil der N_{\min} -Proben im Vegetationsverlauf der mit 240 kg N/ha versorgten Versuchsvarianten (Prankl et. al. 2022).....	12
Abbildung 10: Wurzelmorphologie von Kartoffel bei NH_4^+ - (links) und NO_3^- -Ernährung (rechts) und jeweils bei pH 7 (oben) und pH 4,5 (unten) in der Nährlösung (Walch-Liu und Engels 1997, Mokry 2015)	13
Abbildung 11: Wachstum von Spross und Wurzeln bei Mais in Boden-/Wasserkulturen in Abhängigkeit von der verfügbaren N-Form als Nitrat oder Ammonium als „CULTAN“ (Sommer 2003).....	14
Abbildung 12: Attraktion des Wurzelwachstums bei Mais durch „CULTAN“ (Sommer 2003) 14	
Abbildung 13: Einfluss unterschiedlicher N-Formen auf das Sprosswachstum und die Entwicklung von Sommergerste. Alle Pflanzen wurden nach 3 Tagen Vorkultur N für 40 Tage auf Nährlösung mit den angegebenen N-Konzentrationen weiterkultiviert (PPD ist ein Ureaseinhibitor) (Bauer 2014)	16
Abbildung 14: Empfehlungen zur Auswahl des Zeitpunktes und der N-Form eines beim Andüngen (N1), beim Nachdüngen (N2) und bei der Qualitätsgabe (N3) (Bauer 2014).....	18
Abbildung 15: Verlauf der Trockenmasseerträge (A) und der N-Aufnahme in Abhängigkeit von der Düngerapplikation (Blankenau 1997)	19

Abbildung 16: Anzahl an ährentragenden Halmen bei Düngung von Alzon neo (Harnstoff mit Urease- und Nitrifikationshemmer), Domamon (Ammoniumsulfat-Harnstofflösung über das Cultan-Verfahren) und NAC (Kalkammonsalpeter) mit Vario 23 N + 25 SO ₃ (Kalkammonsalpeter mit granuliertem Ammoniumsulfat) am Versuchsstandort Wieselburg; (Prankl 2021).....	22
Abbildung 17: Kornertrag und Rohproteingehalt bei Düngung von Alzon neo (Harnstoff mit Urease- und Nitrifikationshemmer), Domamon (Ammoniumsulfat-Harnstofflösung über das Cultan-Verfahren) und NAC (Kalkammonsalpeter) mit Vario 23 N + 25 SO ₃ (Kalkammonsalpeter mit granuliertem Ammoniumsulfat) am Versuchsstandort Wieselburg; (Prankl 2021).....	23
Abbildung 18: N-Bilanzdefizit und Nachernte-N _{min} bei Düngung von Alzon neo (Harnstoff mit Urease- und Nitrifikationshemmer), Domamon (Ammoniumsulfat-Harnstofflösung über das Cultan-Verfahren) und NAC (Kalkammonsalpeter) mit Vario 23 N + 25 SO ₃ (Kalkammonsalpeter mit granuliertem Ammoniumsulfat) am Versuchsstandort Wieselburg; (Prankl 2021).....	24
Abbildung 19: Winterweizenerträge und Rohproteingehalte von 5 Versuchsjahren am Standort Forchheim. Die gedüngten N-Mengen unterschieden sich nicht zwischen den Varianten (Farack und Albert, 2011).....	26
Abbildung 20: Winterweizenerträge und Rohproteingehalte unterschiedlicher Düngestrategien im Versuchsjahr 2020 (Gansberger 2020).....	26
Abbildung 21: Anzahl ährentragender Halme von Winterweizen bei unterschiedlichen Düngestrategien am Standort Wieselburg im Versuchsjahr 2020 (Gansberger 2020)	27
Abbildung 22: Körnermaisertrag (kg/ha) bei Cultan-Düngung (Ammoniumsulfat-Harnstoff-Lösung) im Vergleich zu einer NAC-Düngung und einer ungedüngten Kontrollvariante im niederösterreichischen Alpenvorland – Standort Wieselburg (Prankl et al. 2022)	28
Abbildung 23: Übersicht über verschiedene Bodenparameter: Kopienzahlen für Markergene von Pilzen (links oben), Bakterien (links Mitte), Ammonium-oxidierenden Bakterien (AOB, rechts Mitte), Ammonium-oxidierenden Archaeen (rechts unten) sowie dem Verhältnis von Pilzen zu Bakterien (links unten) sowie dem Boden pH-Werte (gemessen in CaCl ₂ ; rechts oben) (Bandian und Gorfer 2020).....	29
Abbildung 24: Versuchsstandorte	32
Abbildung 25: Niederschlags- und Temperaturverlauf (2023) im Vergleich zum langjährigen Mittel am Standort Wieselburg (Wasserstandsnachrichten Niederösterreich).....	33
Abbildung 26: Handinjektionsplot für die simulierte CULTAN-Injektion	34
Abbildung 27: Parzellenplan der Handinjektionsplots	35
Abbildung 28: Vergleich der N _{min} -Werte und der Nitratanteile zwischen Cultandüngung (Depot und rund um das Depot) und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsparzelle im Vegetationsverlauf.....	38
Abbildung 29: Vergleich der Biomasse (Trockenmasse) in kg/ha zwischen Cultandüngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsparzellen im Vegetationsverlauf...39	39

Abbildung 30: Vergleich des N-Gehaltes in % der Trockenmassen zwischen Cultandüngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsparzelle im Vegetationsverlauf	40
Abbildung 31: Vergleich der N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse (kg/ha) zwischen Cultandüngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsparzelle im Vegetationsverlauf.....	41
Abbildung 32: Vergleich der gedüngten N-Menge (kg/ha) mit der aufgenommenen N-Menge (kg/ha) der oberirdischen Biomasse und den N_{\min} -Werten (kg/ha) im Boden im Vegetationsverlauf.....	42
Abbildung 33: Vergleich der N-Bilanz in kg/ha zwischen der simulierten Cultan-Düngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsvariante im Vegetationsverlauf.....	43
Abbildung 34: Vergleich der NDVI-Verläufe der simulierten Cultan-Düngung und der mit Kalkammonsalpeter (NAC) gedüngten Vergleichsvariante im Vegetationsverlauf	43

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Variantenübersicht: Injektionsdüngung bei Wintergetreide (Farack und Albert, 2011)	8
Tabelle 2: N-Wiederauffindung in der Pflanze und ausgesuchten Bodenfraktionen in Abhängigkeit von der Düngerapplikation (Angaben in % der applizierten Menge) (Blankenau 1997)	19
Tabelle 3: Durchschnittserträge bei Winterweizen und Wintergerste in einer Fruchtfolge mit Zuckerrüben, 1986 bis 1991 (Sommer 2003)	25
Tabelle 4: Sortenbeschreibung der Sorte SU Habanero (AGES 2023)	31
Tabelle 5: Maßnahmen WW-Versuchsfeld Wieselburg 2023	33

7 LITERATURVERZEICHNIS

- AGES. *Bschreibende Sortenliste 2023 Landwirtschaftliche Pflanzenarten*. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2023.
- Albert, E., W. Schliephake, und M. Grunert. *Ergebnisse zur N-Düngung mit dem CULTAN-Verfahren auf verschiedenen sächsischen Standorten*. Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzenbestände unter den Bedingungen der Klimaerwärmung: Beitrag zur Internationale wissenschaftliche Konferenz, Bernburg-Strenzfeld, 2012.
- Bandian, Dragana, und Markus Gorfer. *Mikrobiomuntersuchungen zu einem Depotdüngerversuch*. Bericht, Tulln: AIT Austrian Institute of Technology GmbH, 2020.
- Bauer, B. *Wirkung unterschiedlicher Stickstoff-Formen auf die Bestockung, den Cytokinintransport im Xylem, die Triebreduktion und die Kornqualität in Sommergerste und Winterweizen*. Naturwissenschaftliche Fakultät III Agrar- und Ernährungswissenschaften, Geowissenschaften und Informatik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2014.
- Blankenau, K. *N-Umsatz im Boden während der Entwicklung von Mais in einem Gefäßversuch: Einfluss der Platzierung von N-markiertem Ammoniumsulfat*. Dülmen, Deutschland: Hydro Agri, Institut für Pflanzenernährung und Umweltforschung Hanninghof, 1997.
- Edelbauer, A. *Studienbehelf Pflanzenernährung*. Universität für Bodenkultur Wien, 2003.
- Esch, A, und H. Kosegarten. „Einfluss von Ammonium, Nitrat und Bicarbonat auf den pH im Wurzelapoplasten von *Zea mays* L.“ In *Pflanzenernährung, Wurzelleistung und Exsudation*, 87-94. Leipzig: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart, 1998.
- Flisch, René, Urs Zihlmann, Peter Briner, und Walter Richner. *Das CULTAN-Verfahren im Eignungstest für den schweizerischen Ackerbau*. Reckenholz-Tänikon: Forschungsanstalt Agroscope, 2013.
- Gansberger, Krippel, Prankl. *Bewertung der Wirkung des CULTAN-Düngerverfahrens*. St. Pölten: Boden.Leben, 2020.
- Haunz, F. X., Franz-Xaver Maidl, und Gerhard Fischbeck. „Auswirkungen von Bodenverdichtungen auf die Dynamik von Boden- und Düngerstickstoff unter Winterweizen.“ *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciencz*, 1992.
- Mengel. „Placement of nitrogen fertilizers for no till and conventional till corn.“ 1995.
- Mokry, M. *Welche Chancen und Risiken bietet eine (UF-) Depotdüngung mit Mineraldünger bzw. flüssigem Wirtschaftsdünger im Maisanbau*. Karlsruhe: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, 2015.
- Prankl P., Geyer S., Wilhelm A., Kastenbuber M., Gansberger M. *Bewertung des Cultanverfahrens 2022*. Verein Boden.Leben, 2023.
- Prankl, Gansberger, Datzberger. *Bewertung der Wirkung des Cultan-Düngerverfahrens Versuchsjahr 2021*. St. Pölten: Boden.Leben, 2021.

- Ruser R., Pfab H., Palmer I., Schulz R., Müller T., Fiedler S. *Verminderung direkter und indirekter N₂O Emissionen und NO₃-Verluste durch gezieltes Bewirtschaftungsmanagement im intensiven Feldgemüsebau*. Abschlussbericht, Hohenheim, Jülich: Universität Hohenheim - Institut für Pflanzenernährung und Institut für Bodenkunde und Standortlehre; Forschungszentrum Jülich GmbH, 2011.
- Schilling, Günther. *Pflanzenernährung und Düngung*. Stuttgart: UTB, 2000.
- Schwarz, Andreas, Wolf-Anno Bischoff, Jürgen Maier, und Karl Müller-Sämann. *CULTAN-Düngung und Grundwasserschutz - Kann die Nitratauswaschung durch CULTAN-Düngung reduziert werden?* Rostock: Tagungsbeitrag, Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 2013.
- Sommer, K. *Anbauverfahren mit N-Injektion (Cultan) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen*. 2003.
- Walch-Liu, P., und C. Engels. „Pflanzenartenunterschiede im Wurzelwachstum bei verschiedener N-Ernährung: N-Form-Effekt und/oder pH-Effekt?“ In *Pflanzenernährung, Wurzeleistung und Exsudation*, 73-79. Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart, 1997.
- Walter, Ernst E. „Die CULTANdüngung - Eine weitere Maßnahme zur Grundwassersanierung der Wasserversorgung Grünbachgruppe - Mehrjährige Erfahrungen.“ 2003.
- Wetselaar. „Consequences of banding nitrogen fertilizers in soil.“ 1972.
- WIESLER. „Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*.“ 1997.

INHALTSVERZEICHNIS (TEIL 2, DIREKTSAAAT BEI ZUCKERRÜBE UND WINTERWEIZEN IM NIEDERÖSTERREICHISCHEN ALPENVORLAND)

1	Einleitung	3
2	Material und Methoden.....	4
2.1	Material.....	4
2.1.1	Sorte Winterweizen	4
2.1.2	Sorte Zuckerrübe	4
2.1.3	Düngemittel.....	4
2.1.4	DJI P4 Multispectral	4
2.1.5	Sätechnik Winterweizen	4
2.1.6	Sätechnik Zuckerrübe	5
2.1.7	Versuchsstandort	5
2.2	Methoden	6
2.2.1	Versuchsablauf Direktsaatversuch Winterweizen	6
2.2.2	Varianten Direktsaat Winterweizen	7
2.2.3	Versuchsablauf Direktsaatversuch Zuckerrübe	7
2.2.4	Versuchsablauf C/N-Versuch Zuckerrübe	8
2.2.5	Varianten Zuckerrübe.....	9
2.3	Durchgeführte Erhebungen.....	10
2.3.1	Ermittlung des Kornertrages (Winterweizen)	10
2.3.2	Ermittlung des Rohproteingehaltes (Winterweizen).....	10
2.3.3	Berechnung der N-Aufnahme (Winterweizen)	10
2.3.4	Ermittlung des mineralisierten Stickstoffs (N _{min})	10
2.3.5	Ermittlung des Zuckerrübenertrages	10
2.3.6	Ermittlung der Blattmasse	10
2.3.7	Bestimmung der inneren Qualität und des bereinigten Zuckerertrages	10
2.3.8	Ermittlung der Blatttrockenmasse (Zuckerrübe)	11
2.3.9	Ermittlung des C- und N-Gehaltes der Zuckerrübenblattmasse.....	11
2.3.10	Ermittlung des NDVI.....	11
3	Ergebnisse und Interpretation	13

3.1	Winterweizen	13
3.1.1	Ernteergebnisse der Direktsaat bei Winterweichweizen	14
3.1.2	Vergleich der Ernteergebnisse zwischen den Direktsaat-Varianten und der Varianten mit Grundbodenbearbeitung	15
3.1.3	Vergleich des N-Entzuges zwischen den Direktsaat-Varianten und den Varianten mit Grundbodenbearbeitung	16
3.1.4	Vergleich der N-Bilanz zwischen den Direktsaat-Varianten und den Varianten mit Grundbodenbearbeitung	17
3.1.5	Vergleich der N _{min} -Werte der Direktsaat-Varianten und den Varianten mit Grundbodenbearbeitung bei der N-Stufe 180 kg N/ha	18
3.2	Zuckerrübe	19
3.2.1	Ernteergebnisse der Direktsaat bei Zuckerrüben	19
3.2.2	Vergleich der Ernteergebnisse zwischen den Direktsaat-Varianten und den Varianten mit Grundbodenbearbeitung	20
	21	
3.2.3	Ernteergebnisse der Varianten mit Bodenbearbeitung	21
3.2.4	Zuckergehalt und Alpha Amino N – Gehalt der Varianten mit Bodenbearbeitung	22
3.2.5	Blattmasse und N-Gehalt der Varianten mit Bodenbearbeitung	23
3.2.6	N-Aufnahme des Rübenblattes zur Ernte	24
3.2.7	Korrelation der N-Aufnahme im Blatt zur Ernte und dem NDVI im zeitlichen Verlauf	25
4	Verzeichnisse	31
4.1	Abbildungsverzeichnis	31
4.2	Tabellenverzeichnis	33

1 EINLEITUNG

Josephinum Research (JR) beschäftigt sich intensiv mit der Erfassung der Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik im Boden und in Pflanzen über eine definierte Fruchtfolge hinweg, um eine nachhaltige Pflanzenernährung zu gewährleisten und damit einen Beitrag zu den Zielen des europäischen Green Deals zu leisten. Unter österreichischen Bedingungen sind Feldversuche angelegt, die mithilfe modernster Infrastruktur sowohl das Pflanzenwachstum als auch potenzielle Verluste erfassen und hochwertige Datensätze liefern. Diese Daten bilden die Basis für Modelle, die die C- und N-Dynamik mithilfe von Fernerkundungsdaten und anderen spezifischen Informationen (z. B. Betriebsmanagementdaten, Wetterdaten, Bodenbeschaffenheit) weitgehend automatisiert darstellen. Das Endziel sind standortspezifische, effiziente Düngemodelle, die nahtlos in betriebliche Prozesse integriert werden können und so eine klimaoptimierte Düngung ermöglichen.

In Zusammenarbeit mit dem Verein „Boden.Leben“ soll in den oben genannten Versuchen auch die Komponente „Bodenbearbeitung“ integriert werden. So wurde im Jahr 2023 erstmals, zusätzlich zu den vierfach wiederholten N-Steigerungsversuchen mit unterschiedlichen Kohlenstoffinputs (N-Steigerung mit und ohne Ernterückstände bzw. mit und ohne Zwischenfrucht), Streifenversuche mit den gleichen Varianten, jedoch unter dem Aspekt der reduzierten Bodenbearbeitung (weitgehend Direktsaat) angelegt. Diese Versuche sollen mehrjährig über eine definierte Fruchtfolge (Winterweizen-Mais-Wintergerste-Zuckerrübe) hinweg durchgeführt werden. Ziel ist, über die Jahre sowohl eine ökologische als auch eine ökonomische Datenbasis zu liefern.

Im folgenden Bericht werden die ersten Versuchsergebnisse (Ertragsergebnisse) zu Winterweizen und Zuckerrübe dargestellt. Eine Auswertung der unterschiedlichen Varianten mit unterschiedlichen C-Inputs ist bei den Versuchsdaten 2023 noch nicht möglich, da sich diese Varianten erst ab dem Jahr 2024 ergeben!

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Material

2.1.1 Sorte Winterweizen

Verwendet wurde die Mahlweizensorte SU Habanero. Ein mittellanger Kompensationstyp mit guter Standfestigkeit. Tabelle 1 zeigt die Sortenbeschreibung nach der österreichischen beschreibenden Sortenliste 2023.

Mahlweizen																							
Sorte	Anmerkungen	Züchterland	Zulassungsjahr	Grannen-/ Kolbenweizen	Auswinterung (Frost 1)	Ährenschieben	Reifezeit (Gelbreife)	Wuchshöhe	Lager	Auswuchs	Mehltau	Braunrost	Gelbrost 9)	Schwarzrost	Blattseptoria (Sept. nodorum)	Septoria tritici-Blattdürre	DTR-Blattdürre	Ährenfusarium	Korntrag - Trockengebiet	Korntrag - Feuchtgebiet	N-Effizienz - Trockengebiet 2)	N-Effizienz - Feuchtgebiet 2)	Vorwiegender Anbau, Eignung 3)
SU Habanero		D	2021	K	-	7	6	4	3	5	4	5	4	2	4	4	4	4	8	9	6	7	F(T)

Tabelle 1: Sortenbeschreibung der Sorte SU Habanero (AGES 2023)

2.1.2 Sorte Zuckerrübe

Verwendet wurde die Sorte Smart Belamia. Also eine Sorte mit der Conviso-Smart-Technologie. Smart-Rüben besitzen eine Wirkortresistenz gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe.

2.1.3 Düngemittel

Die N-Düngung wurde mit Kalkammonsalpeter (NAC 27 N) durchgeführt.

NAC 27 N:

- N-Gehalt: 27%
 - Ammonium: 13,5%
 - Nitrat: 13,5%
- Kalk (CaO) 12,5%

2.1.4 DJI P4 Multispectral

Multispektrale Bestandesaufnahmen wurden mit einer DJI P4 Multispectral durchgeführt. Die Spektralkamera mit fünf Kanälen (blau, grün, rot, Red Edge und Nahinfrarot) + RGB-Kamera liefert die notwendigen Reflexionsdaten zur Berechnung unterschiedlicher Vegetationsindizes wie den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

2.1.5 Sätechnik Winterweizen

Der Winterweizen wurde mit einer Väderstad Rapid 300 C gesät, wobei mit dieser eine reine Direktsaat durchgeführt wurde (kein Scheibeneggeinsatz).

2.1.6 Sätechnik Zuckerrübe

Die Zuckerrübe wurde mit einer 6 reihigen Väderstad Tempo gesät.

2.1.7 Versuchsstandort

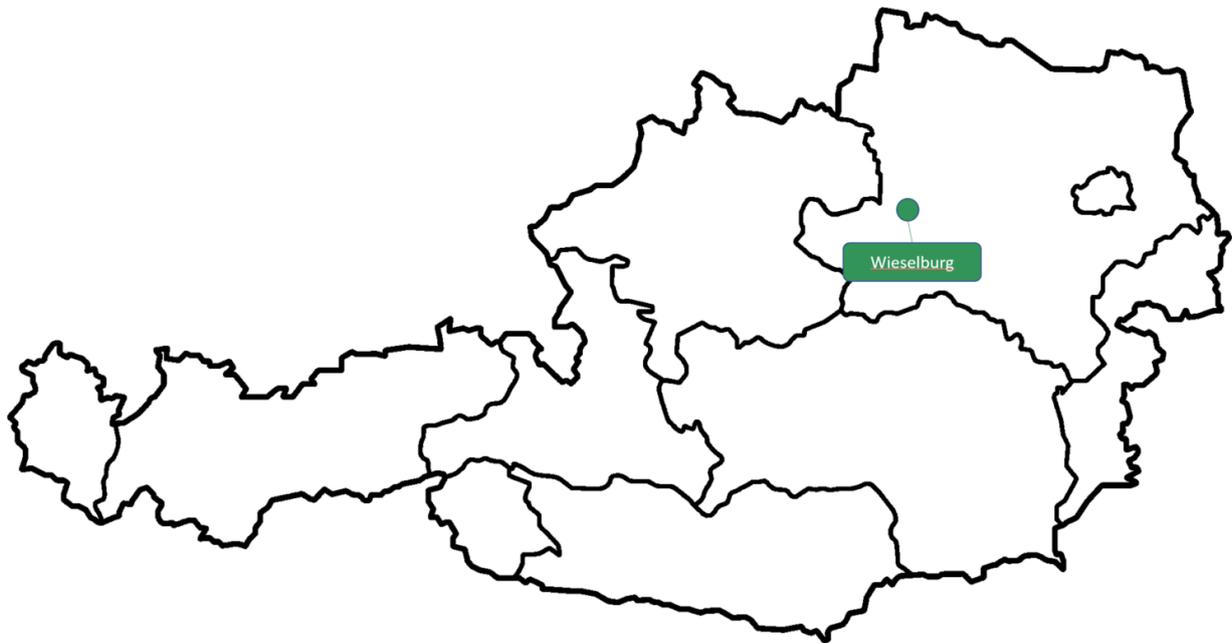


Abbildung 1: Versuchsstandorte

Die Versuche wurde im niederösterreichischen Alpenvorland in Wieselburg durchgeführt.

Standortbeschreibung

Der Versuchsstandort Wieselburg liegt aus geografischer Sicht im niederösterreichischen Alpenvorland. Die Versuchsflächen liegen an den Koordinaten „48.132617, 15.119692“; „48.132789, 15.117053“; „48.133412, 15.117579“; „48.134071, 15.110080“.

Die Bodentypen auf unserer Versuchsfläche ergeben sich aus der Parabraunerde und Braunerde. Die hauptsächliche Bodenart ist Schluff und der Anteil von Humus ist schwach- bis mittelhumos. Mit Mull als Humusart wird die Versuchsfläche als sehr ertragreich eingestuft. Der Boden ist tiefgründig und hat wechselfeuchte bis gut versorgte Wasserverhältnisse. Mit 9,6 °C durchschnittlicher Jahrestemperatur ist das Klima in Wieselburg gemäßigt warm. Wobei der Juli mit einem Mittel von 18,9 °C der wärmste Monat und der Jänner mit einem Schnitt von -1,6 °C der kälteste Monat ist. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt in Wieselburg 1007 mm. Hier fällt mit durchschnittlich 105 mm der meiste Niederschlag im Juni, und mit einem Schnitt von knapp 60 mm der wenigste Niederschlag im Jänner.

Witterungsverlauf

Die Witterung 2023 zeichnete sich durch einen milden Winter mit durchschnittlichen Niederschlagsmengen von November 2022 bis Februar 2023 aus. Nach einem vergleichsweise trockenen März folgten sehr hohe Niederschlagsmengen im April und Mai, mit

teils intensiven Starkregenereignissen. Was dazu führte, dass die Kultur Zuckerrübe ein zweites Mal ausgesät werden musste. Daraufhin folgte eine Trockenphase im Juni und Juli, welche im August durch mehrere Niederschläge unterbrochen wurde. Der September und Oktober waren, wie in Abbildung 2 ersichtlich, überdurchschnittlich warm und trocken bis ein Wetterumschwung im November und Dezember massive Niederschläge nach sich zog.

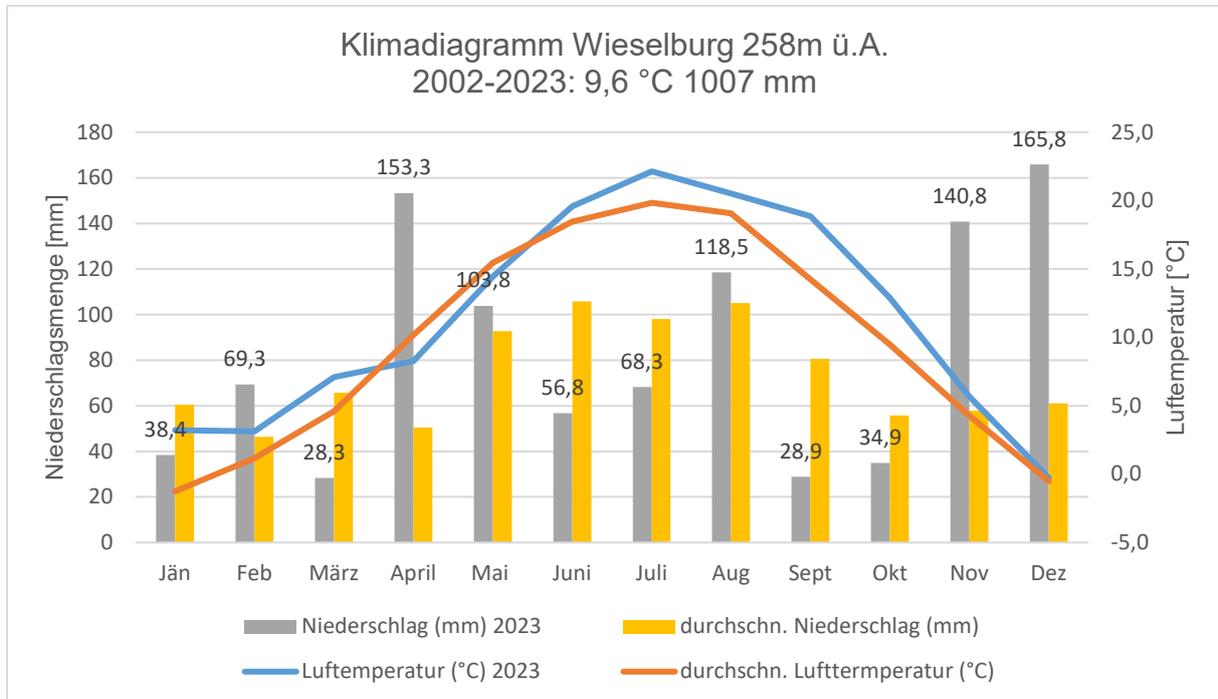


Abbildung 2: Niederschlags- und Temperaturverlauf (2023) im Vergleich zum langjährigen Mittel am Standort Wieselburg (Wasserstandsnachrichten Niederösterreich)

2.2 Methoden

2.2.1 Versuchsablauf Direktsaatversuch Winterweizen

Die nachfolgende Tabelle zeigt alle relevanten Maßnahmen und Betriebsmittelmengen des Versuches.

Tabelle 2: Maßnahmen Direktsaatversuch Winterweizen Wieselburg 2023

Datum	Maßnahme	Aufwandsmenge
05.10.2022	Pflanzenschutz (Roundup PowerFlex, 3437/0)	3,00 l/ha
11.10.2022	Aussaat (SU Habanero)	320 Kö./m ²
19.10.2022	Pflanzenschutz (Pontos, 3797/0)	1,00 l/ha
03.03.2023	1. Düngung (NAC)	siehe Versuchsvarianten
22.04.2023	Pflanzenschutz (Medax Top, 3257/0)	0,50 l/ha

27.04.2023	2. Düngung (NAC)	siehe Versuchsvarianten
05.05.2023	Pflanzenschutz (Verben, 4329/0)	0,80 l/ha
22.05.2023	Pflanzenschutz (Revytrex, 4217/0)	1,25 l/ha
24.05.2023	3. Düngung (NAC)	siehe Versuchsvarianten
30.05.2023	Pflanzenschutz (Cymbigon forte, 3998/0)	0,05 l/ha
12.06.2023	Pflanzenschutz (Prosaro, 3054/0)	0,85 l/ha
19.07.2023	Ernte	

2.2.2 Varianten Direktsaat Winterweizen

Nachfolgende Tabelle zeigt die Düngevarianten des Direktsaatversuches Winterweizen.

Tabelle 3: Varianten Direktsaatversuch Winterweizen

Variante	1. Düngergabe [kg N/ha]	2. Düngergabe [kg N/ha]	3. Düngergabe [kg N/ha]	Gesamt
1	0	0	0	0
2	60	30	0	90
3	60	60	0	120
4	60	60	30	150
5	90	60	30	180
6	60	90	30	180
7	30	90	60	180
8	60	90	60	210
9	60	90	90	240
10	90	90	90	270

2.2.3 Versuchsablauf Direktsaatversuch Zuckerrübe

Die nachfolgende Tabelle zeigt alle relevanten Maßnahmen und Betriebsmittelmengen des Versuches.

Tabelle 4: Maßnahmen Direktsaatversuch Zuckerrübe Wieselburg 2023

Datum	Maßnahme	Aufwandsmenge
13.10.2022	Bodenbearbeitung (Grubber)	
14.10.2022	Aussaat Zwischenfrucht (Grünschnittroggen)	98,00 kg/ha
07.04.2023	Aussaat (Smart Belamia)	100.000 Kö./ha

07.04.2023	Pflanzenschutz (Roundup PowerFlex, 3437/0)	1,50 l/ha
09.05.2023	Aussaat (Smart Belamia) – Neuanlage aufgrund der Witterung	100.000 Kö./ha
31.05.2023	Pflanzenschutz (Conviso One, 4004/0)	0,50 l/ha
09.06.2023	1. Düngung (NAC)	
13.06.2023	Pflanzenschutz (Conviso One, 4004/0)	0,50 l/ha
19.06.2023	2. Düngung (NAC)	
28.06.2023	Pflanzenschutz (Supremo L 150 Bor)	3,00 l/ha
11.08.2023	Pflanzenschutz (Kupfer 380 RK, 3034/5) (Revyona, 4287/0)	1,50 l/ha 1,50 l/ha
30.09.2023	Ernte	

2.2.4 Versuchsablauf C/N-Versuch Zuckerrübe

Die nachfolgende Tabelle zeigt alle relevanten Maßnahmen und Betriebsmittelmengen des Versuches.

Tabelle 5: Maßnahmen C/N-Versuch Zuckerrübe Wieselburg 2023

Datum	Maßnahme	Aufwandsmenge
13.10.2022	Bodenbearbeitung (Grubber)	
14.10.2022	Aussaat Zwischenfrucht (Grünschnittroggen)	98,00 kg/ha
06.04.2023	Bodenbearbeitung (Kompactomat) (2 Überfahrten)	
07.04.2023	Aussaat (Smart Belamia)	100.000 Kö./ha
07.04.2023	Pflanzenschutz (Roundup PowerFlex, 3437/0)	1,50 l/ha
09.05.2023	Aussaat (Smart Belamia)	100.000 Kö./ha
31.05.2023	Pflanzenschutz (Conviso One, 4004/0)	0,50 l/ha
09.06.2023	1. Düngung NAC	
13.06.2023	Pflanzenschutz (Conviso One, 4004/0)	0,50 l/ha
19.06.2023	2. Düngung NAC	
28.06.2023	Pflanzenschutz (Supremo L 150 Bor)	3,00 l/ha

11.08.2023	Pflanzenschutz (Kupfer 380 RK, 3034/5) (Revyona, 4287/0)	1,50 l/ha 1,50 l/ha
30.09.2023	Ernte	

2.2.5 Varianten Zuckerrübe

Variante	1. Düngergabe [kg N/ha]	2. Düngergabe [kg N/ha]	Gesamt
1	0	0	0
2	40	0	40
3	0	40	40
4	80	0	80
5	40	40	80
6	0	80	80
7	80	40	120
8	40	80	120
9	80	80	160
10	100	100	200

2.3 Durchgeführte Erhebungen

2.3.1 Ermittlung des Kornertrages (Winterweizen)

Alle Parzellen wurden mit einem Parzellenmähdrescher beerntet. Die Einzelparzellenerträge aller Standorte wurden exakt verwogen und das Erntegut im Anschluss auf Qualitätsparameter untersucht.

2.3.2 Ermittlung des Rohproteingehaltes (Winterweizen)

Der Rohproteingehalt der einzelnen Varianten wurde mit einem NIR Analysegerät bestimmt. Hierbei werden pro Messung 1500 Einzelscans durchgeführt und das Ergebnis der Probe berechnet.

2.3.3 Berechnung der N-Aufnahme (Winterweizen)

Zur Berechnung der N-Aufnahme auf Basis des Kornertrages wurde der Rohproteingehalt im Korn durch den Stickstofffaktor, bei Weizen 5,7 geteilt und mit dem Ertrag multipliziert.

2.3.4 Ermittlung des mineralisierten Stickstoffs (N_{\min})

Zu vier verschiedenen Zeitpunkten (EC 30, EC 39, EC 65, nach der Ernte) wurden N_{\min} -Proben (0 bis 60 cm) anhand eines Bohrstockes entnommen. Die Proben wurden unmittelbar gekühlt und anschließend gefroren. Die N_{\min} -Bestimmung wurde nach ÖNORM L 1091 von der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft (BAW) bzw. der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) durchgeführt.

2.3.5 Ermittlung des Zuckerrübenenertrages

Die Ertragsermittlung im C/N-Versuch erfolgte per Handernte. Die Rüben wurden dabei mit einem Rübenstecher gerodet und anschließend mit der Sichel minimal geköpft. Danach wurden sie in Big Bags ins Rübenlabor der Zuckerfabrik Leopoldsdorf im Marchfeld transportiert, wo sie nach einer Rübenwäsche gewogen wurden.

Im Direktsaatversuch erfolgte die Versuchsernte hingegen maschinell mit dem Ropa Tiger 6. Die Verwiegung erfolgte am Feldrand mittels Radlastwaagen.

2.3.6 Ermittlung der Blattmasse

Die Blattmasse wurde während der Ernte bestimmt, indem die Rüben zunächst mit der Sichel minimal geköpft und die abgeschnittenen Blätter anschließend gewogen wurden.

2.3.7 Bestimmung der inneren Qualität und des bereinigten Zuckerertrages

Im Rübenlabor wurde folgend der Zuckergehalt (%) polarimetrisch, der Gehalt an Kalium und Natrium mittels Flammenphotometer sowie der Alpha-Amino-Stickstoff (AAN) (alle Angaben in mmol/1000 g Rübe) colorimetrisch bestimmt. Die Werte können in Relation zum Zuckergehalt gesetzt und in mmol/100 °S (mmol/1000 g Rübe*100/PoI) angegeben werden (KZ, NaZ, AANZ). Diese Parameter wurden wie folgend beschrieben zur Berechnung der inneren Qualität der Rübe herangezogen. Neben dem Standardmelasseverlust, dem

bereinigten Zuckergehalt und dem bereinigten Zuckerertrag wurde der Dicksaftquotient berechnet.

Ausgangsparameter

- Rübenertrag (RE): Rübengewicht/Parzellenfläche in m² * 10 = t/ha
- Zuckergehalt (Pol): %
- Kalium (K^R) und Natrium (Na^R): mmol/1000 g Rübe
- Alpha-Amino-Stickstoff (AAN^R): mmol/1000 g Rübe

Nach Braunschweiger Formel (Buchholz et al. 1995) erfolgte anschließend die Berechnung folgender Zusatzparameter:

- Standardmelasseverlust (SMV): % auf Rübe

$$\text{SMV} = 0,012 * (\text{K}^{\text{R}} + \text{Na}^{\text{R}}) + 0,024 * \text{AAN}^{\text{R}} + 0,48$$

- Bereinigter Zuckergehalt (BZG): %

$$\text{BZG} = \text{Pol} - \text{SMV} - 0,6$$

- Bereinigter Zuckerertrag (BZE): t/ha

$$\text{BZE} = \text{RE} * \text{BZG}/100$$

2.3.8 Ermittlung der Blatttrockenmasse (Zuckerrübe)

Von der unter 2.3.6 beschriebenen Biomasseerhebung wurde eine Teilprobe zur Ermittlung des Trockenmassegehaltes entnommen. Die Probe wurde bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend der prozentuelle Wassergehalt ermittelt.

2.3.9 Ermittlung des C- und N-Gehaltes der Zuckerrübenblattmasse

Die unter 2.3.10 bestimmten Trockenmassen wurden einer Elementaranalyse zur Bestimmung des C- und N-Gehaltes unterzogen. Die Analysen wurden nach ÖNORM L 1080 und L 16168 durchgeführt.

2.3.10 Ermittlung des NDVI

Die Versuche wurden laufend mit einer DJI P4 Multispectral Drohne befliegen. Die aufgebaute Kamera erfasst neben dem sichtbaren Lichtbereich (RGB) gesondert folgende Wellenlängen:

- Blau (B): 450 nm (+/- 16 nm)
- Grün (G): 560 nm (+/- 16 nm)
- Rot (R): 650 nm (+/- 16 nm)
- Red Edge (RE): 730 nm (+/- 16 nm)
- Nahinfrarot (NIR): 840 nm (+/- 16 nm)

Die Basisdaten der Überflüge wurden einem „Stitching“ (Einzelaufnahmen werden zu einer Gesamtaufnahme zusammengefügt) und einer Georeferenzierung (mittels aufgestellter Ground Control Points) unterzogen.

Der NDVI wurde auf Basis nachfolgender Formel berechnet:

$$NDVI = \frac{NIR - Rot}{NIR + Rot}$$

3 ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

Wie in der Einleitung bereits beschrieben, soll in den Versuchen zur Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik im Boden und in Pflanzen (kurz C/N-Versuche) die Komponente „Bodenbearbeitung“ integriert werden. Wobei die Versuche mit reduzierter Bodenbearbeitung (weitgehend Direktsaat) als Streifenversuche ausgeführt werden. Es laufen also zwei idente Fruchtfolgen (Winterweizen -(mit und ohne Zwischenfrucht)- Körner-/Silomais – Wintergerste -(mit und ohne Zwischenfrucht)- Zuckerrübe) auf einem Versuchsbetrieb ab, wobei eine Fruchtfolge mit reduzierter Bodenbearbeitung (weitgehend Direktsaat) durchgeführt wird. Innerhalb eines jeden Fruchtfolgliedes werden unterschiedliche N-Stufen angelegt, wobei jede N-Stufe zusätzlich unterschiedliche C-Inputs erhält (mit und ohne Zwischenfrucht sowie mit und ohne Ernterückstände).

Das vorliegende Versuchsschema wurde 2023 zum ersten Mal umgesetzt. Daher konnten die Faktoren Zwischenfrucht und Ernterückstände noch nicht berücksichtigt werden. Bei der Kultur Zuckerrübe werden zusätzlich die Ergebnisse der Varianten mit Bodenbearbeitung dargestellt. Die niedrigen Erträge der Kultur Zuckerrübe sind auf die verhältnismäßig kurze Vegetationsdauer zurückzuführen. Aufgrund der Witterung (Starkniederschläge unmittelbar nach der Saat) musste die Kultur ein zweites Mal angelegt werden. Die Erstaussaat erfolgte am 07.04.2023 die zweite Aussaat erfolgte am 09.05.2023. Die Ernte war am 30.09.2023 was einer Vegetationsdauer von 143 Tagen entspricht.

3.1 Winterweizen

Wie bereits beschrieben, werden die Versuche einerseits mit herkömmlicher Bodenbearbeitung auf Krumentiefe sowie andererseits in Direktsaat angelegt. Die dargestellten Ergebnisse konzentrieren sich auf den Vergleich der beiden Bodenbearbeitungsvarianten.

3.1.1 Ernteergebnisse der Direktsaat bei Winterweichweizen

Abbildung 3 zeigt die Ertragsergebnisse des Direktsaatversuches. Der Direktsaatversuch wurde als nicht wiederholter Streifenversuch angelegt. Aufgrund des Ertragsverlaufes der dargestellten Varianten ist anzunehmen, dass die Variante 8 ein Ausreißer ist.

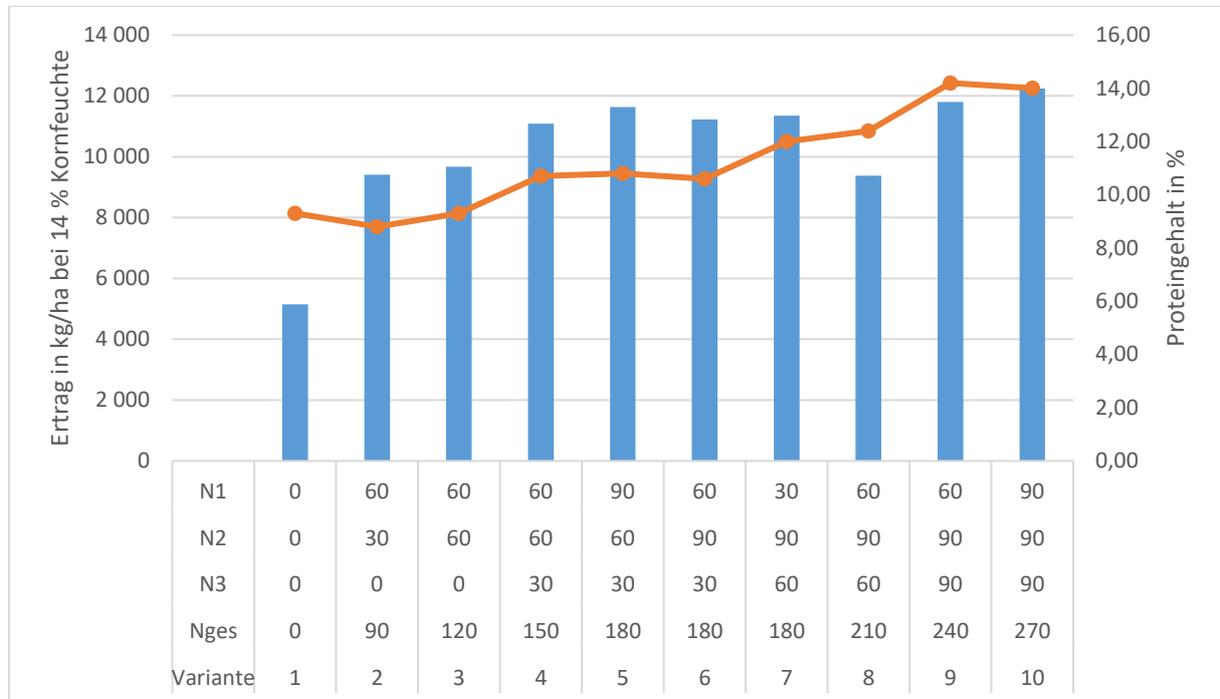


Abbildung 3: Winterweizenertrag (kg/ha) und Rohproteingehalt (%) in Abhängigkeit der N-Menge und N-Verteilung

Die Erträge steigen bis zu einer Gesamtstickstoffmenge von 180 kg/ha kontinuierlich an. Eine weitere N-Erhöhung führt nur zu einem geringen Ertragsanstieg (Ausnahme Ausreißer mit einer Gesamtstickstoffmenge von 210 kg/ha). Bei den Varianten mit 180 kg N/ha wurden drei N-Verteilungsvarianten angelegt, wobei sich diese im Ertrag kaum unterscheiden. Betrachtet man den Proteingehalt, so steigt dieser mit zunehmender Düngung kontinuierlich bis 240 kg N/ha an. Eine weitere Erhöhung der N-Menge führte zu keinem weiteren Proteinanstieg. Erwartungsgemäß zeigen hohe N-Mengen bei der 3. Düngergabe höhere Proteinwerte. Insbesondere bei den drei Varianten mit einer Gesamtstickstoffmenge von 180 kg pro ha ist dieser Trend gut ersichtlich. Während die Varianten mit 30 kg Stickstoff zur 3. Düngergabe nur 10,8 % und 10,6 % Protein zeigen, zeigt die Variante mit 60 kg Stickstoff zur 3. Düngergabe über 12 % Protein.

3.1.2 Vergleich der Ernteergebnisse zwischen den Direktsaat-Varianten und der Varianten mit Grundbodenbearbeitung

Abbildung 4 zeigt die Erträge in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung bei unterschiedlichen N-Düngemengen.

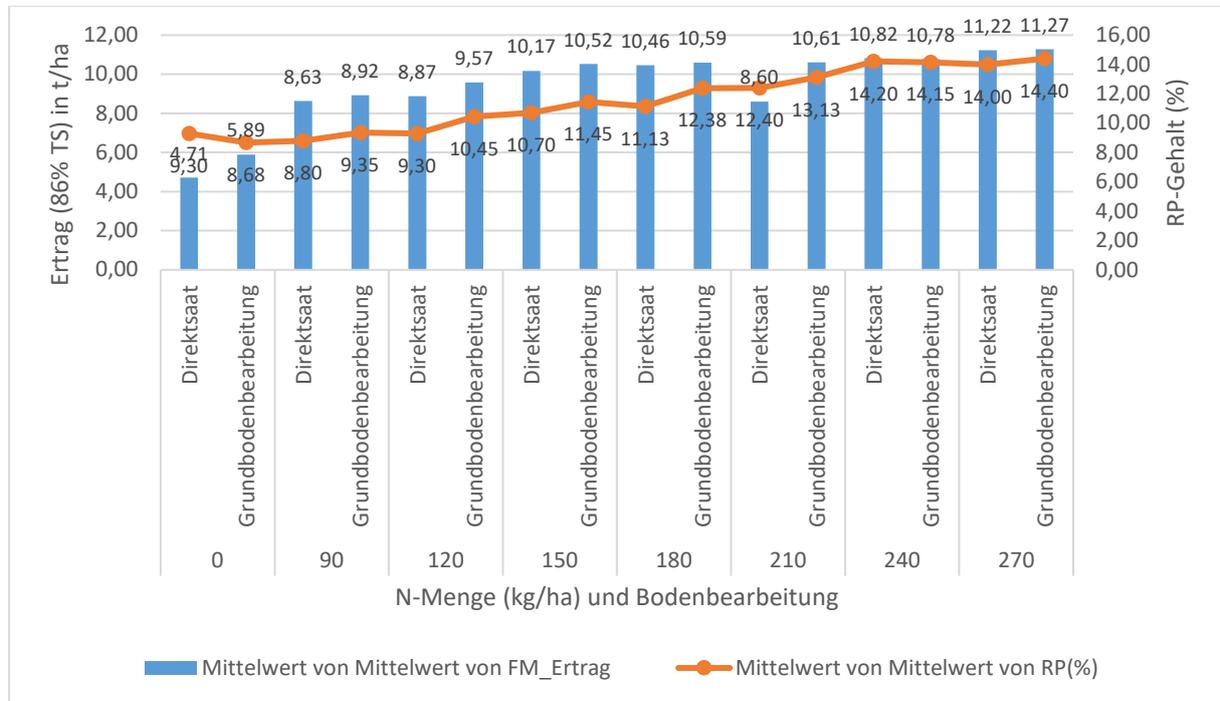


Abbildung 4: Winterweizenertrag (kg/ha) und Rohproteingehalt (%) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und der N-Düngemenge

Je höher die N-Düngung desto niedriger wird der Unterschied zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten (Ausnahme Ausreißer Direktsaat bei 210 kg N/ha). Ab 180 kg Stickstoff pro ha sind die Erträge zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten annähernd gleich, während der Rohproteingehaltsunterschied bis zu 240 kg N/ha ersichtlich ist.

3.1.3 Vergleich des N-Entzuges zwischen den Direktsaat-Varianten und den Varianten mit Grundbodenbearbeitung

Abbildung 5 zeigt den N-Entzug über alle Varianten.

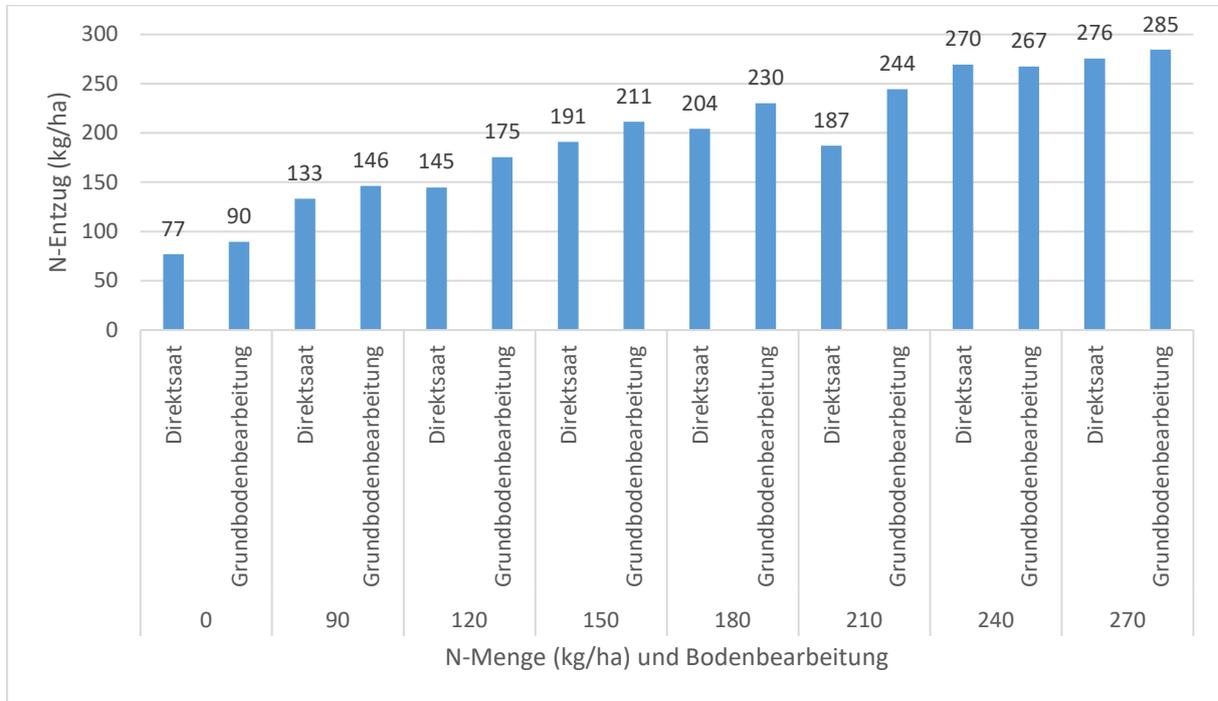


Abbildung 5: N-Entzug (kg/ha) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und N-Düngemenge

Aus dem Ertrag und dem Rp-Gehalt (siehe Abbildung 4) lässt sich der N-Entzug der jeweiligen Varianten berechnen ($N\text{-Entzug} = \text{Ertrag} (100 \% \text{ TS}) * Rp(\%)/5,7/100$). Aufgrund des höheren Rp-Gehaltes und des teilweise höheren Ertrages zeigen die Varianten mit Grundbodenbearbeitung etwas höhere N-Entzüge.

3.1.4 Vergleich der N-Bilanz zwischen den Direktsaat-Varianten und den Varianten mit Grundbodenbearbeitung

Die N-Bilanz errechnet sich aus der gedüngten N-Menge abzüglich des N-Entzuges durch die Ernte.

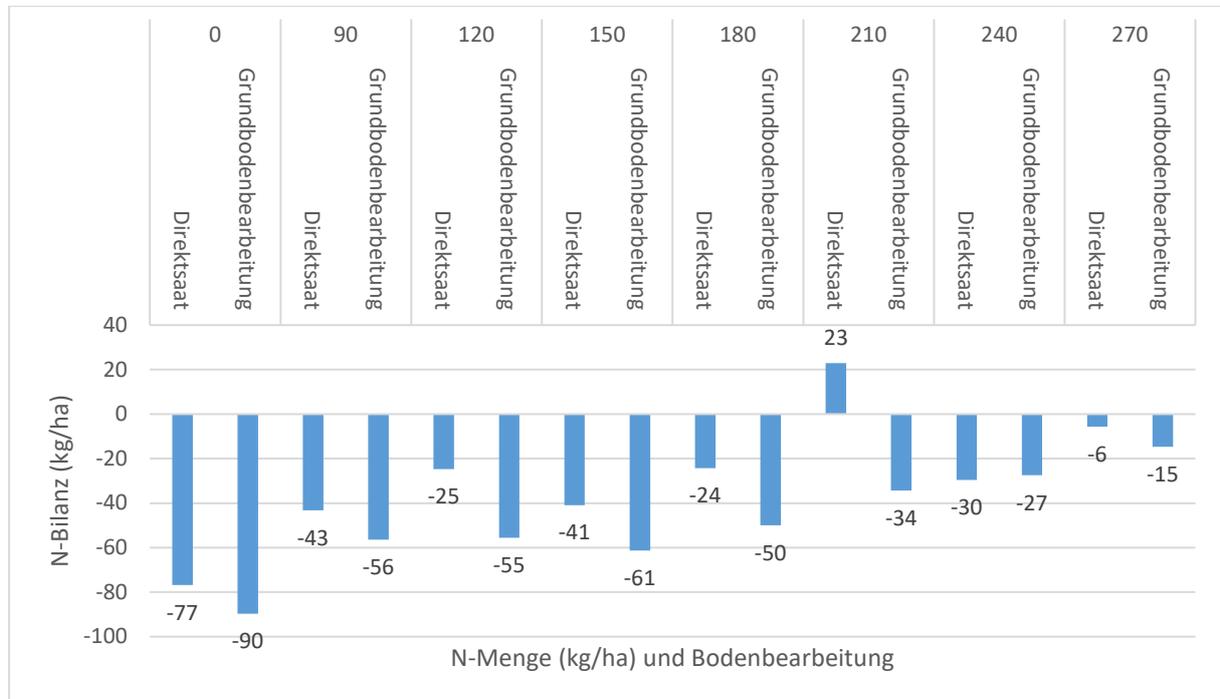


Abbildung 6: N-Bilanz (kg/ha) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und N-Düngemenge

Aufgrund des höheren N-Entzuges zeigen die Varianten mit Grundbodenbearbeitung auch niedrigere N-Bilanzen. Mit Ausnahme des Ausreißers (Direktsaat 210 kg N Gesamtdüngemenge) zeigen alle Varianten negative N-Bilanzen.

3.1.5 Vergleich der N_{\min} -Werte der Direktsaat-Varianten und den Varianten mit Grundbodenbearbeitung bei der N-Stufe 180 kg N/ha

Abbildung 7 zeigt die N_{\min} -Werte (NO_3^- und NH_4^+) einer mit 180 kg N/ha gedüngten Variante im Vegetationsverlauf.

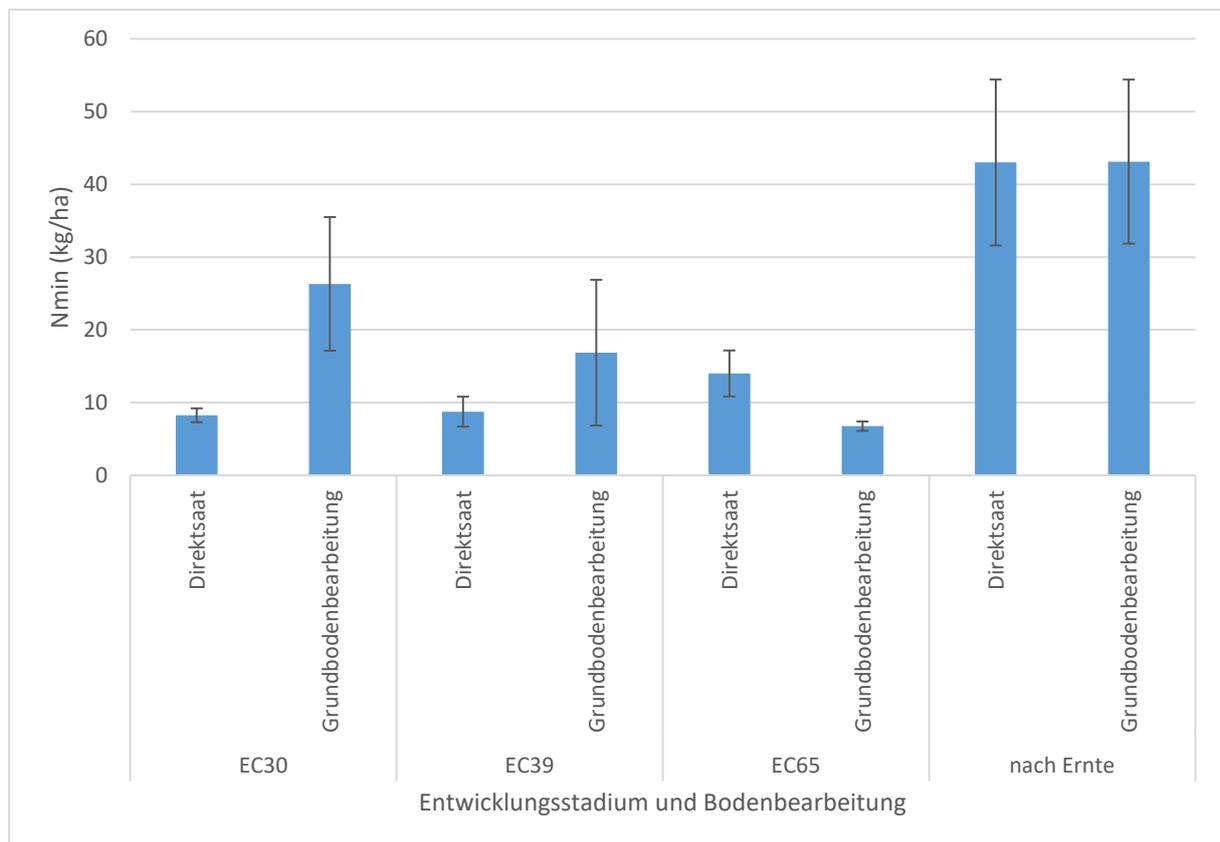


Abbildung 7: N_{\min} -Werte (kg/ha) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und der Pflanzenentwicklung

Mit zunehmender Vegetation (zunehmende Bodentemperatur) steigen die N_{\min} -Werte der Direktsaat-Variante an. Insbesondere im Frühjahr zeigt die Variante mit Grundbodenbearbeitung wesentlich höhere N_{\min} -Werte, was vermutlich auf einen schnelleren Temperaturanstieg und eine bessere Durchlüftung zurückzuführen ist.

3.2 Zuckerrübe

Bei der Kultur Zuckerrübe werden auch die Ergebnisse der Varianten mit Bodenbearbeitung dargestellt. Die niedrigen Erträge der Kultur Zuckerrübe sind auf die verhältnismäßig kurze Vegetationsdauer zurückzuführen. Aufgrund der Witterung (Starkniederschläge unmittelbar nach der Saat) musste die Kultur ein zweites Mal angelegt werden. Die Erstaussaat erfolgte am 07.04.2023 die zweite Aussaat erfolgte am 09.05.2023. Die Ernte war am 30.09.2023 was einer Vegetationsdauer von nur 143 Tagen entspricht.

3.2.1 Ernteergebnisse der Direktsaat bei Zuckerrüben

Nachfolgende Abbildung zeigt den Zuckerrübenertrag der Direktsaatvarianten im Vergleich.

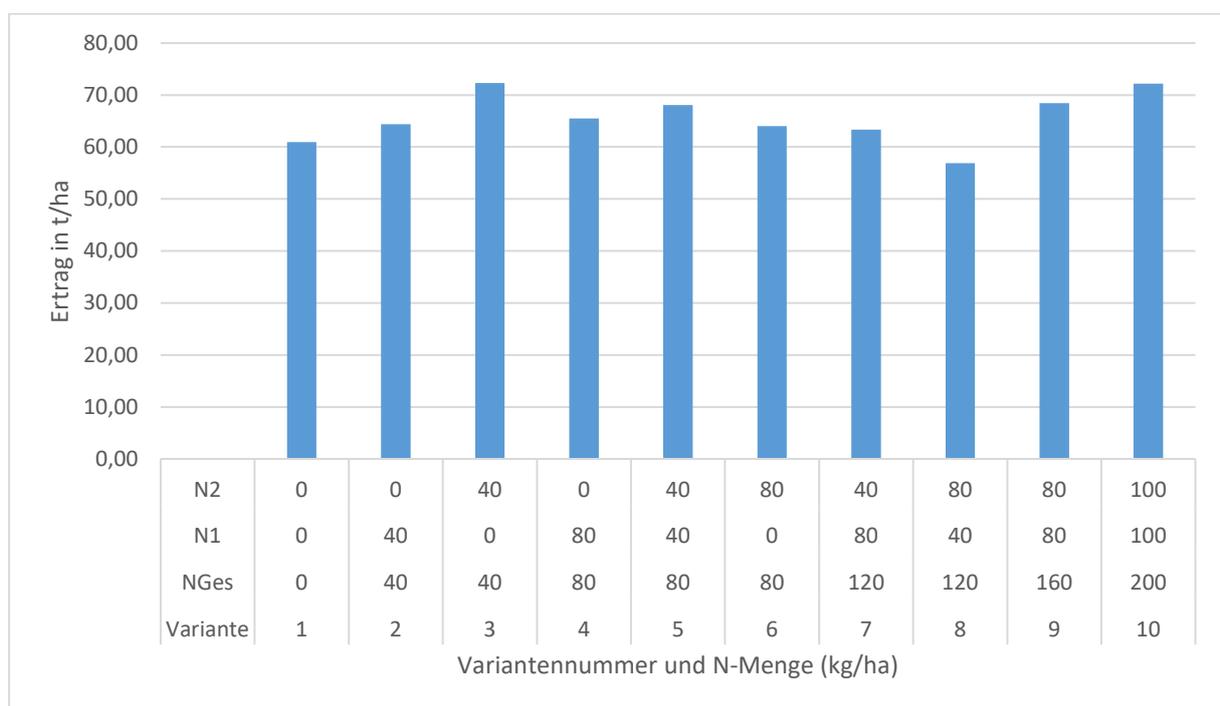


Abbildung 8: Zuckerrübenertrag (t/ha) der Direktsaat in Abhängigkeit der N-Düngemenge und der N-Verteilung

Der Rübenertrag liegt in nahezu allen Varianten zwischen 60 bis 70 t/ha. Höhere Düngemengen zeigen keine Tendenz für einen höheren Rübenertrag.

3.2.2 Vergleich der Ernteergebnisse zwischen den Direktsaat-Varianten und den Varianten mit Grundbodenbearbeitung

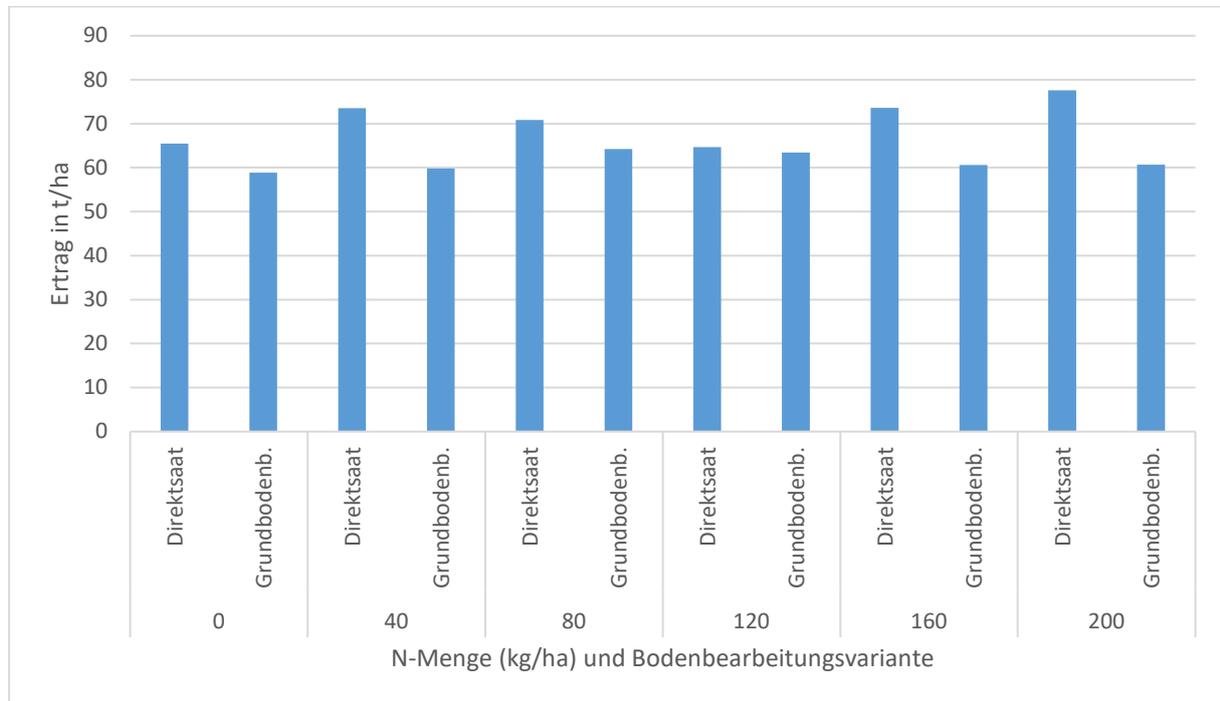


Abbildung 9: Zuckerrübenenertrag (t/ha) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und N-Düngemenge

Im Vergleich Direktsaat mit den Bodenbearbeitungsvarianten, zeigt die Direktsaat bei jeder N-Stufe höhere Erträge.

Die Zuckerrübenversuche mussten aufgrund der Witterung zweimal angelegt werden. Die erste Aussaat wurde am 07.04.2023 durchgeführt. Unmittelbar nach dem Anbau regnete es mit Ausnahme am 10.04.2023 täglich bis zum 19.04.2023. Starke Niederschläge gab es am 13.04.2023 (28,9 mm), 14.4.2023 (40,9 mm) und am 15.04.2023 (18,2 mm). In Summe gab es in dieser Periode einen Niederschlag von 130,2 mm. Aufgrund dessen, musste sowohl der Direktsaatversuch als auch der Versuch mit Bodenbearbeitung neu angelegt werden. Die Neuanlage erfolgte am 09.05.2023. Auch unmittelbar nach der Neuanlage folgte eine längere Regenperiode bis 24.05.2023 (in Summe 98 mm Niederschlag). Unter diesen Witterungsbedingungen konnte sich die Direktsaat besser als die Varianten mit Bodenbearbeitung entwickeln. Die Bodenbearbeitungsvarianten waren von starker Verschlämmung und kleinräumigen Erosionen betroffen.



Abbildung 10: Bodenbearbeitungsvariante unmittelbar nach dem 1. Aussaattermin



Abbildung 11: Direktsaatvariante unmittelbar nach dem 1. Aussaattermin

3.2.3 Ernteergebnisse der Varianten mit Bodenbearbeitung

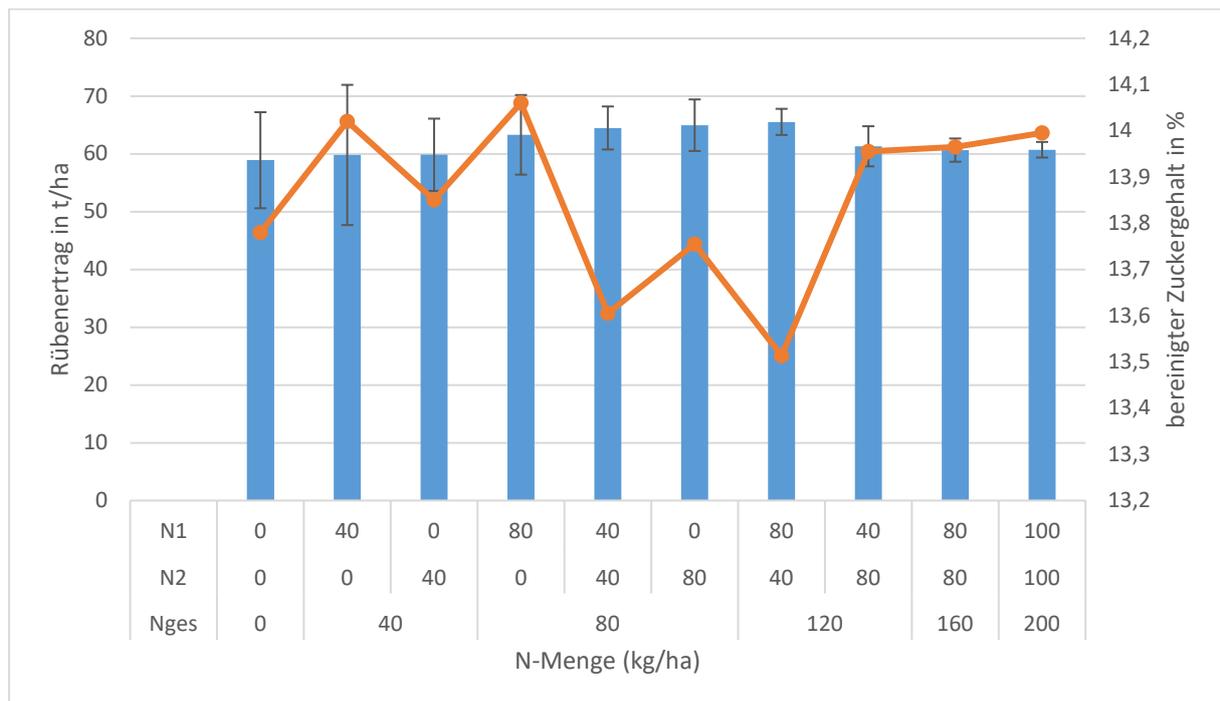


Abbildung 12: Zuckerrübenantrag und bereinigter Zuckergehalt (%) der Bodenbearbeitungsvariante in Abhängigkeit der N-Menge und der N-Verteilung

Wie bereits erwähnt, zeigt das Zuckerrübenantergebnis der Varianten mit Bodenbearbeitung keinen Einfluss der N-Düngung. Der bereinigte Zuckergehalt ist auf niedrigem Niveau, wobei das auf die kurze Vegetationszeit zurückzuführen ist.

3.2.4 Zuckergehalt und Alpha Amino N – Gehalt der Varianten mit Bodenbearbeitung

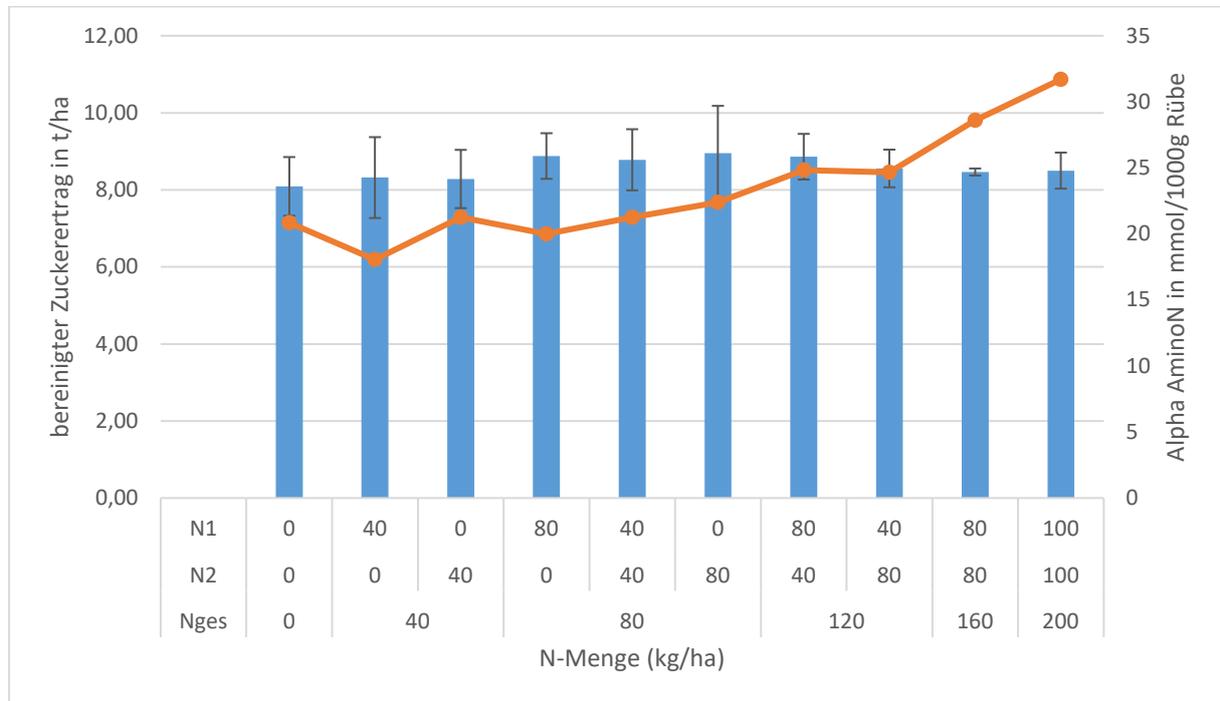


Abbildung 13: Bereinigter Zuckerertrag (t/ha) und Alpha-Amino-N-Gehalt (mmol/1000g Rübe) in Abhängigkeit der N-Düngemenge und der N-Verteilung

Aus dem Rübenertrag und dem Zuckergehalt wurde der bereinigte Zuckerertrag in t pro ha berechnet. Erwartungsgemäß zeigt dieser keinen Einfluss der Stickstoffdüngung. In Betrachtung des Alpha-AminoN-Gehalt in Abbildung 13, zeigt dieser einen Einfluss der Stickstoffdüngung. Mit steigender Stickstoffdüngung steigt der Alpha-AminoN-Gehalt an (insbesondere ab 160 kg N/ha). Tendenziell zeigen spätere N-Gaben höhere Werte.

3.2.5 Blattmasse und N-Gehalt der Varianten mit Bodenbearbeitung

Nachfolgende Abbildung zeigt den Blattertrag sowie den Stickstoffgehalt im Blatt in Abhängigkeit der Stickstoffdüngung.

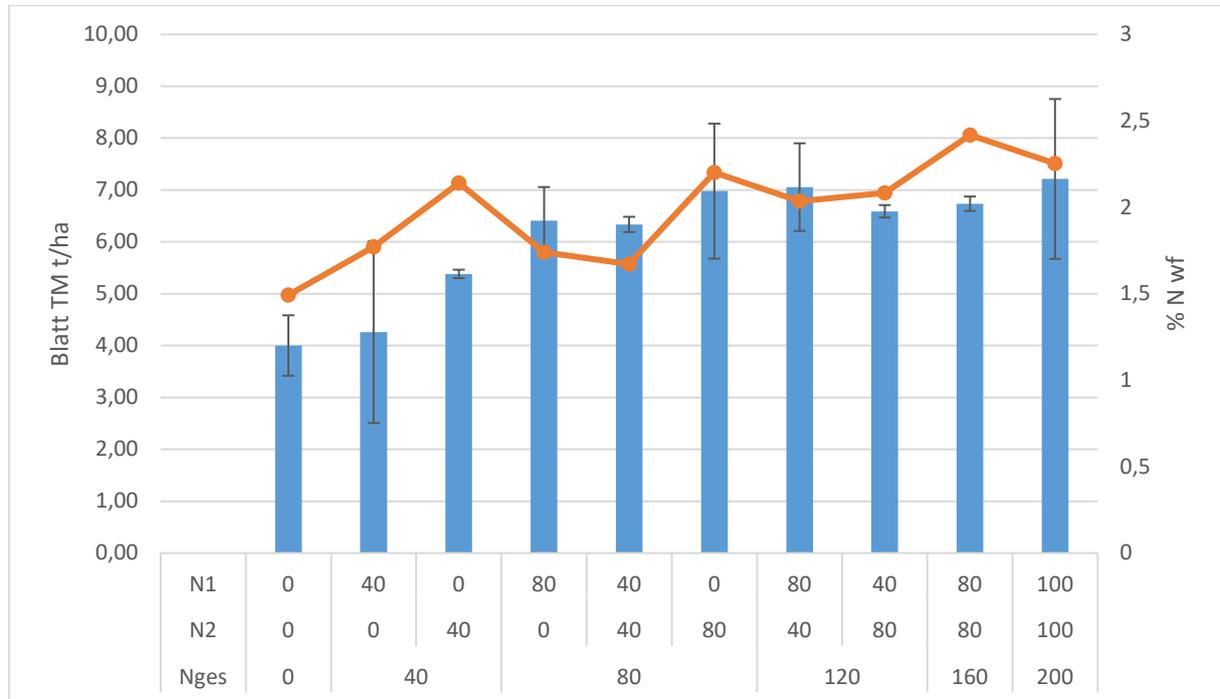


Abbildung 14: Blattmasse (Trockenmasse t/ha) zur Ernte und N-Gehalt im Blatt in Abhängigkeit der N-Menge und N-Verteilung

Während der Zuckerrübenenertrag keinen Einfluss der N-Düngung zeigt, steigt die Blattmasse mit zunehmender Stickstoffdüngung bis 120 kg N/ha an. Ab einer N-Düngemenge von 120 kg N/ha liegt der Blattmasseertrag (TS) bei ca. 7 t/ha. Der N-Gehalt im Blatt (% N_{wf}) steigt im Durchschnitt kontinuierlich mit der N-Düngemenge.

3.2.6 N-Aufnahme des Rübenblattes zur Ernte

Aus dem Blattmasseertrag und dem N-Gehalt kann die N-Aufnahme im Rübenblatt berechnet werden (siehe Abbildung 15).

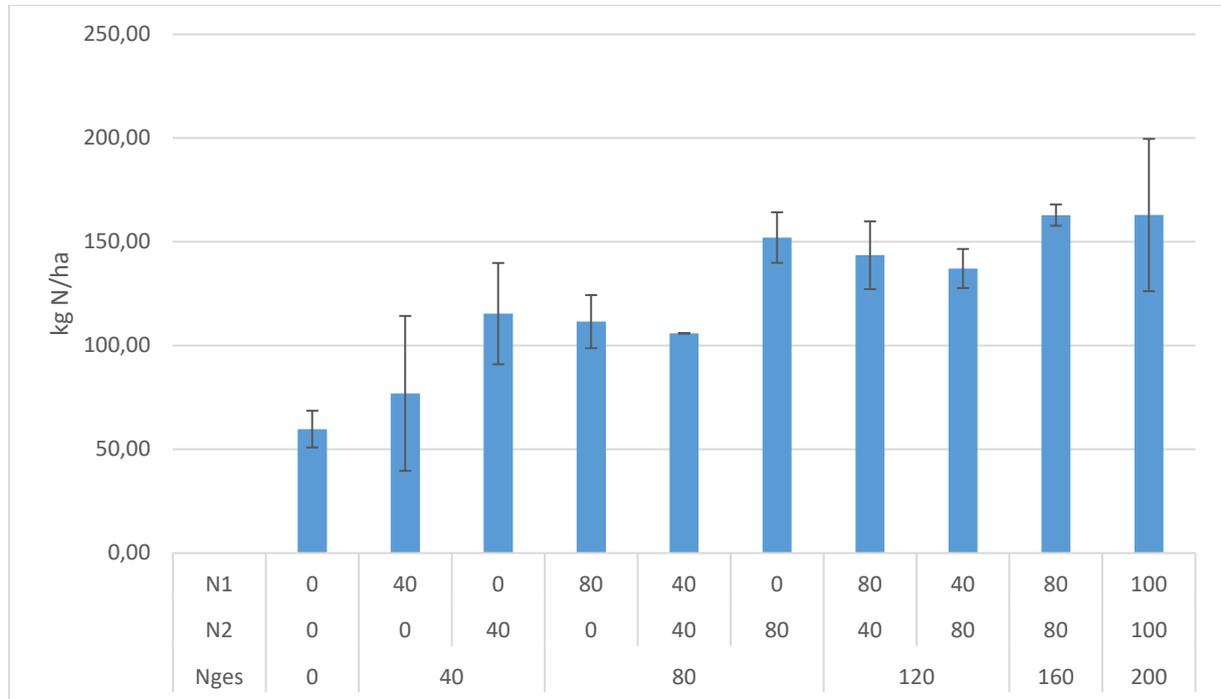


Abbildung 15: N-Aufnahme des Rübenblattes zur Ernte in Abhängigkeit der N-Menge und N-Verteilung

Wie zu erwarten, steigt die N-Aufnahme der Blattmasse mit zunehmender Düngung an. D.h., mit zunehmender Düngung steigt auch die N-Verlustgefahr verursacht durch Blattr ckst nde am Feld.

3.2.7 Korrelation der N-Aufnahme im Blatt zur Ernte und dem NDVI im zeitlichen Verlauf

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Korrelationen der N-Aufnahme im Blatt und dem NDVI zu unterschiedlichen Vegetationszeitpunkten. Das wäre eine mögliche Datenbasis, um zu hohe N-Aufnahmen zu prognostizieren. Eine ertraglich abgestimmte Düngung ist eine wesentliche Basis um möglich N-Verluste übers Blatt zu vermeiden.

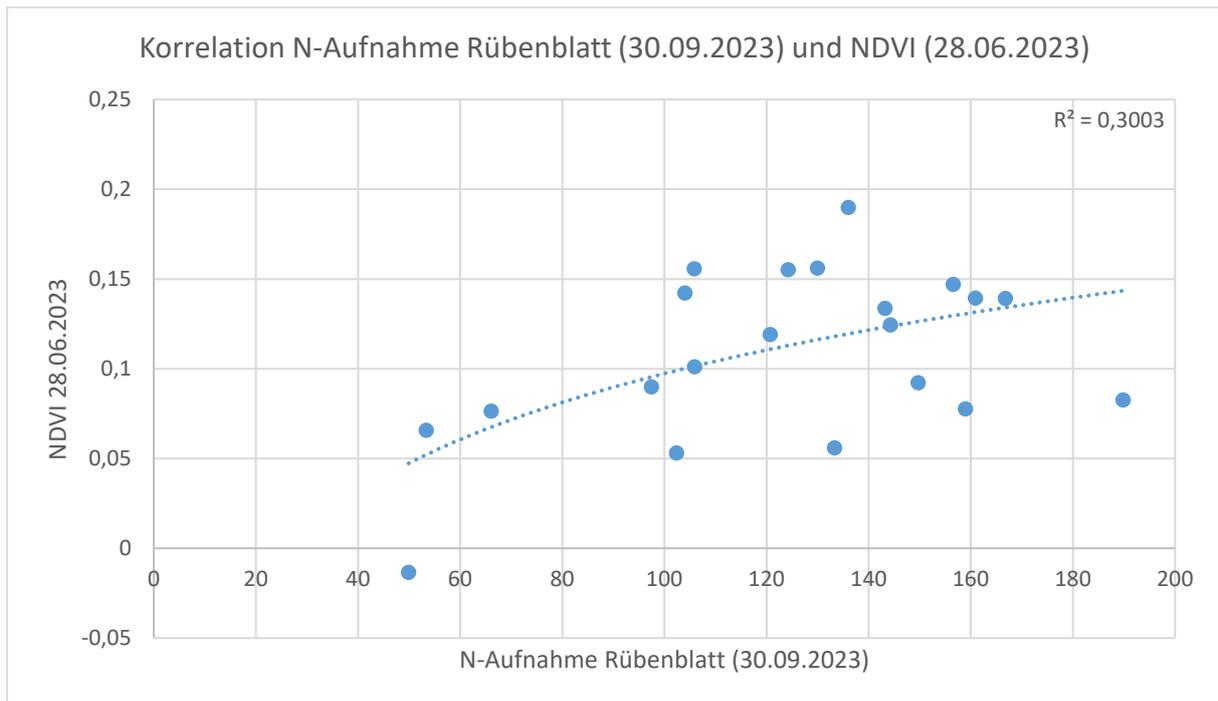


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 28.06.2023

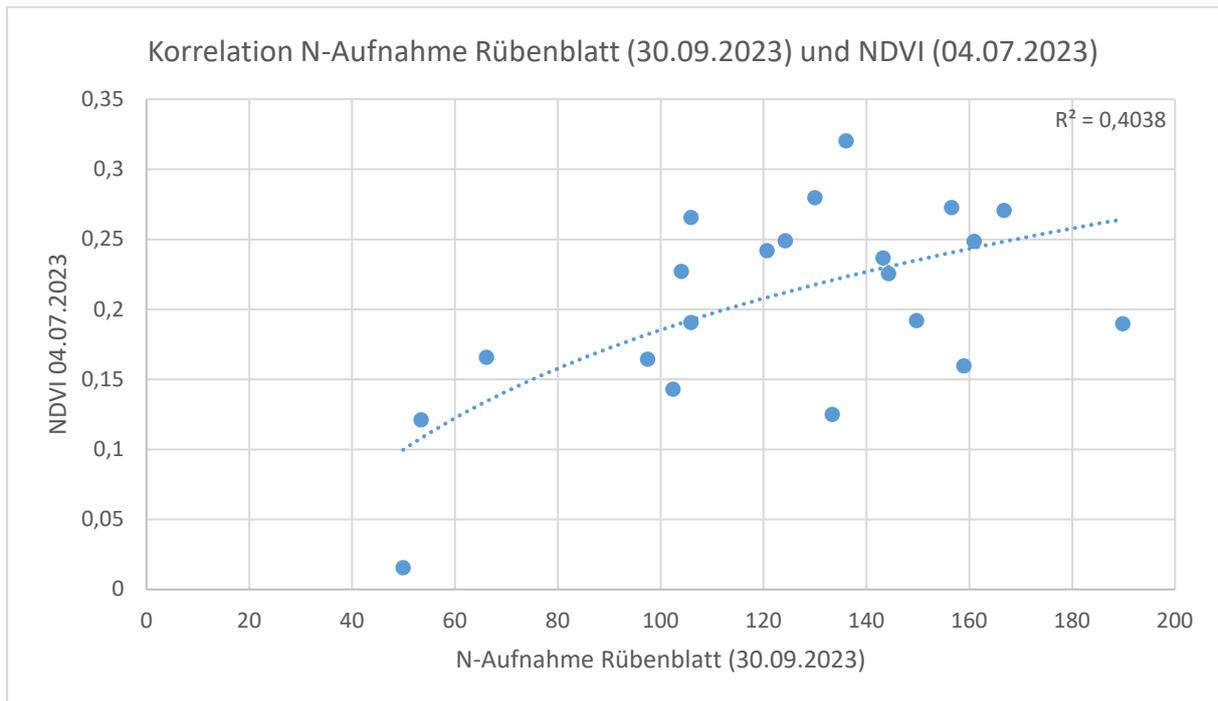


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 04.07.2023

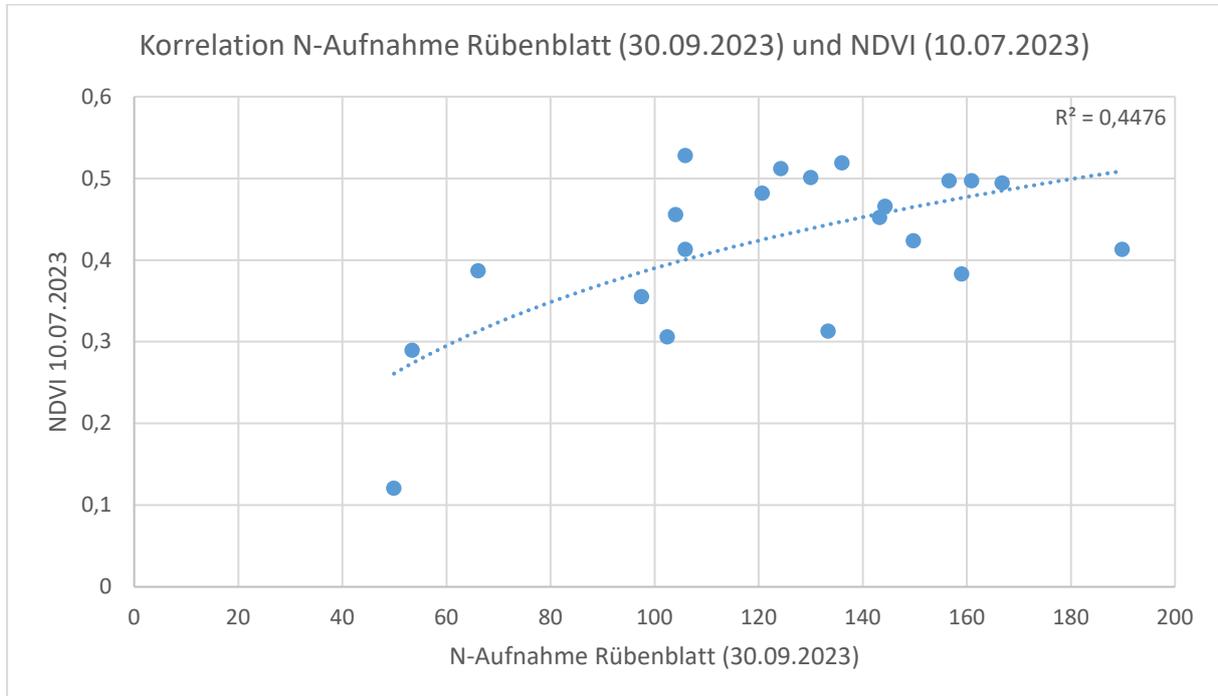


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 10.07.2023

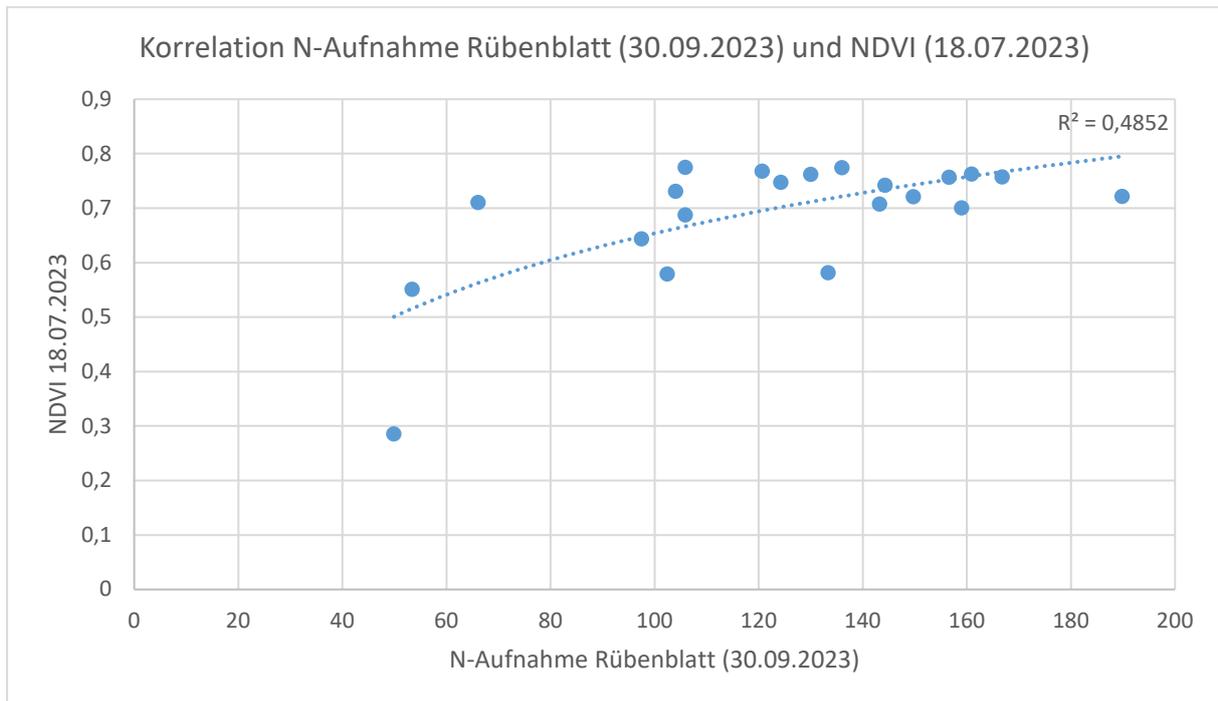


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 18.07.2023

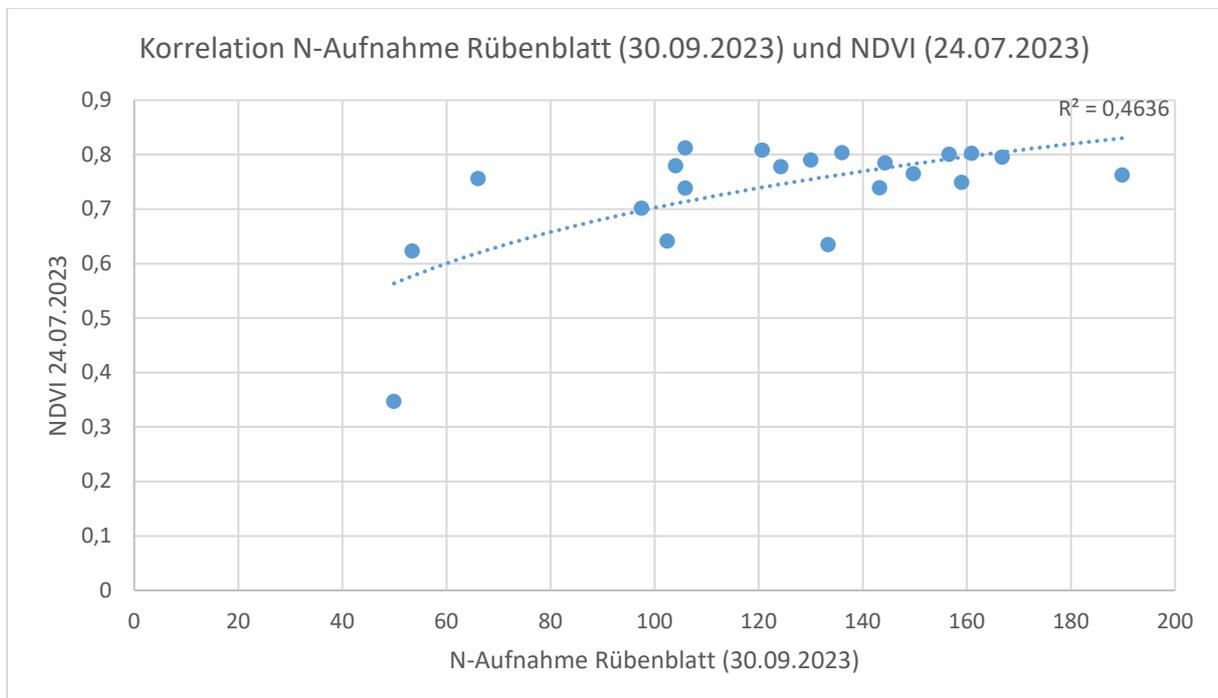


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 24.07.2023

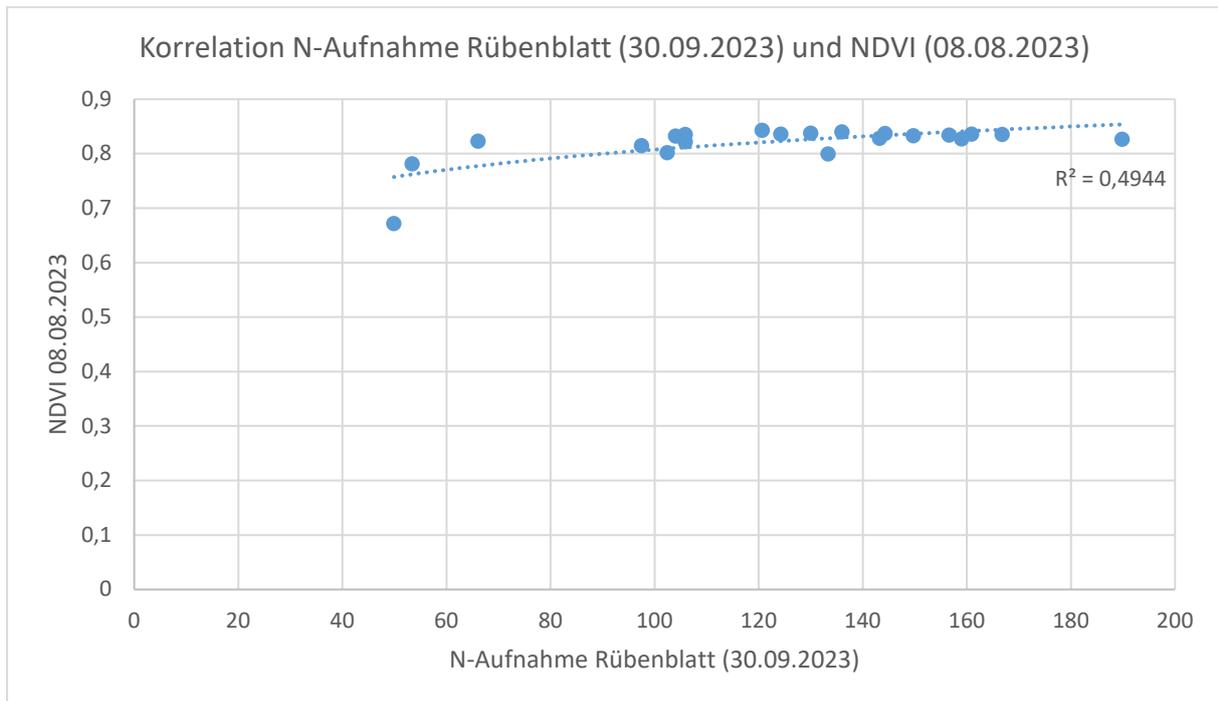


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 08.08.2023

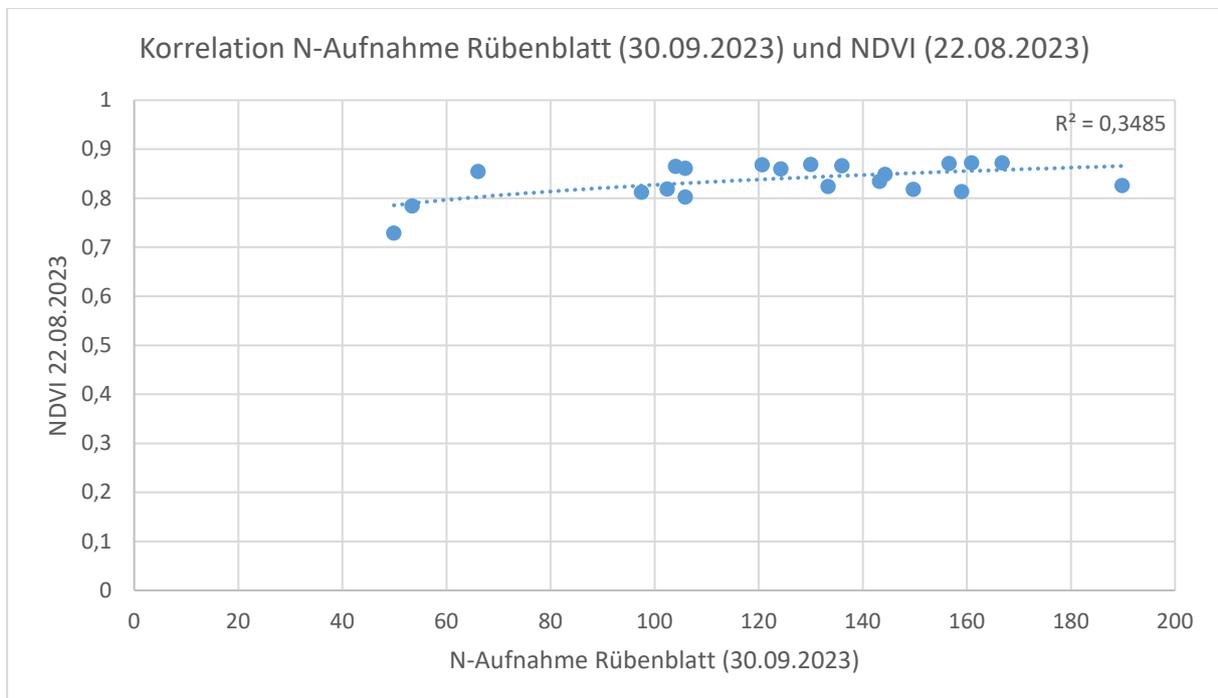


Abbildung 22: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 22.08.2023

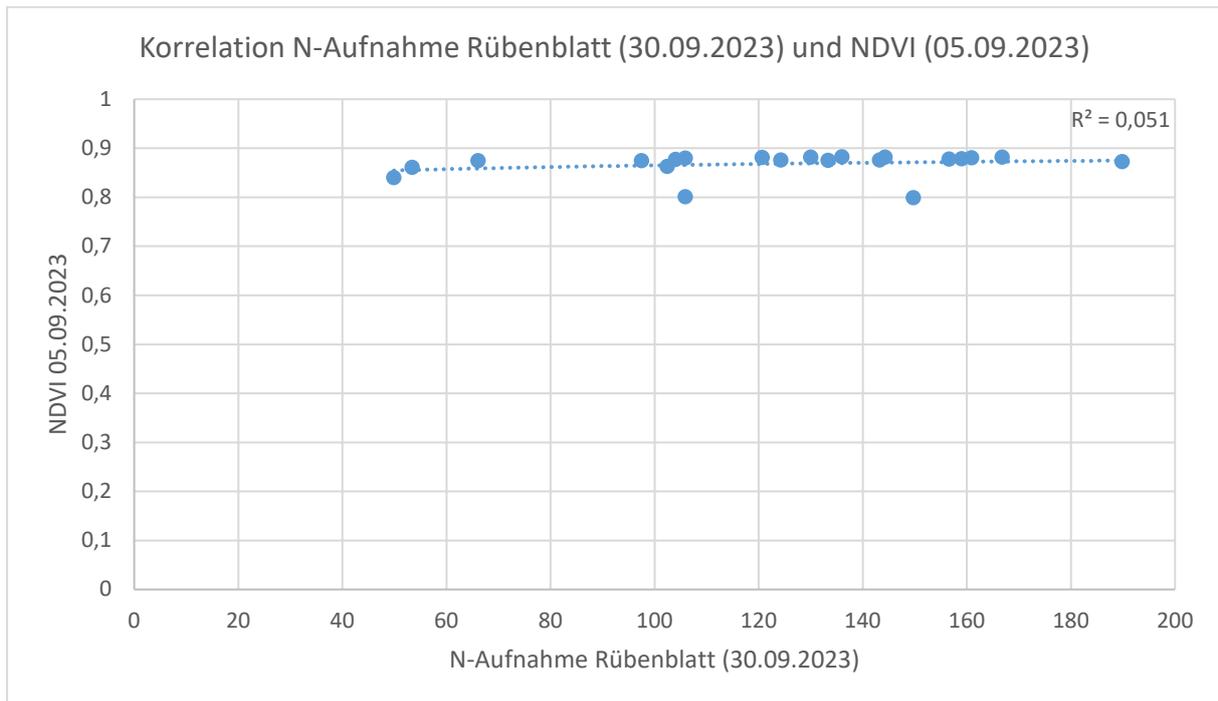


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 05.09.2023

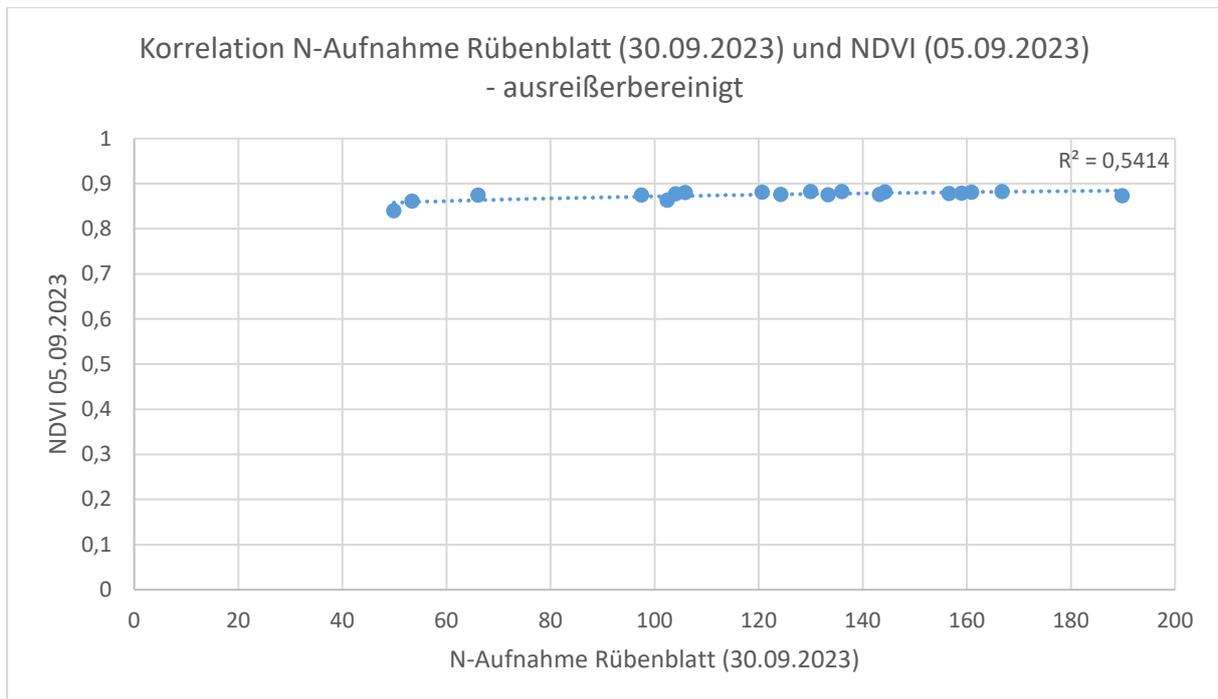


Abbildung 24: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 05.09.2023 (ausreißerbereinigt)

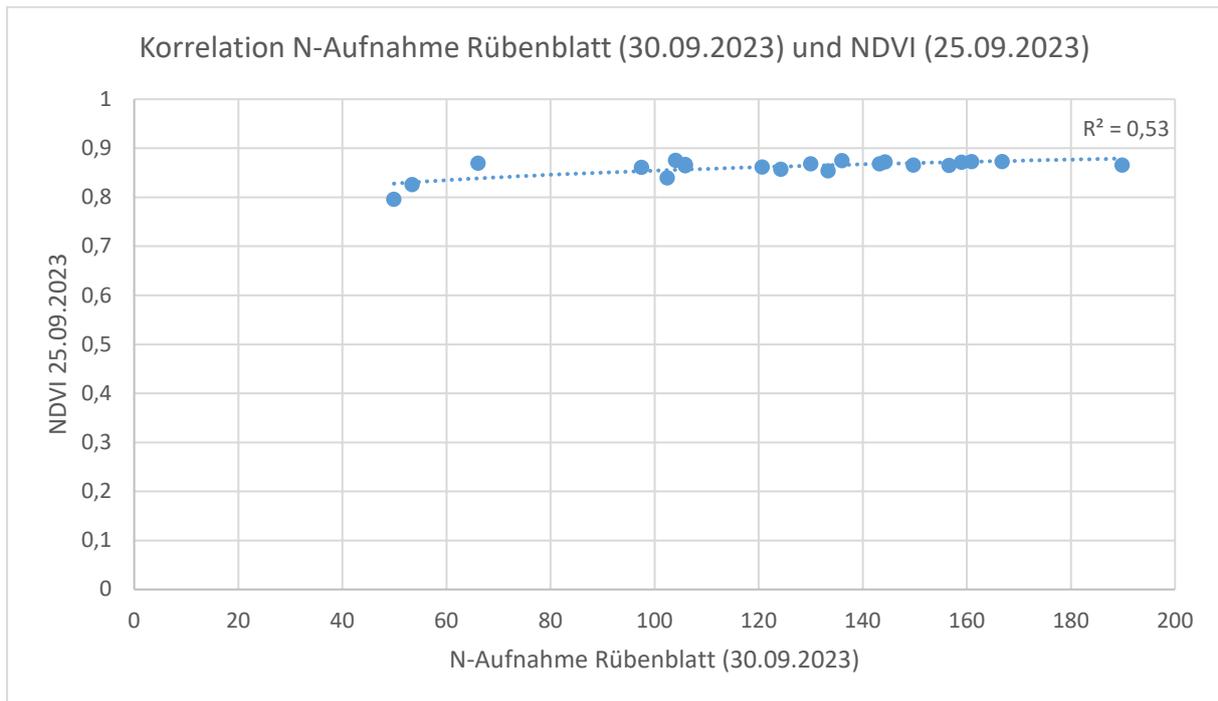


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 05.09.2023

4 VERZEICHNISSE

4.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Versuchsstandorte.....	5
Abbildung 2: Niederschlags- und Temperaturverlauf (2023) im Vergleich zum langjährigen Mittel am Standort Wieselburg (Wasserstandsnachrichten Niederösterreich).....	6
Abbildung 3: Winterweizenertrag (kg/ha) und Rohproteingehalt (%) in Abhängigkeit der N-Menge und N-Verteilung.....	14
Abbildung 4: Winterweizenertrag (kg/ha) und Rohproteingehalt (%) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und der N-Düngemenge	15
Abbildung 5: N-Entzug (kg/ha) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und N-Düngemenge	16
Abbildung 6: N-Bilanz (kg/ha) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und N-Düngemenge .	17
Abbildung 7: N _{min} -Werte (kg/ha) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und der Pflanzenentwicklung.....	18
Abbildung 8: Zuckerrübenenertrag (t/ha) der Direktsaat in Abhängigkeit der N-Düngemenge und der N-Verteilung	19
Abbildung 9: Zuckerrübenenertrag (t/ha) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und N-Düngemenge.....	20
Abbildung 10: Bodenbearbeitungsvariante unmittelbar nach dem 1. Aussaattermin.....	
Abbildung 11: Direktsaatvariante unmittelbar nach dem 1. Aussaattermin.....	
Abbildung 12: Zuckerrübenenertrag und bereinigter Zuckergehalt (%) der Bodenbearbeitungsvariante in Abhängigkeit der N-Menge und der N-Verteilung	21
Abbildung 13: Bereinigter Zuckerertrag (t/ha) und Alpha-Amino-N-Gehalt (mmol/1000g Rübe) in Abhängigkeit der N-Düngemenge und der N-Verteilung	22
Abbildung 14: Blattmasse (Trockenmasse t/ha) zur Ernte und N-Gehalt im Blatt in Abhängigkeit der N-Menge und N-Verteilung	23
Abbildung 15: N-Aufnahme des Rübenblattes zur Ernte in Abhängigkeit der N-Menge und N-Verteilung	24
Abbildung 16: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 28.06.2023	25
Abbildung 17: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 04.07.2023	26
Abbildung 18: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 10.07.2023	26
Abbildung 19: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 18.07.2023	27

Abbildung 20: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 24.07.2023	27
Abbildung 21: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 08.08.2023	28
Abbildung 22: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 22.08.2023	28
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 05.09.2023	29
Abbildung 24: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 05.09.2023 (ausreißerbereinigt)	29
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen N-Aufnahme im Rübenblatt zur Ernte und NDVI am 05.09.2023	30

4.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Sortenbeschreibung der Sorte SU Habanero (AGES 2023).....	4
Tabelle 2: Maßnahmen Direktsaatversuch Winterweichweizen Wieselburg 2023.....	6
Tabelle 3: Varianten Direktsaatversuch Winterweizen	7
Tabelle 4: Maßnahmen Direktsaatversuch Zuckerrübe Wieselburg 2023	7
Tabelle 5: Maßnahmen C/N-Versuch Zuckerrübe Wieselburg 2023	8