

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Nutzpflanzenwissenschaften Abteilung Pflanzenbau Konrad Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau

Masterarbeit

Einfluss der Düngung von Begrünungsvarianten und deren Wirkung auf Nitrat im Bodenwasser

Philipp Holler, BSc.
Wien, April 2019

universität des lebens

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplom Ingenieur der Studienrichtung Nutzpflanzenwissenschaften an der Universität für Bodenkultur Wien

Betreuung:

Priv.-Doz. Dr. Gernot Bodner

Univ. Ass. Dr. Bano Mehdi

Dipl.-Ing. Christoph Zirngast

eingereicht von

Philipp Holler, BSc.

Matr.Nr.: 01340927

Eidesstattliche Erklärung zur Masterarbeit

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher noch nicht im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht.

Wien, 08.04.2019	
	•••••
	Philipp Holler, BSc.
	I milipp moner, Doc.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit konnte nur aufgrund des großartigen Engagements meines Betreuerteams, bestehend aus Herrn Priv.-Doz. Dr. Gernot Bodner, Frau Univ. Ass. Dr. Bano Mehdi und meinem außeruniversitären Betreuer, seitens der Umweltberatung Steiermark, Herrn Dipl.-Ing. Christoph Zirngast, entstehen.

Mein außerordentlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Kaul (Universität für Bodenkultur, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilungsleiter Pflanzenbau) für die Genehmigung der Masterarbeit.

Ein besonderes Dankeschön gilt Frau Univ. Ass. Dr. Bano Mehdi. Sie war es, die mir im Laufe meines Studiums Zusammenhänge zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft verstehen ließ und die mir anhand ihrer ruhigen Art und Weise und der zusätzlichen hervorragenden fachlichen Kompetenz die sorgfältige wissenschaftliche Arbeitsweise näher brachte.

Für sein hervorragendes Engagement und seinen äußerst zeitintensiven Einsatz im Zuge der Masterarbeit bedanke ich mich recht herzlich bei meinem außeruniversitären Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Christoph Zirngast. Er unterstützte mich eifrig während der Planung des Versuches, der Genehmigung der Versuchsfläche, bei jeglichen Arbeiten am Versuchsfeld und vor allem mit seinem fachlichen Input und einer ideologischen Arbeitsweise.

Ein weiterer Dank gilt den Mitarbeitern der Umweltberatung Steiermark, welche stets für unzählige körperliche Arbeiten am Feld (Bodenprobenziehung) einsatzbereit waren und wöchentlich den Nitratgehalt der Saugkerzen kontrollierten.

Meinen Freunden, welche mich an langen Tagen im Labor beim Sieben der Bodenproben tatkräftig unterstützten sowie anhand fachlicher Ratschläge immer und zu jeder Zeit zur Verfügung standen, gebührt mein außerordentlicher Dank.

Bei Andreas Klingler möchte ich mich für seine stetigen wissenschaftlichen Tipps und den unzähligen Ratschlägen während der statistischen Auswertung bedanken.

Meiner Freundin Daniela, welche mich vor allem in den schwierigen Zeiten meines Studiums tatkräftig unterstütze und mich immer wieder motivierte, gebührt ein riesiges Dankeschön.

Mein größtes Danke gilt jedoch meiner Familie, welche mich jeher ermutigte im Zuge eines Studiums einen weiteren Ausbildungsweg einzuschlagen und mir durch die Bereitstellung der Versuchsfläche, den benötigten Materialien und den zur Verfügung gestellten Maschinen das Erarbeiten meiner Masterarbeit in meinem Heimatort Gabersdorf ermöglichten.

Philipp Holler

Kurzfassung

Im Zuge der 39. Verordnung des Regionalprogramms von Graz bis Bad Radkersburg wurden die Landwirte in dieser durchaus landwirtschaftlich intensiv geführten Region mit neuen Auflagen konfrontiert. Vor allem zeitangepasste strengere Düngemaßnahmen für die im ausgewiesenen Gebiet üblichen Hauptkulturen sorgen zum einen für zusätzlich benötigte Düngerlagerkapazitäten und zum anderen für eine unter Zugzwang entstandene übermäßig punktuelle Ausbringung der vorhandenen Wirtschaftsdünger. Zielsetzung dieser Arbeit ist die Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Begrünungsbehandlungen in gedüngter und ungedüngter Form auf die Verlagerung von Nitrat in tiefere Schichten des Bodens (unter 90 cm) sowie des Bodenwassers. Dahingehend wurde anhand einer randomisiert angelegten Exaktversuchsfläche, bestehend aus drei Blöcken zu je sechs Behandlungen, ein Vergleich zwischen den angelegten Behandlungen erstellt. Zu Behandlung 1 und der Behandlung 2 (Senf, Buchweizen, Ölrettich) sowie der Behandlung 3 und der Behandlung 4 (Senf, Buchweizen, Alexandriner Klee) wurde die Wirkung von 60 kg Stickstoff ha⁻¹ feldfallender Mastschweinegülle und derselben ungedüngten Form untersucht. Zudem wurde mit der Behandlung 5 (Ackerbohne, Erbse, Sommerwicke) ein über Symbiose erfolgtes stickstoffbindendes Extrem für den direkten Vergleich angelegt. Behandlung 6 dient als Referenzparzelle (keine Zwischenfrucht, keine Düngung) für den Vergleich zu den Behandlungen 1 bis 5. Eine Auswertung der Trockenmasse in t ha⁻¹, des aufgenommenen Stickstoffgehalts der Pflanzen in %, des berechneten Stickstoffertrags in kg ha⁻¹ sowie der pflanzenverfügbaren Stickstoffe in Form von Nitrat und Ammonium (Nmin) im Boden ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen einer gedüngten Behandlung und derselben in ungedüngter Form. Lediglich Behandlung 5 (Ackerbohne, Erbse, Sommerwicke) wies im Stickstoffgehalt der Pflanze, dem Stickstoffertrag sowie dem N_{min} Gehalt signifikant höhere Werte auf. Anhand des Nitratgehalts im Bodenwasser lag vor allem die unbegrünte Behandlung 6 (Referenzparzelle) mit einem Wert von 68,45 mg l⁻¹ Nitrat über dem durch die Grundwasserverordnung festgelegten Grenzwert von 50 mg l⁻¹. Eine Überschreitung der Behandlungen 1 bis 5 konnte nicht festgestellt werden.

Abstract

In the course of the 39th regulation of the regional program, valid in the area from Graz to Bad Radkersburg farmers who work in this intensively agricultural region were faced with new requirements. One of these requirements stipulates a time limitation for the application period of manure especially on main cultures, which gives rise to storage problems of manure and a selective spreading of large amounts of manure at once. The aim of this thesis was to quantify the impact of various fertilized and unfertilized winter catch crop treatments on the relocation of nitrate to deep layers of soil and soil water. For this reason, a randomised complete block design was set up, which included three blocks with six different treatments of winter catch crops. The catch crops were planted after the main crop of wheat was harvested. Two of the catch crops, treatment 2 (mustard, buckwheat, oil radish) and treatment 4 (mustard, buckwheat, Alexandria clover), were fertilized with 60 kg nitrogen ha⁻¹ to research the differences between the manured treatment and the treatment without manure in relation to the nitrogen leaching into the groundwater. To create a comparison, a legume treatment, which is able to store air nitrogen in the form of symbioses in the soil, was chosen for treatment 5 (bell bean, winter pea, common vetch). Results have shown that the dry matter in the ha⁻¹, the concentration of nitrogen in %, the yield of nitrogen in kg ha⁻¹ and the yield of N_{min} did not show any significant differences between manured treatments and treatments without manures. A significant deviation was only identified in treatment 5, where an increase in the amount of nitrogen and N_{min} was detected. Treatment 6 (reference treatment without catch crops) had the highest amount of nitrogen into the soil water with 68.45 mg l-1. This exceeded the limit of 50 mg l¹ as specified in the national groundwater regulation. Concerning treatments 1 to 5, no significant differences were found.

Inhaltsverzeichnis

Κı	ırzfas	sung		I
Al	strac	t		II
In	halts	verzeicl	hnis	III
Al	kürz	ungen ı	und Terminologie	vī
1	Einl	eitung	und Problemstellung	1
	1.1	Landy	wirtschaft in Österreich	4
		1.1.1	Landwirtschaft in der Steiermark	4
		1.1.2	Landwirtschaft im Bezirk Leibnitz	5
	1.2	Wasse	er in Österreich	6
		1.2.1	Grundwasser in Österreich	6
		1.2.2	Grundwasser im Bezirk Leibnitz	7
		1.2.3	Nitrat (NO ₃ -) im Grundwasser	10
	1.3	Zwisc	henfruchtanbau	11
		1.3.1	Zwischenfruchtanbau in Österreich	11
		1.3.2	Charakteristik der verwendeten Zwischenfrüchte	12
	1.4	Recht	liche Grundlagen für den Grundwasserschutz im Leibr	
				
	1.5	Zielse	tzung und Fragestellung	24
2	Mat	erial ur	nd Methoden	25
	2.1	Geolo	gische und Klimatische Standortbeschreibung	25
		2.1.1	Geologie des Standortes	25
		2.1.2	Klima des Standortes	25
	2.2	Versu	chsaufbau	26
		2.2.1	Saugkerzen	28
		2.2.2	Stickstoffdüngung	29
		2.2.3	Aussaat der Behandlungen	31
	2.3	Behar	ndlungen	34
		931	Rohandlung 1	2.4

7	Abbi	ldungs	verzeichnis	79
6	Lite	raturve	erzeichnis	7 3
5	Zusa	ıtz		71
	4.4	Ausbl	ick	69
	4.3		erkundliche Kennwerte	
	4.2	Boden	kundliche Kennwerte	67
	4.1	Pflanz	zenbauliche Kennwerte	67
4	Schl	ussfolg	erung	67
		3.3.1	NO ₃ - Gehalt im Wasser	63
	3.3	Wasse	erkundliche Kennwerte	63
		3.2.1	N _{min} Gehalt	56
	3.2	Boden	ıkundliche Kennwerte	56
		3.1.3	N-Ertrag in kg ha ⁻¹	52
		3.1.2	N Gehalt in %	49
		3.1.1	Trockenmasseertrag	45
	3.1	Pflanz	zenbauliche Kennwerte	45
3	Erge	bnisse	und Diskussion	45
	2.7	Statis	tische Auswertung	41
		2.6.1	Beprobung mittels Saugkerzen	40
	2.6	Wasse	erkundliche Untersuchung	40
		2.5.2	Beprobung auf N _{min}	38
		2.5.1	Grundbodenuntersuchung	
	2.5		ıkundliche Erhebung	
		2.4.2	N-Ertrag in kg ha ⁻¹	
		2.4.1	Trockenmasseertrag	
	2.4		zenbauliche Erhebung	
		2.3.6	Referenzparzelle	
		2.3.4	Behandlung 5	
		2.3.4	Behandlung 4	
		2.3.2	Behandlung 3	
		2.3.2	Behandlung 2	3/

_	PR 1 11	_	_
Q	Tabellenverzeichnis	Q	7
o		. · O	J

Abkürzungen und Terminologie

a Stunde

BF Bodenform

cm Zentimeter

cm³ Kubikzentimeter

C/N Kohlenstoff/Stickstoff Verhältnis

dt Dezitonnen

mg Milligramm

g Gramm

μ**g** Mikrogramm

GVE Großvieheinheit

ha Hektar

hz Herz

kg Kilogramm

KF Kartierungsbereich

km Kilometer

1 Liter

LT lehmiger Ton / toniger Lehm

lS lehmiger Sand

IS/Scho lehmiger Sand auf Schotter

m Meter

m² Quadratmeter

m³ Kubikmeter

mm Millimeter

ml Milliliter

Mrd. Milliarden

nm Nanometer

N Stickstoff

N₂ elementarer Stickstoff

NH₄₊ Ammonium

 NO_3 Nitrat

N_{min} Gehalt an mineralischem Stickstoff im Boden

ÖPUL Österreichisches Programm zur Förderung einer umwelt-

gerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum

schützenden Landwirtschaft

SL stark lehmiger Sand / stark sandiger Lehm

sL sandiger Lehm

t Tonne

TM Trockenmasse

m. Ab.D. mit Anbaudüngung

o. Ab.D. ohne Anbaudüngung

ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

1 Einleitung und Problemstellung

Das Spannungsfeld zwischen der Landwirtschaft und der Wasserwirtschaft führte vor allem durch die 39. Verordnung (LGBl Nr.39, 2015) der Landesregierung Steiermark zu deutlichen Antworten auf beiden Seiten der beteiligten Lager. Im Zuge der Verordnung wird durch grundwasserschützende pflanzenbauliche Maßnahmen, wie zum Beispiel eine zeitorientierte und mengenmäßige Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln (siehe Kapitel 1.4), eine freie Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen von Seiten der Landwirte stark eingeschränkt (LGBl Nr.39, 2015). Zahlreiche Demonstrationen der Landwirte in den Kerngebieten von Graz bis Bad Radkersburg des Grundwasserschutzprogrammes "Unteres Murtal" sollten als aufsehenerregende Reaktion gegenüber der zuständigen Politik und ihren Vertretern dienen. In Korrelation mit dem Eigentum der Landwirte, jenem landwirtschaftlichen Grund und Boden, unter denen sich ein Großteil der Grundwasserkörper befinden, ist es der Wasserwirtschaft möglich sowohl die Landwirtschaft als auch die umliegende Bevölkerung mit Trinkwasser zu versorgen. Trotz der regelmäßigen Verdienste der Wasserwirtschaft aus den vorzufindenden Grundwasserkörpern unter landwirtschaftlichen Flächen wird die Landwirtschaft mit zusätzlichen Verordnungen, Novellen etc. konfrontiert. Die unzureichende Akzeptanz der landwirtschaftlichen Bevölkerung hinsichtlich der unzähligen Grundwasserschutzverordnungen scheint offenbar in gewisser Weise legitim zu sein.

Das Thema Nitrat im Grundwasser ist jenes, welches auf Grund von zu hohen Nitratkonzentrationen im Bodenkörper das landwirtschaftlich intensiv geführte Gebiet im Süden der Steiermark schon unzählige Jahre beschäftigt. Zu Beginn der Aufzeichnungen im Jahre 1988 betrug der Wert des durchschnittlichen Nitratgehalts des Leibnitzer Felds (Proben aus 8 verschiedenen Brunnen) 69,7 mg NO₃ l⁻¹ im Trinkwasser (WasserversorgungsGmbHLeibnitzerfeld, 2015). Dies weist auf eine Überschreitung des Trinkwassergrenzwertes (50 mg NO₃ l⁻¹) um 19,7 mg NO₃l⁻¹ hin (Umweltbundesamt, 2016). Durch die niedrigen Düngerpreise der Handelsdünger in den 80er und 90er Jahren (Zorn, 2007) wurden viele Landwirte auf die Düngung mit den verschiedensten Mineraldüngern aufmerksam. Betriebe mit einem geringen Anfall an organischem Dünger besserten mit dem zusätzlichen Kauf von kostengünstigen, schnell verfügbaren Mineraldüngern ihre Bestände und Erträge auf. Anhand dieser mineralischen Düngung ist es möglich, trotz fortschreitender Abnahme des Humusanteils im Boden, Erträge zu halten und zu steigern (Walther et al., 1999). Zudem kam der außerordentlich

gute Stand der Landwirtschaft durch eine positive Preisentwicklung landwirtschaftlicher Produkte in den 90er Jahren (Fank et al. 2010). Als plausibles Beispiel, welches auf Grund der hohen Anzahl der schweinehaltenden Betriebe in den Regionen rund um das Schutzprogramm steht, ist jenes des Schweinepreises. Dieser lag in jener Zeit umgerechnet bei einem Preis von 2,18 €/kg (Holler, 2016a). Im Jahr 2016 bewegte sich der Jahresdurchschnittspreis in der Höhe von 1,47 €/kg. Dies zeigt einen deutlich ersichtlichen Preisverfall in den vergangenen zwanzig bis dreißig Jahren (Statistik Austria, 2016). Der hohe Gewinn aus dem Verkauf von landwirtschaftlichen Erzeugnissen sorgte damals in der Landwirtschaft für einen Aufschwung. Mit einer steigenden Anzahl von Tieren pro Betrieb und Fläche stieg auch der Stickstoffanfall an. Im gewohnten Stil fanden sich Dünger auf den ertragreichen Feldern wieder und sorgten mit einer ausreichenden Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff in Form von Nitrat (NO₃) und Ammonium (NH₄⁺) (Schubert, 2006) wiederum für hohe Erträge (Fank et al., 2010). Das Blenden hoher Erträge des düngergetriebenen Systems führte zu einem erhöhten Stickstoffaufkommen in den Böden. Erste Regelungen sorgten in den Jahren 1991/1992 für eine ordnungsgemäße Ausbringung von organischen und anorganischen Düngern (Fank et al., 2010).

Fünfundzwanzig Jahre nach der ersten grundwasserschützenden Maßnahme (LGBl.Nr.86, 1990) veranlassen die im Zeitverlauf angesammelten Brunnenwerte des Leibnitzer Felds eine gezielte Hinterfragung über die Notwendigkeit der über Jahre hinweg beschlossenen Verordnungen mit samt ihren Novellen. Befanden sich im Leibnitzer Feld von den insgesamt 15 beprobten Brunnen im Jahr 1988 nur zwei davon knapp unter dem Grenzwert von 50 mg l⁻¹ Nitrat (Umweltbundesamt, 2016), so lag im Jahr 2003 von den damals 14 beprobten Brunnen nur noch ein Brunnen mit einem Grenzwert von 58,9 mg l¹ darüber. Ein weiterer interessanter Vergleich ist jener der durchschnittlichen Brunnenwerte. Maß man im Jänner 1988 einen durchschnittlichen Brunnenwert von 69,7 mg l⁻¹ Nitrat, so betrug dieser Wert mehr als das Doppelte des gemessenen Wertes im Jahr 2014, welcher bei einem Durchschnitt von 30,2 mg l⁻¹ Nitrat im Grundwasser lag. Trotz der nach wie vor geführten Intensivkulturen im Leibnitzer Feld hat sich die Grundwasserqualität einerseits aufgrund der eingeführten Grundwasserverordnungen, aber andererseits auch durch ein steigendes Knowhow der Landwirte verbessert (WasserversorgungsGmbHLeibnitzerfeld, 2015). Zudem nimmt die Wirkung eines verbesserten Düngermanagements (Richtlinie der Sachgerechten Düngung) enormen Einfluss auf die Nitratreduktion in Verbindung mit unregelmäßigen Witterungsschwankungen (Fank et al., 2006). Des Weiteren zählt ein zeitangepasster Anbau von Begrünungen nach wie vor zu

den nachhaltigsten Maßnahmen, welche zu einer Reduktion des Nitrateintrages in das Grundwasser führen (LUB, 2011).

Trotz offensichtlicher Verbesserungen der Nitratgehälter im Grundwasser (WasserversorgungsGmbHLeibnitzerfeld, 2015) entstanden mit der 39. Verordnung (LGBl Nr.39, 2015) für das Regionalprogramm von Graz bis nach Bad Radkersburg neue Regelungen. Die augenscheinliche Konfliktverhinderung durch die Abschaffung der Winterbegrünung, welche für ein besseres Zeitmanagement der Landwirte im Frühjahr sorgte, besänftigte die Landwirte vorerst in ihrem Gemüt. Diese diente jedoch nur als Bonus für eine der neuen Auflagen, welche aufgrund der Bodenuntersuchungsergebnisse für eine ertragsangepasstere Düngung sorgen sollte. Das Schwinden der Düngerausbringungsmenge und die kürzer werdenden Zeitfenster für die Ausbringung sorgten für einen Engpass der organischen Düngerlagerkapazität. Wie im Kapitel 1.1.2 näher beschrieben werden, nehmen die Kulturen Mais, Kürbis sowie diverse Getreidesorten den größten Anteil der Kulturen ein. Die Düngungsmöglichkeit am Beispiel Mais, welcher 70 % des Anteiles einnimmt, erfolgt dabei nur in der kurzen Zeit des Anbaus, wobei zu diesem Zeitpunkt von Seiten der Landwirtschaft oftmals mit zu hohen Düngermengen gearbeitet wird. Meist ist es für den zu dieser Zeit noch jungen Pflanzenbestand nicht möglich diese Menge an Stickstoff vollständig aufzunehmen (Fank et al. 2010). Der Mais benötigt in der Zeit der Blüte und der Kolbenausbildung die größte Menge an Stickstoff (Lütke Entrup & Oehmichen, 2000), wobei es zu dieser Zeit unmöglich erscheint aufgrund der Größe der Pflanze den Wirtschaftsdünger zur Kultur zu bringen (Lütke Entrup & Oehmichen, 2000). Aufgrund der Fruchtfolgepflicht im Land Steiermark finden immer öfter unzählige Getreidesorten einen Platz in der Fruchtfolge landwirtschaftlicher Betriebe (AMA, 2018).

Durch eine weitere Düngergabe beim Anbau der nachstehenden Begrünung nach dem Getreide würde ein weiterer Zeitpunkt zur Ausbringung von Wirtschaftsdünger zur Verfügung stehen und in weiterer Folge die Wirtschaftsdüngerkapazität an Betrieben entlasten.

1.1 Landwirtschaft in Österreich

Die Landwirtschaft in Österreich zählt im internationalen Vergleich nach wie vor zu den kleinstrukturierten Agrarlandschaften. Laut Agrarstrukturerhebung 2016 gibt es in Österreich 161.155 land- und forstwirtschaftliche Betriebe. Laut der Agrarstrukturerhebung 2013 sank die Betriebszahl um rund 3 % im Laufe der letzten zehn Jahre (Grüner Bericht, 2017).

In Österreich bewegen sich land- und forstwirtschaftliche Betriebe in Richtung steigender Betriebsgröße. Im Jahre 1951 bewirtschaftete ein durchschnittlicher Betrieb eine Fläche von 18,8 ha. Im Vergleich dazu bewirtschaftet ein vergleichbarer aktueller Betrieb eine Gesamtfläche von 45,7 ha. Der Trend zur immer größer werdenden Landwirtschaft macht auch in der Tierhaltung keinen Halt. Die durchschnittliche Haltegröße eines Rinderbetriebes 1995 betrug 20 Rinder pro land- und forstwirtschaftlichem Betrieb. In der heutigen Zeit bewirtschaften Landwirte Bestände mit einer durchschnittlichen Größe von 32 Rindern pro Betrieb. Im Schweinesektor haben sich die Bestände in den letzten Jahren sogar verdreifacht (Grüner Bericht, 2017).

1.1.1 Landwirtschaft in der Steiermark

Steiermarkweit gibt es 39.388 land- und forstwirtschaftliche Betriebe, wobei es auch in diesem Bundesland zu einem erheblichen Rückgang zwischen den letzten beiden Statistiken von 1999-2010 gekommen ist. Zwei Drittel aller Betriebe werden bereits im Nebenerwerb geführt. Die Betriebsformen Forstwirtschaft, Futterbau und Marktfrüchte bilden drei Viertel der Land- und Forstwirtschaft, wobei die Form Forstwirtschaft mit einer Fläche von 825.093 ha den größten Teil Darauf folgen Dauergrünland (250.309 ha) und Ackerland (141,498 ha), welche zu 94,5% ihre Nutzung im Anbau von Getreide, dem Feldfutterbau und dem Anbau von Ölfrüchten finden. Im Jahr 2010 hielten 13.743 Betriebe Rinder mit einer durchschnittlichen Betriebsgröße von 25 Rindern pro Betrieb und 9.557 Betriebe Schweine mit einer durchschnittlichen Anzahl von 93 Schweinen pro landwirtschaftlichem Betrieb. Rund 15.434 steirische Betriebe sind geflügelhaltende Betriebe. Die durchschnittliche Geflügelmenge beträgt 326 Hühner pro Betrieb, wobei der Schwerpunkt der Geflügelbetriebe im Bezirk Südoststeiermark liegt (Land Steiermark, 2013).

1.1.2 Landwirtschaft im Bezirk Leibnitz

Die Landwirtschaft nimmt in der Region rund um den Bezirk Leibnitz nach wie vor einen großen Stellenwert ein. Charakteristisch hierfür sind unterschiedlichste Böden mit hohen Ertragslagen und ein für den Ackerbau prädestiniertes Wetter (Fank et al., 2010).

Ackerbau im Bezirk Leibnitz

Der Bezirk Leibnitz ist jener Bezirk, welcher den drittgrößten Anteil an Ackerlandflächen mit einer Fläche von 19.482 ha in der Steiermark einnimmt. Davon werden 72,3 % der zuvor genannten Fläche für die Erzeugung von Getreide, 14,8 % für die Ölfruchtproduktion sowie 2,7 % für den Anbau von Hackfrüchten genutzt (Land Steiermark, 2013).

Die Kulturpflanze Mais ist jene Pflanze, welche über die Jahre an Bedeutung rund um Leibnitz gewonnen hat. Ein Anteil von 70 % Mais sorgte dafür, dass in den 80er und 90er Jahren andere wichtige Kulturen verdrängt wurden. Zu diesen Kulturen zählen vor allem jegliche Getreidearten wie Sommer- und Wintergerste, Weizen, Dinkel und Roggen sowie die Stellung der Sojabohne in der Fruchtfolge. Die Erklärung dafür ist auf verschiedenste Gründe zurückzuführen. Ein durchschnittlicher Nassmaisertrag von bis zu 15.000 kg Körnermais pro ha, die einfache Bewirtschaftungsweise und der hohe erwirtschaftete Deckungsbeitrag sprechen für diese Kultur (Fank et al., 2010).

Grünland im Bezirk Leibnitz

Der Anteil der Dauergrünlandfläche beträgt 8.109 ha und ist mit seinem geringen Anteil jener Bezirk in der Steiermark, der nach der Stadt Graz die wenigste Fläche an Dauergrünland vorzuweisen hat (Land Steiermark, 2013).

Viehbestand im Bezirk Leibnitz

Die Schweinehaltung nimmt einen Großteil der landwirtschaftlichen Produktion in der Steiermark ein. Im Bezirk Leibnitz werden 209.241 Schweine auf 842 Betrieben gehalten. Dies ergibt einen Durchschnitt von 248,5 Schweinen pro Betrieb. Leibnitz liegt mit seiner Anzahl an schweinehaltenden Betrieben hinter dem angrenzenden Bezirk Südoststeiermark an zweiter Stelle. Der Anteil von rinderhaltenden Betrieben beschränkt sich auf 653 Betriebe mit einer Stückzahl von 10.966 zu haltenden Rindern. Im Vergleich zu Hartberg-Fürstenfeld, jener Bezirk, welcher die meisten Rinder in der Steiermark vorzuweisen hat, hält Leibnitz die geringste Zahl an Rindern. Mit einer Anzahl von 216.284 Geflügel

im Bezirk liegt der südsteirische Bezirk im guten Mittelfeld der Steiermark. Auch in dieser Branche ist ein deutlich steigender Trend zu erkennen. So machte sich eine Steigerung des Hühnerbestandes in den letzten elf Jahren um 14,9 % erkennbar (Land Steiermark, 2013).

1.2 Wasser in Österreich

In Österreich betragen die gesamten verfügbaren Wasserressourcen 76,3 Mrd. m³/Jahr. Davon werden 3 % aller Ressourcen von der Landwirtschaft, der Industrie und der Haushalte genutzt. Der größte Anteil der genutzten Wassermenge fließt mit 1,53 Mrd. m³ a⁻¹ in die Industrie. 0,55 Mrd. m³ a⁻¹ werden von den Haushalten benötig sowie 0,13 Mrd. m³ a⁻¹ fließen in die Landwirtschaft (Umweltbundesamt, 2016).

1.2.1 Grundwasser in Österreich

Die Bedeutung des Grundwassers in Österreich liegt in der Trinkwassergewinnung und der Dotierung von Flüssen, Seen und Feuchtgebieten. In Österreich werden ca. 100% des Trinkwassers aus Grund- und Quellenwasser gewonnen (BMNT, 2019a). Bundesweit befinden sich 138 Grundwasserkörper, welche in 63 Einzelgrundwasserkörper, 66 Gruppen von Grundwasserkörpern und 9 Tiefengrundwasserkörper aufgeteilt sind (BMNT, 2019b). Die bundesweite Gewässerzustands-Überwachungsverordnung (BGBl. II Nr. 479/2006) sorgt für sorgfältige Überwachung des für den Menschen lebensnotwendigen Grundwassers. Um vielfältige schädliche Einträge durch Siedlungen, Verkehrswege, Wald und Landwirtschaft zu verhindern, wurden anlagenbezogene Grundwassermessstellen installiert. Durch dieses Kontrollsystem ist es möglich Überschreitungen von Nitrat in Grundwasserkörpern festzustellen und anschließend als sogenannte Maßnahmengebiete auszuweisen. Ab einer Gefährdung von mindestens 50 % aller Messstellen befindet sich ein Gebiet im Maßnahmenzustand. Sind jedoch nur 30 % der Messstellen eines Grundwasserkörpers als gefährdet eingestuft, spricht man von einem Beobachtungsgebiet. Ausgehend vom arithmetischen Mittel des Jahresmittelwertes aus allen für den Beurteilungszeitraum vorliegenden Messergebnissen gilt ein Grundwasserkörper als gefährdet, wenn jene Messwerte den Schwellenwert von 45 mg Nitrat 1⁻¹ (Umweltbundesamt, 2016) überschreiten. Der Schwellenwert und der Trinkwassergrenzwert werden in Tabelle 1 dargestellt.

Nitrat Aktionsprogramme sowie das Agrar- und Umweltprogramm ÖPUL mit Maßnahmen wie "Vorbeugender Grundwasserschutz auf Ackerflächen" sorgen für eine wasserschonende Bewirtschaftung in der Landwirtschaft und dienen als Maßnahmen zum Schutz vor erhöhten Nitratwerten im Grundwasser (Umweltbundesamt, 2016).

 Schwellen und Grenzwert
 Höhe der Grenzwerte in mg Nitrat l⁻¹
 Ausweisungsgebiete

 Schwellenwert
 45 mg Nitrat l⁻¹
 Maßnahmengebiet

 Trinkwassergrenzwert
 50 mg Nitrat l⁻¹
 Beobachtungsgebiet

Tabelle 1: Schwellen- und Trinkwassergrenzwert in mg Nitrate l'1

1.2.2 Grundwasser im Bezirk Leibnitz

Leibnitz liegt im südlichen Teil der Steiermark und befindet sich etwa 30 km südlich von Graz und 40 km nördlich der slowenischen Stadt Marburg (Land Steiermark, 2015). Um den Bezirk Leibnitz befindet sich das ausgewiesene Schongebiet Leibnitzer Feld, welches ein Teil des übergeordneten Schongebietes Unteres Murtal ist. Schongebiete dienen als Maßnahme zur Einhaltung der in Tabelle 1 beschriebenen Grenzwerte sowie der Sanierung des Grundwassers in nitratbelasteten Gebieten. Anhand kartographischer Punkte in eingrenzenden Bereichen ist es möglich, die Kontrolleffizienz in diesen Gebieten zu steigern. Die Aufteilung eines Schongebietes erfolgt in eine engere Zone und in eine weitere Zone, welche sich auch in ihrer Ausführung deutlich unterscheiden (Ferstl, 2007). Das Leibnitzer Feld besteht aus den einzelnen Schongebieten Nordöstliches Leibnitzer Feld, Haslacher Au, Westliches Leibnitzer Feld und dem Südöstlichen Leibnitzer Feld. Schongebiete sind jene vom Landeshauptmann ausgewiesenen Gebiete, welche die allgemeine Wasserversorgung zum Zweck der Trinkund Nutzwasserversorgung schützen (BMLFUW, 2017c).

Zählte Leibnitz noch vor einigen Jahren wie das Marchfeld, die Parndorfer Platte, das Ikvatal und das südliche Wiener Becken Ostrand zu den Hotspots der nitratbelasteten Regionen in Österreich, so gehört es laut Nationalem Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 (BMLFUW, 2010) nicht mehr zu den Beobachtungsgebieten in Österreich. Ein Beobachtungsgebiet liegt vor, wie oben bereits

erwähnt, wenn mindestens 30 % der Messstellen als gefährdet eingestuft werden (Umweltbundesamt, 2016). Finden sich in Ostösterreich noch immer zahlreiche Überschreitungen des Schwellenwertes, so ist die Nitratbelastung im Leibnitzer Feld zurückgegangen (BMLFUW, 2017c).

Einen besonderen Einfluss auf das Grundwasser im Bezirk Leibnitz hat der Fluss Mur. Dieser fließt quer durch das Untere Murtal und spielt eine wesentliche Rolle bezüglich der Grundwasserverhältnisse und den darin liegenden Schongebieten. Unterschiede der Untergrundbeschaffenheit findet man vor allem in den Auen entlang der Mur, der würmzeitlichen Niederterrasse und des Helfbrunner Flurs (Fank et al., 2010). Zudem befinden sich laut Fank (1996) rund um das Leibnitzer Feld überwiegend seicht liegende Grundwasserkörper, welche als Trinkwasserreservoir in der Region dienen (Fank, 1996).

Der Bereich der Auen wird durch einen Aufbau aus schwach schluffigen, sandigen Kiesen, welcher stellenweise mit einer 1,5 - 3 m dicken Aulehmdecke überzogen ist, geprägt. Die würmzeitliche Niederterrasse hingegen ist aus schluffigen, sandigen Kiesen mit Steinen aufgebaut, welche sich im Vergleich zu den Auen aus kristallinen Geröllen und Kalk zusammensetzt. Die Zusammensetzung des Helfbrunner Flurs, welcher im Bereich des westlichen Leibnitzer Felds vorkommt, besteht aus einem hohen Verwitterungsgrad des Schotters und einer mehreren Metern mächtigen Staublehmdecke (Fank et al., 2010).

Der Bereich der Würmterrasse im westlichen Leibnitzer Feld verfügt über einen überwiegenden Anteil an gut durchlässigen lockersedimentären Braunerdeboden. Lockersedimentäre Böden weisen eine höhere Austragsgefährdung von Nitrat in das Grundwasser auf. Im südöstlichen Leibnitzer Feld hingegen liegt die Gefahr an der Interaktion des Grundwassers der Rißterrasse und der Hochterrasse vor. Trotz schlechtdurchlässiger und tiefgründiger Böden kommt es zu einer Nitratverlagerung in das Grundwasser. Der wasserwirtschaftliche Schwerpunkt im nordöstlichen Leibnitzer Feld liegt hingegen auf dessen mittelgründigen lockersedimentären Braunerdeböden der Würmterrasse. In Bezug auf die Nitratverlagerung liegt das nordöstliche Leibnitzer Feld zwischen dem westlichen Leibnitzer Feld und dem südöstlichen Leibnitzer Feld. Die Gemeinde Gabersdorf und die in ihr installierte Versuchsfläche für den in dieser Arbeit behandelten Versuch liegen im südöstlichen Leibnitzer Feld (Fank, 1999).

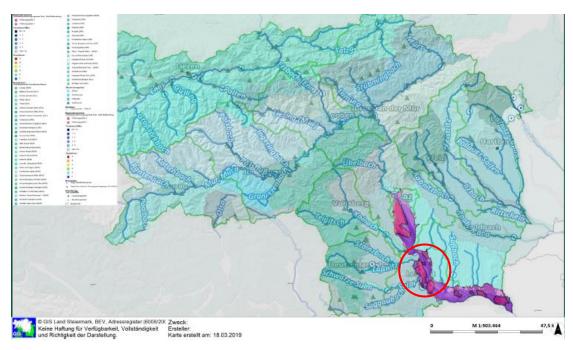


Abbildung 1: Grundwasserkörper in der Steiermark (Land Steiermark, 2019)

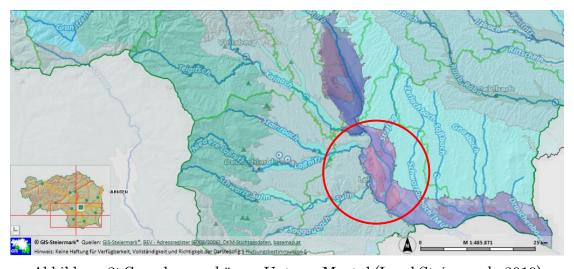


Abbildung 2: Grundwasserkörper Unteres Murtal (Land Steiermark, 2019)

In Abbildung 1 werden alle Grundwasserkörper der gesamten Steiermark ersichtlich dargestellt. Sehr gut erkennbar ist das von der Stadt Graz bis Bad Radkersburg gestreckte Untere Murtal, in welchem sich auch das Leibnitzer Feld und mit ihm die Exaktversuchsfläche in Gabersdorf befindet. Dieses Gebiet wird sowohl in Abbildung 1 als auch in Abbildung 2 unter Mithilfe eines roten Kreises markiert. Zudem werden in beiden Abbildungen mit der Farbe Türkis jegliche oberflächennahen Grundwasserkörper, welche in Verbindung mit der Mur stehen, verbildlicht. Die Farbe Dunkelblau charakterisiert alle mit der Mur

in Verbindung gebrachten Tiefengrundwasserkörper im sogenannten Oststeirischen Becken. Die Farbe Violett kennzeichnet das Widmungsgebiet 1 und die Farbe Rot das Widmungsgebiet 2 im Unteren Murtal.

1.2.3 Nitrat (NO₃-) im Grundwasser

Nitrat (NO₃-) gehört, wie Ammonium, Harnstoff und organischer Stickstoff, zu den wichtigsten Formen des Stickstoffes in der Landwirtschaft (Frede & Dabbert, 1998). NO₃- wird durch Nitrifikation, einer bakteriellen Oxidation von Ammonium zu Nitrat gebildet und auch in der Form von Düngemittel auf die zu düngenden Felder ausgebracht. Die Umwandlung der zuvor genannten Stickstoffformen zu Nitrat erfolgt in abnehmender Reihenfolge beginnend mit der Form des Ammoniums, danach des Harnstoffs und zuletzt des organischen Stickstoffes, welcher stark temperaturabhängig ist. Durch das Bodenwasser gelangt das Nitrat zur Pflanze, welche dieses passiv aufnimmt. Aufgrund seiner Beweglichkeit ist es ihm möglich sowohl auf natürlichem Wege als auch anthropogen in tiefere Schichten zu gelangen, wo es der Gefahr der Auswaschung in das Grundwasser ausgesetzt ist (Frede & Dabbert, 1998).

Toxizität des Nitrates

In der Wissenschaft wird zwischen Primärtoxizität, Sekundärtoxizität und Tertiärtoxizität unterschieden.

Körperliche Symptome beim Menschen, wie schwere Vergiftungsformen mit lokalen Reizungen, Diarrhoe durch Wasserentzug bis hin zu blutigem Erbrechen bei einer Aufnahme von 8-10 g Nitrat, charakterisieren die Primärtoxizität.

Die Sekundärtoxizität kann durch eine beispielhafte Aufnahme von zu hohen Mengen an Nitrat für die Blausucht bei Säuglingen und entarteter Darmflora von Menschen verantwortlich sein. Aufgrund der Reduktion von Nitrat zu Nitrit im Körper kommt es zu einer Oxidation von Fe²⁺ zu Fe³⁺ des Hämoglobins. Das dadurch gebildete Derivat Methämoglobin kann von Säuglingen aufgrund des Fehlens der Methämoglobin-Reduktase nicht in Hämoglobin zurückgeführt werden, wodurch bei höheren Methämoglobinanteilen ein Sauerstoffmangel verursacht werden kann. In der Tertiärtoxizität kann die Bildung von möglichen krebserregenden kanzerogenen Nitrosaminen nicht ausgeschlossen werden.

Bei landwirtschaftlichen Nutztieren wie am Beispiel eines Wiederkäuers besteht eine akute Gefahr der Nitritbildung durch die Nitratreduktion im Pansen. Dies kann zu einer Reduktion der Milchmenge, zu einer Wachstumshemmung, zu schlechten Konzeptionsraten bis hin zu Leberschäden führen (Pötsch, 2016).

Landwirtschaft und Nitrat im Grundwasser

Maßgeblichen Einfluss auf die Verlagerung gelöster Stoffe in das Grundwasser hat die über dem Grundwasser liegende schützende Boden-Deckschicht. Derzeit zählen ca. 80 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche zu diesem Oberflächenschutz, welcher vor allem im Hinblick auf den Faktor Nitrat eine besondere Relevanz trägt (BMLFUW, 2017c).

1.3 Zwischenfruchtanbau

Der Anbau von verschiedenen Gründüngungs- und Futterpflanzen zwischen zwei Hauptfrüchten wird als Zwischenfruchtanbau bezeichnet. Der Begriff Zwischenfruchtanbau unterteilt sich des Weiteren in Sommerzwischenfruchtanbau und Winterzwischenfruchtanbau (Renius et al., 1992). Erstere erfolgt in Form der Untersaat am stehenden Feld, welcher beim Getreidebau, beim Mais und bei der Ackerbohne üblich ist. Die Nutzung der noch vorhandenen Vegetationszeit nach der abgeernteten Hauptkultur ist eine Stärke der Sommerzwischenfrüchte. Standortbedingungen, wie Strahlungsintensität, Luft, Bodentemperatur, Niederschläge, Luftfeuchte, Bodenwasser sowie ein angepasstes Saatverfahren der unterschiedlichen Früchte nehmen maßgeblichen Einfluss auf den Aufgang und den Ertrag der Zwischenfrucht (Lütke Entrup, 1991).

Der Winterzwischenfruchtanbau findet nach der Ernte statt. Die Winterzwischenfrucht steht während des Winters bis zum Anbau der Folgefrucht am Feld. Bevorzugt wird diese aufgrund der Wasserspeicherfähigkeit und der ständigen Bearbeitbarkeit auf tiefgründige Böden ausgesät, wobei der Anbau auf unterschiedlichsten Bodenarten problemlos funktioniert. Ein Trockenmasseertrag von bis zu 5-10 dt ha⁻¹ vor dem Winter und eine bleibende Assimilationsfähigkeit bis in das Frühjahr geben beste Voraussetzungen für einen guten Ertrag (Lütke Entrup, 1991).

1.3.1 Zwischenfruchtanbau in Österreich

Im Jahr 2016 wurde laut Agrarumweltmaßnahme (ÖPUL) eine Gesamtfläche von 270.123 ha der Kategorie "Begrünung – Zwischenfruchtanbau" österreichweit bestellt. In der Steiermark erfolgte in diesem Jahr eine Begrünung von

12.129 ha Ackerland, welche über das Programm ÖPUL gefördert wurde (BMLFUW, 2017b).

ÖPUL

ÖPUL ist das österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft. Zu den inhaltlichen Schwerpunkten zählt der Schutz der wertvollen Naturressourcen zu denen das Wasser, der Boden, das Klima und die Biodiversität der Kulturlandschaft gehören. Im Rahmen der ÖPUL Zahlung wurden 2016 an 91.908 Betriebe 406,8 Mio. Euro ausbezahlt, wobei der prozentuelle Anteil der Kategorie "Begrünung – Zwischenfruchtanbau" davon nur 10,3 % an der Gesamtauszahlung betrug (BMLFUW, 2017b).

Das vom ÖPUL angebotene Begrünungsprogramm zielt auf einen wesentlichen Beitrag zum Gewässerschutz, der Reduzierung des Bodenabtrags, der Förderung des Humusaufbaus und des natürlichen Schutzes für Tiere und Insekten ab. Derzeit werden sechs unterschiedliche Begrünungsvarianten angeboten, welche sich im Zeitpunkt der Anlage und des Umbruches sowie der Einhaltung unterschiedlichster Bedingungen unterscheiden (AMA, 2015).

1.3.2 Charakteristik der verwendeten Zwischenfrüchte

Zu den Auswahlkriterien der richtigen Zwischenfrüchte und den für den Grundwasserschutz wichtigen Grundwasserparametern zählen eine tiefreichende Wurzelarchitektur, eine maximale Wurzeltiefe und die Geschwindigkeit des Tiefenwachstums. Schon bei geringer Durchwurzelungsdichte von 0,5 cm bis 1 cm cm-³ ist die Pflanze in der Lage Wasser aufzunehmen und der Verlagerung von Nitrat in tiefere Bodenschichten entgegen zu wirken (Bodner, 2012).

Zwischenfrüchte und das mit ihnen gegebene Wurzelspektrum dienen als wesentliche Agrarumweltmaßnahme zum Schutze des Bodens und des Grundwassers (Bodner, 2012). Der Einfluss von Zwischenfrüchten auf die Auswaschung von Nitrat wirkt sich auf zwei bedeutende Parameter aus. Zu diesen zählen die Reduzierung der Sickerwassermenge durch die Aufnahme und Transpiration der Pflanzen und die Senkung des im Boden enthaltenen N_{min} Gehalts durch die Aufnahme der Pflanzenwurzeln im Herbst (Hansen & Djurhuss, 1997; Meisinger, Hargrove, Mikkelsen, J.R. & Benson, 1991).

Ölrettich (Raphanus sativus)

Der Ölrettich gehört zu der Gruppe der Kreuzblütler (Brassicaceae). Diese Gruppe findet vor allem ihre bevorzugte Anwendung im Sommerzwischenfruchtanbau. Gründe dafür liegen in der guten Stickstoffverwertung, der Schnellwüchsigkeit, dem geringen Anbaurisiko, der Spätsaatverträglichkeit und der guten Bodenbedeckung (Lütke Entrup, 1991). Der kräftig behaarte Stängel ist das markanteste Merkmal zur Erkennung des Ölrettichs. Die Ausbildung von Rübenkörpern in der oberen Bodenschicht sowie ihre tiefreichende Pfahlwurzel mit der intensiven Nebenwurzelausbildung sorgen für eine Wasseraufnahme bis in tiefere Schichten und einer bodenlockernden Wirkung auf Bodenverdichtungen (Renius et al., 1992). Eine Durchwurzelung bis auf eine Tiefe von 1,70 m ist vor allem in Trockengebieten keine Seltenheit (Bodner, 2012). Findet der Ölrettich im Bereich der Gründüngung Verwendung, so kann ein Wurzelmasseertrag von bis zu 1,2 bis 1,4 t ha⁻¹ gebildet werden. Ein solch hoher Ertrag an Wurzelmasse wirkt sich positiv auf die organische Substanz im Boden aus. Aufgrund der Photoperiode von Langtagspflanzen sollte die Aussaat dieser Zwischenfrucht erst Mitte August erfolgen. Bei sehr rapslastigen Fruchtfolgen können auftretende Nematoden durch eine frühe Aussaat von nematodenresistenden Sorten bekämpft werden. Durch diese Maßnahme kann der rascheren Entwicklung von Nematoden bei hohen Temperaturen entgegengewirkt werden.

Mit dem ersten Frost beginnt auch das Absterben der Pflanze. Diese Eigenschaft kann in Verbindung mit einer darauffolgenden Mulchsaat bei den Kulturen Rüben und Mais genutzt werden (Lütke Entrup, 1991).

Senf (Sinapsis alba)

Die einjährige Kultur Senf zählt aufgrund des Wachstums zu den geeignetsten Zwischenfrüchten. Erst ab dem Jahr 1987 konnte sich der Senf aufgrund seiner Spätsaatverträglichkeit und der Verringerung von Nitratauswaschung etablieren. Zu den bekanntesten Senfarten zählen der Gelbsenf (Sinapsis alba), der Braunsenf (Brassica nigra) sowie der Sarepta Senf (Brassica juncea), wobei dem Gelbsenf (Sinapsis alba) mit seinem flächenmäßigen Vorkommen die größte Bedeutung zugeschrieben wird. Borstig behaarte Blätter und ein hoher Senfgehalt sind nur zwei Eigenschaften, die den Senf beschreiben. Zudem haben der Boden und das Klima eine geringe Bedeutung auf die Ansprüche des Senfs. Um hohe Erträge und ein gesundes Wachstum dieser Zwischenfrucht gewährleisten zu können, wird auf eine spätere Aussaat (Mitte-Ende August) hingewiesen. Durch zu frühe Aussaat in trockenen Gebieten kommt es zu keinem beschatteten

Aufwuchs. Der rasche Übergang des Stängeltriebes in die Blüte sorgt in weiterer Folge für eine schwächere Durchwurzelung des Bodens. Bei optimalen Bedingungen kann der Trockenmasseertrag der Wurzelrückstände zwischen 1,2 bis 1,5 t ha⁻¹ liegen.

Das Abfrieren der Pflanze erfolgt erst ab einer Temperatur von -4 °C. Ein pflugloser Anbau nach oberflächlicher Saatbettvorbereitung für die Folgefrucht stellt keine weiteren Probleme dar.

Wie schon beim Ölrettich erklärt, verbirgt sich in sehr rüben- und rapslastigen Fruchtfolgen eine Nematodengefahr. Hierzu muss auf einen Anbau mit nematoden-resistenten Sorten geachtet werden (Renius et al., 1992).

Buchweizen (Flagopyrum esculentum)

Buchweizen wurde in der Zeit der alten Kultur zur Herstellung von dreikantigem Kornmehl auf trockenen Böden angebaut. In der heutigen Zeit findet seine Verwendung in neu kultivierten Heide- und Moorböden statt. Geprägt durch eine schnelle Jugendentwicklung und geringen Standortansprüchen gedeiht der Buchweizen auf verschiedensten Arten von Böden. Vor allem bei der Erzeugung von Gründüngung werden nährstoffreiche Böden benötigt, wobei man hier von Frischmasseerträgen von 10 bis 20 t ha⁻¹ spricht. Die markante weiße Blüte sowie der rot krautige Stängel sind typische Merkmale, die das Aussehen des Buchweizens bestimmen. Der schmälernde Ertrag der Wurzelmasse, welcher bei einer Trockenmasse von 0,5 bis 0,6 t ha⁻¹ liegt, ist im Vergleich zu den üblichen Mischungspartnern der Behandlung 1 relativ gering (Renius et al., 1992).

Alexandriner Klee (Trifolium alexandrium)

Der Alexandriner Klee gehört zu den nicht winterfesten Kleeformen und wurde in den 50er Jahren aus den Mittelmeerraumgebieten eingeführt. Der Klee, welcher durch seine weiß-gelbe Blüte unverkennbar erscheint, ist in der Lage eine Wuchshöhe von bis zu einem Meter zu erreichen (Renius et al., 1992). Durch seine zurückhaltende Jugendphase besteht die Gefahr der Verunkrautung. Deswegen wird der Alexandriner Klee in Begrünungsmischungen mit raschwüchsigen Partnern kombiniert (Lütke Entrup, 2001). Bei ausreichend Wärme und Feuchtigkeit zeichnet sich diese Kleeart vor allem durch ihre Schnellwüchsigkeit aus. Aufgrund jener Eigenschaft findet er seine Verwendung oftmals als Stoppelsaat in den Monaten Juli/August. Der Trockenmasseertrag der Wurzel und der Ernterückstände beträgt je nach Aussaatmenge 1,2 bis 1,4 t ha⁻¹ (Renius

et al., 1992). Auf Basis eines sehr engen C/N Verhältnisses der Wurzelmasse findet eine zügige Verrottung statt (Lütke Entrup, 2001).

Ackerbohne *(Vicia faba)*

Die Ackerbohne ist eine einjährige stickstoffbindende Frucht, welche in Begrünungen aufgrund der Kleinkörnigkeit und der sich daraus ergebenden geringeren Saatgutkosten mit anderen Mischungspartnern zusammengemischt wird. Das Aussehen der Ackerbohne ist geprägt durch einen bis zu 1,50 m hohen vierkantigen Stängel, die in regelmäßigen Abständen paarig gefiederten graugrün gefärbten Blätter, die traubenförmigen Blüten und die sich bei der Reife verhärteten tiefschwarzen lederartigen Hülsen. Die für eine Zwischenfrucht erforderliche Eigenschaft ist die starke Pfahlwurzel der Ackerbohne. Diese kann bis in eine Tiefe von einem Meter vordringen. Geprägt von ihrer Robustheit stellt sie keine hohen Ansprüche an Boden und Klima dar. Das Abfrieren der Pflanze erfolgt erst bei einer Temperatur von -4 °C. Der im Boden verbleibende Trockenmasseertrag bewegt sich zwischen 1,5 und 1,8 t ha⁻¹. Bei einem gesunden Bestand und Frischmasseerträgen von bis zu 20 t ha⁻¹ kann mit einem Stickstoffverbleib von bis zu 50 bis 60 kg ha⁻¹ im Boden gerechnet werden. Dieser Wert muss bei der Stickstoffversorgung der Nachfrucht einkalkuliert werden (Renius et al., 1992).

Erbse (Pisum Sativum)

Die für den Zwischenfruchtanbau verwendeten Erbsensorten sind geprägt durch eine geringe Standfestigkeit, eine geringe Blütenanzahl und durch eine Wuchslänge von ein bis zwei Metern. Das Erscheinungsbild der Erbse zeigt eine gemischtfarbene Blütenfarbe (rosa, violett, weiß), den sich an den Blattachseln befindlichen Nebenblättern charakteristischen violetten Flecken und den in einer Wickelranke endenden Blattstielen. Wie schon zuvor die Ackerbohne hat auch die Erbse geringe Ansprüche an das Klima. Ein Abfrosten der Kultur findet erst ab einer Temperatur von -5 °C statt. Der zu erwartende Frischmasseertrag liegt bei 20-40 t ha⁻¹. Der Trockenmasseertrag der Wurzelsubstanz beträgt 1,2 bis 1,5 t ha. Die von den Knöllchenbakterien gebundene Stickstoffmenge liegt bei 50 bis 60 kg ha⁻¹ und muss beim Kalkulieren der Nachfrucht miteinbezogen werden (Renius et al., 1992).

Sommerwicke (Vivia sative)

Wie auch die Erbse und die Ackerbohne zählt die Sommerwicke ebenfalls zu den einjährigen Futterleguminosen. Der kantige Stängel, die rankenden Triebe, die paarig gefiederten Blätter und die rot/violetten Blüten beschreiben ihren Habitus. Ihre Ansprüche an den Boden und an das Klima liegen bei mittleren bis schweren, kalkhaltigen Lehmböden mit einem feuchtkühlen Klima. Aufgrund ihres schwachen Stängels benötigt sie standfeste Mischungspartner. Das ist auch der Grund ihres häufigen Auftretens in Begrünungsmischungen. Bei der Aussaat wird eine Ablage auf eine Tiefe von drei bis fünf Zentimetern empfohlen. Bei einem gut ausgebildeten Pflanzenbestand ist die Wicke in der Lage einen Frischmasseertrag von 20 bis 30 t ha⁻¹ zu erzielen. Die am Feld verbleibende Wurzelmasse ergibt einen Trockenmasseertrag von 1,5 t ha⁻¹. Durch die Ausbildung von Knöllchenbakterien an den Nebenwurzeln findet auch bei dieser Pflanze eine Stickstoffbindung statt. Aus diesem Grund muss der gebildete Stickstoff bei Anbau der Folgefrucht berücksichtigt werden (Renius et al., 1992).

1.4 Rechtliche Grundlagen für den Grundwasserschutz im Leibnitzer Feld

Im Kapitel 1.4 werden alle rechtlichen Maßnahmen, welche jeher zur Verbesserung des Grundwassers im Leibnitzer Feld ausgewiesen wurden, beschrieben.

Unter dem leitenden Grundsatz der wasserwirtschaftlichen Belange versteht man die nachhaltige Bewirtschaftung der Gewässer unter Berücksichtigung der sozialen, ökonomischen und ökologischen Bedürfnisse der modernen Menschheit.

Mit der Entstehung der Wasserrahmengesetz Novelle 2003 entstand ein Rahmen für die rechtliche Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Durch die Errichtung von Schwellenwerten für Nitrat (45 mg l $^{\text{-}1}$) und Pestiziden (0,1 µg l $^{\text{-}1}$) wurden schon 1991 durch die Grundwasserschwellenwertverordnung Qualitätsziele festgelegt.

Die Regelung der zentralen Umsetzung von Düngevorschriften und Ausbringungsverboten in der Landwirtschaft erfolgt mittels des Aktionsprogramms Nitrat. Dieses wird als zentrales Element zur Umsetzung verschiedenster Richtlinien zum Schutz vor Belastungen im Grund- und Oberflächengewässer in Österreich eingesetzt. Mit der Entstehung der "Richtlinie zur sachgerechten Düngung", aufbauend auf den Ergebnissen von Exaktversuchen unter Berück-

sichtigung des Pflanzenentzuges, wurde ein Leitfaden zur Optimierung einer pflanzengerechten, umweltschonenden und wirtschaftlichen Düngung erstellt.

Um die Einhaltung der vorgeschriebenen Qualitätsziele zu gewährleisten, kommen zur Verringerung gewässerrelevanter Emissionen aus der Landwirtschaft weitere legislative Maßnahmen zum Tragen.

Als rechtsverbindliches Schutz- und Vorsorgeinstrument zur Verhinderung von zukünftigen schwerwiegenderen Eingriffen in Gewässern dient eine ständige Gewässergütebeobachtung. Diese dient der Erfüllung verschiedenster Umweltziele und Qualitätsanforderungen an Fließgewässern und an das Grundwasser, welche in der Wasserrahmenrichtlinie der EU festgelegt und in den §§ 30a ff in das Wasserrahmengesetz aufgenommen wurden. Erfolgt eine flächendeckende anstatt einer vorübergehenden Überschreitung der Grundwasserschwellenwerte, so sorgen gemäß Wasserrahmengesetz verschiedenste Programme für eine Verbesserung des Grundwassers. Im Jahr 2006 erfolgte die Verordnung des Unteren Murtals und mit ihr die des Leibnitzer Felds zum Beobachtungsgebiet.

Laut § 130 der geltenden Fassung des Wasserrechtsgesetzes 1959 ist es die Aufgabe der Gewässeraufsicht des Landes Steiermark einerseits den Zustand der Gewässer sowie andererseits die Einhaltung der Bestimmungen und Anordnungen des Wasserrahmengesetzes mit seinen Verordnungen und diese des Aktionsprogramms 2008 unabhängig von der wasserrechtlichen Bewilligungspflicht zu überwachen.

Die Erhebung der Wassergüte an festgelegten Messstellen mit vergleichbaren Parametern zu gleichen Zeitabschnitten war ein Muss, um in Österreich eine geschlossene Datenbasis zur Entscheidungsgrundlage zu schaffen. Zu den Zielen der Erhebung zählten die Wassergüte sowie die Erfassung und Beschreibung der Wassergüte zu gegebenen Belastungen anhand eines grobmaschigen flächendeckenden Rasternetzes bei unterschiedlichen Grundwasservorkommen.

Die Regelung einer neuen Novelle der Grundwasserschwellenwertverordnung diente als neuer Schutz für das Grundwasser. Die Festlegung von neuen Zielen bezog sich maßgeblich auf jegliche weitere Verschmutzungen des Grundwassers.

Die Novelle beinhaltete die Festlegung von

- Schwellenwerten, welche das Grundwasser zum Zwecke der Wasserversorgung untauglich machen,
- eigenständigen Kriterien zur Ermittlung und Beurteilung der Messergebnisse unter Berücksichtigung von Grundwasserkörpern und Teilen von Grundwasserkörpern und Beobachtungs- und Maßnahmengebiete,
- Kriterien für die Ermittlung signifikanter und anhaltender steigender Trends zur Festlegung von Ausgangspunkten zur Trendumkehr,
- Maßnahmen zur Verhinderung und Begrenzung eines Schadstoffeintrages in das Grundwasser,
- Pflichten zur Untersuchung und Überwachung der Einbringung von bestimmten Stoffen in das Grundwasser sowie Mindestanforderungen an den Inhalt von Bewilligungsbescheiden.

Mit Bezug auf eine bodenangepasste Stickstoffdüngung wurde vor allem das Leibnitzer Feld durch die Novellierung der Schongebietsverordnung 1996 konfrontiert.

Laut Schongebietsnovelle 1996 ist auf Böden mit einer relativ hohen Austragsgefährdung (Tabelle 4) für die Kultur Mais eine Gesamtstickstoffmenge von 115 kg N ha⁻¹ nicht zu überschreiten. In den Bodenklassen lS/Scho 5 D (5Al), lS/Scho 4 D (Al) sowie im Standort lS/Scho 3 D (3Al) ist eine Startgabe zu der Kultur Mais von 50 kg N ha⁻¹ anzusetzen. Die Gabe eine Gesamtstickstoffmenge von bis zu 80 kg N ha⁻¹ ist in den übrigen Bodenklassen erlaubt.

Um eine sorgfältige Bewertung des N-Austrages in das Grundwasser durchführen zu können, bewertete 1998 das Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen (IKT) mittels der Simulationsmodelle SIMWASSER (zum Bodenwasserhaushalt) und STOTRASIM (zur Stickstoffdynamik) die mittlere Grundwasserneubildung und den damit verbundenen Stickstoffaustrag, welche in Tabelle 3 ersichtlich dargestellt werden. Das Ergebnis einer Grundwasserneubildung in den sogenannten ackerbaulichen Gunstlagen am Standort Wagna liegt bei einem mittleren Jahresniederschlag von 800 bis 950 mm zwischen 250 und 450 mm pro Jahr (Fank et al. 2004). Laut Modellberechnung von Fank 1999 haben in dem produktionsausrichtungsgeprägten Leibnitzer Feld mit seinen seichtgründigen, lehmig sandigen Braunerdeböden und mit ihnen der Zeitpunkt der Düngeausbringung wesentlichen Einfluss auf den Nitratverlauf.

Tabelle 2 zeigt die Einteilung der sechs Bodenformen des Leibnitzer Feldes, welche als Grundlage zur Berechnung des durchschnittlichen Stickstoffaustrags bei unterschiedlichen Kulturführungsformen dienten.

Tabelle 2: Bodenformen gemäß Finanzbodenschätzung und deren Zuordnung nach der Österreichischen Bodenkartierung

Bodenformen gemäß Finanzboden- schätzung	Zugeordnete Bodenformen nach der Österreichischen Bodenkartierung
lS/Scho 3 D	KB Leibnitz BF 15 a
IS 2-4 D	KB Leibnitz BF 15 b
SL 1-3 D	KB Leibnitz BF 16
sL 1-3 D	KB Leibnitz BF 17
sL/LT 5-6 D	KB Leibnitz BF 21, KB Leibnitz BF 24

KB Kartierungsbereich

BF Bodenform

1S/Scho lehmiger Sand auf Schotter

lS lehmiger Sand

SL stark lehmiger Sand/ stark sandiger Lehm

sL sandiger Lehm

LT lehmiger Ton/toniger Lehm

D Entstehungsart, Diluvium

Zahl (2) Zustandsstufe

Tabelle 3: Ergebnisse der Modellrechnung

Boden- form	Mittlere Grund- wasser- Neubil- dung (mm a ⁻¹)	Mittlerer Stickstoff- austrag (kg N ha ⁻¹) 120 N m.Ab.D	Mittlerer Stickstoff- austrag (kg N ha ⁻¹⁾ 120 N o.Ab.D	Mittlere Nitratkon- zentration (mg NO ₃ l ⁻¹) 120 N m.Ab.D	Mittlere Nitratkon- zentration (mg NO ₃ l ⁻¹) 120 N o.Ab.D
IS/Scho 3 D	330-335	76	68	99	90
IS 2-4 D	270-278	36	34	57	55
IS/Scho 4D	414-415	81	60	87	64
SL 1-3 D	239-252	27	27	49	48
sL 1-3 D	221-239	11	11	21	21
SL/LT 5-6 D	237-251	25	25	44	44

m. Ab.D mit Anbaudüngung

o. Ab.D ohne Anbaudüngung

Tabelle 4: Stickstoffobergrenze Mais

Überwiegende Bodenart gem. Schätzungskarten der Finanzboden- schätzung:	kg N ha ⁻
Lehmiger Sand auf Schotter, Zustandsstufe 3, 4 und 5 D, Sand, anlehmiger Sand, stark sandiger Lehm auf Schotter (stark austragsgefährdete Böden)	115
lehmiger Sand, stark sandiger Lehm	160
Sandiger Lehm, Lehm auf Ton	170

Enthaltene Maßnahmen laut § 5 Abs. 1 Z 1 lit a LGBl. Nr. 47/2006:

- die Stickstoffdüngung zu Mais ist nur bis zu bestimmten Obergrenzen, siehe Tabelle 4, zulässig
- die Stickstoffdüngung zu Kürbis auf Böden der überwiegenden Bodenart lehmiger Sand auf Schotter, Zustandsstufe 3, 4 und 5 D, Sand, anlehmiger Sand, stark sandiger Lehm auf Schotter (stark austragsgefährdete Böden) ist nur bis maximal 50 kg Stickstoff/ha/Jahr zulässig
- die Ermittlung des Stickstoffanfalls aus Wirtschaftsdünger (Gülle) bei Mastschweinen und Zuchtsauen ist nur auf folgende Weise zulässig:

Mastschweine ab 32 kg Lebendgewicht: 3,15 kg Stickstoff/Mastschwein Zuchtsauen (inkl. Ferkel bis 32 kg): 22,4 kg Stickstoff/Jahr/Zuchtsau

Das Kapitel 1.4 Rechtliche Grundlagen für den Grundwasserschutz im Leibnitzer Feld basiert auf der Arbeit von Zirngast (2011).

39. Verordnung

Mit der 39. Verordnung (LGBl Nr.39, 2015) zum Schutz der Grundwasserkörper Grazer Feld und Leibnitzer Feld wurden wiederum neue Maßstäbe zur Verbesserung und Erhaltung der Trinkwasserqualität von Graz bis Bad Radkersburg gesetzt. Wie schon in den Verordnungen zuvor wird besonderes Augenmerk auf die Bereiche Land- und Forstwirtschaft gelegt.

Zu den neuen Maßnahmen für die Landwirtschaft zählt unter anderem die Verbindung von Bodenuntersuchungsergebnissen mit der jeweiligen feldbezogenen Ertragslage. Diese sorgt für eine verbesserte mengenmäßige Düngerverteilung auf die unterschiedlichen Standorte. Auch im Garten und Feldgemüsebau muss die sachgerechte Düngung zur passenden Ertragslage eingehalten werden.

Eine Aufzeichnungspflicht für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung dient zur Vereinfachung der Beweissicherung. Hierbei müssen Größe der landwirtschaftlichen Nutzfläche, die jeweilige Grundstücksnummer, bestimmte Angaben zum Schlag, Art der an einem Schlag verwendeten stickstoffhaltigen Düngemittel und Art der an einem Schlag verwendeten Pflanzenschutzmittel innerhalb einer Woche eingetragen und für die Dauer von sieben Jahren vom Betriebsführer aufbewahrt werden. Auf Verlangen ist das Betriebsbuch den Organen der Gewässeraufsicht und den zuständigen Behörden unverzüglich vorzulegen.

Die Ausbringung von stickstoffhaltigem Düngemittel außerhalb der in der Verordnung vorgegebenen Zeiträume bedarf einer wasserrechtlichen Bewilligung. Zudem müssen Stickstoffdüngergaben, welche über dem arithmetischen Mittel (Mittelwert) der angegebenen Werte gemäß sachgerechter Düngung liegen, sowohl in der Landwirtschaft als auch im Garten und Feldgemüsebau wasserrechtlich bewilligt werden.

Bewilligungspflichten Widmungsgebiet 1:

- "Stickstoffdüngergaben im Kürbisanbau von mehr als 60 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr;
- Stickstoffdüngergaben für Gründecken, ausgenommen Sauerwiesen und weiden;
- die Ausbringung stickstoffhaltiger Düngemittel auf landwirtschaftlich nicht genutzten Böden, es sei denn als Anbaudüngung;
- Stickstoffdüngergaben in einem Abstand von weniger als drei Wochen;
- Überschreitung eines Zeitraumes zwischen Stickstoffdüngergaben und Anbau von zehn Tagen;
- die Ausbringung von Pflanzenschutzmittel, die im Amtsblatt zur Grazer Zeitung kundgemacht wurden."

Bewilligungspflichten Widmungsgebiet 2:

- "die Lagerung, Leitung und der Umschlag wassergefährdeter Stoffe, ausgenommen Düngemittel, im Sinne des § 31a Abs. 1 des Wasserrechtsgesetzes 1959, wenn die maximale Lagermenge 5000 kg übersteigt und eine Betriebsanlagengenehmigung nach gewerberechtlichen Bestimmungen nicht erforderlich sind."
- Grabungen und Bohrungen, die tiefer als 1 m über den höchsten jemals gemessenen Grundwasserstand reichen.
- die Errichtung und Erweiterung von Flughäfen und Flugplätzen, Eisenbahnanlagen sowie Landes- und Bundesstraßen (übergeordnete Verkehrswege);
- Neuanlagen und Erweiterungen von Friedhofsanlagen für Erdbestattungen;
- Rodungen von Flächen größer als 1 ha,
- Intensive Tierhaltung (>2,5 GVE ha⁻¹) im Freien;
- Die Lagerung von Festmist oder die Errichtung von G\u00e4rfuttermieten auf unbefestigten Fl\u00e4chen."

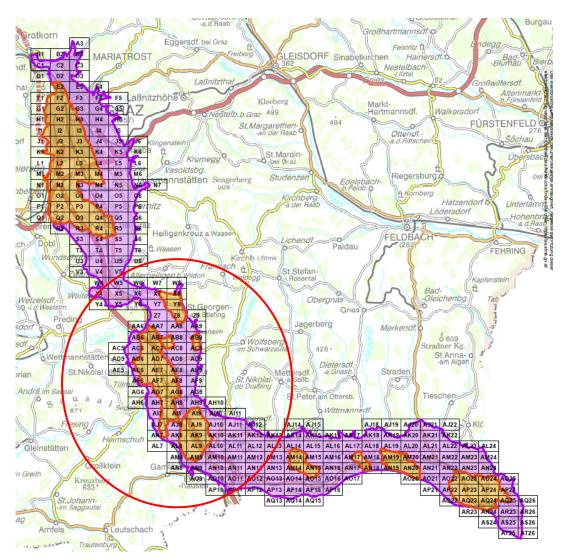


Abbildung 3: Grundwasserschutzprogramm von Graz bis Bad Radkersburg, Widmungsgebiet 1: violette Farbe, Widmungsgebiet 2: orange Farbe (Land Steiermark, 2018)

Die Einteilung des Grundwasserschutzprogrammes erfolgt in zwei Widmungsgebiete, welche die Bezeichnungen Widmungsgebiet 1 und Widmungsgebiet 2 tragen. Widmungsgebiete werden zum Erhalt und zur Sicherung der geschützten Grundwasserkörper vom Landeshauptmann ausgewiesen. Grundsätzliche Maßnahmen und Regelungen gelten in jedem der beiden ausgewiesenen Gebiete, wobei im Widmungsgebiet 2 eine zusätzliche wasserrechtliche Bewilligungspflicht herrscht. Ein Großteil der Fläche des Leibnitzer Feldes, in Abbildung 3 in der Farbe Rot eingekreist, befindet sich im rechtlich verschärften Widmungsgebiet 2 (LGBI Nr.39, 2015).

1.5 Zielsetzung und Fragestellung

Das übergeordnete Ziel war ein Versuch auf Basis einer randomisierten Exaktversuchsfläche im Kerngebiet des seit Jahrzehnten von Nitrat geplagten Leibnitzer Felds zu errichtet. Aufgrund verschärfter Ausbringzeiträume für Düngermittel in der 39. Verordnung benötigen immer mehr landwirtschaftliche Betriebe höhere Düngerlagerkapazitäten. Dies sorgt im Zuge der Anschaffung für einen erheblichen Anteil an Mehrkosten und führt des Weiteren zur Verleitung der Landwirte zu einer erhöhten, wenn auch nicht erlaubten, N-Ausbringmenge in einem kurzen Zeitfenster. Der Grundgedanke, dass mittels Düngung einer Begrünung nach Abernte der Hauptkultur ein erheblicher Teil des zugeführten Stickstoffes von den Pflanzen aufgenommen werden kann, würde nicht nur einen positiven Einfluss auf wichtige bodenkundliche Kennzahlen haben, sondern auch die Landwirte und die Grundwasserqualität durch eine weitere Düngungsmöglichkeit entlasten.

Folgende Fragestellungen werden in dieser Masterarbeit rund um den Einfluss einer Düngung zu unterschiedlichen Begrünungsbehandlungen beschrieben:

- Wie wirkt sich eine Düngung zu unterschiedlichen Begrünungsbehandlungen auf ausgewählte pflanzenbauliche Kennwerte aus?
- Wie unterscheiden sich gedüngte Behandlungen von ungedüngten Behandlungen in Bezug auf die Verlagerung von N_{min} im Boden?
- Inwiefern nehmen gedüngte Behandlungen und ungedüngte Behandlungen Einfluss auf die Verlagerung von Nitrat in das Bodenwasser?

2 Material und Methoden

2.1 Geologische und Klimatische Standortbeschreibung

2.1.1 Geologie des Standortes

Der Bezirk Leibnitz gliedert sich aus geologischer Sicht in drei Bereiche. Zu diesen zählen die Talbereiche der Murauen sowie Täler der Nebengerinne, der Bereich der Niederterrasse und der Bereich der Höheren Terrasse und das Hügelland. Gabersdorf, der Standort der Versuchsfläche, befindet sich im Bereich der Niederterrasse entlang des Murtales. Charakteristisch für das Gebiet zwischen Gabersdorf und St. Veit am Vogau ist ein lockersedimentärer Braunerdeboden, welcher aus lehmig- schluffigen Terrassenmaterialien besteht. Der tiefgründige Boden ist geprägt durch eine gute Wasserversorgung, einer hohen nutzbaren Feldkapazität und einer ausgeglichenen Wasserführung. Die zahlreichen positiven Eigenschaften sorgen für die Zugehörigkeit zu den besten Böden der Steiermark (Köck, 2002; BFW, 2018).

Zur Trockenlegung einer Feuchtstelle des Ackers wurden vor undefinierbarer Zeit künstliche Schotterbänke in einer Tiefe von etwa einem Meter geschaffen (Holler, 2016b). Diese stellen im weiteren Versuchsablauf jedoch keine Beeinträchtigung im Hinblick auf die Messergebnisse dar.

2.1.2 Klima des Standortes

Für die klimatische Beschreibung des Versuchsstandortes Gabersdorf werden die Daten der ca. 3 km (Luftlinie) entfernt liegenden ZAMG Wetterstation in Wagna verwendet. Die auf einer Seehöhe von 274 m gelegene Versuchsfläche weist eine jährliche durchschnittliche Temperatur von 9 °C bei einem Jahresniederschlag von ca. 900 mm auf (Wakonigg, Hawranek, Podesser & Rieder, 2008).

Der Versuchsstandort liegt in der illyrischen Klimazone, welche einen schwach kontinentalen Einfluss zeigt. Das illyrische Klima bildet zusammen mit dem alpinen Klima die zwei in der Steiermark vorherrschenden Klimazonen. Prägen kühle, kurze Sommer und lange Winter die alpine Klimazone, so sind heiße schwüle Sommer mit nur mäßig kaltem Winter charakteristisch für das illyri-

sche Klima. Pilger et. al (2010) zählen die Südsteiermark zu den wärmsten Gebieten in Österreich.

Zusätzlich haben Wetterkapriolen durch ihre Extreme (Starkregen, Trockenperioden) massiven Einfluss auf die Verlagerung von Nitrat im Boden (Fank et al., 2010).

2.2 Versuchsaufbau

Die Exaktversuchsfläche besteht aus drei Blöcken zu je sechs Parzellen mit randomisierter Anordnung der verschiedenen Behandlungen. Durch eine Länge von 15 Metern und einer Breite von drei Metern ergibt sich eine Parzellengröße von jeweils 45 m² pro Parzelle. Die Parzellenbreite wurde aufgrund der leichteren Bewirtschaftung mit der zur Verfügung stehenden Landtechnik gewählt.

Entlang der Grenze der westlichen Seite der Anlage und zwischen den Blöcken wurde ein Abstand von vier Metern gewählt. Der Abstand zur östlichen Feldgrenze beträgt aufgrund eines schattengebenden Ökostreifens sechs Meter. Durch das Randomisieren war es möglich die Variabilität, verursacht durch die Heterogenität der Parzellen, klein zu halten.



Abbildung 4: Luftbildaufnahme der randomisiert angeordneten Exaktversuchsfläche vom 25.9.2017

	P1	P2	Р3	P4	P5	P6	
B1	2	4	6	3	5	1	15
							m
						3 m	
·							
	Р7	P8	Р9	P10	P11	P12	
B2	1	2	5	4	3	6	
	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	
	P13	P14	P15	P16	P17	P18	٦
	. 13	, 1,	, 15	. 10		7.10	
В3	3	6	F	1	4	2	
53	3	6	5	1	4	2	
	1						1

Legende: B= Block Nummer

P= Parzelle Nummer

3= Bearbeitungsverfahren Nummer

x = 3 Saugkerzen

Abbildung 5: Versuchsdesign der Versuchsfläche in Gabersdorf übernommen von Mehdi2017

2.2.1 Saugkerzen

Definition Saugkerzen

Bei einer Saugkerze handelt es sich um ein längliches dünnes Kunststoffrohr, welches aus einer Keramikspitze und eines im inneren des Kunststoffs enthaltenen Schlauchs besteht. Mittels Unterdruck, welcher sich in der Größenordnung der Feldkapazität bewegt, saugt die Saugkerze freies Bodenwasser über den Schlauch in ein dichtes Gefäß, in welchem ein Vakuum vorherrscht (Hein & Murer, 2002). Je nach Porengröße der Keramikspitze und des Unterdrucks ist es der Saugkerze möglich Wasser aufzunehmen, jedoch keines abzugeben (Fank, 1996).

Installation

Am 4.8.2017 wurden im Block Nummer Zwei drei Saugkerzen je Behandlung in den Tiefen von 40 cm, 60 cm und 90 cm eingebaut. Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Saugkerzen wurden diese vorab für den Zeitraum von drei Stunden in einen Wasserbehälter gelegt. Mittels herkömmlicher Pumpe wurde anschließend ein Unterdruck von 0,5 Bar angelegt. Nach der Überprüfung der Dichtheit konnten die Saugkerzen für funktionsfähig erklärt werden. Um die Saugkerzen in den passenden Tiefen installieren zu können, mussten am 3.4.2017 mittels Minibagger drei Gruben mit einer Tiefe von einem Meter ausgehoben werden. In diesen Gruben wurden mit einem herkömmlichen Bodenbohrer in der Länge der Saugkerzen waagrechte Löcher gebohrt, in denen anschließend die Saugkerzen behutsam eingeführt wurden. Hierbei wurde vor allem ein sorgfältiges Arbeiten aufgrund des äußerst bröckelig, trockenen Bodens abverlangt. Der Vorteil des horizontalen Einbaus der Saugkerzen liegt in der Verhinderung des Abrinnens von Regenwasser entlang der Saugkerzen, welches bei einem vertikalen Einbau vermutet wird. Eine weitere Herausforderung stellte das vorsichtige Verlegen der Saugkerzenschläuche an die Erdoberfläche dar. Eine Beschädigung des mit der Saugkerze und dem Auffangbehälter verbundenen Schlauches würde zum Verlust des Vakuums führen und eine zukünftige Wasseraufnahme verhindern. Ein ebenerdiger Einbau von drei alten Kühlschränken diente als Lager der Auffangbehälter. In einem Kühlschrank konnten für sechs Saugkerzen Gefäße platziert werden. Die Kühlschränke dienten einerseits zum Schutz vor Wettereinflüssen und sorgten andererseits für Ordnung zwischen den unterschiedlichen Auffangbehältern mit den verschiedenen Tiefen.

In einem Abstand von jeweils einer Woche wurde der Unterdruck der einzelnen Saugkerzen überprüft sowie das gesammelte Wasser in den Bechern entleert und auf Nitrat beprobt. Die Durchführung der Kontrolle, die Wasserentnahme sowie die Beprobung erfolgten durch Mitarbeiter der Umweltberatung Steiermark.



Abbildung 6: Einbau der Saugkerzen in den Tiefen von 40 cm, 60 cm und 90 cm

In Abbildung 6 ist eine der drei Saugkerzengruben sowie der waagrechte Einbau der länglichen Saugkerzen in den unterschiedlichen Tiefen von 40 cm, 60 cm und 90 cm ersichtlich.

2.2.2 Stickstoffdüngung

Laut §6 der 39. Verordnung des Landesgesetzblattes bedarf es bei Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln außerhalb der erlaubten Zeiträume im Widmungsgebiet 2 einer wasserrechtlichen Bewilligung. Aufgrund des kleinräumigen Versuchsbereichs von 270 m² und einer Gesamtdüngermenge von 1,62 kg Stickstoff im gesamten Bereich des Versuches war ein wasserrechtliches Bewilligungsverfahren zur Genehmigung der Versuchsfläche unumgänglich. Zudem entstand laut (LGBI Nr.39 2015) die Auflage der jährlichen Übermittlung von Dokumentations- und Versuchsergebnissen an die Bezirkshauptmannschaft Leibnitz und dem Wasserverband Leibnitzerfeld Süd.

Die Düngung der Exaktversuchsfläche erfolgte auf Grundlage der Richtlinie für die sachgerechte Düngung und ergab einen Wert von 60 kg N ha⁻¹. Laut Tabelle 22 der Richtlinie werden Werte von 40-80 kg N ha⁻¹ für den Zwischenfrucht(futter-)bau ohne Leguminosen empfohlen. Zu- und Abschläge erfolgen auf Basis der Ertragslage und des Anbauzeitpunktes (BMLFUW, 2017a). Als Düngemittel diente homogenisierte Mastschweinegülle. Diese wurde mittels gewöhnlichem Güllefass aus dem Lager gesaugt und anschließend zum Feld transportiert. Mithilfe einer am 1.8.2017 durchgeführten Analyse durch die Umweltberatung Steiermark war es möglich den genauen Stickstoffgehalt der Gülle zu analysieren. Diese ergab einen Wert von 2,88 kg Stickstoff lagernd und einen Ammonium-N Anteil von 2,22 kg. Anhand einer auf die Parzellengröße angepassten Umrechnung war es möglich die Düngung unter Zuhilfenahme von drei 14 Liter Gießkannen per Hand, wie in Abbildung 7 ersichtlich, auf die zu düngenden Parzellen am 3.8.2017 auszubringen. Um ein Ausgasen des ausgebrachten Düngers bei der hohen Temperatur von 34,7 °C zu verhindern, war ein rasches Einarbeiten der gedüngten Parzellen unumgänglich (Hersener et. al, 2002).



Abbildung 7: Dipl. Ing. Christoph Zirngast bei der Ausbringung der Mastschweinegülle mittels Gießkanne auf die zu düngende Parzelle

2.2.3 Aussaat der Behandlungen

Hinsichtlich eines nach der Trockenperiode anstehenden Wetterumschwunges wurden die verschiedenen Behandlungen am Abend des 4.8.2017 ausgesät. Die Vorbereitung des Saatbettes erfolgte mittels eines 3 m Regent Grubers. Dieser lockerte den trockenen Boden bis zu einer Tiefe von 15 cm auf und sorgte für ein grobkrümeliges Saatbett. Die Aussaat der Behandlungen erfolgte mit einer Saatbettkombination bestehend aus LION Kreiselegge und VITASEM ADD Aufbausämaschine der Firma Pöttinger. Aufgrund der Kombination von Kreiselegge und Sämaschine konnte ein Arbeitsgang eingespart werden. Die Kreiselegge mit angebauter Schneidpackerwalze führte auf einer Tiefe von ca. 10 cm zu einem gleichmäßigen feinkrümeligen Saatbett. Die an der Sämaschine angebrachte Doppelscheibenschare sorgte für eine individuelle Tiefenablage der einzelnen Behandlungen. Zu den weiteren Ansprüchen der Sämaschine zählten eine genaue Aussaatmenge und eine einfach handzuhabende Abdrehprobe aufgrund der verschiedenen Größen der Sämereien und der unterschiedlichen Aussaatmengen. Auf Basis neuerster Technik war es möglich aufgangssteuernde Einflüsse zu lenken. So wurde Behandlung 5 (Ackerbohne, Erbse, Sommerwicke) in einer größeren Tiefe (5 cm Ablagetiefe) als die Behandlungen 3 (Alexandriner Klee, Senf, Buchweizen) und 4 (2-3 cm Ablagetiefe) gesät.

In der Region erfolgt die Aussaat meist mittels vorhandener Kombination aus Grubber und Säkasten. Die Entscheidung die Aussaat mit einem arbeitsaufwendigeren Verfahren zu tätigen, fiel aufgrund der unterschiedlichen Saatmenge, Saattiefe sowie der Sicherstellung eines schnellen Aufganges der Behandlungen auf der trockenen Versuchsfläche. Die Aussaat der Behandlungen wurde mit der Saatbeetkombination von Herrn Greiml Johann durchgeführt.

Laut der ZAMG Wetterstation in Wagna erfolgte am Tag der Aussaat ein gemessener Niederschlag von 0,1 mm. In Gabersdorf sorgte jedoch ein örtliches Gewitter für einen Niederschlag von 5 mm m-². Jener Niederschlag wurde mittels eines handelsüblichen Regenmessers ca. 600 m (Luftlinie) nördlich der Exaktversuchsfläche am elterlichen Betrieb aufgezeichnet.



Abbildung 8: Aufgang der Behandlung 2 (Ölrettich, Senf, Buchweizen) im Block 3

Abbildung 8 zeigt den gleichmäßigen Aufgang der Behandlung 2 im Block 3 am 15.8.2017. Gut ersichtlich ist der durch die Säkombination gewollte reihenweise Aufgang der Sämereien Ölrettich, Senf und Buchweizen. Nach nur elf Tagen der Aussaat konnten aufgrund der feuchten Erdoberfläche bereits große Erfolge im Aufgang der Behandlungen beobachtet werden.

Tabelle 5: Nach Datum gereihte Tätigkeiten auf der Exaktversuchsfläche

Datum	Tätigkeit				
01.08.2017	Ausmessen der Versuchsfläche				
02.08.2017	Ausstecken der Versuchsflächen				
03.08.2017	Erste Bodenprobenziehung in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm				
	Ausheben der drei Saugkerzengruben im Block 2				
	Ausbringen und Einarbeitung des Düngers auf die zu düngenden Parzellen				
04.08.2017	Einbau der Saugkerzen im Block 2 in den Tiefen von 40 cm, 60 cm, 90 cm				
	Bodenbearbeitung und Anbau der Behandlungen				
09.08.2017	Anlegen des Saugkerzenunterdruckes				
07.09.2017	Erste Schnittprobenentnahme				
21.09.2017	Zweite Bodenprobenziehung in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm				
11.10.2017	Zweite Schnittprobenentnahme				
30.10.2017	Dritte Bodenprobenziehung in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm				
21.11.2017	Vierte Bodenprobenziehung in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm				
	Dritte Schnittprobenentnahme				
	Zerkleinern der Begrünungsmischungen mittels Mulcher				
22.11.2017	Pflügen der Versuchsfläche				
16.04.2017	Fünfte Bodenprobenziehung in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm				

Tabelle 5 zeigt die nach Datum tabellarisch gereihten Tätigkeiten auf der Exaktversuchsfläche in Gabersdorf.

2.3 Behandlungen

Wie in Tabelle 6 ersichtlich werden in diesem Kapitel die Zusammensetzung der Behandlungen aus den einzelnen Mischungspartnern, die Aussaatmenge sowie Angaben zu welcher Behandlung eine Düngung erfolgte beschrieben.

2.3.1 Behandlung 1

Behandlung 1 besteht aus einem Gemenge von 8 kg ha⁻¹ Ölrettich, 8 kg ha⁻¹ Senf und 20 kg ha⁻¹ Buchweizen. Es wurde mit einer Aussaatmenge von 36 kg ha⁻¹ gearbeitet. In dieser Variante wurde keine Düngung durchgeführt.

2.3.2 Behandlung 2

Die Behandlung 2 besteht aus der identen Begrünungsmischung, welche in der Behandlung 1 bereits beschrieben wurde. Zusätzlich dazu erfolgte die im Kapitel 2.2.2 beschriebene Düngergabe von 60 kg N ha⁻¹.

2.3.3 Behandlung 3

Behandlung 3 besteht aus einem Gemenge von 8 kg ha⁻¹ Alexandriner Klee, 2 kg ha⁻¹ Senf und 14 kg ha⁻¹ Buchweizen. Es wurde mit einer Aussaatmenge von 24 kg ha⁻¹ gearbeitet. In dieser Variante wurde keine Düngung durchgeführt.

2.3.4 Behandlung 4

Die Behandlung 4 besteht aus der gleichen verwendeten Begrünungsmischung, welche in der Behandlung 3 bereits beschrieben wurde. Zusätzlich dazu erfolgte die im Kapitel 2.2.2 beschriebene Düngergabe von 60 kg N ha⁻¹.

2.3.5 Behandlung 5

Behandlung 5 besteht aus einem Gemenge von 45 kg ha⁻¹ Ackerbohne, 45 kg ha⁻¹ Erbse und 45 kg ha⁻¹ Sommerwicke. Es wurde mit einer Aussaatmenge von 135 kg ha⁻¹ gearbeitet. Die Wahl der Leguminosenvariante erfolgte absichtlich, um die Stickstofffixierleistung der Knöllchenbakterien während des Versuchszeitraumes darstellen zu können. In dieser Variante wurde keine Düngung durchgeführt.

2.3.6 Referenzparzelle

Auf der Referenzparzelle wurden keine Arbeiten getätigt und der nach der Ernte vorhandene Zustand unverändert beibehalten.

Behandlung Zusammensetzung Düngung Aussaatmenge Behandlung 1 Ölrettich, Senf, Nein 36 kg ha⁻¹ Buchweizen Ölrettich, Senf, Behandlung 2 60 kg N ha⁻¹ 36 kg ha⁻¹ Buchweizen Behandlung 3 Alexandriner Klee, Nein 24 kg ha⁻¹ Senf, Buchweizen Behandlung 4 Alexandriner Klee, 60 kg N ha⁻¹ 24 kg ha⁻¹ Senf, Buchweizen Behandlung 5 Ackerbohne, Erbse, Nein 135 kg ha⁻¹ Sommerwicke Behandlung 6 Referenzparzelle

Tabelle 6: In der Arbeit verwendete Behandlungen

2.4 Pflanzenbauliche Erhebung

Zur Erhebung der oberirdischen Trockenmassebildung wurden am 7.9.2017, am 11.10.2017 und am 21.11.2017 Schnittproben der einzelnen Behandlungen genommen. Hierfür wurde ein eigens angefertigter Holzrahmen mit den Maßen von 25 cm * 25 cm verwendet. Der Rahmen wurde zufällig innerhalb einer Parzelle platziert, um einen Viertelmeterschnitt des darin wachsenden Aufwuchses mit einer Gartenschere ernten zu können. Parzellenbezogene Eimer dienten zur Zwischenlagerung des geernteten Grüngutes am Feld und als Maßnahme zur Vermeidung einer Vermischung der unterschiedlichen Schnitte innerhalb eines Blocks.



Abbildung 9: Viertelmeter-Rahmen vor dem Schnitt (links) und nach dem Schnitt (rechts)

In Abbildung 9 ist die erste Schnittprobe vom 7.9.2017 zu sehen. Der Viertelmeter wurde zur leichteren Berechnung auf einen Hektar hochgerechnet.

2.4.1 Trockenmasseertrag

Die geschnittenen Proben wurden anschließend in das Labor der Landwirtschaftskammer nach Leibnitz gebracht. Dort wurde das geerntete Grüngut zerkleinert, eingewogen und im Trockenschrank bei einer Temperatur von 105 °C getrocknet. Die Trocknung erfolgte so lange, bis keine Gewichtsabnahme mehr festzustellen war.

Durch die spätere Rückwaage des getrockneten Grüngutes lässt sich der datumbezogene Trockenmasseertrag der einzelnen Behandlungen berechnen.

2.4.2 N-Ertrag in kg ha⁻¹

Der Großteil der parzellenbezogenen Schnittproben wurde in Kunststofftüten eingefroren und mittels Kühltaschen zum BOKU Standort Tulln an der Donau ins Labor gebracht. Dort wurden die noch nassen Proben für eine Dauer von sechs Tagen im Trockenschrank bei einer Temperatur von 65 °C (Umluft) getrocknet. Nach erfolgter Trocknung wurden die trockenen Proben am 12.2.2018 mit einer groben und einer feinen Mühle mit verschiedensten Umdrehungen vermahlen. Das trocken vermahlene Grüngut wurde daraufhin in Papiersäckchen abgefüllt.

Anhand der Dumas Methode wurde der C/N Gehalt der einzelnen Proben analysiert. Bei der Dumas Methode wird eine mittels Feinwaage eingewogene Probe

bei einer Temperatur von 1150 °C unter Sauerstoffzufuhr verbrannt. Durch die hohe Verbrennungstemperatur kommt es zum Übergang von festen Bestandteilen zu gasförmigen Stoffen. Die entstehenden Gase werden gereinigt, getrennt und anschließend bestimmt. Eine Software vergleicht die entstandenen Gase mit denen ihr bekannter Gaswerte und berechnet im Zuge dessen die vorhandenen Inhaltsstoffe (Kalra, 1988).



Abbildung 10: Trocken gemahlenes Grüngut

Abbildung 10 zeigt das trocken gemahlene Grüngut im Mühlenaufsatz der kleinen Mühle. Das Grüngut wurde zwei Minuten bei einer Drehzahl von 1.199 Umdrehungen pro Minute grob gemahlen und anschließend für die Dauer von 30 Sekunden in der feinen Mühle verfeinert.

2.5 Bodenkundliche Erhebung

2.5.1 Grundbodenuntersuchung

Zu Beginn unseres Versuches wurde eine Grundbodenuntersuchung auf der Versuchsfläche durchgeführt. Hierzu wurden mittels eines vom Maschinenring zur Verfügung gestellten Erdbohrers am 3.8.2017 auf einer Tiefe von 30 cm Bodenproben gezogen. Aus sämtlichen gestochenen Proben wurde eine Mischprobe erstellt, welche anschließend in einem Kühlfach gelagert wurden. Die

Analyse der Proben wurde am 8.8.2017 von der Abteilung 10 des Landes Steiermark nach den bestehenden ÖNORMEN und Verbandmethoden durchgeführt. Untersucht wurden die Parameter pflanzenverfügbarer Phosphor, pflanzenverfügbares Kalium, pH-Wert in Calciumchlorid sowie der Humusgehalt.

bezogen auf lufttrockenen Feinboden sind enthalten			Holleracker 4045/2017	A B C D E sehr niedrig niedrig ausreichend hoch sehr hoch	Nr.
Phosphor pflanzenverfügbar	mg/1000g	146	D hoch		3
Kalium pflanzenverfügbar	mg/1000g	191	C ausreichend		3
pH-Wert in Calciumchlorid		6,6	neutral		2
Humus (Trockenverbrennung)	%	2,8	mittel		5

Abbildung 11: Grundbodenuntersuchung

Abbildung 11 zeigt die aus der Grundbodenuntersuchung entstandenen Ergebnisse der Versuchsfläche. Der Wert des pflanzenverfügbaren Phosphors von 146 mg/1000g Boden sowie der Wert von 191 mg/1000g für Kalium befinden sich in einem leicht erhöhten Bereich. Der pH-Wert, welcher einen maßgeblichen Einfluss auf die Mobilisierbarkeit von Nährstoffen hat, liegt mit einem Wert von 6,6 nahe dem neutralen Wert von 7. Der analysierte Humusanteil befindet sich aufgrund der Bodenschwere in einem akzeptablen Bereich (Köck, 2002).

2.5.2 Beprobung auf N_{min}

Unter dem Begriff N_{min} versteht man den in der oberen Bodenschicht vorhandenen, für die Pflanzen leicht verfügbaren Stickstoff in der Form von Nitrat (NO₃·) und Ammonium (NH₄₊) (Wehrmann & Scharpf, 1979).

Um in den einzelnen Parzellen aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, wurden in einem regelmäßigen Abstand von sechs Wochen anhand eines gewöhnlichen Bodenbohrers in den Tiefen von 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm Bodenproben gezogen. Pro Parzelle wurden aus vier Ziehungen je Tiefe Mischproben erstellt und anschließend in ein eigens für Bodenproben beschriftetes Papiersäckchen gefüllt. Die mit Boden befüllten Probensäckchen wurden bereits am Feld in einer Kühlbox kühl gelagert und nach vollendeter Probenentnahme in der von der Familie Holler eigens zur Verfügung gestellten Kühltruhe tiefgefroren und bis zur Analyse aufbewahrt. Multipliziert man die vier Bohreinschläge pro Parzelle mit den 18 zu ziehenden Parzellen, kommt man im Gesamten auf 72 Einschläge

pro Bodenprobenentnahme. Aus den aus drei verschiedenen Tiefen entnommenen Proben pro Parzelle ergeben sich 54 zu analysierende Proben pro Bodenprobenziehung.

N_{min} Proben wurden am 03.08.2017, 21.09.2017, 30.10.2017, 21.11.2017 und am 16.04.2018 entnommen. Regelmäßig wurden die in Gabersdorf gelagerten Proben mittels Kühltaschen in das Labor des Boku Standortes Tulln überstellt.

Abbildung 12 zeigt Betreuer Dipl. Ing. Christoph Zirngast bei der ersten Bodenprobenentnahme am 3.8.2017. Eine Temperatur von 34,7 °C und ein äußerst trockener Boden erschwerten die damalige Entnahme. Die N_{min} Werte des Monats August dienen als Startwerte und als Vergleich zu den in den darauffolgenden Monaten entnommenen Werten.



Abbildung 12: Bodenprobenentnahme anhand eines Bodenbohrers und eines Hammers

N_{min} Analyse nach ÖNORM L 1091

Die Analyse des in den Proben enthaltenen Stickstoffes erfolgte nach der ÖNORM L 1091 (1999) "Bestimmung von mineralischem Stickstoff N_{min} Methode". Zu Beginn der Analyse wurde ein Teil der gefrorenen Proben hervorgeholt und anschließend in eigens beschrifteten Glasschalen aufgetaut. Nach vollständigem Auftauen konnten die Proben einzeln durch ein Sieb mit einer Maschenweite von fünf Millimetern gesiebt werden. Um jeglichen Einfluss auf die zu analysierenden Proben ausschließen zu können, mussten alle sichtbaren Ernterückstände und Wurzelrückstände anhand eines Einwegspatels entfernt werden.

Mittels einer Waage wurden 15 g des gesiebten Bodens in eine aus Kunststoff bestehende, verschließbare Schüttelflasche eingewogen und anschließend mit einer 60 ml Calciumchlorid Lösung versetzt. Dieses Gemisch wurde nun eine Stunde lang auf einer horizontalen Schüttelplatte mit der nötigen Frequenz von 200 Hz min⁻¹ in Bewegung gehalten, ehe die Filtration der Bodenlösung unter Verwendung von feinporigen Faltenfiltern erfolgte. Unter Zuhilfenahme von Pipetiergeräten konnten die Bodenlösungen auf Mikrotitierplatten übertragen werden. Jede Lösung wurde pro Platte vier Mal wiederholt. Anhand einer Multikanalpipette konnten anschließend die laut ONORM zu verwendenden Färbereagenzien hinzugefügt werden. Nach 30-minütiger Wartepause erfolgte die Analyse durch ein Spektralphotometer, welches in der Lage ist die Lichtabsorption zu messen. Durch den Vergleich mit der zuvor verwendeten Calciumchlorid-Lösung können über die am Gerät installierte Software die Ergebnisse zu der N_{min} Analyse berechnet werden. Ammonium wird dabei anhand der Lichtabsorption im Wellenlängenbereich von 660 nm und Nitrat anhand der Lichtabsorption im Wellenlängenbereich von 540 nm gemessen.

Bestimmung der Trockenmasse

Da sämtliche Ergebnisse auf ofentrockenem Boden bezogen werden, musste eine Bestimmung der Trockenmasse erfolgen. Hierzu wurden aus den gesiebten Bodenproben 10 g Boden in einer Porzellanschale gewogen und anschließend für mindestens 24 Stunden bei einer Temperatur von 105 °C in einen Trockenschrank gestellt. Anhand der Rückwaage des getrockneten Bodens konnte der Trockenmassegehalt des Bodens berechnet werden.

2.6 Wasserkundliche Untersuchung

2.6.1 Beprobung mittels Saugkerzen

Die Entnahme und die Analyse des durch die Saugkerzen gewonnenen Bodenwassers wurden von der Umweltberatung Steiermark in wöchentlichen Abständen durchgeführt. Zu Beginn der Entnahme wurde die Menge des aufgesammelten Bodenwassers der einzelnen Tiefen in einem Aufzeichnungsblatt notiert. Zusätzlich wurden sowohl positiv als auch negativ auffallende Bemerkungen über die gesamte Saugkerzenanlage hinzugefügt. Aufgrund dessen konnte man die eingebauten Saugkerzen in regelmäßigen Zeitabständen auf ihre Funktionsfähigkeit überprüfen.

Das gesammelte Wasser wurde anschließend in beschrifteten Kunststoffflaschen in das Labor der Landwirtschaftskammer nach Leibnitz gebracht, wo eine kühle Lagerung bis zur Analyse stattfand. Um sich einen ersten Eindruck über die Nitratwerte zu verschaffen, wurden die gekühlten Proben in einem zweiwöchigen Abstand vorerst mit einem einfachen Nitratstreifen getestet. Lag hier der gemessene Nitratgehalt bei einem Wert von über 80 mg l⁻¹, so wurde die Probe vorerst mit einem deionisierten Wasser verdünnt und am Analyseblatt vermerkt. Die eigentliche Messung erfolgte über den Filterphotometer "photoLab S6" der Firma WTW. Bei der Vorbereitung der Messung mussten vorerst 3,5 ml Dihydroxybenzoesäure mit 5 ml Schwefelsäure vermengt werden. Anschließend erfolgte die Zugabe von 1,5 ml der gekühlten Probe. Nach ausgiebigem Schütteln und einer Reaktionszeit von zehn Minuten wurde die Farbintensität der Küvette im photoLab S6 gemessen. Der angezeigte Nitrat Wert in mg l⁻¹ wurde im Analyseblatt vermerkt.

2.7 Statistische Auswertung

Sämtliche statistische Auswertungen wurden mittels PROC MIXED der Statistiksoftware SAS Version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durchgeführt.

Die SAS-Prozedur MIXED ermöglicht es gemischte Modelle zu erstellen, daher findet sie in der Pflanzenwissenschaft großen Anklang. Anhand dieser Modelle können mehrere Streuungsursachen wie zum Beispiel Messwiederholungen, Versuchsserien oder Spaltanlagen einbezogen werden (Piepho et. al 2003). Die Approximation der Freiheitsgrade erfolgt nach der Kenward-Roger Methode. Als Hypothesentest-Typ für die festen Effekte wird Typ 1 verwendet. Die Kovarianzparameter werden mit der Standartmethode Restricted Maximum Likelihood (REML) geschätzt. Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Modellnotation ist in (Piepho et. al, 2003) zu finden.

Für die abhängigen Variablen werden folgende gemischte Modelle berechnet:

Modell 1:

$Y=A+B+C: R*B + \underline{R*A*B*C}$

- Y.....Beobachtungswert der abhängigen Variablen Trockenmasseertrag und N_Ertrag
- A.....Haupteffekt der Behandlungen
- B......Haupteffekt des Zeitpunkts
- C.....Haupteffekt des Blocks
- R.....Effekt der Parzelle
- R*B..... Effekt der Messwiederholung (Zeitpunkt B / Parzelle R)

R*A*B*C..Resteffekt

Modell 2:

Y = A + B + C + A*B : R*B + R*A*B*C

- Y.....Beobachtungswert der abhängigen Variable N_Gehalt der Pflanze
- A......Haupteffekt der Behandlungen
- B......Haupteffekt des Zeitpunkts
- C.....Haupteffekt des Blocks
- A*B......Wechselwirkungseffekt der Behandlung A mit dem Zeitpunkt B
- R.....Effekt der Parzelle
- R*B..... Effekt der Messwiederholung zum Zeitpunkt B auf Parzelle R

R*A*B*C..Resteffekt

Modell 3:

$$Y = A + B + D : R*B + R*D + R*A*B*D$$

Y.....Beobachtungswert der abhängigen Variable NO3- im Bodenwasser

A.....Haupteffekt der Behandlungen

B......Haupteffekt des Zeitpunkts

D......Haupteffekt der Messtiefe

R.....Effekt der Parzelle

R*B..... Effekt der Messwiederholung zum Zeitpunkt B auf Parzelle R

R*D.....Effekt der Messwiederholung der Messtiefe D auf Parzelle R

R*A*B*D..Resteffekt

Modell 4:

$$Y = A + B + C + D : R*B + R*D + R*A*B*C*D$$

Y.....Beobachtungswert der abhängigen Variable N_{min} im Boden

A.....Haupteffekt der Behandlungen

B......Haupteffekt des Zeitpunkts

C.....Haupteffekt des Blocks

D.....Haupteffekt der Messtiefe

R.....Effekt der Parzelle

R*B..... Effekt der Messwiederholung zum Zeitpunkt B auf Parzelle R

R*D.....Effekt der Messwiederholung der Messtiefe D auf Parzelle R

R*A*B*C*D.....Resteffekt

Sämtliche Modelle werden auf Wechselwirkungen getestet, signifikante Wechselwirkungen (p < 0.05) werden im Modell beibehalten.

Anstatt der üblichen sechs Behandlungen werden in den Modellen 1 und 2 nur fünf Behandlungen statistisch berücksichtigt. Aufgrund des geringen Bewuchses, bestehend aus Unkräutern und Auflaufgetreide der Vorfrucht auf der Referenzparzelle, werden hier zu allen drei Terminen keine Schnittproben gezogen. In Folge dessen müssen für die statistische Auswertung die Parzellen, auf denen die

Behandlung 6 stattfand, entfernt werden. Da die Saugkerzen nur auf Block 2 installiert wurden, kann im Modell 3 der Haupteffekt dieses Blockes nicht berücksichtigt werden. Die günstigsten Kovarianzstrukturen der random effects werden mithilfe des Akaike Information Criterions ermittelt und sind in Tabelle 7 ersichtlich. Infolge einer korrekten Auswertung der N_{min} Werte wurden fehlende Werte anhand einer "intra-block analysis" berechnet (Piepho, 2017). Da für die Auswertung der abhängigen Variablen N_{min} und Nitratgehalt im Bodenwasser Messwiederholungen sowohl zu unterschiedlichen Zeitpunkten als auch in unterschiedlicher Tiefe auf derselben Parzelle durchgeführt wurden, muss ein sogenannter doubly repeated measures Ansatz verwendet werden. Mithilfe des Kroneker Produktes können unterschiedliche Kovarianzstrukturen für die Messtiefen und die Zeitpunkte berücksichtigt werden.

Sämtliche dargestellte Mittelwerte entsprechen den kleinsten Quadratmittelwerten. Die multiplen Mittelwertsvergleiche wurden mit einem Tukey post-hoc Test durchgeführt.

Tabelle 7: Ausgewählte Kovarianzstrukturen zu den abhängigen Variablen zur statistischen Auswertung

Abhängige Variable	Bereich	Kovarianzstruktur
Trockenmasseertrag	Pflanze	Unstrukturiert
Stickstoffgehalt in %	Pflanze	Varianzkomponenten
Stickstoffertrag kg ha ⁻¹	Pflanze	Heterogen Autoregressiv
N_{\min}	Boden	Unstrukturiert (Tiefe)
N_{\min}	Boden	Unstrukturiert (Zeitpunkt)
Nitratgehalt	Bodenwasser	Unstrukturiert (Tiefe)
Nitratgehalt	Bodenwasser	Autoregressiv (Zeitpunkt)

Die Nullhypothese H0 besagt, dass die einzelnen Behandlungen keinen Einfluss auf die untersuchten Parameter zeigen. Um die H0 statistisch gesehen verwerfen zu können, wird ein Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ angenommen. Eine statistische Signifikanz ist bei einem p-Wert von < 0,05 gegeben. Dies entspricht einer Wahrscheinlichkeit von unter 5 %, dass sich Unterschiede rein zufallsbedingt ergeben (Moder, 2016).

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Pflanzenbauliche Kennwerte

3.1.1 Trockenmasseertrag

Über den gesamten Versuchsverlauf übt der Zeitpunkt der Schnitte einen signifikanten Einfluss auf den TM-Ertrag aus. Zwischen den Behandlungen 1 bis 5 konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Tabelle 8: Trockenmasseerträge der unterschiedlichen Behandlungen in t ha⁻¹

Datum	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 5
07.09.2017	1,01	1,14	1,09	1,00	0,85
11.10.2017	1,71	1,64	2,34	1,67	1,22
21.11.2017	2,94	3,93	2,96	3,06	3,17

Tabelle 9: Durchschnittlich gemittelte Trockenmasseerträge der Behandlungen 1 bis 5 in der Zeit des Versuchsverlaufs in t ha⁻¹

Behand- lungen	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 5
TM Ertrag	1,96 ª	2,12 ª	2,06 a	1,95 ª	1,81 a

Tabelle 9 veranschaulicht die durchschnittlichen Trockenmasseerträge der unterschiedlichen Behandlungen, gemittelt über die Zeitpunkte. Signifikanzniveau: p<0,05; unterschiedliche Indices (abc) zeigen signifikante Differenzen zwischen den Werten

Tabelle 10: Durchschnittlich gemittelte Trockenmasseerträge zu den Zeitpunkten 1, 2 und 3 in t ha⁻¹

Zeitpunkt	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Zeitpunkt 3	
	07.09.2017	11.10.2017	21.11.2017	
TM Ertrag	1,02 °	1,72 в	3,21 a	

Tabelle 10 veranschaulicht die durchschnittlichen Trockenmasseerträge der unterschiedlichen Zeitpunkte, gemittelt über die Behandlungen. Signifikanzniveau: p<0,05; unterschiedliche Indices (abc) zeigen signifikante Differenzen zwischen den Werten

In Tabelle 8 werden die Mittelwerte der Trockenmasseerträge zu den unterschiedlichen Schnittproben dargestellt. Zwischen den ersten beiden Schnitten liegt ein Abstand von 34 Tagen, eine Temperatursumme von 18,36 °C und ein Niederschlag von 148,3 mm m⁻². Zwischen den beiden späteren Schnitten liegen 42 Tage, eine Temperatursumme von 13,79 °C und ein Niederschlag von 92,7 mm m⁻². Laut Pilger, Wakonigg, Hawranek, Podesser, & Rieder (2010) liegt der durchschnittliche Niederschlag bei 900 mm pro Jahr. Vom Zeitpunkt der Begrünungsanlage am 4.8.2017 bis zum letzten Schnitt am 21.11.2017 wurde ein Niederschlag von 329 mm m⁻² verzeichnet. Der gemessene Wert beträgt etwas mehr als ein Drittel des angegebenen jährlichen Niederschlags. Vor allem eine hohe Temperatursumme und ein hoher Niederschlag sorgten in den Monaten August, September und Oktober für optimale Vegetationsbedingungen und eine deutlich ersichtliche Zunahme der TM-Erträge zwischen den einzelnen Schnitten bei den Behandlungen 1 bis 5. Merkt man zwischen den 07.09.2017 und den 11.10.2017 eine relativ geringe Zunahme der Trockenmasse, so gibt es eine eindeutige Zunahme zwischen der Entnahme am 11.10.2017 und der Entnahme am 21.11.2017. Diese Erkenntnis ist durch die zusätzlichen 42 Vegetationstage zu erklären. Durch optimale Vegetationsbedingungen war es der Pflanze möglich Energie für das Wachstum umzuwandeln.

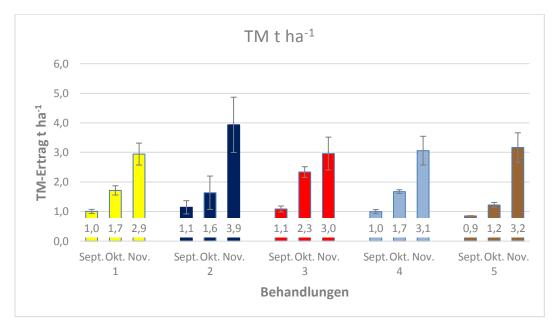


Abbildung 13: Trockenmasseerträge der Behandlungen

Abbildung 13 stellt die Trockenmasseerträge der Behandlungen 1 bis 5 in den Monaten August, September und Oktober in einem Balkendiagramm dar. Zu sehen ist die statistisch signifikante Zunahme der Trockenmasseerträge zu den späteren Schnittzeitpunkten. Den höchsten Trockenmasseertrag im Monat Oktober hat mit 3,93 t ha⁻¹ die gedüngte Behandlung 2 vorzuweisen. Mit dem Ertrag von 2,94 t ha⁻¹ hat die ungedüngte Behandlung 1 den geringsten Trockenmasseertrag. Trotz eines deutlich erhöhten Ertrages in den gedüngten Behandlungen im Vergleich zu den ungedüngten Behandlungen liegt der p-Wert nicht unter 0,05. Die erzielten Erträge befinden sich jedoch weit unter den durchschnittlich erzielten Trockenmasseerträgen der verwendeten Literatur. Sowohl der Versuch der Umweltberatung Steiermark als auch der Versuch von Märzendorfer und Harant (2014) liegen über den in diesem Versuch erzielten Erträgen. Hierbei findet man eine Erklärung in der verwendeten Methode der Schnittentnahme. Durch den relativ kleinen Rahmen, der, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, nur eine Größe eines Viertelquadratmeters aufweist, wurde auf Basis einer Annahme, dass auf der Fläche von einem Quadratmeter der gleiche Bewuchs steht, die geerntete Menge auf einen Quadratmeter aufgerechnet. Wäre anstatt eines Viertelquadratmeterrahmens ein Einquadratmeter großer Rahmen verwendet worden, siehe Märzendorfer und Harant (2014), könnte der Rechnungsmultiplikator vier, um auf einen Quadratmeter hochzurechnen, ausgeschlossen werden. Auch die Platzierung des kleinen Rahmens innerhalb des Blocks könnte durch einen nicht gleichmäßigen Bewuchs zu höheren Erträgen

führen. So erzielten Märzendorfer und Harant (2014) in ihren bundesländerübergreifenden Begrünungsversuchen deutlich höhere Trockenmasseerträge. Als Vergleich der erzielten Trockenmasseerträge ihres Versuches mit dem Versuch in Gabersdorf wird der Standort Bad Wimsbach-Neydharting herangezogen. Gründe dafür liegen im ähnlich vergleyten lockersedimentären Braunerdeboden und im Klima, welches aufgrund der durchschnittlich jährlichen Niederschlagsmenge von 900 bis 1000 mm a⁻¹ (Land Oberösterreich, 2007) dem Standort Gabersdorf ähnelt. Die von ihnen erzielten Werte mit den in ihrem Versuch verwendeten Behandlungen liegen zwischen 3,0-4,9 t ha⁻¹ und im Schnitt über den Trockenmasseerträgen des in dieser Arbeit beschriebenen Versuches, siehe Tabelle 8. Der von ihnen durchgeführte Versuch beinhaltete nicht dieselben Behandlungsmischungen, jedoch Kulturen wie Senf, Ölrettich und Alexandriner Klee, welche allesamt auch Mischungskomponenten des vorliegenden Versuches sind. Ihre Arbeit verdeutlicht auch, dass es innerhalb der Standorte keinen signifikanten Unterschied zwischen einer gedüngten Behandlung und derselben in ungedüngter Form gibt. Märzendorfer und Harant (2014) erklären dies mit der Begründung, dass der ausgebrachte Dünger am Stoppelfeld für die Strohrotte verwendet wurde und somit weniger der Pflanze zur Verfügung stand.

Auch der von der Umweltberatung inszenierte Versuch in St. Peter am Ottersbach erzielte mit denselben Behandlungen 3,5 t bis 6,6 t ha⁻¹. Auch in diesem Versuch wurde ein Einquadratmeter großer Rahmen zur Frischmasseentnahme verwendet.

3.1.2 N Gehalt in %

Bei der statistischen Auswertung des N-Gehalts in Prozent errechnen sich signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen. Durch das Vorkommen einer signifikanten Wechselwirkung werden in weiterer Folge Mittelwerte aus den drei Blöcken für Behandlung*Zeit in Tabelle 11 verglichen. Eine statistische Signifikanz liegt mit einer Änderung derselben Buchstabenreihe vor.

Tabelle 11: Stickstofferträge der unterschiedlichen Behandlungen in Prozent

Datum	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 5
07.09.2017	i 2,88 % b	i 3,08 % b	i 2,83 % b	i 3,32 %b	i 4,64 % a
11.10.2017	^j 1,84 % ^c	j 1,87 % c	^j 2,06 % ^c	^j 2,67 % ^b	i 4,12 % a
21.11.2017	^j 1,35 % ^b	^j 1,36 % ^b	^j 1,66 % ^b	k 1,63 %b	^j 2,41 % ^a

Signifikanzniveau: p<0,05; unterschiedliche Indices zeigen signifikante Differenzen zwischen den Werten-horizontal (zwischen den 5 Behandlungen): abc; vertikal (zwischen den drei Zeitpunkten): ijk

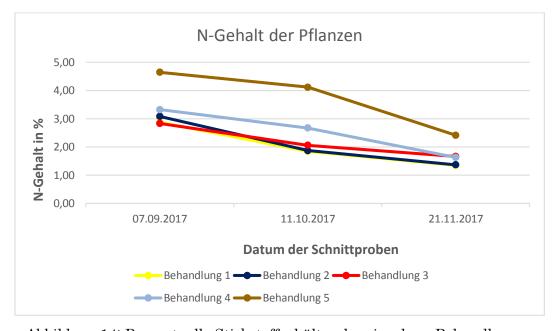


Abbildung 14: Prozentuelle Stickstoffgehälter der einzelnen Behandlungen

Wie in Tabelle 11 ersichtlich, finden Unterschiede in den prozentuellen Stickstoffgehältern zwischen den einzelnen Zeitpunkten statt. Auffallend hoch ist der Stickstoffgehalt aller Behandlungen der Schnittprobenentnahme des 07.09.2017 und der niedrigeren Gehälter der Schnittprobenentnahme des 21.11.2017. Zwischen der ersten Schnittprobe und der zweiten Schnittprobe des 11.10.2017 findet in den Behandlungen 1, 2, 3 und 4 ein gleichmäßiger signifikanter Abfall des Stickstoffgehalts statt. Der Abfall der Behandlung 5 fällt geringer aus und ist nicht signifikant. Zwischen den Schnittproben des 11.10.2017 und des 21.11.2017 kommt es in den Behandlungen 1, 2 und 3 zu keiner signifikanten Anderung der Werte. Jedoch findet eine signifikante Abnahme in den Behandlungen 4 und 5 statt. Eine plausible Erklärung liegt in der Stickstoffeinlagerung der Pflanzen vor. Stickstoff wird von der Pflanze in zwei Formen aufgenommen: Zum einen als leicht auswaschbares Nitrat und zum anderen als gelöstes Ammonium. Aus diesen anorganischen Bausteinen synthetisiert die Pflanze Eiweiße, Fette und Stärke und bildet daraus die pflanzliche Biomasse. Cellulose, Hemicellulose, Lignin und Pektine bilden die pflanzliche Struktur der Pflanze. Hierbei sorgt vor allem Cellulose, bestehend aus Zucker, für einen stabilen Gerüstaufbau (Hartl, 2010). Die Bezeichnung "Stickstoff als Motor der Pflanze" wird seiner Bedeutung gerecht (Kaltschmitt, Hartmann, & Hofbauer, 2016). Eine optimale Nährstoffaufnahme findet vor allem in der Anfangsphase des Pflanzenwachstums statt. In dieser Zeit haben die Pflanzen den größten Rohproteingehalt. Um von dem Rohproteingehalt auf den N-Wert zu gelangen, wird der Umrechnungsfaktor 6,25 verwendet. Dieser ergibt sich aus der Tatsache, dass in einem Rohprotein 16 % Reinstickstoff enthalten sind. Mit zunehmender Ausbildung der Pflanze steigt der Celluloseanteil der Zellwände. Dieser sorgt für eine bessere Stabilität bei der Größe Pflanze. Durch zunehmender das steigende Cellulose-Rohproteinverhältnis sinkt der Energiegehalt (Schubert, 2006). Der gleichmäßig signifikante Abfall der Behandlungen 1, 2, 3 und 4 zwischen den ersten beiden Schnittzeitpunkten kann durch den zunehmenden Faseranteil in der Pflanzenstruktur erklärt werden. Zudem findet Hartl (2010) eine dahingehende Erklärung in der Trockenmasse der Behandlungen. In der ersten Schnittprobe ist der Trockenmassegehalt der Behandlung 5 nicht signifikant unterschiedlich zur Behandlung 1 bis 4, jedoch deutlich unter den Trockenmasseerträgen der anderen Behandlungen (Abbildung 14). Dies deutet auf eine spätere Ausbildung der Pflanzen hin.

Der signifikante Stickstoffabfall der Behandlungen 4 und 5 zum Zeitpunkt 3 findet seine Erklärung in der Höhe des Stickstoffgehalts zum Zeitpunkt 2.

Die Auswahl abfrostender Begrünungsvarianten kann als weitere Ursache für eine signifikante Abnahme des N-Gehalts der Behandlungen 4 und 5 zwischen den Schnittproben des 11.10.2017 und des 21.11.2017 gesehen werden. Bereits am 30.10.2017 sorgte eine durch Frost verursachte Lagerneigung in der Behandlung 5 für einen offensichtlichen Schaden. Laut der ZAMG Wetterstation in betrug die tiefste Temperatur in dieser Kälteperiode 31.10.2017 -1,3 C. Zu diesem Zeitpunkt traten bei allen Behandlungen sichtbare Schäden in Form der Lagerneigung und Zerstörung der Blattmasse auf. Durch Lagerneigung der gesamten Behandlung 5 entstand in diesen Behandlungen der augenscheinlich größte Schaden. Durch den Leguminosenanteil in Behandlung 4 kann auf gleiches geschlossen werden. Hartl (2010) erklärt dies durch die Ausbildung von Eiskristallen im Zellinneren der pflanzlichen Organe. Die Zerstörung der pflanzlichen Struktur im Inneren der Pflanze sorgt nicht nur für eine geringere, bis zu keiner, Nährstoffaufnahme mehr, sondern führt auch zu einer Nährstoffverlagerung der nicht mehr durch die Membranen geschützten Zellinhaltsstoffen in tiefere Schichten. Laut Versuch der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2003) gibt eine gefrorene Senfpflanze doppelt so viel Stickstoff in die Natur ab als eine intakte Senfpflanze.



Abbildung 15: Frostschäden in der Behandlung 5 (Ackerbohne, Erbse, Sommerwicke)

Abbildung 15 veranschaulicht einen Frostschaden in der Behandlung 5 an der Kultur Ackerbohne am 30.10.2017. Dieses Foto entstand am Beginn der Kälteperiode. Die tiefste Temperatur betrug an diesem Tag 0,8 °C.

3.1.3 N-Ertrag in kg ha⁻¹

Der N-Ertrag in kg ha⁻¹ errechnet sich aus dem Trockenmasseertrag und dem prozentuellen N-Gehalt je Behandlung. Eine auftretende statistische Signifikanz liegt nur zwischen der Behandlung 1 und der Behandlung 5 vor.

Tabelle 12: N-Ertrag der Behandlungen zu drei unterschiedlichen Schnittproben in kg ha⁻¹

Datum	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 5
07.09.2017	28,81	34,62	30,93	32,96	39,55
11.10.2017	31,85	31,31	48,50	44,74	50,30
21.11.2017	39,36	53,48	47,54	50,46	77,22

Tabelle 12 visualisiert die berechneten Stickstofferträge der Behandlungen 1 bis 5 zu den Schnittentnahmen des 07.09.2017, 11.10.2017 und 21.11.2017 in kg ha¹. Die Berechnung entsteht aus dem Trockenmasseertrag und den analysierten Stickstofferträgen der Viertelmeterschnitte.

Tabelle 13: Durchschnittlich gemittelte N Erträge in kg ha⁻¹ der Behandlungen 1 bis 5 in der Zeit des Versuchsverlaufs in kg ha⁻¹

Behand- lungen	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 5
N Ertrag kg ha ⁻¹	$37,46^{\rm b}$	$43,43^{ m ab}$	$40{,}57^{\mathrm{ab}}$	$42,\!38^{\mathrm{ab}}$	50,03ª

Tabelle 13 veranschaulicht den durchschnittlichen N-Ertrag der unterschiedlichen Behandlungen, gemittelt über die Zeitpunkte. Signifikanzniveau: p<0,05; unterschiedliche Indices (abc) zeigen signifikante Differenzen zwischen den Werten

Tabelle 14: Durchschnittlich gemittelte Trockenmasseerträge zu unterschiedlichen Zeitpunkten

Zeitpunkt	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Zeitpunkt 3
	07.09.2017	07.09.2017 11.10.2017	
TM Ertrag	$33,\!37^{\rm c}$	$41,34^{\rm b}$	53,61ª

Tabelle 14 veranschaulicht durchschnittliche N-Erträge der unterschiedlichen Zeitpunkte, gemittelt über die Behandlungen. Signifikanzniveau: p<0,05; unterschiedliche Indices (abc) zeigen signifikante Differenzen zwischen den Werten

Tabelle 15: Berechnung des N kg ha⁻¹ am Beispiel Behandlung 1

Behandlung	0,25 m²	1 m ²	N in %	TM kg ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹
1	25,7 g	102,8 g	2,7	1.028,0	27,7

In Tabelle 15 wird anhand der Schnittprobe des 07.09.2017 aus der Behandlung 1 (Ölrettich, Senf, Buchweizen) im Block 1 die Berechnung des Stickstoffertrages in kg ha⁻¹ ersichtlich dargestellt. Aus dem entnommenen Viertelmeterschnitt entsteht ein Trockenmassegehalt von 27,7 g. Auf einem Quadratmeter könnte somit eine Trockenmasse von 102,8 g mit einem prozentuellen Stickstoffanteil von 2,70 % gerechnet werden. Um auf den kg ha⁻¹ Wert zu gelangen, wird der Wert mit dem Faktor 10.000 (ha) multipliziert und durch den Faktor 1.000 (kg) dividiert. Das Produkt der Trockenmasse (kg ha⁻¹) und des prozentuellen Stickstoffgehalts führt zum produzierten Stickstoffertrag pro Hektar.

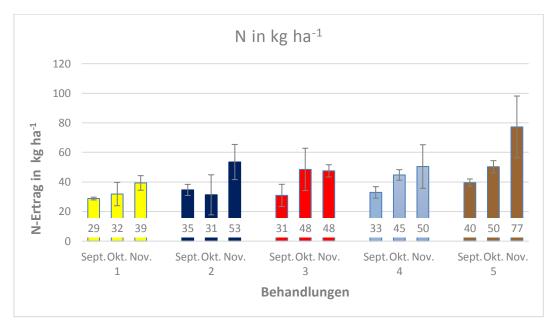


Abbildung 16: Stickstoffertrag in kg ha⁻¹ von den Behandlungen 1 bis 5

Die Darstellung des Stickstoffertrags in einem Balkendiagramm, wie in Abbildung 16 ersichtlich, veranschaulicht die Stickstoffaufnahme zu den drei Schnittpunkten. Als aussagekräftig werden die Werte im Oktober bewertet, da anhand der anschließenden Einarbeitung der Begrünungen der Stickstoff dem Boden rückgeführt wird. Der höchste im Oktober berechnete Wert an Stickstoff liegt bei einem Wert von 77,2 kg ha⁻¹ in der Behandlung 5 vor. Den am niedrigsten aufgenommenen Stickstoff hat mit einem Wert von 39,4 kg ha⁻¹ die Behandlung 1 vorzuweisen. Deutlich erkennbar erscheint die Zunahme des entzogenen Stickstoffes an den drei verschiedenen Schnittproben der Behandlung 5. Diese Zunahme erklärt Schubert (2006) an der für die landwirtschaftlich am wichtigsten N₂-fixierenden Symbiose, jener Symbiose zwischen den Leguminosen und den Rhizobiumbakterien. Futterleguminosen sind in der Lage anhand der eingegangen Symbiose mit Bakterien, den Rhizobien, einige hundert Kilo an Stickstoff im Boden zu fixieren. Ein gesunder Bestand an Ackerbohnen kann eine Fixierungsleistung von bis zu 171 kg N ha⁻¹ vorweisen (Schubert, 2006).

Durch den fixierten Stickstoff werden die Pflanzen der Behandlung 5 nach wie vor gut mit Stickstoff versorgt. Das Nichtvorkommen von Leguminosen in Behandlung 1 sorgt für die zuvor erwähnte statistische Signifikanz zwischen den beiden Behandlungen.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den gedüngten Behandlungen 2 und 4 und den ungedüngten Behandlungen 1 und 3 liegt nicht vor.

Im direkten Vergleich mit einem von der Umweltberatung Steiermark im Jahr 2017 angelegten Versuch in St. Peter am Ottersbach liegen die erzielten Werte unter deren Ergebnissen. Mit denselben verwendeten Behandlungen wurde ein Mittel des Stickstoffertrages von 50 bis 179 kg N ha⁻¹ erzielt. Die Behandlungen dieses Versuches liegen im selben Verhältnis zu dem Versuch in Gabersdorf. Zudem wird auch in diesem Versuch bei einer Düngemenge von 50 kg N ha⁻¹ kein Unterschied zwischen gedüngter und ungedüngter Form festgestellt. Dieser nicht vorhandene Unterschied wird im Zusammenhang mit den hohen N_{min} Gehältern (82 kg N ha⁻¹) zu Beginn des Versuches erklärt. Die Pflanzen verwenden vorerst den Stickstoff der oberen Bodenschicht und nicht die durch die Düngung zugeführte Menge. Die Umweltberatung Steiermark weist darauf hin, dass anhand einer Stickstoffdüngung von 75 kg ha⁻¹ eine deutliche Steigerung der Stickstoffaufnahme feststellbar ist.

Erwartungsgemäß hat auch in St. Peter am Ottersbach die Leguminosenmischung den größten Stickstoffertrag erzielt. Eine Erklärung für einen derartigen Unterschied in der Höhe der Stickstoffgehälter wird, wie schon im Kapitel 3.1.1, mit der aus den Viertelmeterschnitten entnommenen Frischmasse begründet.

3.2 Bodenkundliche Kennwerte

3.2.1 N_{min} Gehalt

Im Zuge der statistischen Auswertung des N_{min} Gehalts im Boden kommt es zu erneuten signifikanten Unterschieden zwischen den Behandlungen. Eine statistische Signifikanz herrscht zwischen den Behandlungen 1 und 5, 1 und 6, 2 und 5, 2 und 6, 3 und 5, 4 und 5, 4 und 6 sowie 5 und 6 vor. Auch bei der Auswertung der N_{min} Gehalte war eine statistische Signifikanz zwischen der ungedüngten Behandlung 1 und der gedüngten Behandlung 2 sowie der ungedüngten Behandlung 3 und der gedüngten Behandlung 4 nicht vorhanden.

Tabelle 16: N_{min} Werte der Behandlungen 1 bis 6 in kg ha⁻¹

Datum	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 5	Beh. 6
3.8.2017	108,33	91,24	100,60	104,09	130,11	126,66
21.9.2017	28,50	39,34	53,14	38,17	48,27	70,97
30.10.2017	26,50	19,62	32,56	26,61	59,75	53,21
21.11.2017	22,27	26,79	32,96	33,88	66,90	34,32
16.4.2018	92,88	96,77	86,14	90,81	116,91	96,09

Tabelle 17: Durchschnittlich gemittelte N_{min} Gehaltswerte der Behandlungen 1 bis 6 in der Zeit des Versuchsverlaufs in kg ha⁻¹

Be- hand- lungen	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 5	Beh. 6
N _{min} Gehalt	$55,65^{\rm c}$	58,17°	61,08 ^{bc}	58,71°	85,89ª	$76,23^{\rm b}$

Tabelle 17 veranschaulicht die durchschnittlichen N_{min} Gehaltswerte (Bodentiefe: 0-90 cm) der unterschiedlichen Behandlungen, gemittelt über die Zeitpunkte. Signifikanzniveau: p<0,05; unterschiedliche Indices (abc) zeigen signifikante Differenzen zwischen den Werten

Tabelle 18: Durchschnittlich gemittelte N_{min} Gehaltswerte zu den Zeitpunkten 1 bis 5 in kg ha⁻¹

Behand- lungen	Zeitpunkt 1 3.8.2017	Zeitpunkt 2 21.9.2017	Zeitpunkt 3 30.10.2017	Zeitpunkt 4 21.11.2017	Zeitpunkt 5 16.4.2018
N_{\min}	114,27ª	$46,40^{\rm b}$	$36,32^{c}$	$36,17^{c}$	96,60a

Tabelle 18 veranschaulicht die durchschnittlichen N_{min} Gehaltswerte (Bodentiefe: 0-90 cm) der unterschiedlichen Zeitpunkte, gemittelt über die Behandlungen. Signifikanzniveau: p<0,05; unterschiedliche Indices (abc) zeigen signifikante Differenzen zwischen den Werten

In Tabelle 16 sind alle gemittelten Werte der N_{min} Analyse der Tiefen 30 cm, 60 cm und 90 cm aufsummiert und nach dem Entnahmedatum gelistet. Als Startwerte dienen die Werte der unbearbeiteten Exaktversuchsfläche des 3.8.2017. Behandlung 5 kann zu diesem Zeitpunkt den größten N_{min} Gehalt mit 130,11 kg N ha⁻¹ vorweisen. Der niedrigste Wert wurde mit einem Stickstoffgehalt von 91,24 kg ha⁻¹ in der Behandlung 2 gemessen. Laut Richtlinie für die sachgerechte Düngung (7. Auflage) hängt der Gesamtbedarf an Stickstoff von der Kulturart und dem zu erzielenden Ertragsniveau ab. Zudem rät die Richtlinie von einer Andüngung zu Wintergetreide und zu Mais als Folgefrucht zum Zeitpunkt des Vegetationsbeginns bei einem N_{min} Wert von 100 kg ha⁻¹ N bei einer Probentiefe von 0-90 cm ab (BMLFUW, 2017a). Im Vergleich mit jenem durchschnittlichen Anfangswerten aus der Arbeit von Märzendorfer und Harant (2014) liegt der vorliegende durchschnittliche N_{min} Wert mit einem Gehalt von 110 kg N ha⁻¹ deutlich über dem höchsten gemessenen N_{min} Werten vor Saat ihrer Versuchsreihe an mehreren Standorten. Mit einem N_{min} Gehalt vor Saat von 82 kg N ha⁻¹ liegt auch der vergleichbare Versuch der Umweltberatung Steiermark in St. Peter am Ottersbach 2017 unter dem Wert in Gabersdorf. Schubert (2006) bringt den hohen Stickstoffgehalt im Boden mit der Vorfrucht in Verbindung. Der für diese Region untypisch niedrige, zuvor geerntete Weizenertrag von 6 t ha⁻¹ (14% Feuchtigkeit) gibt Auskunft über eine schlechte Stickstoffverwertung aus der zugeführten Stickstoffdüngung der Vorfrucht im Endstadium. Eine geringe Wassermenge und eine nicht angepasste Düngung führen in weiterer Folge zu einer nicht vollständigen Aufnahme der zugeführten Stickstoffmenge. Hohe Temperaturen und ein minderer Niederschlag von 35 mm m⁻² sorgten im Monat Juli laut ZAMG Wetterstation in Wagna für eine mäßige Stickstoffaufnahme der Vorfrucht und in Folge dessen für den Verbleib der Stickstoffmenge im Boden.

Zum Zeitpunkt der zweiten Probenentnahme am 21.9.2017 ist der Großteil des zum Zeitpunkt 1 analysierten N_{min} Gehalts im Boden nicht mehr vorhanden. Anhand einer Stickstoffanalyse der ersten Schnittprobe, welche am 7.9.2017 entnommen wurde, kann auf eine zweifellose Stickstoffaufnahme durch die Behandlungen 1 bis 5 geschlossen werden. Ersichtlich ist auch der stark abnehmende N_{min} Gehalt der Leguminosen in Behandlung 5. Der erzielte Wert befindet sich im gleichen Bereich der Werte aus den anderen Behandlungen. Eine Erklärung dahingehend findet Schubert (2006) in der Hungerphase der Leguminosen. Diese Phase ist jene Zeit, in der sich die Leguminosen sowie andere Pflanzen aus den Nährstoffen des Bodens heterotroph ernähren. Auch in Behandlung 6, der Referenzparzelle, schmälert sich der Gehalt an dem sich im Boden befindlichen pflanzenverfügbaren Stickstoffes. Wie in Abbildung 18 sehr gut ersichtlich, kann aufgrund der bewuchslosen Oberfläche der Behandlung 6 (Referenzparzelle) und einer zuvor anhaltenden Regenperiode von zehn Tagen mit einer Niederschlagsmenge von 135,3 mm m⁻² laut ZAMG von einer Verlagerung des Stickstoffes durch die zuvor erwähnte Regenmenge ausgegangen werden.

Die analysierten N_{min} Gehalte der Zeitpunkte 3 und 4 verändern sich nicht signifikant. Eine Zunahme der Stickstoffmenge der Behandlung 5 verdeutlicht die Stickstofffixierung der Leguminosen unter Symbiose mit Bakterien. Betrug der N_{min} Gehalt der Behandlung 6 am 21.9.2017 noch 70,97 kg N ha⁻¹, beträgt der Gehalt am 21.11.2017 nur noch 34,32 kg N ha⁻¹. Diese Verringerung des N_{min} Gehalts verdeutlicht eine weitere Verlagerung des Stickstoffes in tiefere Schichten. Zudem führen laut Schubert (2006) zusätzliche Prozesse wie die NO₂-Emission, welche sich bei Bracheflächen laut Leick (2003) zwischen 0-1 kg ha⁻¹ a⁻¹ befinden, und Denitrifikation, welche sich je nach Bodenart und pH-Wert im Bereich zwischen 15-50 kg N a⁻¹(Hermsmeyer & Rienk, 1996) bewegt, zu weiteren N-Verlusten im Boden.

Zum Zeitpunkt des 16.4.2018 befinden sich alle Werte im selben Bereich. Die relativ hohen N_{min} Gehalte sind durch ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren im Frühjahr erklärbar. Eine Freisetzung des mineralischen Stickstoffs hängt von den Faktoren Temperatur, Wasserversorgung und einem pH-Wert von über 5,5 ab (Schubert, 2006). Mit einem pH-Wert von 6,6, einem Niederschlag von 373,2 mm m⁻² zwischen den Beprobungen des 21.11.2017 und des 16.4.2018 sowie einer durchschnittlichen Temperatur von 8 °C im Monat März waren die Voraussetzungen für einen guten Start der Mineralisation gegeben.

Mit einem Wert von 116,91 kg N ha⁻¹ hat die Behandlung 5 zum Zeitpunkt des 16.4.2018 den höchsten N_{min} Wert vorzuweisen. Zu diesem Zeitpunkt liegt jener Wert der Behandlung 5 um 30,77 kg N h-1 höher als der am niedrigsten liegende Wert, welcher mit 86,14 kg N ha⁻¹ von der Behandlung 3 erzielt wurde. Der hohe Wert der Behandlung 5 kann wiederum auf die Stickstoffbildung der Leguminosen in dieser Behandlung rückgeführt werden. Zudem hat diese Behandlung, wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, den größten prozentuellen Anteil an Stickstoff zum Zeitpunkt der letzten Schnittprobe. Badawi, Hartl, Erhart, Albert & Wanek (2011) erklären diese statistische Signifikanz im Zusammenhang mit dem engen C/N-Verhältnis der Leguminosen Pflanzen. Anhand dieses C/N-Verhältnisses ist eine schnellere Mineralisation der Wurzeln, Exsudate sowie Pflanzenrückstände möglich. Zudem haben Leguminosen eine weichere Biomasse sowie Pflanzenzusammensetzung, welche nach etwaigen Zerstörungsprozessen (Frost) der Pflanze schneller zersetzt werden kann. Senf und Ölrettich hingegen besitzen mit zunehmendem Alter einen höheren Anteil an Lignin und Cellulose, welcher infolge der Zerstörung eine längere Zeit zur Mineralisation benötigt. In Verbindung mit der darauffolgenden geplanten Folgefrucht Mais nimmt der in Abbildung 17 dargestellte hohe N_{min} Gehalt einen positiven Einfluss auf den ihm zur Verfügung gestellten Stickstoffes ein. Dieser Wert entsteht jedoch durch die in Abbildung 18 erhöhten N_{min} Werte der Tiefen von 0 bis 60 cm und 60 bis 90 cm. Betrachtet man die ersten 0-30 cm, der ackerbaulich relevanten Bodenschicht, befindet sich der N_{min} Gehalt der Behandlung 5 zum Zeitpunkt des 16.4.2017 in selber Höhe mit den anderen Behandlungen. Anhand der geplanten Folgefrucht Mais, welche seine vollständige Durchwurzelungstiefe von >1 m (Diepenbrock, Fischbeck, Heyland & Knauer, 1999) ab dem Rispenschieben entwickelt, steht der durch die Leguminosen gebildete Stickstoff, je nach Region und Sorte der Pflanze, sehr spät zur Verfügung. In weiterer Folge besteht die Gefahr der Verlagerung des gebildeten Stickstoffes durch vermehrte Starkregenereignisse in tiefere Ebenen.

Auffallend hoch ist der Referenzwert der Behandlung 6. Trotz der nicht bestellten Fläche im Zeitraum des Versuches unterscheidet sich der Wert zum Zeitpunkt des 16.04.2018 nicht signifikant von den zuvor genannten Behandlungen 1 bis 4. Eine Erklärung diesbezüglich kann zum einen im hohen N_{min} Gehalt zum Zeitpunkt des 3.8.2017 und zum anderen mit dem im Boden vorhandenen organisch gebundenen Stickstoffanteils gefunden werden. Wie in Abbildung 17 sehr gut ersichtlich, fällt der N_{min} Gehalt der Behandlung 6 bis zum Zeitpunkt des Einpflügens der Behandlungen drastisch ab. Dahingehend kann eine Verbindung zu den mit dem nicht vorhandenen Pflanzenbewuchs und den stetig vorhandenen

Niederschlägen hergestellt werden. Der nicht signifikante Unterschied zum Zeitpunkt des 16.4.2018 kann in Verbindung mit der Mineralisation des organischen Stickstoffanteiles im Boden gebracht werden. Durch den im Boden gebunden organischen Anteil an Stickstoff befinden sich zu diesem Zeitpunkt die Behandlungen 1, 2, 3, 4 und 6 in derselben Ebene. Eine vollständige Mineralisation der eingearbeiteten Behandlungen ist in diesem kurzen Zeitraum sehr unwahrscheinlich und könnte erst im Zuge einer N_{min} Untersuchung der Folgefrucht festgestellt werden (Schubert, 2006).

Wie in Abbildung 17 und Abbildung 18 ersichtlich, verlaufen die Behandlungen 1, 2, 3 und 4 über den Zeitraum der N_{min} Beprobung kongruent. Der kongruente Verlauf der gedüngten und der ungedüngten Behandlungen gibt darüber Auskunft, dass über den Zeitraum der N_{min} Analyse keine unterschiedlichen Verlagerungen des im Boden vorhandenen pflanzenverfügbaren Stickstoffes zwischen den Behandlungen stattgefunden haben.

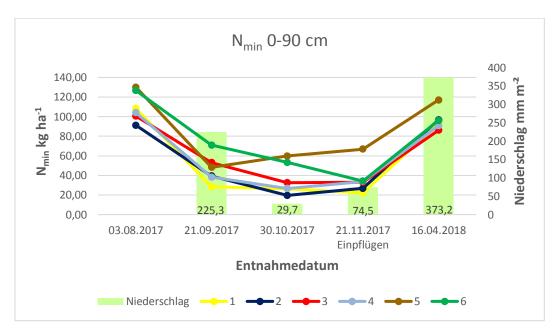


Abbildung 17: Summe der N_{min} Gehalte in einer Tiefe von 0-90 cm

Abbildung 17 veranschaulicht den N_{min} Verlauf zu den unterschiedlichen Probenahmen. Gut ersichtlich ist die Zunahme der Behandlung 5 (Ackerbohne, Erbse, Sommerwicke) ab dem Zeitpunkt des 21.9.2017 im Vergleich zu den anderen Behandlungen. Eine Veranschaulichung des gleichmäßigen Stickstoffabfalls zwischen dem 21.9.2017 und dem 30.10.2017 an der Behandlung 6 (Referenzparzelle) verdeutlicht die Verlagerung des pflanzenverfügbaren Stickstoffes in Schichten welche tiefer als 90 cm liegt.

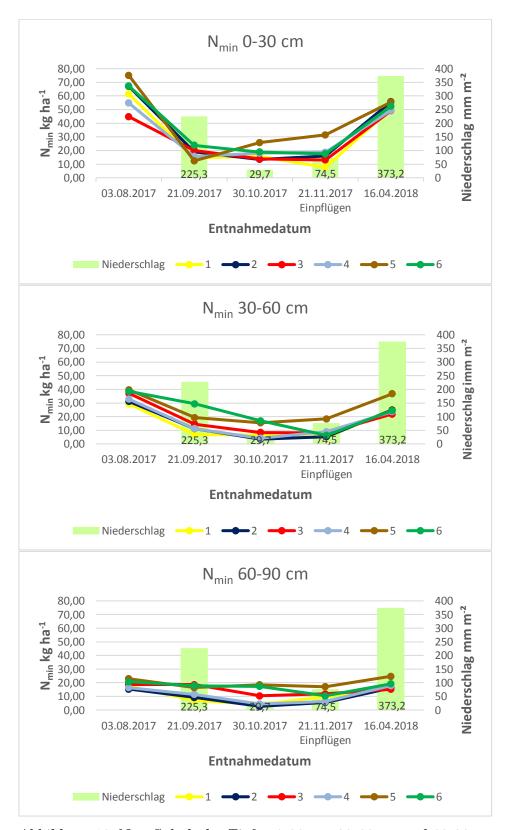


Abbildung 18: N_{min} Gehalt der Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm

3.3 Wasserkundliche Kennwerte

3.3.1 NO₃ Gehalt im Wasser

Eine statistische Signifikanz, erhoben aus den Daten der Saugkerzen, kommt zwischen den Behandlungen 1 und 6 sowie den Behandlungen 2 und 6 vor. Zudem findet kein Einfluss des Zeitpunktes auf die Tiefe statt. Aufgrund auftretender Probleme mit den Saugkerzen, welche zu einer unregelmäßigen Wasserentnahme führten, wird eine statistische Auswertung in Frage gestellt.

Tabelle 19: Statistisch gewertete Mittelwerte des Nitrat Gehalts in m
g $\mathbf{l}^{\text{-}1}$ im Bodenwasser

NO ₃ - mg l-1	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 5	Beh. 6
Mittelwert	$15,00^{\rm b}$	$22{,}14^{\rm b}$	$41,43^{\mathrm{ab}}$	$38,52^{\mathrm{ab}}$	$38,40^{\mathrm{ab}}$	68,44ª

Unterschiedliche Indices zeigen signifikante Differenzen zwischen den Werten: abc

Tabelle 19 beschreibt die statistische Auswertung des Nitratgehalts im Bodenwasser in Mittelwerten. Der höchste Gehalt an Nitrat im Bodenwasser wird mit einem Wert von 68,44 mg l⁻¹ in Behandlung 6, der Referenzparzelle, gemessen. Der kleinste Wert kommt mit 15,00 mg l⁻¹ in Behandlung 1 vor. Wie auch in Abbildung 19 ersichtlich, liegt der am höchsten gemessene Wert nicht nur über dem Europäischen Trinkwasserschwellenwert von 45 mg l⁻¹ (Umweltbundesamt, 2016), sondern weit über dem Europäischen Trinkwassergrenzwert, welcher bei 50 mg l⁻¹ (Umweltbundesamt, 2016) liegt. Aufgrund der niedrigen Werte der Behandlung 1 und der Behandlung 2 und des hohen Werts der Behandlung 6 (Referenzparzelle) entsteht die zuvor erwähnte statistische Signifikanz. Die beiden Behandlungen 3 und 4 liegen knapp unter dem Schwellenwert. Weit von dem Schwellenwert entfernt liegen die Behandlungen 1 und 2.

Eine für das Grundwasser bedenkliche Konzentration des Nitratgehalts liegt vor allem in der Behandlung 6 vor. In diesem Versuch diente die Behandlung 6 als Referenzparzelle. Diese wurde mittels Grubber bearbeitet und nicht begrünt. Durch den fehlenden Aufwuchs wurde das Wasser von keinen Pflanzen aufgenommen und verlagerte sich in tiefere Schichten. Zudem ist aufgrund der meisten gewonnen Werte in allen Tiefen auf eine vollständige Funktionstüchtigkeit

der Saugkerzen zu schließen. Dies hat einen maßgebenden Einfluss auf eine repräsentante statistische Signifikanz.

Eine statistische Signifikanz zwischen der Behandlung 3 und der gedüngten Behandlung 4 liegt nicht vor. Jedoch befinden sich beide Werte mit einem Mittelwert von 41,43 mg l⁻¹ bei Behandlung 3 und 38,52 mg l⁻¹ bei Behandlung 4 knapp unter dem Trinkwasserschwellenwert von 45 mg l⁻¹ Nitrat im Grundwasser. Beide Behandlungen bestehen aus den Kulturen Alexandriner Klee, Senf und Buchweizen. Wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben, findet sich in dieser Behandlung aufgrund des Senfs eine mit einer Pfahlwurzel ausgebildete, tiefwurzelnde, stickstoffzehrende Pflanze. Zu den weiteren Fähigkeiten zählen die rasche Bindung von Nährstoffen und das rasche Wachstum in einer kurzen Vegetationszeit (Hartl, 2010). Des Weiteren sorgt der frostempfindliche Buchweizen durch seinen schnellen Aufgang für eine rasche Bedeckung des Bodens. Tiefe Temperaturen führen zu einem raschen Tod der Pflanze und einer geringen Stickstoffaufnahme in kälteren Zeiten. Als dritter Mischungspartner sorgt der Alexandriner Klee aufgrund der Zuordnung der Leguminosen für eine zusätzliche Stickstoffbildung im Boden.

Auch zwischen der Behandlung 1 und der Behandlung 2 liegt der p-Wert nicht unter 0,05. Geprägt durch die Begrünungspartner Ölrettich, Senf und Buchweizen finden sich mit den Partnern Ölrettich und Senf gleich zwei tiefwurzelnde, stickstoffzehrende Pflanzen. Der frühe Aufgang des Buchweizens sorgt durch seine Bedeckung für einen ordnungsgemäßen Aufgang der beiden anderen Begrünungspartner. Vor allem die beiden Kulturen Senf und Ölrettich sorgen, im Vergleich zu den Behandlungen 3 und 4, durch ihr hohes Stickstoff- und Wasseraufnahmevermögen für einen geringen Nitratgehalt im Bodenwasser. Durch die nicht bestehende Signifikanz in den Trockenmasseerträgen, siehe Kapitel 3.1.1, kann die Annahme getroffen werden, dass es durch eine nicht gedüngte, leguminosenfreie Behandlung im Zuge der N-Aufnahme der einzelnen Behandlungskomponenten zu einer Minimierung der Nitratverlagerung in stickstoffreichen Böden kommt.

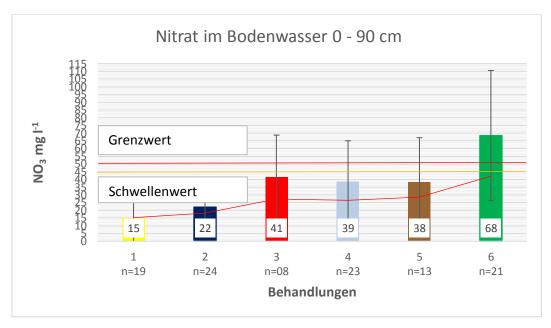


Abbildung 19: Nitratgehalt in m
g ${\bf l}^{\text{-}1}$ des Bodenwassers an den unterschiedlichen Behandlungen

4 Schlussfolgerung

In der folgenden Arbeit wurde untersucht, inwiefern sich eine Düngung von 60 kg N ha⁻¹ zu verschiedenen Zwischenfrüchten nach der Kultur Weizen auf pflanzenbauliche Kennwerte (Trockenmasseertrag, Stickstoffaufnahme der Pflanze, Stickstoffertrag), bodenkundliche Kennwerte (N_{min}) und wasserkundliche Kennwerte (Nitrat im Bodenwasser) auswirkt.

4.1 Pflanzenbauliche Kennwerte

Im Trockenmasseertrag kommt es zu keinen statistischen Unterschieden zwischen den Behandlungen 1 bis 5. Lediglich der Zeitpunkt der Schnittproben nimmt Einfluss auf einen signifikant zunehmenden Trockenmasseertrag. In den von den Kulturen unterschiedlich aufgenommenen Stickstoffgehältern weißt vor allem Behandlung 5 im Zeitraum der Schnittzeitpunkte einen signifikant höheren Wert auf. Trotz einer Abnahme der Stickstoffgehälter mit zunehmendem Schnittzeitpunkt liegt Behandlung 5 mit einem Stickstoffgehalt von 2,41 % im nahezu doppelt so hohen Bereich als Behandlung 1 mit einem Wert von 1,35 % Stickstoff in den Pflanzen zum Zeitpunkt des 21.11.2017. Signifikante Unterschiede zwischen gedüngter und ungedüngter Form finden sowohl in den Behandlungen 1 und 2 sowie den Behandlungen 3 und 4 nicht statt. Auffallend höher, jedoch nicht statistisch nachweisbar, ist der Stickstoffgehalt in den Behandlungen 3 und 4. Eine dahingehende Erklärung findet man im Leguminosen Mischungspartner Alexandriner Klee. So führt auch eine durch Symbiose verursachte Stickstofffixierung zu einem statistischen belegbaren Unterschied zwischen Behandlung 5 und Behandlung 1 im Stickstoffertrag pro ha-1. Auch infolge einer Stickstoffertragsberechnung in kg ha⁻¹ kann kein Unterschied zwischen einer gedüngten und einer ungedüngten Behandlung festgestellt werden.

4.2 Bodenkundliche Kennwerte

Hinsichtlich einer großen Anzahl von repräsentanten N_{min} Proben aus den Tiefen von 0 bis 90 cm konnten signifikante Unterschiede der Behandlung 5 und der Behandlung 6 im Vergleich zu den Behandlungen 1, 2, 3 und 4 über den gesam-

ten Versuchszeitraum festgestellt werden. Ein exponentiell steigender N_{min} Wert der Behandlung 5 findet seine Erklärung wiederum in der Stickstofffixierung der Pflanzen im Boden. Der Großteil des gebildeten Stickstoffs befindet sich zum Zeitpunkt des 16.4.2018 jedoch nicht in der ackerbaulich relevanten Zone von 0 bis 30 cm. Diesbezüglich kann von einer Verlagerung des von den Leguminosen vor Umbruch fixierten Stickstoffes in tiefere Schichten ausgegangen werden. Ein Unterschied der Behandlung 1 und derselben gedüngten Behandlung 2 sowie der Behandlung 3 und derselben Behandlung 4 kann nicht statistisch belegt werden. Wie im Kapitel 4.1 erklärt, verfügen Behandlung 3 und 4 über einen etwas höheren N_{min} Gehalt als die Behandlungen 1 und 2. Auch in diesem Fall findet der etwas höhere Gehalt seine Erklärung im Anteil der Leguminose Alexandriner Klee in beiden Behandlungen. Ähnliche N_{min} Werte in einer Tiefe von 0 bis 30 cm zum Zeitpunkt des 16.4.2018 sprechen für eine gleichmäßige fortgeschrittene Mineralisation. Zudem kann auf Grund eines nicht vorkommenden signifikanten Unterschiedes der Behandlung 6 in der Tiefe von 0 bis 30 cm zum Zeitpunkt des 16.4.2018 von einem großen Anteil an organisch gebundenem Stickstoff ausgegangen werden.

4.3 Wasserkundliche Kennwerte

Eine Interpretation der wasserkundlichen Kennwerte kann nur in Bezug auf den von der Grundwasserverordnung vorgegebenen Grenzwert von 50 mg NO₃- l⁻¹ und den Schwellenwert von 45 mg NO₃- l⁻¹ erfolgen. Deutlich signifikant über dem Grenzwert liegt mit einem Mittelwert von 68,45 mg NO₃- l⁻¹ Behandlung 6. Aufgrund der nicht bewachsenen Referenzparzelle kommt es zu keiner Aufnahme des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden und führt des Weiteren zu einer deutlichen Verlagerung des hohen N_{min} Gehalts des Monats August, siehe Kapitel 3.2.1, in tiefere Schichten. Die Behandlungen 1, 2, 3, 4 und 5 liegen unter dem Schwellenwert, wobei die Behandlungen 3, 4 und 5 aufgrund ihrer Leguminosenanteile erhöhte Nitratwerte im Bodenwasser aufweisen. Die niedrigsten Nitratwerte haben die Behandlung 1 und die Behandlung 2 vorzuweisen. Bei jenen Behandlungen kommt es zu einer statistischen Signifikanz mit der Behandlung 6, was zu einer Verdeutlichung eines geringen Nitrataustrages führt.

Ein statistischer Unterschied zwischen einer gedüngten und einer ungedüngten Behandlung kann infolge einer durchgeführten wasserkundlichen Analyse nicht festgestellt werden.

4.4 Ausblick

Im Zuge einer Düngung von 60 kg N ha⁻¹ zu ausgewählten Begrünungsbehandlungen können anhand pflanzenbaulicher, bodenkundlicher und wasserkundlicher Kennwerte keine Unterschiede zwischen gedüngten und denselben ungedüngten Begrünungsbehandlungen im einjährigen Versuch festgestellt werden. Eine offensichtliche Darstellung einer Verlagerung des pflanzenverfügbaren Stickstoffes in tiefere Schichten findet man anhand der Behandlungen 6 und der Behandlung 5. Behandlung 6 nimmt den im landwirtschaftlichen Chargon bezeichneten Platz der "Brachefläche" ein. Hierbei kann mit den verwendeten Analysen eine deutliche Verlagerung des sich im Boden befindlichen pflanzenverfügbaren Stickstoffes in tiefere Schichten festgestellt werden. Behandlung 6 ist jene Behandlung, welche deutlich über dem Grundwassergrenzwert des verlagerten Nitrats im Bodenwasser liegt. In Behandlung 5, der reinen Leguminosenbehandlung, findet eine erwartete Stickstofffixierung der Pflanzen im Boden statt. Ein hoher N-Wert der Pflanzen induziert eine schnellere Mineralisation der Leguminosen. Zum Zeitpunkt der benötigten Stickstoffmenge der Folgefrucht ist es bereits zu einer Verlagerung in ackerbaulich nicht relevante Zonen gekommen. Trotz deutlicher Verlagerung liegen die im Bodenwasser gemessenen Nitratwerte unter den vorgegebenen Schwellen der Grundwasserverordnung. In Behandlung 3 und Behandlung 4 führt die Leguminose Alexandriner Klee zu einer Stickstofffixierung im Boden und infolge dessen zu erhöhten N_{min} Werten. Festgestellte Nitratwerte im Bodenwasser liegen im gesetzlichen Rahmen, jedoch in einem erhöhten Bereich. Die leguminosenfreien Behandlungen 1 und 2 führten dem Boden keinen zusätzlichen Stickstoff hinzu. Zudem liegen diese Behandlungen im Aspekt der Nitratverlagerung in das Bodenwasser in deutlich positiveren Bereichen als die Behandlungen 3, 4 und 5.

Eine erlaubte Düngung zu einer leguminosenfreien Begrünungsbehandlung würde infolge eines größeren Getreideanteils in der Fruchtfolge einerseits zu einer angenommenen Reduktion maisbetonter Fruchtfolgen führen und andererseits die Wirtschaftsdüngerlagerkapazitäten um einiges schmälern. Von einem wie in diesem Versuch getätigtem vorwinterlichen Umbruch der Begrünungen wird aufgrund einer von warmen, niederschlagsreichen Wintern verursachter fortgeschrittener Mineralisation abgeraten beziehungsweise auf einen Frühjahrsumbruch hingewiesen.

Eine geplante Verdeutlichung des von den Behandlungen für die Folgefrucht gebildeten Stickstoffes konnte aufgrund eines Starkregenereignisses und der damit verbundenen Verlagerung der N_{min} Werte im Boden im April 2018 nicht erfolgen.

ZUSATZ 71

5 Zusatz

Datum	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 5	Beh. 6
16.04.2018	92,88	96,77	86,14	90,81	116,91	96,09
02.05.2018	63,89	42,62	56,62	55,20	70,44	53,85

Tabelle 20 stellt tabellarisch die aufsummierten N_{min} Werte der Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm zu den Zeitpunkten des 16.4.2018 und des 2.5.2018 dar. Die Ziehung der Bodenproben am Tag des 2.5.2018 erfolgte aufgrund einer Kontrollziehung und zielte darauf ab herauszufinden, inwiefern sich der N_{min} Gehalt infolge eines Starkregenereignisses von 80 mm m⁻², laut ZAMG Wetterstation in Wagna, in geringer Zeit verändert hat. Aufgrund der stark veränderten Werte konnte ein Weiterführen des Versuches als nicht sinnvoll erachtet werden. Zudem konnte die Fragestellung, welche Behandlung sich positiv auf die Stickstoffaufnahme der Folgefrucht Mais auswirkt, dadurch nicht beantwortet werden. Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 verbildlichen die Veränderung der Versuchsfläche infolge des Starkregenereignisses.



Abbildung 20: Überflutung der Versuchsfläche am 17.4.2018

ZUSATZ 72



Abbildung 21: Verlagerung der Saugkerzen nach erfolgter Überflutung



Abbildung 22: Verschlämmung der Versuchsfläche nach erfolgter Überflutung

6 Literaturverzeichnis

- AMA. (2015). Begrünung von Ackerflächen Zwischenfruchtanbau. Öpul Maßnahmenerleuterungsblatt Version 5.0, 1-8.
- AMA. (2018). Österrerreichisches Blatt zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft. Merkblatt Öpul 2015, 1–72.
- Badawi, A., Hartl, W., Erhart, E., Albert, R., & Wanek, W. (2011). Verluste der oberirdischen Biomasse von abfrostenden Begrünungspflanzen durch Ausgasung vor der Einarbeitung in den Boden. 14. Gumpensteiner Lysimetertagung, Lehr und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Raumberg-Gumpenstein, Österreich 235–238.
- BFW. (2018). eBOD, Digitale Bodenkarte von Österreich [Online]. Retrieved from http://gis.bmnt.gv.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD [Accessed: 09.08.2018].
- BMLFUW. (2010). Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009. Ministerium für ein Lebenswertes Österreich, Wien, 1-225.
- BMLFUW. (2017a). Richtlinien für die Sachgerechte Düngung, 7. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1-80.
- BMLFUW. (2017b). Grüner Bericht 2017 Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1-268.
- BMLFUW. (2017c). Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015, Ministerium für ein Lebenswertes Österreich, Wien, 1-358.
- BMNT. (2019a). Wasserversorgung und -verwendung in Österreich [Online]. Retrieved from https://www.bmnt.gv.at/wasser/nutzung-wasser/versorgung.html [Accessed: 18.03.2019].
- BMNT. (2019b). *Grundwasserkörper [Online]*. Retrieved from https://www.bmnt.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/grundwasser/Grundwasserkoerper.html [Accessed: 18.03.2019].
- Bodner, G. (2012). Die Bedeutung der Wurzel für die Leistungen der Zwischenfruchtbegrünung im Boden- und Grundwasserschutz. 3. Umweltökologisches Symposium, Lehr und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Raumberg-Gumpenstein, Österreich, 73-78.
- Diepenbrock, W., Fischbeck, G., Heyland, K.-U., & Knauer, N. (1999). Spezieller *Pflanzenbau*, 3. Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

- Fank, J. (1996). Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefrachtung des Grundwassers in quartären Lockersediment Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes. Institut für Hydrogeologie und Geothermie, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH Graz, Österreich, 1-310.
- Fank, J. (1999). Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft Zur Nitratproblematik im Murtal südlich von Graz. 8. Gumpensteiner Lysimetertagung, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Österreich, 1-10.
- Fank, J., Feichtinger, F., Dersch, G., & Robier, J. (2010). Ackerbauliche Maßnahmen für eine grundwasserverträgliche Landwirtschaft im Murtal (Graz bis Bad Radkersburg). Graz, Amt der Steiermärksichen Landesregierung, 1-96.
- Fank, J., Fastl, G., Kupfersberger H., & Rock, G. (2006). *Die Bewirtschaftung des Versuchsfeldes Wagna Auswirkung auf die Grundwassersituation.* Umweltprogramme für die Landwirtschaft, Österreich, 43-48.
- Fank, J., Stenitzer, E., Feichtinger, F., & Cepuder, P. (2004). Messdaten und Modellkalibration der*Forschungsstation* Wagna an und Anforderungen abzuleitende an Messstellen zur Kalibration Bodenwasserhaushalts-Stofftransportmodellen. und Institut für Hydrogeologie und Geothermie, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH Graz, Österreich, 1-7.
- Ferstl, M. (2007). Überblicke Schongebiete. Wasserland Steiermark, Umwelt Bildungszentrum Steiermark, Graz, 6.
- Frede, H. G., & Dabbert, S. (1998). *Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft,* 1. Auflage, Ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landberg.
- Hansen, E. M., & Djurhuus, J. (1997). Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. Soil & Tillage Research 41, 203–219.
- Hartl, W. (2010). Verluste der oberirdischen Biomasse von abfrostenden Begrünungspflanzen durch Ausgasung vor der Einarbeitung in den Boden. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1-75.
- Hein, W., & Murer, E. (2002). Lysimeteranlage Winklhof: Aufbau und erste Ergebnisse. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten, Klosterneuburg, 393-394.
- Hersener, J. L., Meier, U., & Dinkel, F. (2002). Ammoniakemissionen aus Gülle und deren Minderungsmassnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Vergärung [Online].

Retrived from

http://www.meritec.ch/pdf/Schlussbericht_Ammoniakemissionen_2002.pdf [Accessed 17.08.2018].

- Kaltschmitt, M., Hartmann, H., & Hofbauer, H. (2016). *Energie aus Biomasse*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin.
- Holler, E. (2016a). Schweinepreis 1988. mündliche Mitteilung, Gabersdorf.
- Holler, E. (2016b). Versuchsfläche Gabersdorf. mündliche Mitteilung, Gabersdorf.
- Hermsmayer, D. & Rienk R. (1996): Schätzung der Denitrifikation in Landwirtschaftlich genutzten Böden Ergebnisse und Bewertung. Institut für Bodenkunde der Universität Hannover, Hannover 1-8.
- Kalra, Y.P. (1988). Reference Methode for Plant Analysis, Soil and Plant Analysis Council, Inc., CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, 81.
- Köck, M. (2002). *Bodenschutzbericht*. FA10B Landwirtschaftliches Versuchszentrum Referart Boden- und Pflanzenanalytik, Graz, 1-91.
- Land Oberösterreich (2007). Landschaftserhebung Gemeinde Bad Wimsbach-Neydhartin. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Naturschutzabteilung, Kirchdorf an der Krems, 5.
- Land Steiermark. (2013). Land- und Forstwirtschaftliche Agrarstrukturerhebung 2010 [Online]. Retrived from http://www.statistik.steiermark.at/cms/dokumente/11682776_103036101/d1 98312b/Heft 2-2013 Agrarstrukturerhebung Publikation.pdf [Accessed 19.7.2018].
- Land Steiermark. (2018). Grundwasserschutzprogramm von Graz bis Bad Radkersburg [Online]. Retrived from https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/LgblAuth/LGBLA_ST_20180314_24/L GBLA_2018_024_Anl2A_SIG.pdfsig [Accessed 08.08.2018].
- Land Steiermark. (2019). GIS, Digitaler Atlas Steiermark [Online]. Retrieved from https://gis.stmk.gv.at/atlas/(S(ysuk1csmpg0gqsxvsg1q1csa))/init.aspx?karte= gew&ks=das&cms=da&massstab=800000 [Accessed: 20.03.2019].
- Leick, B. (2003). Emission von Ammoniak (NH₃) und Lachgas (N₂O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von Produktionstechnischen Maßnahmen. Dissertation, Universität Hohenheim, Hohenheim.
- LGBl. Nr.86/1990 (1990). Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 21. November 1990, mit der ein Grundwasserschongebiet zum Schutz der Wasserversorgungsanlagen des Wasserverbandes Leibnitzerfeld Süd bestimmt wird.
- LGBI Nr.39/2015. (2015). Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 20. Mai 2015 mit der ein Regionalprogramm zum Schutz der Grundwasserkörper Grazer Feld, Leibnitzer Feld und Unteres Murtal erlassen und Schongebiete bestimmt werden (Grundwasserschutzprogramm Graz bis Bad Radkersburg).

- LUB. (2011). Tätigkeitsbericht der landwirtschaftlichen Umweltberatung Steiermark 2011. Land Steiermark, Graz, 1-24.
- Lütke Entrup, N. (1991). Zwischenfrüchte im integrierten Pflanzenbau. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID), Bonn.
- Lütke Entrup, N. (2001). Zwischenfrüchte im umweltgerechten Pflanzenbau. Thomas Mann Verlag, Gelsenkirchen.
- Lütke Entrup, N., & Oehmichen, J. (2000). *Lehrbuch des Pflanzenbaues*, Band 2, Thomas Mann Verlag, Gelsenkirchen.
- Märzendorfer, M., & Harant, M. (2014). Einfluss von Zwischenfrüchten auf bodenbürtige Treibhausgasemissionen sowie auf ausgewählte Parameter des Stickstoffkreislaufes. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Meisinger, J. ., Hargrove, W. ., Mikkelsen, R. L., J.R., W., & Benson, V. W. (1991). *Effects of cover crops on groundwater quality*. Groundwater Impacts, 57–68.
- Moder, K. (2016). Statistische Versuchsplanung Übungen. Vorlesungsunterlage. Universität für Bodenkultur, Wien.
- ÖNORM-L1091 (1999): Chemische Bodenuntersuchungen-Bestimmung von mineralischem Stickstoff nach der N_{min}-Methode, Wien.
- Piepho, H. P., Büchse, A., & Emrich, K. (2003). A Hitchhiker's Guide to Mixed Models for Randomized Experiments. Agronomy and Crop Science 189, 310–322.
- Piepho, H. P. (2017). *Mixed models for metric data*. Institute for Crop Science-Universität Hohenheim, Hohenheim 13-15.
- Pilger, H., Wakonigg, H., Hawranek, V., Podesser, A., & Rieder, H. (2010). Klimaatlas Steiermark. Periode 1971-2000. Eine anwenderorientierte Klimatographie.Kapitel 2 Temperatur [Online]. Retrieved from http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10703612/16178332/ [Accessed 13.08.2018].
- Pötsch, E. M. (2016). Düngung und Stoffeinflüss im Grünland. Vorlesungsunterlage, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Renius, W., Lütke Entrup, E., & Lütke Entrup, N. (1992). Zwischenfruchtbau zur Futtergewinnung und Gründüngung, 3 Auflage, DLG Verlag, Frankfurt am Main.
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. (2003). Vermeidung von Stickstoffverlusten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 9-8, Dresden.
- Schubert, S. (2006). Pflanzenernährung, 3. Auflage, Eugen Ulmer KG, Stuttgart.

- Statistik Austria. (2016). Land- und Forstwirtschaftliche Erzeugerpreise [Online]. Retrieved from https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/preise/index.html [Accessed 08.08.2018].
- Umweltbundesamt. (2016). Wasser. Elfter Umweltkontrollbericht Wasser, Wien, 119–137.
- Wakonigg, H., Hawranek, V., Podesser, A., & Rieder, H. (2008). *Klimaatlas Steiermark Temperatur [Online]*. Retrieved from http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10703612_16178332/d62a 336e/2_TEMPERATUR 2.0.pdf [Accessed 13.08.2018].
- Walther, U., Weisskopf, P., Oberholzer, H. R. & Knecht, K. (1999). 50 Jahre organische und mineralische Düngung: Humusgehalte, N-Ausnutzung und N-Bilanzen. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Reckenholz, Schweiz, Zürich, 1-17.
- WasserversorgungsGmbHLeibnitzerfeld. (2015). Brunnenwerte. Leibnitz. unveröffentliches Skript.
- Wehrmann, J., & Scharpf, H. C. (1979). Der Minerstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (N_{min}-Methode). Plant and Soil 52, 109-126.
- Zirngast, C. (2011). Vergleich verschiedener Ökobilanzen von Grünland und Ackerbaubetrieben in der Südstiermark. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Zorn, W. (2007). Auswirkung der Düngerpreise auf den Nährstoffeinsatz eine ökonomische und pflanzenbauliche Bewertung. Tagung, Landwirtschaftskammern e.V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD), Würzburg, Deutschland, 61-72.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundwasserkörper in der Steiermark (Land Steiermark,
2019)9
Abbildung 2: Grundwasserkörper Unteres Murtal (Land Steiermark,
2019)9
Abbildung 3: Grundwasserschutzprogramm von Graz bis Bad
Radkersburg, Widmungsgebiet 1: violette Farbe, Widmungsgebiet 2:
orange Farbe (Land Steiermark, 2018)23
Abbildung 4: Luftbildaufnahme der randomisiert angeordneten
Exaktversuchsfläche vom 25.9.201726
Abbildung 5: Versuchsdesign der Versuchsfläche in Gabersdorf
übernommen von Mehdi 201727
Abbildung 6: Einbau der Saugkerzen in den Tiefen von 40 cm, 60 cm und
90 cm
Abbildung 7: Dipl. Ing. Christoph Zirngast bei der Ausbringung der
Mastschweinegülle mittels Gießkanne auf die zu düngende Parzelle30
Abbildung 8: Aufgang der Behandlung 2 (Ölrettich, Senf, Buchweizen) im
Block 3
Abbildung 9: Viertelmeter-Rahmen vor dem Schnitt (links) und nach dem
Schnitt (rechts)36
Abbildung 10: Trocken gemahlenes Grüngut
Abbildung 11: Grundbodenuntersuchung
Abbildung 12: Bodenprobenentnahme anhand eines Bodenbohrers und
eines Hammers39
Abbildung 13: Trockenmasseerträge der Behandlungen47
Abbildung 14: Prozentuelle Stickstoffgehälter der einzelnen
Behandlungen49

Abbildung 15: Frostschäden in der Behandlung 5 (Ackerbohne, Erbse,
Sommerwicke)
Abbildung 16: Stickstoffertrag in kg $\rm ha^{\text{-}1}$ von den Behandlungen 1 bis 5 .54
Abbildung 17: Summe der N_{min} Gehalte in einer Tiefe von 0-90 cm61
Abbildung 18: N_{min} Gehalt der Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm62
Abbildung 19: Nitratgehalt in mg l ⁻¹ des Bodenwassers an den
unterschiedlichen Behandlungen65
Abbildung 20: Überflutung der Versuchsfläche am 17.4.201871
Abbildung 21: Verlagerung der Saugkerzen nach erfolgter Überflutung72
Abbildung 22: Verschlämmung der Versuchsfläche nach erfolgter
Überflutung72

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schwellen- und Trinkwassergrenzwert in mg Nitrate l ⁻¹
Tabelle 2: Bodenformen gemäß Finanzbodenschätzung und deren
Zuordnung nach der Österreichischen Bodenkartierung19
Tabelle 3: Ergebnisse der Modellrechnung20
Tabelle 4: Stickstoffobergrenze Mais20
Tabelle 5: Nach Datum gereihte Tätigkeiten auf der Exaktversuchsfläche
93
Tabelle 6: In der Arbeit verwendete Behandlungen35
Tabelle 7: Ausgewählte Kovarianzstrukturen zu den abhängigen
Variablen zur statistischen Auswertung44
Tabelle 8: Trockenmasseerträge der unterschiedlichen Behandlungen in t
ha ⁻¹ 45
Tabelle 9: Durchschnittlich gemittelte Trockenmasseerträge der
Behandlungen 1 bis 5 in der Zeit des Versuchsverlaufs in t ha ⁻¹ 45
Tabelle 10: Durchschnittlich gemittelte Trockenmasseerträge zu den
Zeitpunkten 1, 2 und 3 in t ha ⁻¹ 46
Tabelle 11: Stickstofferträge der unterschiedlichen Behandlungen in
Prozent49
Tabelle 12: N-Ertrag der Behandlungen zu drei unterschiedlichen
Schnittproben in kg ha ⁻¹
Tabelle 13: Durchschnittlich gemittelte N Erträge in kg ha ⁻¹ der
Behandlungen 1 bis 5 in der Zeit des Versuchsverlaufs in kg ha ⁻¹ 52
Tabelle 14: Durchschnittlich gemittelte Trockenmasseerträge zu
unterschiedlichen Zeitpunkten53
Tabelle 15: Berechnung des N kg ha ⁻¹ am Beispiel Behandlung 153
Tabelle 16: N _{min} Werte der Behandlungen 1 bis 6 in kg ha ⁻¹ 56

Tabelle 17: Durchschnittlich gemittelte N_{min} Gehaltswerte der	
Behandlungen 1 bis 6 in der Zeit des Versuchsverlaufs in kg ha ⁻¹ 5	56
Tabelle 18: Durchschnittlich gemittelte N_{min} Gehaltswerte zu den	
Zeitpunkten 1 bis 5 in kg ha ⁻¹ 5	57
Tabelle 19: Statistisch gewertete Mittelwerte des Nitrat Gehalts in mg l ⁻¹	
im Bodenwasser6	33
Tabelle 20: Darstellung der N _{min} Werte der Behandlungen 1 bis 6	71