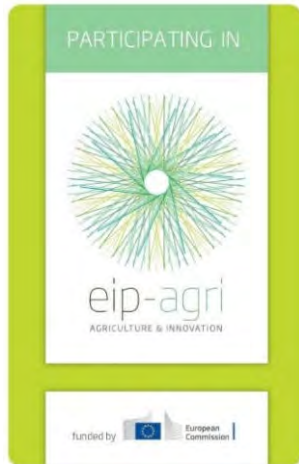


Umsetzung der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI) im Freistaat Sachsen



Entwicklungsprogramm
für den ländlichen Raum
im Freistaat Sachsen
2014 - 2020

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des
ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete

STAATSMINISTERIUM
FÜR ENERGIE, KLIMASCHUTZ,
UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT



Freistaat
SACHSEN

Abschlussbericht

für ein nach Richtlinie LIW/2014 mit Mitteln des ELER gefördertes Vorhaben

Titel des Vorhabens:

Biologische Nitrifikationshemmung zum Schutz des Grundwassers nach Luzerneumbruch (BioNitrat-Schutz)

Autor:innen:

M. Sc. Tsvetelina Krachunova

M. Sc. Martin Scholz

B.Sc. Hannah Scharfstädt

Prof. Dr. agr. Knut Schmidtke

Impressum

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie

Professur Ökologischer Landbau

Pillnitzer Platz 2

01326 Dresden

E-Mail: knut.schmidtke@htw-dresden.de

tsvetelina.krachunova@htw-dresden.de

Internet: <https://www.htw-dresden.de/luc/fakultaet>



Wassergut Canitz GmbH (Betriebsstätte)

Straße Nr. 42

04808 Wasewitz

E-Mail: wassergut@L.de

Internet: www.L.de/wassergut



Stand des Berichtes: 31.01.2024

© Alle Bilder in diesem Dokument unterliegen dem Urheberrecht der Autor:innen

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	I
TABELLENVERZEICHNIS	II
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
1 ZUSAMMENFASSUNG DER PROJEKTPLANUNG	1
1.1 PROBLEMBESCHREIBUNG	1
1.2 ZIELFORMULIERUNG	6
1.3 ARBEITSPLAN	8
1.3.1 <i>Methodenbeschreibung</i>	8
AP 1: Untersuchungen zur Ertragsbildung und Nitratakkumulation im Boden unter Luzernebeständen	8
1.3.1.1 Versuchsanlage und Prüfglieder (Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel)	9
1.3.1.2 Anbauverlauf und Pflegemaßnahmen	10
1.3.1.3 Bodenprobenentnahmen und -analysen	11
1.3.1.4 Ertragsleistung und Pflanzenanalysen	12
AP 2: Untersuchungen zum Vorrat an mineralischem Stickstoff im Boden nach Luzerneumbbruch unter Winterweizen und Wintergerste sowie Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme der Folgefrüchte.....	13
1.3.1.5 Versuchsanlage und Prüfglieder (Winterweizen).....	13
1.3.1.6 Bodenprobenentnahmen, Pflanzen- und Nährstoffanalysen (Winterweizen)	14
1.3.1.7 Versuchsanlage und Prüfglieder (Wintergerste)	15
1.3.1.8 Anbauverlauf und Pflegemaßnahmen	15
1.3.1.9 Bodenprobenentnahmen, Pflanzen- und Nährstoffanalysen (Wintergerste)	16
AP 3: Untersuchungen zur Wirkung des Zwischenfruchtanbaus von Spitzwegerich nach Winterweizen auf den Vorrat an mineralischem Stickstoff im Boden, Nitrataustragsgefahr sowie Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme der zweiten Folgefrucht (Wintergerste)	16
1.3.2 <i>Arbeits- und Lösungsweg</i>	16
1.3.3 <i>Probleme und Zeitverschiebung in AP 1 und AP 2</i>	17
1.3.3.1 Tabellarischer Zeit- und Arbeitsplan (chronologisch).....	18
1.4 ARBEITSBEITRÄGE DER EINZELNEN MITGLIEDER DER OPERATIONELLEN GRUPPE (OG).....	21
1.5 ERWARTETE ERGEBNISSE	21
2 DARSTELLUNG DES PROJEKTVERLAUFS	22
3 FOTODOKUMENTATION (CHRONOLOGISCH)	26
4 PROJEKTERGEBNISSE	54
4.1 EINSCHÄTZUNG DER ZIELERREICHUNG	54
4.2 HAUPTERGEBNISSE DES PROJEKTES	56
4.2.1 <i>Betriebs- und Standortcharakterisierung</i>	56
4.2.2 <i>Statistische Auswertung</i>	59
4.2.3 <i>AP 1: Untersuchungen zur Ertragsbildung und Nitratakkumulation im Boden unter Luzernebeständen</i>	60

4.2.3.1	Ertragsbildung und Ertragsanteile	60
4.2.3.2	Akkumulation von mineralischem Stickstoff im Boden (N _{min}).....	73
4.2.3.3	Futterwertanalyse.....	83
4.2.4	<i>AP 2: Untersuchungen zum Stickstoffvorrat im Boden nach Luzerneumbruch unter Winterweizen und Wintergerste sowie Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme der Folgefrüchte</i> .87	
4.2.4.1	Ertragsbildung von Winterweizen	87
4.2.4.2	Stickstoffaufnahme von Winterweizen	93
4.2.4.3	Ertragsbildung von Wintergerste.....	99
4.2.4.4	Stickstoffaufnahme von Wintergerste.....	104
5	NEBENERGEBNISSE DES PROJEKTES.....	109
6	ERGEBNISVERWERTUNG	110
6.1	NUTZUNG DER ERGEBNISSE IN DER PRAXIS.....	110
6.2	MAßNAHMEN ZUR VERBREITUNG DER ERGEBNISSE.....	111
7	WIRKUNG DES PROJEKTES	112
7.1	BEITRAG ZU DEN PRIORITÄTEN DER EU FÜR DIE ENTWICKLUNG DES LÄNDLICHEN RAUMS.....	112
7.2	BEITRAG ZU DEN ZIELEN DER EIP-AGRI.....	114
7.3	BEITRAG ZU DEN IN DER SWOT-ANALYSE FESTGESTELLTEN BEDARFEN.....	116
8	ZUSAMMENARBEIT IN DER OPERATIONELLEN GRUPPE.....	117
8.1	AUSGESTALTUNG DER ZUSAMMENARBEIT	117
8.2	MEHRWERT DER OPERATIONELLEN GRUPPE.....	117
9	VERWENDUNG DER ZUWENDUNG.....	117
10	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	118
10.1	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	118
10.2	AUSBLICK.....	119
11	LITERATURVERZEICHNIS.....	CXXI
	ANHANG	CIV

Abkürzungsverzeichnis

ADFom	Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung
C	Kohlenstoff
cm	Zentimeter
dt	Dezitonnen
Erg.	Ergänzt
FM	Frischmasse
g	Gramm
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
ha	Hektar
HFT	Hohenheimer Futterwerttest
K	Kalium
kg	Kilogramm
m	Meter
m²	Quadratmeter
ME	Umsetzbare Energie
mg	Milligramm
Mg	Magnesium
MJ	Megajoule
ml	Milliliter
N	Stickstoff
N₂	Molekularer Stickstoff
N₂O	Lachgas
NEL	Nettoenergie Laktation
NH₂OH	Hydroxylamin
NH₃	Ammoniak
NH₄⁺	Ammonium
NO	Stickstoffmonoxid
NO₃⁻	Nitrat
nRP	Nutzbarer Rohprotein
OG	Operationelle Gruppe
P	Phosphor
pH	Potential des Wasserstoffs
RA	Rohasche
Rfa	Rohfaser
Rfe	Rohfett
rNB	Ruminale Stickstoffbilanz
RPr	Rohprotein
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
UDP	Unabgebauter Rohprotein
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	Frischmasse-Ertragsleistung [FM/ha] von Gemengen aus Rotklee und Deutschem Weidelgras sowie aus Rotklee und Spitzwegerich auf einem Mittelgebirgsstandort im Erzgebirge.....	5
Tabelle 2.	Parameter zur Bestimmung der Gehalte an Grundnährstoffen (pH, Phosphor, Kalium, Magnesium) und zur Berechnung von N_{min} (Nitrat- und Ammoniumstickstoff).....	11
Tabelle 3.	Parameter zur Bestimmung des futterbaulichen Wertes von Reinsaaten der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingsels und deren Gemenge	13
Tabelle 4.	Schematische Darstellung der Fruchtfolgen auf beiden Versuchsanlagen (VF I, VF II)	17
Tabelle 5.	Tabellarischer Zeit und Arbeitsplan (chronologisch) im gesamten Projekt für die Periode 03/2019 bis 12/2019	18
Tabelle 6.	Tabellarischer Zeit und Arbeitsplan (chronologisch) im gesamten Projekt für die Periode 01/2020 bis 12/2021	19
Tabelle 7.	Tabellarischer Zeit und Arbeitsplan (chronologisch) im gesamten Projekt für die Periode 01/2022 bis 10/2023	20
Tabelle 8.	Arbeitsbeiträge der einzelnen Mitglieder der operationellen Gruppe (OG)	21
Tabelle 9.	Übersicht über den Projektablauf 04.2019 bis 11.2021	24
Tabelle 10.	Übersicht über den Projektablauf 01.2022 bis 08.2023.....	25
Tabelle 11.	Standortmerkmale von VF I und II und Fruchtfolgegestaltung im Laufe des Projektes	57
Tabelle 12.	Grundnährstoffanalyse am Standort Canitz (01.04.2019) und Mittelwerte für die Periode 2015-2019 für die Versuchsfläche.....	57
Tabelle 13.	Analyse des Gehaltes an verfügbarem mineralisiertem Stickstoff (N_{min}) zum Projektbeginn (01.04.2019) in 0 bis 120 cm Bodentiefe	57
Tabelle 14.	Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] der Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Feldversuchen 2019 und 2021	61
Tabelle 15.	Anteil [%] an Luzerne (LZ), Spitzwegerich (SW) und Wiesenschwengel (WS) im Gemenge. TM-Ertrag von LZ + Gemengepartner = 100% in 2019 und 2021	62
Tabelle 16.	Anteil [%] an Luzerne (LZ), Spitzwegerich (SW), Wiesenschwengel (WS) und Unkraut. TM-Ertrag der Reinsaat/Gemengepartner + Unkraut = 100% in 2019 und 2021.	66
Tabelle 17.	N-Konzentration [%] in der Stoppelmasse aus Reinsaaten und Gemengen der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingsels in 2019 und 2021.	67
Tabelle 18.	C/N-Verhältnis [%] der Stoppelbiomasse aus Reinsaaten und Gemengen von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwengel in den Feldversuchen 2019 und 2021.	68
Tabelle 19.	N-Konzentration [%] und C/N-Verhältnis in der Stoppelmasse aus Reinsaaten und Gemenge der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingsels in 2019 und 2021.	69
Tabelle 20.	TM-Ertrag [dt/ha] der Stoppeln aus Reinsaaten und Gemenge der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingsels in 2019 und 2021.	70
Tabelle 21.	N-Ertrag [kg N/ha] der Stoppeln aus Reinsaaten und Gemenge der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingsels im Oktober in 2019 und 2021	71
Tabelle 22.	TM-Ertrag [dt/ha] und N-Ertrag [kg N/ha] der Stoppelmasse aus Reinsaaten und Gemenge der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingsels in 2019 und 2021.	72
Tabelle 23.	Untersuchungsergebnisse der Futtermittelanalyse von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwengel in Reinsaat und im Gemenge in der Versuchsanlage 2019.	85
Tabelle 24.	Untersuchungsergebnisse der Futtermittelanalyse von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwengel in Reinsaat und im Gemenge in der Versuchsanlage 2021.. ..	86
Tabelle 25.	Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] von Winterweizenspross, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Winterweizenspross und Trockenmasse-Ertrag von Unkraut [dt/ha] zur Bestockung nach Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022.	88

Tabelle 26.	Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] von Winterweizenspross, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Winterweizenspross und Trockenmasse-Ertrag von Unkraut [dt/ha] zur Bestockung nach Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022.....	89
Tabelle 27.	Trockenmasse-Ertrag von Stroh und Korn [dt/ha], Ernteindex, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Stroh und Korn, Proteingehalt [%] und Stickstoff-Index in Korn von Winterweizen zur Druschreife nach Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen am 21.07.2020 und 22.07.2022.....	91
Tabelle 28.	Trockenmasse-Ertrag von Stroh und Korn [dt/ha], Ernteindex, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Stroh und Korn, Proteingehalt [%] und Stickstoff-Index in Korn von Winterweizen zur Druschreife nach Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022.....	92
Tabelle 29.	Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] von Wintergerstenspross zur Bestockung, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Wintergerstenspross und Trockenmasse-Ertrag von Unkraut [dt/ha] nach Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022.....	100
Tabelle 30.	Trockenmasse-Ertrag von Stroh und Korn [dt/ha], Ernteindex, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Stroh und Korn, Proteingehalt [%] und Stickstoff-Index in Korn von Wintergerste zur Druschreife nach Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022.....	102
Tabelle 31.	Trockenmasse-Ertrag von Stroh und Korn [dt/ha], Ernteindex, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Stroh und Korn, Proteingehalt [%] und Stickstoff-Index in Korn von Wintergerste zur Druschreife nach Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022.....	103
Tabelle 32.	Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse (01/2019 bis 01/2024)	111
Tabelle 33.	Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu den Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums (Teil I).....	112
Tabelle 34.	Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu den Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums (Teil II).....	113
Tabelle 35.	Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu den Zielen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (Teil I).....	114
Tabelle 36.	Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu den Zielen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (Teil II).....	115
Tabelle 37.	Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu der in der SWOT-Analyse festgestellten Bedarfen	116

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.	Kreislauf von Stickstoffdüngern in landwirtschaftlichen Systemen und ökologische Auswirkungen (vereinfacht und verändert nach Coskun et al. (2017)).....	3
Abbildung 2.	Versuchsstandort	8
Abbildung 3.	Versuchsdesign zur Ausgestaltung einer Parzelle und der gesamten Versuchsanlage	10
Abbildung 4.	Saatstärke der Versuchsvarianten Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel zur Schnittnutzung	26
Abbildung 5.	Versuchsfläche 2019:	27
Abbildung 6.	Kontrolle von Versuchsfläche II (22.02.2021):.....	28
Abbildung 7.	1. Schnitt auf Versuchsanlage II (25.05.2021):.....	29
Abbildung 8.	Blick auf die Versuchsanlage II vor dem 1. Schnitt (25.05.2021)	30
Abbildung 9.	Manuelle Bodenprobenentnahme in 0 bis 30 cm Tiefe zum 1. Futterleguminosen-Schnitt-Termin (26.05.2021)	30
Abbildung 10.	2. Schnitt des Spitzwegerichs in Reinsaat (29.07.2021)	31
Abbildung 11.	2. Schnitt der Luzerne in Reinsaat (29.07.2021)	31
Abbildung 12.	2. Schnitt des Wiesenschwingsels in Reinsaat (29.07.2021)	32
Abbildung 13.	2. Schnitt des Gemenges Luzerne/Wiesenschwingel 50/50% (29.07.2021)	32
Abbildung 14.	3. Schnitt des Spitzwegerichs in Reinsaat (14.09.2021)	33
Abbildung 15.	3. Schnitt der Luzerne in Reinsaat (14.09.2021)	33
Abbildung 16.	3. Schnitt des Wiesenschwingsels in Reinsaat (14.09.2021)	34
Abbildung 17.	3. Schnitt des Gemenges Luzerne/Spitzwegerich 67/33% (14.09.2021)	34
Abbildung 18.	3. Schnitt des Gemenges Luzerne/Spitzwegerich 50/50% (14.09.2021)	35
Abbildung 19.	3. Schnitt des Gemenges Luzerne/Spitzwegerich 33/67% (14.09.2021)	35
Abbildung 20.	3. Schnitt des Gemenges Luzerne/Wiesenschwingel 67/33% (14.09.2021)	36
Abbildung 21.	Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen – 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm, 60 bis 90 cm, 90 bis 120 cm zum 3.Schnitt-Termin (14.09.2021)	36
Abbildung 22.	Leitunkräuter auf Versuchsanlagen I und II am Standort Canitz.....	37
Abbildung 23.	Bestände mit Winterweizen I (07.05.2020)	38
Abbildung 24.	Handernte des Winterweizens I zur Bestockung (15.05.2020)	38
Abbildung 25.	Winterweizen I zum Kontrolltermin (24.06.2020).....	39
Abbildung 26.	Winterweizenähre I zum Kontrolltermin (24.06.2020).....	39
Abbildung 27.	Kernparzellendrusch des Winterweizens I (23.07.2020)	40
Abbildung 28.	Bestände mit Wintergerste I (26.05.2021)	41
Abbildung 29.	Wintergerstenähre aus Versuchsanlage I (26.05.2021)	41
Abbildung 30.	Gerstenflugbrand (<i>Ustilago nuda</i>) in Wintergerste I (26.05.2021).....	42
Abbildung 31.	Wintergerstenähre zur Erntereife in Versuchsanlage I (15.07.2021)	42
Abbildung 32.	Pflügen vor der Aussaat des Winterweizens, Versuchsanlage II (21.10.2021).....	43
Abbildung 33.	Bodenbearbeitung mit Kreiselegge vor der Aussaat Winterweizen II(21.10.2021)	43
Abbildung 34.	Winterweizen II vier Wochen nach der Aussaat (29.11.2021).....	44
Abbildung 35.	Bestände mit Winterweizen II vier Wochen nach der Aussaat (27.01.2022)	44
Abbildung 36.	Winterweizen II zum Vegetationsbeginn (14.04.2022)	45
Abbildung 37.	Parzelle mit Winterweizen II zum Vegetationsbeginn (14.04.2022)	45
Abbildung 38.	Aussaat von Spitzwegerich und Wiesenschwingel in Untersaat in Winterweizen II zum Vegetationsbeginn (14.04.2022).....	46
Abbildung 39.	Zwischenernte des Winterweizens zur Bestockung auf Versuchsanlage II (13.05.2022).....	46
Abbildung 40.	Manueller Schnitt der Parzellen mit Winterweizen II zur Druschreife(22.07.2022) ...	47
Abbildung 41.	Manuelle Handernte des Winterweizens auf Versuchsanlage II (22.07.2022).....	47
Abbildung 42.	Nahaufnahme des Winterweizens II zur Handernte (22.07.2022).....	47
Abbildung 43.	Übersicht von Versuchsanlage II zur Totreife des Winterweizens (25.07.2022)	48
Abbildung 44.	Kernparzellendrusch von Winterweizen II (25.07.2022)	49
Abbildung 45.	Aufbereitung der Proben von Winterweizen II in Ähren, Stroh und Unkraut	49
Abbildung 46.	Versuchsfläche II am Tag der Aussaat von Wintergerste II (23.09.2022)	50
Abbildung 47.	Wintergerste II - Zwischenernte zur Bestockung (15.11.2023)	50
Abbildung 48.	Übersicht der Versuchsanlage II mit Wintergerste zur Bestockung (15.11.2023).....	51
Abbildung 49.	Bodenprobenahme in Wintergerste II zum Vegetationsbeginn (14.04.2023).....	52
Abbildung 50.	Schwierigkeiten Probenmaterial zu gewinnen (14.04.2023).....	52
Abbildung 51.	Wintergerste II zur Totreife (07.07.2023)	53

Abbildung 52.	Handernte von Wintergerste II (07.07.2023)	53
Abbildung 53:	Durchschnittliche monatliche Lufttemperatur [°C] am Standort Canitz für die Versuchsperiode 2019 bis 2023	58
Abbildung 54.	Monatliche Niederschlagsmenge [mm] am Standort Canitz für die Versuchsperiode 2019 bis 2023	59
Abbildung 55.	Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] der Reinsaat (100%) und der Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) aus drei Schnitten in A. 2019 und B. 2021	64
Abbildung 56.	Vorrat an Nitrat- und Ammonium [kg/ha] in 0 bis 30 cm Bodentiefe zum 1. Schnitt- Termin Versuchsanlage I (27.06.2019).	73
Abbildung 57.	Anteil Nitrat- und Ammoniumstickstoff am N_{min} [%] in 0 bis 30 cm Bodentiefe zum 1. Schnitt-Termin, Versuchsanlage I (27.06.2019).....	74
Abbildung 58.	Vorrat an Nitrat- und Ammonium [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe zum 3. Schnitt-Termin VF I (14.09.2019).....	75
Abbildung 59.	Anteil Nitrat- und Ammoniumstickstoff am N_{min} [%] zum 3. Schnitt-Termin VF I (14.09.2019).	77
Abbildung 60.	Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30 cm Bodentiefe A. zum 1. Schnitt-Termin Versuchsanlage (25.05.2021). C. zum 2. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (29.07.2021). Anteil Nitrat- und Ammoniumstickstoff am N_{min} [%] in 0 bis 30 cm Bodentiefe zum B. 1. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (25.05.2021). D. zum 2. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (29.07.2021).	79
Abbildung 61.	Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe zum 3. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (14.09.2021).	80
Abbildung 62.	Anteil Nitrat- und Ammoniumstickstoff am N_{min} [%] zum 3. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (14.09.2021).	82
Abbildung 63.	Vorrat an Nitrat- und Ammonium [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe des Winterweizens I. A. Zur Aussaat (23.10.2019) B. Vier Wochen nach Aussaat (26.11.2019). C. Acht Wochen nach Aussaat (03.01.2020).	95
Abbildung 64.	Vorrat an Nitrat- und Ammonium [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe des Winterweizens I. A. Zum Vegetationsbeginn (04.03.2020) B. Zur Druschreife (04.08.2020).	96
Abbildung 65.	Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe zu A. Aussaat von Winterweizen (21.10.2021). B. Vier Wochen nach Aussaat (26.11.2021). C. Acht Wochen nach Aussaat (27.01.2022) auf Versuchsanlage II.	98
Abbildung 66.	Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe zum Vegetationsbeginn von Winterweizen II (14.04.2022).	99
Abbildung 67.	Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe von Wintergerste in Versuchsanlage I zu A. Aussaat (14.09.2020). B. Acht Wochen nach Aussaat (27.01.2022).	105
Abbildung 68.	Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe von Wintergerste in Versuchsanlage I zu A. Vegetationsbeginn (29.03.2021). B. Druschernte (16.07.2021).	106
Abbildung 69.	Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe von Wintergerste in Versuchsanlage II zu A. Aussaat (23.09.2022). B. Acht Wochen nach Aussaat (24.11.2022).	107
Abbildung 70.	Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe von Wintergerste in Versuchsanlage I zu A. Vegetationsbeginn (14.04.2022). B. Druschernte (16.08.2023).	108

1 Zusammenfassung der Projektplanung

1.1 Problembeschreibung

Stickstoff und dessen Herausforderungen für den ökologischen Landbau

Stickstoff (N) ist ein wesentlicher Bestandteil lebender Organismen, wobei N bei Pflanzen vor allem ein Bestandteil von Aminosäuren ist, aus denen Proteine gebildet werden (Gruber & Galloway, 2008). Außerdem ist N ein Bestandteil des Chlorophylls in Pflanzen und somit essentiell für die Photosynthese (Evans, 1989). Daher spielt N in der Landwirtschaft eine wichtige Rolle, insbesondere wenn es darum geht, hohe Ernteerträge zu erzielen. Die herausragenden Leistungen im Ackerbau, die mit dem Anbau von Futterleguminosen verbunden sind, werden vor allem durch die hohe symbiotische N₂-Fixierung von Leguminosen von zum Teil über 400 Kilogramm pro Hektar und Jahr (Anthes, 2005; Jung, 2003; Reiter et al., 2002), die ausgesprochen hohe Humusreproduktion (Leithold et al., 2017) sowie hohe Schnittguterträge, von bis zu 180 Dezitonnen Trockenmasse pro Hektar und Jahr (dt TM/ha a), begründet. Luzerne (*Medicago sativa* L.) ist eine ertragsreiche und rohproteinreiche Futterleguminose, die in der Lage ist, große Mengen an N symbiotisch zu fixieren, und sich außerdem durch eine hohe Trockentoleranz auszeichnet (Ghimire et al., 2021; Moghaddam et al., 2015). Deshalb ist Luzerne vor allem auf trockenen Standorten und Böden mit einem pH-Wert > 5,7 nahezu unverzichtbarer Bestandteil im Ackerbau der ökologischen Landwirtschaft, wobei sie in der Regel im Gemenge mit Gräsern angebaut wird. Luzerne in Reinsaat im ersten Anbaujahr fixiert im Durchschnitt 93 kg N/ha, wobei bis zu 50% des Gesamt-N von Gras in Luzerne-Mischungen aus der N₂-Fixierung der Luzerne stammen (Burity et al., 1989). Hierbei werden durch komplementäre Ressourcennutzung der Gemengepartner zumeist höhere Schnittgutertragsleistungen, eine geringere Verunkrautung, vor allem jedoch für die futterbauliche Verwertung energie- und phosphorreichere Grundfuttermittel im Vergleich zu den Reinsaaten der Leguminosen gewonnen (Loges, 1998; Schmidtke, 1997).

Im Hinblick auf den Schutz des Grundwassers wird der Anbau von Futterleguminosen allerdings häufig als sehr problematisch erachtet, da infolge des Eintrages hoher und leicht mineralisierbarer organisch gebundener Stickstoffmengen über Stickstoff-Rhizodeposition¹ sowie Wurzel- und Stoppelmasse der Futterleguminosen nach deren Umbruch sehr rasch hohe Mengen an Nitratstickstoff (NO₃-N) im Boden von zum Teil über 150 Kilogramm pro Hektar akkumuliert werden (vergleiche Heß (1989), Heß (1995)), die Gefahr laufen, ausgewaschen (Stopes et al., 2002) oder zu Lachgas (N₂O) reduziert zu werden (Abbildung 1). Zu hohe NO₃⁻-N Vorräte im Boden, insbesondere über 70 kg N/ha auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, können von den Pflanzenwurzeln im Zeitraum November bis Februar nicht aufgenommen werden. Sie werden dann bei hohen Niederschlägen im Winter aus den Böden ausgewaschen und gelangen in die umliegenden Ökosysteme einschließlich der (Grund-)Gewässer (Ortmeyer et al., 2022) (Abbildung 1). Der in der EU-Grundwasserrichtlinie (Richtlinie 2006/118/EG, 2006) festgelegte Grenzwert für die maximale tolerierbare NO₃⁻-Konzentration in Grundwasserkörpern beträgt in Deutschland 50 mg/l. Grundwasserkörper in der Nähe von landwirtschaftlich genutzten

¹ Rhizodeposition ist die Abgabe von organischen Stoffen durch die Pflanzenwurzeln in den Boden, z.B. Zucker. Aus diesem Grund ist die Umgebung unmittelbar um die Pflanzenwurzel herum gekennzeichnet durch hohe bodenbiologische Aktivität.

Flächen weisen im Vergleich zu Grundwasserkörpern ohne landwirtschaftlichen Einfluss eine um 160 Prozentpunkte höhere NO_3^- -Konzentration und häufig über 50 mg/l auf (BMEL & BMU, 2020). Weitere mögliche Folgen für die Umwelt von NO_3^- -N und NH_3 sind ein Verlust an biologischer Vielfalt sogar eine direkte Schädigung der umgebenden Vegetation aufgrund hoher Ammoniakkonzentrationen (Häußermann et al., 2020; Sorg et al., 2021).

Bisher entwickelte ackerbauliche Strategien zur Reduktion der Nitratauswaschung nach Umbruch von Futterleguminosenbeständen, wie beispielsweise der Anbau von Zwischen- oder Hauptfrüchten mit hoher Stickstoffaufnahme, Verschiebung des Umbruchtermins und Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität, minderten die Nitratausträge nach Umbruch von Futterleguminosen (unter anderem Untersuchungen von Heß (1989), Heß (1995) und Dreymann (2005)), konnten jedoch nicht zu einer nachhaltigen Lösung des Problems führen.

Biologische Nitrifikationshemmung

Die niedrige agronomische N-Nutzungseffizienz, die häufig in der Landwirtschaft eine Herausforderung ist, ist zum größten Teil das Ergebnis von N-Verlusten im Boden durch Auswaschung und Denitrifikation (Abbildung 1). Zuvor wird Ammoniumstickstoff zu Nitratstickstoff nitrifiziert. Die meisten Kulturpflanzen können sowohl NO_3^- -N, als auch NH_4^+ -N assimilieren, weshalb die Nitrifikation nicht zwingend im N-Kreislauf dominieren muss, um eine effiziente N-Nutzung in der Landwirtschaft zu erreichen (Subbarao et al., 2009).

Nitratverluste durch Auswaschung sind in natürlichen und stabilen Ökosystemen äußerst gering, nicht nur wegen einer kontinuierlichen Aufnahme an im Boden mineralisiertem Stickstoff durch die vorhandene Vegetation, sondern vor allem, weil über eine Hemmung der Nitrifikation durch verschiedene Pflanzenarten die Oxidation des gebildeten Ammoniums (NH_4^+) spezifisch unterbunden wird (Subbarao et al., 2006). Sie stellen, im Gegensatz zu synthetisch hergestellten Nitrifikationshemmern, biologische Nitrifikationshemmer dar, die es in Anbausystemen zur Steigerung der Stickstoffnutzungseffizienz zu nutzen gilt (Coskun et al., 2017). So wird einer Reihe Pflanzenarten (z.B. Sorghum und Kolbenhirse) eine zentrale Rolle in der Kontrolle der Nitrifikation im Boden zuerkannt (Skiba et al., 2011; Subbarao et al., 2007), die gegebenenfalls auch in innovativen Anbausystemen zur nachhaltigen Reduktion der Nitratauswaschung im Ackerbau gezielt einzusetzen gilt. Die durch Pflanzen induzierte Nitrifikationshemmung im Boden unterbricht die Oxidation des Ammoniumstickstoffs zu auswaschungsgefährdetem Nitrat (Nardi et al., 2020). Hierdurch wird vermehrt Ammoniumstickstoff im Boden akkumuliert, der in den meisten Böden an Tonmineralen, beziehungsweise Ton-Humus-Komplexen, fixiert und so, im Gegensatz zu Nitratstickstoff, vor Auswaschung bewahrt werden kann (Haider & Schäffer, 2009). Gleichzeitig bleibt jedoch der Ammoniumstickstoff in hohem Maße pflanzenverfügbar. Die Nitrifikationshemmung verschiebt somit das Verhältnis von Ammonium zu Nitratstickstoff im Boden deutlich zugunsten des Ammoniums.

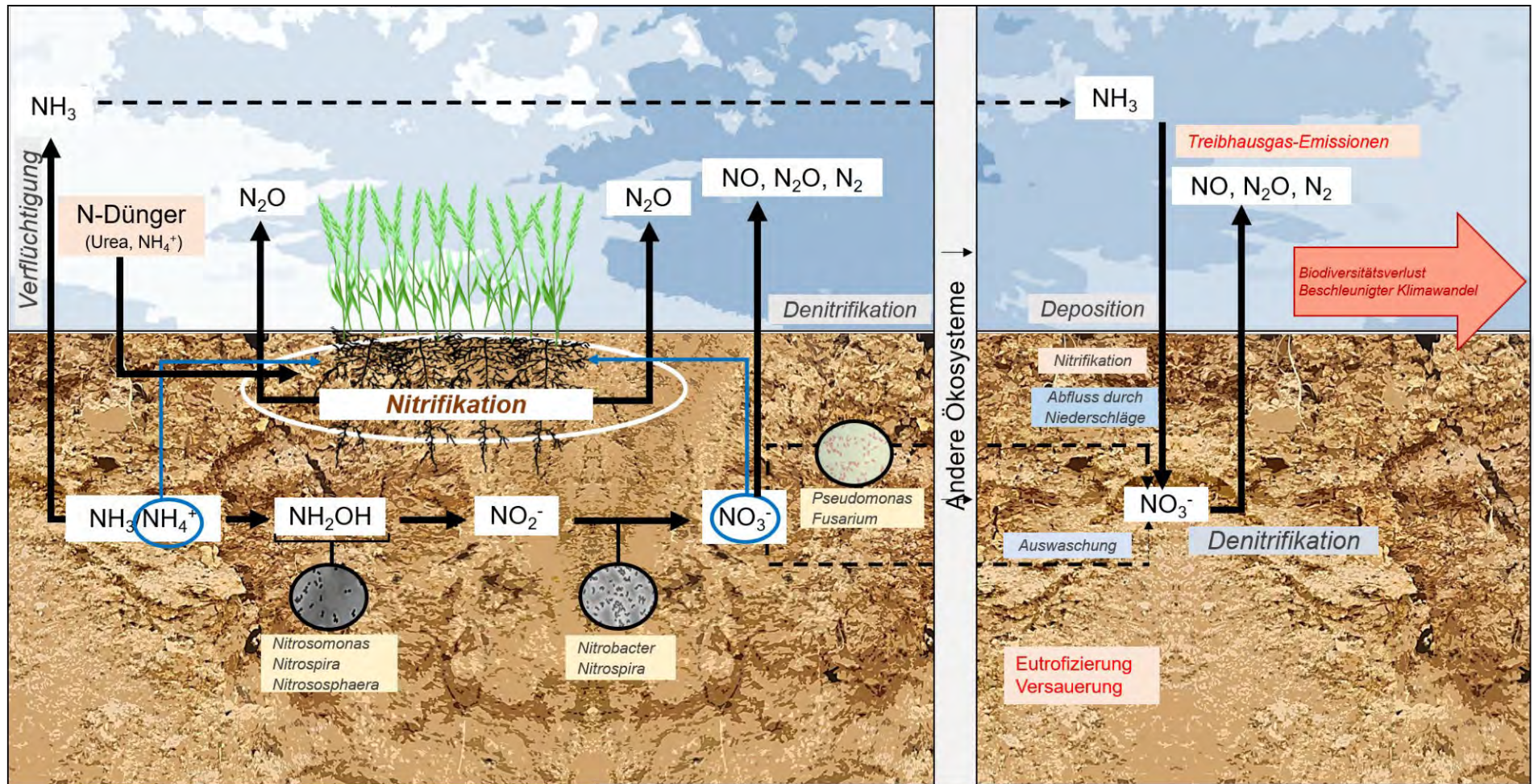


Abbildung 1. Kreislauf von Stickstoffdüngern in landwirtschaftlichen Systemen und ökologische Auswirkungen (vereinfacht und verändert nach Coskun et al. (2017))

Wirkung des Spitzwegerichs auf den Stickstoffkreislauf im Boden

Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) ist eine Landtagpflanze sowie eine mehrschnittig nutzbare zweikeimblättrige Pflanze aus der Familie der Wegerichgewächse (*Plantagoceae*), die ubiquitär in gemäßigten Klimazonen zu finden ist (Cavers et al., 1980; Dietl & Jorquera, 2005). Spitzwegerich verfügt nicht nur über die Fähigkeit Nitratstickstoff aus dem Boden tiefreichend und in hohem Maße zu entnehmen (Rauber et al., 2008; Reiter et al., 2002; Schmidtke, 2001), sondern ist auch in der Lage, über die Abscheidung von nitrifikationshemmenden Substanzen in den Boden die Nitratbildung im Boden deutlich zu hemmen. So konnten Dietz et al. (2013) in Inkubationsversuchen zeigen, dass die Zugabe von aus der Sprossmasse von Spitzwegerich gewonnen Presssäften sowie in den Boden eingearbeitete Blattmasse des Spitzwegerichs über mehr als 8 Wochen lang zu einer signifikant geminderten Nitratfreisetzung im Boden führt. Diese Wirkung wird durch die im Spitzwegerich enthaltenen Iridoidglycoside (vor allem Aucubin) verursacht, wie Dietz et al. (2013) zeigen konnten. Die sekundären Inhaltstoffe Acteoside (Phenylpropanoid) und Catalpol (Iridoidglycosid) tragen ebenfalls zur Nitrifikationshemmung bei (Carlton et al., 2019).

Untersuchungen von Wurzelexsudaten unter Trockenstress belegten außerdem, dass Pflanzen in Trockenzeiten eine höhere nitrifikationshemmende Aktivität entfalten (Ghatak et al., 2021).

Die nitrifikationshemmenden Substanzen werden vom Spitzwegerich über Rhizodeposition, Wurzeln und Sprossbestandteile während des Wachstums in den Boden abgegeben und tragen so zu einem kontinuierlich sehr niedrigen Gehalt an Nitratstickstoff im Boden bei (Ghatak et al., 2021). Schmidtke (2001) sowie Reiter (2001) nutzten Spitzwegerich in Reinsaat als Referenzpflanze zur Ermittlung der symbiotischen N₂-Fixierung von mehrschnittig genutzten Futterleguminosen und beobachteten bereits im ersten Jahr des Anbaus sehr niedrige Nitrat-Vorräte im Boden. Die Wirkungen waren sowohl auf ackerbaulich genutzten lößbürtigen Böden als auf Sandböden zu verzeichnen (Schmidtke, 2001). Untersuchungen zur Wirkung von Spitzwegerich-Untersaaten in Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) haben das hohe Vermögen des Spitzwegerichs zur anhaltenden Senkung des Nitratvorrates im Boden unter Feldbedingungen zusätzlich belegt (Rauber et al., 2008). In Neuseeland wurden nach einer Ausbringung von Wiederkäuerurin kombiniert mit Spitzwegerich-Blattextrakt in Grünlandbeständen 50% weniger Lachgasemissionen im Vergleich zur reinen Wiederkäuerurinbehandlung ermittelt (Gardiner et al., 2018).

Agronomische Eigenschaften und Ertragsleistung des Spitzwegerichs

Spitzwegerich weist gute agronomische Eigenschaften auf – das Saatgut ist durch eine sehr hohe Keimfähigkeit gekennzeichnet (Sagar & Harper, 1960). Spitzwegerich-Samen sind sehr robust und keimen sowohl unter Dunkelheit und als auch unter Licht (Blom, 1978). Die Blüten von Spitzwegerich ziehen zwar verschiedene Insekten wie Honigbienen und Hummeln an, werden jedoch ausschließlich durch Wind bestäubt (Sagar & Harper, 1964).

Eine erfolgreiche Etablierung von Spitzwegerich-Beständen aus Saatgut ist möglich, wie Erfahrungen aus verschiedenen Versuchen gezeigt haben (Heß, 1995; Reiter, 2001; Schmidtke, 2001).

Das schnell wachsende und tief in den Boden reichende Wurzelsystem des Spitzwegerichs ist eine zweite besondere Eigenschaft des Spitzwegerichs (Reiter, 2001), die ihn nicht nur befähigt Nitrat und

andere Nährstoffe aus tiefer gelegenen Bodenschichten effektiv aufzunehmen, sondern ihm offenbar in Trockenperioden eine bessere Aneignung von Wasser ermöglicht als dieses bei den flacher wurzelnden Weidelgräsern der Fall ist. Dieses lässt sich nicht nur auf sandigen Standorten im Sommer an Wegrändern beobachten, in der der Spitzwegerich in Trockenzeiten im Gegensatz zu Gräsern anhaltend hohen Zuwachs und turgeszente Blätter zeigt, sondern auch allgemein an sehr trockenen Standorten oder brachliegenden Böden (Erskine, 1960). In der Vergangenheit wurden Spitzwegerich-Bestände auch zum Erosionsschutz an erosionsgefährdeten Standorten etabliert (Cavers et al., 1980). In zwei an der Professur Ökologischer Landbau der HTW Dresden im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten durchgeführten Untersuchungen² zeigte sich, dass Spitzwegerich im Gemenge mit Rotklee, insbesondere zum zweiten Schnitttermin im Sommer einen deutlich höheren Ertragszuwachs zu realisieren vermochte als Deutsches Weidelgras (Tabelle 1). In australischen Arbeiten zeigte er sehr hohe Ertragsleistungen, die teilweise auch über denen von Deutschem Weidelgras lagen. Dieses wird auf die wurzelbedingt bessere Wasseraneignung des Spitzwegerichs im Vergleich zu Gräsern zurückgeführt und dürfte in Trockenperioden die Klimaresilienz im Futterleguminosenanbau erhöhen.

Tabelle 1. Frischmasse-Ertragsleistung [FM/ha] von Gemengen aus Rotklee und Deutschem Weidelgras sowie aus Rotklee und Spitzwegerich auf einem Mittelgebirgsstandort im Erzgebirge (Hartmannsdorf), Angaben nach Müller (2015) und Lorenz (2017).

Gemenge	1. Schnitt	2. Schnitt	Summe
Rotklee/Deutsches Weidelgras 2014	306,0 dt FM/ha	310,0 dt FM/ha	616,0 dt FM/ha
Rotklee/Spitzwegerich 2014	363,0 dt FM/ha	388,0 dt FM/ha	751,0 dt FM/ha
Rotklee/Deutsches Weidelgras 2016	22,1 dt TM/ha	35,8 dt TM/ha	57,9 dt TM/ha
Rotklee/Spitzwegerich 2016	22,5 dt TM/ha	39,7 dt TM/ha	62,3 dt TM/ha

Futterbaulicher Wert und Umwelteinflüsse von Spitzwegerich in der Wiederkäuerernährung

Schnittgut des Spitzwegerichs ist nicht nur sehr gut im Pansen abbaubar, was nicht nur zu einer gesteigerten Futteraufnahme bei Wiederkäuern führt, sondern auch fördernd für die Milchproduktion (Mangwe et al., 2020). Rinderurin als Dünger nach Fütterung mit Spitzwegerich-Beimengung senkte den Nitratgehalt im Boden (Judson et al., 2019) und die Lachgasemissionen (Simon et al., 2019) auf Weideflächen in Neuseeland. Untersuchungen mit Schafsurin von Peterson et al. (2021) zeigten ähnliche Ergebnisse. Somit birgt der Anbau von Spitzwegerich das Potenzial, einen direkten Beitrag für den Klimaschutz zu leisten (Komainda et al., 2020). Spitzwegerich gilt als besonders gut geeignet für Schafsfütterung, was seit den 60er Jahren bereits bekannt war (Cavers et al., 1980). Außerdem wurde bei Schafen, die durch eine Beimengung von Spitzwegerich gefüttert wurden, eine deutlich geringere Anzahl Parasiten im Kot festgestellt, als es bei einer ausschließlichen Fütterung mit Deutschem Weidelgras der Fall war (Lodge et al., 2011). Wirkungen, die auf antimikrobielle Eigenschaften der

² Alle Voruntersuchungen wurden mit Rotklee (*Trifolium pratense* L.) als Futterleguminose durchgeführt.

Inhaltsstoffe des Spitzwegerichs zurückgeführt werden. Im Rahmen einer Untersuchung zum Einsatz von Gemengen aus Rot- bzw. Weißklee mit Deutschem Weidelgras, Spitzwegerich und Zichorie in der Aufzucht von Lämmern zeigte sich, dass die mit Spitzwegerich-Rotklee-Gemenge gefütterten Lämmer, schneller an Gewicht zunahmten, ein höheres Schlachtgewicht verfügten als Lämmer, welche ausschließlich ein Gemenge aus Deutschem Weidelgras und Rotklee zur Verfügung stand (Somasiri et al., 2015). Analogen Ergebnissen zeigen Untersuchungen aus Neuseeland, die ebenfalls feststellten, dass bei einer Fütterung von einem Spitzwegerich-Rotklee-Gemenge sowohl das Lebendgewicht (Kemp et al., 2013), als auch das Schlachtgewicht höher ausfiel als bei ausschließlicher Fütterung mit einem Deutschen Weidelgras-Rotklee-Gemenge (Kenyon et al., 2017). In Deutschland wies auch Isselstein (1994) auf den hohen Futterwert von Spitzwegerich im Vergleich zu Weidelgräsern hin.

Innovativer biologischer Lösungsansatz gegen Nitratauswaschung nach Luzerneumbruch

Im ökologisch wirtschaftenden Betrieb Wassergut Canitz der Stadtwerke Leipzig, auf dessen Ackerflächen seit vielen Jahren insgesamt vergleichsweise geringe Nitratausträge ins Grundwasser zu verzeichnen sind, ist ebenfalls in der Phase nach Umbruch, der hier zumeist angebaute Luzerne (*Medicago sativa L.*), eine erhöhte Nitrataustragsgefahr im Boden zu verzeichnen. Dieses Problem gilt es durch die Umsetzung neuer Strategien im Ackerbau nachhaltig, das heißt über den Zeitraum des Anbaus von mindestens zwei Folgefrüchten nach dem Umbruch zu reduzieren.

Inwieweit Wirkungen einer Gemengesaat von Spitzwegerich mit der Luzerne in gleichem Maße zu verzeichnen sind, soll im Rahmen des hier beantragten Transferprojektes mit Luzerne geprüft und dargestellt werden. Luzerne weist ein tiefer reichendes Wurzelsystem auf als der Rotklee und ist somit auch besser in der Lage, Wasser und Nitrat aus tiefer gelegenen Bodenschichten zu entnehmen wie Untersuchungen zeigten (Schmidtke, 2001). Ferner soll im hier beantragten Vorhaben nicht nur die Wirkung des Spitzwegerichs auf die Reduktion der Nitratvorräte im Boden unter, sondern vor allem nach Umbruch von Luzernebeständen über zwei Folgefrüchte geprüft werden.

1.2 Zielformulierung

Ziel des Vorhabens war es, durch die Integration von Spitzwegerich als Gemengepartner in Luzernebestände sowie Spitzwegerich in Reinsaat im Zwischenfruchtanbau eine neue ackerbauliche Strategie für den ökologischen Landbau zu testen, mit der die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs gezielt genutzt wird. Die Untersuchungen zu der Integration von Spitzwegerich lassen sich in drei Arbeitspakete (AP 1–2) gruppieren:

- AP 1: Minderung der Nitratverluste im Boden (0 bis 120 cm) durch Auswaschung im ersten und zweiten Winterhalbjahr nach Luzerneumbruch durch eine Erhöhung des Anteils an Ammoniumstickstoff im Boden**

Hypothese 1.1: Die Gemengevarianten aus Spitzwegerich mit der Luzerne sind mit zunehmender Wasserknappheit am Standort (in der Regel zum zweiten und zum dritten Schnitttermin) ertragsstärker als ein Gemenge mit Wiesenschwingel.

Hypothese 1.2: Gemengeanbau von Luzerne mit Spitzwegerich führt zu einem rascheren Absinken und anhaltend niedrigeren Nitratvorrat im Boden als das Gemenge mit Wiesenschwingel und ist eine Funktion des Ertragsanteiles des Spitzwegerichs im Gemenge.

Hypothese 1.3: Der Futterwert der Luzerne-Spitzwegerich-Gemenge entspricht im Wesentlichen dem des Luzerne-Wiesenschwingel-Gemenges.

AP 2: Stickstoffverwertung aus dem Luzerneanbau durch den anschließenden Anbau von zwei Wintergetreidefolgefrüchte (Winterweizen und Wintergerste)

Hypothese 2.1: Durch den Gemengepartner Spitzwegerich in der Luzerne kann anders als mit Wiesenschwingel auch unter Feldbedingungen eine deutliche Hemmung der Nitrifikation im Boden und Senkung der Gefahr des Nitrataustrages nach Umbruch der Bestände erreicht werden.

Hypothese 2.2: Die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs ist auch noch unter der zweiten Folgefrucht Wintergerste nachzuweisen.

Hypothese 2.3: Die durch Spitzwegerich bewirkte Hemmung der Nitrifikation im Boden führt auch zu einer Steigerung der Stickstoffversorgung und der Ertragsleistung des Winterweizens und der Wintergerste, da geringe Stickstoffverluste durch Nitrataustrag zu verzeichnen sind.

AP 3: Untersuchungen zur Wirkung des Zwischenfruchtanbaus von Spitzwegerich nach Winterweizen auf Stickstoffmineralisation im Boden, Nitrataustragsgefahr sowie Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme der zweiten Folgefrucht Wintergerste

Hypothese 3.1: Durch die Zwischenfrucht Spitzwegerich kann anders als mit der Zwischenfrucht Wiesenschwingel auch unter Feldbedingungen eine deutliche Hemmung der Nitrifikation im Boden und Senkung der Gefahr des Nitrataustrages nach Umbruch der Zwischenfruchtbestände erreicht werden.

Hypothese 3.2: Die durch Spitzwegerich bewirkte Hemmung der Nitrifikation im Boden führt auch zu einer Steigerung der Stickstoffversorgung und der Ertragsleistung der Wintergerste, da geringe Stickstoffverluste durch Nitrataustrag als ohne Zwischenfrucht zu verzeichnen sind.

Durch die Untersuchungen unter landwirtschaftlichen Praxisbedingungen kann zudem die neuartige ackerbauliche Strategie der biologisch induzierten Minderung von Nitratstickstoffauswaschung der Luzerneumbrech im Herbst demonstriert werden. Dabei wird auf eine erhöhte Akzeptanz für den Praxistransfer im ökologischen Landbau gezielt.

1.3 Arbeitsplan

1.3.1 Methodenbeschreibung

In Zusammenarbeit mit Wassergut Canitz GmbH (Stadtwerke Leipzig) in Thallwitz, Sachsen wurden zwei mehrjährige Feldversuche (in der Zeit von 2019 bis 2023) durchgeführt (Abbildung 2). In diesem Abschnitt erfolgt die Methodenbeschreibung für die Arbeitspakete (AP) im Projekt.



Abbildung 2. Versuchsstandort

AP 1: Untersuchungen zur Ertragsbildung und Nitratakkumulation im Boden unter Luzernebeständen

In den Jahren 2019 und 2021 wurden im März unterschiedlich zusammengesetzte Gemenge aus Spitzwegerich und Wiesenschwingel mit Luzerne im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaaten etabliert. Dabei wurden jeweils Verdrängungsserien nach Witt et al. (1966) etabliert.

1.3.1.1 Versuchsanlage und Prüfglieder (Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel)

Die Bestandszusammensetzung umfasste Gradienten hinsichtlich der Anteile keimfähiger Samen von 0 bis 100% der jeweiligen Pflanzenart. Somit wurden, in randomisierter einfaktorier Blockanlage mit vierfacher Wiederholung, folgende Prüfglieder getestet³:

1. Luzerne in Reinsaat (100%)
2. Spitzwegerich in Reinsaat (100%)
3. Wiesenschwingel in Reinsaat (100%)
4. Luzerne/Spitzwegerich im Gemenge (Verhältnis 33/67)
5. Luzerne/Spitzwegerich im Gemenge (Verhältnis 50/50)
6. Luzerne/Spitzwegerich im Gemenge (Verhältnis 67/33)
7. Luzerne/Wiesenschwingel im Gemenge (Verhältnis 33/67)
8. Luzerne/Wiesenschwingel im Gemenge (Verhältnis 50/50)
9. Luzerne/Wiesenschwingel im Gemenge (Verhältnis 67/33)

Für die Durchführung der Versuche wurde Wiesenschwingel als Referenzpartner für die Gemenge mit Luzerne gewählt. Der Wiesenschwingel wird in der Praxis nicht üblicherweise als Einzelgras in Luzernebestände etabliert und wird zusammen mit anderen Grasarten gemischt. Allerdings ist der Wiesenschwingel relativ konkurrenzschwach im ersten Anbaujahr, weshalb er für die Luzerne-Gemenge ausgesucht wurde. Für den Versuch wurde Saatgut der Sorten „*La Bella Campagnola*“ (Luzerne), „*Libor*“ (Spitzwegerich) und „*Cosmolit*“ (Wiesenschwingel) in zertifizierter ökologischer Qualität verwendet. Die Saatkichte der Reinsaat-Varianten betrug 400 keimfähige Körner je Quadratmeter und in 13,5 cm Reihenabstand. Die Samen wurden circa 1 cm tief ausgesät, zuvor wurde der Boden gewalzt (für Bodenbearbeitung siehe 1.3.2.). Die einzelnen Prüfglieder wurden in jeweils vier Feldwiederholungen und in zwei Feldversuchen mit Ansaaten in 2019 und 2021 ausgeführt (Versuchsanlagen I und II). Eine Feldwiederholung bestand aus vier Drillspuren mit einer Gesamtlänge von 10 Metern und einer Gesamtbreite von 7,20 Metern (inklusive Schlepperspur). Alle Boniturarbeiten sowie Probenentnahmen fanden innerhalb der zweiten und dritten Drillspur statt, um mögliche Nebeneffekte auszuschließen. Die ersten und vierten Drillspuren dienten als Zwischenparzellen zur Minimierung des Randeffectes aus den benachbarten Varianten (Abbildung 3).

³ Darstellung der Zusammensetzung unter Abbildung 4 zu finden.

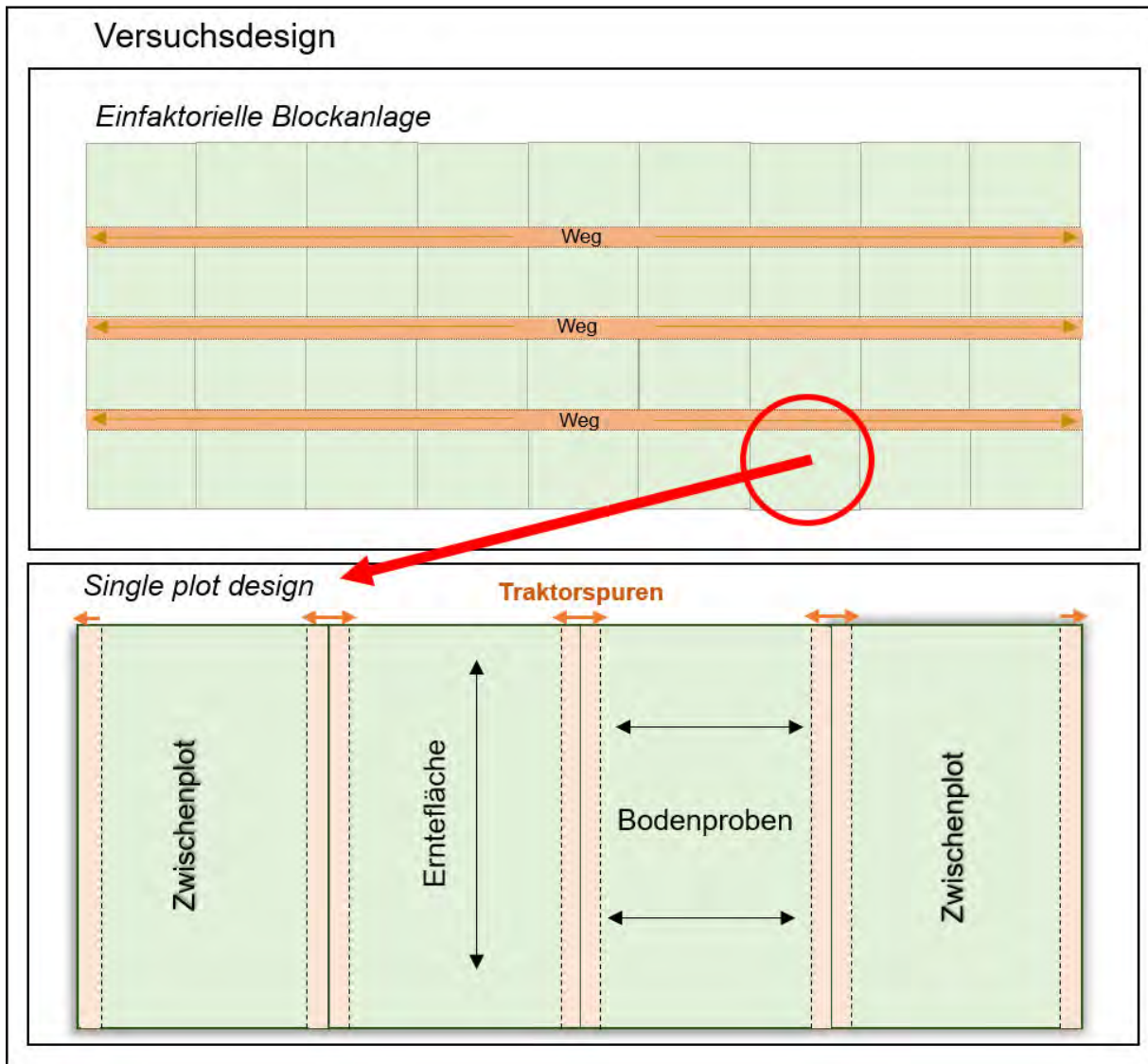


Abbildung 3. Versuchsdesign zur Ausgestaltung einer Parzelle und der gesamten Versuchsanlage

1.3.1.2 Anbauverlauf und Pflegemaßnahmen

Die Versuchsfläche wurde vor Beginn der Aussaat gepflügt (27 cm tief, Wendepflug Lemken) und mit einer Kreiselegge (Maschio S.p.A., 8 cm Bearbeitungstiefe) bearbeitet. Die Saat erfolgte mit 13,5 cm Reihenabstand ausgesät (Sämaschine-Hege 80) und vor der Saat wurde gewalzt (Prismenwalze Mediana, Güttler). Nach dem dritten Schnitt-Termin im September (2019 und 2021) erfolgte der Umbruch der Fläche.

Im Frühjahr 2021 wurden die Bestände zweimal im Abstand von acht Wochen gemulcht (am 26.02.2021 und am 26.04.2021), um der Unkrautentwicklung entgegenzuwirken. Die Pflanzenbestände wurden kurz über den Boden geerntet. Nach jedem Schnitt zur Bestimmung der Ertragsleistung der Bestände, wurde das restliche Pflanzenmaterial durch die Mitarbeitenden des Wassergut Canitz GmbH abgemäht und vom Feld abgefahren (siehe 1.3.2). Die Stoppelmasse wurde in den Boden eingearbeitet. Probleme, die während der Versuchsdurchführung aufgetreten sind unter 1.3.3 beschrieben.

1.3.1.3 Bodenprobenentnahmen und -analysen

Mit Anlage der Feldversuche (01.04.2019) wurde einmalig Bodenmaterial zur Erfassung der Grundnährstoffgehalte in 0 bis 30 cm Bodentiefe aus zufällig gewählten Stellen entlang der gesamten Versuchsanlage entnommen. Die analysierten Parameter sind unter Tabelle 2 zu finden.

Tabelle 2. Parameter zur Bestimmung der Gehalte an Grundnährstoffen (pH, Phosphor, Kalium, Magnesium) und zur Berechnung von N_{min} (Nitrat- und Ammoniumstickstoff)

Parameter (Abkürzung)	Einheit	Methode ^{4 5}
pH-Wert	-	VDLUFA I, A 5.1.1, 7 Teillfg. 2016
Phosphor (P)	mg/100 g	CAL-Methode nach VDLUFA I, A 6.2.1.1, 6. Teillfg 2012
Kalium (K)		
Magnesium (Mg)		LKS BUAA 005:2019-06 Bestimmung mittels Fließinjektionsanalyse nach Walinga et al. (1995)
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	Photometrische Bestimmung nach Nitratreduktion mit Diazokopplung
Ammonium (NH ₄ ⁺)		Photometrische Bestimmung mit Indophenolfarbstoff nach Huy et al. (2016)

Bodenproben zur N_{min} -Analyse wurden zum Aussaatzeitpunkt in vier Tiefenstufen (in 30 cm Abständen: 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm, vier Stiche entlang der Parzellenbreite) entnommen. Proben zur N_{min} -Bestimmung⁶ wurden außerdem zum ersten Schnitt- und zweiten Schnitt- (0 bis 30 cm) sowie zum dritten Schnitt-Termin (in vier Tiefenstufen) entnommen. Die Bodenbeprobung erfolgte entweder von Hand mithilfe von Pürckhauer-Bohrstöcken mit einer Länge von 120 cm und einem Durchmesser von 3 cm (Abbildung 9, Abbildung 21) oder mithilfe eines hydraulisch angetriebenen Bodenprobenahmegerätes (Sonderanfertigung Firma Nietfeld/Peters für Schlepperanbau). Das Bodenmaterial der jeweiligen Tiefenstufe aus den vier Probenstichen wurde vermischt, dabei wurden Steine und Pflanzenmaterial aussortiert. Vor Ort wurden die Proben in Kühlboxen bei circa 5°C gelagert und transportiert. Danach erfolgte bis zum Abgabetermin für die Nitrat- und Ammoniumextraktion eine Lagerung bei -20°C. Die weitere Vorgehensweise der Probenanalyse ist unter Tabelle 2 aufgeführt. Für die Ermittlung des N_{min} -Vorrats im Boden wurde die Trockenmasse des Bodenmaterials 48 Stunden lang bei 105 Grad Celsius ermittelt. Die Berechnung erfolgte nach der folgenden Formel⁷:

$$N_{min} = \frac{NH_4^+ [mg/l] \times d [dm] \times dB [g/cm^3]}{TS \text{ Boden} \times f [ml/g]} + \frac{NO_3^- [mg/l] \times d [dm] \times dB [g/cm^3]}{TS \text{ Boden} \times f [ml/g]}$$

d – Tiefenstufe [dm]

dB – Bodendichte in natürlicher Lagerung, einschließlich Porenraum [g/cm³]

f – CaCl₂-Konzentration pro Gramm Bodenmaterial [ml/g]

⁴ Suspendiermittel (pH, P, K, Mg) 0,0125 M CaCl₂.

⁵ Suspendiermittel (NO₃⁻, NH₄⁺) 0,0100 M CaCl₂.

⁶ Chronologischer Ablauf unter Tabelle 5.

⁷ DIN 19746:2005-06, Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von mineralischem Stickstoff (Nitrat und Ammonium) in Bodenprofilen (N_{min} -Laborverfahren).

1.3.1.4 Ertragsleistung und Pflanzenanalysen

Jede Schnittguternte bestand aus dem manuellen Schneiden von 1,5 Quadratmetern Frischmasse (FM) (siehe Abbildung 5 B) und C)), die in Säcken eingepackt und transportiert wurde, sowie aus der Ermittlung der Schnittgutertragsleistung der Bestände vor Ort. Die Schnittproben wurden 24 Stunden lang bei 5°C gekühlt gelagert bis die Aufarbeitung stattfand.

Jede Probe wurde nach Kulturpflanzenarten und Unkraut sortiert (siehe Abbildung 7 B) und D)). Die FM der gesamten Probe und der einzelnen Bestandteile wurde ermittelt (Denver Instrument SI-6002, Genauigkeit $\pm 0,01$ g).

Das frische Pflanzenmaterial von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel wurde gehäckselt (Baumann Saatzuchtbedarf, Partikelgröße 1 bis 4 cm) und in Crispac-Beutel zur Trockenmasse (TM)-Bestimmung (48 Stunden bei 105°C, Heraeus Instruments, UT 6760) und zur %C. und %N-Gehaltsanalyse (48 Stunden bei 60°C) verteilt.

Die Proben nach der Trocknung bei 60°C wurden mithilfe einer Elementaranalyse⁸ (trockene Verbrennung, EuroEA3000 Analysator-Hekatech) untersucht. Die getrockneten Proben wurden für die Analyse auf eine Partikelgröße von 0,2 Millimeter vermahlen (Mühle Retsch ZM 200). Die Pflanzenproben (2,80 bis 3,20 Milligramm, bei einem Messbereich von 0,1 bis 5 %N und 35 bis 50 %C) wurden in Zinnkartuschen verbrannt.

Die Schnittgutertragsleistung der Bestände erfolgte im Jahr 2019 mithilfe eines manuell betriebenen Grünfütterparzellenernters (Haldrup) entlang sechs laufender Meter. Aufgrund technischer Störungen konnte das Gerät im Jahr 2021 nicht genutzt werden, weshalb die Ertragsleistung manuell ermittelt wurde. Das Pflanzenmaterial wurde manuell mit Heckenscheren geschnitten. In beiden Versuchsjahren wurde die beerntete FM sofort nach dem Abschneiden mit Rechen gesammelt und gewogen (Bosche d=20 g, MAX= 60 kg). Für weitere Berechnungen wurden die Trockensubstanzwerte aus den kleineren Schnitternten verwendet.

Zur Bestimmung des futterbaulichen Wertes (Tabelle 3) wurde Pflanzenmaterial aus zufällig ausgesuchten Stellen entlang der mittleren Drillspuren per Hand geschnitten. Alle Unkrautpflanzen wurden aus dem Probenmaterial entfernt. Die Proben wurden 48 Stunden bei 30°C vorgetrocknet und gehäckselt.

Futterwertanalysen erfolgten zum ersten und zum zweiten Schnitt-Termin im Jahr 2019 und zum zweiten und dritten Schnitt-Termin im Jahr 2021. Probenanalysen zum dritten Schnitttermin 2019 und zum ersten Schnitttermin 2021 konnten aufgrund der starken Verunkrautung mit Klatschmohn nicht erfolgen. In den Beständen befand sich nicht genügend Pflanzenmaterial der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingels für eine vollständige Analyse.

⁸ DIN ISO 10694:1996-08.

Tabelle 3. Parameter zur Bestimmung des futterbaulichen Wertes von Reinsaaten der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingels und deren Gemenge

Parameter (Abkürzung)	Einheit	Methode
Trockensubstanz (TS)	g/kg	VDLUFA II (1976)3.1
Rohasche (RA)	g/kg TS	VDLUFA III (Erg. 2004) 31.2 – 31.3
Rohprotein (RPr)		
Rohfaser (RFa)		
Rohfett (RFe)		
Zucker		
Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung (ADFom)		
Gasbildung ⁹ (HFT)	ml/200 mg	
Fruktane	g/kg TS	
Proteinlöslichkeit (PrL)	%/ RPr	
Umsetzbare Energie (ME)	MJ/kg TS	Energieschätzung nach GfE (2008)
Nettoenergie Laktation (NEL)		
Nutzbares Rohprotein (nRP) ¹⁰	g/kg TS	
Ruminale Stickstoff Bilanz (rNB)		

AP 2: Untersuchungen zum Vorrat an mineralischem Stickstoff im Boden nach Luzerneumbruch unter Winterweizen und Wintergerste sowie Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme der Folgefrüchte

In den Jahren 2019 und 2021 wurde im Herbst Winterweizen als 2. Folgefrucht nach unterschiedlich zusammengesetzten Gemengen, die aus Spitzwegerich und Wiesenschwingel mit Luzerne im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaaten bestanden (siehe 1.3.1.1), etabliert.

1.3.1.5 Versuchsanlage und Prüfglieder (Winterweizen)

Nach Umbruch der Fläche im September erfolgte die Aussaat und Etablierung der 1. Getreidefolgefrucht in zweijähriger Wiederholung auf den Versuchsfeldern I und II. Die Struktur der Blockanlage blieb wie unter 1.3.1.1 beschrieben. Die Reihenfolge der gesamten Fruchtfolge sah wie folgend aus:

⁹ Nach Hohenheimer Futterwerttest mittels in-vitro Methode.

¹⁰ Berechnung bei Unterstellung von 15 Prozent UDP (unabgebauter Rohprotein).

1. Luzerne in Reinsaat → **Winterweizen**
2. Spitzwegerich in Reinsaat → **Winterweizen**
3. Wiesenschwingel in Reinsaat → **Winterweizen**
4. Luzerne/ Spitzwegerich im Gemenge (Verhältnis 33/67) → **Winterweizen**
5. Luzerne/ Spitzwegerich im Gemenge (Verhältnis 50/50) → **Winterweizen**
6. Luzerne/ Spitzwegerich im Gemenge (Verhältnis 67/33) → **Winterweizen**

7. Luzerne/ Wiesenschwingel im Gemenge (Verhältnis 33/67) → **Winterweizen**
8. Luzerne/ Wiesenschwingel im Gemenge (Verhältnis 50/50) → **Winterweizen**
9. Luzerne/ Wiesenschwingel im Gemenge (Verhältnis 67/33) → **Winterweizen**

Die Vorbereitung der Versuchsfläche für den Anbau von Wintergetreide bestand aus Pflügen (27 cm, Wendepflug Lemken) mit anschließendem Einsatz einer Kreiselegge (Maschio S.p.A., 8 cm [23.10.2019 und 20.10.2021]). Die Getreidekörner wurden in 3 cm Tiefe abgelegt. Der Reihenabstand betrug 13,5 cm. Die Saatzeilen wurden mittels nachlaufendem Striegel geschlossen. Zur Druschreife (21.-23.07.2020 und 22.-25.07.2022) wurde neben der Probeentnahme für Analysen der TM-Ertrag entlang der gesamten Länge der Parzellen ermittelt. Der Drusch erfolgte mithilfe eines Parzellen-Mähdreschers (Wintersteiger Typ Classic).

Für die Versuchsserien wurde Saatgut der Sorten „Tobias“ (Winterweizen) in zertifizierter ökologischer Qualität verwendet. Die Saatedichte der Reinsaat-Varianten betrug 300 keimfähige Körner je Quadratmeter und der Reihenabstand – 13,5 cm. Die einzelnen Prüfglieder wurden in jeweils vier Feldwiederholungen und in zwei Feldversuchen und zwei Versuchsjahre ausgeführt (Versuchsanlage I und II, siehe Tabelle 4). Eine Feldwiederholung bestand aus vier Drillspuren mit einer Gesamtlänge von 10 m und einer Gesamtbreite von 7,20 m (inklusive Schlepperspur, siehe Abbildung 3 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Alle Boniturarbeiten sowie Probenentnahmen fanden innerhalb der zweiten und dritten Drillspur statt, um mögliche Nebeneffekte auszuschließen. Die ersten und vierten Drillspuren wurden als Zwischenparzellen genutzt, um Randdüngeneffekte aus den benachbarten Varianten zu minimieren. Vor Einbruch der Winterperiode wurde die Versuchsfläche gestriegelt, um den Unkrautdruck zu minimieren.

In den Jahren 2021 und 2022 wurde im September Wintergerste als 2. Getreidefolgefrucht nach unterschiedlich zusammengesetzten Gemengen, die aus Spitzwegerich und Wiesenschwingel mit Luzerne im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaaten bestanden, und nach Winterweizen (siehe 1.3.1.1), etabliert.

1.3.1.6 Bodenprobenentnahmen, Pflanzen- und Nährstoffanalysen (Winterweizen)

Unmittelbar vor der Aussaat des Winterweizens (17.10.2019 und 22.09.2021) wurden Bodenproben in vier Tiefenstufen entnommen. Bodenproben zur N_{min}-Analyse in vier Tiefenstufen wurden außerdem vier (26.-27.11.2019 und 29.11.2021) und acht Wochen (03.01.2020 und 27.01.2022) nach der Aussaat sowie zum Vegetationsbeginn (04.03.2020 und 14.04.2022) und zur Druschreife des Weizens (04.08.2020, keine Probenahme 2022) entnommen. Oberirdisches Pflanzenmaterial wurde zu zwei Terminen abgeschnitten. Zur Bestockung des Weizens (15.05.2020 und 13.05.2022) wurden Pflanzen

auf 1,5 m² Fläche geerntet. Dabei bestand die TM-Bestimmung des Weizens aus Blättern und Halmen. Zur Druschreife wurden ebenfalls 1,5 m² der einzelnen Parzellen per Hand beerntet, wobei die Weizenpflanzen in Stroh und Korn getrennt, und für Pflanzenanalysen verwendet wurden. Die Spelzen der Körner nach dem Drusch in einem Versuchsdröschler (Firma Baumann) wurden zu der Strohmasse addiert. Zu beiden Terminen wurde das Unkraut aus den Proben separiert und zur TM-Bestimmung genutzt. Nach der manuellen Ernte der Parzellen (21.07.2020 und 22.07.2022) erfolgte ein Parzellendrusch mit einem Parzellenmähdrescher (Wintersteiger Typ Classic [23.07.2020 und 25.07.2022]), durch den der Kornertrag der einzelnen Varianten bestimmt wurde. Die Vorgehensweise der Probenentnahmen und -analysen ist unter 1.3.1.3 und 1.3.1.4 detailliert dargestellt.

1.3.1.7 Versuchsanlage und Prüfglieder (Wintergerste)

Nach dem Anbau von Winterweizen und dessen Umbruch im Sommer, lag die Versuchsfläche brach bis zum Aussaattermin der 2. Getreidefolgefrucht im frühen Herbst. Die Struktur der Fruchtfolge aus 1.3.1.1 und 1.3.1.5 wurde wie folgend weiterentwickelt:

1. Luzerne in Reinsaat → Winterweizen → **Wintergerste**
2. Spitzwegerich in Reinsaat → Winterweizen → **Wintergerste**
3. Wiesenschwingel in Reinsaat → Winterweizen → **Wintergerste**

4. Luzerne/ Spitzwegerich im Gemenge (Verhältnis 33/67) → Winterweizen → **Wintergerste**
5. Luzerne/ Spitzwegerich im Gemenge (Verhältnis 50/50) → Winterweizen → **Wintergerste**
6. Luzerne/ Spitzwegerich im Gemenge (Verhältnis 67/33) → Winterweizen → **Wintergerste**

7. Luzerne/ Wiesenschwingel im Gemenge (Verhältnis 33/67) → Winterweizen → **Wintergerste**
8. Luzerne/ Wiesenschwingel im Gemenge (Verhältnis 50/50) → Winterweizen → **Wintergerste**
9. Luzerne/ Wiesenschwingel im Gemenge (Verhältnis 67/33) → Winterweizen → **Wintergerste**

1.3.1.8 Anbauverlauf und Pflegemaßnahmen

Alle Versuche wurden vollständig randomisiert angelegt, um eine statistische Absicherung der Ergebnisse gewährleisten zu können. Um Wechselwirkungen mit den nächstgelegenen Parzellen auszuschließen, wurden Zwischenparzellen vorgesehen (siehe 1.3.1).

Die Vorbereitung der Versuchsfläche für den Anbau von Wintergerste bestand aus Pflügen (27 cm, Wendepflug Lemken) mit anschließendem Einsatz einer Kreiselegge (Maschio S.p.A., 8 cm [14.09.2019 und 23.09.2022]). Die Getreidekörner wurden in 3 cm Tiefe abgelegt. Der Reihenabstand betrug 13,5 cm. Die Saatreihen wurden durch einen nachlaufenden Striegel geschlossen. Zur Druschreife (15.-17.07.2021 und 07.-12.07.2023) wurde neben der Probeentnahme für Analysen der TM-Ertrag entlang der gesamten Länge der Parzellen ermittelt. Der Drusch erfolgte mithilfe eines Parzellen-Mähdreschers (Wintersteiger Typ Classic).

Für die Versuchsserien mit Wintergerste wurde Saatgut der Sorte „Titus“ in zertifizierter ökologischer Qualität verwendet. Vor Einbruch der Winterperiode wurde die Versuchsfläche gestriegelt, um den Unkrautdruck zu minimieren. Im Laufe der Pflanzenentwicklung fanden visuelle Kontrollen der Bestände statt, um möglichen Schädlings- und Krankheitsbefall beobachten zu können.

1.3.1.9 Bodenprobenentnahmen, Pflanzen- und Nährstoffanalysen (Wintergerste)

Zur Aussaat der Wintergerste (15.09.2020 und 09.09.2022) wurden Bodenproben in vier Tiefenstufen entnommen. Bodenproben zur N_{\min} -Analyse in vier Tiefenstufen wurden außerdem acht Wochen (14.11.2020 und 24.11.2022) nach der Aussaat sowie zum Vegetationsbeginn (29.03.2021 und 14.04.2023) und zur Druschreife der Gerste (29.07.2021 und 16.08.2023) entnommen. Oberirdisches Pflanzenmaterial wurde zu zwei Terminen in Versuchsanlage II abgeschnitten. Zur Bestockung der Gerste (15.11.2022) wurden Pflanzen auf 1,5 m² Fläche geerntet. Dabei bestand die TM-Bestimmung der Wintergerste aus Blättern und Halmen. Zur Druschreife wurden ebenfalls 1,5 m² der einzelnen Parzellen per Hand beerntet, wobei die Gerstenpflanzen in Stroh und Korn getrennt, und für Pflanzenanalysen verwendet wurden. Die Spelzen der Körner nach dem Drusch in einem Versuchsdröschler (Firma Baumann) wurden zu der Strohmasse addiert. Zu beiden Terminen wurde das Unkraut aus den Proben separiert und zur TM-Bestimmung genutzt. Nach der manuellen Ernte der Parzellen (15.07.2021 und 07.07.2023) erfolgte ein Parzellendrusch (16.07.2021 und 12.07.2023) mit einem Parzellenmähdrescher (Wintersteiger Typ Classic), durch den der Kornertrag der einzelnen Varianten bestimmt wurde. Die Vorgehensweise der Probenentnahmen und -analysen ist unter 1.3.1.3 und 1.3.1.4 detailliert dargestellt.

AP 3: Untersuchungen zur Wirkung des Zwischenfruchtanbaus von Spitzwegerich nach Winterweizen auf den Vorrat an mineralischem Stickstoff im Boden, Nitrataustragsgefahr sowie Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme der zweiten Folgefrucht (Wintergerste)

Um zusätzlich die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs im Zwischenfruchtanbau erproben zu können, sollten folgende Prüfglieder zusätzlich getestet werden:

10. Luzerne in Reinsaat für Winterweizenanbau mit Spitzwegerich–Untersaat
11. Luzerne in Reinsaat für Winterweizenanbau mit Wiesenschwingel–Untersaat

Die Untersaaten konnte jedoch nicht erfolgreich etabliert werden. Mehr Informationen dazu sind die unteren Absätze unter 1.3.2 und 1.3.3.

1.3.2 Arbeits- und Lösungsweg

Im AP 1 wurden acht zusätzliche Parzellen mit Luzerne in Reinsaat angelegt, nach denen Winterweizen als erste Folgefrucht stand. In diese Winterweizenparzellen wurde im Frühjahr 2020 bzw. 2022 Spitzwegerich (4 Parzellen) bzw. Wiesenschwingel (4 Parzellen) in Untersaat eingebracht werden. Diese Zwischenfrüchte sollten nach der Ernte des Weizens bis zur Aussaat der Wintergerste stehen bleiben, deren Sprossertrag an TM und C/N-Verhältnis in der Biomasse (einschließlich Unkräuter) Mitte

September 2020 bzw. 2021 erfasst und deren Sprossmasse vor Aussaat der Wintergerste eingearbeitet werden. Analog zur Vorgehensweise in AP 2 sollte der Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden sowie die N-Aufnahme und Ertragsbildung der Gerste in diesen zusätzlichen 8 Parzellen erhoben werden.

1.3.3 Probleme und Zeitverschiebung in AP 1 und AP 2

Vermeehrt auftretende Vorsommertrockenperioden und der enorme Unkrautkonkurrenzdruck erschwerten seit der Ansaat im Jahr 2019 die Etablierung ertragsstarker Pflanzenbestände von Luzerne/Spitzwegerich und Wiesenschwingel im Versuchsjahr 2020. Aufgrund der geringen Bestandesentwicklung im Herbst 2020 wurde die Schnittnutzung der Versuchsfläche II (Luzerne/Spitzwegerich/Wiesenschwingel) auf das Versuchsjahr 2021 verschoben, da erst im späten Frühjahr 2021 erkennbar wurde, dass es eine gute Etablierung der Futterleguminosen- und Spitzwegerichbestände gelungen war. Nach dem 1. Schnitttermin (Mai 2021) entwickelten sich sehr gute Bestände, die eine Differenzierung hinsichtlich der Nitratdynamik im Boden unter den Beständen und nach Umbruch erwarten ließen (Nitrifikationshemmung durch Spitzwegerich). Deshalb wurde, zur Erreichung der Versuchsziele der Versuchszeitraum um ein Jahr verlängert (Tabelle 4).

Tabelle 4. Schematische Darstellung der Fruchtfolgen auf beiden Versuchsanlagen (VF I, VF II; oben: ursprüngliche Zeitplanung, unten: Zeitplanung nach Verlängerungsantrag)

Schematische Darstellung der Fruchtfolgen auf beiden Versuchsflächen **vor der** Zeitverschiebung

	Hauptfrucht			
	2019	2020	2021	2022
VF I	LSW*	Wi-Weizen I	Wi-Gerste I	
VF II		LSW*	Wi-Weizen II	Wi-Gerste II

Schematische Darstellung der Fruchtfolgen auf beiden Versuchsflächen **nach der** Zeitverschiebung

	Hauptfrucht				
	2019	2020	2021	2022	2023
VF I	LSW*	Wi-Weizen I	Wi-Gerste I		
VF II		LSW ¹¹	LSW*	Wi-Weizen II	Wi-Gerste II

*LSW – Luzerne-Spitzwegerich-Wiesenschwingel

Aufgrund der Corona-Pandemielage im Jahr 2020 konnte die Untersaat von Spitzwegerich und Wiesenschwingel in Winterweizen nach Reinsaat Luzerne nicht durchgeführt werden. Entsprechend vorgesehene Arbeiten im Feld wurden von den vorgesetzten Stellen an der HTW Dresden nicht genehmigt. Im Jahr 2022 wurde eine Aussaat von Spitzwegerich und Wiesenschwingel in den insgesamt acht Parzellen nach Luzerne Reinsaat vorgenommen (Abbildung 38). Die Untersaat konnte jedoch nicht erfolgreich etabliert werden, weshalb keine Wirkungen des Spitzwegerichs gegenüber Wiesenschwingel als Zwischenfrucht untersucht werden konnten. Die Varianten werden aus diesem Grund im Ergebnisteil des Berichtes nicht abgebildet.

¹¹ Aussaat der LSW- Bestände nicht gelungen.

1.3.3.1 Tabellarischer Zeit- und Arbeitsplan (chronologisch)

Tabelle 5. Tabellarischer Zeit und Arbeitsplan (chronologisch) im gesamten Projekt für die Periode 03/2019 bis 12/2019

Zeitraum		Planungs- und Feldarbeiten, Auswertung	Boniturarbeiten und Probenahmen
2019	März bis Mai	<ul style="list-style-type: none"> Vorbereitung und Auswahl der Versuchsfläche am Standort Canitz (VF I und II) Aussaat Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (VF I) 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in 30 Zentimetern Tiefe (VF I) Ertragsleistungsbestimmung Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (VF I)
	Juni bis September	<ul style="list-style-type: none"> Nachsaat¹² Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (VF I) Schnitt- und Mäharbeiten Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (VF I) Auswertung Versuchsergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in 30 Zentimetern Tiefe (VF I) Ertragsleistungsbestimmung Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (VF I) TM- und N-Gehalt-Bestimmung Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (VF I)
	Oktober bis Dezember	<ul style="list-style-type: none"> Aussaat und Etablierung von Winterweizen I (VF I) Auswertung Versuchsergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF I)
Meilenstein I (Dezember 2019) erreicht: Feldversuchsserie I Luzernegemenge durchgeführt			

¹² Aufgrund der anhaltenden Dürreperiode im Sommer 2019 mussten die Bestände nachgesät werden.

Tabelle 6. Tabellarischer Zeit und Arbeitsplan (chronologisch) im gesamten Projekt für die Periode 01/2020 bis 12/2021

Zeitraum		Planungs- und Feldarbeiten, Auswertung	Boniturarbeiten und Probenahmen
2020	Januar bis Mai	<ul style="list-style-type: none"> Aussaat von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel (VF II) 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF I) TM- und N-Gehalt-Bestimmung von Winterweizen I (VF I)
	Juni bis September	<ul style="list-style-type: none"> Druscharbeiten von Winterweizen I (VF I) Aussaat und Etablierung von Wintergerste (VF I) 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF I) TM- und N-Gehalt-Bestimmung von Winterweizen I (VF I)
	Oktober bis Dezember	<ul style="list-style-type: none"> Auswertung Versuchsergebnisse Abfassung Zwischenbericht 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF I)
2021	Januar bis April	<ul style="list-style-type: none"> Kontrolle der Versuchsflächen Pflegemaßnahmen der Bestände auf VF II (Mulchen) 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF I)
	Mai bis September	<ul style="list-style-type: none"> Schnitt- und Mäharbeiten Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (VF I) Druscharbeiten von Wintergerste I (VF I) 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF I und VF II) N_{min}-Bodenprobenentnahme in 30 Zentimetern Tiefe (VF II) TM- und N-Gehalt-Bestimmung von Wintergerste I (VF I), Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (VF II) Ertragsleistungsbestimmung Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (VF I)
	Oktober bis Dezember	<ul style="list-style-type: none"> Aussaat und Etablierung von Winterweizen I (VF I) 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF II)
<p>Meilenstein II (Dezember 2021) erreicht: Winterweizen I und Zwischenfrüchte durchgeführt einschließlich N-Untersuchungen Boden/Pflanze</p> <p>Meilenstein III (Dezember 2021) erreicht: Feldversuchsserie II Luzernegemenge (2021) durchgeführt, Wintergerste I etabliert</p>			



Tabelle 7. Tabellarischer Zeit und Arbeitsplan (chronologisch) im gesamten Projekt für die Periode 01/2022 bis 10/2023

Zeitraum		Planungs- und Feldarbeiten, Auswertung	Boniturarbeiten und Probenahmen
2022	Januar bis April	<ul style="list-style-type: none"> Kontrolle der Versuchsflächen 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF I)
	Mai bis September	<ul style="list-style-type: none"> Kontrolle der Versuchsflächen Wissenstransfer 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF I) N_{min}-Bodenprobenentnahme in 30 Zentimetern Tiefe (VF II) TM- und N-Gehalt-Bestimmung von Winterweizen II (VF II)
	Oktober bis Dezember	<ul style="list-style-type: none"> Aussaat und Etablierung von Wintergerste I (VF II) Auswertung Versuchsergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF II) TM- und N-Gehalt-Bestimmung von Wintergerste II (VF II)
Meilenstein IV (Dezember 2022) erreicht: Winterweizen II durchgeführt einschließlich N-Untersuchungen Boden/Pflanze, Wintergerste II etabliert			
2023	Januar bis April	<ul style="list-style-type: none"> Kontrolle der Versuchsflächen Wissenstransfer 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF II)
	Mai bis Oktober	<ul style="list-style-type: none"> Druscharbeiten von Wintergerste (VF II) Wissenstransfer und Abschlussbericht abgeschlossen 	<ul style="list-style-type: none"> N_{min}-Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen (VF II) TM- und N-Gehalt-Bestimmung von Wintergerste II (VF II)
Meilenstein V (Juni 2023): Fünf Wissenstransfermaßnahmen abgeschlossen			
Meilenstein VI (Oktober 2023): Statistische Analysen abgeschlossen, Abschlussbericht erstellt			

1.4 Arbeitsbeiträge der einzelnen Mitglieder der operationellen Gruppe (OG)

Eine Übersicht der Arbeitsbeiträge der Mitglieder der Projekt OG gibt Tabelle 8.

Tabelle 8. Arbeitsbeiträge der einzelnen Mitglieder der operationellen Gruppe (OG)

Mitglied der operationellen Gruppe	Arbeitsbeitrag
<p>Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW Dresden)</p> 	<p>Leitung des Gesamtprojektes sowie Durchführung der Feldversuche, einschließlich der wissenschaftlichen Auswertung der gewonnenen Ergebnisse. Sie beauftragt Dritte mit der Parzellenanlage, der Aussaat und des Parzellendrusches der Kulturen. Sie beauftragt außerdem Dritte mit der Analyse von Boden- und Pflanzenmaterial, verfasst die jährlichen Zwischenberichte und den Abschlussbericht zum Projekt. Die Hochschule für Technik und Wirtschaft ist der zentrale Ansprechpartner nach innen in die operationellen Gruppe und nach außen zu Bewilligungsbehörden, Landwirt:innen, EIP-Netzwerk und anderen Interessent:innen. Sie präsentiert selbst die Projektergebnisse und unterstützt die Partner:innen in der Verbreitung der Resultate.</p>
<p>Wassergut Canitz GmbH</p> 	<p>Das Wassergut unterstützt das Projekt mit langjähriger Erfahrung in der Testung, Einführung und Realisierung von Verfahren zur trinkwasserschonenden Bewirtschaftung. Der Landwirtschaftsbetrieb stellte Ackerflächen für die Durchführung der Feldversuche zur Verfügung und wirkte bei der Multiplikation der Versuchsergebnisse an Berufskolleg:innen, Berater:innen und Multiplikator:innen mit.</p>

1.5 Erwartete Ergebnisse

Mit dem beantragten Vorhaben soll geprüft werden, ob mit Spitzwegerich als Gemengepartner in Luzerne sowie als Zwischenfrucht nach Weizen die Gefahr der Nitratauswaschung nach Umbruch von Luzernebeständen signifikant gesenkt werden kann. Gleichzeitig soll die Stickstoffverwertung durch zwei Folgefrüchte erfasst werden. Hierzu werden im Vorhaben entsprechende Daten zum Verlauf des N_{min} -Vorrates im Boden und zur Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme von Getreide erfasst. Um den Einfluss der Jahreswitterung erfassen zu können, waren entsprechende Untersuchungen in Feldversuchsserien zwei aufeinander folgende Jahre vorgesehen. Auf der Grundlage der im Vorhaben erhobenen Daten können tragfähige Schlussfolgerungen für den Ackerbau mit Luzernebeständen zur Reduktion der Nitratauswaschung gezogen werden, die im Rahmen der vorgesehenen Maßnahmen des Wissenstransfers bereits im Laufe des Vorhabens an die Praxis der Land- und Wasserwirtschaft vermittelt werden konnten.

2 Darstellung des Projektverlaufs

Ab März 2019

Ab März startete die Vorbereitung der Feldversuche am Standort Canitz. Dieser Prozess beinhaltete genauere Planung der auszuführenden Prüfglieder, die Flächenauswahl mit Treffen der operationellen Gruppe sowie der Saatgutauswahl. Die Versuchsserie I zum Luzerne-, Spitzwegerich- und Wiesenschwingelanbau wurde erfolgreich angelegt, alle Bonitur- und Pflegearbeiten erfolgten laut Arbeitsplan. Es traten jedoch Probleme mit der langanhaltenden Trockenperiode am Standort Canitz sowie mit dem hohen Unkrautdruck auf der Versuchsanlage (siehe Abbildung 5) auf, die zu lichten Pflanzenbeständen und sehr niedrigen Erträgen führten.

Ab September 2019

Im September 2019 wurden die Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel-Bestände zum letzten Mal geschnitten und danach umgebrochen. Die Gesamtfrischmasse der Proben wurde unmittelbar nach der Ernte festgehalten. Es wurden N_{min} -Proben von allen Varianten in 0-120 cm Bodentiefe entnommen. Das C/N-Verhältnis in der pflanzlichen Biomasse für die einzelnen Arten aus der Stoppelmasse wurde entsprechend ermittelt.

Meilenstein I wurde am 31.12.2019 erreicht. Der Zwischenbericht wurde erstellt (siehe Tabelle 5).

Ab Januar 2020

Ab Januar 2020 startete die Planung für die Versuchsserie II mit Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel. N_{min} -Proben zum Vegetationsbeginn des Winterweizens I wurden entnommen. Aufgrund der Corona-Pandemie ab März 2020, war es nicht möglich eine Kontrolle der Entwicklung von Luzernegemenge durchführen. Die Schnittnutzung wurde auf 2021 verlegt, wobei eine Nachsaat im August 2020 erfolgte. Mitte Mai wurde die Trockenmasse sowie C/N Verhältnis von Blatt- und Sprossmaterial des Winterweizens I entnommen und analysiert. In der Periode Juli-August wurde der Trockenmasse-Ertrag von Winterweizen I Korn und Stroh sowie C/N ermittelt.

Ab September 2020

Im September 2020 wurde die Wintergerste I ausgesät und etabliert. Es wurden N_{min} -Proben acht Wochen nach der Aussaat genommen und analysiert. Aufgrund von Personalwechsel im Projekt konnte keine Zwischenernte zur Bestockung von Wintergerste I erfolgen.

Ab Januar 2021

Im Februar 2021 wurde die Versuchsserie mit Luzernegemenge II kontrolliert und es wurden erste Luzerne-, Spitzwegerich- und Wiesenschwingelpflanzen festgestellt. Die Fläche war jedoch ebenfalls wie in der Versuchsanlage 2019 zunächst stark verunkrautet. Der 1. Schnitt im Mai war zwar erfolgreich, zeigte jedoch einen hohen Unkrautanteil im Gemenge. Zum 2. Schnitt im Juli 2021 nach dem Mulchen im Mai (nach dem 1. Schnitt), waren die Bestände sehr dicht und nahezu unkrautfrei. Im März wurde N_{min} in vier Tiefenstufen bei Wintergerste I ermittelt. Die Drusch- und Probearbeiten zu Wintergerste I fanden ab Juli statt.

Ab September 2021

Mitte September zum 3. Schnitt-Termin blieben die Bestände von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel ebenfalls relativ unkrautfrei. Es wurden N_{\min} -Proben in vier Tiefenstufen entnommen und analysiert. Direkt vor dem Umbruch wurde Probenmaterial aus den Stoppeln der Pflanzen zur C/N Bestimmung nach Arten verwendet. Mitte Oktober wurde der Winterweizen II ausgesät. N_{\min} -Beprobungen in vier Tiefenstufen fanden vier und acht Wochen nach der Aussaat erfolgreich statt (siehe **Tabelle 6**).

Meilensteine II und III wurden am 31.12.2021 erreicht. Zwischenbericht wurde erstellt (siehe Tabelle 6 und Tabelle 9).

Januar - Dezember 2022

Zum Vegetationsbeginn des Winterweizens II wurden N_{\min} -Proben in vier Tiefenstufen entnommen. Aufgrund einer defekten Gefriertruhe konnten jedoch leider nur ca. die Hälfte aller Proben analysiert und verwendet werden. Die aufgetauten Proben waren verschimmelt und für die weitere Analyse nicht mehr zu gebrauchen. Im Mai wurde Pflanzenmaterial entnommen und auf ihr C/N-Verhältnis und TM-Ertrag analysiert. Die Untersaat von Spitzwegerich und Wiesenschwingel in Winterweizen II war ebenfalls nicht erfolgreich aufgrund einer anhaltenden Trockenheit. Die Druschernte und Probeaufbereitung begannen ab Juli 2022. Aufgrund von technischen Problemen mit dem Bodenprobegerät konnte zur Druschreife des Winterweizens II keine N_{\min} -Probenahme stattfinden (längere Wartezeiten auf Ersatzteile, z.T. Sonderanfertigung). Die nächste N_{\min} -Untersuchung fand zur Aussaat des Wintergerste II statt. Zur Bestockung der Wintergerste II im November wurden alle Probenahmen und Analysen laut Plan durchgeführt (siehe Tabelle 7).

Meilenstein IV wurde am 31.12.2022 erreicht. Zwischenbericht wurde erstellt (siehe Tabelle 7 und Tabelle 9).

Januar – Oktober 2023

In der Periode Januar bis Oktober 2023 erfolgten alle Probenahmen zum Anbau der Wintergerste II laut Plan – N_{\min} zum Vegetationsbeginn im Frühjahr und zur Druschreife sowie Drusch- und Trockenmasse, und C/N-Analyse von Korn und Stroh. Der Abschlussbericht wurde abgefasst. Es erfolgten insgesamt 8 Wissenstransfer Maßnahmen (weitere Informationen unter 6.2 und Tabelle 7).

Meilensteine V und VI wurden am 30.10.2023 erreicht. Abschlussbericht wurde erstellt (siehe Tabelle 7.).

Tabelle 9. Übersicht über den Projektablauf 04.2019 bis 11.2021

	Datum	Projektablauf
2019	01.04.	Aussaat Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (Versuchsanlage I) inklusive Bodenprobennahme
	13.05.	Prüfung der Bestandesentwicklung (Versuchsanlage I)
	24.05.	Mulchen und Bestandeskontrolle
	27.-28.06.	1. Schnitternte inklusive Bodenprobenentnahme Versuchsanlage I
	16.07.	Prüfung der Bestandesentwicklung (Versuchsanlage I) ¹³
	01.08.	Prüfung der Bestandesentwicklung (Versuchsanlage I)
	19.09.	Prüfung der Bestandesentwicklung (Versuchsanlage I)
	14.10.	3. Schnitternte
	16.-17.10.	Bodenprobenentnahme
	23.-24.10.	Ernte Stoppelmasse, Aussaat von Winterweizen I
	26.-27.11.	Bodenprobenentnahme Winterweizen I
2020	03.01.	Bodenprobenentnahme Winterweizen I
	04.03.	Bodenprobenentnahme Winterweizen I ¹⁴
	15.05.	Zwischenernte Winterweizen I (Biomasse zur Bestockung)
	21.07.	Handernte Winterweizen I (zur Totreife)
	23.07.	Kernparzellendrusch Winterweizen I
	04.08.	Bodenprobenentnahme Winterweizen I
	14.09.	Aussaat von Wintergerste I
	15.09.	Bodenprobenentnahme Wintergerste I
14.11.	Bodenprobenentnahme Wintergerste I ¹⁵	
2021	29.01.	Prüfung der Bestandesentwicklung (Versuchsanlage I + II)
	22.02.	Prüfung der Bestandesentwicklung (Versuchsanlage I + II)
	26.02.	Mulchen (Versuchsanlage II)
	29.03.	Bodenprobenentnahme Wintergerste I
	19.04.	Prüfung der Bestandesentwicklung (Versuchsanlage I + II)
	26.04.	Mulchen (Versuchsanlage II)
	18.05.	Prüfung der Bestandesentwicklung (Versuchsanlage I + II)
	25.05.	1. Schnitternte Versuchsanlage II
	26.05.	Bodenprobenentnahme Versuchsanlage II
	15.07.	Handernte Wintergerste I (zur Totreife)
	16.07.	Kernparzellendrusch Wintergerste I
	29.07.	Bodenprobenentnahme Wintergerste I, 2. Schnitt Versuchsanlage II
	02.09.	Prüfung der Bestandesentwicklung (Versuchsanlage II)
	14.09.	3. Schnitternte Versuchsanlage II
	22.09.	Bodenprobenentnahme Versuchsanlage II
21.10.	Ernte Stoppelmasse, Aussaat von Winterweizen II, Bodenprobenentnahme	
29.11.	Bodenprobenentnahme Versuchsanlage II	

¹³ 2. Schnitt fiel aus – hoher Unkrautdruck auf der Versuchsfläche.

¹⁴ Aussaat von Untersaaten in Winterweizen I fiel aufgrund der Corona-Pandemie aus.

¹⁵ Zwischenernte zur Bestockung der Wintergerste I fiel aufgrund von Personalmangel aus.

Tabelle 10. Übersicht über den Projektablauf 01.2022 bis 08.2023

	Datum	Projektablauf
2022	27.01.	Bodenprobenentnahme Versuchsanlage II
	14.04.	Bodenprobenentnahme Versuchsanlage II ¹⁶
	13.05.	Zwischenernte Winterweizen II (Biomasse zur Bestockung)
	22.07.	Handernte Winterweizen II (zur Totreife)
	25.07.	Kernparzellendrusch Winterweizen II
	09.09.	Bodenprobenentnahme ¹⁷
	23.09.	Aussaat Wintergerste II
	15.11.	Zwischenernte Wintergerste II (Biomasse zur Bestockung)
	24.11.	Bodenprobenentnahme Versuchsanlage II
2023	14.04.	Bodenprobenentnahme Versuchsanlage II
	07.07.	Handernte Wintergerste II (zur Totreife)
	12.07.	Kernparzellendrusch Wintergerste II
	16.08.	Bodenprobenentnahme Versuchsanlage II ¹⁸

¹⁶ Ein Großteil der N_{min}-Proben sind aufgrund eines technischen Defektes der Gefriertruhe aufgetaut und wurden nur zum Teil nicht analysiert.

¹⁷ Durch die langanhaltende Trockenheit war der Boden sehr hart, es konnte weder manuell, noch mit dem hydraulisch angetriebenen Gerät tiefer als 30 cm gebohrt werden. Deshalb erfolgten die Probenahmen zu einem späteren Termin.

¹⁸ Siehe 16.

3 Fotodokumentation (chronologisch)

AP 1: Untersuchungen zur Ertragsbildung und Nitratakkumulation im Boden unter Luzernebeständen



Abbildung 4. Saatstärke der Versuchsvarianten Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel zur Schnittnutzung

Anbau von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel I (04/2019 – 10/2019)

Abbildung 5. Versuchsfläche 2019:

A) Versuchsfläche am Standort Canitz am Tag der Aussaat der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingels (01.04.2019);

B) und C) 1. Schnitt-Termin auf Versuchsfläche I – Bestimmung des FM-Ertrags vor Ort (27.06.2019);

D) Spitzwegerich-Pflanzen im Bestand bei starker Verunkrautung (27.06.2019).

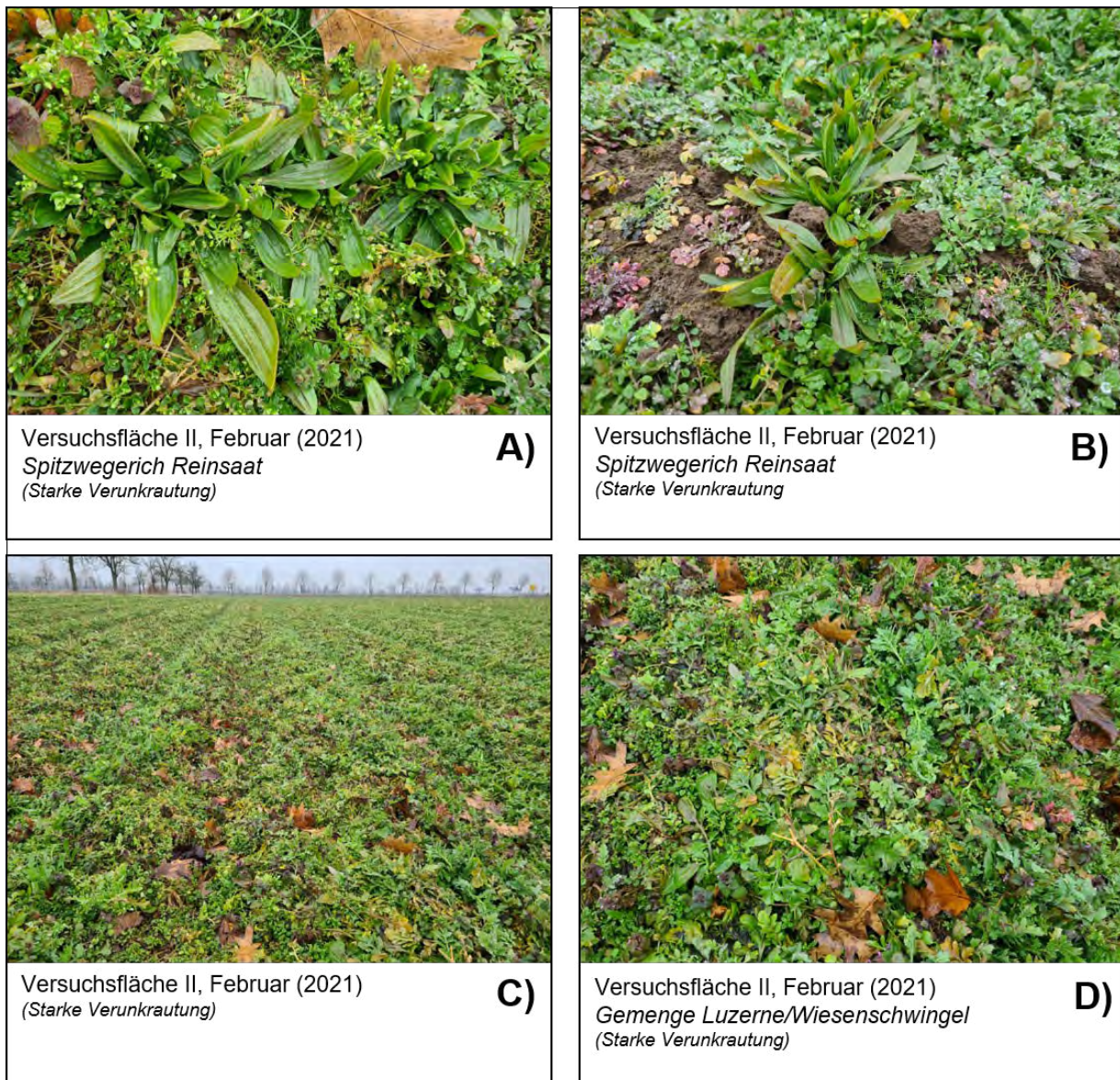
Anbau von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel II (02/2021 – 09/2021)

Abbildung 6. Kontrolle von Versuchsfläche II (22.02.2021):

A) und B) Spitzwegerich-Pflanzen in der Variante Reinsaat, starke Verunkrautung;

C) Starke Verunkrautung der gesamten Versuchsfläche;

D) Gemenge aus Luzerne und Wiesenschwingel 50/50% stark verunkrautet.

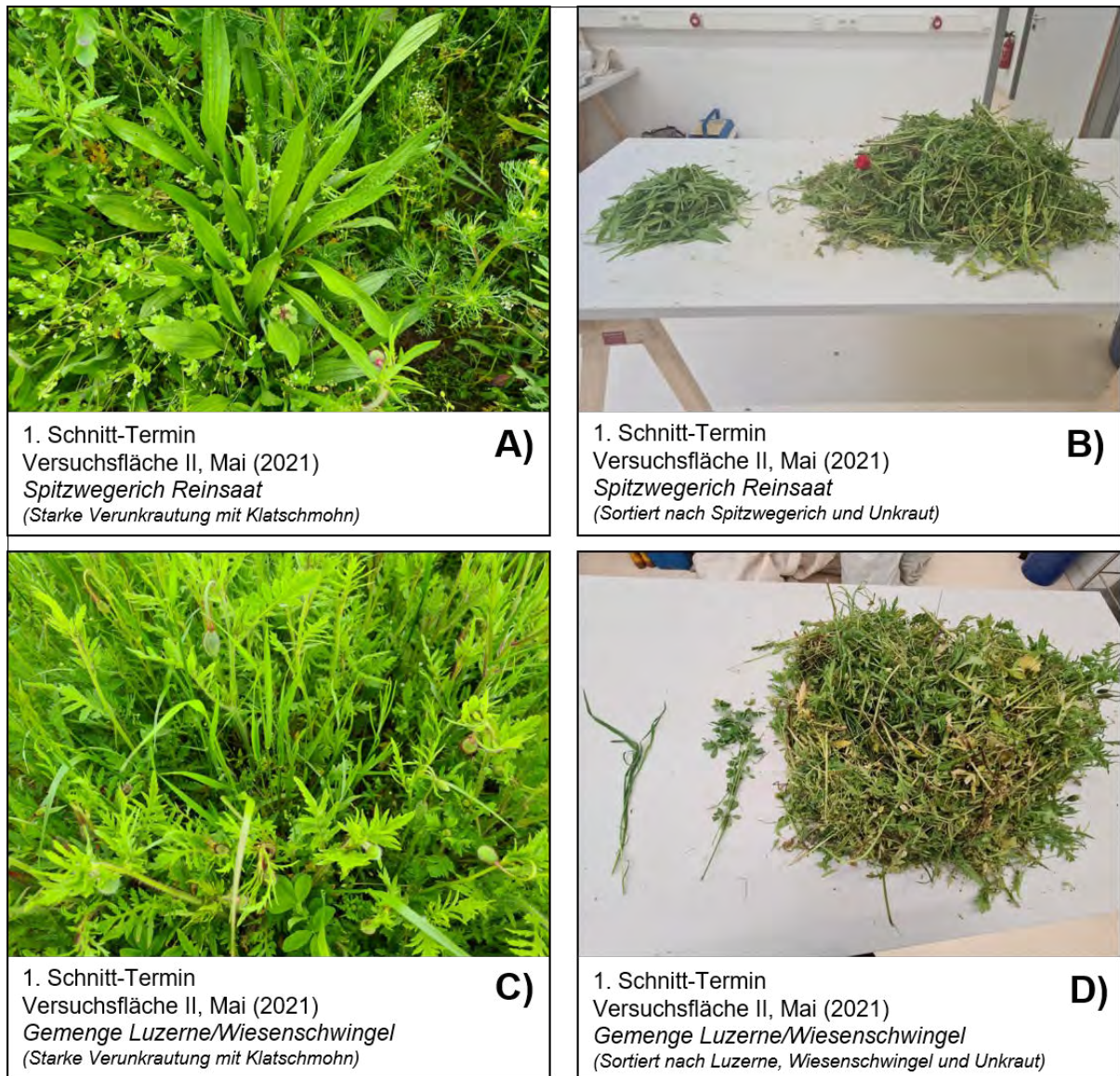


Abbildung 7. 1. Schnitt auf Versuchsanlage II (25.05.2021):

A) Spitzwegerich-Pflanzen in Reinsaat, starke Verunkrautung;

B) Pflanzenprobe (1. Schnitt) aus Spitzwegerich in Reinsaat getrennt nach Pflanzenarten – Spitzwegerich (links) und Unkraut (rechts);

C) Luzerne und Wiesenschwingel im Gemenge 50/50%, starke Verunkrautung;

D) Pflanzenprobe (1.Schnitt) aus dem Gemenge Luzerne/Wiesenschwingel 50/50% getrennt nach Pflanzenarten – Wiesenschwingel und Luzerne (links) und Unkraut (rechts).



Abbildung 8. Blick auf die Versuchsanlage II vor dem 1. Schnitt (25.05.2021)



Abbildung 9. Manuelle Bodenprobenentnahme in 0 bis 30 cm Tiefe zum 1. Futterleguminosen-Schnitt-Termin (26.05.2021)



Abbildung 10. 2. Schnitt des Spitzwegerichs in Reinsaat (29.07.2021)



Abbildung 11. 2. Schnitt der Luzerne in Reinsaat (29.07.2021)



Abbildung 12. 2. Schnitt des Wiesenschwingels in Reinsaat (29.07.2021)



Abbildung 13. 2. Schnitt des Gemenges Luzerne/Wiesenschwingel 50/50% (29.07.2021)



Abbildung 14. 3. Schnitt des Spitzwegerichs in Reinsaat (14.09.2021)



Abbildung 15. 3. Schnitt der Luzerne in Reinsaat (14.09.2021)



Abbildung 16. 3. Schnitt des Wiesenschwingsels in Reinsaat (14.09.2021)



Abbildung 17. 3. Schnitt des Gemenges Luzerne/Spitzwegerich 67/33% (14.09.2021)



Abbildung 18. 3. Schnitt des Gemenges Luzerne/Spitzwegerich 50/50% (14.09.2021)



Abbildung 19. 3. Schnitt des Gemenges Luzerne/Spitzwegerich 33/67% (14.09.2021)



Abbildung 20. 3. Schnitt des Gemenges Luzerne/Wiesenschwingel 67/33% (14.09.2021)



Abbildung 21. Bodenprobenentnahme in vier Tiefenstufen – 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm, 60 bis 90 cm, 90 bis 120 cm zum 3.Schnitt-Termin (14.09.2021)



Abbildung 22. Leitunkräuter auf Versuchsanlagen I und II am Standort Canitz (Vorkommen absteigend sortiert)

AP 2: Untersuchungen zum Stickstoffvorrat im Boden nach Luzerneumbruch unter Winterweizen und Wintergerste sowie Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme der Folgefrüchte

Anbau von Winterweizen I (10/2019 bis 07/2020)



Abbildung 23. Bestände mit Winterweizen I (07.05.2020)



Abbildung 24. Handernte des Winterweizens I zur Bestockung (15.05.2020)



Abbildung 25. Winterweizen I zum Kontrolltermin (24.06.2020)



Abbildung 26. Winterweizenähre I zum Kontrolltermin (24.06.2020)



Abbildung 27. Kernparzellendrusch des Winterweizens I (23.07.2020)

Anbau von Wintergerste I (10/2020 bis 07/2021)



Abbildung 28. Bestände mit Wintergerste I (26.05.2021)



Abbildung 29. Wintergerstenähre aus Versuchsanlage I (26.05.2021)



Abbildung 30. Gerstenflugbrand (*Ustilago nuda*) in Wintergerste I (26.05.2021)



Abbildung 31. Wintergerstenähre zur Erntereife in Versuchsanlage I (15.07.2021)

Anbau von Winterweizen II (10/2021 – 07/2022)



Abbildung 32. Pflügen vor der Aussaat des Winterweizens, Versuchsanlage II (21.10.2021)



Abbildung 33. Bodenbearbeitung mit Kreiselegge vor der Aussaat Winterweizen II (21.10.2021)



Abbildung 34. Winterweizen II vier Wochen nach der Aussaat (29.11.2021)



Abbildung 35. Bestände mit Winterweizen II vier Wochen nach der Aussaat (27.01.2022)



Abbildung 36. Winterweizen II zum Vegetationsbeginn (14.04.2022)



Abbildung 37. Parzelle mit Winterweizen II zum Vegetationsbeginn (14.04.2022)



Abbildung 38. Aussaat von Spitzwegerich und Wiesenschwingel in Untersaat in Winterweizen II zum Vegetationsbeginn (14.04.2022)



Abbildung 39. Zwischenernte des Winterweizens zur Bestockung auf Versuchsanlage II (13.05.2022)



Abbildung 40. Manueller Schnitt der Parzellen mit Winterweizen II zur Druschreife (22.07.2022)



Abbildung 41. Manuelle Handernte des Winterweizens auf Versuchsanlage II (22.07.2022)



Abbildung 42. Nahaufnahme des Winterweizens II zur Handernte (22.07.2022)



Abbildung 43. Übersicht von Versuchsanlage II zur Totreife des Winterweizens (25.07.2022)



Abbildung 44. Kernparzellendrusch von Winterweizen II (25.07.2022)



Abbildung 45. Aufbereitung der Proben von Winterweizen II in Ähren, Stroh und Unkraut

Anbau von Wintergerste II (09/2022 – 08/2023)



Abbildung 46. Versuchsfläche II am Tag der Aussaat von Wintergerste II (23.09.2022)



Abbildung 47. Wintergerste II - Zwischenernte zur Bestockung (15.11.2023)



Abbildung 48. Übersicht der Versuchsanlage II mit Wintergerste während der Zwischenernte zur Bestockung (15.11.2023)



Abbildung 49. Bodenprobenahme in Wintergerste II zum Vegetationsbeginn (14.04.2023)



Abbildung 50. Schwierigkeiten Probenmaterial aus der untersten Schicht (90 bis 120 cm) zu gewinnen (14.04.2023)



Abbildung 51. Wintergerste II zur Totreife (07.07.2023)



Abbildung 52. Handernernte von Wintergerste II (07.07.2023)

4 Projektergebnisse

4.1 Einschätzung der Zielerreichung

Ziel des Vorhabens war es, durch die Integration von Spitzwegerich in Luzernebestände:

AP 1: Minderung der Nitratverluste im Boden (0 bis 120 cm) durch Auswaschung im ersten und zweiten Winterhalbjahr nach Luzerneumbruch durch eine Erhöhung des Anteils an Ammoniumstickstoff im Boden

Hypothese 1.1: Die Gemengevarianten aus Spitzwegerich mit Luzerne sind mit zunehmender Wasserknappheit am Standort (in der Regel zum zweiten und zum dritten Schnitt-Termin) ertragsstärker als ein Gemenge mit Wiesenschwingel.

Die TM-Erträge der Gemengevarianten aus Spitzwegerich und Luzerne (67/33% und 50/50%) waren zum 2. Schnitt-Termin (2021) und zum 3. Schnitt-Termin (2019, 2021) signifikant höher im Vergleich zu den Referenzgemengen mit Luzerne und Wiesenschwingel. Der Großteil des Ertrages (>90%) machte jedoch der TM-Ertrag des Spitzwegerichs aus, der sich als sehr konkurrenzstark im Gemenge erwies. Der Spitzwegerich unterdrückte sowohl Luzerne, als auch Unkraut mit einem Anteil von >80% sehr stark bereits ab dem 2. Schnitt-Termin und war stieg auf >98% zum 3. Schnitt-Termin.

Hypothese 1.2: Gemengeanbau von Luzerne mit Spitzwegerich führt zu einem rascheren Absinken und anhaltend niedrigeren Nitratvorrat im Boden als das Gemenge mit Wiesenschwingel und ist eine Funktion des Ertragsanteiles des Spitzwegerichs im Gemenge.

In beiden Versuchsreihen war nach dem 3. Schnitt der Bestände im Mittel unter den Gemengen mit Spitzwegerich ein geringerer Nitratvorrat im Boden, insbesondere in den Schichten 60 bis 120 cm zu verzeichnen. Eine Beziehung zum Saatanteil des Spitzwegerichs im Hinblick auf die Restnitratvorräte im Boden war dabei nicht klar erkennbar.

Hypothese 1.3: Der Futterwert der Luzerne-Spitzwegerich-Gemenge entspricht im Wesentlichen dem des Luzerne-Wiesenschwingel-Gemenges.

Die Gemenge der Luzerne mit Spitzwegerich zeigten im Durchschnitt geringere RPr-Gehalte (<200 g/kg) im Vergleich zu den Gemengen der Luzerne mit Wiesenschwingel (>200 g/kg). Insgesamt führte der Spitzwegerich zu einer Verringerung des Energiegehaltes im Grundfuttermittel, so dass hierdurch ein Nachteil zumindest in der Fütterung hochlaktierender Milchkühe entstehen kann.

AP 2: Stickstoffverwertung aus dem Luzerneanbau durch den anschließenden Anbau von zwei Wintergetreidefolgefrüchte (Winterweizen und Wintergerste)

Hypothese 2.1: Durch den Gemengepartner Spitzwegerich in der Luzerne kann anders als mit Wiesenschwingel auch unter Feldbedingungen eine deutliche Hemmung der Nitrifikation im Boden und Senkung der Gefahr des Nitrataustrages nach Umbruch der Bestände erreicht werden.

Durch die Integration von Spitzwegerich wurden die Nitratvorräte nach vier und acht Wochen nach der Aussaat von Winterweizen reduziert. In Versuchsanlage I zeigten die Varianten mit Luzerne und Spitzwegerich niedrigere Nitratvorräte bis zum Drusch des Winterweizens. In Versuchsanlage I war die Nitrifikationshemmung vier Wochen nach der Aussaat des Winterweizens nach der Reinsaat des Spitzwegerichs und beim Gemenge aus Luzerne mit Spitzwegerich in Saatstärke 33/67% zu beobachten, wobei zum Vegetationsbeginn des Winterweizens dieses Gemenge die höchsten Ammoniumstickstoffvorräte aufwies.

Hypothese 2.2: Die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs ist auch unter der zweiten Folgefrucht Wintergerste nachzuweisen.

Die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs ließ ab der Aussaat von Wintergerste nach und war zum Vegetationsbeginn der Gerste im darauffolgenden Jahr lediglich in der Reinsaat des Spitzwegerichs nachzuweisen. Allerdings wurden unter Spitzwegerich in Reinsaat und dem Gemenge Luzerne/Spitzwegerich mit Saatstärke 33/67% zum Druschtermin der Wintergerste höhere Nitratvorräte als nach der Reinsaat der Luzerne ermittelt.

Hypothese 2.3: Die durch Spitzwegerich bewirkte Hemmung der Nitrifikation im Boden führt auch zu einer Steigerung der Stickstoffversorgung und der Ertragsleistung des Winterweizens und der Wintergerste, da geringe Stickstoffverluste durch Nitrataustrag zu verzeichnen sind.

Der Spitzwegerich als Vorfrucht wirkte sich stickstoffmindernd auf die Folgefrucht Winterweizen aus. Zur Bestockung des Winterweizens in Versuchsanlage I senkte Spitzwegerich in Luzerne-Gemengen die N-Konzentration in der Weizensprossbiomasse und somit auch die N-Erträge. Die mehrjährige Analyse zeigte niedrigere TM-Erträge nach Wiesenschwingel in Reinsaat als Vorfrucht. Der Wiesenschwingel im Gemenge mit Luzerne unterschied sich jedoch nicht signifikant von der Luzerne in Reinsaat. Die TM-Erträge von Korn und Stroh waren unter der nitrifikationshemmenden Wirkung von Spitzwegerich geringer im Vergleich zu der Luzerne in Reinsaat, jedoch in Luzerne-Gemengen höher als in Luzerne-Gemengen mit Wiesenschwingel. Dafür sanken der N-Ertrag und der Proteingehalt im Korn des Weizens. Zur Bestockung der zweiten Folgefrucht Wintergerste lag die höchste Wintergerste-Sprossmasse nach Spitzwegerich in Reinsaat. Zur Druschreife der Wintergerste lagen die höchsten TM-Erträge an Gerstenkorn ebenfalls nach Spitzwegerich in Reinsaat mit einer höheren N-Konzentration als nach Luzerne in Reinsaat.

4.2 Hauptergebnisse des Projektes

Im Folgenden werden die Hauptergebnisse des Projektes skizziert. Der Abschnitt beginnt mit der Standortcharakterisierung, die sich auf alle Arbeitspakete (1,2,3) bezieht. Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete sind in drei Unterkapitel aufgegliedert, wobei für jeden Unterkapitel die Vorgehensweise der statistischen Analysen erläutert wird.

4.2.1 Betriebs- und Standortcharakterisierung

Wesentliche Flächen des Betriebes liegen im Wasserschutzgebiet, weshalb Grundwasserschutz im Vordergrund steht. Die landwirtschaftliche Nutzfläche des Wassereinzugsgebietes beträgt 9.100 Hektar (ca. 91 km²), von denen ca. 10 % ökologisch bewirtschaftet werden, während die anderen Flächen konventionell bewirtschaftet werden. Das Wassergut Canitz GmbH wirtschaftet ökologisch seit 1992 und ist ein zertifizierter Musterbetrieb für den ökologischen Landbau. Um die Ressource Trinkwasser auch in Zukunft sauber halten zu können, wird der ökologische Landbau als Modellvorhaben eingesetzt. Der Betrieb wirtschaftet nach Bioland-Richtlinien und hat insgesamt 16 Kulturarten im Anbau, darunter Getreide, Kartoffeln, Zwiebeln, Öllein und Buschbohnen. Die längste Fruchtfolge ist achtfeldrig und beginnt mit 2-jähriger Luzerne, die entweder als Futtermittel oder als organischer Dünger verwendet wird. Es folgen zwei Jahre mit Getreideanbau (Dinkel und Winterweizen). Nach dem Winterweizen folgen eine organische Düngung im August, in Form von Stalldung oder Dungsilage, und die Aussaat einer Zwischenfrucht. Im darauffolgenden Jahr werden Kartoffeln angebaut, gefolgt von ein- oder zweimal Getreideanbau. Nach dem Getreide wird wieder im Spätsommer organisch gedüngt und eine Zwischenfrucht ausgesät. Im Jahr darauf werden Speisezwiebeln angebaut und anschließend wieder Getreide. An der Stelle von Speisezwiebeln werden auch Buschbohnen oder Gemüseerbsen etabliert. In den letzten 15 Jahren verzeichnete der Betrieb im Mittel der Flächen einen N-Überschuss von 15 kg/ha. Die Stickstoffbilanz inklusive atmosphärischen Stickstoffverbindungen liegt hier zwischen 15 bis 20 kg/ha und Jahr. Die Grenze in Höhe eines Überschusses von 30 kg/ha und Jahr darf nach Maßgabe der Wasserversorger im Leipziger Raum nicht überschritten werden (Agentur N-Komm, 2020). Die Nitratwerte im Grundwasser betragen 20 bis 24 mg/l. Ab 25 mg/l Nitratgehalt im Wasser wird von einer anthropogenen Wirkung ausgegangen, 50 mg/l ist der Grenzwert in der EU (BMEL & BMU, 2020) Die 90% der Flächen, die konventionell bewirtschaftet werden, weisen im Vergleich zu den ökologischen Flächen hohe Nitratvorräte im Boden auf.

Der Boden auf dem Versuchsackerschlag gehört zu der Bodenklassifikation Lessivés. Die Zuordnung des Bodens entspricht anlehmigem Sand (S/IS) Der Boden auf dem Versuchsackerschlag gehört zu der Bodenklassifikation Lessivés. Die Zuordnung des Bodens entspricht anlehmigem Sand (S/IS) (Tabelle 11). Der Standort ist durch Parabraunerde (LL) aus periglazialerem Kies mit führendem Lehm über tiefem fluvilimnogenem Sandkies gekennzeichnet. Die nutzbare Feldkapazität liegt zwischen 121-180 mm. Die Feldkapazität ist im Bereich 181-270 mm. Die Verdichtungsempfindlichkeit liegt bei Stufe 2 - mittel empfindlich. Die Bewertung der Erodierbarkeit des Bodens durch Wasser zeigt eine hohe Empfindlichkeit, während die Wind-Erodierbarkeit im mittleren Bereich liegt (LfULG, 2020). Weitere Standortmerkmale sowie die Fruchtfolgegestaltung der Versuchsfläche sind unter Tabelle 11 zu finden.

Tabelle 11. Standortmerkmale von VF I und II und Fruchtfolgegestaltung im Laufe des Projektes

Versuchsanlage	Bodenwertzahl ¹⁹	Bodenart	Koordinaten ²⁰	Höhe über NN ¹³	Hauptfrüchte/Jahr	Vorfruchtkulturen
VF I	47	Anlehmiger Sand (S/IS)	51,4126134° 12,6861281	112 m	LSW - 2019	Luzerne - 2016-2017 Dinkel - 2018
Winterweizen 2019- 2020						
Wintergerste 2020- 2021						
VF II					LSW - 2021	Dinkel - 2019
					Winterweizen 2021- 2022	
					Wintergerste 2022- 2023	

Tabelle 12. Grundnährstoffanalyse am Standort Canitz (01.04.2019) und Mittelwerte²¹ für die Periode 2015-2019 für die Versuchsfläche

Versuchsanlage	pH-Wert	Nährstoffgehalt in mg je 100 g Boden		
		Phosphor (P) ²²	Kalium (K) ²³	Magnesium (Mg) ²⁴
VF I	6,9	7,4 (C)	8,2 (C)	11,7 (E)
VF II	7,1	7,0 (C)	11,2 (C)	12,2 (E)
Mittelwert 2015-2019	6,7	5,85 (C)	10,25 (C)	11,4 (E)

Tabelle 13. Analyse des Gehaltes an verfügbarem mineralisiertem Stickstoff (N_{min}) zum Projektbeginn (01.04.2019) in 0 bis 120 cm Bodentiefe

Bodentiefe [cm]	01.04.2019		
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Ammonium (NH ₄ ⁺)	N _{min} -Wert (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺)
0-30	7,62	2,61	10,23
30-60	2,98	1,02	4,00
60-90	2,39	0,47	2,86
90-120	21,47	0,78	22,25

¹⁹ Nach Bodenschätzungsgesetz vom 20. Dezember 2007 (BGBl. I S. 3150, 3176), das zuletzt durch Artikel 15 des Gesetzes vom 26. November 2019 (BGBl. I S. 1794) geändert worden ist (2007); LfULG (2020).

²⁰ Quelle: Google Earth, Google LLC.

²¹ Mittelwerte stammen aus der Datenbank von Wassergut Canitz GmbH

²² Quelle: VDLUFA (2018). Gehaltsklasse C = optimaler P-Gehalt im Boden in Trockengebieten (<~550 mm).

²³ Quelle: LfULG (2019). Gehaltsklasse C = optimaler K-Gehalt im Boden (anlehmiger Sand).

²⁴ Quelle: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2015). Gehaltsklasse E = sehr hoher Nährstoffgehalt, eine vorübergehende Unterlassung der Düngung empfohlen (Ackerland, S, IS).

Die langjährige durchschnittliche Jahrestemperatur am Standort Canitz für die Periode 1991 bis 2018 beträgt 10,1°C und liegt somit im Bereich des bundesweiten Durchschnitts von 10,5°C (DWD, 2023). Die Durchführung der Versuche war geprägt durch sehr unterschiedliche Witterungsbedingungen. Das wärmste Jahr war 2019 mit einer Durchschnittstemperatur von 12,5°C. Die Versuchsjahre 2020 und 2022 zeigten ähnliche Jahresmittelwerte – 11,3°C und 11°C, während Versuchsjahr 2021 mit 9,8°C am kältesten war.

Mit Beginn der Versuche in März 2019 lag die durchschnittliche Monatstemperatur mit fast 2°C über den langjährigen Mittelwert, während in den nächsten Jahren (2020 bis 2023) die Witterungsbedingungen im März eher kühl waren (Abbildung 53). Im April blieben die Durchschnittstemperaturen in 2019 und 2020 im Rahmen des langjährigen Wertes, während der April 2021 wesentlich kühler war. Mit 6,3°C lag der Mittelwert eindeutig unter dem langjährigen Mittelwert für den Standort mit 9,9°C. Die durchschnittliche Tagestemperatur im April 2021 war an lediglich sechs Tagen zwischen 9°C und 18°C, während z.B. in 2020 an insgesamt 20 Tagen zweistellige Temperaturwerte verzeichnet wurden.

In Abbildung 53 ist außerdem zu sehen, dass die meisten Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten mitten in der Vegetationsperiode Juli bis August verzeichnet wurden. Während des ersten Anbaus der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingels im Juni 2019 wurde mit 22,2 °C die höchste Monatstemperatur registriert, die den durchschnittlichen Wert um 4,4°C überschritt. Da die letzte Probenahme am 16.08.2023 stattfand, sind die Temperaturmittelwerte zwischen September und Dezember 2023 in Abbildung 53 nicht dargestellt.

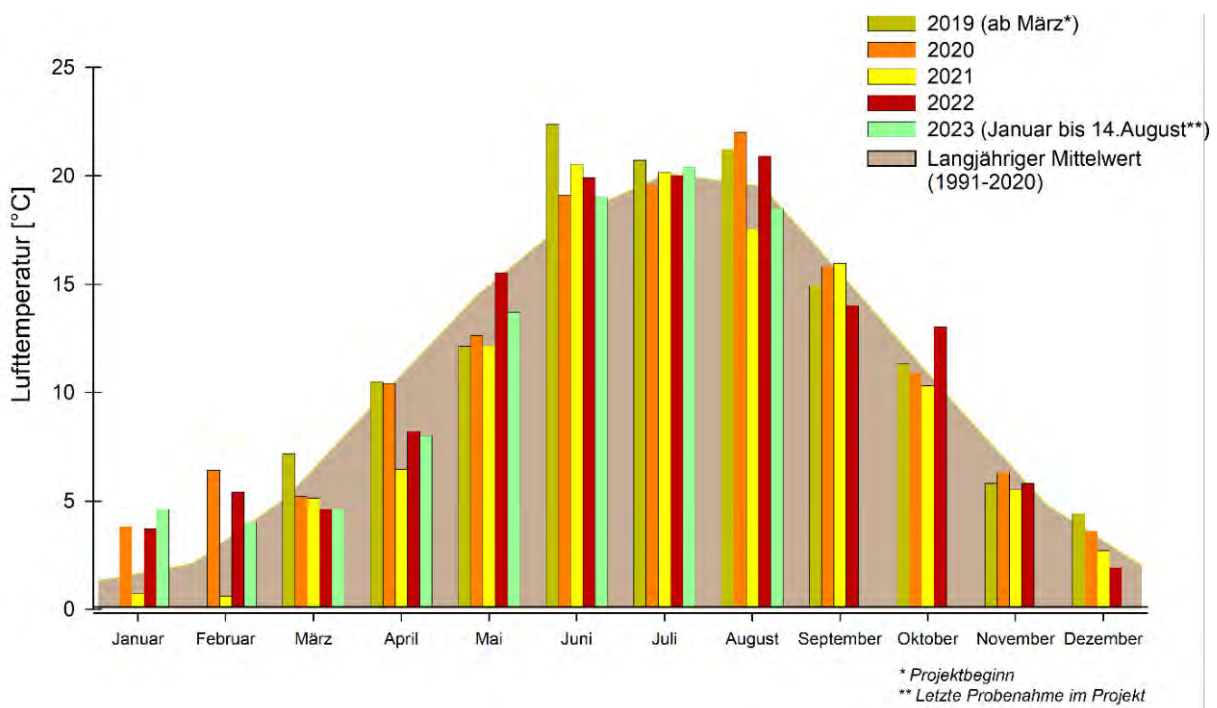


Abbildung 53: Durchschnittliche monatliche Lufttemperatur [°C] am Standort Canitz für die Versuchsperiode 2019 bis 2023

Der Versuchsstandort Canitz zeichnet sich durch geringe Niederschlagssummen von durchschnittlich 557,3 mm pro Jahr und liegt somit unter dem bundesweiten Durchschnittswert von 669,1 mm (DWD,

2023). In der Versuchsperiode 2019 bis 2022 sind jährlich im Durchschnitt 435,5 mm gefallen, wobei in 2021 die höchste Niederschlagsmenge registriert wurde (597,4 mm). Lediglich 268,4 mm Niederschlag wurden in 2019 gemessen. Große Abweichungen gab es in den Monaten Mai und August 2021, in denen 85,5 % und 65,9 % mm mehr Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel für den Zeitraum 1913 bis 2020 gefallen sind (Abbildung 54). Im Jahr 2019 wurden im April 55,0 %, im Juli 53,5 % und im August 61,2 % weniger Niederschlag registriert. Insgesamt fehlten in 2019 124,6 mm und in 2021 29,5 mm, um das langjährige Mittel zu erreichen. Die Wetterdaten wurden von der Wetterstation der Wassergut Canitz GmbH zur Verfügung gestellt.

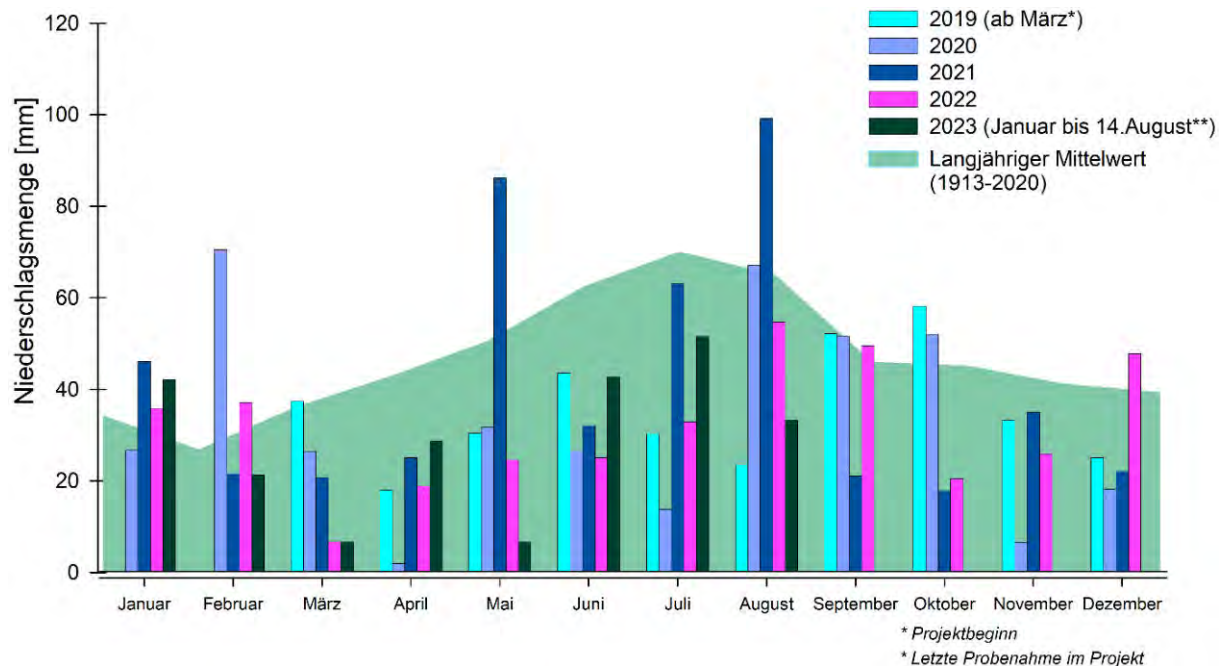


Abbildung 54. Monatliche Niederschlagsmenge [mm] am Standort Canitz für die Versuchsperiode 2019 bis 2023

4.2.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SAS (Version 9.4 für Windows, SAS Institute Inc., USA). Der Test auf Normalverteilung erfolgte mit dem Shapiro-Wilk-Test (Shapiro & Wilk, 1965), wobei nicht normalverteilte Daten nach Munzert (2015) nach folgenden Funktionen transformiert wurden: $1:x$, \sqrt{x} , x^2 , $\sqrt{1:x}$, $1:x^2$, $\log(x)$. Die Auswertung der Datensätze erfolgte primär als einfaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem F-Test. Alle Daten wurden mit Hilfe der PROC GLM (General Linear Model) Anweisung für die Durchführung sowohl der einfaktoriellen als auch der mehrfaktoriellen ANOVA (Analysis of Variance) für ausgeglichene und unausgeglichene Daten analysiert. Für die spezifischen paarweisen Vergleiche wurde der konservative Ansatz des Tukey's HSD (Tukey, 1949) (ehrlich signifikanter Unterschied [honestly significant difference]) als Post-hoc-Test verwendet. Für den multiplen Mittelwertvergleich wurde ebenfalls Tukey-HSD ($p < 0,05$) eingesetzt. Die statistische Auswertung der Daten sowie deren Darstellung erfolgte mit (1) arithmetischen Mittelwerten für einfaktorielle und (2) mit gewogenen Mitteln bei mehrjährigen Analysen mit Angabe der

Standardabweichung in der graphischen Darstellung. Jede statistische Analyse wurde mit den ursprünglichen Forschungsdaten und vier Wiederholungen durchgeführt. Das Signifikanzniveau für alle dargestellten Ergebnisse ist $p \leq 0,05$. Signifikanzen für $p < 0,01$ und $p < 0,001$ sind, wenn vorhanden, für die jeweiligen Datensätze zusätzlich gekennzeichnet. Alle graphischen Darstellungen der Ergebnisse wurden mit dem Programm SigmaPlot (Version 12.5, Systate Software Inc., Cary, NC, USA) erstellt.

4.2.3 AP 1: Untersuchungen zur Ertragsbildung und Nitratakkumulation im Boden unter Luzernebeständen

Die Bestandszusammensetzung der einzelnen Komponenten (TM-Ertragsanteile im Schnittgut) im Gemenge, die Schnittgutertragsleistung der Bestände, der futterbauliche Wert des Schnittgutes (nur jeweils eine Probe je Variante und Schnitttermin, Standard-Futtermittelanalyse) werden im Folgenden im Detail dargestellt (4.2.3.1 bis 4.2.3.3).

4.2.3.1 Ertragsbildung und Ertragsanteile

Aufgrund starkes Unkrautdruckes auf VF I im Jahr 2019 am Standort Canitz erfolgte kein 2. Schnitt, sondern nur ein Mulchvorgang im Juli. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse Tabelle 14 mit Null dargestellt. In beiden Versuchsjahren zeigten alle Varianten sehr geringe Schnittguterträge, wobei Luzerne in Reinsaat mit 0,1 dt/ha die signifikant geringsten Werte aufwies (Tabelle 14). Spitzwegerich und Luzerne 50/50% führten auf VF I (0,9 dt/ha) und II (2,7 dt/ha) zu signifikant höheren Schnittguterträgen. Wiesenschwingel in Reinsaat lag in 2019 mit 0,4 dt/ha direkt hinter Spitzwegerich in Reinsaat (0,6 dt/ha). In beiden Jahren und zu beiden Schnitt-Terminen führte der Gemengeanbau von Wiesenschwingel mit Luzerne zu geringeren TM-Erträgen im Vergleich zu der Reinsaat-Variante von Wiesenschwingel (Tabelle 14).

Zum 3. Schnitt-Termin im September erhöhten sich die TM-Erträge eindeutig, wobei die Anwesenheit von Spitzwegerich die höchsten Werte erreichte. Besonders groß war der Ertragsunterschied in den Gemengevarianten im Jahr 2019. Luzerne mit Spitzwegerich 33/67% (15,5 dt/ha) und 50/50% (16,9 dt/ha) zeigten signifikant höhere TM-Erträge gegenüber der korrespondieren Gemenge von Luzerne und Wiesenschwingel (33/67%; 7,1 dt/ha, 50/50%; -7,0 dt/ha). Zum 3. Schnitt-Termin in 2021 sahen die Ergebnisse anders aus – Wiesenschwingel in Reinsaat wies mit 19,4 dt/ha den höchsten TM-Ertrag im Vergleich zu den Reinsaaten und Gemengesaaen auf (Tabelle 14). Luzerne in Reinsaat zeigte ebenfalls einen höheren Wert im Vergleich zu den meisten Gemengevarianten und lag mit 16,1 dt/ha über den TM-Ertrag von Spitzwegerich in Reinsaat (14,2 dt/ha).

Tabelle 14. Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] der Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Feldversuchen 2019 und 2021. Die Daten sind Mittelwerte aus vier Wiederholungen pro Variante und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte mit *Tukey-HSD* an. ^{ns} Nicht signifikant. ^{**} Signifikanz bei $p < 0,01$. ^{***} Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$.

Jahr	Variante		SaatS [%]	Schnitt-Termine		
				1.	2.	3.
2019	Reinsaaten	Luzerne	100	0,14 ^b	0	2,78 ^c
		Spitzwegerich		0,56 ^{ab}	0	16,11 ^a
		Wiesenschwingel		0,41 ^{ab}	0	11,86 ^{ab}
	Luzerne/ Spitzwegerich		33/67	0,54 ^{ab}	0	15,52 ^a
			50/50	0,88 ^a	0	16,88 ^a
			67/33	0,37 ^{ab}	0	11,23 ^{ab}
	Luzerne/ Wiesenschwingel		33/67	0,34 ^{ab}	0	7,14 ^{bc}
			50/50	0,34 ^{ab}	0	7,07 ^{bc}
			67/33	0,28 ^{ab}	0	6,84 ^{bc}
Tukey-HSD			p-Wert	0,01	-	< 0,0001^{***}
2021	Reinsaaten	Luzerne	100	0,11 ^b	21,57 ^c	16,08
		Spitzwegerich		1,54 ^{ab}	45,06 ^{abc}	14,26
		Wiesenschwingel		1,06 ^{ab}	20,55 ^c	19,45
	Luzerne/ Spitzwegerich		33/67	1,79 ^{ab}	66,19 ^a	15,24
			50/50	2,68 ^a	61,94 ^a	17,88
			67/33	1,56 ^{ab}	51,35 ^{ab}	13,66
	Luzerne/ Wiesenschwingel		33/67	0,35 ^b	16,81 ^c	15,56
			50/50	0,98 ^{ab}	24,40 ^{bc}	14,77
			67/33	1,10 ^{ab}	21,28 ^c	18,78
Tukey-HSD			p-Wert	0,01	< 0,0001^{***}	0,59^{ns}

In Tabelle 15 sind die prozentuellen Anteile von Luzerne in den Gemengevarianten aufgeführt. Zum 1. Schnitt-Termin in 2019 war der Anteil von Luzerne im Gemenge mit Spitzwegerich fast halb so viel als im Gemenge mit Wiesenschwingel. Die Daten wiesen jedoch viele Ausreißer auf, die zu einer höhere GD und keine Signifikanz führten (Tabelle 15). Die höchsten Anteile von Luzerne zum 3. Schnitt in 2019 lagen bei der Gemengevariante Wiesenschwingel mit Luzerne Saatstärke 67% (11,4 %). Signifikant geringer waren alle Anteile von Luzerne im Spitzwegerich-Gemenge (unter 2,2 %). Dabei ist auffällig, dass Spitzwegerich bereits zum 1. Schnitt-Termin eine sehr hohe Konkurrenzskraft gegenüber der Luzerne ausgeübt hat. Die Luzerneanteile zum 1. Schnitt-Termin in 2021 variierten stark jedoch fielen keine signifikanten Unterschiede auf. Der niedrigste Wert (6,6 %) der Luzerne wurde in der Variante 50/50% mit Spitzwegerich und Luzerne registriert. Der höchste Luzerneanteil mit 48,9% wurde im 33/67% Spitzwegerich-Gemenge ermittelt. Eine drastische Senkung von 48,9% auf 3,1% erfolgte innerhalb zwei Monaten im gleichen Gemenge zum 2. Schnitt-Termin. Der Anteil von Luzerne sank auch im Gemenge mit Wiesenschwingel deutlich. Die einzige Zunahme wurde in 2021 zum 2. Schnitt unter Gemenge Luzerne und Wiesenschwingel 67/33% beobachtet, wo sich der Anteil von Luzerne von 3,9%

auf 27,7% erhöhte. Die Anteile des Spitzwegerichs und Wiesenschwingel übertrafen die der Luzerne in beiden Versuchsjahren zum 3. Schnitt-Termin deutlich. Im Jahr 2019 waren die Unterschiede der Anteile hochsignifikant. Alle Werte der Luzerne waren signifikant niedriger gegenüber den Anteilen von Spitzwegerich und Wiesenschwingel. Die signifikant höchsten Anteile verzeichnete der Spitzwegerich, die bei 33/67% 98,6% und bei 50/50% 98,8% betragen. Im Jahr 2021 lagen die höchsten Anteile ebenfalls beim Spitzwegerich und die gleichen Gemenge, hoben sich jedoch aufgrund einiger Ausreißern nicht signifikant von den Luzernewerten ab (Tabelle 15).

Tabelle 15. Anteil [%] an Luzerne (LZ), Spitzwegerich (SW) und Wiesenschwingel (WS) im Gemenge. TM-Ertrag von LZ + Gemengepartner = 100% in 2019 und 2021. Die Daten sind Mittelwerte aus vier Wiederholungen pro Variante, Schnitt und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte mit Tukey-HSD an. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei p < 0,01. *** Signifikanz bei p < 0,01 und 0,001. SaatS - Saatstärke

Jahr	Schnitt/Statistik	Variante	SaatS [%]	Anteile [%]		
				LZ	SW	WS
2019	1. Schnitt (Juni)	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	28,32	71,67	-
			50/50	28,32	71,68	-
			67/33	18,88	81,12	-
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	41,28	-	58,72
			50/50	43,48	-	56,52
			67/33	47,77	-	52,23
	Tukey-HSD		p-Wert	0,08^{ns}	0,08^{ns}	
	3. Schnitt (Oktober)	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	1,34 ^b	98,66 ^a	-
			50/50	1,17 ^b	98,84 ^a	-
			67/33	2,08 ^b	97,92 ^a	-
Luzerne/ Wiesenschwingel		33/67	2,22 ^b	-	97,78 ^a	
		50/50	9,49 ^a	-	90,51 ^b	
		67/33	11,37 ^a	-	88,63 ^b	
		p-Wert	< 0,0001^{***}	< 0,0001^{***}		
2021	1. Schnitt (Mai)	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	48,90	51,10	-
			50/50	6,59	93,41	-
			67/33	12,50	87,50	-
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	39,53	-	60,47
			50/50	20,59	-	79,42
			67/33	3,96	-	96,04
	Tukey-HSD		p-Wert	0,06^{ns}	0,06^{ns}	
	2. Schnitt (Juli)	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	3,10 ^b	96,90 ^a	-
			50/50	4,29 ^b	95,71 ^a	-
			67/33	15,58 ^{ab}	84,42 ^{ab}	-
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	12,55 ^{ab}	-	87,45 ^a
			50/50	15,88 ^{ab}	-	84,12 ^{ab}
			67/33	27,73 ^a	-	72,27 ^b
	Tukey-HSD		p-Wert	0,0002	0,0002	
	3. Schnitt (September)	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	2,99	97,01	-
			50/50	3,92	96,09	-
			67/33	10,58	89,42	-
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	4,72	-	95,28
50/50			7,48	-	92,52	
67/33			10,25	-	89,75	
Tukey-HSD		p-Wert	0,1^{ns}	0,1^{ns}		

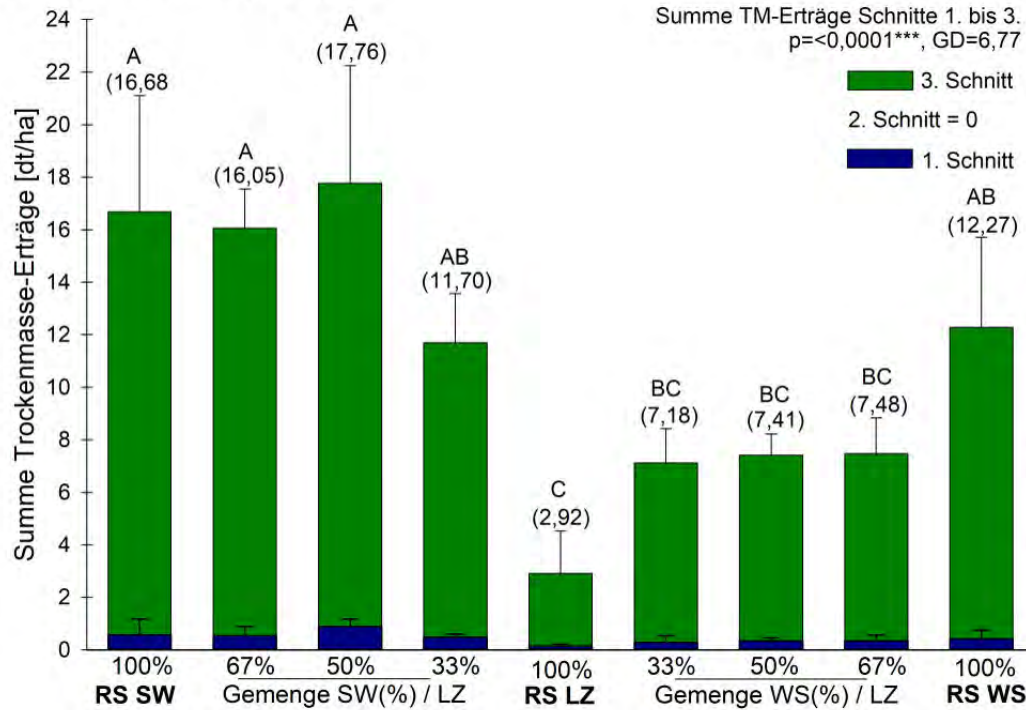
Durch Aufsummieren der TM-Erträge über drei Schnitte erfolgte eine einfaktorielle Analyse (Abbildung 55). So erbrachte der Spitzwegerich in Reinsaat im Jahr 2019 und in den Gemengen mit Luzerne 33/67%, und 50/50% signifikant höhere TM-Erträge als die Luzerne in Reinsaat (2,9 dt/ha) und als alle Gemeindevarianten der Luzerne mit Wiesenschwingel. Die Werte der Luzerne-Wiesenschwingel-Gemeinde lagen unter 8 dt/ha, während sich der TM-Ertrag des Wiesenschwingels in Reinsaat mit 12,8 dt/ha von den Spitzwegerich-Erträgen nicht signifikant unterschied (Abbildung 55).

Abbildung 55 zeigt die Summe der TM-Erträge aus den 3. Schnitt-Terminen, die im Jahr 2021 auf VF II erfolgten. Aufgrund der großen Ertragsunterschiede wurden verschiedene Skalierungen für die y-Achsen für A. und B. Diagramme unter Abbildung 55 gewählt. Bei einer Skalierung von 90 dt/ha in A. war es nicht möglich die Ertragsunterschiede zwischen den Schnitten zu sehen.

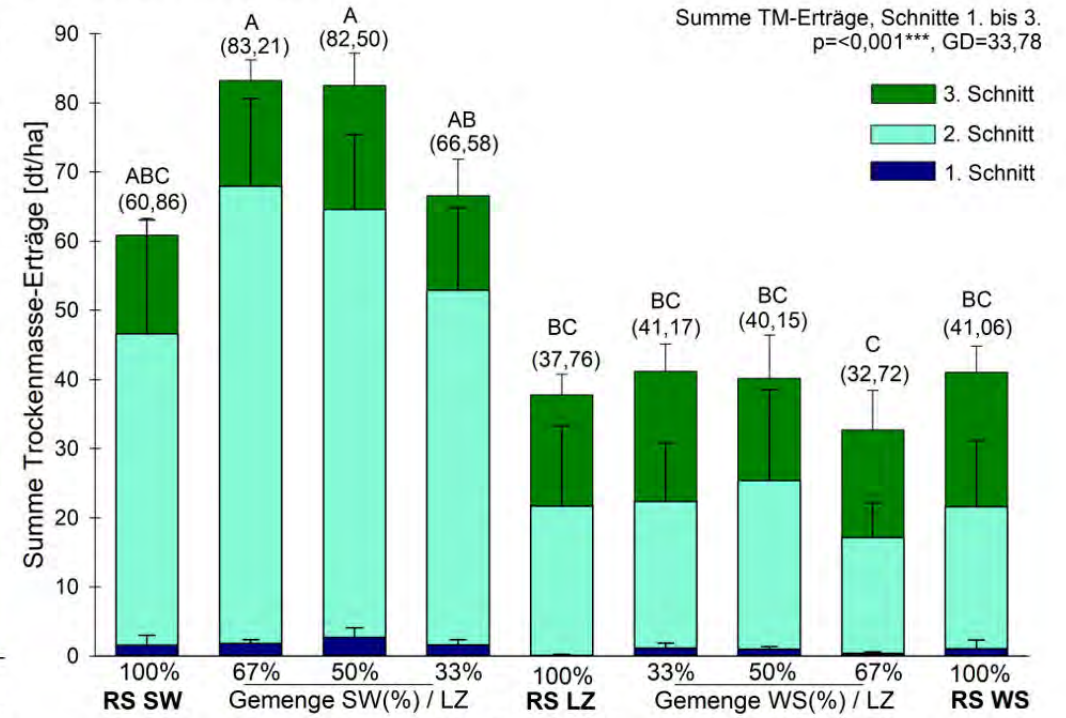
In Versuchsanlage I wurde beim 1. Schnitt sehr wenig Biomasse ermittelt (siehe Tabelle 14), die unter Abbildung 55 in Blau dargestellt wurde. Der Großteil des summierten Ertrags wurde durch den 3. Schnitt im frühen Herbst 2019 akkumuliert, wobei der Spitzwegerich mit Saatstärken 100%, 67% und 50% signifikant höhere Mittelwerte aufwies. Die systematische Untersuchung zeigte außerdem, dass die Ertragssumme der Luzerne in Reinsaat (lediglich 2,9 dt/ha) im Vergleich zu dem Wiesenschwingel in Reinsaat ebenfalls signifikant niedriger war. Mit einer Summe von 12,3 dt/ha unterschied sich der Wiesenschwingel in Reinsaat allerdings nicht von den Summenerträgen des Spitzwegerichs in den Saatstärken 100%, 67%, 50% und 33%.

Ende Mai zum 1. Schnitt waren die Erträge in allen Varianten unter 4 dt/ha, wobei die Luzerne in Reinsaat mit 0,1 dt/ha im Diagramm kaum zu erkennen ist (Abbildung 55). Zwei Monate später zum 2. Schnitt wurde ein hoher Sprung der TM-Erträge bei allen Varianten beobachtet. Besonders hoch fiel der TM-Ertrag in den Gemengen mit Spitzwegerich aus. Luzerne und Spitzwegerich 33/67% erbrachten 66,2 dt/ha, während 50/50% mit 61,9 dt/ha knapp dahinter lag. In der Variante 67/33% wurde ein Schnittgutertrag in Höhe von 51,3 dt/ha erreicht. Das Gemeinde aus Luzerne und Wiesenschwingel (33/67%) hatte mit 16,8 dt/ha einen geringeren Ertrag als die Luzerne in Reinsaat (21,6 dt/ha). Zum 3. Schnitt fielen die TM-Erträge des Spitzwegerichs geringer aus, während Luzerne und Wiesenschwingel in Reinsaat und im Gemeinde ein ähnliches Ertragsniveau wie beim 2. Schnitt aufwiesen (Abbildung 55). Die Summe der TM-Erträge über drei Schnitte zeigte signifikant höhere Werte bei den Gemeindevarianten Luzerne/Spitzwegerich 33/67% (83,2 dt/ha) und 50/50% (82,5 dt/ha). Im Hinblick auf die Ergebnisse in Tabelle 15, kann geschlossen werden, dass Spitzwegerich mit Anteilen zwischen 84% und 97% im Gemeinde die höchsten TM-Erträge gebildet hat. Des Weiteren wird geschlossen, dass der Spitzwegerich in beiden Versuchsanlagen ertragsreicher im Vergleich zu der Luzerne und zum Wiesenschwingel sowie deren Gemeinde war. Obwohl die Witterungsbedingungen in beiden Versuchsanlagen sehr unterschiedlich waren, wurden die TM-Erträge durch den Spitzwegerich sowohl unter trockenen Bedingungen (2019), als auch unter höheren Niederschlagssummen (2021) verdoppelt. Dembek et al. (2014) beobachteten die Auswirkungen des Spitzwegerichs auf den Ertrag und die Qualität der Grasnarbe im Grünland zwischen 2006 und 2011. Dabei stellten Dembek et al. (2014) fest, dass der Spitzwegerich die höchsten Grünlanderträge im Vergleich zu den anderen untersuchten Arten unter trockenen Witterungsbedingungen brachte.

A. Versuchsanlage 2019



B. Versuchsanlage 2021



Einfaktorielle Auswertung, Mittelwert±Standardabweichung
RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

Abbildung 55. Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] der Reinsaaten (100%) und der Gemeingevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) aus drei Schnitten in A. 2019 und B. 2021. Die Daten sind Mittelwerte ± Standardabweichung aus vier Wiederholungen pro Variante und Jahr. Großbuchstaben zeigen mit *Tukey-HSD* an. *** Signifikanz bei p < 0,01 und 0,001. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz.

In Tabelle 16 sind die prozentualen Anteile der Luzerne, des Spitzwegerichs, des Wiesenschwingels und der Unkrautbiomasse zu sehen. Da es zum 2. Schnitt-Termin in Versuchsanlage 2019 keine TM-Erträge gab, sind die Anteile mit 0 gekennzeichnet. Die Auswertung erfolgte einfaktoriell für jede Komponente aus der gesamten Biomasse, die pro Variante ermittelt wurde. Da der Anteil an Unkraut vor allem zum 1. Schnitt-Termin in beiden Versuchsjahren sehr hoch war, wurde auf einen Vergleich von allen Komponenten gleichzeitig verzichtet. Tabelle 16 zeigt jedoch eindeutig wie die Versuchsvarianten die Unkraut-TM im Laufe der Schnitt-Termine beeinflusst haben. Zum 1. Schnitt-Termin in 2019 betrug der Anteil an Unkraut im Durchschnitt 95% bis 99% des gesamten TM-Ertrages. Die Hauptkomponente im Unkraut war der Klatschmohn (siehe Abbildung 22), der zum 1. Schnitt-Termin in der Vollblüte war (Abbildung 5). Besonders stark betroffen war die Luzerne, die sehr geringe Anteile aufwies. Die Luzerne in Reinsaat zeigte den signifikant höchsten Anteil (0,69%) im Vergleich zu den anderen Luzerneanteilen in Gemengen. Sowohl im Gemenge mit Spitzwegerich, als auch mit Wiesenschwingel in Saatstärke 50%, verzeichnete die Luzerne Anteile von 0,012 und 0,011%. Alle anderen Gemengevarianten blieben unter 0,010%. Höhere Anteile in Reinsaat und im Gemenge mit Luzerne wurden beim Spitzwegerich beobachtet, der im Vergleich zu der Luzerne und dem Wiesenschwingel eine leicht höhere Konkurrenzkraft gegenüber dem Unkraut hatte. Im 50%-Gemenge mit Luzerne betrug der Anteil des Spitzwegerichs 3,87 %, welcher gleichzeitig der höchste Wert seitens der Kulturpflanzenkomponenten war. Die Mittelwertdifferenzen waren aufgrund zwei Ausreißern in der Reinsaatvariante nicht signifikant verschieden. In der Reinsaat Wiesenschwingel traten ebenfalls zwei große Ausreißer auf, weshalb der p-Wert nicht signifikant ausfiel. Die Anteile an Unkraut übertrafen nicht nur alle Kulturpflanzenkomponenten, sondern es fielen ebenfalls systematische Mittelwertdifferenzen zwischen den Versuchsvarianten auf. Mit 99,3% führte der Anteil an Unkraut in der Reinsaat von der Luzerne. Das Unkraut im Gemenge Luzerne/Spitzwegerich 50/50% hatte mit 95,5% den signifikant niedrigsten Anteil verglichen mit den anderen Unkrautmittelwerten. Zum 3. Schnitt-Termin lagen keine Daten zu Unkraut-TM vor, weshalb keine Analyse und Darstellung erfolgen konnten (Tabelle 16).

Die Ergebnisse aus Versuchsjahr 2019 wurden erneut in 2021 beobachtet. Es traten jedoch keine systematischen Unterschiede zwischen den Mittelwerten auf (Tabelle 16). Zum 2. Schnitt-Termin im Juli sanken die Unkrautanteile in der Anwesenheit von Spitzwegerich drastisch. Insgesamt sanken die Anteile an Unkraut-TM im Durchschnitt um 97,6% in jeder Variante, die Spitzwegerichpflanzen enthielt. Der Spitzwegerich unterdrückte jedoch nicht nur das Unkraut extrem stark, sondern auch die Luzerne als Gemengepartner. Während die Luzerne in Reinsaat 53,6% Anteil registrierte, fielen die Anteile der Luzerne im Gemenge mit Spitzwegerich unter 0,2%. Mit dem Wiesenschwingel war der Anteil von der Luzerne höher (15,7 bis 38%), jedoch war der Anteil an Unkraut ebenfalls höher (19,7 bis 29,3%). Der Anteil an Wiesenschwingel erhöhte sich ebenfalls eindeutig seit dem vorherigen Schnitt, vor allem in der Reinsaat, mit einem Zuwachs von durchschnittlich 97,8% im Vergleich zum 1. Schnitt-Termin.

Die Konkurrenzkraft des Spitzwegerichs (>99%) unterdrückte sowohl die Luzerne im Gemenge, als auch das Unkraut weiterhin zum 3. Schnitt-Termin sehr stark. Während die Reinsaat 96,1% Luzerne enthielt, gab es weniger als 0,1% Luzerneanteile unter Gemengen mit dem Spitzwegerich. Aus diesem Grund zeigte die Analyse hoch signifikante Mittelwertdifferenzen auf (Tabelle 16). Des Weiteren sanken die Anteile in den Gemengen mit Wiesenschwingel und lagen im Durchschnitt zwischen 2,2 und 5,6 %.

Tabelle 16. Anteil [%] an Luzerne (LZ), Spitzwegerich (SW), Wiesenschwingel (WS) und Unkraut. TM-Ertrag der Reinsaat/Gemengepartner + Unkraut = 100% in 2019 und 2021. Die Daten sind Mittelwerte aus vier Wiederholungen pro Variante, Schnitt und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte mit Tukey-HSD an. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei $p < 0,01$. *** Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS- Saatstärke.

Jahr	Schnitt/Statistik	Variante	SaatS [%]	Anteile [%]			
				LZ	SW	WS	Unkraut
2019	1. Schnitt (Juni)	Reinsaaten	100	0,69 ^a	-	-	99,31 ^a
				-	3,07	-	96,93 ^{ab}
				-	-	2,28	97,72 ^{ab}
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	0,006 ^b	2,48	-	97,34 ^{ab}
			50/50	0,012 ^b	3,87	-	95,52 ^b
			67/33	0,006 ^b	1,96	-	97,56 ^{ab}
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	0,009 ^b	-	1,36	97,77 ^{ab}
			50/50	0,011 ^b	-	1,29	97,63 ^{ab}
			67/33	0,008 ^b	-	0,88	98,33 ^{ab}
	Tukey-HSD		p-Wert	< 0,0001***	0,76^{ns}	0,19^{ns}	0,05
	2. Schnitt (Juni) 3. Schnitt (Oktober)	Reinsaaten	100	0	-	-	0
				-	0	-	0
				-	-	0	0
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	0	0	-	0
			50/50	0	0	-	0
			67/33	0	0	-	0
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	0	-	0	0
50/50			0	-	0	0	
67/33			0	-	0	0	
2021	1. Schnitt (Mai)	Reinsaaten	100	0,26	-	-	99,74
				-	3,04	-	96,96
				-	-	1,86	98,14
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	0,009	1,68	-	97,83
			50/50	0,004	4,26	-	96,61
			67/33	0,003	3,08	-	97,43
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	1,06	-	0,36	98,85
			50/50	0,53	-	1,39	98,56
			67/33	0,070	-	1,56	98,37
	Tukey-HSD		p-Wert	0,11^{ns}	0,78^{ns}	0,37^{ns}	0,40^{ns}
	2. Schnitt (Juli)	Reinsaaten	100	53,59 ^a	-	-	46,41 ^a
				-	97,44 ^a	-	2,56 ^b
				-	-	84,38 ^a	15,62 ^{ab}
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	0,016 ^c	95,66 ^a	-	2,75 ^b
			50/50	0,056 ^c	95,26 ^a	-	1,32 ^b
			67/33	0,138 ^c	81,95 ^b	-	2,87 ^b
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	15,71 ^{bc}	-	59,05 ^{ab}	23,23 ^{ab}
50/50			22,05 ^{ab}	-	59,48 ^{ab}	19,77 ^{ab}	
67/33			37,97 ^{ab}	-	32,72 ^b	29,31 ^{ab}	
Tukey-HSD		p-Wert	< 0,0001***	0,001***	0,002**	0,003**	
3. Schnitt (September)	Reinsaaten	100	96,08 ^a	-	-	3,92	
			-	99,51	-	0,49	
			-	-	98,78	1,22	
	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	0,008 ^b	99,49	-	0,51	
		50/50	0,044 ^b	99,20	-	0,75	
		67/33	0,066 ^b	99,76	-	0,17	
	Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	2,18 ^b	-	95,12	2,70	
		50/50	4,42 ^b	-	85,14	10,44	
		67/33	5,58 ^b	-	92,46	1,96	
Tukey-HSD		p-Wert	< 0,0001***	0,17^{ns}	0,19^{ns}	0,09^{ns}	

In Tabelle 17 wurde die N-Konzentration der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingsels einzeln aufgeführt und analysiert. Signifikanzen traten in der N-Konzentration der Stoppelmasse in beiden Versuchsanlagen auf, wobei die Luzerne die höchsten N-Konzentrationen in allen Varianten lieferte. Dabei wurde der höchste Wert (4%) im Gemenge der Luzerne mit Wiesenschwingel 67/33% ermittelt, der gegenüber den Gemengen mit Spitzwegerich sowie gegenüber allen anderen Werten signifikant höher ausfiel. Als die Luzerne im Gemenge mit Spitzwegerich anwesend war, zeigten die Stoppeln des Spitzwegerichs leicht erhöhte Werte gegenüber Spitzwegerich in Reinsaat (Tabelle 17). Es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Die N-Konzentration des Wiesenschwingsels war in Kombination mit Luzerne, ähnlich wie bei Spitzwegerich, etwas höher im Vergleich zum Wiesenschwingel in Reinsaat. Die Werte unterschieden sich jedoch weder untereinander, noch gegenüber dem Spitzwegerich signifikant. Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus 2019, zeigten die Luzerne und der Spitzwegerich deutlich niedrigere N-Gehalte in 2021 auf. Signifikant höhere N-Gehalte wurden in der Luzernestoppelmasse in den Gemengen mit Wiesenschwingel in Saatstärken 33/67% und 50/50% sowie im 33%-Gemenge mit Spitzwegerich ermittelt. Die geringste N-Konzentration lag bei 33%-Spitzwegerich, gefolgt von 0,88% in der Reinsaat-Variante des Spitzwegerichs. Der N-Gehalt vom Wiesenschwingel war am höchsten im 50%-Gemenge mit Luzerne, unterschied sich jedoch nicht signifikant von den Luzernemittelwerten.

Tabelle 17. N-Konzentration [%] in der Stoppelmasse aus Reinsaaten und Gemengen der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingsels in 2019 und 2021. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz der drei Spalten LZ, SW, WS mit *Tukey-HSD* an. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei $p < 0,01$. *** Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS- Saatstärke. LZ-Luzerne, SW – Spitzwegerich, WS – Wiesenschwingel.

Jahr	Schnitt/ Statistik	Variante	SaatS [%]	N-Konzentration [%]		
				LZ	SW	WS
2019	Stoppelmasse (Oktober)	Reinsaaten	100	3,73 ^{ab}	-	-
				-	1,87 ^c	-
				-	-	1,99 ^c
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	3,25 ^b	2,29 ^c	-
			50/50	3,36 ^b	2,24 ^c	-
			67/33	3,38 ^b	2,57 ^c	-
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	3,76 ^{ab}	-	2,41 ^c
			50/50	3,75 ^{ab}	-	2,24 ^c
			67/33	4,04 ^a	-	2,43 ^c
		Tukey-HSD		p-Wert	< 0,0001***	
2021	Stoppelmasse (Oktober)	Reinsaaten	100	1,96 ^{abcde}	-	-
				-	0,88 ^{de}	-
				-	-	2,12 ^{abcd}
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	2,53 ^a	1,19 ^{bcde}	-
			50/50	1,22 ^{bcde}	0,98 ^{cde}	-
			67/33	2,17 ^{abc}	0,76 ^e	-
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	2,57 ^a	-	2,07 ^{abcd}
			50/50	2,58 ^a	-	2,42 ^{ab}
			67/33	1,81 ^{abcde}	-	2,14 ^{abcd}
		Tukey-HSD		p-Wert	< 0,0001***	

In Tabelle 18 wurde das C/N-Verhältnis der Luzerne-, Spitzwegerich- und Wiesenschwingelbiomasse einzeln aufgeführt und analysiert. In 2019 konnten keine Unterschiede statistisch gesichert werden, allerdings war der p-Wert mit 0,06 tendenziell signifikant. Das engste C/N-Verhältnis wurde in der Biomasse der Luzerne im Wiesenschwingel-Gemenge 67/33% ermittelt. Mit 10,6 lag dieser Mittelwert unter dem Mittelwert der Luzerne in Reinsaat – 11,2. Die weitesten C/N-Verhältniswerte wurden im Pflanzenmaterial des Spitzwegerichs (25,9) und des Wiesenschwingels (26,1) mit 100% Saatstärke beobachtet. Im Gemenge mit Luzerne war das C/N-Verhältnis wesentlich enger und variierte bei Spitzwegerich zwischen 15,1 und 17,7 und zwischen 17,1 und 18,3 bei Wiesenschwingel. Der Spitzwegerich im Gemenge hatte eine niedrigere C-Konzentration (im Mittel zwischen 38,7% und 39,5%), während die C-Konzentration in Reinsaat im Durchschnitt 41% betrug. In der darauffolgenden Versuchsanlage blieb zwar grob die Tendenz für weiteres C/N-Verhältnis in den Reinsaat, aber es traten andere Dimensionen auf – Spitzwegerich 100% wies ein C/N Verhältnis von 51,2 und Luzerne – 23 im Mittel auf, die im Vergleich zu 2019 doppelt so hoch waren. Besonders auffällig dabei waren die weiten C/N-Verhältnisse der Luzerne (42,2) und des Spitzwegerichs (46,6). In dieser Variante zeigte die Luzerne die niedrigste N-Konzentration (Tabelle 17).

Tabelle 18. C/N-Verhältnis [%] der Stoppelbiomasse aus Reinsaat und Gemengen von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel in den Feldversuchen 2019 und 2021. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der drei Spalten LZ, SW, WS mit Tukey-HSD an. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei p < 0,01. *** Signifikanz bei p < 0,01 und 0,001. SaatS – Saatstärke, LZ-Luzerne, SW – Spitzwegerich, WS – Wiesenschwingel.

Jahr	Schnitt/Statistik	Variante	SaatS [%]	C/N-Verhältnis		
				LZ	SW	WS
2019	Stoppelmasse (Oktober)	Reinsaat	100	11,23	-	-
				-	25,90	-
				-	-	26,13
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	12,28	16,89	-
			50/50	12,32	17,69	-
			67/33	12,23	15,15	-
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	11,08	-	17,18
			50/50	11,53	-	18,30
			67/33	10,59	-	17,12
	Tukey-HSD	p-Wert			0,06^{ns}	
2021	Stoppelmasse (Oktober)	Reinsaat	100	22,97 ^{bcd}	-	-
				-	51,18 ^a	-
				-	-	20,31 ^{cd}
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	17,40 ^d	45,23 ^{abc}	-
			50/50	42,21 ^{abcd}	46,56 ^{ab}	-
			67/33	21,92 ^{bcd}	59,78 ^a	-
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	17,32 ^d	-	20,07 ^{cd}
			50/50	22,93 ^{bcd}	-	17,14 ^d
			67/33	24,81 ^{bcd}	-	18,80 ^d
	Tukey-HSD	p-Wert			< 0,0001^{***}	

Die mehijährige Analyse der N-Konzentration und des C/N-Verhältnisses in der Stoppelbiomasse der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingels ergab hochsignifikante Unterschiede der Jahres- und Variantenmittelwerte sowie hochsignifikante Wechselwirkungen von Jahr x Variante (Tabelle 19). Die Signifikanz zwischen den Versuchsjahren lässt sich mit der großen Differenz in der N-Konzentration erklären (Tabelle 17). Im Jahr 2021 wurde im Mittel 44% weniger %N bei allen Varianten ermittelt. Durch die größere Mittelwertdifferenz der beiden Jahre und Varianten ergab die Analyse signifikante Interaktionen (J x V). Analog zur N-Konzentration lassen sich auch die signifikanten Wechselwirkungen bei der Analyse von dem C/N-Verhältnis begründen.

Der niedrigste N-Gehalt betrug 1,4% und wurde in der Stoppelmasse des Spitzwegerichs in Reinsaat ermittelt. Somit waren alle N-Gehalte der Luzerne und des Wiesenschwingels signifikant höher. Die Luzerne in Gemengen mit Wiesenschwingel zeigte die höchsten N-Gehalte von allen Luzerneproben, wobei die Gemenge 33% und 50% mit 3,2 % den gleichen und zugleich den höchsten Mittelwert registrierten. Der Wiesenschwingel in Reinsaat hatte über beide Versuchsanlagen den niedrigsten Wert, unterschied sich jedoch nicht signifikant innerhalb der Wiesenschwingelproben.

Im zweijährigen Durchschnitt ist das C/N-Verhältnis des Spitzwegerichs in Reinsaat am weitestens, wie aus Tabelle 19 hervorgeht. In der Anwesenheit von Spitzwegerich 50%, zeigte die Luzerne das weiteste C/N-Verhältnis von allen Kombinationen, weshalb davon auszugehen ist, dass der Spitzwegerich die N-Konzentration der Luzerne in dieser Variante stark beeinflusst hat.

Tabelle 19. N-Konzentration [%] und C/N-Verhältnis in der Stoppelmasse aus Reinsaaten und Gemenge der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingels in 2019 und 2021. Ergebnisse der mehijährigen Analyse. J - Jahr, V – Variante, J x V – Jahr x Variante ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei p < 0,01. *** Signifikanz bei p < 0,01 und 0,001. SaatS- Saatstärke, LZ-Luzerne, SW- Spitzwegerich, WS-Wiesenschwingel.

Variante	SaatS [%]	N-Konzentration [%]			C/N-Verhältnis		
		LZ	SW	WS	LZ	SW	WS
Reinsaaten	100	2,84 ^{abcd}	-	-	17,10 ^{cd}	-	-
		-	1,37 ^h	-	-	38,54 ^a	-
		-	-	2,06 ^{efg}	-	-	23,22 ^{bcd}
Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	2,89 ^{abc}	1,74 ^{efgh}	-	14,84 ^d	31,06 ^{ab}	-
	50/50	2,29 ^{cde}	1,61 ^{gh}	-	27,27 ^{abc}	32,12 ^{ab}	-
	67/33	2,77 ^{abcd}	1,66 ^{gh}	-	17,07 ^{cd}	37,47 ^a	-
Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	3,17 ^a	-	2,24 ^{def}	14,20 ^d	-	18,63 ^{cd}
	50/50	3,17 ^a	-	2,33 ^{bcde}	17,23 ^{cd}	-	17,72 ^{cd}
	67/33	2,92 ^{ab}	-	2,29 ^{cde}	17,70 ^{cd}	-	17,97 ^{cd}
2019 x 2021		J *** V *** J x V ***			J *** V *** J x V ***		

Aus Tabelle 20 geht hervor, dass unter Spitzwegerich in Saatstärke 100% sowie in den Gemengen 67% und 50% mit Luzerne, der höchste TM-Stoppelertrag in 2019 ermittelt wurde. Demzufolge waren die Summen der Stoppelbiomasse am höchsten mit Spitzwegerich im Bestand. Die niedrigsten Werte zeigte

erneut die Luzerne sowohl in Reinsaat, als auch im Gemenge mit dem Spitzwegerich und dem Wiesenschwingel.

In 2021 waren die TM-Erträge aus den Stoppeln des Spitzwegerichs geringer. Die Ergebnisse in Tabelle 20 widerspiegeln die Tendenzen aus Tabelle 14 und Abbildung 55.

Tabelle 20. TM-Ertrag [dt/ha] der Stoppeln aus Reinsaaten und Gemenge der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingels in 2019 und 2021. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb (1) der drei Spalten LZ, SW und WS (2) der Spalte Summe mit *Tukey-HSD* an. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei $p < 0,01$. *** Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS- Saatstärke. LZ-Luzerne, SW – Spitzwegerich, WS – Wiesenschwingel.

Jahr	Schnitt/ Statistik	Variante	SaatS [%]	TM-Ertrag [dt/ha]			
				LZ	SW	WS	Summe
2019	Stoppelmasse (Oktober)	Reinsaaten	100	2,78 ^{cdef}	-	-	2,78 ^c
				-	16,11 ^a	-	16,11 ^a
				-	-	11,86 ^{ab}	11,86 ^{ab}
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	0,21 ^{ef}	15,31 ^a	-	15,42 ^a
			50/50	0,32 ^{ef}	16,69 ^a	-	17,01 ^a
			67/33	0,19 ^{ef}	11,01 ^{ab}	-	11,19 ^{ab}
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	0,15 ^{ef}	-	6,98 ^{bc}	7,13 ^{bc}
			50/50	0,81 ^{def}	-	6,41 ^{bc}	7,08 ^{bc}
			67/33	0,79 ^{def}	-	6,05 ^{bcde}	6,84 ^{bc}
	Tukey-HSD	p-Wert			< 0,0001***		
2021	Stoppelmasse (Oktober)	Reinsaaten	100	3,44 ^{ab}	-	-	3,44 ^{abc}
				-	3,94 ^a	-	3,94 ^{abc}
				-	-	2,44 ^{abc}	2,44 ^{abc}
		Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	2,44 ^{abc}	3,91 ^a	-	4,52 ^a
			50/50	0,50 ^{de}	3,68 ^{ab}	-	4,05 ^{ab}
			67/33	0,93 ^{cde}	2,84 ^{abc}	-	3,54 ^{abc}
		Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	0,46 ^{de}	-	1,90 ^{abcde}	2,13 ^{bc}
			50/50	0,76 ^{cde}	-	1,33 ^{cde}	1,93 ^c
			67/33	0,28 ^e	-	1,69 ^{bcde}	1,89 ^c
	Tukey-HSD	p-Wert			< 0,0001***		

In Tabelle 21 sind die N-Erträge aus der Stoppelmasse der einzelnen Versuchsanlagen zu sehen. Die N-Erträge der Luzerne im Gemenge mit Spitzwegerich und Wiesenschwingel waren wesentlich geringer als der N-Ertrag der Reinsaat (10,6 kg N/ha), wobei die Mittelwerte der Luzerne im Gemenge mit Spitzwegerich 33/67% (35,2 kg N/ha) und 50/50% (37,4 kg N/ha) am höchsten waren. Im Gemenge mit Luzerne zeigte der Wiesenschwingel verminderte N-Erträge (zwischen 6,8 und 7,1 kg N/ha), die jedoch nicht signifikant gegenüber der Reinsaat mit 11,9 kg N/ha ausfielen. Bei geringerer Stoppelbiomasse in 2021 (Tabelle 20) waren die N-Erträge entsprechend niedriger für den Spitzwegerich und den Wiesenschwingel (Tabelle 21). Die Luzerne mit Spitzwegerich in der Saatstärke 33/67% registrierte mit

2,4 kg N/ha den höchsten N-Ertrag von allen Luzernevarianten, die zusammen mit dem N-Ertrag vom Spitzwegerich (3,9 kg N/ha) die höchste Summe zeigte. Die Summe der N-Erträge in Versuchsanlage II war mit einem p-Wert von 0,07 tendenziell signifikant. Die mehrjährige Analyse in Tabelle 22 ergab, ähnlich wie in Tabelle 19, hochsignifikante Wechselwirkungen für Variante und Jahr. Analog zu Tabelle 19 war auch in Tabelle 22 die Differenz der Jahresmittelwerte sehr groß, was zu hochsignifikanten Interaktionen führte. Im Mittel schrumpften die Stoppelbiomasse und der N-Ertrag in 2021 um 78% im Vergleich zu 2019. Die Tendenzen, die bei Tabelle 20 und Tabelle 21 beschrieben sind, widerspiegeln die Jahresanalyse in Tabelle 22, wo der Spitzwegerich die höchste Stoppel-TM und N-Erträge gegenüber der Luzerne und des Wiesenschwingels aufwies.

Tabelle 21. N-Ertrag [kg N/ha] der Stoppeln aus Reinsaaten und Gemenge der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingels im Oktober in 2019 und 2021 Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb (1) der drei Spalten LZ, SW und WS (2) der Spalte Summe mit *Tukey-HSD* an. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei $p < 0,01$. *** Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS- Saatstärke, RS – Reinsaat, LZ-Luzerne, SW – Spitzwegerich, WS – Wiesenschwingel.

Jahr	Schnitt/ Statistik	Variante	SaatS [%]	N-Ertrag [kg N/ha]			
				LZ	SW	WS	Summe
2019	Stoppel-masse (Oktober)	RS	100	10,60 ^{efg}	-	-	10,60 ^d
				-	30,69 ^{ab}	-	30,69 ^{abc}
				-	-	22,94 ^{abcd}	22,94 ^{abcd}
		LZ/SW	33/67	0,67 ^{fg}	35,16 ^a	-	36,17 ^{ab}
			50/50	1,09 ^{fg}	37,43 ^a	-	39,61 ^a
			67/33	0,63 ^{fg}	28,09 ^{abc}	-	29,36 ^{abcd}
		LZ/WS	33/67	0,56 ^g	-	16,90 ^{bdef}	18,01 ^{bcd}
			50/50	3,04 ^{fg}	-	14,29 ^{defg}	19,61 ^{cd}
			67/33	3,18 ^{fg}	-	14,87 ^{bdefg}	21,24 ^{bcd}
		Tukey-HSD	<i>p</i> -Wert	< 0,0001***			
2021	Stoppel-masse (Oktober)	RS	100	6,72 ^a	-	-	6,72
				-	3,45 ^{abc}	-	3,45
				-	-	5,04 ^{ab}	5,04
		LZ/SW	33/67	6,17 ^a	4,78 ^{ab}	-	10,95
			50/50	0,48 ^c	3,38 ^{abc}	-	3,86
			67/33	2,07 ^{bc}	2,11 ^{bc}	-	4,17
		LZ/WS	33/67	1,20 ^{bc}	-	3,96 ^{abc}	5,76
			50/50	2,11 ^{bc}	-	3,21 ^{abc}	4,66
			67/33	0,52 ^c	-	3,62 ^{abc}	4,15
		Tukey-HSD	<i>p</i> -Wert	< 0,0001***			

Tabelle 22. TM-Ertrag [dt/ha] und N-Ertrag [kg N/ha] der Stoppelmasse aus Reinsaaten und Gemenge der Luzerne, des Spitzwegerichs und des Wiesenschwingels in 2019 und 2021. Ergebnisse der mehrjährigen Analyse. J - Jahr, V – Variante, J x V – Jahr x Variante ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei $p < 0,01$. *** Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS- Saatstärke, LZ-Luzerne, SW- Spitzwegerich, WS-Wiesenschwingel.

Variante	SaatS [%]	TM-Ertrag [dt/ha]				N-Ertrag [kg N/ha]			
		LZ	SW	WS	Summe	LZ	SW	WS	Summe
Reinsaaten	100	3,11 ^{def}	-	-	3,11 ^e	8,66 ^{cdef}	-	-	3,11 ^a
		-	10,03 ^a	-	10,03 ^{abc}	-	17,07 ^{ab}	-	10,03 ^d
		-	-	7,15 ^b	7,15 ^{cd}	-	-	13,99 ^{abc}	7,15 ^{de}
Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	1,33 ^{efg}	9,61 ^{ab}	-	10,94 ^a	3,42 ^{dg}	19,97 ^a	-	23,39 ^a
	50/50	0,41 ^g	10,19 ^a	-	10,59 ^{ab}	0,79 ^g	20,41 ^a	-	21,19 ^{ab}
	67/33	0,56 ^{fg}	6,92 ^{bc}	-	7,48 ^{bcd}	1,35 ^{fg}	15,10 ^{abc}	-	16,45 ^{bc}
Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	0,30 ^g	-	4,44 ^{cd}	4,74 ^{de}	0,88 ^g	-	10,43 ^{bcd}	11,31 ^{cd}
	50/50	0,81 ^{fg}	-	3,87 ^{de}	4,68 ^{de}	2,58 ^{eg}	-	8,75 ^{cde}	11,32 ^{cd}
	67/33	0,53 ^{fg}	-	3,87 ^{de}	4,40 ^{de}	1,85 ^{efg}	-	9,25 ^{cde}	11,10 ^{cd}
2019 x 2021		J *** V *** J x V ***			J *** V *** J x V ***	J *** V *** J x V ***			J *** V *** J x V ***

4.2.3.2 Akkumulation von mineralischem Stickstoff im Boden (N_{\min})

Zum 1. Schnitt-Termin im Jahr 2019 wurden bereits erste Unterschiede in der N_{\min} Zusammensetzung beobachtet (Abbildung 56). Der Spitzwegerich in Reinsaat zeigte mit 3,7 kg/ha den höchsten NH_4 -N-Vorrat, jedoch konnte kein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Besonders hoch fiel der Wert in Block drei der Versuchsanlage mit 6,6 kg NH_4 -N/ha als Ausreißer auf. Der TM-Ertrag vom Spitzwegerich war mit 1,4 dt/ha in dieser Wiederholung ebenfalls am höchsten. In diesem Block war zum Aussaat-Termin kein NH_4 -N zu finden, dafür jedoch der höchste NO_3^- -N-Vorrat im Boden aller Blöcke (9,0 kg/ha). Die Gemenge-Varianten der Luzerne waren sehr stark verunkrautet, jedoch zeigte die Anwesenheit von Luzerne auch in geringen Mengen (siehe Abbildung 56) erste signifikante Wirkungen auf den NO_3^- -N-Vorrat in 0 bis 30 cm in Reinsaat und mit 67% Anteil im Gemenge mit Spitzwegerich. Der signifikant niedrigste NO_3^- -N-Vorrat mit 4,7 kg/ha wurde im Gemenge von 50% Luzerne Wiesenschwingel ermittelt (Abbildung 56). In der 4. Wiederholung von den Gemengen 50/50% und 33/67% der Luzerne und des Wiesenschwingels, sowie in der Wiesenschwingel Reinsaat, war der NH_4^+ -N Vorrat zur Aussaat in 0 bis 30 cm besonders hoch (5,2 kg/ha).

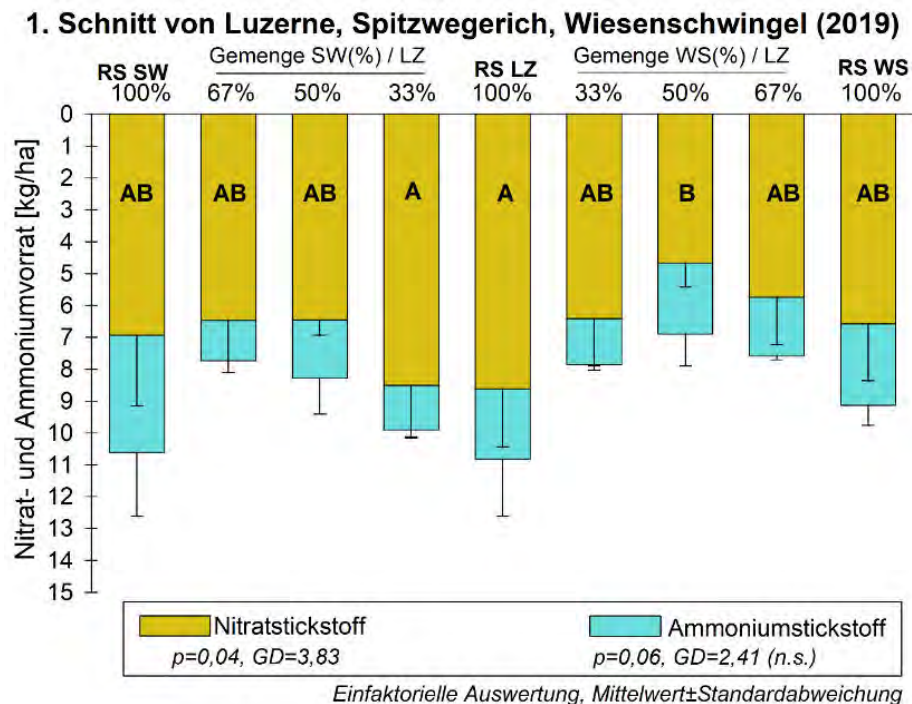


Abbildung 56. Vorrat an Nitrat- und Ammonium [kg/ha] in 0 bis 30 cm Bodentiefe zum 1. Schnitt-Termin Versuchsanlage I (27.06.2019). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert \pm Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

In Abbildung 57 sind die prozentuellen Anteile von NO_3^- -N und NH_4 -N am Gesamt N_{\min} -Wert dargestellt. Die Analyse der Mittelwerte ergab, dass der signifikant niedrigste NO_3^- -N-Anteil (65,9%) in der Reinsaat vom Spitzwegerich vorlag. Die Luzerne und der Spitzwegerich im Gemenge 33/67% zeigten mit 85,6% den signifikant höchsten Anteil an NO_3^- -N in 0 bis 30 cm. Umgekehrt zeigte der Spitzwegerich in Reinsaat

mit 34% den signifikant höchsten und im 33%-Gemenge mit Luzerne den signifikant niedrigsten $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil (14,4%).

1. Schnitt von Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (2019)

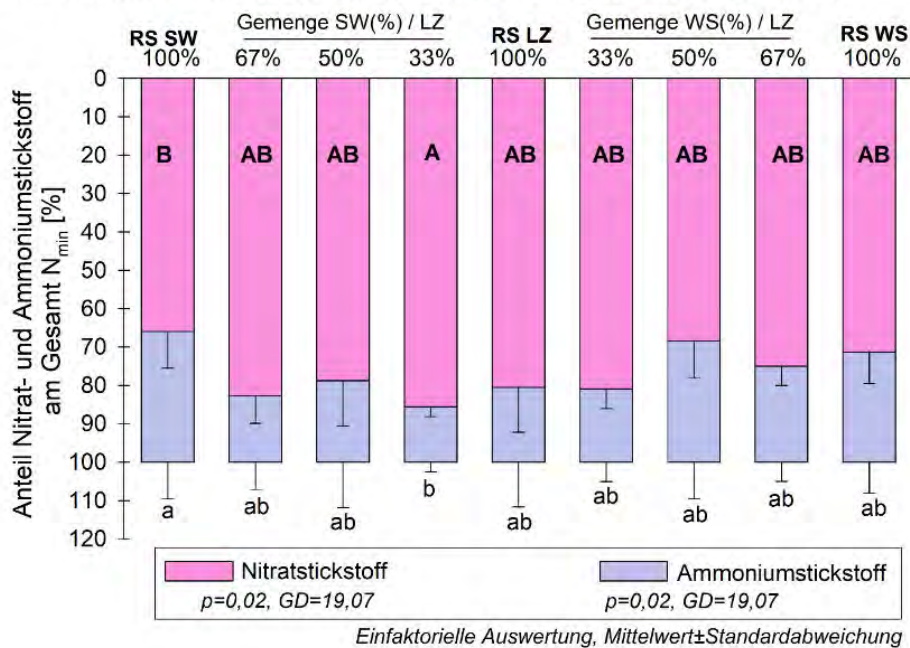


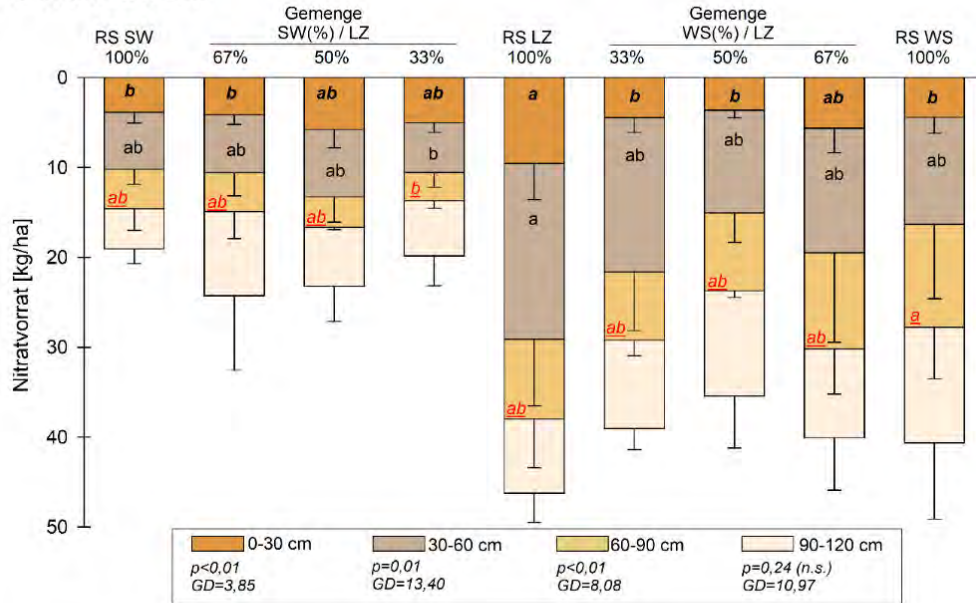
Abbildung 57. Anteil Nitrat- und Ammoniumstickstoff am N_{\min} [%] in 0 bis 30 cm Bodentiefe zum 1. Schnitt-Termin, Versuchsanlage I (27.06.2019). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

Im Jahr 2019 auf VF II fand kein 2. Schnitt wie geplant statt, weil die Versuchsfläche sehr stark verunkrautet war (siehe 1.3). Mit dem nächsten 3. Schnitt Mitte September 2019 erfolgte eine Analyse der tieferen Bodenschichten, die unter Abbildung 58 veranschaulicht wurde. Im $\text{NO}_3\text{-N}$ Vorrat ist zu sehen, dass in den Varianten, die Luzerne enthielten, eine Verlagerung von $\text{NO}_3\text{-N}$ zwischen 30 bis 60 cm Bodentiefe stattgefunden hat (Abbildung 58 [A]). Luzerne in Reinsaat zeigte mit 19,5 kg/ha den signifikant höchsten Vorrat an $\text{NO}_3\text{-N}$ in 30 bis 60 cm. Insgesamt zeigten Luzerne-Wiesenschwingel Gemenge sowie Wiesenschwingel in Reinsaat durchschnittliche $\text{NO}_3\text{-N}$ Vorräte von mehr als 10 kg/ha im Vergleich zu den Gemengen von Luzerne und Spitzwegerich, die kleiner 8 kg/ha waren. Die signifikant niedrigsten $\text{NO}_3\text{-N}$ Vorräte wurden bei Spitzwegerich 33% in 30 bis 60 cm (5,5 kg/ha) und in 60 bis 90 cm (4,4 kg/ha) ermittelt (Abbildung 58 [A]). Eine weitere Verlagerung von $\text{NO}_3\text{-N}$ war in der tiefsten untersuchten Bodenschicht, zwischen 90 bis 120 cm, zu beobachten, die allerdings aufgrund von Ausreißern in drei Varianten keine signifikanten Unterschiede aufwies. Zum 3. Schnitt-Termin im Jahr 2019 konnten in keiner Tiefenstufe signifikante Unterschiede für $\text{NH}_4\text{-N}$ ermittelt werden (Abbildung 58 [B]). In Reinsaat Luzerne sowie in den Luzerne-Wiesenschwingel Gemengen wurden in 0 bis 30 cm die höchsten $\text{NH}_4\text{-N}$ Vorräte ermittelt, die zwischen 2 und 2,4 kg/ha lagen. Die $\text{NH}_4\text{-N}$ Vorräte von den Gemengen mit Spitzwegerich und Luzerne registrierten Werte zwischen 1,3 und 1,7 kg/ha, wobei Spitzwegerich in Reinsaat den niedrigsten Wert von allen Varianten aufwies: 1,1 kg/ha.

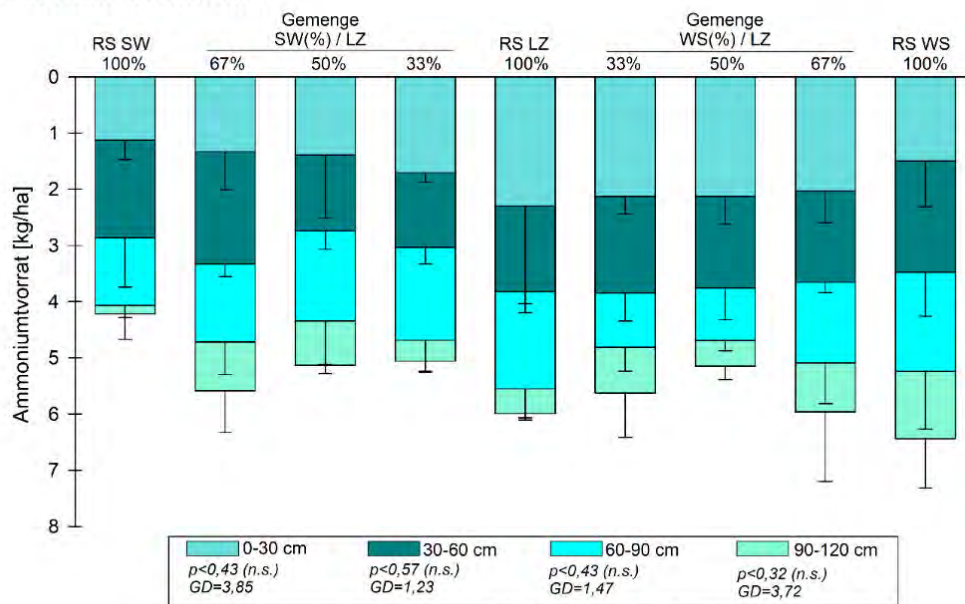
In 30 bis 60 cm stieg der NH₄-N-Vorrat im Boden unter dem Gemenge mit Spitzwegerich (67%), zeigte jedoch mit 2 kg/ha einen ähnlichen Wert wie Reinsaat Wiesenschwingel. In 60 bis 90 cm dominierte der NH₄-N-Vorrat in Reinsaat Wiesenschwingel (1,8 kg/ha) und Luzerne. In 90 bis 120 cm lag der höchste Wert bei Reinsaat Wiesenschwingel mit 1,2 kg/ha, während unter Spitzwegerich in Reinsaat den niedrigsten NH₄-N-Vorrat mit lediglich 0,2 kg/ha vorlag (Abbildung 58 [B]).

3. Schnitt von Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (2019)

A. Nitratstickstoff



B. Ammoniumstickstoff



Einfaktorielle Auswertung, Mittelwert ± Standardabweichung
RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, US-Untersaat, GD-Grenzdifferenz

Abbildung 58. Vorrat an Nitrat- und Ammonium [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe zum 3. Schnitt-Termin VF I (14.09.2019). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel

Die Darstellung der prozentualen Anteile an $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ am Gesamtvorrat an N_{min} im Boden für die einzelnen Tiefenstufen sind in der Abbildung 59 zu finden. Für 0 bis 30 cm (Abbildung 59 [A]) lagen keine signifikanten Unterschiede vor. Auffällig ist jedoch, dass die Gemenge mit 33% und 50% Wiesenschwingel den niedrigsten Anteil an $\text{NO}_3\text{-N}$ und demzufolge auch den höchsten Anteil an $\text{NH}_4\text{-N}$ aufwiesen.

Anders sieht es in der Bodenschicht zwischen 30 und 60 cm aus (Abbildung 59 [B]). Unter Spitzwegerich im 67%-Gemenge mit Luzerne lag mit 74,7% der signifikant niedrigste $\text{NO}_3\text{-N}$ und den signifikant höchsten $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil von 25,3% gegenüber Luzerne in Reinsaat und Wiesenschwingel (92,2% und 7,8%) im 33%-Gemenge (90,4% und 9,6%).

In 60 bis 90 cm lagen die Anteile an $\text{NO}_3\text{-N}$ unter Luzerne und Wiesenschwingel in Reinsaat sowie bei allen Gemenge-Varianten von Luzerne und Wiesenschwingel deutlich über den Anteilen von Spitzwegerich in Reinsaat und der Spitzwegerich-Luzerne Gemenge (Abbildung 59 [C]). Die höchsten Anteile an $\text{NO}_3\text{-N}$ wurden unter den Gemengen von Wiesenschwingel 33% (88,0%) und 50% (90,2%) mit Luzerne ermittelt. Der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil unter der Reinsaat Spitzwegerich betrug 27,5% im Unterschied zu den Gemengen mit Luzerne, die bei einem Saatanteil von Spitzwegerich mit 33%, 50% und 67% im Durchschnitt bei einem Ammonium-N-Anteil an N_{min} von 34,7%, 31,2% und 32,9% $\text{NH}_4\text{-N}$ lagen (Abbildung 59 [C]).

In 90 bis 120 cm Bodentiefe sank der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil bei allen Varianten, mit Ausnahme von des Spitzwegerich-Luzerne-Gemenges mit 67% Saatanteil. Unter dieser Variante sowie unter Luzerne-Wiesenschwingel-Gemenge mit 67% Saatanteil Wiesenschwingel lagen Ausreißer in den Datensätzen vor, weshalb an dieser Stelle die Interpretation der Ergebnisse schwierig ist. Es konnten keine signifikanten Unterschiede weder für den $\text{NH}_4\text{-N}$ - noch für $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteil ermittelt werden (Abbildung 59 [D]).

3. Schnitt von Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (2019)

Einfaktorielle Auswertung, Mittelwert ± Standardabweichung

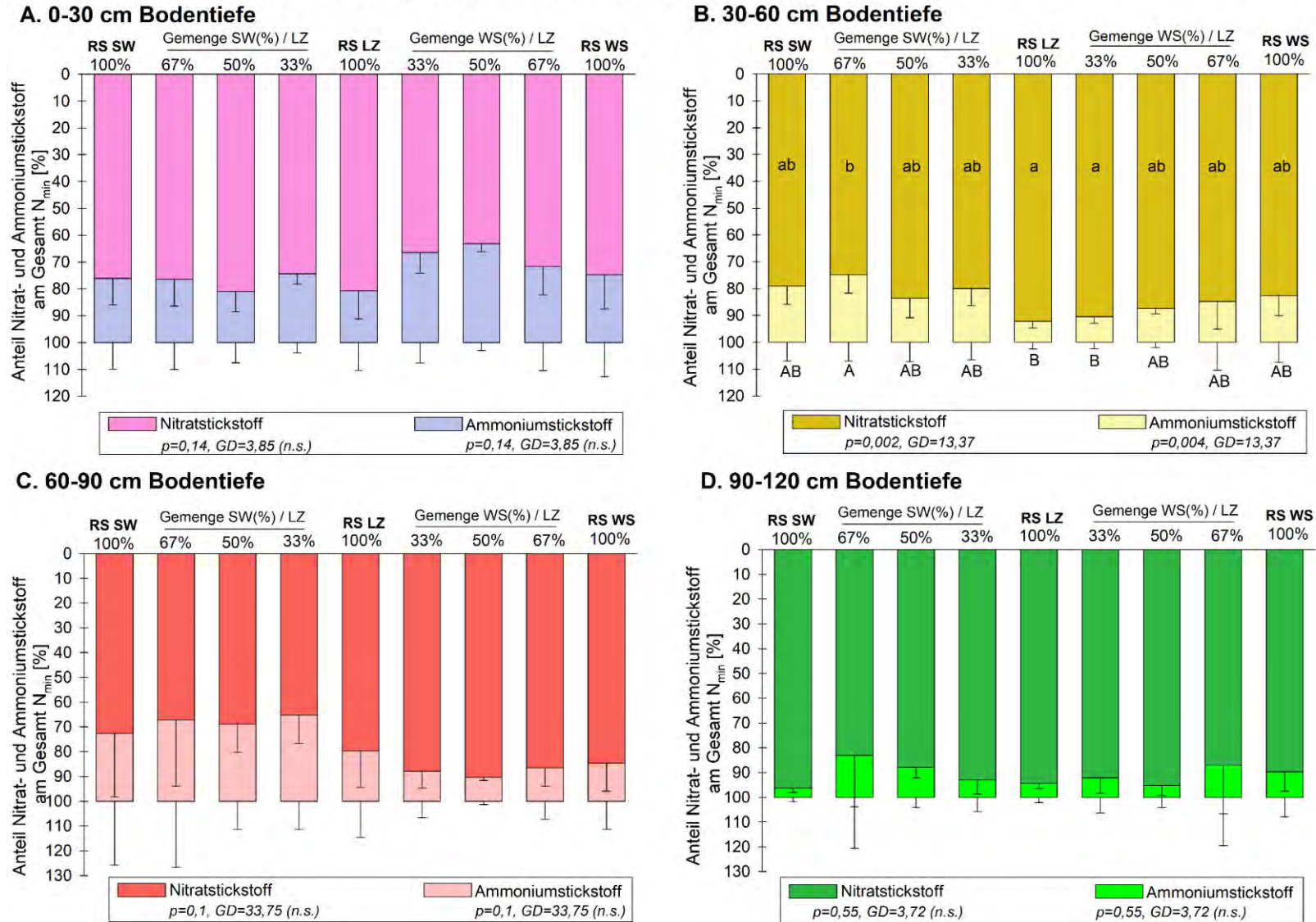


Abbildung 59. Anteil Nitrat- und Ammoniumstickstoff am N_{min} [%] zum 3. Schnitt-Termin VF I (14.09.2019). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz. A. 0 bis 30 cm, B. 30 bis 60 cm, C. 60 bis 90 cm, D. 90 bis 120 cm

Für die Darstellung der $\text{NO}_3\text{-N}$ - und $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorräte im Laufe der drei Schnitt-Termine wurde die gleiche Skalierung gewählt, damit die Entwicklung besser nachverfolgt werden kann (Abbildung 60 [A., C.]). Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurden daneben die Anteile an $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ am N_{min} dargestellt (Abbildung 60 [B., D.]).

Zum 1. Schnitt-Termin im Jahr 2021 (Abbildung 60 [A.]) konnte im Unterschied zu Versuchsanlage I (Abbildung 56) keine eindeutige Auswirkung auf den $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat im Boden in 0 bis 30 cm ermittelt werden. Alle Versuchsvarianten zeigten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte zwischen 3,1 und 3,9 kg/ha bis auf das Gemenge der Luzerne mit Spitzwegerich in Saatstärke 67/33%, das 1 kg weniger $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat aufwies. Der Wiesenschwingel hatte mit durchschnittlich 3,1 kg/ha einen leicht niedrigeren $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat neben Luzerne und Spitzwegerich in Reinsaaten mit jeweils 3,7 kg/ha.

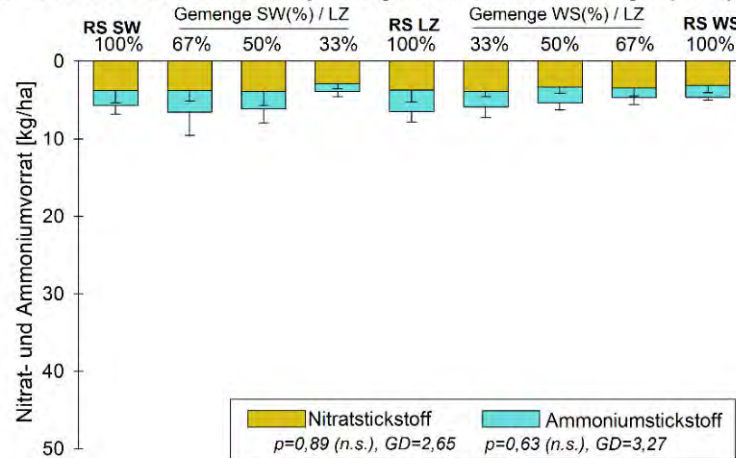
Beim $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat waren die höchsten Werte unter der Luzerne im 67%-Gemenge mit Spitzwegerich (2,7 kg/ha) und in Reinsaat Luzerne (2,7 kg/ha) zu finden (Abbildung 60 [A.]). Der Mittelwert 2,7 kg/ha im 33/67% Luzerne-Spitzwegerich-Gemenge war durch eine sehr hohe Standardabweichung gekennzeichnet, die auf zwei Ausreißer in dem Datensatz zurückzuführen war. Abbildung 60 (A.) stellt außerdem dar, dass der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat im Gemenge der Luzerne und Spitzwegerich mit 33% Spitzwegerichanteil mit 1 kg/ha am geringsten ausgefallen ist.

Werden die Anteile an $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ betrachtet, so wird aus Abbildung 60 (A.) ersichtlich, dass Ende Mai 2021 die Luzerne in Reinsaat mit 58,7% den geringsten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteil, während das Luzerne-Gemenge mit Wiesenschwingel 67/33% mit 74,6% und das korrespondierende Gemenge Luzerne mit Spitzwegerich in Saatstärke 67/33% 75,2% aufwies.

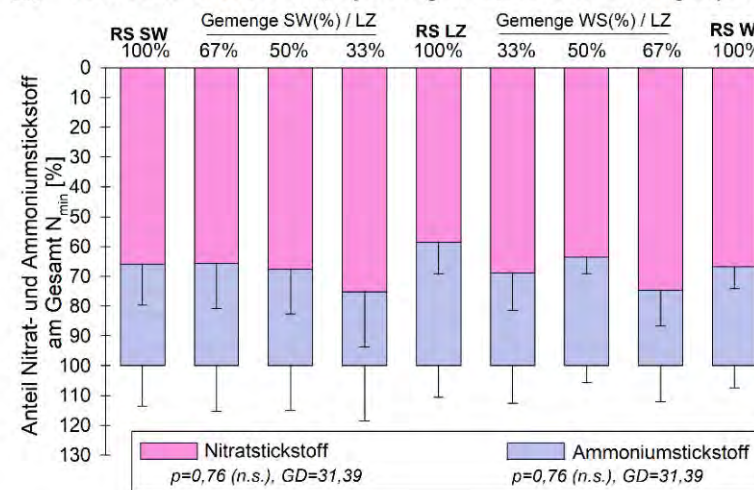
Der 1. Schnitt in 2021 fand vier Wochen früher statt im Vergleich zur Versuchsanlage I und der 2. Schnitt wurde vier Wochen nach dem 1. Schnitt in Versuchsanlage I durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt ist in Abbildung 60 (C.) zu sehen, dass sich die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte in 0 bis 30 cm bei allen Varianten im Vergleich zum 1. Schnitt Ende Mai (Abbildung 60 [A., C.]) erhöht haben. Zu diesem Termin wurden in Block vier in jeder Parzelle der Versuchsanlage II erhöhte Werte ermittelt, die für die hohe Standardabweichung verantwortlich sind. Ab diesem Zeitpunkt blieben alle Datensätze in Block vier bis zum Wintergerstendrusch beeinflusst. Trotz der hohen Standardabweichung in den meisten Varianten, war beim Spitzwegerich in Reinsaat sowie im Luzernegemenge mit Spitzwegerich 67/33% ein niedrigerer $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat zu beobachten (Abbildung 60 [C.]).

Abbildung 60 (D.) enthüllt, dass Spitzwegerich in Reinsaat den höchsten $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil aller Varianten aufwies. Signifikant höhere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteile waren lediglich beim Gemenge der Luzerne mit Wiesenschwingel in Saatstärke 50/50% zu finden. Die restlichen Varianten zeigten keine systematischen Differenzen zwischen den Mittelwerten untereinander.

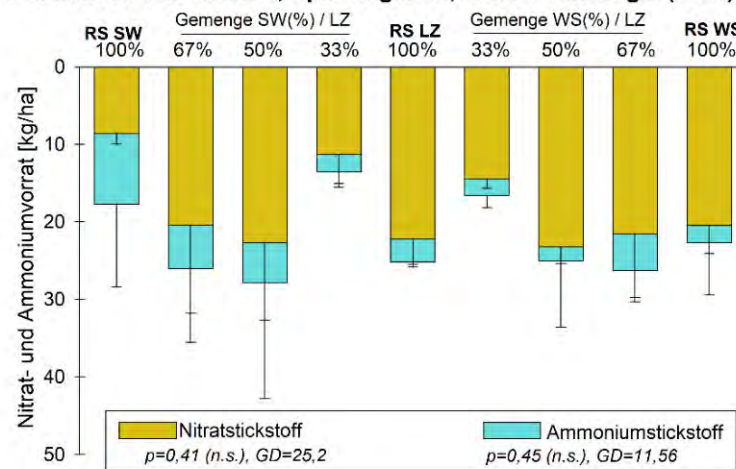
A. 1. Schnitt von Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (2021)



B. 1. Schnitt von Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (2021)



C. 2. Schnitt von Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (2021)



Einfaktorielle Auswertung, Mittelwert±Standardabweichung

D. 2. Schnitt von Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (2021)

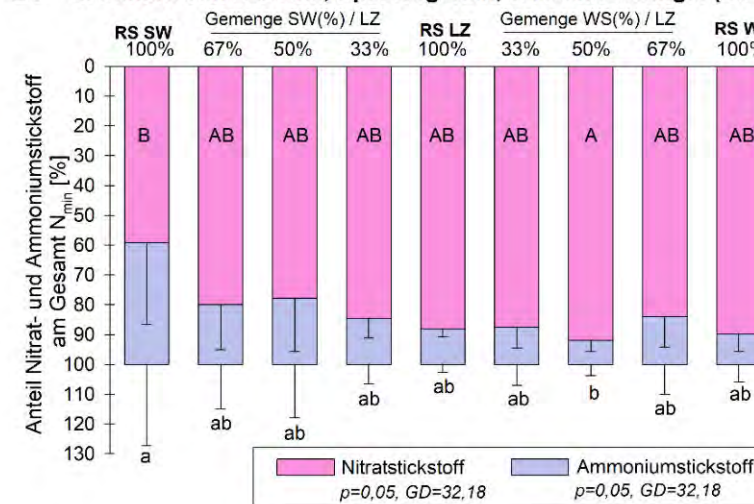


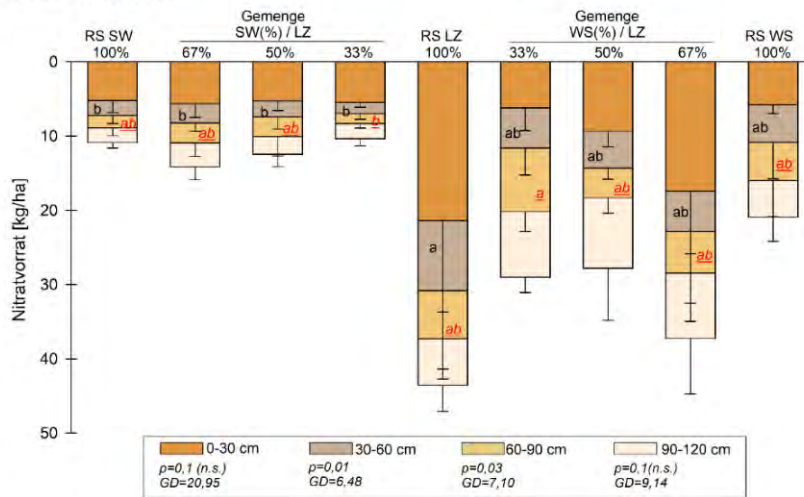
Abbildung 60. Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30 cm Bodentiefe A. zum 1. Schnitt-Termin Versuchsanlage (25.05.2021). C. zum 2. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (29.07.2021). Anteil Nitrat- und Ammoniumstickstoff am N_{min} [%] in 0 bis 30 cm Bodentiefe zum B. 1. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (25.05.2021). D. zum 2. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (29.07.2021). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD. Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

Zum 3. Schnitt zeigte die Luzerne in Reinsaat mit 21,4 kg/ha den höchsten NO₃-N-Vorrat aller Varianten in 0 bis 30 cm (Abbildung 61). Bis auf die Gemenge aus Luzerne und Wiesenschwingel mit Saatstärken 50/50% (9,4 kg/ha) und 33/67% (17,4 kg/ha), blieben die NO₃-N-Vorräte unter 6 kg/ha in 0 bis 30 cm. Der Mittelwert von 17,4 kg/ha war durch einen höheren Ausreißer (Block vier) gekennzeichnet, weshalb die Grenzdifferenz anstieg. Aus Abbildung 61 wird außerdem ersichtlich, dass der NO₃-N-Vorrat in 0 bis 120 cm Bodentiefe mit der Integration von Spitzwegerich wesentlich geringer ausgefallen war im Vergleich zur Integration von Wiesenschwingel.

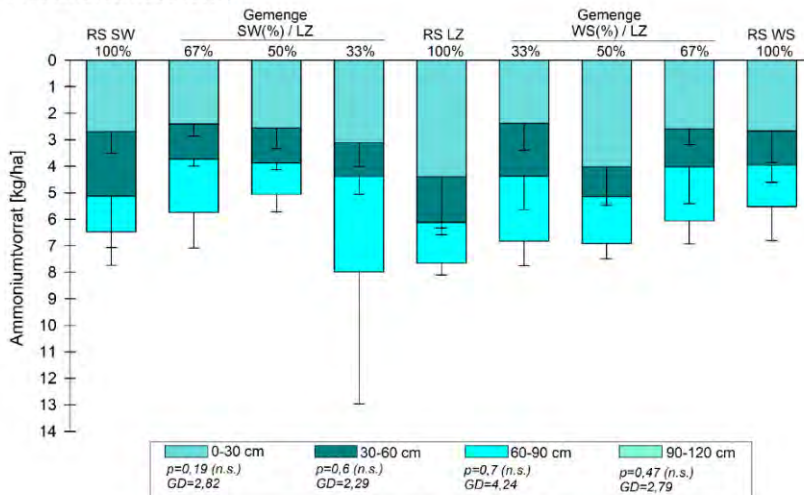
Die Luzerne in Reinsaat wies beim NH₄-N-Vorrat in 0 bis 30 cm ebenfalls den höchsten Mittelwert auf (4,4 kg/ha), während der niedrigste Wert mit 2,4 kg/ha im Mittel beim 67/33%-Gemenge der Luzerne mit Wiesenschwingel lag. Die NH₄-N-Vorräte wurden als Anteile am N_{min} unter Abbildung 62 nach einzelnen Bodenschichten besser veranschaulicht.

3. Schnitt von Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (2021)

A. Nitratstickstoff



B. Ammoniumstickstoff



Einfaktorielle Auswertung, Mittelwert ± Standardabweichung
 RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, US-Untersaat, GD-Grenzdifferenz

Abbildung 61. Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe zum 3. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (14.09.2021). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel

Zum 3. Schnitt-Termin im September 2021 war der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteil in 0 bis 30 cm nach Luzerne in Reinsaat und im Gemenge mit Wiesenschwingel (33/67%) signifikant höher im Unterschied zu der Gemenge-Variante von Spitzwegerich und Luzerne (33/67%) (Abbildung 62 [A]).

In der Bodenschicht zwischen 30 und 60 cm behielten die Luzerne in Reinsaat und das Grasgemenge 33/67% die höchsten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteile, allerdings wies das Gemenge 50/50% mit Wiesenschwingel einen ähnlichen Wert auf (Abbildung 62 [B]). Auffällig dabei war der geringe $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteil nach Spitzwegerich in Reinsaat. Mit 50,8% war der Anteil signifikant niedriger im Vergleich zu den oberen drei Luzernevarianten. Umgekehrt sah es bei dem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil aus – der Spitzwegerich hatte mit 49,2% einen signifikant höheren Anteil gegenüber der Luzerne in Reinsaat sowie der Luzerne mit Wiesenschwingel in 33/67% und 50/50%.

In der Bodenschicht 60 bis 90 cm vergrößerte sich der Unterschied des $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ -Verhältnisses nach Luzerne in Reinsaat und dem 33/67% Gemenge von Wiesenschwingel und Luzerne deutlich (Abbildung 62 [C]).

Nach Luzerne in Reinsaat belief sich der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteil auf 77,8% und zeigte somit 37,4% mehr $\text{NO}_3\text{-N}$ als das 33/67-Gemenge Spitzwegerich mit Luzerne. In Abbildung 62 (C) ist außerdem zu erkennen, dass alle Varianten, die Spitzwegerich enthielten (links von Luzerne 100%) höhere $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile im Gegensatz zu allen Varianten mit Wiesenschwingel (rechts von Luzerne 100%) aufwiesen. Die einfaktorielle Analyse zeigte eine tendenzielle Signifikanz ($p=0,09$).

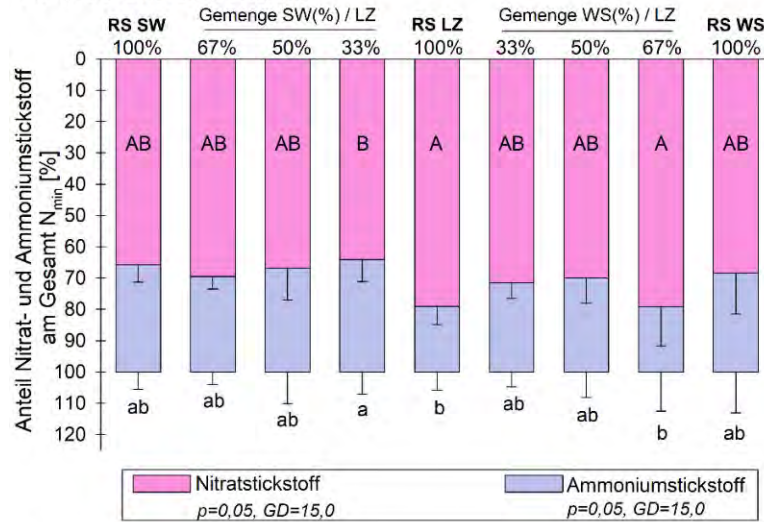
In der untersten untersuchten Bodenschicht (90 bis 120 cm) erhöhten sich die $\text{NO}_3\text{-N}$ Anteile bei den Grasgemengen 33% (von 66,83 auf 81,32%) und 50% (von 77,63 auf 82,03%), und waren signifikant höher gegenüber Spitzwegerich 67% (49,95%) und 33% (49,07%) (Abbildung 62 [D]).

Aus den Ergebnissen (Abbildung 59 und Abbildung 62) kann geschlussfolgert werden, dass im trockenen Jahr (2019) die Unterschiede zwischen den Varianten zum 2. Schnitt weniger ausgeprägt waren, während im Jahr mit mehr Niederschlag eine Nitratverlagerung bis 1,2 m erfolgte, die durch den Spitzwegerich beeinflusst wurde. Je nach Erntezeitpunkt variierte der Aucubingehalt des Spitzwegerichs, der für die Nitrifikationshemmung verantwortlich ist (siehe 1.1). Vor der Blüte ist der Aucubingehalt in jedem Pflanzenorgan sehr niedrig und erreicht im Herbst sein Maximum (European Medicines Agency, 2011). Die neuen Blätter des Spitzwegerichs enthalten mehr Stickstoff und weniger Aucubin. Die höchste Aucubinkonzentration findet sich in Blättern mittleren Alters, die niedrigste in reifen Blättern (Bowers & Stamp, 1992). Der Aucubingehalt der Blätter nimmt während der Wachstumsperiode des Spitzwegerichs zu. Darrow und Deane Bowers (1997) fanden 0,5% Aucubin in der Trockensubstanz der im Juli geernteten Blätter und 4 bis 5% nach der Ernte im September und Oktober.

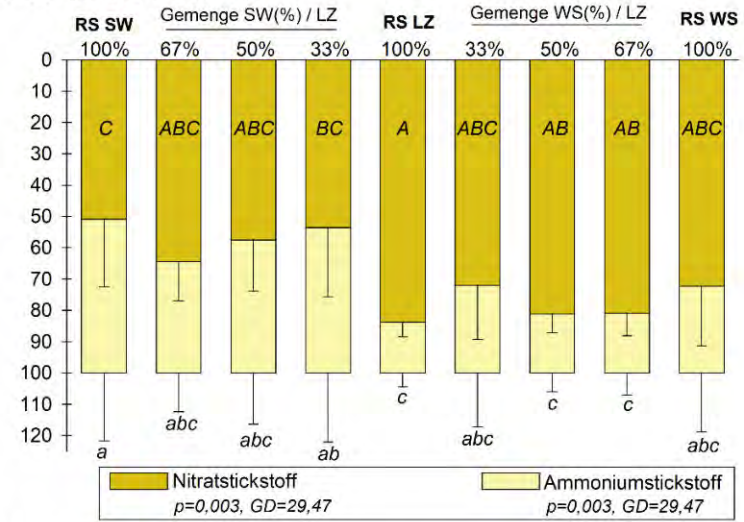
3. Schnitt von Luzerne, Spitzwegerich, Wiesenschwingel (2021)

Einfaktorielle Auswertung, Mittelwert ± Standardabweichung

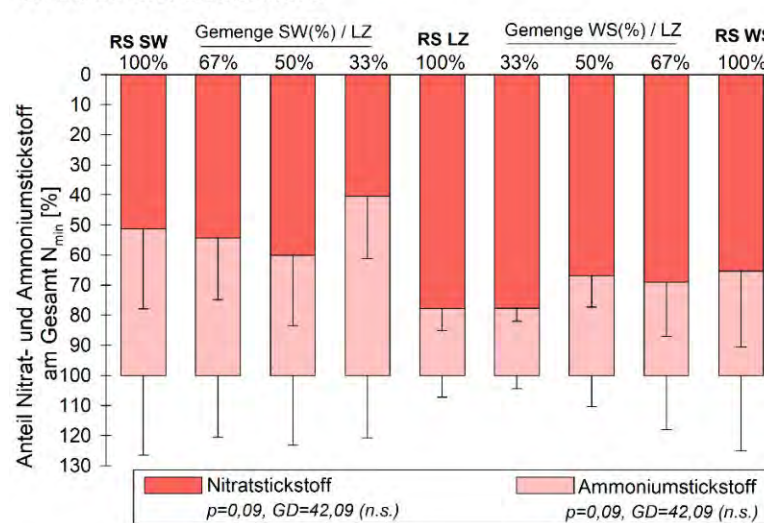
A. 0-30 cm Bodentiefe



B. 30-60 cm Bodentiefe



C. 60-90 cm Bodentiefe



D. 90-120 cm Bodentiefe

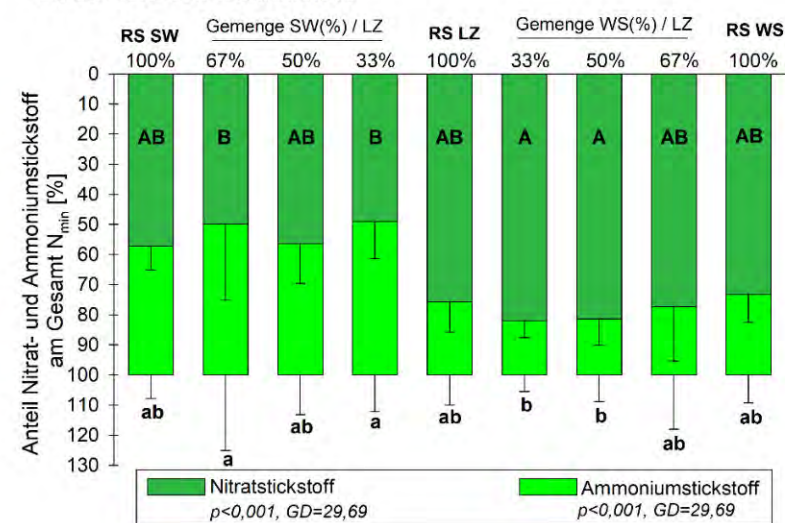


Abbildung 62. Anteil Nitrat- und Ammoniumstickstoff am N_{min} [%] zum 3. Schnitt-Termin Versuchsanlage II (14.09.2021). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, US-Untersaat, GD-Grenzdifferenz. A. 0 bis 30 cm, B. 30 bis 60, C. 60 bis 90 cm, D. 90 bis 120 cm

4.2.3.3 Futterwertanalyse

Die Rohasche (RA) in den untersuchten Proben besteht aus Mineralstoffverbindungen sowie Verschmutzungen. Gehalte, die über dem Richtwert 90 g/kg TS liegen, bedeuten, dass das Schnittmaterial übermäßig verschmutzt ist, was die Bildung von Buttersäure fördern kann. Ein Grund für eine erhöhte Verschmutzung kann bei den Witterungsbedingungen liegen. Vor allem feuchte Bodenverhältnisse führen zu Verschmutzungen des Schnittgutes. Die einzige Variante, die den Richtwert im Erntegut nicht überschritt, war die Luzerne in Reinsaat zum 1. Schnitt-Termin (VF I) (Tabelle 23). Besonders hohe RA-Werte zeigten alle Varianten zum 3. Schnitt-Termin (VF I) im Oktober 2019, was auf die hohe Feuchtigkeit des Bodens zurückzuführen ist. Die Gemenge-Varianten 33%/67% und 50%/50% von Luzerne und Spitzwegerich (2. Schnitt 2021) sowie der Wiesenschwingel in Reinsaat (1. Schnitt 2019) blieben unter dem empfohlenen Richtwert für RA (Tabelle 23, Tabelle 24).

Die Luzerne ist bekannt für hohe Gehalte an Rohprotein (RPr) und Rohfaser (RFa) (Blume et al., 2020). Der RPr-Wert der Luzerne in Reinsaat erhöhte sich zum 3. Schnitt in beiden Versuchsanlagen. Der Spitzwegerich zeigte zum 1. Schnitt auf Versuchsanlage I einen höheren Rohproteingehalt als Luzerne in Reinsaat. Der niedrigere RPr-Wert der Luzerne ist auf die sehr kleinen Pflanzen zurückzuführen, die zum 1. Schnitt gesammelt wurden (siehe als Referenz Abbildung 7 zum 1. Schnitt 2021). Zum letzten Schnitt-Termin in beiden Jahren wies die Luzerne in Reinsaat ähnliche RA-Gehalte auf (Tabelle 23, Tabelle 24). Laut Blume et al. (2020) variiert der RPr-Gehalt bei Luzerne in Reinsaat zwischen 204 und 250 g/kg zwischen dem ersten und dritten Schnitt. Martens et al. (2019) nannten 200 g/kg als Richtwert für Luzerne. Richard (2023) berichtete über einen Mittelwert von 188 g/kg für 2019 bis 2023. Aus Tabelle 23 ersichtlich, dass zum 3. Schnitt-Termin in 2019 die Gemenge der Luzerne mit Spitzwegerich geringere RPr-Gehalte (<200) im Vergleich zu den Gemengen der Luzerne mit Wiesenschwingel (>200) aufwies. Die niedrigsten Werte an RPr unter Spitzwegerich im Gemenge zu finden – 84 g/kg zum 1. Schnitt-Termin in 2019 und 99 g/kg zum 1. Schnitt in 2021. Navarrete et al. (2022) zeigte Mittelwerte zwischen 160 und 180 g/kg RPr aus Spitzwegerichpflanzen in Grünlandbeständen. In beiden Versuchsanlagen variierten die RPr-Werte unter Spitzwegerich in Reinsaat und im Gemenge mit Luzerne und lagen zwischen 111 und 169 g/kg, und somit unter dem Orientierungswert.

Die Rohfett-Gehalte der Bestände der Versuchsanlagen I und II zeigten keine großen Unterschiede zwischen der Luzerne und Spitzwegerich in Reinsaat (Tabelle 23, Tabelle 24). Bei den Gemengevarianten sah es anders aus. Die Gemenge der Luzerne mit Spitzwegerich zeigten zu allen Probenahmen geringere Zuckergehalte im Unterschied zu den Gemengen von Luzerne mit Wiesenschwingel.

ADFom enthält neben Cellulose auch die unverdauliche Gerüstsubstanz Lignin – Zeiger für die Alterung und die Verdaulichkeit des Futters. Durch den Anstieg von ADFom-Werten kommt es zum Sinken der NEL-Werte. Ein Anstieg der ADFom-Werte deutet auf eine fortgeschrittene Entwicklung der Pflanzen hin. Die ADFom-Werte von Wiesenschwingel zeigten, dass der optimale Schnittzeitpunkt an den Schnitt-Terminen im Juni 2019 (VF I), Juli und September 2021 (VF II) überschritten wurde. Der Grund dafür lag im Wachstum von Spitzwegerich – die Sorte „Libor“ zeigte eine sehr langsame Entwicklung im Frühjahr.

Insgesamt führte der Spitzwegerich, Sorte Libor, häufig zu einer Verringerung des Energiegehaltes im Grundfuttermittel, so dass hierdurch ein Nachteil zumindest in der Fütterung hochlaktierender Milchkühe entstehen kann. Um diesen nachteiligen Effekt des Spitzwegerichs zu vermindern, empfiehlt sich eine gezielte Selektion auf Spitzwegerichgenotypen mit vergleichsweise hohen Energiegehalten.

Der Futterwert von Spitzwegerich wurde bereits im Bereich Grünland von diversen Autor:innen untersucht. So berichtete Ivins (1952), dass die jungen Blätter von Spitzwegerich besser im Pansen abbaubar im Vergleich zu älteren Blättern und Blütenständen sind. Anderen Berichten zufolge bevorzugen Rinder, Schafe und Pferde Spitzwegerichpflanzen vor Leguminosen und Gräsern auf der Wiese (Clark & Harris, 1985; Groenendael, 1985; Kryszak et al., 2017; Sagar & Harper, 1964). Die Qualität vom Fleisch aus Schafen, die mit Spitzwegerich gefüttert wurden unterschied sich laut Fraser et al. (1996) nicht signifikant von der Fleischqualität unter reiner Grasfütterung. Des Weiteren erhöhte die Weide mit Spitzwegerich die Milchleistung in der Spätlaktation, verringerte die Milchfettkonzentration, erhielt jedoch die Milchfettausbeute laut der Meta-Analyse von Nguyen et al. (2022). Aus der Studie von Kara et al. (2022) kommt zusätzlich hervor, dass durch Spitzwegerich die Konzentration von Ammoniumstickstoff in Silagen gesenkt wird.

Tabelle 23. Untersuchungsergebnisse der Futtermittelanalyse von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel in Reinsaat und im Gemenge in der Versuchsanlage 2019. Die Daten sind Einzelwerte aus vier Mischproben. TS – Trockensubstanz, RA – Rohasche, RPr – Rohprotein, RFa – Rohfaser, RFe – Rohfett, ADFom – Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung, HFT – Gasbildung, PrL – Proteinlöslichkeit, ME – Umsetzbare Energie, NEL – Nettoenergie Laktation, nRP – nutzbares Rohprotein, rNB – ruminale Stickstoff Bilanz.

Variante		SaatS [%]	TS g/kg	RA g/kg TS	RPr g/kg TS	RFa g/kg TS	RFe g/kg TS	Zucker g/kg TS	ADFom g/kg TS	Fruktane g/kg TS	HFT ml/200 mg	PrL %RPr	ME MJ/kg TS	NEL MJ/kg TS	nRP g/kg TS	rNB g/kg TS
1. Schnitt 2019	Luzerne	100	1000	90	128	275	26	101	330	-	46	-	9,4	5,5	122	0,9
	Spitzwegerich		1000	104	141	252	29	83	302	-	43	-	9,5	5,6	125	2,5
	Wiesenschwingel		1000	84	102	288	30	55	357	-	44	-	9,0	5,2	114	-2,0
	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	1000	110	120	282	27	61	338	-	40	-	9,0	5,2	115	-0,9
		50/50	1000	101	94	301	30	57	365	-	41	-	8,6	5,0	108	-2,2
		67/33	1000	99	109	280	30	53	338	-	42	-	8,8	5,1	115	0,8
	Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	1000	99	116	275	30	65	333	-	44	-	9,6	5,7	125	0,5
		50/50	1000	95	111	274	30	63	337	-	45	-	9,2	5,4	118	-1,1
		67/33	1000	91	128	263	29	81	316	-	47	-	9,2	5,4	118	-0,4
3. Schnitt 2019	Luzerne	100	1000	155	226	218	30	27	229	-	43	-	10,4	6,3	149	12,3
	Spitzwegerich		1000	145	169	142	29	69	174	-	43	-	10,6	6,5	141	4,4
	Wiesenschwingel		1000	145	169	142	29	69	198	-	43	-	11,1	6,8	150	6,5
	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	1000	135	146	221	33	49	277	-	38	-	10,3	6,3	139	4,6
		50/50	1000	142	161	171	27	66	248	-	38	-	9,5	5,7	128	5,2
		67/33	1000	141	167	135	24	74	188	-	43	-	9,3	5,5	124	3,5
	Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	1000	154	233	203	37	74	200	-	45	-	11,3	7,0	159	11,9
		50/50	1000	139	211	186	37	68	205	-	50	-	11,3	6,9	155	8,9
		67/33	1000	142	234	183	36	64	197	-	48	-	11,0	6,7	156	12,3

Tabelle 24. Untersuchungsergebnisse der Futtermittelanalyse von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel in Reinsaat und im Gemenge in der Versuchsanlage 2021. Die Daten sind Einzelwerte aus vier Mischproben. TS – Trockensubstanz, RA – Rohasche, RPr – Rohprotein, RFa – Rohfaser, RFe – Rohfett, ADFom – Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung, HFT – Gasbildung, PrL – Proteinlöslichkeit, ME – Umsetzbare Energie, NEL – Nettoenergie Laktation, nRP – nutzbares Rohprotein, rNB – ruminale Stickstoff Bilanz.

Variante		SaatS [%]	TS g/kg	RA g/kg TS	RPr g/kg TS	RFa g/kg TS	RFe g/kg TS	Zucker g/kg TS	ADFom g/kg TS	Fruktane g/kg TS	HFT ml/200 mg	PrL %RPr	ME MJ/kg TS	NEL MJ/kg TS	nRP g/kg TS	rNB g/kg TS
2. Schnitt 2021	Luzerne	100	877	98	195	311	15	28	358	<1,20	39	57	8,7	5,1	125	11,2
	Spitzwegerich		875	94	120	342	14	31	378	5	31	53	7,9	4,5	105	2,4
	Wiesenschwingel		856	128	141	276	26	59	306	36	43	52	8,9	5,2	119	3,5
	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	871	78	99	357	15	15	404	<1,20	29	53	7,6	4,3	99	0,0
		50/50	873	83	146	393	13	29	432	<1,20	33	63	7,6	4,3	106	6,4
		67/33	871	95	117	377	14	11	416	<1,20	27	57	7,3	4,1	98	3,0
	Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	869	115	167	263	24	66	300	34	43	55	9,2	5,4	126	6,5
		50/50	870	113	149	300	24	42	333	28	41	55	8,7	5,1	118	4,9
		67/33	862	116	172	267	24	51	302	31	41	57	9,1	5,4	126	7,3
3. Schnitt 2021	Luzerne	100	911	112	227	236	21	43	280	36	42	36	9,9	5,9	143	13,5
	Spitzwegerich		915	133	116	206	20	37	291	27	33	16	8,4	4,9	110	1,0
	Wiesenschwingel		922	121	133	264	34	84	302	70	43	43	9,4	5,6	124	1,5
	Luzerne/ Spitzwegerich	33/67	911	120	150	223	20	44	285	35	36	25	9,0	5,3	121	4,6
		50/50	925	132	140	216	20	47	280	36	38	22	9,1	5,3	120	3,2
		67/33	896	120	111	283	20	48	346	25	30	25	7,8	4,4	102	1,5
	Luzerne/ Wiesenschwingel	33/67	922	139	186	225	29	58	279	66	41	42	9,7	5,8	134	8,2
		50/50	919	124	166	246	32	102	272	77	46	44	10,1	6,0	136	4,9
		67/33	924	134	125	279	34	82	323	63	38	42	8,9	5,2	116	1,4

4.2.4 AP 2: Untersuchungen zum Stickstoffvorrat im Boden nach Luzerneumbruch unter Winterweizen und Wintergerste sowie Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme der Folgefrüchte

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse aus der Ertragsbildung und den N_{\min} -Probenahmen im Laufe der zwei Folgefrüchte vorgestellt. Die Ergebnisse des Winterweizens (4.2.4.1) sind für die Perioden 2019 bis 2020 sowie für 2021 bis 2022 einzeln dargestellt, da es größere Jahresunterschiede gab. Ähnlich wurde auch bei der Ergebnisdarstellung von Wintergerste vorgegangen, wobei beide Anbauperioden 2020 bis 2021 und 2022 bis 2023 unter 4.2.4.3 einzeln analysiert wurden.

4.2.4.1 Ertragsbildung von Winterweizen

Der Winterweizen entwickelt sich nach der Herbstaussaat erst im darauffolgenden Frühjahr, wenn die Bestockung der Weizenpflanzen anfängt. Die Bestockung des Winterweizens ist eine essentielle Entwicklungsphase, während der Seitentriebe gebildet werden (Atanasiu et al., 1965; Below & Heberer, 1990). In dieser Entwicklungsphase erfolgt in der Regel eine N-Gabe, damit der Weizen mehr Triebe bildet (Engström & Bergkvist, 2009).

Im Projekt zeigte die Zwischenernte der Weizenbiomasse (Blätter und Halme, Tabelle 25) zum Zeitpunkt der Bestockung, dass nach Luzerne in Reinsaat in beiden Versuchsanlagen, mit 25,7 dt/ha in 2020 und mit 36,8 dt/ha in 2022, die höchsten TM-Erträge gebildet wurden. In 2020 waren die Mittelwerte nicht signifikant verschieden, in 2022 jedoch war der TM-Ertrag der Vorfrucht Luzerne 100% signifikant höher gegenüber dem TM-Ertrag von Wiesenschwingel 100% (23,3 dt/ha). Die TM-Erträge nach den Gemengen aus Luzerne und Spitzwegerich wiesen in beiden Versuchsanlagen leicht höhere Erträge im Gegensatz zu den Gemengen aus Luzerne und Wiesenschwingel als Vorfrucht. Nach Spitzwegerich in Reinsaat wurde der zweithöchste Wert unter den Reinsaatvarianten ermittelt.

In Tabelle 25 fällt auf, dass obwohl der TM-Ertrag nach der Integration des Spitzwegerichs als Vorfrucht geringer im Vergleich zum Wiesenschwingel war, die N-Konzentration in der Weizenprossbiomasse unter Spitzwegerich geringer ausgefallen war. Demzufolge verzeichneten alle Varianten (Reinsaaten und Gemenge), die Spitzwegerich enthielten, ein weiteres C/N-Verhältnis. Nach dem Gemenge aus Luzerne und Spitzwegerich in Saatstärke 67/33% war die Weizenbiomasse mit C/N-Verhältnis 40,4 signifikant weiter gegenüber der Weizenbiomasse nach der Luzerne in Reinsaat mit 30,6 (Tabelle 25). Im Durchschnitt zeigten alle Varianten in Versuchsanlage II ca. 35% mehr N-Gehalt und höhere N-Erträge als Versuchsanlage I.

Die N-Ertragsdifferenz zwischen den Mittelwerten war in beiden Versuchsanlagen signifikant, mit der Weizenbiomasse nach Luzerne in Reinsaat an erster Stelle. In 2020 unterschied sich lediglich der Weizen nach dem 50%-Gemenge aus Luzerne und Wiesenschwingel signifikant von dem Weizen nach 100%-Luzerne. In 2022 waren die N-Erträge nach 100% Spitzwegerich, 100% Wiesenschwingel sowie nach dem Gemenge 67% Spitzwegerich mit 33% Luzerne signifikant niedriger gegenüber der Weizen-N-Erträge nach Luzerne in Reinsaat.

Die Unkraut-TM zur Weizenbestockung unterschied sich nicht signifikant zwischen den Varianten. Aus Tabelle 25 kann jedoch entnommen werden, dass die Vorfrucht Spitzwegerich in Reinsaat die geringste Unkraut-TM in den Weizenbeständen im Vergleich zu den anderen Reinsaatvorfrüchten aufwies. In

Versuchsanlage I war die Unkraut-TM wesentlich höher mit TM-Erträgen zwischen 7,5 bis 15,2 dt/ha, während in Versuchsanlage II die Mittelwerte zwischen 0,4 und 1,4 variierten.

Tabelle 25. Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] von Winterweizenspross, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Winterweizenspross und Trockenmasse-Ertrag von Unkraut [dt/ha] zur Bestockung nach Reinsaat (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022. Die Daten sind Mittelwerte von vier Wiederholungen pro Variante und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte mit Tukey-HSD (einfaktoriell) an. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei $p < 0,01$. *** Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS - Saatstärke, LZ-Luzerne, SW-Spitzwegerich, WS-Wiesenschwingel.

Jahr	Variante	SaatS [%]	TM-Weizen [dt/ha]	N-Konzentration [%]	C/N-Verhältnis [%]	N-Ertrag [kg N/ha]	TM-Unkraut [dt/ha]
2020	LZ	100	25,73	1,47 ^a	30,63 ^b	2,63 ^a	15,17
	SW	100	18,76	1,07 ^b	40,78 ^a	1,36 ^{ab}	9,27
	WS	100	17,05	1,23 ^{ab}	35,22 ^{ab}	1,45 ^{ab}	11,20
	LZ/SW	33/67	16,94	1,12 ^b	38,56 ^{ab}	1,29 ^{ab}	8,96
		50/50	19,02	1,22 ^{ab}	35,53 ^{ab}	1,58 ^{ab}	12,71
		67/33	21,81	1,07 ^b	40,36 ^a	1,60 ^{ab}	13,60
	LZ/WS	33/67	17,69	1,29 ^{ab}	34,10 ^{ab}	1,55 ^{ab}	7,50
		50/50	14,23	1,27 ^{ab}	34,75 ^{ab}	1,23 ^b	13,29
		67/33	17,48	1,26 ^{ab}	35,08 ^{ab}	1,56 ^{ab}	14,06
	p-Wert			0,13^{ns}	0,01	0,01	0,01
2022	LZ	100	36,76 ^a	2,05	20,54	5,76 ^a	1,40
	SW	100	24,46 ^{ab}	1,73	24,47	3,19 ^b	0,43
	WS	100	23,33 ^b	1,92	21,98	3,42 ^b	1,00
	LZ/SW	33/67	27,23 ^{ab}	1,67	25,53	3,44 ^b	0,65
		50/50	30,25 ^{ab}	1,85	22,90	4,39 ^{ab}	1,12
		67/33	27,85 ^{ab}	1,69	24,65	3,61 ^{ab}	0,71
	LZ/WS	33/67	26,05 ^{ab}	2,00	21,04	4,12 ^{ab}	1,18
		50/50	30,90 ^{ab}	1,86	22,73	4,47 ^{ab}	1,35
		67/33	27,03 ^{ab}	1,96	21,45	4,11 ^{ab}	1,27
	p-Wert			0,05	0,25^{ns}	0,33^{ns}	0,02

Die mehrjährige Analyse der Parameter aus Tabelle 25 ist unter Tabelle 26 zu finden. Im Jahresmittel war die Luzerne als Vorfrucht unter den Reinsaat an erster Stelle, Spitzwegerich an zweiter und Wiesenschwingel belegte den dritten Platz. Der TM-Weizensprossertrag nach Wiesenschwingel in Reinsaat fiel signifikant niedriger im Vergleich zur Luzerne aus, unterschied sich jedoch nicht signifikant vom Spitzwegerich. Umgekehrt sah es bei der N-Konzentration aus, wo der Weizenspross nach der Vorfruchtwirkung des Spitzwegerichs die geringste N-Konzentration aufwies. Obwohl sich die TM-

Erträge der Weizensprossmasse in allen Gemengen nicht systematisch voneinander unterschieden, war die N-Konzentration im Weizenspross nach den Gemengen Luzerne und Spitzwegerich in Saatstärken 33/67%, und 67/33% niedriger.

Die mehrjährige Analyse zeigte hochsignifikante Unterschiede zwischen den Versuchsanlagen 2020 und 2022 für alle Parameter unter Tabelle 26, die in Tabelle 25 einzeln zu sehen sind. Es wurden jedoch keine signifikanten Interaktionen zwischen Jahr x Variante festgestellt. Obwohl die Luzerne in Reinsaat sehr niedrige TM-Erträge als Vorfrucht aufwies (Tabelle 14), war das C/N-Verhältnis des Weizens danach am engsten und der N-Ertrag sowie die Unkraut-TM am höchsten.

Tabelle 26. Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] von Winterweizenspross, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Winterweizenspross und Trockenmasse-Ertrag von Unkraut [dt/ha] zur Bestockung nach Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022. Die Daten sind Mittelwerte von vier Wiederholungen pro Variante und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte bei mehrjähriger Analyse. J - Jahr, V – Variante, J x V – Jahr x Variante. ^{ns} Nicht signifikant. ^{**} Signifikanz bei $p < 0,01$. ^{***} Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS - Saatstärke, LZ-Luzerne, SW-Spitzwegerich, WS-Wiesenschwingel.

Variante	SaatS [%]	TM-Weizen [dt/ha]	N-Konzentration [%]	C/N-Verhältnis[%]	N-Ertrag [kg N/ha]	TM-Unkraut [dt/ha]
LZ	100	31,24 ^a	1,76 ^a	25,59 ^c	4,19 ^a	8,28
SW	100	21,61 ^{ab}	1,40 ^b	32,63 ^a	2,28 ^b	4,85
WS	100	20,19 ^b	1,57 ^{ab}	28,60 ^{abc}	2,44 ^b	6,10
LZ/SW	33/67	22,08 ^{ab}	1,40 ^b	32,05 ^{ab}	2,36 ^b	4,81
	50/50	24,63 ^{ab}	1,54 ^{ab}	29,22 ^{abc}	2,99 ^{ab}	6,91
	67/33	24,83 ^{ab}	1,38 ^b	32,51 ^a	2,61 ^{ab}	7,15
LZ/WS	33/67	21,87 ^{ab}	1,64 ^a	27,57 ^{bc}	2,83 ^{ab}	4,34
	50/50	22,57 ^{ab}	1,56 ^{ab}	28,74 ^{abc}	2,85 ^{ab}	7,32
	67/33	22,26 ^{ab}	1,61 ^{ab}	28,26 ^{abc}	2,83 ^{ab}	7,67
2020 x 2022		J *** V ** J x V ^{ns}	J *** V *** J x V ^{ns}	J *** V *** J x V ^{ns}	J * V * J x V ^{ns}	J *** V ^{ns} J x V ^{ns}

Zur Druschreife des Winterweizens in Versuchsanlage I differierten die TM-Erträge von Korn und Stroh nicht signifikant untereinander (Tabelle 27). Die Vegetationsperiode 2020 war durch sehr geringe Niederschlagssummen in den Monaten Mai bis Juli gekennzeichnet (Abbildung 54). Außerdem waren die TM-Erträge der Vorfrüchte in 2019 deutlich geringer als im Jahr 2021 (Abbildung 55) und die Unkraut-TM zum Zeitpunkt der Bestockung viel höher als beim Weizenanbau in 2022 (Tabelle 25). Diese Faktoren führten nicht nur zu sehr niedrigen TM-Erträgen des Weizens, sondern auch zu einer großen Streuung der einzelnen Werte innerhalb einer Variante. Zum Beispiel wies nach

Wiesenschwingel in Reinsaat der Mittelwert des Weizenkornenertrages Einzelwerte zwischen 4,6 dt/ha und 23,8 dt/ha auf. Die niedrigste Standardabweichung war nach Spitzwegerich in Reinsaat und nach dem 67/33%-Gemenge aus Luzerne und Spitzwegerich zu finden.

Die Daten aus der zweiten Weizenanbauperiode in 2022 waren jedoch homogen und zeigten, dass sich der Weizen nach der Luzerne in Reinsaat mit 48 dt/ha Kornenertrag von dem Weizen nach Spitzwegerich in Reinsaat mit 31,2 dt/ha und nach den Gemengen aus Luzerne und Wiesenschwingel mit Saatanteil 33/67% und 50/50% signifikant abhob. Während der Weizen in Versuchsanlage I in 2020 lediglich nach dem 67/33%-Gemenge aus Luzerne und Spitzwegerich einen höheren Kornenertrag aufwies, zeigten der Winterweizen nach Luzerne-Spitzwegerich-Gemenge leicht höhere Kornträge im Vergleich zu dem Weizen nach den Gemengen mit Wiesenschwingel (Tabelle 27).

Der Ernteindex zeigte in keiner Versuchsanlage systematische Differenzen der Mittelwerte (Tabelle 27). In 2020 wurden höhere Ernteindizes als in 2022 ermittelt. Für Winterweizen liegt der optimale Ernteindex zwischen 0,50 und 0,53 (Herz, 2012). Die Mittelwerte aus 2020 lagen darüber, während in 2022 die Ernteindizes näher am optimalen Bereich waren. Ernteindex <0,50 wurden beim Weizen nach Luzerne in Reinsaat, nach dem 50%-Gemenge der Luzerne und des Spitzwegerichs sowie nach jedem Gemenge der Luzerne mit Wiesenschwingel beobachtet.

In der N-Konzentration des Weizenstrohs und -korns wurden ebenfalls keine Signifikanzen ermittelt. Die N-Konzentration im Weizenstroh war in beiden Versuchsanlagen ähnlich (Tabelle 27). Beim Weizenkorn waren die Mittelwerte des N-Gehaltes um ca. 4% niedriger als der N-Korngehalt in 2022. Ähnlich wie zur Bestockung, fielen die N-Gehalte nach der Anwesenheit von Spitzwegerich als Vorfrucht niedriger aus im Vergleich zu den N-Gehalten nach den Reinsaaten der Luzerne und des Wiesenschwingels sowie nach den Luzerne- und Wiesenschwingel-Gemengen. Die N-Erträge aus Weizenstroh und -korn sowie deren Summe wiesen in 2022 Signifikanzen auf. Die Vorfrucht Luzerne in Reinsaat führte zu 97 kg N/ha N-Weizenkornenertrag und zu insgesamt 116,1 kg N-Ertrag/ha, die sich signifikant von den Mittelwerten nach Reinsaat Spitzwegerich abhoben.

Das Weizenkorn wies in Versuchsanlage I einen Proteingehalt >11% lediglich nach den Gemengen der Luzerne und des Wiesenschwingels auf. Der niedrigste Proteingehalt (10%) wurde im Korn nach dem Gemenge mit 33%-Spitzwegerich ermittelt. In Versuchsanlage sahen die Ergebnisse umgekehrt aus – nach den Gemengen aus Luzerne und Spitzwegerich fielen höhere Proteinkonzentrationen als nach den Gemengen aus Luzerne und Wiesenschwingel aus. Die Mittelwerte waren in beiden Versuchsanlagen nicht signifikant verschieden (Tabelle 27).

In Tabelle 28 ist die mehrjährige Analyse der Parameter aus Tabelle 27 zu finden. Signifikante Jahresunterschiede gab es bei den TM-Erträgen von Weizenstroh und -korn, Ernteindex und N-Ertrag. Der TM-Ertrag von Weizenstroh wies außerdem noch signifikante Interaktionen zwischen Jahr x Variante auf. In diesem Fall ist die Wechselwirkung hauptsächlich auf die Luzerne in Reinsaat als Vorfrucht zurückzuführen, da die Mittelwerte aus 2020 und 2022 nicht parallel liefen. Aus diesem Grund gab es signifikante Interaktionen auch bei der N-Konzentration des Weizenkorns, beim N-Weizenstrohertrag sowie bei dem Proteingehalt.

Tabelle 27. Trockenmasse-Ertrag von Stroh und Korn [dt/ha], Ernteindex, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Stroh und Korn, Proteingehalt [%] und Stickstoff-Index in Korn von Winterweizen zur Druschreife nach Reinsaat (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen am 21.07.2020 und 22.07.2022. Die Daten sind Mittelwerte von vier Wiederholungen pro Variante und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte mit Tukey-HSD (einfaktoriell) an. ^{ns} Nicht signifikant. ^{**} Signifikanz bei $p < 0,01$. ^{***} Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS - Saatstärke, LZ-Luzerne, SW-Spitzwegerich, WS-Wiesenschwingel.

Jahr	Variante	SaatS[%]	TM-Ertrag [dt/ha]		Ernteindex	N-Konzentration [%]		C/N-Verhältnis [%]		N-Ertrag [kg N/ha]			Proteingehalt [%]	Stickstoff-Index
			Stroh	Korn		Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Summe		
2020	LZ	100	6,12	18,69	0,73	0,29	1,92	151,22 ^{ab}	21,47	1,83	35,82	37,66	10,96	0,95
	SW	100	4,85	16,90	0,78	0,25	1,79	174,20 ^{ab}	23,10	1,25	30,24	31,50	10,18	0,96
	WS	100	4,30	13,58	0,71	0,28	1,89	161,42 ^{ab}	22,35	1,20	24,68	25,88	10,75	0,94
	LZ/SW	33/67	4,89	14,40	0,72	0,23	1,81	188,01 ^a	22,93	1,15	25,57	26,72	10,30	0,95
		50/50	5,66	13,91	0,69	0,25	1,82	177,62 ^{ab}	22,51	1,44	25,24	26,68	10,37	0,94
		67/33	6,05	20,00	0,77	0,25	1,75	179,93 ^{ab}	23,46	1,53	34,94	36,46	9,96	0,96
	LZ/WS	33/67	5,28	13,23	0,68	0,31	1,95	148,75 ^{ab}	21,43	1,56	25,26	26,81	11,11	0,93
		50/50	4,66	13,96	0,74	0,32	2,03	140,76 ^b	20,36	1,46	28,13	29,60	11,56	0,95
		67/33	6,28	14,07	0,69	0,31	1,95	146,07 ^{ab}	21,54	1,89	26,89	28,78	11,10	0,93
	p-Wert			0,53^{ns}	0,59^{ns}	0,92^{ns}	0,27^{ns}	0,12^{ns}	0,01	0,26^{ns}	0,24^{ns}	0,65^{ns}	0,62^{ns}	0,12^{ns}
2022	LZ	100	57,43	47,94 ^a	0,46	0,33	2,03	145,06	21,28	19,03 ^a	97,06 ^a	116,09 ^a	11,55	0,84
	SW	100	31,68	31,24 ^b	0,50	0,27	1,89	169,52	22,93	8,40 ^b	58,68 ^b	67,08 ^b	10,78	0,87
	WS	100	33,16	33,26 ^{ab}	0,50	0,31	1,95	150,57	22,25	10,43 ^{ab}	64,53 ^{ab}	74,96 ^b	11,09	0,86
	LZ/SW	33/67	39,27	41,42 ^{ab}	0,51	0,25	1,82	177,92	23,48	10,01 ^b	75,72 ^{ab}	85,72 ^{ab}	10,39	0,88
		50/50	40,07	38,79 ^{ab}	0,49	0,27	1,99	167,61	21,74	10,78 ^{ab}	77,48 ^{ab}	88,25 ^{ab}	11,33	0,88
		67/33	44,31	36,54 ^{ab}	0,56	0,30	2,03	158,35	21,38	12,99 ^{ab}	75,53 ^{ab}	88,53 ^{ab}	11,59	0,84
	LZ/WS	33/67	34,96	31,10 ^b	0,46	0,30	1,93	158,10	22,50	10,66 ^{ab}	60,33 ^b	70,99 ^b	10,99	0,85
		50/50	38,14	29,99 ^b	0,45	0,26	1,89	170,01	22,86	9,89 ^b	56,39 ^b	66,28 ^b	10,75	0,85
		67/33	42,67	41,08 ^{ab}	0,49	0,30	1,81	156,65	23,96	12,93 ^{ab}	74,12 ^{ab}	87,05 ^{ab}	10,31	0,85
	p-Wert			0,07^{ns}	0,01	0,9^{ns}	0,57^{ns}	0,44^{ns}	0,83^{ns}	0,42^{ns}	0,02	0,01	0,01	0,44^{ns}

Tabelle 28. Trockenmasse-Ertrag von Stroh und Korn [dt/ha], Ernteindex, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Stroh und Korn, Proteingehalt [%] und Stickstoff-Index in Korn von Winterweizen zur Druschreife nach Reinsaat (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022. Die Daten sind Mittelwerte von vier Wiederholungen pro Variante und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte bei mehrjähriger Analyse. J - Jahr, V – Variante, J x V – Jahr x Variante. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei $p < 0,01$. *** Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS - Saatstärke, LZ-Luzerne, SW-Spitzwegerich, WS-Wiesenschwingel.

Variante	SaatS [%]	TM-Ertrag [dt/ha]		Ernteindex	N-Konzentration [%]		C/N-Verhältnis [%]		N-Ertrag [kg N/ha]			Proteingehalt [%]	Stickstoff-Index
		Stroh	Korn		Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Summe		
LZ	100	31,78	33,32 ^a	0,59	0,31	1,97	148,14	21,38	10,43 ^a	66,44 ^a	76,87 ^a	11,26	0,89
SW	100	18,27	24,07 ^{ab}	0,64	0,26	1,84	171,86	23,01	4,83 ^b	44,46 ^{ab}	49,29 ^b	10,48	0,92
WS	100	18,73	23,42 ^{ab}	0,61	0,29	1,92	155,99	22,30	5,82 ^b	44,60 ^{ab}	50,42 ^b	10,92	0,90
LZ/SW	33/67	22,08	27,91 ^{ab}	0,62	0,24	1,82	182,96	23,20	5,58 ^b	50,64 ^{ab}	56,22 ^{ab}	10,35	0,91
	50/50	22,87	26,35 ^{ab}	0,59	0,26	1,90	172,61	22,12	6,11 ^{ab}	51,36 ^{ab}	57,47 ^{ab}	10,85	0,91
	67/33	22,45	28,27 ^{ab}	0,66	0,27	1,89	169,14	22,42	7,26 ^{ab}	55,24 ^{ab}	62,50 ^{ab}	10,78	0,90
LZ/WS	33/67	20,12	22,17 ^b	0,57	0,30	1,94	153,43	21,96	6,11 ^{ab}	42,79 ^b	48,90 ^b	11,05	0,89
	50/50	21,40	21,98 ^b	0,60	0,29	1,96	155,38	21,61	5,68 ^b	42,26 ^b	47,94 ^b	11,16	0,90
	67/33	24,48	27,57 ^{ab}	0,59	0,30	1,88	151,36	22,75	7,41 ^{ab}	50,51 ^{ab}	57,92 ^{ab}	10,71	0,89
2020 x 2022		J^{***} V[*] J x V[*]	J^{***} V[*] J x V^{ns}	J^{***} V^{ns} J x V^{ns}	J^{ns} V^{ns} J x V^{ns}	J^{ns} V^{ns} J x V[*]	J^{ns} V^{ns} J x V^{ns}	J^{ns} V^{ns} J x V^{ns}	J^{***} V^{***} J x V[*]	J^{***} V[*] J x V^{ns}	J^{***} V^{***} J x V^{ns}	J^{ns} V^{ns} J x V[*]	J^{***} V^{ns} J x V^{ns}

4.2.4.2 Stickstoffaufnahme von Winterweizen

In Abbildung 63 und Abbildung 64 wurde die Entwicklung von den Vorräten an $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ im Laufe des Anbaus von Winterweizen in Versuchsanlage I (2019 bis 2020) veranschaulicht. Die Skalierung der y-Achse bei $\text{NO}_3\text{-N}$ wurde konstant dargestellt, um die Änderungen in kg/ha besser nachverfolgen zu können. Bei dem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat musste die Skalierung der y-Achse zum Vegetationsbeginn (Abbildung 64 [A.]) um 2 kg/ha erhöht werden, um die Ergebnisse vollständig darstellen zu können.

Abbildung 63 (A.) veranschaulicht die $\text{NO}_3\text{-N}$ - und $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorräte zur Aussaat des Winterweizens I. Werte aus den anderen Bodenschichten sind zu diesem Termin nicht verfügbar.

Mit der Aussaat von Winterweizen in 2019 wurde nach Luzerne in Reinsaat der höchste $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat (19,4 kg/ha) ermittelt. Der niedrigste Vorrat wurde nach dem Luzerne-Spitzwegerich-Gemenge in Saatstärke 33/67% beobachtet. Bis auf das Luzerne-Gemenge mit 33% Spitzwegerich (13,3 kg/ha), war der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat nach den anderen Varianten mit Spitzwegerich (10,9% nach 67% und 11,3% nach 50% Spitzwegerichanteil) signifikant niedriger als nach Luzerne in Reinsaat (Abbildung 63 [A.]). Die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte nach Reinsaat Wiesenschwingel sowie nach den Luzerne-Wiesenschwingel-Gemengen unterschieden sich signifikant weder von der Luzerne in Reinsaat, noch von dem Spitzwegerich. Die Streuung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorräte zur Winterweizen I Aussaat war sehr groß. Tendenziell zeigten die Mittelwerte nach Luzerne mit 67%- und 33%-Spitzwegerich sowie nach der Luzerne in Reinsaat höhere Werte im Unterschied zu den Mittelwerten nach den Varianten mit Wiesenschwingel.

Vier Wochen nach der Aussaat des Winterweizens I erfolgte eine Probennahme in 0 bis 120 cm, die ein Gesamtbild des $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrates darstellt (Abbildung 63 [B.]). Die Ergebnisse zeigten insgesamt höhere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte nach allen Varianten ohne Spitzwegerich. Im Durchschnitt wurden nach den Varianten mit Spitzwegerich (Reinsaat und Gemenge) 27 kg/ha weniger $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat in 0 bis 120 cm im Vergleich zu den anderen Varianten ermittelt. Im Mittel war der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat 46% weniger nach den Luzerne-Spitzwegerich-Gemengen verglichen mit dem $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat nach Luzerne in Reinsaat in 0 bis 120 cm (Abbildung 63 [B.]). Signifikante Differenzen wurden in 0 bis 30 und in 30 bis 60 cm ermittelt.

Acht Wochen nach der Aussaat (Abbildung 63 [C.]) blieb die Tendenz für weniger $\text{NO}_3\text{-N}$ nach Spitzwegerich, wobei signifikante Unterschiede in den Bodenschichten 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm festgestellt wurden. In Abbildung 63 (C.) wurde nach Luzerne und Wiesenschwingel in Reinsaat und nach deren Gemenge eine Verlagerung des $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrates bis 120 cm beobachtet. Nach der großen Streuung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorräte zum vorherigen Termin (Abbildung 63 [B.]), zeigte Abbildung 63 (C.) höhere $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorräte nach Spitzwegerich in Reinsaat sowie nach den Luzerne-Spitzwegerich-Gemengen in Saatstärken 33/67% und 67/33%. In der Bodenschicht 60 bis 90 cm wurde ein signifikant höherer $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat nach Luzerne in Reinsaat ermittelt.

Zum Vegetationsbeginn des Winterweizens (Abbildung 64 [A.]) wurde das $\text{NO}_3\text{-N}$ in die tiefere Bodenschicht zwischen 90 und 120 cm verlagert. In dieser Bodenschicht nach Luzerne in Reinsaat wurde der höchste $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat (46,8 kg/ha) verzeichnet, der signifikant höher als die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte von allen Varianten war. Die niedrigsten Mittelwerte wurden in 90 bis 120 cm nach Spitzwegerich in Reinsaat (14,6 kg/ha) sowie nach dem 33/67%-Gemenge aus Luzerne und Spitzwegerich (14,5 kg/ha) ermittelt. Beim $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat fällt in Abbildung 64 (A.) der Mittelwert nach dem Gemenge Luzerne und

Spitzwegerich in der Saatstärke 33/67% mit 8,6 kg/ha auf. Der Mittelwert wies eine hohe Standardabweichung auf, weil der Wert in einem Block viel niedriger als die anderen Werte ausgefallen ist (3,8 kg/ha), während die anderen drei Werte >6,5 kg/ha betragen. Nach Spitzwegerich in Reinsaat sowie nach dem 50%-Gemenge der Luzerne und des Wiesenschwingels betrug der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat 4,5 kg/ha. In 30 bis 60 cm lag der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat bei 3,1 kg/ha nach Spitzwegerich in 100% Saatstärke. Der p-Wert in 30 bis 60 cm war tendenziell signifikant (0,08).

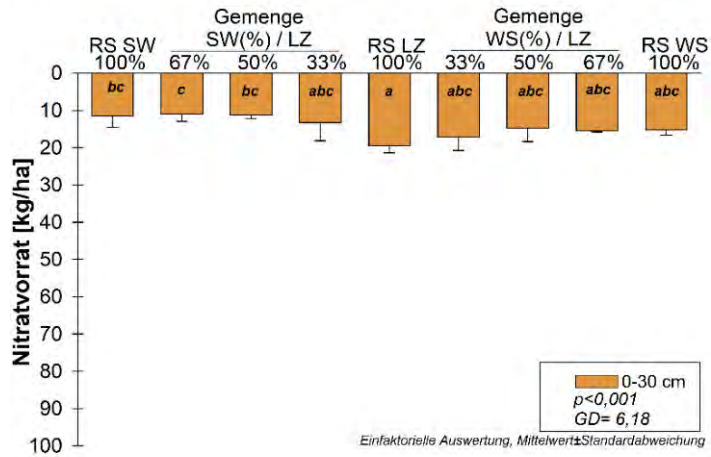
Zur Druschernte des Winterweizens I (Abbildung 64 [B.]) sank der $\text{NO}_3\text{-N}$ in 0 bis 90 cm nach den Gemengen mit Luzerne und Wiesenschwingel sowie nach Wiesenschwingel in Reinsaat unter 20 kg/ha. In 0 bis 30 cm betrug der höchste $\text{NO}_3\text{-N}$ 18,7 kg/ha nach dem 50%-Gemenge aus Luzerne und Spitzwegerich. Dies war signifikant höher im Vergleich zu den Mittelwerten nach Spitzwegerich und Wiesenschwingel in Reinsaat sowie nach allen Luzerne-Wiesenschwingel-Gemengen.

In 30 bis 60 cm wies der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat systematische Differenzen der Mittelwerte auf. Nach dem Gemenge aus Spitzwegerich und Luzerne 33/67% lag der höchste $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat mit 2,4 kg/ha.

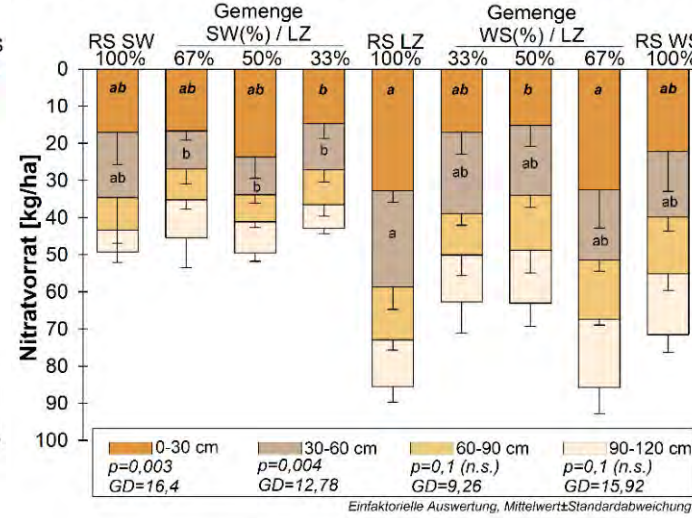
Zusammen mit den Ergebnissen aus Tabelle 25 und Tabelle 26 kann geschlussfolgert werden, dass der Spitzwegerich eine nitrifikationshemmende Wirkung als Vorfrucht auf den Winterweizen hatte, die die N-Aufnahme von Winterweizen zur Bestockung negativ beeinflusst hat. Dadurch wurde eine 10%ige Senkung des TM-Kornertrages gegenüber der Luzerne in Reinsaat als Vorfrucht ermittelt. Allerdings kann die nitrifikationshemmende Wirkung in diesem Projekt keinem konkreten Saatanteil zugeordnet werden.

A. Winterweizen I

Aussaat (2019)



B. Winterweizen I 4 Wochen nach Aussaat (2019)



C. Winterweizen I 8 Wochen nach Aussaat (2020)

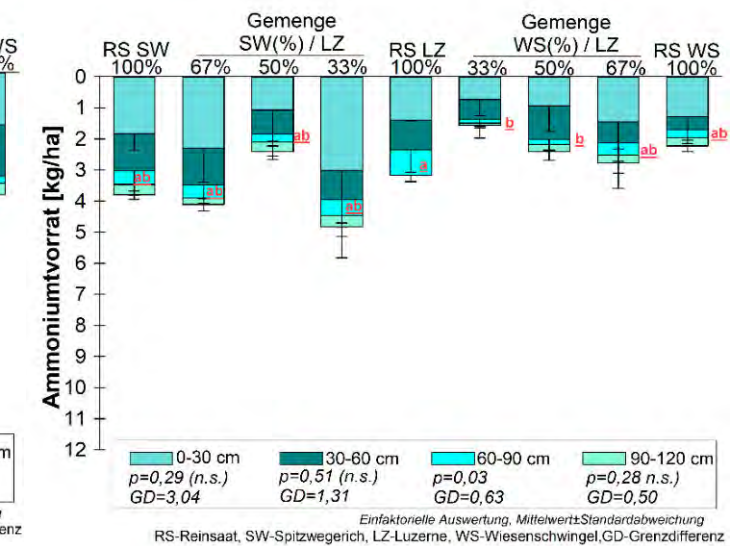
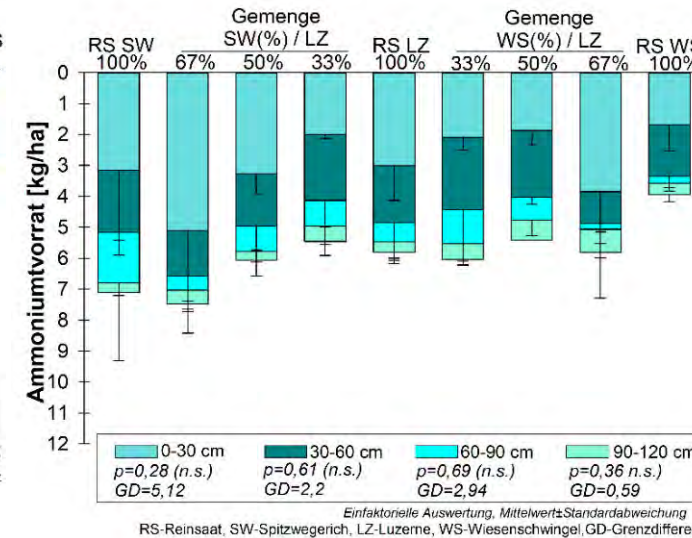
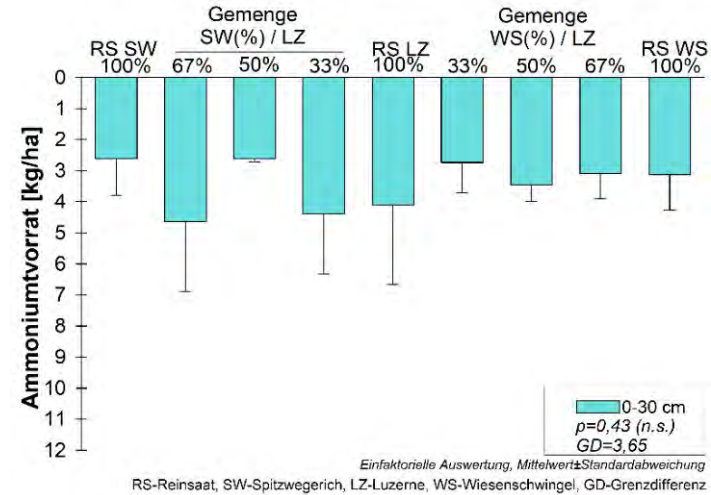
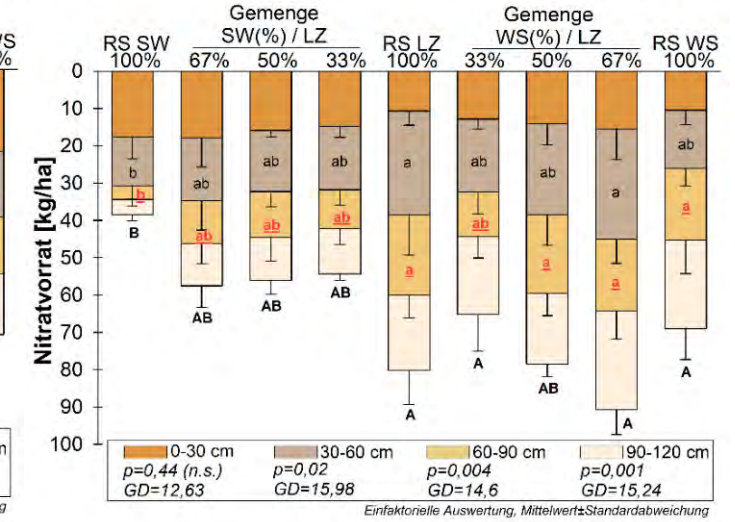
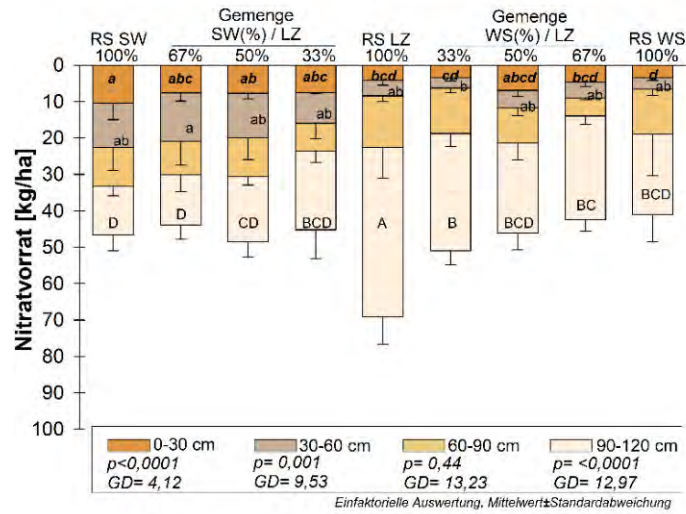


Abbildung 63. Vorrat an Nitrat- und Ammonium [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe des Winterweizens I. A. Zur Aussaat (23.10.2019) B. Vier Wochen nach Aussaat (26.11.2019). C. Acht Wochen nach Aussaat (03.01.2020). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

A. Winterweizen I Vegetationsbeginn 2020



B. Winterweizen I Druschernte (2020)

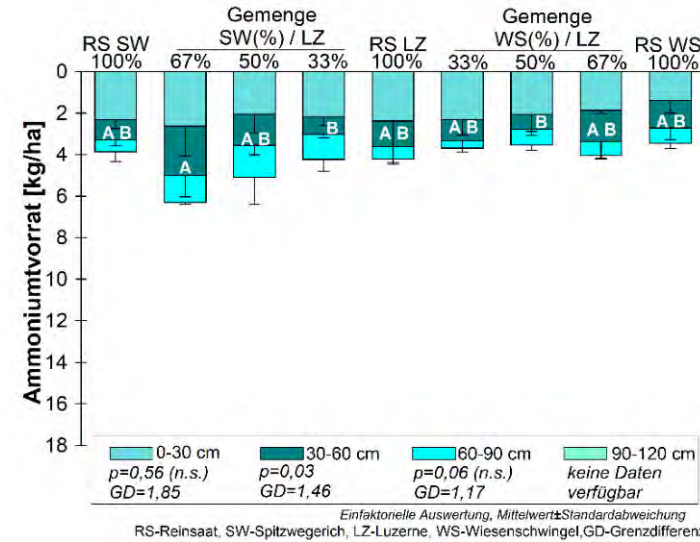
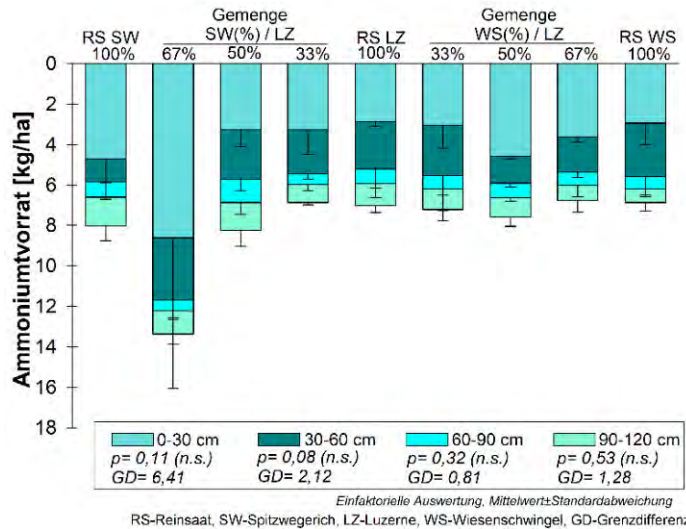
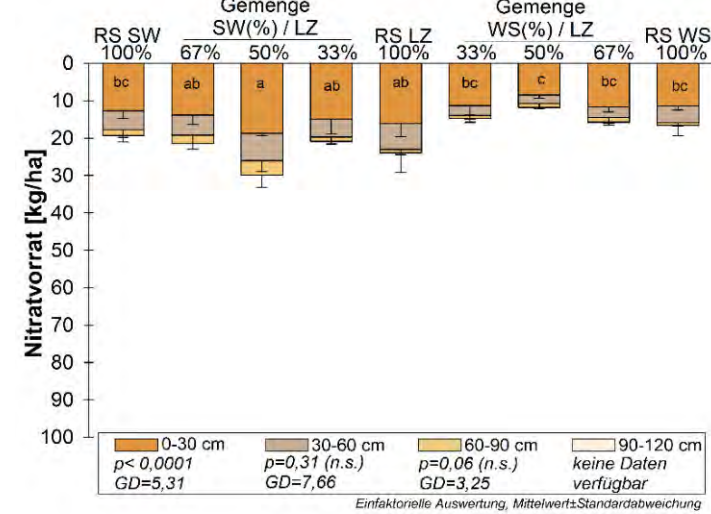


Abbildung 64. Vorrat an Nitrat- und Ammonium [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe des Winterweizens I. A. Zum Vegetationsbeginn (04.03.2020) B. Zur Druschreife (04.08.2020). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

In Abbildung 65 und Abbildung 66 wurde die Entwicklung der Vorräte an $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ im Laufe des Winterweizenanbaus in Versuchsanlage II (2021 bis 2022) veranschaulicht. Die Skalierung der y-Achse bei $\text{NO}_3\text{-N}$ wurde konstant dargestellt, um die Änderungen der einzelnen Termine besser nachverfolgen zu können. In Abbildung 66 wurden die Einzelwerte zum Vegetationsbeginn des Winterweizens II dargestellt, die nicht statistisch ausgewertet werden konnten. In Versuchsanlage II erfolgte keine N_{min} -Probenahme zum Drusch des Winterweizens (siehe 1.3.3 und 2).

In 0 bis 30 cm war der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat mit 29 kg/ha nach Luzerne in Reinsaat am höchsten (Abbildung 65 [A.]). Der niedrigste $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat mit 5,8 kg/ha wurde nach Spitzwegerich in Reinsaat, gefolgt von Wiesenschwingel in Reinsaat mit 6 kg/ha, erfasst. Die Ergebnisse zeigten insgesamt höhere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte nach allen Varianten ohne Spitzwegerich, in der Summe von 0 bis 120 cm, analog zu Abbildung 63 (B.). Im Durchschnitt wurden nach den Varianten mit Spitzwegerich (Reinsaaten und Gemenge) 18,7 kg/ha weniger $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat in 0 bis 120 cm im Vergleich zu den anderen Varianten mit Luzerne und Wiesenschwingel erfasst. Im Mittel war der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat um 70% geringer nach den Luzerne-Spitzwegerich-Gemengen verglichen mit dem $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat nach Luzerne in Reinsaat in 0 bis 120 cm. Die Verteilung des $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrats war sehr unterschiedlich nach den Reinsaaten und Gemengen, während die Mittelwerte in 0 bis 30 cm am meisten voneinander differierten (Abbildung 65 [A.]). Mit 4,2 kg/ha und 4 kg/ha lagen die höchsten Mittelwerte nach den Gemengen Luzerne und Spitzwegerich 33/67%, und 50/50% vor. Nach Wiesenschwingel in Reinsaat wurden 3,8 kg/ha $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat erfasst. In 60 bis 90 cm war die Streuung in den Datensätzen am geringsten und es wurden systematische Unterschiede zwischen den Mittelwerten festgestellt. Mit 1,7 kg/ha $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat belegte Spitzwegerich in Reinsaat als Vorfrucht den ersten Platz, der jedoch lediglich gegenüber dem Gemenge aus Luzerne und Spitzwegerich 33/67% als Vorfrucht signifikant ausfiel.

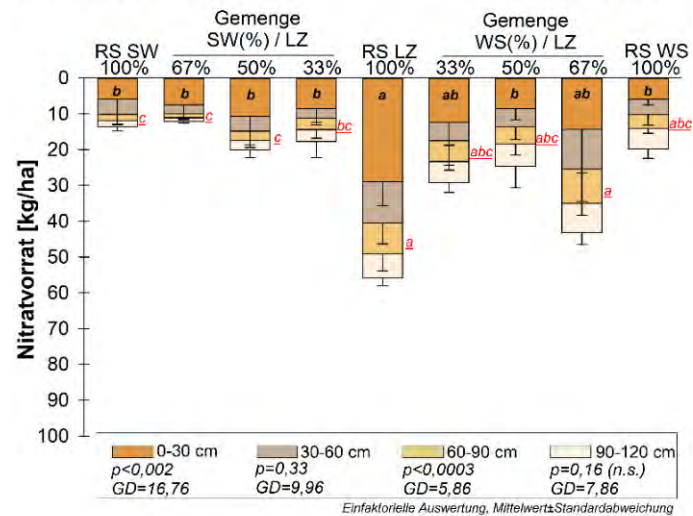
Vier Wochen nach der Aussaat von Winterweizen II (Abbildung 65 [B.]) widerspiegelte die Darstellung des $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrats die Ergebnisse aus Abbildung 63 (B.). Die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte fielen leicht höher aus, jedoch war die Tendenz bei der Verteilung des $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrats nach Tiefenstufen, vor allem in 0 bis 30 cm, identisch. Der einzige Unterschied lag in dem $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat nach dem Gemenge aus Spitzwegerich und Luzerne in der Saatstärke 33/67%, nach dem ein $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat von 25,6 kg/ha ermittelt wurde. Dieser Wert lag knapp über dem Mittelwert nach dem 50%-Gemenge aus Luzerne und Spitzwegerich (23,6 kg/ha, Abbildung 65 [B.]). Die Verlagerung von $\text{NO}_3\text{-N}$ in die Schichten 60 bis 120 cm wurde messbar. Der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat wies erneut eine große Streuung auf, weshalb keine Signifikanzen registriert wurden (Abbildung 65 [B.]).

Acht Wochen nach der Aussaat des Winterweizens II wurde die Verlagerung des $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrats in 60 bis 120 cm fortgesetzt (Abbildung 65 [C.]). Im Durchschnitt wurden nach den Varianten mit Spitzwegerich (Reinsaaten und Gemenge) 18,3 kg/ha weniger $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat in 0 bis 120 cm im Vergleich zu den anderen Varianten mit Luzerne und Wiesenschwingel erfasst. Im Mittel war der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat um 47% geringer nach den Luzerne-Spitzwegerich-Gemengen, verglichen mit dem $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrat nach Luzerne in Reinsaat in 0 bis 120 cm.

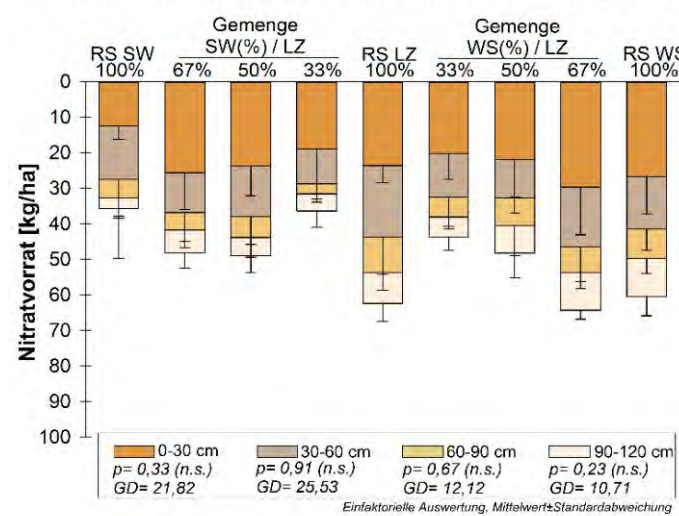
Die N_{min} -Probenahme in Abbildung 65 (C.) fand Ende Januar statt, drei Wochen später als in Versuchsanlage I, die Anfang Januar durchgeführt wurde. Zu diesem Zeitpunkt wurde nach Spitzwegerich in Reinsaat die höchste Summe an $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat in 0 bis 120 cm (10,4 kg/ha) sowie in 90 bis 120 cm (3,7 kg/ha) erfasst.

A. Winterweizen II

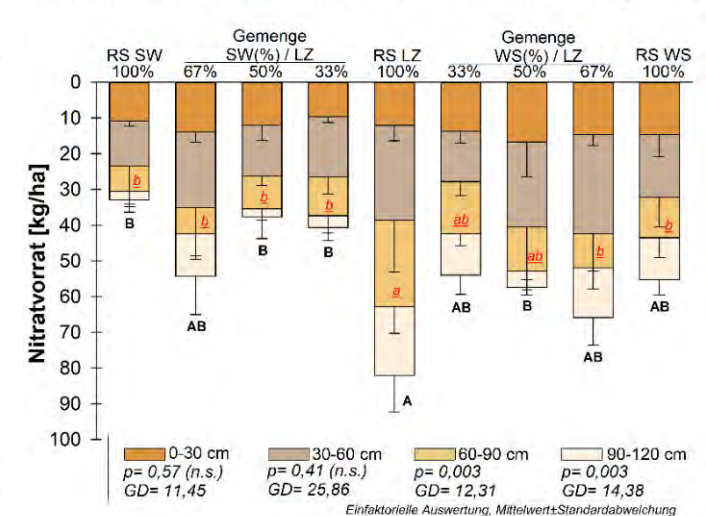
Aussaat (2021)



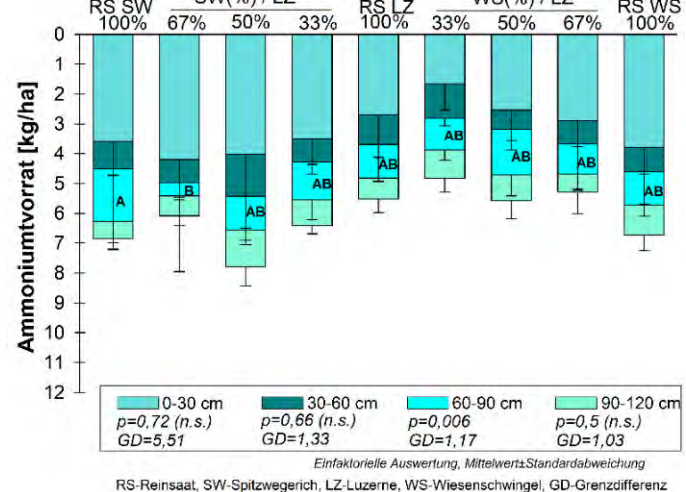
B. Winterweizen II 4 Wochen nach Aussaat (2021)



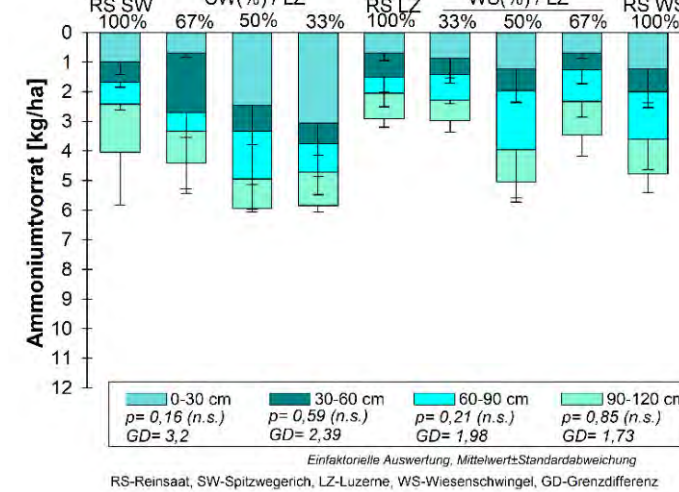
C. Winterweizen II 8 Wochen nach Aussaat (2022)



Ammoniumvorrat [kg/ha]



Ammoniumvorrat [kg/ha]



Ammoniumvorrat [kg/ha]

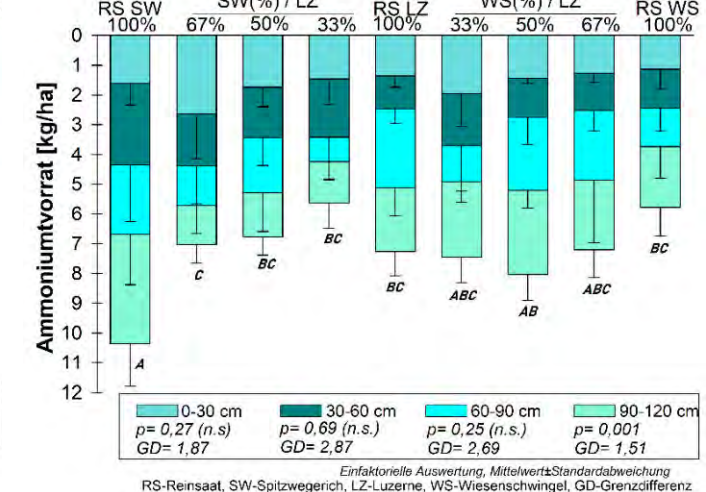


Abbildung 65. Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe zu A. Aussaat von Winterweizen (21.10.2021). B. Vier Wochen nach Aussaat (26.11.2021). C. Acht Wochen nach Aussaat (27.01.2022) auf Versuchsanlage II. Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz.

Da die Werte zum Vegetationsbeginn des Winterweizens II viele Lücken aufwiesen, war eine Interpretation der vorhandenen Daten nicht möglich (Abbildung 66).

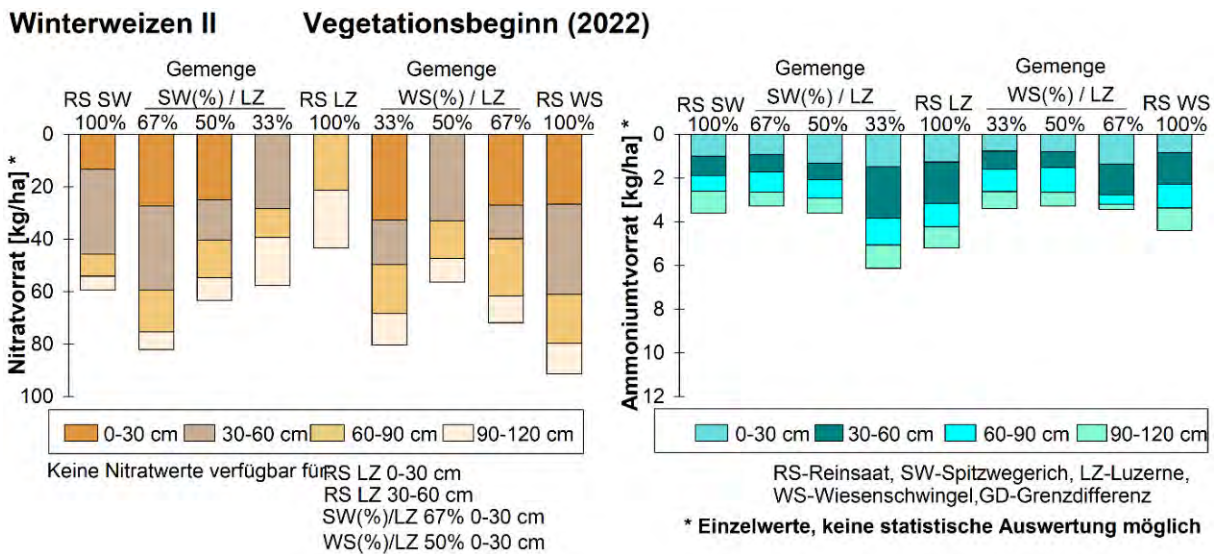


Abbildung 66. Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe zum Vegetationsbeginn von Winterweizen II (14.04.2022). Die Daten sind z.T. Einzelwerte, keine statistische Auswertung möglich. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

In Versuchsanlage II wurde ebenfalls zusammen mit den Ergebnissen aus Tabelle 25 und Tabelle 26 festgestellt, dass der Spitzwegerich die Nitrifikation im Boden beim Weizenanbau als Vorfrucht hemmt, allerdings erst ab der achten Woche nach der Aussaat. Hierbei war es erneut nicht möglich die nitrifikationshemmende Wirkung einem konkreten Saatanteil des Spitzwegerichs zuzuordnen.

4.2.4.3 Ertragsbildung von Wintergerste

Die Bestockung der Wintergerste findet bereits im Herbst statt, weshalb die Probenahme acht Wochen nach der Aussaat (Abbildung 67 [B.]) gleichzeitig mit der Zwischenernte zur Bestockung (Tabelle 29) durchgeführt wurde.

Die Zwischenernte der Weizenbiomasse (Blätter und Halme, Tabelle 29) zeigte zum Zeitpunkt der Bestockung, dass nach Spitzwegerich in Reinsaat, mit 7,8 dt/ha in 2022 der höchsten TM-Ertrag gebildet wurde, der sich signifikant von der Gerstenbiomasse nach Luzerne in Reinsaat (5,4 dt/ha) unterschied. Die TM-Erträge nach den Gemengen aus Luzerne und Spitzwegerich wiesen zur Bestockung ähnliche Erträge verglichen mit den Gemengen aus Luzerne und Wiesenschwingel als Vorfrucht, bis auf den niedrigeren Mittelwert (4,7 dt/ha) nach dem Gemenge aus Luzerne und Spitzwegerich in Saatstärke 33/67%.

In Tabelle 29 fällt diesmal im Gegensatz zu Tabelle 25 auf, dass die N-Konzentration in der Gerstenbiomasse nach der Integration des Spitzwegerichs als Vorfrucht gleich hoch wie die N-Konzentration in der Gerstenbiomasse nach Reinsaat Luzerne ausgefallen war. Demzufolge war der

sich in der Weizenbiomasse befindliche N-Ertrag nach Spitzwegerich am höchsten (Tabelle 29). Die Unkraut-TM blieb zur Bestockung der Wintergerste sehr gering.

Tabelle 29. Trockenmasse-Ertrag [dt/ha] von Wintergerstenspross zur Bestockung, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Wintergerstenspross und Trockenmasse-Ertrag von Unkraut [dt/ha] nach Reinsaaten (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022. Die Daten sind Mittelwerte von vier Wiederholungen pro Variante und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte mit Tukey-HSD (einfaktoriell) an. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei $p < 0,01$. *** Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS - Saatstärke, LZ-Luzerne, SW-Spitzwegerich, WS-Wiesenschwingel.

Jahr	Variante	SaatS [%]	TM-Gerste [dt/ha]	N-Konzentration [%]	C/N-Verhältnis [%]	N-Ertrag [kg N/ha]	TM-Unkraut [dt/ha]
2022	LZ	100	5,38 ^b	4,03	9,35	21,68 ^{ab}	0,14
	SW	100	7,80 ^a	4,08	9,15	31,88 ^a	0,21
	WS	100	5,47 ^b	3,96	9,56	21,74 ^{ab}	0,08
	LZ/SW	33/67	4,70 ^b	4,13	9,46	19,56 ^b	0,23
		50/50	6,11 ^{ab}	4,01	9,42	24,44 ^{ab}	0,21
		67/33	5,85 ^{ab}	4,01	9,52	23,41 ^{ab}	0,10
	LZ/WS	33/67	5,48 ^b	3,97	9,60	21,83 ^{ab}	0,14
		50/50	5,87 ^{ab}	4,15	9,43	24,23 ^{ab}	0,08
		67/33	6,25 ^{ab}	4,26	9,05	26,64 ^{ab}	0,13
	p-Wert		0,01	0,55^{ns}	0,3^{ns}	0,02	0,56^{ns}

Anders als nach Winterweizen in Tabelle 27, lagen weder in Versuchsanlage I in 2021, noch in Versuchsanlage II in 2023 signifikante Unterschiede für die zur Druschreife untersuchten Parameter vor (Tabelle 30). Übereinstimmend mit Tabelle 27 waren jedoch die sehr großen Abweichungen der Jahresmittelwerten aus 2021 und 2023 (Tabelle 30).

In Versuchsanlage I in 2021 lagen die höchsten Kornerträge nach Spitzwegerich in Reinsaat (5,9 dt/ha) sowie nach den drei Gemengen aus Luzerne und Spitzwegerich (Tabelle 30). Der optimale Ernteindex bei gängigen Wintergerstensorten liegt normalerweise bei ca. 0,50. Nach Spitzwegerich und Wiesenschwingel sowie nach den Luzerne-Spitzwegerich-Gemengen 33/67% und 67/33% fielen die Ernteindizes höher aus betragen fast 0,60.

Die N-Konzentration im Korn der Wintergerste war nach Luzerne in Reinsaat sowie nach dem Gemenge Luzerne-Wiesenschwingel in Saatstärke 67/33% am höchsten. Durch die höheren TM-Erträge von Stroh und Korn zeigt schließlich die Wintergerste nach Spitzwegerich den höchsten N-Ertrag in 2021. Bis auf das Gemenge Luzerne-Spitzwegerich 33/67%, sanken die Proteingehalte im Gerstenkorn nach Spitzwegerich sowie nach Wiesenschwingel in Reinsaat (Tabelle 30).

In Versuchsanlage II mit Wintergerste als zweite Folgefrucht nahmen die TM-Erträge andere Dimensionen und übertrafen die Jahresmittel aus 2021 mit mehr als 90% im Mittel. Dabei waren die

Jahresdifferenz bei Ernte- und Stickstoffindizes am geringsten (Tabelle 30, Tabelle 31). Der Proteingehalt im Korn sank stark an und blieb konstant unter 7,3% bei allen Varianten.

Erneut war der TM-Kornertrag der Gerste am höchsten nach Spitzwegerich in Reinsaat mit 66,8 dt/ha, während die Luzerne im Mittel 61,8 dt/ha aufwies (Tabelle 30). Die niedrigsten Kornerträge wurden nach Wiesenschwingel in Reinsaat (57,1 dt/ha) sowie nach dem Gemenge Luzerne-Wiesenschwingel 33/67% (57,7 dt/ha) erfasst. Im Gegensatz lag der Mittelwert des korrespondierenden Gemenges aus Luzerne und Spitzwegerich als Vorfrucht mit 63,3 dt/ha darüber. Nach den anderen Gemengen lagen ähnliche Kornerträge vor.

Die N-Konzentration war in 2023 im Vergleich zu 2021 gesunken (Tabelle 30). Anders als in 2021 war die leicht höhere N-Konzentration im Gerstenkorn nach dem Spitzwegerich in Reinsaat (1,1%) und nach dem Gemenge aus Luzerne und Spitzwegerich in Saatstärke 33/67% (1,2%) zu finden. Der p-Wert bei der einfaktoriellen Analyse war mit 0,07 tendenziell signifikant.

Die N-Erträge aus Stroh und Korn einzeln sowie aufsummiert fielen nach Spitzwegerich ebenfalls am höchsten aus. Die Proteingehalte des Gerstenkorns waren nach Luzerne und Wiesenschwingel mit 6,6% geringfügig geringer im Vergleich zum Gerstenkorn nach Spitzwegerich mit 7% (Tabelle 30).

Die Analyse der gewogenen Mittel aus Tabelle 30 führten lediglich zu signifikanten Jahresdifferenzen (Tabelle 31), bis auf den Stickstoffindex, der über die Jahre relativ konstant blieb. Im Jahresdurchschnitt lagen die höchsten TM-Erträge an Gerstenstroh und- korn weiterhin nach Spitzwegerich in Reinsaat mit 4,8 dt/ha mehr Stroh und 3,4 dt/ha mehr Korn.

Tabelle 30. Trockenmasse-Ertrag von Stroh und Korn [dt/ha], Ernteindex, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Stroh und Korn, Proteingehalt [%] und Stickstoff-Index in Korn von Wintergerste zur Druschreife nach Reinsaat (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022. Die Daten sind Mittelwerte von vier Wiederholungen pro Variante und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte mit Tukey-HSD (einfaktoriell) an. ^{ns} Nicht signifikant. ^{**} Signifikanz bei $p < 0,01$. ^{***} Signifikanz bei $p < 0,01$ und $0,001$. SaatS - Saatstärke, LZ-Luzerne, SW-Spitzwegerich, WS-Wiesenschwingel.

Jahr	Variante	SaatS[%]	TM-Ertrag [dt/ha]		Ernteindex	N-Konzentration [%]		C/N-Verhältnis [%]		N-Ertrag [kg N/ha]			Proteingehalt [%]	Stickstoff-Index
			Stroh	Korn		Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Summe		
2021	LZ	100	1,70	4,04	0,53	0,58	1,81	75,45	24,14	1,02	7,32	8,08	11,31	0,83
	SW	100	4,59	5,87	0,57	0,60	1,56	75,17	27,31	2,64	9,11	11,76	9,74	0,78
	WS	100	1,00	3,92	0,57	0,48	1,57	92,90	27,71	0,50	6,08	6,45	9,84	0,88
	LZ/SW	33/67	3,40	5,49	0,63	0,56	1,66	79,06	26,57	1,70	8,54	10,24	10,37	0,83
		50/50	4,87	5,21	0,53	0,47	1,58	91,96	28,03	2,33	8,31	10,65	9,85	0,78
		67/33	3,73	5,49	0,59	0,49	1,43	88,04	29,98	1,89	7,80	9,69	8,95	0,81
	LZ/WS	33/67	3,91	4,57	0,53	0,52	1,70	82,10	26,16	2,03	7,38	9,41	10,62	0,78
		50/50	3,53	3,74	0,52	0,57	1,60	82,88	27,48	2,22	5,98	8,20	10,01	0,75
		67/33	1,95	2,25	0,54	0,60	1,89	72,69	23,20	1,20	4,27	5,47	11,79	0,78
	p-Wert			0,19^{ns}	0,71^{ns}	0,96^{ns}	0,54^{ns}	0,12^{ns}	0,56^{ns}	0,25^{ns}	0,24^{ns}	0,88^{ns}	0,78^{ns}	0,12^{ns}
2023	LZ	100	34,19	61,85	0,65	0,36	1,05	120,62	40,24	13,10	65,26	75,08	6,58	0,83
	SW	100	45,56	66,82	0,60	0,44	1,11	97,18	38,50	20,48	74,33	94,81	6,96	0,79
	WS	100	29,59	57,10	0,66	0,38	1,05	110,60	40,39	11,30	60,07	71,38	6,58	0,84
	LZ/SW	33/67	31,37	63,26	0,67	0,38	1,16	112,31	36,81	12,06	73,21	85,27	7,24	0,86
		50/50	29,05	60,39	0,68	0,43	1,11	104,45	37,81	12,84	67,33	80,16	6,97	0,84
		67/33	40,44	59,09	0,61	0,39	1,11	110,97	38,43	16,80	65,26	82,07	6,92	0,81
	LZ/WS	33/67	33,22	57,68	0,65	0,38	1,13	112,61	37,93	13,28	65,10	78,38	7,06	0,84
		50/50	38,81	60,15	0,62	0,55	1,07	92,67	39,53	23,48	64,60	88,08	6,70	0,75
		67/33	38,91	60,60	0,62	0,46	1,13	96,18	37,64	18,16	68,74	86,90	7,07	0,80
	p-Wert			0,57^{ns}	0,78^{ns}	0,76^{ns}	0,51^{ns}	0,07^{ns}	0,52^{ns}	0,42^{ns}	0,52^{ns}	0,42^{ns}	0,36^{ns}	0,06^{ns}

Tabelle 31. Trockenmasse-Ertrag von Stroh und Korn [dt/ha], Ernteindex, N-Konzentration [%], C/N-Verhältnis, N-Ertrag [kg N/ha] von Stroh und Korn, Proteingehalt [%] und Stickstoff-Index in Korn von Wintergerste zur Druschreife nach Reinsaat (100%) und Gemengevarianten (33/67%, 50/50% und 67/33%) in den Versuchsanlagen 2020 und 2022. Die Daten sind Mittelwerte von vier Wiederholungen pro Variante und Jahr. Hochgestellte Buchstaben zeigen Signifikanz innerhalb der gleichen Spalte bei mehrjähriger Analyse. J - Jahr, V – Variante, J x V – Jahr x Variante. ^{ns} Nicht signifikant. ** Signifikanz bei p < 0,01. *** Signifikanz bei p < 0,01 und 0,001. SaatS - Saatstärke, LZ-Luzerne, SW-Spitzwegerich, WS-Wiesenschwingel.

Variante	SaatS [%]	TM-Ertrag [dt/ha]		Ernte-index	N-Konzentration [%]		C/N-Verhältnis [%]		N-Ertrag [kg N/ha]			Protein-gehalt [%]	Stickstoff-Index
		Stroh	Korn		Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Summe		
LZ	100	20,27	32,94	0,59	0,49	1,43	94,81	32,19	7,06	36,29	41,58	8,95	0,83
SW	100	25,07	36,34	0,58	0,52	1,34	86,18	32,90	11,56	41,72	53,29	8,35	0,78
WS	100	17,34	30,51	0,61	0,43	1,31	101,75	34,05	6,67	33,07	38,91	8,21	0,86
LZ/SW	33/67	17,38	34,38	0,65	0,47	1,41	95,68	31,69	6,88	40,88	47,76	8,80	0,85
	50/50	16,96	32,80	0,60	0,45	1,35	98,21	32,92	7,58	37,82	45,40	8,41	0,81
	67/33	22,08	32,29	0,60	0,44	1,27	99,51	34,21	9,35	36,53	45,88	7,93	0,81
LZ/WS	33/67	18,57	31,13	0,59	0,45	1,41	97,35	32,04	7,66	36,24	43,90	8,84	0,81
	50/50	21,17	31,94	0,57	0,56	1,34	87,78	33,51	12,85	35,29	48,14	8,36	0,75
	67/33	20,43	31,43	0,58	0,53	1,51	84,44	30,42	9,68	36,51	46,19	9,43	0,79
2021 x 2023		J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J*** V^{ns} J x V^{ns}	J^{ns} V^{ns} J x V^{ns}

4.2.4.4 Stickstoffaufnahme von Wintergerste

In Abbildung 67 und Abbildung 68 wurde die Entwicklung der Vorräte an $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ im Laufe des Wintergerstenanbaus in Versuchsanlage I (2020 bis 2021) veranschaulicht. Abbildung 69 und Abbildung 70 zeigen die Entwicklung von N_{min} während des Wintergerstenanbaus in Versuchsanlage II (2022 bis 2023).

Die Skalierung der y-Achse bei $\text{NO}_3\text{-N}$ wurde konstant dargestellt, um die Änderungen der einzelnen Termine besser nachverfolgen zu können. In Abbildung 68 (B.) wurde die Skalierung der y-Achse bei $\text{NH}_4\text{-N}$ geändert, um die Unterschiede der Tiefenstufen darstellen zu können ($<0,1$ kg/ha). Wiederum musste die y-Achse bei Abbildung 69 und Abbildung 70 um 2 kg/ha erhöht werden.

Mit der Aussaat der Wintergerste in Versuchsanlage I war die Verteilung der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte ungleichmäßig verteilt und es konnte keine Tendenz der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Entwicklung abgeleitet werden. Außerdem wurden große Streuungen innerhalb der Hälfte aller Datensätze festgestellt. Die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorräte wiesen in 90 bis 120 cm signifikante Unterschiede auf. Mit 1,5 kg/ha war der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat nach dem Gemenge aus Luzerne und Wiesenschwingel in Saatstärke 50/50% signifikant höher als der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Vorrat nach Luzerne und Wiesenschwingel im 33/67%-Gemenge (0,5 kg/ha) sowie nach Spitzwegerich in Reinsaat (0,6 kg/ha, Abbildung 67 [A]).

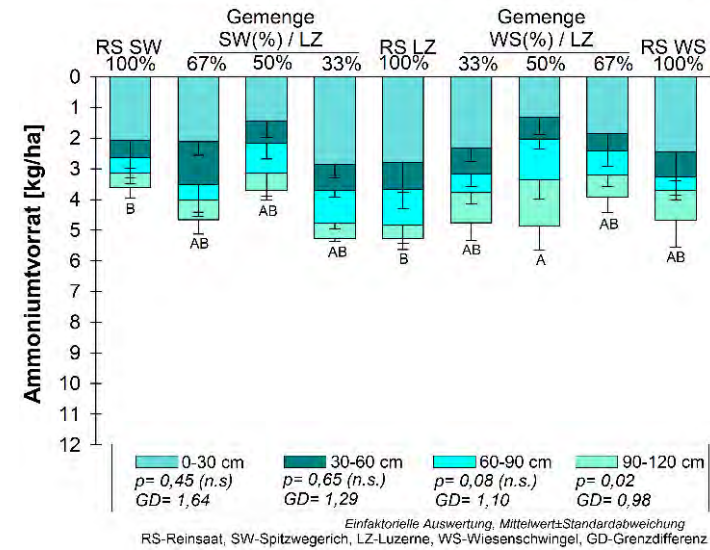
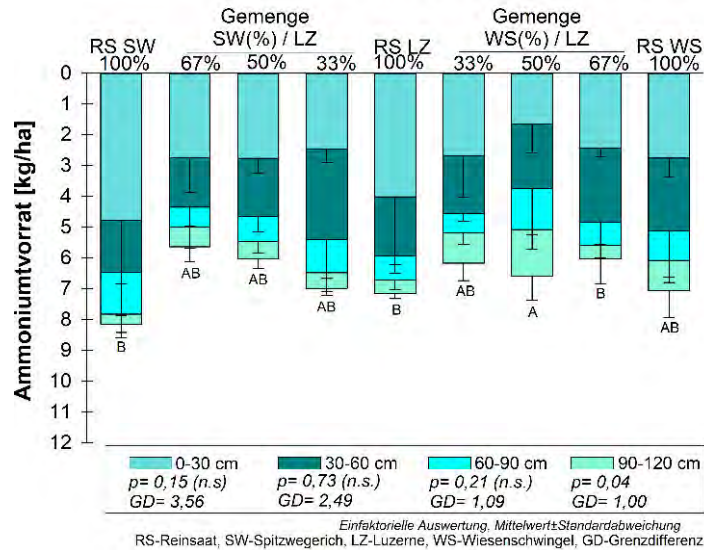
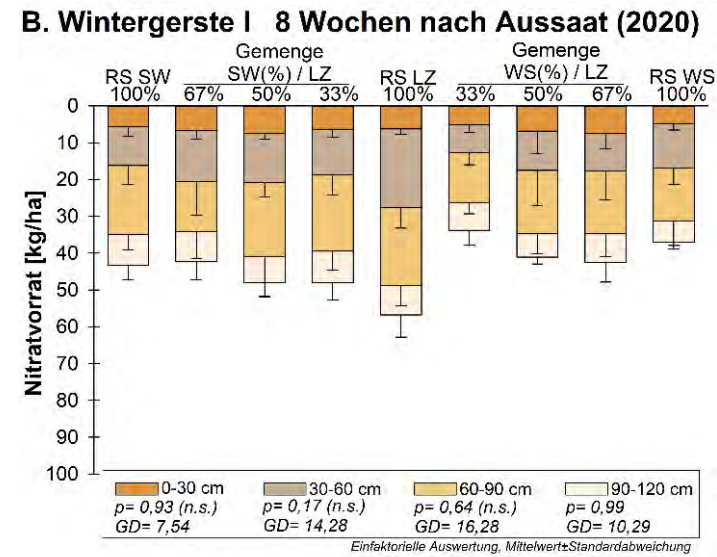
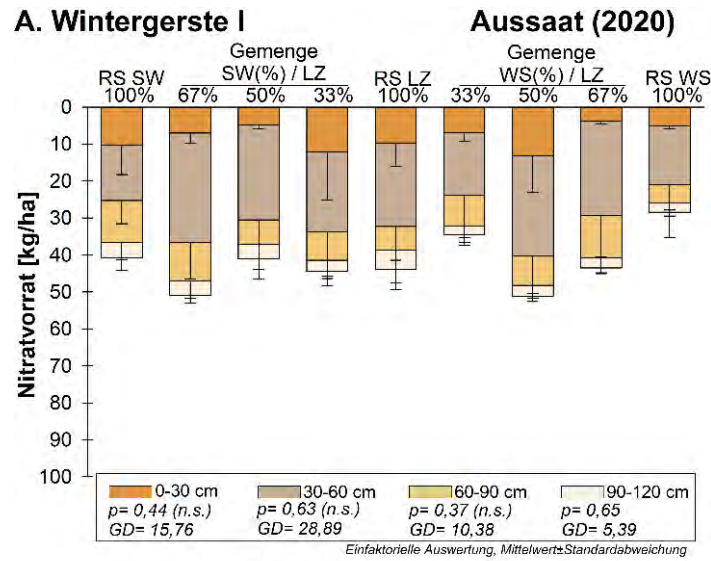


Abbildung 67. Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe von Wintergerste in Versuchsanlage I zu A. Aussaat (14.09.2020). B. Acht Wochen nach Aussaat (27.01.2022). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

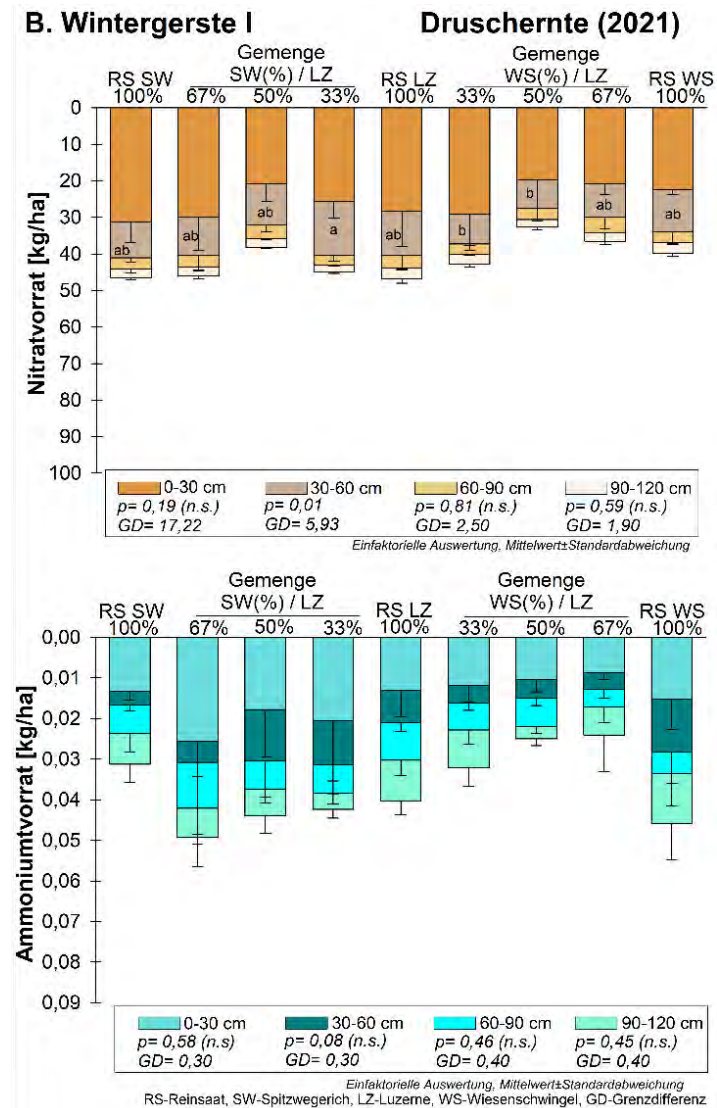
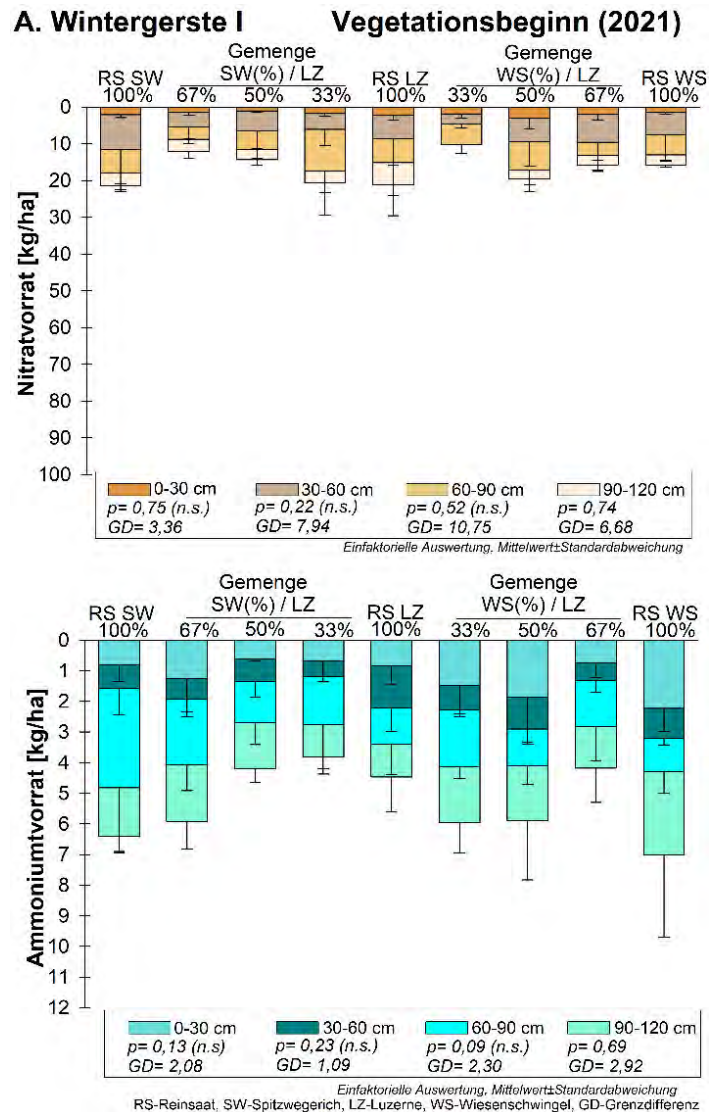


Abbildung 68. Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe von Wintergerste in Versuchsanlage I zu A. Vegetationsbeginn (29.03.2021). B. Druschernte (16.07.2021). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-ReinSaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

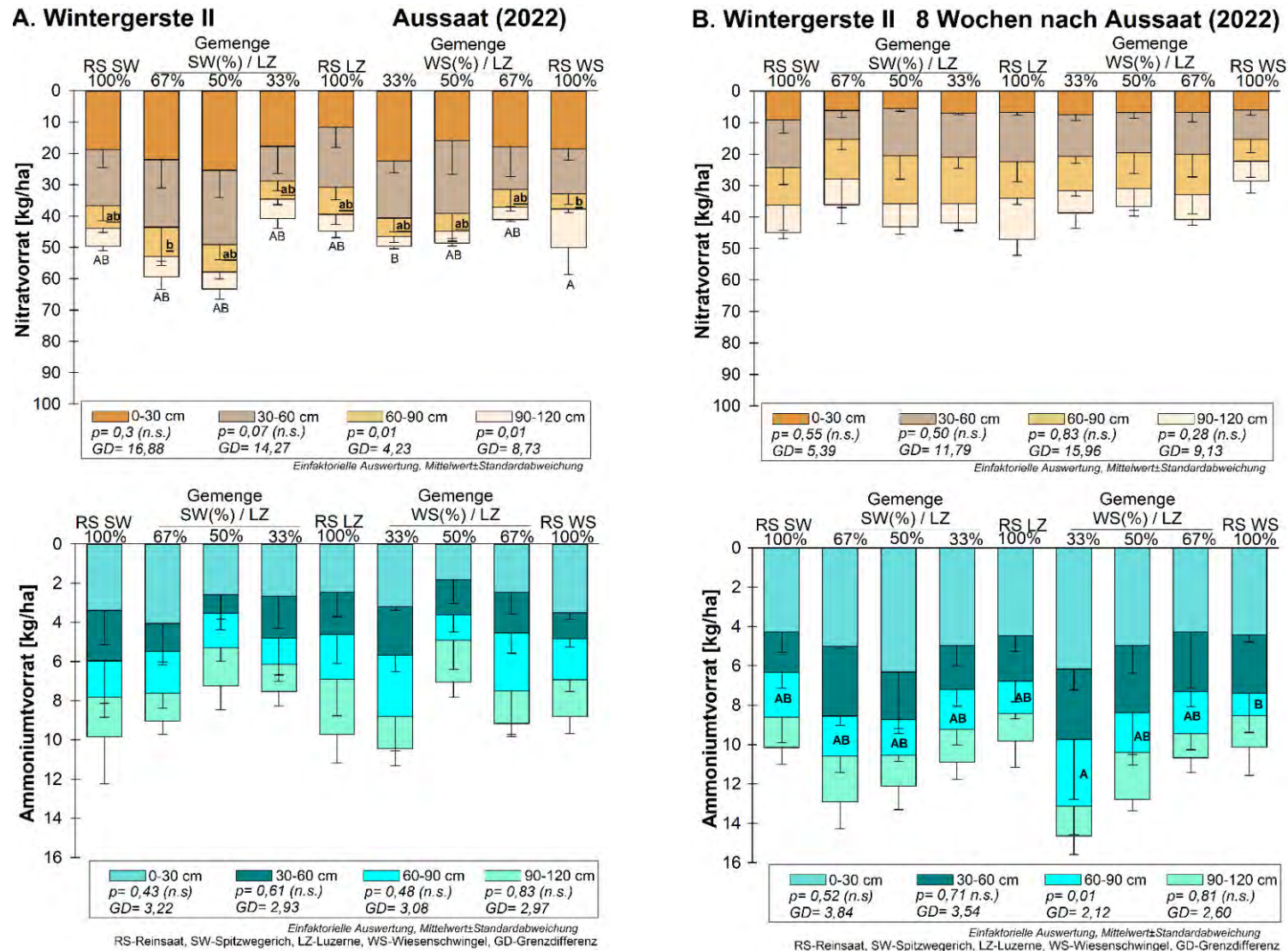
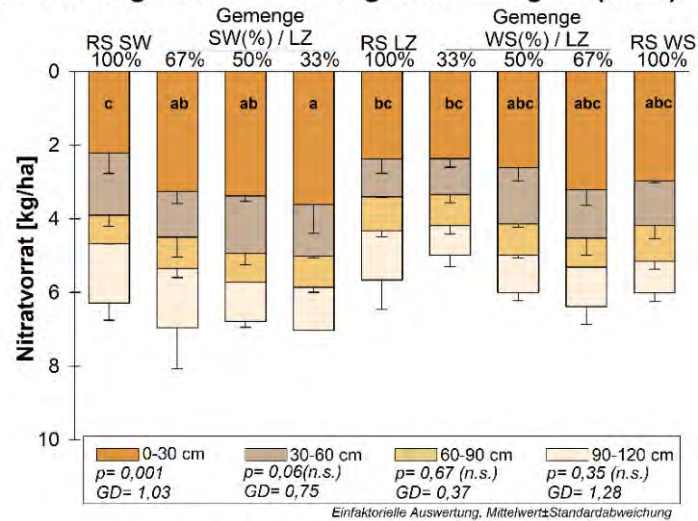


Abbildung 69. Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff [kg/ha] in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe von Wintergerste in Versuchsanlage II zu A. Aussaat (23.09.2022). B. Acht Wochen nach Aussaat (24.11.2022). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

A. Wintergerste II Vegetationsbeginn (2023)



B. Wintergerste II Druschernte (2023)

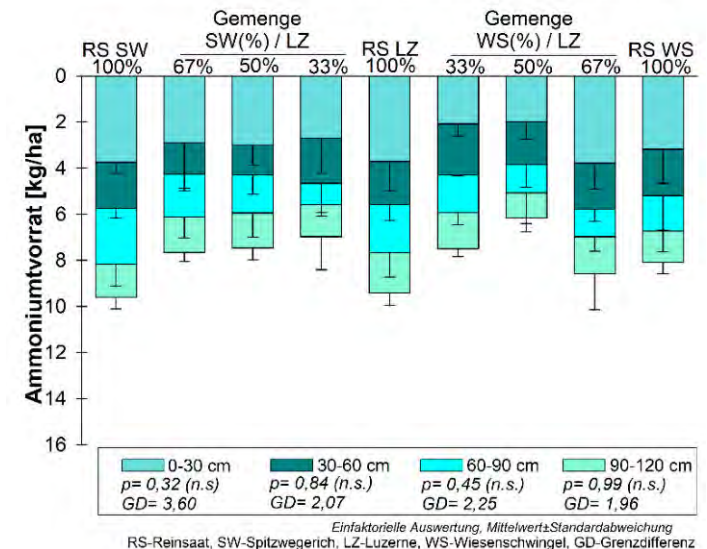
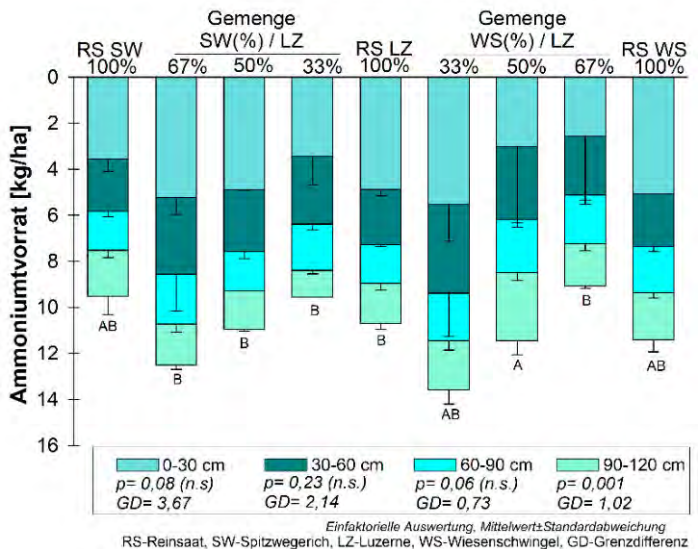
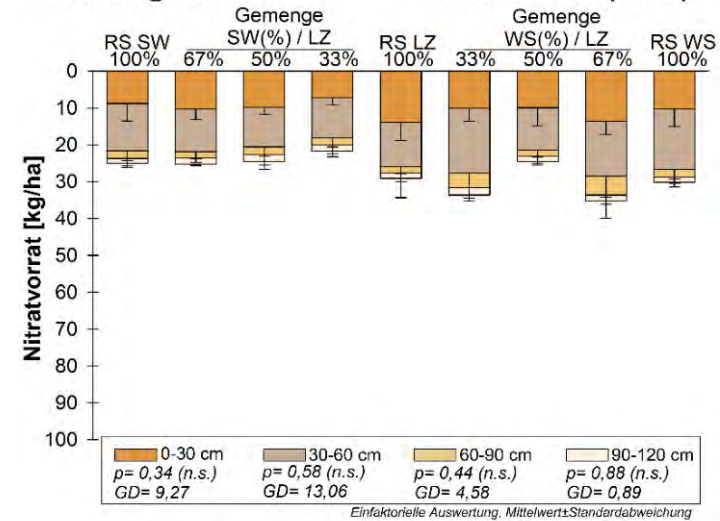


Abbildung 70. Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff in 0 bis 30, 30 bis 60, 60 bis 90 und 90 bis 120 cm Bodentiefe von Wintergerste in Versuchsanlage I zu A. Vegetationsbeginn (14.04.2022). B. Druschernte (16.08.2023). Einfaktorielle Auswertung mit Tukey-HSD, Mittelwert ± Standardabweichung. RS-Reinsaat, SW-Spitzwegerich, LZ-Luzerne, WS-Wiesenschwingel, GD-Grenzdifferenz

5 Nebenergebnisse des Projektes

Das wichtigste Nebenergebnis des Projektes war die hohe Konkurrenzkraft des Spitzwegerichs, die bereits im Hauptergebnisteil beschrieben wurde. Es wurde außerdem festgestellt, dass der Spitzwegerich (Sorte Libor) im Frühjahr eine sehr langsame Entwicklung aufwies, die sich ab Juni sehr beschleunigt hat. Der Spitzwegerich fing an zu blühen, noch bevor die Luzerne und der Wiesenschwingel schnittreif geworden sind. Die schnelle Entwicklung dieser Spitzwegerichsorte kann Nachteile für die Futterqualität hervorrufen, da diese Sorte offenbar den optimalen Schnittzeitpunkt früher erlangt als die Luzerne. Zudem könnte die Gefahr bestehen, dass bei verzögerter Nutzung auch Samen des Spitzwegerichs gebildet werden, aus denen später in der Fruchtfolge eine unerwünschte Beigleitpflanze erwächst. Spitzwegerichpflanzen der Sorte Libor, die in den Randstreifen um die Versuchsfläche herum gewachsen sind und erst spät genutzt wurden, bildeten Samen, die keimten und so den Spitzwegerich im zweiten Jahr außerhalb des Versuchsfläche ausbreiteten.

Die ersten Beobachtungen aus dem Projekt wurden für weitere Untersuchungen an der Professur Ökologischer Landbau an der HTW Dresden als Startpunkt verwendet. Recherchen zeigten nebenbei, dass es andere Spitzwegerichsorten auf dem Markt gibt, die sich zum Beispiel für den Winteranbau eignen. Darunter ist die Sorte Libor jedoch am ertragsreichsten.

Die Experimente im Projekt zeigten die erhöhte Nitrat-Auswaschungsgefahr nach Luzerne-Gras-Gemengen als weiteres Nebenergebnis. Obwohl die Erträge der Luzerne in den Gemengen sehr gering ausgefallen sind, konnte im Projekt das Potential zur Auswaschungsgefahr nach dem Umbruch im Herbst verdeutlicht werden.

Der Wiesenschwingel wird normalerweise im Gemenge mit Luzerne und anderen Gräsern angebaut. In der Literatur sind nur wenige systematische Felduntersuchungen mit Wiesenschwingel durchgeführt worden. Demzufolge können die Ergebnisse dieses Projektes Wissenslücken schließen. Der Wiesenschwingel, der als sehr konkurrenzschwach in der Literatur beschrieben wird, behauptete sich dagegen auch relativ stark in den Luzernenbeständen. In Reinsaat konkurrierte der Wiesenschwingel auch relativ stark gegen das Unkraut.

6 Ergebnisverwertung

6.1 Nutzung der Ergebnisse in der Praxis

Seit Beginn des Projektes gab es großes Interesse an der Integration des Spitzwegerichs seitens der Forschung und Praxis. Während der Spitzwegerich vor 2019 in der Landwirtschaft in der Regel als unerwünschte Pflanze, zumindest im Ackerbau, angesehen wurde, ist er mittlerweile bekannt für seine nitrifikationshemmende Wirkung. Das Projekt hat in dieser Hinsicht eine Pionierfunktion wahrgenommen, da bisher keine wissenschaftlichen und praktischen Untersuchungen zum Gemengeanbau von Luzerne und Spitzwegerich vorlagen.

Der Betrieb Wassergut Canitz GmbH experimentierte selbst mit Spitzwegerich nachdem der hier beschriebene Versuch seitens der HTW Dresden angelegt wurde. Hier konnte eine Minderung der Sickerwasserbildung und effektive Senkung der Nitratvorräte im Boden festgestellt werden, wobei hier der Spitzwegerich ebenfalls im Gemenge mit Luzerne angebaut worden war. Landwirtschaftliche Praxisbetriebe, Fachberaterinnen und -berater sowie Interessierte aus der Wissenschaft kontaktierten das Projektteam und suchten nach Empfehlungen für Sorten, Saatstärke und Gemengepartner des Spitzwegerichs. Spitzwegerichsaatgut ist inzwischen in größeren Mengen auf dem Markt verfügbar.

So wird u.a. das Wassergut Canitz GmbH Spitzwegerich in der Vegetationsperiode 2024 im Gemenge mit Futterleguminosen auf 20 ha anbauen, um die im Projekt erworbenen Erfahrungen breiter nutzen zu können, nicht nur im Hinblick auf Ertragssicherung unter trocken-warmen Bedingungen, sondern vor allem als Empfehlung für einen vorsorgenden Grundwasserschutz. Die hier erzielten Ergebnisse lassen auch eine Empfehlung für die Wahl der Saatstärke von Spitzwegerich im Gemenge mit Luzerne zu. Es wird empfohlen Spitzwegerich mit etwa 25% der Reinsaatsärke im Gemenge mit Luzerne anzubauen. Das führt je nach Tausendkornmasse des Spitzwegerichsaatgutes zu empfohlenen Saastärken im Gemenge in Höhe von 0,75 bis 1,0 kg/ha. Äußerst wichtig ist zudem, dass Spitzwegerich wegen seiner geringen Korngröße nur 0,5 bis 1 cm (lehmmige Böden) bzw. 1 bis 1,5 cm tief (sandige Böden) gesät werden kann. Das hier in den Versuchen genutzte Ansaatverfahren einer Blanksaat im Frühjahr hat sich risikoreich im Hinblick auf den Etablierungserfolg des Spitzwegerichs und der Anfangsverunkrautung erwiesen. Deshalb dürfte es in vielen Fällen erfolgversprechend sein, Spitzwegerich im Gemenge mit Futterleguminosen im August nach Getreide auszusäen, da hier der Etablierungserfolg weitaus höher war wie mittlerweile aus anderen Versuchen der Professur Ökologischer Landbau an der HTW Dresden mit Spitzwegerich gezeigt wurde. Ferner darf der Schnittzeitpunkt des Spitzwegerichs nicht zu spät gewählt werden, da in diesen Fällen die Futterqualität des Spitzwegerichs unzureichend, zumindest für die Versorgung von hochleistenden Milchkühen, sein könnte.

6.2 Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse

Tabelle 32. Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse (01/2019 bis 01/2024)

	Datum	Wissenstransfer
Internet	2019-2020	Website der DVS (Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume): http://tinyurl.com/yk9z5uvx und http://tinyurl.com/ysd2pwqj
		Website des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) Freistaat Sachsen http://tinyurl.com/yrw445fq und http://tinyurl.com/yvwx6qms
		Website des Forschungskoordinationssystems Agrar und Ernährung (FISA): http://tinyurl.com/ypy2jr6y
		Forschungsinformationssystem der HTW Dresden: http://tinyurl.com/yr8om6us
Vorträge/Tagungsbeiträge	30.10.2019	Vortrag: Neue Ansätze zur Nährstoffversorgung – Ergebnisse aus EIP-Agri Projekten (Veranstaltung Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau, LfULG Nossen)
	11.11.2019	Vortrag für Saxony ⁵ Ökologischer Landbau und Grundwasserschutz – Stand des Wissens (Schmidtke, 2019)
	11.11.2019	Vortrag Water quality due to organic farming – how organic farming can influence water quality – example from practice in Saxony (Wagner, 2019)
	10.07.2020	Vortrag für Gäa e.V.: Das Fruchtfolgeglied Klee gras neu gedacht – Anforderungen an neue Gemenge mit Futterleguminosen für Klimaanpassung und N-Auswaschung (Schmidtke, 2020)
	16.03–17.03.2021	Fachtagung KTBL „Boden gut machen – neue Ackerbausysteme“, Perspektive 2040: Acker- und Pflanzenbau im ÖL – multifunktional
	03.02.2021	Wintertagung Gäa e.V.
	03.11.2021	Fachtagung Nährstoffversorgung und Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau (Organisiert durch Landwirtschafts- und Umweltzentrum (LUZ) in Nossen)
	29.08. – 02.09.2022	Congress of the European Society for Agronomy (ESA 2022 XVII.) in Potsdam; Vortrag <i>Session 1: Increasing the resilience and resource efficiency of cropping systems</i> (Krachunova et al., 2022)
5.-8.03.2024	17. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau an der Justus-Liebig-Universität, Gießen – Biologische Nitrifikationshemmung mit Spitzwegerich (<i>Plantago lanceolata</i> L.) im Gemenge mit Luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.) (Posterbeitrag)	
Artikel	Ausgabe 05.2020	Bioland – Biologisch innovativ – Spitzwegerich hemmt Stickstoffabbau (Scharfstädt & Schmidtke, 2020)
	20.06.2022	Gäa e.V. – Mitglieder Rundbrief 02/2022 (Seiten 16-17)
	15.11.2022	Spitzwegerich als erfolgreicher Gemengepartner und Stickstoffsparer? (Junghans et al., 2022)
	Ausgabe 04-2023	Ökologie und Landbau: Krachunova und Schmidtke (2023)
	Eingereicht für peer-review Jan/24	Annual mixture of ribwort plantain (<i>Plantago lanceolata</i> L.) and alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) reduces nitrate share in soil under dry climate conditions in organic farming (Agronomy for Sustainable Development)

7 Wirkung des Projektes

7.1 Beitrag zu den Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums

Das vorliegende Projekt leistet Beiträge zu allen sechs Prioritäten der EU²⁵, die unter Tabelle 33 und Tabelle 34 begründet wurden:

Tabelle 33. Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu den Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums (Teil I)

Priorität der EU für die Entwicklung des Ländlichen Raums	Begründung
Förderung von Wissenstransfer und Innovation in der Land- und Forstwirtschaft und den ländlichen Gebieten	Im Rahmen des Projektes werden neuartige ackerbauliche Verfahren in die ökologische Landwirtschaft eingeführt, die in dieser Form noch nicht existierten.
Verbesserung der Lebensfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe und der Wettbewerbsfähigkeit aller Arten von Landwirtschaft in allen Regionen und Förderung innovativer landwirtschaftlicher Techniken und der nachhaltigen Waldbewirtschaftung	Das ackerbauliche Verfahren zur Integration von Spitzwegerich ist ein innovativer Weg zur Reduktion der Nitratauswaschung, die für viele landwirtschaftliche Betriebe in Wasserschutzgebieten eine große Herausforderung darstellt.
Förderung einer Organisation der Nahrungsmittelkette, einschließlich der Verarbeitung und Vermarktung von Agrarerzeugnissen, des Tierschutzes und des Risikomanagements in der Landwirtschaft	Durch die Einführung der neuartigen ackerbaulichen Strategien zur Integration von Spitzwegerich werden höhere Mengen Bio-Rohstoffe für die heimische Öko-Lebensmittelherstellung angestrebt, die Importe ersetzen oder weniger stark ansteigen lassen sollen. Aufgrund des höheren Tierwohls in Öko-Betrieben dient die mit dem Projekt angestrebte Stabilisierung der Öko-Betriebe auch dem Tierwohl und Tierschutz, da Spitzwegerich ein für die Tiere gesundheitsförderndes Futtermittel darstellt. Das Risiko für Betriebe in Wasserschutzgebieten, Produktionseinschränkungen zu unterliegen, kann durch Integration von Spitzwegerich gesenkt werden.

²⁵ Die Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums sind in Art. 5 der Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 vom 17.12.2013 (ELER-Verordnung) festgelegt

Tabelle 34. Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu den Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums (Teil II)

Priorität der EU für die Entwicklung des Ländlichen Raums	Begründung
Wiederherstellung, Erhaltung und Verbesserung der mit der Land- und Forstwirtschaft verbundenen Ökosysteme	Das Projekt erzielt eine direkte Wirkung auf Agrarökosysteme. Die Integration von Spitzwegerich bewirkt eine biologische Senkung der Nitratauswaschung nach dem Umbruch von Luzerne im Herbst, die einen großen Beitrag für den Grundwasserschutz leistet. Gleichzeitig wird auch die Stickstoffverwertung aus dem Luzerneanbau verbessert. Dadurch kann auch die gedüngte Menge an Stickstoff für zwei Jahre (zwei Getreidefolgefrüchte) reduziert werden, was zur Verbesserung und Erhaltung von Ökosystemen beiträgt. Die Integration von Spitzwegerich als neues Fruchtfolgeglied trägt ebenfalls für eine biologische Aufwertung von Agrarökosystemen bei.
Förderung der Ressourceneffizienz und Unterstützung des Agrar-, Nahrungsmittel- und Forstsektor beim Übergang zu einer kohlenstoffarmen und klimaresistenten Wirtschaft	Aufgrund eines geringeren Ressourceneinsatzes im ökologischen Landbau liegt eine direkte Förderung der Ressourceneffizienz vor.
Förderung der sozialen Inklusion, der Armutsbekämpfung und der wirtschaftlichen Entwicklung in ländlichen Gebieten	Aufgrund der mit dem Projekt angestrebten Wettbewerbsstärkung von ökologisch wirtschaftenden Agrarbetrieben werden auch künftig Arbeitsplätze auf dem Land gesichert, speziell in oft strukturschwachen ländlichen Regionen.

7.2 Beitrag zu den Zielen der EIP-AGRI

Das innovative Projekt BioNitrat-Schutz leistet folgende Beiträge zu den Zielen der EIP²⁶ (Tabelle 35 und Tabelle 36):

Tabelle 35. Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu den Zielen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (Teil I)

Ziel der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“	Begründung
<p>Förderung eines ressourceneffizienten, wirtschaftlich lebensfähigen, produktiven, wettbewerbsfähigen, emissionsarmen, klimafreundlichen und -resistenten Agrar- und Forstsektors mit einem Hinarbeiten auf agrarökologische Produktionssysteme, der in Harmonie mit den wesentlichen natürlichen Ressourcen funktioniert, von denen die Land- und Forstwirtschaft abhängt</p>	<p>Durch das Projekt BioNitrat-Schutz wird der ökologische Landbau weiterhin gestärkt und attraktiver gemacht. Die ökologische Landwirtschaft verbraucht weniger Ressourcen, emittiert weniger klimarelevante Spurengase und sorgt für faire Produktpreise für die Landwirt:innen am Markt. Die Experimente zur Integration von Spitzwegerich und zum Anbau von Wintergetreide im Projekt beruhen lediglich auf der Nutzung natürlicher Ressourcen und deren Wechselwirkungen.</p>
<p>Beitrag zu einer sicheren, stetigen und nachhaltigen Versorgung mit Lebensmitteln, Futtermitteln und Biomaterialien, was sowohl bestehende als auch neue Produkte betrifft</p>	<p>Das Projekt strebt höhere Erträge bei sonst ähnlichem Ressourceneinsatz seitens der Agrarbetriebe an. Das hier vorgestellte Verfahren zur verbesserten Stickstoffverwertung aus dem Anbau von Luzerne wird im Rahmen des ökologischen Landbaus durchgeführt und verbraucht weniger Betriebsmittel aus Erdöl. Es wird auf Pflanzenschutzmittel und synthetisch hergestellte Düngemittel verzichtet. Die Zugabe von Düngemitteln natürlichen Ursprungs und die Nitratauswaschung werden ebenfalls reduziert.</p>

²⁶ Die Ziele der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ sind in Art. 55 (1) der Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 vom 17.12.2012 (ELER-Verordnung) festgelegt

Tabelle 36. Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu den Zielen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (Teil II)

Ziel der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“	Begründung
Verbesserung der Prozesse zur Bewahrung der Umwelt, zur Eindämmung des Klimawandels und zur Anpassung an seine Auswirkungen	Aufgrund einer geringeren Umweltbelastung durch ökologische Landwirtschaft, insbesondere die geringere Emission von Klimagasen, dient das Projekt der Bewahrung der Umwelt. Die Stabilisierung der Wettbewerbsfähigkeit unterstützt die Betriebe durch die nachteiligen wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels zu meistern.
Brückenschlag zwischen Spitzenforschung und -technologie sowie den Landwirt:innen, Waldbewirtschaftler:innen, ländlichen Gemeinden, Unternehmen, NRO und Beratungsdiensten	In dem Projekt arbeiten eine Hochschule (HTW Dresden) mit einem ökologisch wirtschaftenden landwirtschaftlichen Unternehmen (Wassergut Canitz GmbH) und einem Verband als Zivilgesellschaft (Bioland e.V. Beratung Ost) zusammen.

7.3 Beitrag zu den in der SWOT-Analyse festgestellten Bedarfen

Das Projekt BioNitrat-Schutz leistet folgende Beiträge zu den in der SWOT-Analyse²⁷ festgestellten Bedarfen (Tabelle 37):

Tabelle 37. Beitrag des Projektes BioNitrat-Schutz zu der in der SWOT-Analyse festgestellten Bedarfen

In der SWOT-Analyse festgestellter Bedarf	Begründung
Verbesserung des ökologischen oder chemischen Zustandes von Grund- oder Oberflächengewässer	Die Entwicklung eines Anbauverfahrens zur Senkung der Grundwasserbelastung mit Nitrat ist direktes Ziel des Projektes.
Verbesserung des Erhaltungszustandes gefährdeter Tier- und Pflanzenarten	Das Projekt strebt eine höhere Artenvielfalt auf ökologisch bewirtschaftete Agrarflächen und Integration einer neuen biodiversitätsfördernden Pflanze (Spitzwegerich) an.
Senkung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft	Das untersuchte Verfahren führt zu geringeren Klimagasemissionen je Hektar auf Öko-Flächen wie es sich aus entsprechenden Untersuchungen zur N ₂ O-Emission in Gründlandbeständen mit Spitzwegerich ableiten lässt.
Steigerung der Nutzungsdauer von Milchrindern	Das Projekt stärkt den ökologischen Landbau. Da im Ökolandbau die Milchkühe eine höhere durchschnittliche Anzahl von Laktationen aufweisen, kann mit dem Projekterfolg auch die durchschnittliche Nutzungsdauer von Milchrindern erfolgen, da Spitzwegerich nachgewiesene gesundheitsfördernde Wirkungen auf Wiederkäuer hat.
Verbesserung des Risikomanagements in landwirtschaftlichen Betrieben	Das Projekt erzielt eine Senkung des Risikos von landwirtschaftlichen Anbaueinschränkungen in Wasserschutzgebieten.
Erhöhung des Anteils ökologisch bewirtschafteter Flächen	Durch die Entwicklung von neuartigen und stabileren Anbauverfahren, wie im vorliegenden Projekt, wird der Ökolandbau attraktiver für weitere Landwirt:innen
Minderung der Bodenerosion	Eine Minderung der Bodenerosion wird im Ökolandbau durch eine ganzjährige Bodenbedeckung angestrebt. Vor allem durch den Anbau von erosionsmindernde Leguminosenarten wird ein Beitrag zum Erosionsschutz geleistet. Durch Integration von Spitzwegerich, der schnellwachsend und konkurrenzstark ist, wird diese Wirkung des Futterleguminosenbaus noch erhöht.
Erhöhung des Artenreichtums auf landwirtschaftlich genutzten Flächen	Das Projekt weitet die Anzahl an Pflanzenarten auf landwirtschaftlichen Flächen durch den Anbau von Spitzwegerich und Wiesenschwingel aus.

²⁷ EPLR 2014 – 2020, Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen, Kap. 4

8 Zusammenarbeit in der operationellen Gruppe

8.1 Ausgestaltung der Zusammenarbeit

Die Kooperationsvereinbarung für das Projekt BioNitrat-Schutz wurde zwischen der HTW Dresden, der Wassergut Canitz GmbH und dem Bioland e.V. – Beratung Ost geschlossen. Ziel der Zusammenarbeit in der operationellen Gruppe war es, gemeinsam durch fortlaufenden Informationsaustausch eine neuartige pflanzenbauliche Strategien für den ökologischen Anbau von Luzerne, Spitzwegerich und zwei Getreidearten zu realisieren, um eine Senkung der Nitratauswaschung nach dem Umbruch von Luzerne im Herbst zu erreichen. Im Rahmen der Zusammenarbeit der operationellen Gruppe wurden gemeinsame Beratungen online und jährliche Treffen vereinbart, die in Abstimmung aller mitwirkenden Parteien durchgeführt wurden. Während der gesamten Projektlaufzeit erfolgte regelmäßiger und gut organisierter Informationsaustausch innerhalb der operationellen Gruppe. Der Informationsaustausch fand aufgrund der Corona-Pandemiesituation vorrangig per E-Mail, über Telefonate und Online-Meetings statt. So wurden beispielsweise alle Aussaat- und Erntetermine in gemeinsamer Absprache Gruppenmitglieder getätigt, um möglichst praxisrelevante Ergebnisse für die landwirtschaftlichen Betriebe zu bekommen.

8.2 Mehrwert der operationellen Gruppe

Der Mehrwert der operationellen Gruppe äußert sich in dem großen Umfang an gewonnen Erkenntnissen während der Projektlaufzeit, die aus der ausführlichen Beschreibung der Forschungsergebnisse zu entnehmen sind (siehe Abschnitte 4. und 6.) Durch die Kommunikation zwischen den OG-Mitgliedern konnten anbautechnische Schwierigkeiten vor Ort bewältigt werden. Es wurde stets gemeinsam an Lösungsansätzen gearbeitet. Ein regelmäßiger Informationsaustausch half bei der Planung und Durchführung von Bonituren und Probeentnahmen. Aufgrund der Wichtigkeit der gewonnenen Erkenntnisse sowie der guten Zusammenarbeit bestehen Pläne für weitere Forschungsvorhaben nach Ende der vorliegenden Projektlaufzeit.

9 Verwendung der Zuwendung

Die wichtigen Projektausgaben in der Zeit 01.04.2019 bis 31.10.2023 sind mit zahlenmäßigen Nachweisen aus der Belegliste zu entnehmen. Im Rahmen des Projektes wurden keine Investitionsgüter angeschafft. Die Feldversuche und Analysen wurden während der gesamten Projektlaufzeit sachgerecht angelegt, durchgeführt und ausgewertet. Alle Änderungen hinsichtlich der Projektlaufzeit wurden schriftlich beantragt und bewilligt.

10 Schlussfolgerungen und Ausblick

10.1 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Projektergebnisse haben gezeigt, dass der Gemengeanbau von Spitzwegerich gemeinsam mit Luzerne zum Grundwasserschutz nach einem Luzerneumbruch im Herbst beitragen kann und gleichzeitig auch das Kulturpflanzenpektrum in der Landwirtschaft, so auch im Ökolandbau diversifiziert.

Die Gemengevarianten aus Spitzwegerich und Luzerne lieferten doppelt so hohe TM-Erträge im Vergleich zu den Referenzgemengen mit Luzerne und Wiesenschwingel. Der Großteil des Ertrages (>90%) machte jedoch hier der TM-Ertrag des Spitzwegerichs aus. Der Spitzwegerich unterdrückte sowohl die Luzerne, als auch alle Unkrautarten mit einem Anteil im Gemenge von >80% bereits ab Juli und stieg auf >98% zum frühen Herbst an. Insgesamt führte der Spitzwegerich bei den hier realisierten Nutzungsterminen zu einer Verringerung des Energiegehaltes im Grundfuttermittel, so dass hierdurch ein Nachteil zumindest in der Fütterung hochlaktierender Milchkühe entstehen kann.

Des Weiteren war im Mittel nach den Gemengen mit Spitzwegerich ein geringerer Nitratvorrat im Boden, insbesondere in den Schichten 60 bis 120 cm, festzustellen. Eine Beziehung zum Saatanteil des Spitzwegerichs im Hinblick auf die Restnitratvorräte im Boden war dabei nicht klar erkennbar. Durch die Nitrifikationshemmung des Spitzwegerichs war Ammonium-N in der Bodenlösung des sandigen Bodens auf der Versuchsfläche zeitweise in einem höheren Maße im Vergleich zu Luzerne und den Gemengen mit Wiesenschwingel vorhanden. Dies bestätigten vor allem die Bodenuntersuchungen zum Vegetationsbeginn des Winterweizens. Zum Vegetationsbeginn des Winterweizens wies der Boden nach Spitzwegerich die höchsten Ammoniumstickstoffvorräte in der Bodenlösung auf. Aus den Projektergebnissen kann weiterhin geschlossen werden, dass der Spitzwegerich eine nitrifikationshemmende Wirkung als Vorfrucht aufgewiesen hat, die die N-Aufnahme von Winterweizen zur Bestockung verringert hat.

Über die Jahre zeigte waren die TM-Erträge der beiden Getreidefolgefrüchte nach Wiesenschwingel in Reinsaat als Vorfrucht insgesamt niedrig. Der Wiesenschwingel im Gemenge mit Luzerne unterschied sich jedoch nicht signifikant von der Luzerne in Reinsaat. Die TM-Erträge an Weizenkorn und -stroh waren unter der Nitrifikationshemmung nach Spitzwegerich geringer im Vergleich zur Luzerne in Reinsaat, jedoch in Luzerne-Gemengen mit Spitzwegerich höher als in Luzerne-Gemengen mit Wiesenschwingel. Stattdessen sanken der N-Ertrag und der Proteingehalt im Weizenkorn. Zur Bestockung der zweiten Folgefrucht Wintergerste wurde die höchste Wintergerste-Sprossmasse nach Spitzwegerich in Reinsaat ermittelt. Zur Druschreife der Wintergerste lagen die höchsten TM-Erträge an Gerstenkorn ebenfalls nach Spitzwegerich in Reinsaat mit einer höheren N-Konzentration im Spross als nach Luzerne in Reinsaat.

Bei Nitrat-N findet einen kontinuierlichen Abbau im Boden und gleichzeitig eine Aufnahme durch die Pflanzen und Auswaschung statt, die den Vorrat beeinflussen. Ammonium-N wurde aus der organischen Substanz des Bodens verfügbar -die spezifische Nitrifikationshemmung durch Spitzwegerich wurde damit und durch die höheren TM-Erträge der Wintergerste als zweite Folgefrucht nachgewiesen. Zum Anbau von Wiesenschwingel liegen zurzeit wenige systematische Untersuchungen

vor, die den Wiesenschwingel als sehr konkurrenzschwach bezeichneten. Im Projekt erwies sich der Wiesenschwingel als relativ konkurrenzstark nicht nur gegenüber der Luzerne, sondern auch gegen den hohen Unkrautdruck.

Insgesamt kann aus den Untersuchungen geschlussfolgert werden, dass ein Gemengebau von Luzerne mit Spitzwegerich, insbesondere mit einem relativen Saatanteil gemessen an der Reinsaatstärke von 67% Luzerne und 33% Spitzwegerich pflanzenbauliche Vorteile für die Ertragsbildung des Gemenges und der Feldfrüchte im Vergleich zu einem entsprechenden Gemenge aus Luzerne und Wiesenschwingel mit sich bringen kann. Gleichzeitig trägt der Spitzwegerich stärker als der Wiesenschwingel zu einer Reduktion der Nitratausträge nach Umbruch der Bestände bei. Wegen der hohen Konkurrenzkraft des Spitzwegerichs sollte er im Gemenge mit Luzerne je nach Tausendkornmasse des Spitzwegerichsaatgutes nur mit einer Saatstärke von ca. 0,75 bis 1,50 kg/ha ausgesät werden. Die Saattiefe sollte dabei auch auf sandigem Boden 1,5 cm möglichst nicht überschreiten.

10.2 Ausblick

Im Rahmen der Versuchsanlagen in diesem Projekt wurden wichtige Erkenntnisse über die Integration von Spitzwegerich in Luzerne-Gemenge gewonnen. Allerdings ergaben sich auch weitere Forschungsfragen, die im Laufe des Projektes nicht beantwortet werden konnten. Die nicht erfolgreiche Etablierung von Spitzwegerich und Wiesenschwingel als Untersaaten in die Winterweizenbestände nach Luzerne in Reinsaat ließ offene Fragen zu der nitrifikationshemmenden Wirkung von Spitzwegerich. Aus diesem Bericht wird deutlich, dass die nitrifikationshemmende Wirkung bei einer Aussaat von Spitzwegerich im März bereits ab Juni den Nitratanteil am Gesamt-N_{min} sichtbar wurde und ein Jahr lang den Nitratgehalt im Boden bis zu 120 cm Bodentiefe senkte. Im Projekt senkte der Spitzwegerich in Reinsaat den Kornertrag der ersten Folgefrucht Winterweizen um fast 30%. Deshalb wird Spitzwegerich für den Hauptfruchtanbau nur für den Gemengebau mit Futterleguminosen und wegen seiner hohen Konkurrenzkraft nur in geringer Saatstärke empfohlen, da unter diesen Bedingungen Nachteile in der Wirkung auf die erste Folgefrucht voraussichtlich in den meisten Fällen vermieden werden können. Auf Grund der starken Konkurrenzkraft des Spitzwegerichs ist es künftig wichtig unter Feldbedingungen die Wirkungen des Spitzwegerichs auch als Untersaat in Wintergetreide zu testen. Außerdem wurde aus den Analysen der Bestandeszusammensetzung geschlussfolgert, dass Spitzwegerich ein sehr starker Konkurrent auch gegenüber Unkräutern sein kann.

Die Hauptkomponente der Unkrautpflanzen war hier der Klatschmohn, der sich nicht gegen den Spitzwegerich behaupten konnte. Es ist unklar, ob der Spitzwegerich als Untersaat andere konkurrenzstarke Unkrautarten auch stärker unterdrücken könnte, wobei Konkurrenzwirkungen auf die Kulturpflanze möglichst vermieden werden sollten. Hinzu kommt noch die Tatsache, dass im Projekt lediglich eine Spitzwegerichsorte (Libor) getestet wurde, die im Frühjahr eine eher langsamere Entwicklung aufwies. Ein Vergleich verschiedener Spitzwegerichsorten auf ihre Ertragsleistung unter Feldbedingungen wäre insbesondere auch für den ökologischen Landbau sinnvoll.

Im Projekt wurde der Anbau von Spitzwegerich mit Luzerne über eine Vegetationsperiode verfolgt, wobei die Grundlagen für die Wirkungsweise des Spitzwegerichs beobachtet wurde. Für die Praxis ist es allerdings ebenfalls relevant, den Anbau von Luzerne und Spitzwegerich über zwei oder mehrere Anbaujahre zu untersuchen. Ein Gemengeanbau von Spitzwegerich mit zum Beispiel zwei Futterleguminosenarten wäre für die Praxis unter trockenen Bedingungen ebenfalls von Bedeutung. Das in Spitzwegerich enthaltene Aucubin ist für die Nitrifikationshemmung im Boden verantwortlich. Allerdings wurde in diesem Projekt nicht geprüft, ob und inwieweit das Aucubin Organismen, insbesondere Mikroorganismen im Boden beeinflusst. Aus Sicht des Klimawandels bedarf es ferner tiefer gehender Untersuchung der nitrifikationshemmenden Wirkung des Spitzwegerichs zur Reduzierung von Lachgasemissionen sowie auf die Grundwasserbildung.

11 Literaturverzeichnis

- Agentur N-Komm. (2020). *Ökologischer Landbau auf dem Wassergut Canitz in Sachsen*.
<https://www.youtube.com/watch?v=mulzcOxVZ4I>
- Anthes, J. (2005). *Beitrag von Ackerbohne (Vicia faba L.), Luzerne (Medicago sativa L.) und Saatwicke (Vicia sativa L.) zur Selbstregelung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen*. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen.
- Atanasiu, N., Baden, W., Baltin, F., Baver, L. D., Blamauer, A., Boguslawski, E., Bräunlich, K., Brüning, D., Coïc, Y., Forchthammer, D. L., Frohner, W., Fruhstorfer, A., Gisiger, L., Gökgöl, M., Gruppe, W., Heinemann, C., Jahn-Deesbach, W., Jung, J., Klapp, E., . . . Zattler, F. (1965). *Düngung der Kulturpflanzen: Erste Hälfte. Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung: 3 / 1*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8121-8>
- Below, F. E. & Heberer, J. A. (1990). Time of availability influences mixed-nitrogen-induced increases in growth and yield of wheat 1. *Journal of Plant Nutrition*, 13(6), 667–676. <https://doi.org/10.1080/01904169009364108>
- Blom, C. W. P. M. (1978). Germination, seedling emergence and establishment of some *Plantago* species under laboratory and field conditions. *Acta Botanica Neerlandica*, 27(5-6), 257–271. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1978.tb00301.x>
- Blume, L., Hoischen-Taubner, S. & Sundrum, A. (2020). Alfalfa - a regional protein source for all farm animals. *J Sustainable Organic Agriculture Syst*, 71(1), 1–13. <https://doi.org/10.3220/LBF1615894157000>
- BMEL & BMU. (2020). *Nitratbericht 2020: Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheitsowie für Ernährung und Landwirtschaft*. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nitratbericht_2020_bf.pdf
- Bowers, M. D. & Stamp, N. E. (1992). Chemical variation within and between individuals of *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae). *Journal of chemical ecology*, 18(7), 985–995. <https://doi.org/10.1007/BF00980057>
- Bodenschätzungsgesetz vom 20. Dezember 2007 (BGBl. I S. 3150, 3176), das zuletzt durch Artikel 15 des Gesetzes vom 26. November 2019 (BGBl. I S. 1794) geändert worden ist (2007). https://www.gesetze-im-internet.de/bodsch_tzg_2008/BodSch%C3%A4tzG.pdf
- Burity, H. A., Ta, T. C., Faris, M. A. & Coulman, B. E. (1989). Estimation of nitrogen fixation and transfer from alfalfa to associated grasses in mixed swards under field conditions. *Plant and Soil*, 114(2), 249–255. <https://doi.org/10.1007/BF02220805>
- Carlton, A. J., Cameron, K. C., Di, H. J [H. J.], Edwards, G. R [G. R.] & Clough, T. J. (2019). Nitrate leaching losses are lower from ryegrass/white clover forages containing plantain than from ryegrass/white clover forages under different irrigation. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 62(2), 150–172. <https://doi.org/10.1080/00288233.2018.1461659>
- Cavers, P. B., Bassett, I. J. & Crompton, C. W. (1980). The Biology of Canadian weeds. 47.: *Plantago lanceolata* L. *Can. J. Plant Sci*(60), 1269–1282. <https://cdnsciencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjps80-180>
- Clark, D. A. & Harris, P. S. (1985). Composition of the diet of sheep grazing swards of differing white clover content and spatial distribution. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 28(2), 233–240. <https://doi.org/10.1080/00288233.1985.10420933>
- Coskun, D., Britto, D. T., Shi, W. & Kronzucker, H. J. (2017). Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition. *Nature plants*, 3, 17074. <https://doi.org/10.1038/nplants.2017.74>
- Darrow, K. & Deane Bowers, M. (1997). Phenological and population variation in iridoid glycosides of *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 25(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(96\)00090-7](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(96)00090-7)
- Dembek, R., Lyszczyk, R. & Zimmer-Grajewska, M. (2014). *Plantago lanceolata* L. as a component of permanent and renewed grasslands. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, 13(4), 19–30.

- Dietl, W. & Jorquera, M. (2005). *Wiesen- und Alpenpflanzen: Erkennen an den Blättern, Freuen an den Blüten* (2., aktualis. u. erg. Aufl. Edition). Österreichischer Agrarverlag.
- Dietz, M., Machill, S., Hoffmann, H. C. & Schmidtke, K. (2013). Inhibitory effects of *Plantago lanceolata* L. on soil N mineralization. *Plant and Soil*, 368(1-2), 445–458. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1524-9>
- Dreyman, S. (2005). *N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im Ökologischen Landbau*. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- DWD. (2023). *Klimastatusbericht Deutschland: Jahr 2022*. https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2022.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Engström, L. & Bergkvist, G. (2009). Effects of three N strategies on tillering and yield of low shoot density winter wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 59(6), 536–543. <https://doi.org/10.1080/09064710802434363>
- Erskine, D. S. (1960). *The plants of Prince Edward Island*.
- Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung, Amtsblatt der Europäischen Union L 372 19 (2006). <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:372:0019:0031:DE:PDF>
- European Medicines Agency. (2011). *Assessment report on Plantago lanceolata L., folium: Based on Article 16d(1), Article 16h of Directive 2001/83/EC as amended (traditional use)*. (EMA/HMPC/437859/2010). https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-plantago-lanceolata-l-folium_en.pdf
- Evans, J. R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, 78(1), 9–19. <https://doi.org/10.1007/BF00377192>
- Fraser, T. J., Scott, S. M. & Rowarth, J. S. (1996). Pasture species effects on carcass and meat quality. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 63–66. <https://doi.org/10.33584/jnzc.1996.58.2218>
- Gardiner, C. A., Clough, T. J., Cameron, K. C., Di, H. J. [Hong J.], Edwards, G. R. [G. R.] & Klein, C. A. M. de (2018). Potential inhibition of urine patch nitrous oxide emissions by *Plantago lanceolata* and its metabolite aucubin. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 61(4), 495–503. <https://doi.org/10.1080/00288233.2017.1411953>
- GfE (2008). Prediction of Metabolisable Energy of compound feeds for pigs. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*(17), 199–204.
- Ghatak, A., Schindler, F., Bachmann, G., Engelmeier, D., Bajaj, P., Brenner, M., Fragner, L., Varshney, R. K., Subbarao, G. V., Chaturvedi, P. & Weckwerth, W. (2021). Root exudation of contrasting drought-stressed pearl millet genotypes varies biological nitrification inhibition (BNI) activity. *Biology and Fertility of Soils*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/s00374-021-01578-w>
- Ghimire, K., Gupta, S., Geng, S., Chen, S., Boe, A. & Wu, Y. (2021). Identification of physiological and morphological traits governing high water use efficiency in alfalfa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(4), 644–653. <https://doi.org/10.1111/jac.12483>
- Groenendaal, J. (1985). *Selection for different life histories in Plantago lanceolata: Proefschrift*. https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/113212/mmubn000001_028486641.pdf
- Gruber, N. & Galloway, J. N. (2008). An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 451(7176), 293–296. <https://doi.org/10.1038/nature06592>
- Haider, K. & Schäffer, A. (2009). *Soil biochemistry*. Science Publishers.
- Häußermann, U., Bach, M., Breuer, L. & Döhler, H. (2020). *Potenziale zur Minderung der Ammoniakemissionen in der deutschen Landwirtschaft: Berechnung der Minderungspotenziale von Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft zur Reduktion der nationalen Ammoniakemissionen und Entwicklung von Szenarien zur Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen der neuen NEC-Richtlinie (EU) 2284/2016.: Abschlussbericht (Texte 221/2020)*.

- https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_01_texte_221-2020_amoniakminderung_landwirtschaft.pdf
- Herz, P. (2012). *Biomasseentwicklung, Bodenstickstoffgehalt und Ertragsstruktur von Weizen und Erbse im Mischfruchtanbau: Dissertation.*
https://abstracts.boku.ac.at/download.php?dataset_id=9527&property_id=107
- Heß, J. (1989). *Kleegrasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied „Kleegras-Kleegras-Weizen-Roggen.* Dissertationsschrift. Universität Bonn.
- Heß, J. (1995). *Residualer Stickstoff aus mehrjährigem Feldfutterbau: Optimierung seiner Nutzung durch Fruchtfolge und Anbauverfahren unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus.* Habilitationsschrift.
- Huy, D. H., Hien, T. T. & Takenaka, N. (2016). A new continuous measurement method for gaseous ammonia by counter-current flow tube sampling and indophenol reaction. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 73(3), 223–240. <https://doi.org/10.1007/s10874-015-9324-2>
- Isselstein, J. (1994). *Zum futterbaulichen Wert verbreiteter Grünlandkräuter.* Habilitationsschrift. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Ivins, J. D. (1952). The relative palability of herbage plants. *Grass and Forage Science*, 7(2), 43–54. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1952.tb01302.x>
- Judson, H. G., Fraser, P. M [Patricia M.] & Peterson, M. E [Michelle E.] (2019). Nitrification inhibition by urine from cattle consuming *Plantago lanceolata*. *Journal of New Zealand Grasslands*, 111–116. <https://doi.org/10.33584/jnzg.2019.81.413>
- Jung, R. (2003). *Stickstoff-Fixerleistung von Luzerne (Medicago sativa L.), Rotklee (Trifolium pratense L.) und Persischem Klee (Trifolium resupinatum L.) in Reinsaat und im Gemenge mit Poaceen. Experimentelle Grundlagen und Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der Stickstoff-Flächenbilanz.* Dissertationsschrift. Georg-August-Universität Göttingen.
- Junghans, J., Jacob, I., Tröber, F. & Schmidtke, K. (2022). *Spitzwegerich als erfolgreicher Gemengepartner und Stickstoffsparer? Aktuelles aus der Forschung. Demonet KleeLuzPlus.* https://demonet-kleeluzplus.de/mam/cms15/dateien/kleeluzplus_spitzwegerich_als_gemengepartner_und_stickstoffsparer.pdf
- Kara, K., Yılmaz, S., Önel, S. E. & Özbilgin, A. (2022). Effects of plantago species herbage and silage on in vitro ruminal fermentation and microbiome. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 1569–1583. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2022.2139201>
- Kemp, P. D., Kenyon, P. R., Morris, S. T. & Somasiri, S. C. (2013). Plantain (*Plantago lanceolata*) in Herb and Legume Pastures Increases Lamb Growth Relative to Perennial Ryegrass and White Clover Pasture. In University of Kentucky UKnowledge (Vorsitz), *International Grassland Congress Proceedings: XXII International Grassland Congress*, Sydney, Australia.
- Kenyon, P. R., Morel, P., Corner-Thomas, R. A., Perez, H. L., Somasiri, S. C., Kemp, P. D. & Morris, S. T. (2017). Improved per hectare production in a lamb finishing system using mixtures of red and white clover with plantain and chicory compared to ryegrass and white clover. *Small Ruminant Research*, 151, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.04.019>
- Komainda, M., Reidy, B., Isselstein, J. & Ineichen, S. (2020). Einsatz von Spitzwegerich in Saatmischung für Wechselgrünland: Ertragseffekte, Potenzial von Ökotypen, Wirkung wertvoller Inhaltstoffe und offene Fragen. In Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Vorsitz), *Chancen der Wertschöpfung, Probleme der Wertschätzung im Grünland: Beiträge zum Sonderband des AGGF-online Workshop am 27. August 2020.*
- Krachunova, T., Scharfstädt, H., Scholz, M. & Schmidtke, K. (2022). Biological nitrification inhibition with ribwort (*Plantago lanceolata* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) for groundwater protection in organic farming. In ZALF, University of Potsdam, Germany (Vorsitz), *XVII. Congress of the European Society for Agronomy*, Potsdam, Germany.
- Krachunova, T. & Schmidtke, K. (2023). Weniger Nitrat mit Spitzwegerich: Anbau von Futterleguminosen. *Ökologie & Landbau*(208), 38–39. <https://www.oekom.de/ausgabe/marktgaerten-und-mikro farming-80972>

- Kryszak, J., Kryszak, A., Klarzynska, A. & Mularczyk, M. (2017). The influence of horse grazing on utility and natural values of grass phytocenoses. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 62(3), 196–200. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-c01d5fc8-262d-47f5-934e-13b71f47407c>
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. (2015). *Düngung mit Phosphat, Kali, Magnesium*. <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/phosphat-kalium-magnesium-pdf.pdf>
- Leithold, G., Becker, K., Riffel, A., Schulz, F., Schmid-Eisert, A. & Brock, C. (Hrsg.). (2017). *Giessener Schriften zum ökologischen Landbau: Bd. 8. Stickstoff und Schwefel im ökologischen Landbau: Ratgeber für eine bessere Nährstoffversorgung von Ackerkulturen (2. erweiterte Auflage)*. Verlag Dr. Köster.
- LfULG. (2019). *Kaliumversorgung sächsischer Ackerböden: Daten und Fakten*. https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Kalium_Ackerland_2019_10_11.pdf
- LfULG. (2020). *Bodenkarte 1:50 000. LUIS-Landwirtschaft- und Umweltinformationssystem für Geodaten: Interaktive Anwendung iDA*. <https://luis.sachsen.de/boden/bk50.html>
- Lodge, E. G., Wheatley, W. & Scott, J. (Hrsg.) (2011). *Grassland Farmers - Opportunities, Threats & Realities: 26th Annual Conference of The Grassland Society of NSW Inc.*
- Loges, R. (1998). *Ertrag, Futterqualität, N2-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee grasbeständen*. Dissertationsschrift. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Lorenz, A. (2017). *Wie werden Ertrag und Qualität von Futterpflanzen insbesondere Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne* L.), Welsches Weidelgras (*Lolium perenne* L.) und Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) bei Anbau im Gemenge mit Rotklee (*Trifolium pratense* L.) beeinflusst?* Masterarbeit im Fachgebiet Ökologischer Landbau. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden.
- Mangwe, M. C., Bryant, R. H., Beck, M. R., Fleming, A. E. & Gregorini, P. (2020). Grazed chicory, plantain or ryegrass–white clover alters milk yield and fatty acid composition of late-lactating dairy cows. *Animal Production Science*, 60(1), 107. <https://doi.org/10.1071/AN18537>
- Martens, S., Thate, E., Steinhöfel, O. & Zeyner, A. (2019). *Luzerne in der Milchviehhaltung: Köllitscher Versuchsergebnisse*. https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/03_Luzernetrockengruen_Futter_Martens.pdf
- Moghaddam, A., Raza, A., Vollmann, J., Ardakani, M. R., Wanek, W., Gollner, G. & Friedel, J. K. (2015). Biological nitrogen fixation and biomass production stability in alfalfa (*Medicago sativa* L.) genotypes under organic management conditions. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(3), 177–192. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.1001437>
- Müller, A. (2015). *Einfluss des Gemengepartners Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne* L.) beziehungsweise Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) auf den Ertrag und die Qualität von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) im Futterbau*. Bachelorarbeit im Fachgebiet Ökologischer Landbau. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden.
- Munzert, M. (2015). *Landwirtschaftliche und gartenbauliche Versuche mit SAS*. Springer-Lehrbuch. Springer Spektrum.
- Nardi, P., Laanbroek, H. J., Nicol, G. W., Renella, G., Cardinale, M., Pietramellara, G., Weckwerth, W., Trinchera, A., Ghatak, A. & Nannipieri, P. (2020). Biological nitrification inhibition in the rhizosphere: determining interactions and impact on microbially mediated processes and potential applications. *FEMS microbiology reviews*, 44(6), 874–908. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuaa037>
- Navarrete, S [S.], Rodriguez, M., Horne, D., Hanly, J., Hedley, M. & Kemp, P. (2022). Nitrogen Excretion by Dairy Cows Grazing Plantain (*Plantago lanceolata*) Based Pastures during the Lactating Season. *Animals : an open access journal from MDPI*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/ani12040469>
- Nguyen, T. T., Navarrete, S [Soledad], Horne, D. J., Donaghy, D. J. & Kemp, P. D [Peter D.] (2022). Forage plantain (*Plantago lanceolata* L.): Meta-analysis quantifying the decrease in nitrogen

- excretion, the increase in milk production, and the changes in milk composition of dairy cows grazing pastures containing plantain. *Animal Feed Science and Technology*, 285, 115244. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115244>
- Ortmeyer, F., Hansen, B. & Banning, A. (2022). Groundwater nitrate problem and countermeasures in strongly affected EU countries—a comparison between Germany, Denmark and Ireland. *Grundwasser*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/s00767-022-00530-5>
- Peterson, M. E [M. E.], Fraser, P. M [P. M.], Curtin, D., van Klink, J. W. & Joyce, N. I. (2021). Soil nitrification inhibition by urine of sheep consuming plantain (*Plantago lanceolata*). *Biology and Fertility of Soils*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/s00374-021-01573-1>
- Rauber, R., Liebenau, S. & Friedrichs, E., Schmidtke, K. (2008). Agronomic effects of underseeding ribwort plantain (*Plantago lanceolata* L.) in organically grown potatoes. *Pflanzenbauwissenschaften*, 12(1), Artikel ISSN 1431-8857, 32–40.
- Reiter, K. (2001). *Einfluß langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die N₂-Fixierleistung von Erbse und Rotklee, ermittelt mit Hilfe einer großflächigen 15N-Spurenanreicherung*. Dissertationsschrift. Georg-August-Universität Göttingen.
- Reiter, K., Schmidtke, K. & Rauber, R. (2002). The influence of long-term tillage systems on symbiotic N₂ fixation of pea (*Pisum sativum* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant and Soil*, 238(1), 41–55. <https://doi.org/10.1023/A:1014240311597>
- Richard, W. (2023). *Ergebnisse der Luzernesilage Ernte 2022*. <https://www.lkvsachsen.de/cs/fuetterungsberater/blogbeitrag/artikel/ergebnisse-der-luzernesilage-ernte-2023/>
- Sagar, G. R. & Harper, J. L. (1960). Factors affecting the germination and early establishment of plantains (*Plantago lanceolata*, *P. media* and *P. major*). *Dep. Agric. Bot.*, Artikel Univ. Coll. N. Wales, Bangor, Caerns, Wales, 236–245. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19612300501>
- Sagar, G. R. & Harper, J. L. (1964). *Plantago Major L., P. Media L. and P. Lanceolata L.* *The Journal of Ecology*, 52(1), 189. <https://doi.org/10.2307/2257792>
- Scharfstädt, H. & Schmidtke, K. (2020). Biologisch innovativ: Spitzwegerich hemmt Stickstoffabbau. *Bioland*, 16. https://www.bioland.de/fileadmin/user_upload/Erzeuger/Fachinfos/Archiv_Fachmagazin/bioland_2020_05_verkleinert.pdf
- Schmidtke, K. (1997). Schätzverfahren zur Ermittlung der N-Flächenbilanz bei Leguminosen. In Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Vorsitz), *Stoff- und Energiebilanzen in der Landwirtschaft: Kongressband 1997*, Leipzig.
- Schmidtke, K. (2001). *Umweltgerechter Anbau von Leguminosen – Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Quantifizierung der N-Flächenbilanz (Az. 07312): Abschlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt*. Georg-August-Universität Göttingen.
- Schmidtke, K. (2019). *Ökologischer Landbau und Grundwasserschutz – Stand des Wissens: Saxony5-Veranstaltung, Prag, 11.11.2019*. <https://docplayer.org/107401931-Oekologischer-landbau-und-grundwasserschutz-stand-des-wissens.html>
- Schmidtke, K. (2020). *Das Fruchtfolgeglied Kleegrass neu gedacht – Anforderungen an neue Gemenge mit Futterleguminosen für Klimaanpassung und N-Auswaschung: Feldtag Futterleguminosen, Struppen, 18.09.2020*. https://www.gaea.de/upload/homepage/2020-10_07_niklifu_schmidtke.pdf
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611. <http://www.bios.unc.edu/~mhudgens/bios/662/2008fall/Backup/wilkshapiro1965.pdf>
- Simon, P. L., Klein, C. A. M. de, Worth, W., Rutherford, A. J. & Dieckow, J. (2019). The efficacy of *Plantago lanceolata* for mitigating nitrous oxide emissions from cattle urine patches. *The Science of the total environment*, 691, 430–441. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.141>

- Skiba, M. W., George, T. S., Baggs, E. M. & Daniell, T. J. (2011). Plant influence on nitrification. *Biochemical Society transactions*, 39(1), 275–278. <https://doi.org/10.1042/BST0390275>
- Somasiri, S. C., Kenyon, P. R., Kemp, P. D., Morel, P. & Morris, S. T. (2015). Growth performance and carcass characteristics of lambs grazing forage mixes inclusive of plantain (*Plantago lanceolata* L.) and chicory (*Cichorium intybus* L.). *Small Ruminant Research*, 127, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.04.005>
- Sorg, D., Klatt, A., Plambeck, N. O., Köder, L., Balzer, F., Biewald, A., Bilharz, M., Ehlers, K., Frische, T., Fuchs, D., Geupel, M., Hofmeier, M., Jarikova, J., Lehmann, S., Marx, M., Stark, C., Vogel, I. & Wechsung, G. (2021). *Perspektiven für eine umweltverträgliche Nutztierhaltung in Deutschland (Texte 33/2021)*. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/perspektiven-fuer-eine-umweltvertraegliche>
- Stopes, C., Lord, E. I. [Nachname nicht vorhanden], P. L. & Woodward, L. (2002). Nitrate leaching from organic farms and conventional farms following best practice. *Soil Use and Management*, 18(3), 256–263. <https://doi.org/10.1079/SUM2002128>
- Subbarao, G. V., Ito, O., Sahrawat, K. L., Berry, W. L., Nakahara, K., Ishikawa, T., Watanabe, T., Suenaga, K., Rondon, M. & Rao, I. M. (2006). Scope and Strategies for Regulation of Nitrification in Agricultural Systems—Challenges and Opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(4), 303–335. <https://doi.org/10.1080/07352680600794232>
- Subbarao, G. V., Nakahara, K., Hurtado, M. P., Ono, H., Moreta, D. E., Salcedo, A. F., Yoshihashi, A. T., Ishikawa, T., Ishitani, M., Ohnishi-Kameyama, M., Yoshida, M., Rondon, M., Rao, I. M., Lascano, C. E., Berry, W. L. & Ito, O. (2009). Evidence for biological nitrification inhibition in *Brachiaria* pastures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(41), 17302–17307. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903694106>
- Subbarao, G. V., Rondon, M., Ito, O., Ishikawa, T., Rao, I. M., Nakahara, K., Lascano, C. & Berry, W. L. (2007). Biological nitrification inhibition (BNI)—is it a widespread phenomenon? *Plant and Soil*, 294(1-2), 5–18. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9159-3>
- Tukey, J. W. (1949). Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*, 5(2), 99. <https://doi.org/10.2307/3001913>
- VDLUFA. (2018). *Standpunkt. Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf*. https://www.vdlufa.de/wp-content/uploads/2021/05/2018_Standpunkt_P-Duengung.pdf
- VDLUFA II. (1976). Futtermitteluntersuchung: Feuchtigkeit, Wasser. In R. Bassler (Hrsg.), *Methodenbuch / Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Hrsg. von Rolf Bassler: Bd. 3. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln* (3.Aufl.). VDLUFA-Verl.
- VDLUFA III. (Erg. 2004). Futtermitteluntersuchung: Nahinfrarotspektroskopie-Verfahren (NIRS). In R. Bassler (Hrsg.), *Methodenbuch / Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Hrsg. von Rolf Bassler. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln* (5.Aufl.). VDLUFA-Verl.
- Wagner, B. (2019). *Water quality due to organic farming - how organic farming can influence water quality - example from practice in Saxony: Workshop „Potential of Organic Farming to Protect Environmentally Sensitive Areas“*, Prag, 11.11.2019. https://saxony5.de/files/Hauptseite/Landwirtschaft%20und%20Biodiversitaet/Dokumente/19-11-11_Vort.Prag-Wagner-11.11.2019-final_cz-de-Webseite.pdf
- Walinga, I., van der Lee, J. J., Houba, V. J. G., van Vark, W. & Novozamsky, I. (1995). *Plant analysis manual*.
- Witt, C. T. de, Tow, P. G. & Ennik, G. C. (1966). *Competetion between legumes and grasses*. <https://core.ac.uk/reader/29392980>

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie
Fachgebiet Ökologischer Landbau
Pillnitzer Platz 2
01326 Dresden
E-Mail: knut.schmidtke@htw-dresden.de
tsvetelina.krachunova@htw-dresden.de
Internet: <https://www.htw-dresden.de/luc/fakultaet>



Wassergut Canitz GmbH (Betriebsstätte)

Straße Nr. 42
04808 Wasewitz
E-Mail: wassergut@L.de
Internet: www.L.de/wassergut



© Alle Bilder in diesem Dokument unterliegen dem Urheberrecht der Autor:inne

Bildquellen:

Tsvetelina Krachunova: Abbildungen 3, 5 bis 21, 27 bis 33, 48 bis 51

Hannah Scharfstädt: Abbildungen 4, 22, 23, 24, 25, 26

Martin Scholz: Abbildungen 34, 35, 36, 37, 38, 45, 46,47

Anhang

Besprechungsprotokoll für Treffen der operationellen Gruppe und Kooperationsbetriebe im Rahmen des EIP-Projektes „BioNitrat-Schutz“

Datum: 05.03.2019

Ort: Wassergut Canitz GmbH

Anwesende: Frau Golatowski (Wassergut Canitz)
Herr Dr. Wagner (Wassergut Canitz)
Herr Prof. Dr. Schmidtke (HTW Dresden)
Frau Scharfstädt (HTW Dresden)

Besprechungspunkte:

- 1) Vorstellung Wassergut Canitz durch Herrn Wagner inkl. Flächenbegehung
- 2) Durchführung des Projektes und konkret des Versuchsjahres 2019
- 3) Auswahl der Versuchsfläche mit Frau Golatowski

Ergebnisse:

zu 1:

- Fahrt zu verschiedenen Flächen des Betriebes, Darstellung der Betriebsstrukturen inkl. Fruchtfolge und Besonderheiten im Wasserschutzgebiet und den verschiedenen Schutzzonen

zu 2:

- Darstellung des Ablaufs inkl. Probennahmen entsprechend dem Aktionsplan
- Austausch von Fachliteratur per E-Mail vereinbart
- Auswahl der Sorten von Luzerne, Spitzwegerich und Wiesenschwingel unter Berücksichtigung des Standortes
- Abstimmungen zum Aussaattermin: möglichst zeitnah bei passender Witterung
- Bei Bedarf (z.B. schlechte Witterungsverhältnisse) kann die Versuchstechnik auf dem Gelände des Wassergut Canitz sicher abgestellt werden

zu 3:

- Größe und Lage der Versuchsfläche im ausgewählten Schlag, Breite Vorgewende und Abstände zu Kulturen des Betriebes; ebene Fläche, gute Erreichbarkeit
- Vorfrucht der Versuchsfläche: Winterweizen
- Beregnungsmöglichkeit vorhanden, nur im Notfall anzuwenden
- Versuchsfläche für den zweiten Durchlauf ab März 2020 in unmittelbarer Nähe zur Versuchsfläche aus 2018 im selben Schlag

Unterschrift Protokollführer

Abbildung A 1. Besprechungsprotokoll für Treffen der operationellen Gruppe (OG) und Kooperationsbetriebe im Rahmen des EIP-Projektes „BioNitrat-Schutz“ (05.03.2019)

<u>Besprechungsprotokoll für Treffen der operationellen Gruppe und Kooperationsbetriebe im Rahmen des EIP-Projektes „BioNitrat-Schutz“</u>	
Datum:	05.03.2021
Ort:	Online Zoom-Meeting
Anwesende:	Frau B. Streblov (Wassergut Canitz) Herr Dr. B. Wagner (Wassergut Canitz, Bioland) Herr Prof. Dr. K. Schmidtke (HTW Dresden) Frau T. Krachunova (HTW Dresden)
Besprechungspunkte:	<ol style="list-style-type: none">1) Besprechung der Pflanzenentwicklung über der Winterperiode2) Besprechung erster Ergebnisse aus Versuchsjahr 20203) Diskussion über die Arbeitsplanung für die Vegetationsperiode 2021
Ergebnisse:	
zu 1:	<ul style="list-style-type: none">– Besprechung der Entwicklung von dem Wintergerstenbestand auf Versuchsfläche I– Besprechung der Futter- und Spitzwegerichbestände auf Versuchsfläche II und erforderliche Pflegemaßnahmen (Mulchen), um die Unkrautentwicklung erfolgreich zu unterdrücken
zu 2:	<ul style="list-style-type: none">– Darstellung des Ablaufs inkl. Probennahmen während der gesamten Vegetationsperiode sowie Darstellung von ersten Ergebnissen aus dem Jahr 2020– Diskussion über die nicht erfolgreich etablierten Futterleguminosenbestände auf Versuchsfläche II, mit Fokus auf den Luzerneanbau unter ungünstigen Feldbedingungen
zu 3:	<ul style="list-style-type: none">– Austausch über Verschiebung der Projektlaufzeit bis 08/2023, da die Futterleguminosenbestände im Jahr 2020 aufgrund der ungünstigen Witterungsbedingungen sowie dem großen Unkrautdruck nicht etabliert werden konnten– Austausch über mögliche Termine für Wissenstransfer im Laufe des Jahres
Unterschrift Protokollführer	

Abbildung A 2. Besprechungsprotokoll für Treffen der operationellen Gruppe (OG) und Kooperationsbetriebe im Rahmen des EIP-Projektes „BioNitrat-Schutz“ (05.03.2021)

Besprechungsprotokoll für Treffen der operationellen Gruppe und Kooperationsbetriebe im Rahmen des EIP-Projektes „BioNitrat-Schutz“

Datum: 01.03.2022

Ort: Online MS Teams-Meeting

Anwesende: Herr Dr. B. Wagner (Wassergut Canitz)
Frau C. Golasowski (Wassergut Canitz)
Frau B. Streblow (Wassergut Canitz)
Herr Prof. Dr. K. Schmidtke (HTW Dresden / Fibl Schweiz)
Herr M. Scholz (HTW Dresden)

Besprechungspunkte:

- 1) Besprechung der Pflanzenentwicklung über der Winterperiode
- 2) Besprechung der bisherigen Versuchsergebnisse
- 3) Diskussion über die Arbeitsplanung für die Vegetationsperiode 2022

Ergebnisse:

zu 1)

- Besprechung der Entwicklung der Winterweizenbestände und erforderliche Pflegemaßnahmen (Striegel), um die Unkrautentwicklung erfolgreich zu unterdrücken

zu 2)

- Besprechung über die bisherigen Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2020 und 2021 mit Präsentationsmaterial

zu 3)

- Besprechung über anstehende Feldarbeiten bis 10/2022
- Austausch über mögliche Termine für Wissenstransfer im Laufe des Jahres

Unterschrift Protokollführer

Abbildung A 3. Besprechungsprotokoll für Treffen der operationellen Gruppe (OG) und Kooperationsbetriebe im Rahmen des EIP-Projektes „BioNitrat-Schutz“ (01.03.2022)

Besprechungsprotokoll für Treffen der operationellen Gruppe und Kooperationsbetriebe im Rahmen des EIP-Projektes „BioNitrat-Schutz“ Projekt Nr. 731031926

Datum: 27.02.2023

Ort: Online MS Teams

Anwesende: Frau C. Golatowski (Wassergut Canitz)
Herr Dr. B. Wagner (Wassergut Canitz, Bioland)
Herr Prof. Dr. K. Schmidtke (HTW Dresden)
Frau T. Krachunova (HTW Dresden)

Besprechungspunkte:

- 1) Besprechung der Pflanzenentwicklung über der Winterperiode (letzte Anbauperiode von Wintergerste (II))
- 2) Diskussion über die Arbeitsplanung für die Vegetationsperiode 2023
- 3) Besprechung der Ergebnisse aus der Versuchsperiode 2019–2022

Ergebnisse:

zu 1:

- Besprechung der Entwicklung von dem Wintergerstenbestand auf Versuchsfläche II.

zu 2:

- Darstellung des Ablaufs inkl. Probennahmen während der gesamten Vegetationsperiode sowie Darstellung von Ergebnissen aus den Versuchsjahren 2019–2022
- Diskussion über die weitere Implementierung der Versuchsergebnisse in der Praxis: Wassergut Canitz wird die Integration von Spitzwegerich als Gemenge und Untersaat im Haferanbau ausprobieren.

zu 3:

- Austausch über mögliche Termine für Wissenstransfer im Laufe des Jahres

Unterschrift Protokollführerin:

Abbildung A 4. Besprechungsprotokoll für Treffen der operationellen Gruppe (OG) und Kooperationsbetriebe im Rahmen des EIP-Projektes „BioNitrat-Schutz“ (27.03.2023)