

Der Einfluss von Zwischenfrüchten und reduzierter Bodenbearbeitung in ökologischen Anbausystemen auf Stickstoffflüsse und Beikräuter

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

Eingereicht am

Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

der Universität Kassel/Witzenhausen

von

Meike Grosse

Februar 2017

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel/Witzenhausen als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.) angenommen.

Gutachter:

- 1) Prof. Dr. Jürgen Heß, Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Witzenhausen
- 2) Dr. Paul Mäder, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Departement für Bodenwissenschaften, Frick, Schweiz

Tag der Disputation: 20. Oktober 2017

Aus der Erde stammt alles

Xenophanes

Inhalt

1	Gesamtziel der Arbeit.....	1
2	Themenschwerpunkt I: Bedeutung des Zwischenfruchtanbaus für das Stickstoff- und Beikrautmanagement in ökologischen Anbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung (Literaturstudie)	4
2.1	Einleitung.....	4
2.2	Begriffsdefinitionen.....	5
2.3	Pflanzenbauliche Aspekte	6
2.3.1	Geeignete Zwischenfruchtarten.....	6
2.3.2	Ansprüche verschiedener Arten an den Saatzeitpunkt.....	11
2.3.3	Auswirkungen des Saatzeitpunkts auf den Zwischenfruchtbestand.....	11
2.3.4	Aussaavverfahren für den Zwischenfruchtanbau	13
2.3.5	Mechanische Terminierung von Zwischenfrüchten	14
2.3.6	Zwischenfrüchte und Wasserhaushalt	15
2.4	Zwischenfruchtanbau zur verbesserten Stickstoffversorgung.....	15
2.4.1	Potenziale verschiedener Arten zur N-Konservierung und N ₂ -Fixierung	16
2.4.2	Effekte des Einarbeitungszeitpunkts auf die N-Mineralisierung.....	24
2.5	Zwischenfruchtanbau zur Beikrautkontrolle.....	26
2.5.1	Mechanismen der Beikrautunterdrückung	27
2.5.2	Auswirkungen der Saatstärke und der Samengröße auf die Beikrautkontrolle.....	27
2.5.3	Kombination von Zwischenfruchtanbau mit mechanischer Beikrautregulierung	28
2.5.4	Geeignete Zwischenfruchtarten zur Beikrautkontrolle.....	28
2.6	Anbau von Zwischenfruchtmischungen	29
3	Themenschwerpunkt II: Die kurzfristigen Auswirkungen eines Anbaus von Zwischenfrüchten und einer einmalig differenzierten Bodenbearbeitung zum Anbau von Hafer auf Beikrautaufkommen, Stickstoffflüsse und Haferertrag.....	31
3.1	Problemstellung	31
3.2	Material und Methoden	32
3.2.1	Standortbeschreibung	32
3.2.2	Witterung	33
3.2.3	Versuchsaufbau	35
3.2.4	Datenerhebung.....	38
3.2.4.1	Untersuchungen an Pflanzen	38

3.2.4.2	Bodenuntersuchungen	38
3.2.4.3	Termine der Probenahmen und Bonituren	39
3.2.5	Berechnungen	40
3.2.5.1	Untersuchungen an Pflanzen	40
3.2.5.2	Bodenuntersuchungen	41
3.2.6	Datenauswertung.....	41
3.3	Ergebnisse.....	42
3.3.1	Zwischenfrüchte	42
3.3.1.1	Ertrag	42
3.3.1.2	N-Aufnahme	43
3.3.1.3	C/N-Verhältnis	44
3.3.2	N-Dynamik	45
3.3.2.1	Boden-N.....	45
3.3.2.2	N-Flächenbilanz	55
3.3.3	Beikrautaufkommen und Zusammensetzung der Population	58
3.3.3.1	Spätes Stadium der Zwischenfrüchte	58
3.3.3.2	Frühes Stadium der Hauptfrucht Hafer	66
3.3.3.3	Spätes Stadium der Hauptfrucht Hafer	74
3.3.4	Hauptfrucht Hafer	83
3.3.4.1	Feldaufgang	83
3.3.4.2	Grünmasseertrag und N-Aufnahme der Grünmasse	84
3.3.4.3	Korn- und Strohertrag	86
3.3.4.4	Ertragsstruktur.....	90
3.4	Diskussion	95
3.5	Fazit	101
4	Themenschwerpunkt III: Systemvergleich Stoppelhobel versus Pflug: Ist der Einsatz des Stoppelhobels im Ökolandbau in Kombination mit der passenden Zwischenfrucht im Hinblick auf Beikrautregulierung und Anregung der Mineralisation eine gleichwertige Alternative zu herkömmlichem Pflügen?	103
4.1	Problemstellung	103
4.2	Material und Methoden	104
4.2.1	Standortbeschreibung	104
4.2.2	Witterung	105
4.2.3	Versuchsaufbau	105
4.2.4	Datenerhebung.....	108

4.2.5	Datenauswertung.....	110
4.3	Ergebnisse.....	111
4.3.1	Zwischenfrüchte – Ertrag und C/N-Verhältnis	111
4.3.2	Versuchsjahr 2011/12 - N-Dynamik	113
4.3.2.1	Einfluss der Systeme und der Zwischenfrüchte	113
4.3.2.2	N-Flächenbilanz	116
4.3.3	Gehalt an organischem Kohlenstoff.....	117
4.3.4	Beikrautaufkommen und Zusammensetzung der Population 2011/12.....	118
4.3.4.1	Spätes Stadium der Zwischenfrüchte	118
4.3.4.2	Frühes Stadium der Hauptfrucht Hafer	122
4.3.4.3	Spätes Stadium der Hauptfrucht Hafer	125
4.3.4.4	Aufkommen von <i>C. arvense</i>	129
4.3.5	Hauptfrucht Hafer	130
4.3.5.1	Feldaufgang	130
4.3.5.2	Ertrag	131
4.3.5.3	Ertragsstruktur und Qualität	132
4.3.6	Versuchsjahr 2012/13 - N-Dynamik	133
4.3.6.1	Einfluss der Systeme und Zwischenfrüchte.....	133
4.3.6.2	N-Flächenbilanz	135
4.3.7	Mikrobielle Biomasse des Bodens.....	135
4.3.8	Beikrautaufkommen und Zusammensetzung der Population 2012/13.....	136
4.3.8.1	Frühes Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne	136
4.3.8.2	Spätes Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne.....	139
4.3.8.3	Aufkommen von <i>C. arvense</i>	142
4.3.9	Hauptfrucht Ackerbohne.....	143
4.3.9.1	Feldaufgang	143
4.3.9.2	Grünmasse und N-Aufnahme	144
4.3.9.3	Ertrag und Ertragsstruktur.....	144
4.4	Diskussion	146
4.5	Fazit	158
5	Zusammenfassung.....	159
6	Summary.....	163
7	Literaturverzeichnis.....	166
8	Anhang.....	184

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2011 – 2013, Wetterstationen Frankenhausen / Kassel Calden / Kassel Harleshausen	34
Abbildung 2: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2011 – 2013, Wetterstation Hochschule Osnabrück, Standort Haste	35
Abbildung 3: Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Bonituren und Probenahmen in einem Versuchsjahr	39
Abbildung 4 und 5: Trockenmasseerträge der Zwischenfrüchte in DFH1 und DFH2	42
Abbildung 6 und 7: Trockenmasseerträge der Zwischenfrüchte in Belm1 und Belm2	43
Abbildung 8 und 9: Gesamt-N-Aufnahme der Zwischenfrüchte in der oberirdischen Biomasse in DFH1 und DFH2	43
Abbildung 10 und 11: Gesamt-N-Aufnahme der Zwischenfrüchte in der oberirdischen Biomasse in Belm1 und Belm2	44
Abbildung 12 a-e: N_{\min} -Gehalte im Oberboden und NO_3 -N-Gehalte im Unterboden im Versuch DFH1	47
Abbildung 13 a-f: N_{\min} -Gehalte im Oberboden und NO_3 -N-Gehalte im Unterboden im Versuch DFH2	50
Abbildung 14 a-f: N_{\min} -Gehalte im Oberboden und NO_3 -N-Gehalte im Unterboden im Versuch Belm1	52
Abbildung 15 a-f: N_{\min} -Gehalte im Oberboden und NO_3 -N-Gehalte im Unterboden im Versuch Belm2	54
Abbildung 16 und 17: Deckungsgrad der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte in den Versuchen DFH1 und DFH2	59
Abbildung 18: Deckungsgrad der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch Belm2	59
Abbildung 19: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch DFH1	60
Abbildung 20: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch DFH2	61
Abbildung 21: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch Belm2	62
Abbildung 22 und 23: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte in den Versuchen DFH1 und DFH2	63
Abbildung 24: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte in dem Versuch Belm2	63
Abbildung 25 und 26: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte in den Versuchen DFH1 und DFH2	64
Abbildung 27: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch Belm2	64
Abbildung 28 und 29: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaften im späten Stadium der Zwischenfrüchte in den Versuchen DFH1 und DFH2	65
Abbildung 30: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch Belm2	65
Abbildung 31 und 32: Beikrautdichte im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2	67

Abbildung 33: Beikrautdichte im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2.....	67
Abbildung 34: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch DFH1.....	68
Abbildung 35: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch DFH2.....	69
Abbildung 36: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm1	70
Abbildung 37 und 38: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2.....	71
Abbildung 39: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2	71
Abbildung 40 und 41: Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2.....	72
Abbildung 42: Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2.....	72
Abbildung 43 und 44: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2	73
Abbildung 45: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2	73
Abbildung 46 und 47: Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2.....	75
Abbildung 48: Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2 .	75
Abbildung 49 und 50: Beikrautbiomasse im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2.....	76
Abbildung 51: Beikrautbiomasse im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2	76
Abbildung 52: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch DFH1.....	77
Abbildung 53: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch DFH2.....	78
Abbildung 54: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2	79
Abbildung 55 und 56: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2.....	80
Abbildung 57: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im den Versuch Belm2	80
Abbildung 58 und 59: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2.....	81
Abbildung 60: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2	81
Abbildung 61 und 62: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2	82
Abbildung 63: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2	82
Abbildung 64 und 65: Feldaufgang in den Versuchen DFH1 und DFH2	83
Abbildung 66: Feldaufgang im Versuch DFH2 auf dem abgeflammteten Teil der Parzelle	84
Abbildung 67 und 68: Feldaufgang in den Versuchen Belm1 und Belm2	84

Abbildung 69 und 70: Trockenmasseertrag des Hafergrünschnitts vom 25.06.2013 im Versuch DFH2 sowie dessen N-Aufnahme	85
Abbildung 71 und 72: Trockenmasseertrag des Hafergrünschnitts vom 19.06.2012 im Versuch Belm1 sowie dessen N-Aufnahme	86
Abbildung 73 und 74: Trockenmasseertrag des Hafergrünschnitts vom 20.06.2013 im Versuch Belm2 sowie dessen N-Aufnahme	86
Abbildung 75 und 76: Haferertrag in den Versuchen DFH1 und DFH2	88
Abbildung 77 und 78: Haferertrag in den Versuchen Belm1 und Belm2	88
Abbildung 79 und 80: Strohertrag in den Versuchen DFH1 und DFH2	89
Abbildung 81 und 82: Strohertrag in den Versuchen Belm1 und Belm2	89
Abbildung 83 und 84: Rispen pro m ² in den Versuchen DFH1 und DFH2	91
Abbildung 85 und 86: Rispen pro m ² in den Versuchen Belm1 und Belm2	91
Abbildung 87 und 88: Tausendkornmasse in den Versuchen DFH1 und DFH2	92
Abbildung 89 und 90: Tausendkornmasse in den Versuchen Belm1 und Belm2	93
Abbildung 91 und 92: Kornzahl pro Rispe in den Versuchen DFH1 und DFH2	94
Abbildung 93 und 94: Kornzahl pro Rispe in den Versuchen Belm1 und Belm2	94
Abbildung 95: Fruchtfolge und Bodenbearbeitungssysteme des mehrjährigen Versuchs (2007 bis 2013) auf der Domäne Frankenhausen	105
Abbildung 96: Ausschnitt aus dem Versuchsplan des mehrjährigen Versuchs	106
Abbildung 97: Zeitlicher Ablauf der Bonituren und Probenahmen im mehrjährigen Versuch	109
Abbildung 98 und 99: Biomasseertrag und N-Aufnahme der Zwischenfrüchte am 17.11.2011	112
Abbildung 100 a und b: N _{min} -Gehalte im Oberboden und NO ₃ -N-Gehalte im Unterboden	114
Abbildung 101 a-c: N _{min} -Gehalte im Oberboden und NO ₃ -N-Gehalte im Unterboden	115
Abbildung 102: Gehalt an organischem Kohlenstoff im Frühjahr 2012 in drei Bodentiefen	117
Abbildung 103: Organischer Kohlenstoff im Frühjahr 2012 in drei Bodentiefen	117
Abbildung 104: Deckungsgrad der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte ...	118
Abbildung 105: Die Artenanteile der Beikrautpopulation am 30.03.2012 im späten Stadium der Zwischenfrüchte	119
Abbildung 106: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte	120
Abbildung 107: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte	121
Abbildung 108: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte	121
Abbildung 109: Beikrautdichte im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer	122
Abbildung 110: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von am 30.05.2012 im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer	123
Abbildung 111: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer	124
Abbildung 112: Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer	124
Abbildung 113: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer	125
Abbildung 114: Deckungsgrad der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer .	126
Abbildung 115: Beikrautbiomasse im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer	126
Abbildung 116: Die Artenanteile der Beikrautpopulation am 25.07.2012 im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer	127
Abbildung 117: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer	128
Abbildung 118: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer	128

Abbildung 119: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer	129
Abbildung 120: Das Aufkommen von <i>C. arvensis</i> an den drei Boniturterminen des Jahres 2012	130
Abbildung 121: Feldaufgang der Hauptfrucht Hafer	130
Abbildung 122 und 123: Korn- und Strohertrag der Hauptfrucht Hafer	131
Abbildung 124 und 125: Rispen pro m ² und Kornzahl pro Rispe der Hauptfrucht Hafer	132
Abbildung 126 und 127: Tausendkornmasse des Hafers und Hektolitermasse des Hafers.....	133
Abbildung 128 a-d: N _{min} -Gehalte im Oberboden und NO ₃ -N-Gehalte im Unterboden.....	134
Abbildung 129 und 130: N _{mik} und C _{mik} im Frühjahr 2013 in drei Bodentiefen	135
Abbildung 131: Beikrautdichte im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne	136
Abbildung 132: Die Artenanteile der Beikrautpopulation am 23.05.2013 im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne	137
Abbildung 133: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne	137
Abbildung 134: Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne	138
Abbildung 135: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne	138
Abbildung 136: Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne.....	139
Abbildung 137: Beikrautbiomasse im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne.....	140
Abbildung 138: Die Artenanteile der Beikrautpopulation am 19.07.2013 im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne	140
Abbildung 139: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne	141
Abbildung 140: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne .	141
Abbildung 141: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne	142
Abbildung 142: Das Aufkommen von <i>C. arvensis</i> an beiden Boniturterminen des Jahres 2013.....	143
Abbildung 143: Feldaufgang der Hauptfrucht Ackerbohne	143
Abbildung 144 und 145: Ertrag des Ackerbohnen-Grünschnitts sowie dessen N-Gehalt.....	144
Abbildung 146 und 147: Bohnenertrag sowie Tausendkornmasse der Hauptfrucht Ackerbohne	145
Abbildung 148 und 149: Strohertrag sowie hülsenträgende Stängel der Hauptfrucht Ackerbohne..	145
Abbildung 150 und 151: Anzahl Hülsen pro Stängel sowie Anzahl Bohnen pro Hülse der Hauptfrucht Ackerbohne	146
Abbildung 152 und 153: Frühjahrs-N _{min} der Schicht 0-30 cm in Abhängigkeit von der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte sowie deren C/N-Verhältnis.....	147
Abbildung 154: Kornertrag des Hafers und Biomasseertrag der Zwischenfrüchte	155
Abbildung 155: Hafer-Kornertrag in Abhängigkeit von Zwischenfruchtbiomasseertrag.....	155
Abbildung 156 und 157: Hafer-Kornertrag in Abhängigkeit von Zwischenfrucht-N-Aufnahme sowie -C/N-Verhältnis	156
Abbildung 158: Hafer-Kornertrag in Abhängigkeit vom Frühjahrs-N _{min} -Gehalt im Oberboden	156

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über verschiedene für den Zwischenfruchtanbau geeignete Arten	8
Tabelle 2: Biomasseertrag und N-Aufnahme in Abhängigkeit vom Saatzeitpunkt	12
Tabelle 3: Biomasseertrag und N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse verschiedener Zwischenfruchtarten und Zwischenfruchtmischungen	18
Tabelle 4: Charakteristika der vier Versuchsschläge	32
Tabelle 5: Bodenchemische Grunddaten der Versuchsschläge	32
Tabelle 6: Düngung im Jahr vor Versuchsbeginn	33
Tabelle 7: Temperatur- und Niederschlagsmittel für Frankenhausen	33
Tabelle 8: Temperatur- und Niederschlagsmittel für Osnabrück	34
Tabelle 9: Übersicht über den ackerbaulichen Ablauf von DFH1 und DFH2	37
Tabelle 10: Übersicht über den ackerbaulichen Ablauf von Belm1 und Belm2	37
Tabelle 11: Probenahme- und Boniturtermine in Frankenhausen	39
Tabelle 12: Probenahme- und Boniturtermine in Belm	40
Tabelle 13: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Zwischenfruchtertrag, -N-Aufnahme und C/N-Verhältnis für den Faktor Zwischenfrucht in DFH2 und Belm2	42
Tabelle 14: C/N-Verhältnis der Zwischenfruchtarten in den verschiedenen Versuchen	44
Tabelle 15: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung in DFH1	46
Tabelle 16: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung in DFH2	49
Tabelle 17: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung in Belm1	51
Tabelle 18: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung in Belm2	53
Tabelle 19: N-Flächenbilanz von DFH1	56
Tabelle 20: N-Flächenbilanz von DFH2	56
Tabelle 21: N-Flächenbilanz von Belm1	57
Tabelle 22: N-Flächenbilanz von Belm2	57
Tabelle 23: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad, Artenanzahl, Äquität und Shannon-Wiener Index der Beikrautbonitur im späten Stadium der Zwischenfrüchte für den Faktor Zwischenfrucht	58
Tabelle 24: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdichte, Artenanzahl, Äquität und Shannon-Wiener Index der Beikrautbonitur im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung	66
Tabelle 25: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad, Beikrautbiomasse, Artenanzahl, Äquität und Shannon-Wiener Index der Beikrautbonitur im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung	74
Tabelle 26: Signifikanztabelle der Varianzanalyse vom Feldaufgang der Hauptfrucht Hafer für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung	83
Tabelle 27: Signifikanztabelle der Varianzanalyse vom Hafer-Grünmasseertrag und deren N-Aufnahme für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung	85
Tabelle 28: Signifikanztabelle der Varianzanalyse vom Hafer Korn- und Strohertrag für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung	87

Tabelle 29: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Ertragsstruktur und Qualität des Hafers für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und deren Wechselwirkung.....	90
Tabelle 30: Bodenchemische Parameter des Versuchsschlages	104
Tabelle 31: Ackerbauliche Maßnahmen im mehrjährigen Versuch 2011-2013.....	107
Tabelle 32: Bodenprobenahmeterminale, untersuchte Parameter und Probentiefen im mehrjährigen Versuch	110
Tabelle 33: Pflanzenprobenahme- und Boniturtermine im mehrjährigen Versuch	110
Tabelle 34: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Zwischenfruchtertrag, -N-Aufnahme und C/N-Verhältnis für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung.....	111
Tabelle 35: C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte	112
Tabelle 36: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung	114
Tabelle 37: N-Flächenbilanz verschiedener Varianten im Versuchsjahr 2011/12	116
Tabelle 38: Lagerungsdichte der drei Systeme in der Differenzierung nach Bodenbearbeitungstiefen.....	117
Tabelle 39: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad, Artenanzahl, Äquität und Shannon-Wiener Index der Beikrautbonitur vom 30.03.2012 für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung	118
Tabelle 40: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdichte, Artenanzahl, Äquität und Shannon-Wiener Index der Beikrautbonitur vom 30.05.2012 für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung	122
Tabelle 41: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad, Biomasse, Artenanzahl, Äquität und Shannon-Wiener Index der Beikrautbonitur vom 25.07.2012 für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung.	125
Tabelle 42: Signifikanztabelle der Varianzanalyse des Auftretens von <i>C. arvensis</i> für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung	129
Tabelle 43: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Ertrag, Ertragsstruktur und Qualität des Hafers für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung	131
Tabelle 44: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung	134
Tabelle 45: N-Flächenbilanz der Varianten im Versuchsjahr 2012/13	135
Tabelle 46: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdichte, Artenanzahl, Äquität und Shannon-Wiener Index der Beikrautbonitur vom 23.05.2013 für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung	136
Tabelle 47: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad, Biomasse, Artenanzahl, Äquität und Shannon-Wiener Index der Beikrautbonitur vom 19.07.2013 für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung.	139
Tabelle 48: Signifikanztabelle der Varianzanalyse des Auftretens von <i>C. arvensis</i> für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung	142
Tabelle 49: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Ertrag und Ertragsstruktur der Ackerbohne für Zwischenfrucht, Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem und deren Wechselwirkung .	145

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung A- 1: *V. sativa* nach dem Abfrieren 202

Tabellenverzeichnis

Tabelle A- 1: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte vor der Bodenbearbeitung im Versuch DFH1	184
Tabelle A- 2: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte nach der Bodenbearbeitung im Versuch DFH1.....	185
Tabelle A- 3: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte vor der Bodenbearbeitung im Versuch DFH2	186
Tabelle A- 4: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte nach der Bodenbearbeitung im Versuch DFH2.....	187
Tabelle A- 5: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte vor der Bodenbearbeitung im Versuch Belm1.....	188
Tabelle A- 6: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte nach der Bodenbearbeitung im Versuch Belm1	189
Tabelle A- 7: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte vor der Bodenbearbeitung im Versuch Belm2.....	190
Tabelle A- 8: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte nach der Bodenbearbeitung im Versuch Belm2	191
Tabelle A- 9: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte vor der Differenzierung nach Zwischenfrüchten im mehnjährigen Versuch.....	192
Tabelle A- 10: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte nach der Differenzierung nach Zwischenfrüchten vor der Bodenbearbeitung im mehrjährigen Versuch	193
Tabelle A- 11: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte nach der Differenzierung nach Zwischenfrüchten nach der Bodenbearbeitung im mehrjährigen Versuch	194
Tabelle A- 12: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte nach der Differenzierung nach Zwischenfrüchten nach der Ernte im mehrjährigen Versuch	195
Tabelle A- 13: N _{min} - bzw. NO ₃ -N-Gehalte der Bodenbearbeitungsvarianten 2013 im mehrjährigen Versuch	196
Tabelle A- 14: Die Artenanteile der Beikrautpopulation am 30.03.2012 im späten Stadium der Zwischenfrüchte im mehrjährigen Versuch.....	197
Tabelle A- 15: Die Artenanteile der Beikrautpopulation am 30.05.2012 im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im mehrjährigen Versuch	198
Tabelle A- 16: Die Artenanteile der Beikrautpopulation am 25.07.2012 im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im mehrjährigen Versuch	199
Tabelle A- 17: Die Artenanteile der Beikrautpopulation am 23.05.2013 im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne im mehrjährigen Versuch.....	200
Tabelle A- 18: Die Artenanteile der Beikrautpopulation am 19.07.2013 im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne im mehrjährigen Versuch.....	201

Übersicht über verwendete Abkürzungen

A	Gesamtartenzahl
AB	Ackerbohne
BB	Bodenbearbeitung
BR	Schwarzbrache
C _t	Gesamtkohlenstoff
DFH	Domäne Frankenhausen
DG	Deckungsgrad
DS	Direktsaat
E	Äquität
FM	Frischmasse
FR	Fräse
GR	Grubber
H'	Shannon-Wiener Index
HF	Hauptfrucht
K	Kalium
LD	Lagerungsdichte
LP	<i>Lolium perenne</i>
Mg	Magnesium
MS	Mulchsaat
N	Stickstoff
n.e.	nicht erfasst
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
NO ₃ -N	Nitratstickstoff
N _{min}	Mineralisierter Stickstoff
n.s.	nicht signifikant ($\alpha > 0.05$ (> 5%))
N _t	Gesamtstickstoff
P	Phosphor

PF	Pflug
PfLuz	Pflugsystem in Fruchtfolge mit mehrjährigem Luzernegras
PT	<i>Phacelia tanacetifolia</i>
SA	<i>Sinapis alba</i>
SATR	Mischung aus <i>Sinapis alba</i> und <i>Trifolium resupinatum</i>
SC	Scheibenegge
SE	Standardfehler
SH	Stoppelhobel
TKM	Tausendkornmasse
TS	Trockensubstanz
TM	Trockenmasse
TR	<i>Trifolium resupinatum</i>
VS	<i>Vicia sativa</i>
ZF	Zwischenfrucht

Versuchsbezeichnungen

DFH1	Einjähriger Versuch 2011/12 auf der Domäne Frankenhausen
DFH2	Einjähriger Versuch 2012/13 auf der Domäne Frankenhausen
Belm1	Einjähriger Versuch 2011/12 auf dem Meyerhof in Belm
Belm2	Einjähriger Versuch 2012/13 auf dem Meyerhof in Belm
SHV	Stoppelhobelversuch (mehrjährig, 2007 bis 2013) auf der Domäne Frankenhausen

1 Gesamtziel der Arbeit

Das Ökosystem Boden ist eine der wichtigsten Grundlagen für das Leben auf der Erde. Der Ackerbau nutzt den Boden als Standort für Kulturpflanzen und seine Funktion als Speicher bzw. Vermittler von Nährstoffen und Wasser. Die Bodenstruktur, das Leben im Boden und viele Bodenprozesse werden durch die Bodenbearbeitung, der „hohen Kunst“ des Ackerbaus, wesentlich beeinflusst. Methoden der reduzierten Bodenbearbeitung wie nicht-wendende oder nur oberflächlich wendende Verfahren gelten heute als umweltfreundliche Alternativen zum herkömmlichen Pflügen. Im Vergleich zu Bodenbearbeitungssystemen, die tiefes Pflügen einschließen, kann eine kontinuierlich angewendete reduzierte Bodenbearbeitung bodenbiologische und -physikalische Parameter verbessern. Bei einer reduzierten Bodenbearbeitung ist verglichen mit dem Pflugeinsatz die Bodenstruktur in der oberen Bodenschicht oft besser (Almagro et al. 2013; Cavigelli et al. 2013; Zikeli et al. 2013; Kainz et al. 2005), der Gehalt an organischem Kohlenstoff höher und das Bodenleben aktiver (Berner et al. 2008b; Jacobs et al. 2009; Mäder und Berner 2012; Tebrügge und Düring 1999). Die verbesserte Struktur und der höhere Gehalt an organischer Substanz in der Krume führen zu einer besseren Wasserinfiltration, Wasserhaltekapazität (Buchner und Köller 1990, S. 90; Dittmann und Zimmer 2010) und verringerten Erosionsneigung (Alliaume et al. 2014; Larsen et al. 2014; Tebrügge und Düring 1999). Ferner kann sich insbesondere die nicht-wendende Bodenbearbeitung förderlich auf die Regenwurmpopulation auswirken (Emmerling 2001; Emmerling und Hampl 2002; Hampl 2005; Kainz et al. 2003; Kuntz et al. 2013).

Neben Gründen des Bodenschutzes sprechen ökonomische Motive für eine reduzierte Bodenbearbeitung, da der Arbeitszeit- und Energiebedarf bei einer reduzierten Bodenbearbeitung verglichen mit tiefem Pflügen verringert sein kann (Cavigelli et al. 2013; Hernanz et al. 2014; Köller und Linke 2001, S. 145; Verch et al. 2009; Zentler 2011).

Synonyme für reduzierte Bodenbearbeitung sind Minimalbodenbearbeitung oder pfluglose Bearbeitung, wobei mit „pfluglos“ hier der Verzicht auf das herkömmliche tiefe Pflügen und nicht auf das oberflächliche flache Wenden gemeint ist.

In der konventionellen Landwirtschaft wird die reduzierte Bodenbearbeitung vergleichsweise häufig angewendet. Sie ist neben einer permanenten Bodenbedeckung und einer abwechslungsreichen Fruchtfolge die Grundlage der so genannten konservierenden Bodenbearbeitung (FAO 2015), die als besonders umweltfreundliches Verfahren angesehen wird (Holland 2004; Peigné et al. 2007; Scopel et al. 2013). Bereits ab einer gleichmäßig verteilten Bodendeckung von 30 % besteht ein guter Schutz gegen Erosion (aid 2014, S. 88). Eine Vorreiterrolle in der Anwendung konservierenden Bodenbearbeitung hat Südamerika; dort wurden 2014 60 % der Ackerfläche mit Methoden der konservierenden Bodenbearbeitung bewirtschaftet (Kassam et al. 2014). In Europa wurden 2014 lediglich 2,8 % der Ackerfläche mit konservierender Bodenbearbeitung bestellt (Kassam et al. 2014). Weltweit gesehen nimmt diese Art der Bodenbewirtschaftung stark zu. Ein deutlicher Trend in Süd- und Nordamerika ist die konservierende Bodenbearbeitung mit der Direktsaat (engl. no-till); ein Verfahren, bei dem die Kultur ohne jegliche Bodenbearbeitung direkt in die Stoppeln der Vorfrucht eingesät wird (Derpsch et al. 2010). In den USA wird auch im Ökologischen Landbau auf die Direktsaat zurückgegriffen bzw. wird an ihrer Umsetzung geforscht (Carr et al. 2012a; Mirsky et al. 2013; Mirsky et al. 2012; Teasdale et al. 2012). Die Bestrebungen im Ökologischen Landbau in Europa sind eher eine reduzierte Bodenbearbeitung umzusetzen (Carr et al. 2012b). Direktsaat im

Ökologischer Landbau in Europa wird gelegentlich in Südeuropa verwendet (Casagrande et al. 2014). Den Grund für die unterschiedlichen Ansätze in den USA und Europa sehen Mäder und Berner (2012) in den verschiedenen pedo-klimatischen Bedingungen der zwei Kontinente sowie in der unterschiedlichen Struktur landestypischer landwirtschaftlicher Betriebe.

In der konventionellen Landwirtschaft gelten pfluglose Verfahren nur bei vollem Herbizideinsatz als praxistaugliche Verfahren (Schwarz 2014; Triplett und Dick 2008), da bei einem Verzicht auf tiefes Pflügen ein höherer Beikrautdruck auftreten kann (Gronle et al. 2015; Paffrath und Stumm 2010; Triplett und Dick 2008). Auch kann es bei einem Pflugverzicht zu einer im Frühjahr verzögerten Erwärmung und verminderten Durchlüftung des Bodens kommen und damit einhergehend zu einer verzögerten oder verringerten Stickstoff (N) – Mineralisation (Köller und Linke 2001, S. 110–113; Triplett und Dick 2008). In der Ökologischen Landwirtschaft, wo keine synthetischen Herbizide oder leichtlöslichen N-Dünger verwendet werden, ist es schwieriger auf den Pflug zu verzichten, da er ein sicheres Hilfsmittel zur Anregung der Mineralisation und zur Beikrautkontrolle ist (Brandsæter et al. 2011; Buchner und Köller 1990, S. 67; Gruber 2003; Köpke 2003; Niggli und Dierauer 2000; Schmidt und Leithold 2003; Wilhelm 2010, S. 65). Daher kann eine reduzierte Bodenbearbeitung in der Ökologischen Landwirtschaft zu Ertragseinbußen führen (Cooper et al. 2014; Kainz et al. 2005; Mäder und Berner 2012; Peigné et al. 2007; Wilhelm et al. 2009).

Jedoch hat aufgrund der positiven Aspekte der reduzierten Bodenbearbeitung ein Verzicht auf den Pflug das Potenzial, die Ökosystemleistungen des Ökologischen Landbaus weiter zu vermehren. Auch können ökologische Anbausysteme kombiniert mit reduzierter Bodenbearbeitung verstärkt zum Klimaschutz (Cavigelli et al. 2013) und zu einer größeren Resilienz des Anbausystems gegenüber Klimaschwankungen beitragen (Bloch und Bachinger 2012).

Die Idee einer reduzierten Bodenbearbeitung ist im Ökologischen Landbau nicht neu; sie wurde von einem der Vorreiter des Ökologischen Landbaus, Hans Peter Rusch (2004, S. 217–219) in den 1950er Jahren nachdrücklich empfohlen. Im Ökologischen Landbau wird aber aktuell sehr häufig der Pflug eingesetzt. Eine 2009 auf Ökobetrieben in Deutschland durchgeführte Umfrage ergab, dass 94 % der befragten Landwirte den Pflug zur Grundbodenbearbeitung einsetzen (Wilhelm et al. 2011). Bezüglich der Bearbeitungstiefe war im Vergleich zu einer ähnlichen Studie, die 1990 durchgeführt worden war, eher eine Intensivierung festzustellen (Wilhelm et al. 2011).

Um eine weitere Verbreitung reduzierter Bodenbearbeitungsverfahren im Ökologischen Landbau zu ermöglichen, ist eine Anpassung des gesamten Systems notwendig, was hohe Anforderungen an den Landwirt stellt (Peigné et al. 2007). Neben der Technik der Bearbeitung muss die Fruchtfolge auf die spezifischen Belange der pfluglosen Bodenbearbeitung umgestellt werden. Sie bietet die Möglichkeit, auf die Herausforderungen der reduzierten Bodenbearbeitung zu reagieren. Dafür ist die Integration von Zwischenfrüchten in die Fruchtfolge unabdingbar. Der Anbau von Zwischenfrüchten kann sowohl der besseren N-Versorgung (Drinkwater et al. 2000) als auch der Beikrautkontrolle dienen (Bàrberi 2002; Peigné et al. 2007; Price und Norsworthy 2013). So kann ein fachkundiger Anbau von Zwischenfrüchten dazu beitragen, Ertragseinbußen durch eine reduzierte Bodenbearbeitung zu minimieren oder ganz zu vermeiden (Canali et al. 2013).

Für eine systematische Wissenserweiterung zum Thema „Reduzierte Bodenbearbeitung und Gründüngung in ökologischen Anbausystemen“ wurde 2011 ein neues europäisches Forschungsprojekt mit dem Akronym TILMAN ORG (Reduced **TIL**lage and green **MAN**ures for

sustainable **ORG**anic cropping systems, www.tilman-org.net (FiBL 2011)) ins Leben gerufen (Mäder und Berner 2012). Die Entwicklung von Verfahren zur effizienten Beikrautregulierung sowie einer besseren Nährstoffversorgung ist ein wichtiges Ziel von TILMAN ORG. Gleichzeitig wird nach Wegen gesucht, den CO₂-Ausstoß im Ackerbau zu verringern und die Biodiversität zu erhöhen.

Die Aufgaben des Fachgebiets Ökologischer Land- und Pflanzenbau der Universität Kassel bestanden in der Durchführung und Auswertung zweier wiederholter Kurzzeitversuche und eines mehrjährigen Versuches. Im Vordergrund standen die Auswirkungen verschiedener Zwischenfrüchte und deren Einarbeitung mit unterschiedlicher Bodenbearbeitungsintensität auf die N-Dynamik des Bodens sowie auf das Beikrautaufkommen.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, basierend auf einer Literaturrecherche und den Versuchsergebnissen Möglichkeiten für ein verbessertes Beikraut- und Stickstoffmanagement in ökologischen Anbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung durch die effiziente Nutzung verschiedener legumer und nicht-legumer Zwischenfrüchte zu finden. Thematisch erfolgt die Gliederung in folgende drei Schwerpunkte:

- **Themenschwerpunkt I:** Bedeutung des Zwischenfruchtanbaus für das Stickstoff- und Beikrautmanagement in ökologischen Anbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung (Literaturstudie)
- **Themenschwerpunkt II:** Die kurzfristigen Auswirkungen eines Anbaus von Zwischenfrüchten und einer einmalig differenzierten Bodenbearbeitung zum Anbau von Hafer auf Beikrautaufkommen, Stickstoffflüsse und Haferertrag. Dafür werden die Ergebnisse von zwei wiederholten einjährigen Feldversuchen auf zwei verschiedenen Standorten vorgestellt.
- **Themenschwerpunkt III:** Ein Systemvergleich Stoppelhobel versus Pflug: Um zu testen, ob der Einsatz des Stoppelhobels im Ökolandbau in Kombination mit der passenden Zwischenfrucht im Hinblick auf die Beikrautregulierung und Anregung der Mineralisation eine gleichwertige Alternative zu herkömmlichem Pflügen ist, wurde 2007 ein mehrjähriger Versuch angelegt. Die Ergebnisse des sechsten und siebten Jahres (2012 und 2013) nach der Einführung der differenzierten Bodenbearbeitung werden vorgestellt.

Im Folgenden werden für die drei Themenschwerpunkte der Stand der Forschung, die Hypothesen und Zielsetzungen sowie die methodische Durchführung erläutert.

2 Themenschwerpunkt I: Bedeutung des Zwischenfruchtanbaus für das Stickstoff- und Beikrautmanagement in ökologischen Anbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung (Literaturstudie)

2.1 Einleitung

Der Zwischenfruchtanbau hat eine Schlüsselfunktion in der Fruchtfolge, um die Bodenstruktur, das Bodenleben und damit die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern (Lütke Entrup 2001, S. 9). Er kommt dem ganzheitlichen Ansatz des ökologischen Anbaus entgegen, da durch den Anbau von Zwischenfrüchten längerfristige Auswirkungen auf das gesamte Anbausystem auftreten (Bàrberi 2002; König 1996, S. 91; Rayns und Lennartsson 1995; Teasdale et al. 2007).

Die positiven Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus sind besonders ausgeprägt, wenn die oberirdische Zwischenfrucht-Biomasse nicht abgefahren und als Futter verwendet wird, sondern zum Zweck der Bodenverbesserung und des Bodenschutzes auf der Anbaufläche verbleibt. Es können vielfältige positive Effekte entstehen. Zum einen kann die Stickstoffversorgung für die nachfolgende Hauptfrucht verbessert werden. Leguminosen bringen durch Ihre Fähigkeit Luftstickstoff zu assimilieren zusätzlichen N in den Boden. Nicht-Leguminosen haben eine N konservierende Wirkung, d. h. sie speichern den aufgenommenen N und können ihn so über die Wintermonate im Boden halten und vor Auswaschung schützen (engl. „Catch Crops“) (Baggs et al. 2000; Blombäck et al. 2003; Dabney et al. 2007; Heß 1989, S. 94; Thorup-Kristensen und Nielsen 1998; Urbatzka et al. 2009). Zusätzlich können Leguminosen und Nicht-Leguminosen beträchtliche Mengen anderer Nährstoffe (P, K, Ca, Mg) mobilisieren, aufnehmen und speichern (Lütke Entrup 2001, S. 14; Thorup-Kristensen et al. 2003). Des Weiteren ernähren die Pflanzenrückstände Regenwürmer und andere Bodenorganismen durch Bereitstellung von „Futter“ auch in den Wintermonaten (Kolbe et al. 2004, S. 18; McDaniel et al. 2014; Schmidt und Gläser 2013, S. 32). Ein vielfältiges Bodenleben sorgt für die Krümelstruktur des Bodens (Dabney et al. 2007; Hampl 1995; Kolbe et al. 2004, S. 17). Der Anbau von Zwischenfrüchten kann zu einer Erhöhung des Gehalts an organischer Substanz des Bodens führen (Blombäck et al. 2003; Dabney et al. 2007; König 1996, S. 91; McDaniel et al. 2014). Die Bedeckung des Bodens bietet einen Schutz vor Erosion (Sainju und Singh 2001). Gleichzeitig können Zwischenfrüchte einem zunehmenden Beikrautauflkommen, wie es bei der Anwendung reduzierter Bodenbearbeitungsverfahren im Ökolandbau vorkommen kann, entgegenwirken. Aufgrund ihrer Konkurrenzkraft können sie Beikraut unterdrückende Wirkung zeigen (Bàrberi 2002; Peigné et al. 2007; Shrestha et al. 2002; Teasdale et al. 2007). Ein weiterer wichtiger Aspekt bei einer frühen Aussaat geeigneter Arten kann die Verbesserung der Versorgung der Honigbiene im Spätsommer und Herbst sein (Kolbe et al. 2004, S. 24; Schulz et al. 2015).

Nach pflanzenbaulichen Aspekten des Zwischenfruchtbaus soll in diesem Themenschwerpunkt der Stand der Literatur zu folgenden Fragen aufgezeigt werden:

- Welche Zwischenfruchtarten oder Zwischenfruchtmischungen eignen sich in Ackerbaufruchtfolgen am besten, um Stickstoff in den Boden zu bringen bzw. zu halten?
- Wie kann man die Mineralisierung der pflanzlichen Biomasse durch die Wahl des Zeitpunkts und der Intensität der Einarbeitung steuern?
- Mit welchen Zwischenfruchtarten oder -mischungen lassen sich Beikräuter am effektivsten unterdrücken?

- Welche Auswirkungen hat der Saatzeitpunkt auf den Zwischenfruchtbestand?
- Was sind die Vor- und Nachteile von Zwischenfruchtmischungen im Vergleich zu Zwischenfrüchten in Reinsaat?

2.2 Begriffsdefinitionen

Gründüngung ist der Oberbegriff für verschiedene Arten des Anbaus von Pflanzen, die nicht oder nicht primär der Erzeugung von Lebensmitteln, Futter oder Bioenergie, sondern dem Zweck der Bodenverbesserung dienen.

Für den Anbau einer Gründüngung gibt es die Möglichkeit einer ein- oder mehrjährigen Brache, z.B. Rotationsbrache, was aber, wenn der Anbau in erster Linie dem Bodenschutz und der Bodenfruchtbarkeit und nicht der Futtergewinnung dienen soll, zu ökonomischen Einbußen bzw. über die Fruchtfolge gesehen zu verringerten Erträgen anderer Kulturen führt (Ponti et al. 2012). Der Nutzung des Zeitraums zwischen der Ernte einer Hauptfrucht und dem erneuten Anbau einer solchen stehen dagegen kaum ökonomische Zwänge entgegen (Kahnt 2008, S. 92). Diese Art des Anbaus von Gründüngung wird als Zwischenfruchtanbau bezeichnet und ist Gegenstand dieser Arbeit.

In Einzelfällen kann der Zeitraum nach der frühen Ernte einer Hauptfrucht (beispielsweise Wintergerste) und der späten Aussaat einer Winterkultur für den Zwischenfruchtanbau ausreichend sein. Im Normalfall wird aber der Zeitraum nach der Ernte einer Hauptfrucht und vor der Aussaat einer Sommerkultur genutzt.

Als **Sommerzwischenfruchtbau** wird der Anbau von Kulturen bezeichnet, deren Hauptvegetationszeit im Spätsommer oder Herbst liegt und die vor dem Winter absterben. Der Anbau von nicht abfrierenden Arten, die außer der Vegetationszeit im Herbst eine zweite Wachstumsphase im Frühjahr haben, wird als **Winterzwischenfruchtbau** bezeichnet (Lütke Entrup 2001, S. 16). Aufgrund des Nicht-Abfrierens sind sie im Ökolandbau jedoch nur bedingt für ein pflugloses System geeignet.

Eine Möglichkeit der Etablierung von Gründüngung ist die Untersaat, d. h. die Aussaat in einen bereits bestehenden Hauptfruchtbestand. Nach der Ernte der Hauptfrucht wächst die Gründüngung weiter. Die Untersaat wird in der Literatur auch als Zwischenfrucht bezeichnet (Fuchs et al. 2009; Kolbe et al. 2004, S. 25–30; Renius et al. 1992, S. 64; Urbatzka und Cais 2009, Urbatzka et al. 2011a, 2011b). Die Untersaat bietet die Möglichkeit einer frühen und kostengünstigen Etablierung der Gründüngung (Renius et al. 1992, S. 65; Urbatzka et al. 2011b; Urbatzka et al. 2013), birgt aber die Gefahren der Entstehung von Konkurrenz zwischen Hauptfrucht und Gründüngung und des schlechteren Abtrocknens des Hauptfruchtbestandes zur Erntezeit (Fuchs et al. 2009; Renius et al. 1992, S. 67; Urbatzka et al. 2011a). Wird die Gründüngung zuerst etabliert und die Hauptfrucht in diese hineingesät, spricht man von Lebendmulchsystemen. Auch hier besteht die Gefahr der Konkurrenz zwischen Gründüngung und Hauptfrucht (Hiltbrunner et al. 2007). Auf die spezifischen Anforderungen, Vor- und Nachteile von Untersaaten und Lebendmulchsystemen soll im Folgenden nicht eingegangen werden. Diese Arbeit geht von der Aussaat der Zwischenfrüchte als Stoppelsaat oder Mähdruschsaat aus, also der Aussaat nach oder während der Ernte der Hauptfrucht (Renius et al. 1992, S. 11; Schmidt und Gläser 2012, S. 17–19).

2.3 Pflanzenbauliche Aspekte

2.3.1 Geeignete Zwischenfruchtarten

Die Wirkung des Zwischenfruchtanbaus hängt stark von der gewählten Art ab, da die gewählte Zwischenfruchtart nahezu jeden Aspekt des Zwischenfruchtanbaus beeinflusst (Thorup-Kristensen et al. 2003). In der Regel sind Arten mit einer **hohen Biomassebildung** empfehlenswert, um mit dem Zwischenfruchtanbau Ziele wie eine befriedigende Beikrautunterdrückung und eine hohe N₂-Fixierung bzw. Nährstoffkonservierung über den Herbst und Winter zu erreichen (Kolbe et al. 2004, S. 109). Außerdem ist insbesondere bei einem späten Saattermin eine **schnelle Jugendentwicklung** der Zwischenfrüchte nützlich. Ein **gutes Durchwurzelungsvermögen** kann für eine gute N-Aufnahme wichtig sein (Thorup-Kristensen et al. 2003). Die Wurzelverteilung ist für Wasserverbrauch und Nitrataufnahme sogar wichtiger als der oberirdische Bedeckungsgrad (Bodner et al. 2011). Unter dem Aspekt der Wassernutzung ist ein Wurzelsystem günstig, das vor allem die Oberkrume intensiv durchwurzelt (Bodner et al. 2011). Zur Tiefenlockerung von Böden oder dem Erschließen von N, der bereits in tiefere Bodenschichten verlagert worden ist, ist ein Anbau von Tiefwurzlern nötig (Bodner et al. 2011; Thorup-Kristensen 2001). Versuche haben gezeigt, dass Tiefwurzler aus einer Bodentiefe von mehr als zwei Metern N aufnehmen können (Thorup-Kristensen 2005). Für die Freisetzung des in der Zwischenfrucht konservierten N ist deren **C/N-Verhältnis** von ausschlaggebender Bedeutung. Das C/N-Verhältnis der Zwischenfrucht kann auf den Boden-N_{min}-Gehalt im Frühjahr einen größeren Einfluss haben als die in der Biomasse gebundene N-Menge (Schmidt und Gläser 2014, S. 36).

Aus pflanzenbaulicher Sicht muss die Wahl der Zwischenfrucht folgendes berücksichtigen:

- die Boden- und Standortbedingungen wie Bodenart, Niederschlag, Temperatur
- den Aussattermin und damit die zur Verfügung stehenden Vegetationstage
- die vorhandene Fruchtfolge, d. h. Unverträglichkeiten und phytosanitäre Aspekte
- ob abfrierende oder überwinternde Arten angebaut werden sollen
- ob Reinsaaten oder Gemenge angebaut werden sollen

(nach Freyer 2003; Lütke Entrup 2001; Oehmichen und Becker 1986).

Häufig stammen angebaute Zwischenfrüchte aus der Familie der Leguminosen oder der Kreuziferen (Peigné et al. 2014). Leguminosen sind als N-Lieferanten unverzichtbarer Bestandteil der Ökologischen Landwirtschaft. Jedoch gibt es nicht sehr viele Leguminosen, die sich als Hauptfrucht oder Zwischenfrucht eignen und diese sind oft selbstunverträglich oder sogar unverträglich mit anderen legumen Arten, d.h. kreuzunverträglich (Baresel et al. 2003, S. 4). Diese in der Regel geringe Selbst- oder/und Kreuzverträglichkeit beruht auf der Empfindlichkeit gegenüber bodenbürtigen Krankheitserregern und tierischen Schaderregern. Selbst wenn die angebauten legumen Zwischenfrüchte symptomfrei bleiben, können sie als Reservoir für Pathogene dienen, die den Hauptfrüchten schaden (Šišić et al. 2015). Daher sind zwischen dem Anbau von Leguminosen lange Anbaupausen nötig (Böhm et al. 2014, S. 25–30; Freyer 2003, S. 152–153; Kolbe 2008). Die Beliebtheit von Kreuziferen liegt zum Teil in dem kostengünstigen Saatgut begründet sowie in der Spätsaatverträglichkeit (Renius et al. 1992, S. 15). Kreuziferen sollten aber bei einer Fruchtfolge, die Raps oder andere Kreuzblütler enthält, aus phytosanitären Gründen nicht bzw. nur nach entsprechenden Anbaupausen als Zwischenfrüchte angebaut werden (Freyer 2003, S. 151). Andererseits können Kreuziferen, insbesondere Senfarten, gerade auch aus phytosanitären Aspekten angebaut werden, wenn nämlich deren frische Biomasse zur so genannten Biofumigation für die

Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger in den Boden eingearbeitet wird (Friberg et al. 2009; Haramoto und Gallandt 2004; Motisi et al. 2009).

Eine Übersicht über verschiedene Zwischenfruchtarten mit Hinweisen auf für N-Flüsse und Beikrautunterdrückung relevante Eigenschaften gibt Tabelle 1. Die Spalte „N-Aufnahme“ bezeichnet in dieser Tabelle das Potenzial zur Minderung der Boden-N-Gehalte, um einer Nitratverlagerung entgegenzuwirken sowie das N-Bindungsvermögen des oberirdischen Biomasseaufwuchses. Die Übersicht beruht auf Ergebnissen des Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Sachsen, das seit vielen Jahren auf unterschiedlichen Standorten Zwischenfruchtversuche durchführt. Diese Tabelle dient nur dem Überblick sowohl über bewährte als auch neuere Zwischenfruchtarten. Differenziert wird auf die N- und Beikrautthematik unter Einbeziehung wissenschaftlicher Literatur in Kapitel 2.4 und 2.5 eingegangen.

Tabelle 1: Übersicht über verschiedene für den Zwischenfruchtanbau geeignete Arten

Zwischenfrucht	Saatzeit	Jugend- entwicklung	N-Aufnahme	Bei- krautunter- drückung	Ansprüche an Boden und Klima etc.	Wurzelbildung
Abfrierende Arten (Sommerzwischenfrüchte)						
Leguminosen						
Ackerbohne <i>Vicia faba</i>	Anfang Juli – Mitte August	...	+	+	bevorzugt schwere Böden	tiefe, kräftige Pfahlwurzel mit vielen kurzen Seitenwurzeln
Alexandrinerklee <i>Trifolium alexandrinum</i>	Anfang Juli – Mitte August	...	+	...	relativ anspruchslos	spindelförmige Pfahlwurzel mit wenigen Seitenwurzeln
Blaue Lupine <i>Lupinus angustifolius</i>	Anfang Juli – Mitte August	+	+	...	bevorzugt leichte Standorte bei guter Wasserversorgung	große kräftige Pfahlwurzel mit Seitenwurzeln, gute Knöllchenbildung
Futtererbse <i>Pisum sativum</i>	Anfang Juli – Mitte August	...	+	+	optimal auf mittelschweren Böden	Pfahlwurzel mit wenig Seitenwurzeln
Linse <i>Lens culinaris</i>	Anfang Juli – Ende August	-	+	-	bevorzugt flachgründige, karge, kalkreiche Böden, trockenheitsverträglich, gut in Kombination mit Stützfrucht	Pfahlwurzel, schwach verzweigtes Wurzelsystem
Perserklee <i>Trifolium resupinatum</i>	Anfang Juli – Mitte August	+	...	-	auch auf leichten Böden und bei Trockenheit geeignet	spindelförmige Pfahlwurzel mit wenigen Seitenwurzeln
Platterbse <i>Pisum sativum</i>	Anfang Juli – Mitte August	...	+	...	besonders für trockene Standorte geeignet, gedeiht auf allen Böden, höhere N ₂ -Fixierung als Futtererbse bei niedrigerem Wuchs	Pfahlwurzel mit kräftigen Seitenwurzeln, große Knöllchen

Serradella <i>Ornithopus sativus</i>	Anfang Juli – Ende August	-	Anspruchslos, aber kalkempfindlich; gut für Sandböden („Klee des Sandes“); selbstverträglich gedeiht eher im niedrigen/ sauren pH-Bereich, gedeiht auf schweren Böden nur mäßig bevorzugt mittlere bis schwere kalkhaltige Lehmböden, trockenheitsresistent, niedriger Wuchs	kräftige spindelförmige Pfahlwurzel mit zahlreichen weitverzweigten Nebenwurzeln
Sommerwicke <i>Vicia sativa</i>	Anfang Juli – Mitte August	+	+	...		Büschelwurzeln, verzweigtes Wurzelwerk
Nicht-Leguminosen						
Buchweizen <i>Fagopyrum esculentum</i>	Anfang Juli – Ende August	+	...	-	bevorzugt leichte Böden aber gedeiht auch auf schweren Böden	Büschelwurzel mit zahlreichen Seitenwurzeln
Gelbsenf <i>Sinapis alba</i>	Anfang August – Ende September	+	-	...	anspruchslos, spätsaatverträglich	Pfahlwurzel mit Seitenwurzeln, bildet aber in ungarem Boden kaum Wurzeln
Kresse <i>Lepidum sativum</i>	Mitte Juli – Mitte September	+	...	-	starke photoperiodische Reaktion, frostempfindlich, trockenheitsverträglich	kurze Pfahlwurzel
Öllein <i>Linum usitatissimum</i>	Anfang Juli – Mitte August	-	+	-	lehmige Sande / sandige Lehme mit guter Wasserversorgung; unverträglich gegenüber Verdichtungen und Staunässe	Pfahlwurzel mit geringer Verzweigung
Ölrettich <i>Raphanus sativus</i>	Anfang Juli – Ende August	-	...	+	hoher Stickstoffbedarf; wenn Bestand mit kleinem Wuchs in den Winter geht besteht die Gefahr, dass er im Frühjahr wieder austreibt	kräftige tiefe Pfahlwurzel, die sich zum Rettich verdickt
Phacelia <i>Phacelia tanacetifolia</i>	Anfang Juli – Ende August	...	+	+	relativ anspruchslos, reagiert auf Bodenverdichtungen, gute Bodenerwärmung im Frühjahr, Dunkelkeimer	Büschelwurzel mit Seiten- und Feinwurzelbildung
Ramtillkraut <i>Guizotia abyssinica</i>	Anfang Juli – Mitte August	+	...	-	geeignet für alle Böden, trockenheitstolerant, friert schnell ab, Dunkelkeimer	intensiv durchwurzelte obere Bodenschicht, Büschelwurzel
Rauhafer <i>Avena strigosa</i>	Anfang Juli –	+	...	+	gedeiht auf allen Bodenarten, hohe Mengen an organischer Masse, optimale Beikraut- unterdrückung durch allelopathische Effekte	Büschelwurzel

Sonnenblume <i>Helianthus annuus</i>	Anfang Juli – Mitte August	-	bevorzugt warme trockene Standorte, gute Stützfrucht, benötigt viel Wasser	Pfahlwurzel (bis 3 m), ausgeprägte Büschelwurzel im Oberboden
Tillage Radish (Meliorationsrettich) <i>Raphanus sativus</i>	Mitte Juli – Mitte September	+	+	...	anspruchlos	tiefe, starke Pfahlwurzel
Überwinternde Arten (Winterzwischenfrüchte)						
Leguminosen						
Luzerne <i>Medicago sativa</i>	Anfang Juli – Ende August	-	+	+	ausdauernd, bevorzugt tiefgründige kalkreiche Böden, trockenheitsresistent	tiefe kräftige Pfahlwurzel
Winterwicke <i>Vicia villosa</i>	Anfang Juli – Mitte September	...	+	...	geringere Ansprüche an Boden und Klima als Sommerwicke, dürrerotolerant	Büschelwurzel, verzweigtes Wurzelwerk
Nicht-Leguminosen						
Grünroggen <i>Secale cereale</i>	Anfang August – Ende September	-	+	+	anspruchlos, spätsaatverträglich, Frühjahrsschnitt vor Maisanbau möglich	Büschelwurzel, kräftiges und feines Wurzelsystem, durchdringt das gesamte Ackerprofil

Nach Schmidt und Gläser (2014) (leicht verändert)

2.3.2 Ansprüche verschiedener Arten an den Saatzeitpunkt

Bei einem Zwischenfruchtanbau nach der Ernte einer Hauptfrucht müssen die Zwischenfrüchte mit zurückgehenden Temperaturen und abnehmender Tageslichtdauer zurechtkommen. Daher ist eine Aussaat der Zwischenfrüchte so früh wie möglich nach Ernte der Hauptfrucht wichtig (Freyer 2003, S. 87; Lütke Entrup 2001, S. 16). Die Bedeutung des Aussaattermins für den erfolgreichen Zwischenfruchtanbau spiegelt sich auch in folgender Bauernweisheit wider: „Ein Tag im Juli ist wie eine Woche im August und der ganze September“ (z. B. Alpers und Simon 2012).

Eine frühe Aussaat ist für den Sommerzwischenfruchtbau besonders wichtig. Nicht abfrierenden Arten dagegen (= Winterzwischenfruchtbau) haben außer der Vegetationszeit im Herbst eine zweite Wachstumsphase im Frühjahr und sind daher spätsaatverträglicher (Lütke Entrup 2001, S. 16).

Innerhalb der Form des Zwischenfruchtbaus (Sommer- oder Winterzwischenfruchtbau) gibt die Kultur den Zeitrahmen für den Saatzeitpunkt vor (Tabelle 1). Leguminosen erfordern im Allgemeinen eine frühe Saat (Kahnt 2008, S. 129–133), wohingegen Kruziferen spätsaatverträglicher sind. Einige als Zwischenfrüchte angebaute Kruziferenarten erfordern sogar eine späte Saat. Sie zeigen eine ausgeprägte photoperiodische Reaktion. Als Langtagspflanzen kommen sie umso früher zur Blüte, je früher sie ausgesät werden. Die Assimilate werden dann überwiegend zur Stängel- und Blütenbildung verwendet. Die Blatt- und Wurzelentwicklung sind vermindert. Um einen dichten Bestand mit einer hohen Blattmasse und guten Durchwurzelung zu erreichen ist eine Aussaat Mitte August anzustreben. Auch spätere Aussaaten bis Anfang September können gute Ergebnisse erzielen (Lütke Entrup 2001, S. 26–31).

2.3.3 Auswirkungen des Saatzeitpunkts auf den Zwischenfruchtbestand

Ein früher Saattermin ist für den Biomasseertrag der Zwischenfrüchte sowie für deren N-Aufnahme von großer Bedeutung (Hashemi et al. 2013; Schmidt 1997, S. 52; Schmidt und Gläser 2012, S. 44; Shepherd 1999). In Versuchen von Schmidt (1997, S. 52) zeigte sich ein deutlicher positiver Effekt eines früheren Saatzeitpunkts und eine kontinuierliche Abnahme sowohl des TS-Ertrags als auch der N-Aufnahme zum späteren Zeitpunkt hin (Tabelle 2).

In Versuchen von Beckmann (1998, S. 59) hatte *V. sativa* bei einem späten Saattermin einen besseren TS-Ertrag verglichen mit *T. resupinatum* (Tabelle 2). Beckmann (1998, S. 59) führt dies auf die bessere Ertragsleistung und –sicherheit von *V. sativa* bei niedrigen Temperaturen zurück. *T. resupinatum* profitierte in beiden Jahren von einem frühen Aussaattermin und brachte dann höhere Erträge als *V. sativa* (Tabelle 2).

Tabelle 2: Biomasseertrag und N-Aufnahme in Abhängigkeit vom Saatzeitpunkt

Zwischenfrucht	Ort	Zwischenfrucht Aussaatzeitpunkt	Biomasse- ertrag (oberirdisch) [dt TM ha ⁻¹]	N-Aufnahme (oberirdisch) [kg N ha ⁻¹]	Quelle
Ölrettich	Neu- Eichenberg	19.08.1993	20,2	81,9	Schmidt 1997
		28.08.1992	17,8	66,5	
		14.09.1994	5,4	23,7	
Perserklee	Gießen	30.06.1995	56,1	149,2	Beckmann 1998
		03.07.1996	42,2	131,7	
		01.08.1995	16,8	62,4	
		08.08.1996	10,8	44,6	
Sommer- wicke	Gießen	30.06.1995	37,3	124,4	Beckmann 1998
		03.07.1996	39,2	153,1	
		01.08.1995	25,6	99,8	
		08.08.1996	24,1	110,2	

Es gibt aber auch widersprüchliche Ergebnisse zu den Auswirkungen des Saatzeitpunktes. Ergebnissen der Versuche des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie zufolge muss eine frühe Aussaat von Zwischenfrüchten Mitte Juli nicht zwangsläufig zu hohen Biomasseerträgen führen (Schmidt et al. 2012). Teilweise konnten Zwischenfrüchte bei Aussaatterminen Ende August noch zufriedenstellende Ergebnisse hinsichtlich Biomasseerzeugung und Stickstoffkonservierung bringen (Schmidt und Gläser 2013, S. 24). Andere Faktoren wie N-Gehalt und Wasserhaltekapazität des Bodens sowie die Bodenart können hierbei einen größeren Einfluss als der Saatzeitpunkt gehabt haben. Die Bodenfeuchte zu Beginn der Entwicklung der Zwischenfrüchte war auf verschiedenen Standorten wohl der erfolgsentscheidende Faktor.

In einer Studie von Brandsæter et al. (2008) profitierte die Winterwicke (*V. villosa* Roth.) sogar in manchen Fällen von einem späteren Saatzeitpunkt (01.09. vs. 11.8.; 18.08. vs. 27.07.). Dies kann aber eventuell an einem unterschiedlichen Auswinterungsverhalten gelegen haben, da der Beprobungstermin der Zwischenfruchtbiomasse im Frühsommer des auf die Zwischenfruchtsaat folgenden Jahres lag. Für Klee- und Luzernearten hingegen hatte der frühere Saatzeitpunkt immer einen positiven Effekt auf den Biomasseertrag (Brandsæter et al. 2008).

Unterschiedliche Ergebnisse je nach Zwischenfruchtart bezüglich der Auswirkung des Saatzeitpunktes (31.07. vs. 15.08.; 25.07. vs. 15.08.; 05.08. vs. 25.08.) auf den Zwischenfruchtertrag gab es bei Versuchen in Gießen. Bei Rapsarten und Herbstrübe gab es über drei Jahre hin statistisch gesicherte Ertragssteigerungen bei einem früheren Saattermin. Bei Weidelgräsern war das nur selten der Fall (Echternacht 2004, S. 28).

2.3.4 Aussaatverfahren für den Zwischenfruchtanbau

Mögliche Aussaatverfahren für Zwischenfrüchte oder Zwischenfruchtgemenge im pfluglosen Anbau sind:

- **Drillsaat:** Einsatz einer Drillmaschine nach vorhergehender Bodenbearbeitung
- **Saat mittels Schneckenkorn- oder Düngerstreuer:** Ausbringung des Saatgutes mit einem Schneckenkorn- oder Düngerstreuer auf die zuvor bearbeitete Fläche
- **Grubbersaat:** ein Pneumatikstreuer wird auf einen Grubber (oder eine Scheibenegge) gebaut und das Saatgut wird vor oder in die Packerwalzen geblasen (Dabbelt 2015)
- **Stoppelsturz + Saat:** Stoppelsturz z.B. mit dem Ringschneider direkt nach dem Drusch und gleichzeitiges Ausbringen des Zwischenfruchtsaatguts mit einem Feinsamenstreuer im Frontanbau (Bloch und Bachinger 2010)
- **Mulchsaat:** Mulchen der Erntereste der Vorfrucht und Aussaat der Zwischenfrucht in einem Arbeitsgang
- **Direktsaat:** Aussaat mit einer Direktsaatmaschine in die Stoppeln der Vorfrucht
- **Mähdruschsaat:** Drusch der Hauptfrucht und Aussaat der nachfolgenden Zwischenfrucht mittels Schneckenkornstreuer unterhalb des Strohverteilers in einem Arbeitsgang (Pekrun et al. 2011), oder durch einen Mähdrescher mit montiertem Zwischenfruchtsägerät (Deter 2013)
- **Vordruschsaat:** Ausbringung des Zwischenfruchtsaatguts kurz vor dem Drusch der Hauptfrucht in den stehenden Bestand mittels Sägerät oder Düngerstreuer (Peszt 2014)

Einerseits ist das Ziel die möglichst frühe Etablierung des Zwischenfruchtbestandes, andererseits ist eine intensive Stoppelbearbeitung eine gute Grundlage für den Zwischenfruchtanbau, da er zum einen eine Restverunkrautung auf der Erntefläche bekämpft und zum anderen Getreidedurchwuchs zerstört, der die keimende Zwischenfrucht stark behindern kann (Kolbe et al. 2004, S. 56).

In einer Studie von Mainer et al. (2009) wirkte sich das Säverfahren signifikant auf den Sprossertrag verschiedener Zwischenfruchtmischungen aus. Die mit einer Säkombination bestellten Varianten erbrachten im Vergleich zu einer Saatriegel-Varianten einen um durchschnittlich 5 dt TM ha⁻¹ höheren Sprossertrag. Nachteilig bei der Aussaat mit einer Säkombination ist ein relativ hoher Zeit- und Kostenaufwand (Dabbelt 2015).

Ein einfaches Verfahren mit einer hohen Flächenleistung ist die Ausbringung des Saatgutes mit einem Schneckenkorn- oder Düngerstreuer auf die zuvor bearbeitete Fläche. Ölrettich und Senf haben zwar gute Flugeigenschaften, aber das Auflaufen der Samen ist trotzdem unsicherer als bei anderen Säverfahren. Für Mischungen ist dieses Verfahren in der Regel aufgrund ungleichmäßiger Verteilung der unterschiedlichen Arten nicht geeignet (Dabbelt 2015).

Da aber zum Zeitpunkt der Zwischenfruchtaussaat häufig Arbeitsspitzen herrschen, ist beispielsweise die Grubbersaat ein zeit- und kostensparender Kompromiss. Ergebnisse von Zwischenfruchtversuchen in Sachsen zeigen, dass mit der Grubbersaat solide Zwischenfruchtbestände erreicht werden können (Schmidt und Gläser 2014, S. 42). Eine andere Möglichkeit ist der Stoppelsturz z.B. mit dem Ringschneider unmittelbar nach dem Mähdrusch. Dessen flache (z.B. 6 cm Arbeitstiefe) und kapillarbrechende Stoppelbearbeitung kann die Restfeuchte für die Zwischenfrüchte optimal erhalten. Diese werden im selben Arbeitsgang mit einem Feinsamenstreuer im Frontanbau auf die

Getreidestoppel ausgebracht und durch den nachlaufenden Ringschneider eingearbeitet (Bloch und Bachinger 2010).

Mulch- und Direktsaat ermöglichen ebenso wie die Mähdrusch- und Vordruschsaat eine besonders frühe Etablierung. Dies ist vor allem bei einer späten Ernte interessant, wenn die Zeit für eine Stoppelbearbeitung nicht ausreicht. Mulch- und Direktsaat lassen die Bodenstruktur weitgehend ungestört. Bei Trockenheit oder harten Böden besteht bei diesen Verfahren jedoch eine reduzierte Auflaufsicherheit (Dabbelt 2015).

Wenn bei Mähdrusch- und Vordruschsaat das Stroh auf der Fläche verbleibt und in gehäckselter Form das Zwischenfruchtsaatgut bedeckt, kann sich dies sogar förderlich auf das Wachstum der Zwischenfrüchte auswirken. Dies war in Versuchen von Zimmermann et al. (2011) besonders in trockenen Jahren der Fall. Für eine Vordruschsaat ohne Erntegutverluste fehlen im Ökolandbau jedoch meist die Fahrspuren. Mähdrusch- und Vordruschsaat stoßen ebenso wie die Direktsaat im Ökologischen Landbau bei stark verunkrauteten Flächen an ihre Grenzen. Außerdem kann es zu Problemen mit Mäusen kommen, da sie durch die fehlende Bodenbearbeitung nicht gestört werden. Es kann dazu kommen, dass sie rund um die Mäuselöcher das Saatgut fressen (Pekrun et al. 2011).

2.3.5 Mechanische Terminierung von Zwischenfrüchten

Eine Herausforderung beim Anbau von winterharten Zwischenfrüchten im pfluglosen Ökologischen Landbau ist deren Abtötung vor der nächsten Hauptfrucht (Peigné et al. 2015). Dies gilt auch für abfrierende Zwischenfrüchte, wenn sie unvollständig abgefroren sind. Ein Mulchgang am Ende der Vegetation gewährleistet ein sicheres Abfrieren. Eine andere Möglichkeit ist das Walzen am Ende der Vegetationsperiode. Hierbei werden die Pflanzen geknickt und an den Boden gedrückt, was ein sicheres Abfrieren fördert (DSV 2015).

Laut Renius et al. (1992, S. 147) erfordern große Mengen an Biomasse der Zwischenfrüchte ein Mulchen des Aufwuchses und eine Vorrotte (Renius et al. 1992, S. 147). Als Vorrotte wird hier das Zerkleinern und oberflächliche Einarbeiten durch Grubber, Spatenrollegge, Scheibenegge oder Fräse und anschließende 10- bis 14-tägige Ruhenlassen bezeichnet (Renius et al. 1992, S. 30). Bei abfrierenden Zwischenfrüchten erübrigt sich häufig das Mulchen; das Zerkleinern und oberflächennahe Einarbeiten der Restbiomasse mit Scheiben- oder Kreiselegge oder ähnlichen Geräten ist in der Regel ausreichend (Renius et al. 1992, S. 149). Tiefes Einpflügen großer Gründüngungsmassen ohne Vorrotte führt zu „Matratzen“ im Boden. Diese verhindern aktive biologische Umsetzungen und müssen auf jeden Fall vermieden werden (Kahnt 1981, S. 39–40; Renius et al. 1992, S. 147). In Versuchen in Italien wurden die Zwischenfruchtarten Winterwicke (*Vicia villosa* Roth.), Erdklee (*Trifolium subterraneum* L.) und eine Mischung aus Winterwicke und Hafer (*Avena sativa* L.) zwei Wochen vor der Saat der Hauptfrucht gemäht und in Streifen als Mulch liegen gelassen. Dies erhöhte den Gehalt an NO₃-N unter den Kulturen mit engem C/N-Verhältnis Winterwicke und Erdklee im Vergleich zu der Mischung von Zottiger Wicke und Hafer sowie Schwarzbrache (Campiglia et al. 2011).

Als mechanische Methoden zur Abtötung winterharter Zwischenfrüchte bietet sich das Walzen mit speziell dafür konstruierten Geräten („roller-crimper“) an, wie es häufig in den USA angewendet wird. Für eine erfolgreiche mechanische Abtötung überwinterner Zwischenfrüchte mit einer solchen Walze ist es wichtig, das richtige Wachstumsstadiums zu treffen (Leavitt et al. 2011; Reberg-Horton et al. 2012). Eine Schwierigkeit dieser Methode besteht daher darin, dass sich die Zwischenfrüchte

zum passenden Zeitpunkt (zu dem Zeitpunkt, wo man Walzen will oder muss) im richtigen Wachstumsstadium befinden müssen. Beim Anbau von Zwischenfruchtmischungen kann das noch schwieriger sein als beim Anbau von Monokulturen, da sich häufig nicht alle Mischungspartner gleichzeitig im geeigneten Stadium befinden und dann die mechanische Terminierung nur unvollständig erfolgt (Leavitt et al. 2011).

2.3.6 Zwischenfrüchte und Wasserhaushalt

Ein oft geäußertes Argument gegen den Zwischenfruchtanbau ist dessen angebliche Konkurrenz mit der Hauptfrucht um Wasser. Beim Anbau abfrierender Zwischenfrüchte im Winterhalbjahr sind den Ergebnissen von Zwischenfruchtversuchen in Sachsen zufolge für die den Zwischenfrüchten nachfolgende Hauptfrucht keine Unterschiede im Bodenwassergehalt verglichen mit einer Schwarzbrache zu erwarten (Schmidt und Gläser 2013, S. 32). Die Brache verdunstet unproduktiv Wasser, während die Zwischenfrüchte produktiv Wasser verbrauchen, welches somit nicht der Versickerung unterliegt. Im Sommerzwischenfruchtanbau wird nach dem Abfrieren der Zwischenfrüchte über die Wintermonate der Bodenvorrat an Wasser wieder aufgefüllt (Schmidt und Gläser 2013, S. 32). Auch auf einem leichten und trockenen Standort war die Wasserversorgung der nachfolgenden Hauptfrucht nicht gefährdet (Schmidt et al. 2012). Beim Anbau überwinternder Arten oder Artengemische mit hoher Biomasseproduktion wie dem Landsberger Gemenge oder dem Wickroggen kann es aufgrund deren Wüchsigkeit und hohem Wasserbedarf bei den nachfolgenden Hauptfrüchten zu einem Wassermangel kommen (Kolbe et al. 2004, S. 109). Ein frühzeitiges mechanische Abtöten oder Unterschneiden kann eine Lösung sein, damit sich die Wasservorräte wieder auffüllen (Carr et al. 2013b). Beide Gemenge sind zumindest in Gebieten mit ausreichendem Niederschlag zu empfehlen, da sie ein gutes Potenzial zur N₂-Fixierung haben (Kolbe et al. 2004, S. 109).

In ungünstigen Jahren stellt eine gewisse Unwägbarkeit für das Gelingen des Zwischenfruchtanbaus die Bodenfeuchte zur Aussaat der Zwischenfrüchte dar. Kolbe et al. (2004, S. 30) geben als Niederschlagsminimum für einen gelingenden Zwischenfruchtanbau einen Wert von 600 mm im Jahr an, wobei die Niederschläge im Zeitraum Juli bis Oktober ausschlaggebend sind. Die Bodenfeuchte kann sonst zu gering für das Keimen und Auflaufen der Zwischenfrucht sein, so dass die Erreichbarkeit der gewünschten Effekte des Zwischenfruchtanbaus fraglich wird (Schmidt et al. 2012). Eine Mähdruschsaat (Schmidt et al. 2012) bzw. ein Stoppelsturz plus Saat oder eine Aussaat als Untersaat in der vorhergehenden Hauptfrucht kann in trockenen Jahren eine Alternative sein (Urbatzka und Cais 2009; Lütke Entrup 2001, S. 16). So werden die Zwischenfrüchte so früh wie möglich in den Boden gebracht, um noch vorhandene Restfeuchten auszunutzen. Auf diese Weise kann sogar in sehr trockenen Gebieten in Brandenburg noch ein erfolgreicher Zwischenfruchtanbau erfolgen (Bloch und Bachinger 2010).

Indirekt kann der Wasserhaushalt über die Förderung der Regenwurmaktivität verbessert werden. Regenwürmer tragen zur "Gesundung" des Unterbodens bei und führen zu einem verbesserten Wasser- und Lufthaushalt (Kahnt 2008, S. 93).

2.4 Zwischenfruchtanbau zur verbesserten Stickstoffversorgung

N ist einer der wichtigsten in größeren Mengen aufgenommene Pflanzennährstoffe und ist im Ackerbau entscheidend für das Pflanzenwachstum und den Ertrag (Fageria 2014, S. 50). Ackerbauliche Flächen haben normalerweise einen Mangel an N. Daher wird in der konventionellen

Landwirtschaft mineralischer N-Dünger eingesetzt, um die Erträge zu steigern. In der Ökologischen Landwirtschaft ist die N - Verfügbarkeit oft unzureichend (Baresel et al. 2003, S. 9; Berry et al. 2002; Haase et al. 2007; Koopmans und Bokhorst 2002; Ponti et al. 2012). Durch Pflanzenrückstände, Wirtschaftsdünger und Kompost kann den Kulturpflanzen zwar theoretisch eine ausreichende Menge N zur Verfügung gestellt werden, aber die Synchronisation der Freisetzung des organisch gebundenen Stickstoffs mit den Bedürfnissen der Pflanzen ist häufig nicht ausreichend gegeben (Berry et al. 2002; Sarrantonio 1995). Bei Pflanzenrückständen mit weitem C:N Verhältnis kann ein Grund dafür in einer relativ langsamen Mineralisierung des Stickstoffs liegen. Dieser steht dann in den wenigen Monaten des schnellen Wachstums den Kulturpflanzen noch nicht ausreichend zur Verfügung (Berry et al. 2002).

2.4.1 Potenziale verschiedener Arten zur N-Konservierung und N₂-Fixierung

Verschiedene Zwischenfruchtarten haben bedingt durch unterschiedliche Eigenschaften ein unterschiedliches Potenzial zur N-Aufnahme aus Boden bzw. Luft und Boden. Dieses steht in Wechselwirkung mit den Anbaubedingungen.

Das Wurzelwerk hat einen Einfluss auf das N-Aufnahmevermögen. Dies gilt vor allem für den Unterboden. Nicht-legume dikotyle Arten hatten in Versuchen von Thorup-Kristensen (2001) ein schnelleres und in 1 m Bodentiefe wesentlich intensiveres Wurzelsystem als die untersuchten monokotylen Arten. Während der Nitratgehalt in 0-50 cm Bodentiefe nur schwach negativ mit Wurzeigenschaften der verschiedenen Arten korrelierte, korrelierte der Nitratgehalt des Unterbodens (50-100 cm Bodentiefe) stärker negativ mit ihnen. In einer Bodentiefe von 100-150 cm zeigte Ölrettich (*Raphanus sativus*) die mit Abstand effektivste Nitrataufnahme (Thorup-Kristensen 2001).

Ein möglicher Einflussfaktor auf das Aufnahmevermögen der Zwischenfrucht von Boden-N kann das Wachstumsstadium sein, das die Zwischenfrucht vor Einbruch des Winters erreicht. So geht die Blühphase normalerweise mit einer reduzierten Wurzelaktivität und einer beginnenden Seneszenz der nicht-reproduktiven Pflanzenteile einher (Thorup-Kristensen 1994). In einer Studie von Thorup-Kristensen (1994) mit verschiedenen Zwischenfrüchten, die alle am 01.08. gesät worden waren, fingen insbesondere Phacelia und Gelbsenf, aber auch Hafer und Lupine Anfang Oktober zu blühen an. Ölrettich fing erst wesentlich später an zu blühen und war in der N-Aufnahme den anderen Arten überlegen. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass ein später Blühbeginn die Dauer der N-Aufnahme verlängern und den Beginn der Mineralisierung verzögern kann (Thorup-Kristensen 1994).

Auch die N₂-Fixierleistung von Leguminosen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Sie wird angeregt, wenn wenig pflanzenverfügbare N im Boden vorhanden ist. Daher kann z. B. die Art der Bodenbearbeitung zum Leguminosenanbau einen Einfluss auf die Fixierleistung haben. Reduzierte Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat kann eine verringerte Mineralisation zur Folge haben und daher die N₂-Fixierung der auf diese Weise gesäten Leguminose erhöhen (Schmidtke 2008).

Baresel et al. (2003, S. 25) fanden in Versuchen mit verschiedenen Leguminosenarten heraus, dass deren N-Mengen im Aufwuchs bei N-Gehalten zwischen 2 und 2,4 % in erster Linie von der Biomasse abhängen.

Um die Kapazität verschiedener Zwischenfruchtarten bzw. -mischungen zur N-Aufnahme zu vergleichen, werden in der folgenden Tabelle Daten aus der Literatur bezüglich des Gesamt-N-Gehalts in der oberirdischen Biomasse der Zwischenfrüchte wiedergegeben (Tabelle 3). Daten vom

N-Gehalt in der Gesamtbiomasse der Zwischenfrüchte (ober- und unterirdisch) sind in der Regel nicht vorhanden. Boden- N_{\min} -Werte haben den Nachteil der schlechten Vergleichbarkeit, da je nach Quelle die Tiefe und der Zeitpunkt der Bodenprobenahme variieren. Hinzu kommt der starke Einfluss der Temperatur und der Feuchtigkeit auf die Mineralisation zum Zeitpunkt der Probenahme. Daher wird in der Tabelle auf die Wiedergabe etwaiger in der verwendeten Literatur vorhandener N_{\min} -Daten verzichtet.

Die Tabelle ist in abfrierende Arten (Sommerzwischenfrüchte) und überwinternde Arten (Winterzwischenfrüchte) unterteilt. Innerhalb dieser Unterteilung ist sie nach den folgenden Gruppen strukturiert:

- Reinsaat – Leguminosen
- Reinsaat – Nicht-Leguminosen
- Mischung aus Leguminosen
- Mischung aus Nicht-Leguminosen
- Mischung aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen.

In jeder Gruppe sind die Zwischenfruchtarten bzw. Mischungen nach deren N-Gehalt in der oberirdischen Biomasse absteigend sortiert.

Tabelle 3: Biomasseertrag und N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse verschiedener Zwischenfruchtarten und Zwischenfruchtmischungen

Zwischenfrucht	N-Aufnahme oberird. Biomasse [kg ha ⁻¹]	Biomasseertrag (oberirdisch) [dt TM ha ⁻¹]	Ort	Quelle
Abfrierende Arten (Sommerzwischenfrüchte)				
Leguminosen (in Reinsaat)				
Perserklee (<i>Trifolium resupinatum</i>)	140	35	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)	124	30	Frankenhausen, Deutschland	Grosse und Heß 2015
Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)	115	26	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Alexandrinerklee (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	114	29	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Erdklee* (<i>Trifolium subterraneum</i>)	111	42	Viterbo, Italien	Campiglia et al. 2011
Blaue Lupine (<i>Lupinus angustifolius</i>)*	97	29	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)*	90	26	Viehhausen, Deutschland	Möller und Reents 2009
Erbse (<i>Pisum sativum</i>)*	89	25	Viehhausen, Deutschland	Möller und Reents 2009
Alexandrinerklee (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	85	20	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)	80	16	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Perserklee (<i>Trifolium resupinatum</i>)	74	21	Griesheim, Deutschland	König 1996
Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)	73	15	Frankenhausen, Deutschland	Grosse und Heß 2015
Blaue Lupine (<i>Lupinus angustifolius</i>)	70	25	Griesheim, Deutschland	König 1996
Perserklee (<i>Trifolium resupinatum</i>)	65	17	Griesheim, Deutschland	König 1996
Platterbse (<i>Lathyrus</i>)	64	12	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Blaue Lupine (<i>Lupinus angustifolius</i>)	54	19	Griesheim, Deutschland	König 1996
Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)	51	18	Griesheim, Deutschland	König 1996
Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)	50	18	Griesheim, Deutschland	König 1996
Perserklee (<i>Trifolium resupinatum</i>)	23	6	Frankenhausen, Deutschland	Grosse und Heß 2015
Perserklee (<i>Trifolium resupinatum</i>)*	15	5	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004

Nicht-Leguminosen (in Reinsaat)				
Ölrettich (<i>Raphanus sativus</i>)*	167	57	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Phacelia (<i>Phacelia tanacetifolia</i>)*	147	47	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Gelbsenf (<i>Sinapis alba</i>)*	144	55	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Hafer (<i>Avena sativa</i>)*	85	32	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Gelbsenf (<i>Sinapis alba</i>)*	84	31	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Ölrettich (<i>Raphanus sativus</i>)*	83	33	Viehhausen, Deutschland	Möller und Reents 2009
Sommerraps (<i>Brassica napus</i>)	76	24	Griesheim, Deutschland	König 1996
Sommerraps (<i>Brassica napus</i>)*	74	19	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Phacelia (<i>Phacelia tanacetifolia</i>)*	64	18	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Sommerraps (<i>Brassica napus</i>)	61	23	Griesheim, Deutschland	König 1996
Buchweizen (<i>Fagopyrum esculentum</i>)*	59	26	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Sommerraps (<i>Brassica napus</i>)	57	21	Griesheim, Deutschland	König 1996
Sommerraps (<i>Brassica napus</i>)	52	20	Griesheim, Deutschland	König 1996
Gelbsenf (<i>Sinapis alba</i>)	43	17	Frankenhausen, Deutschland	Grosse und Heß 2015
Gelbsenf (<i>Sinapis alba</i>)	35	21	Frankenhausen, Deutschland	Grosse und Heß 2015
Mischung aus Leguminosen				
Ackerbohne / Erbse / Lupine / Sommerwicke	111	32	Griesheim, Deutschland	König 1996
Ackerbohne / Erbse / Lupine / Sommerwicke	92	25	Griesheim, Deutschland	König 1996
Blaue / Weiße Lupine*	89	24	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Erbse / Platterbse / Sommerwicke	80	25	Großenzersdorf, Österreich	Rinnofner et al. 2005a
Mischung aus Nicht-Leguminosen				
Ölrettich / Phacelia / Stoppelrübe	60	30	Großenzersdorf, Österreich	Rinnofner et al. 2005a
Phacelia / Senf*	32	14	Gülzow, Deutschland	Gruber und Thamm 2005
Phacelia / Senf	22	8	Neu-Eichenberg, Deutschland	Schmidt 1997, S. 51

Mischung aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen				
Erbse / Hafer	113	35	Griesheim, Deutschland	König 1996
Erbse / Ölrettich / Phacelia / Platterbse / Sommerwicke / Stoppelrübe	110	40	Großenzersdorf, Österreich	Rinnofner et al. 2005a
Ölrettich / Sommerwicke*	108	33	Viehhausen, Deutschland	Möller und Reents 2009
Erbse / Hafer	93	30	Griesheim, Deutschland	König 1996
Erbse / Ölrettich*	78	29	Viehhausen, Deutschland	Möller und Reents 2009
Buchweizen / Perserklee / Phacelia / Platterbse*	71	25	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Erbse / Hafer	55	20	Griesheim, Deutschland	König 1996
Erbse / Hafer	51	18	Griesheim, Deutschland	König 1996
Senf / Sommerwicke	40	15	Gülzow, Deutschland	Gruber und Thamm 2005
Erbse / Sommerwicke / Sonnenblume*	33	11	Gülzow, Deutschland	Gruber und Thamm 2005
Perserklee / Phacelia*	17	7	Gülzow, Deutschland	Gruber und Thamm 2005
Überwinternde Arten (Winterzwischenfrüchte)				
Leguminosen (in Reinsaat)				
Inkarnatklee (<i>Trifolium incarnatum</i>)	299	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	242	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	207	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	205	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	196	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)*	177	50	Viterbo, Italien	Campiglia et al. 2011
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	173	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	167	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	167	52	Georgia, USA	Sainju et al. 2006
Inkarnatklee (<i>Trifolium incarnatum</i>)	166	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	165	52	Georgia, USA	Sainju et al. 2006

Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	150	30	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Inkarnatkleee (<i>Trifolium incarnatum</i>)	147	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Inkarnatkleee (<i>Trifolium incarnatum</i>)	140	39	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)*	140	29	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	120	20	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Inkarnatkleee (<i>Trifolium incarnatum</i>)	100	23	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Inkarnatkleee (<i>Trifolium incarnatum</i>)	87	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	77	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	76	24	Georgia, USA	Sainju et al. 2006
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)	73	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Winterwicke (<i>Vicia villosa</i>)*	69	13	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Inkarnatkleee (<i>Trifolium incarnatum</i>)*	9	3	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004

Nicht-Leguminosen (in Reinsaat)

Roggen (<i>Secale cereale</i>)	137	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Raps (<i>Brassica napus</i>)	127	38	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Roggen (<i>Secale cereale</i>)	86	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Welsches Weidelgras (<i>Lolium multiflorum</i>)*	85	28	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Roggen (<i>Secale cereale</i>)*	80	22	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Roggen (<i>Secale cereale</i>)	78	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Roggen (<i>Secale cereale</i>)	77	---	Georgia, USA	Sainju et al. 2002
Wintergerste (<i>Hordeum vulgare</i>)	75	20	Aarslev, Dänemark	Thorup-Kristensen 1994
Roggen (<i>Secale cereale</i>)	68	61	Georgia, USA	Sainju et al. 2006
Welsches Weidelgras (<i>Lolium multiflorum</i>)	45	22	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Welsches Weidelgras (<i>Lolium multiflorum</i>)*	42	13	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Roggen (<i>Secale cereale</i>)	40	9	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Roggen (<i>Secale cereale</i>)	32	38	Georgia, USA	Sainju et al. 2006
Welsches Weidelgras (<i>Lolium multiflorum</i>)	25	12	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001
Roggen (<i>Secale cereale</i>)	20	3	Aarslev, Dänemark	Mueller und Thorup-Kristensen 2001

Mischung aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen				
Roggen / Winterwicke	310	82	Georgia, USA	Sainju et al. 2006
Roggen / Winterwicke	186	57	Georgia, USA	Sainju et al. 2006
Hafer / Winterwicke*	129	53	Viterbo, Italien	Campiglia et al. 2011
Roggen / Winterwicke	84	60	Georgia, USA	Sainju et al. 2006
Roggen / Winterwicke*	78	31	Gülzow, Deutschland	Gruber und Thamm 2005
Landsberger Gemenge** ⁺	55	12	Roda, Deutschland	Kolbe et al. 2004
Landsberger Gemenge** ⁺	51	22	Gülzow, Deutschland	Gruber und Thamm 2005

* Mittelwert aus zwei oder mehr Jahren

--- Angaben fehlen

⁺ bestehend aus: Inkarnatklee / Welsches Weidelgras / Winterwicke

Die N-Gehalte und Biomasseerträge der Zwischenfrüchte unterliegen einer großen Spannweite (Tabelle 3). Der höchste N-Gehalt wurde mit 310 kg ha^{-1} bei einer Mischung aus Roggen und Winterwicke in den USA gemessen, der niedrigste mit 9 kg ha^{-1} bei Inkarnatklée in Deutschland. Generell wurden in den USA mit Winterzwischenfrüchten sehr hohe N-Gehalte und Biomasseerträge erreicht, wobei aber zu berücksichtigen ist, dass dort das Klima so ist, dass die Zwischenfrüchte über Winter weiterwachsen können.

Bezüglich der Zwischenfruchtarten geht aus Tabelle 3 hervor, dass dieselbe Art sowohl einen sehr hohen N-Gehalt und Biomasseertrag aufweisen kann als auch einen sehr niedrigen, wie zum Beispiel Inkarnatklée (N-Gehalte von 299 kg N ha^{-1} - 9 kg N ha^{-1}), Perserklée (140 kg N ha^{-1} - 15 kg N ha^{-1}) und Roggen (137 kg N ha^{-1} - 20 kg N ha^{-1}). Insbesondere bei Perserklée wurde in verschiedenen Quellen von Totalausfällen bzw. minimalen Aufwüchsen berichtet (Grosse et al. 2014b; Gruber und Thamm 2005; König 1996, S. 18; Kolbe et al. 2004, S. 9). Als Gründe für die Schwankungen in den Erträgen werden bei Baresel et al. (2003, S. 9) die Anbaubedingungen, speziell die Wasserversorgung, und die Anbautechnik genannt. Kolbe et al. (2004, S. 13) haben aber in mehrjährigen Versuchen festgestellt, dass der oberirdische Ertrag der Zwischenfrucht nicht immer entscheidend für den Ertrag der nachfolgenden Hauptfrucht Mais ist. Insbesondere kleinkörnige Leguminosen wie der Perserklée erzielten auch in Jahren mit sehr geringer Massebildung Ertragszuwächse bei der nachfolgenden Hauptfrucht (Kolbe et al. 2004, S. 13).

Erwartungsgemäß zeigen die in der Tabelle wiedergegebenen Ertrags- und N-Daten, dass Leguminosen und Leguminosenmischungen auch bei einem geringeren Ertrag höhere N-Gehalte aufweisen als Nicht-Leguminosen (Tabelle 3). Dies sagt natürlich nichts darüber aus, wieviel N der Folgekultur zur Verfügung steht, da vor allem bei abfrierenden Leguminosen aufgrund des eher engen C/N-Verhältnisses die Mineralisierung schon früh einsetzt, was zu N-Verlusten durch Auswaschung führen kann (Thorup-Kristensen 1994). Vielversprechend in Bezug auf Biomasseertrag und N-Gehalte zeigen sich Mischungen aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen. Die meisten dieser Mischungen schneiden auf den gegebenen Standorten überdurchschnittlich gut ab. Außerdem bieten die Nicht-Leguminosen in der Mischung aufgrund des meist weiteren C/N-Verhältnisses einen gewissen Schutz vor der N-Auswaschung.

Eine in der internationalen Literatur häufig untersuchte Zwischenfruchtart ist die Winterwicke (Tabelle 3). Sie hat das Potenzial zu einer hohen Biomasseproduktion und kann viel N aus Luft und Boden aufnehmen. Der N-Gehalt in der Biomasse kann bei einem Mischanbau von der Winterwicke mit Roggen noch höher sein (Sainju et al. 2006). Aber in der längerfristigen Speicherung von C und N(org) können Nichtleguminosen in Reinsaat überlegen sein (z. B. Sainju 2002).

Kolbe et al. (2004, S. 7) ermittelten in Versuchen in Roda (Sachsen), dass Gräser N_{\min} besonders gut aufnehmen (bis 65 % des Boden- N_{\min}). Kruziferen und Leguminosengemenge können diesen Versuchen zufolge bis zu 40 % des Boden- N_{\min} aufnehmen und Leguminosen 25 – 30 %. Thorup-Kristensen (1994) dagegen fand in seinen Versuchen heraus, dass Kruziferen besonders effizient N_{\min} aufnehmen, vor allem im Unterboden in 75 – 100 cm Tiefe. Thorup-Kristensen et al. (2003) führt die gute N-Aufnahmefähigkeit von Kruziferen auf deren gutes Wurzelwachstum zurück.

Übereinstimmend damit hebt König (1996, S. 46) die stärkste N-konservierende Wirkung von Winterraps im Vergleich zu den anderen in einem Versuch bei Darmstadt angebauten Zwischenfrüchten hervor. Wickroggen erzielte die zweithöchste N-Aufnahme, gefolgt von Perserklée

und Erbse / Hafer – Gemenge. Ein Grobleguminosengemenge (Ackerbohne, Lupine, Sommerwicke, Futtererbse) nahm den wenigsten Boden-N auf, hatte aber die höchste N-Assimilationsleistung (König 1996, S. 109).

In Studien von Baggs et al. (2000) und von Thorup-Kristensen (1994) zeigten alle Zwischenfruchtvarianten eine N-konservierende Wirkung. In der Studie von Thorup-Kristensen (1994) reduzierten auch die Leguminosen den Boden N_{\min} deutlich, aber nicht so effizient wie die Nicht-Leguminosen. In der Studie von Baggs et al. (2000) reduzierten die Zwischenfruchtvarianten (Grünroggen, Raps, Wintererbsen, Italienisches Raygras, Wintergerste, Winterweizen, Gelbsenf, Rettich) den Gehalt an Boden- $\text{NO}_3\text{-N}$ verglichen mit den Schwarzbrachevarianten um 18–44 % im Dezember und um 32–60 % im März. Die N-Aufnahme der Zwischenfrüchte zwischen November und März war wie zu erwarten mit 1- 5 kg ha^{-1} gering, was auf die niedrigen Temperaturen und die kurzen Tage zurückzuführen ist. Eine höhere N-Aufnahme in der oberirdischen Biomasse ging nicht unbedingt mit einem Rückgang des Boden-N einher.

Thorup-Kristensen (1994) stellte eine mangelnde Korrelation zwischen der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte im Herbst und der N-Aufnahme der nachfolgenden Hauptfrucht Gerste fest. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Halde und Entz (2014) in einer Studie mit der Hauptfrucht Lein. Thorup-Kristensen (1994) schließt daraus, dass die N-Aufnahme der Zwischenfrucht im Herbst eine grobe Abschätzung ihres Potenzials zur Minderung des Auswaschungsrisikos bieten kann, dass sie aber nicht erlaubt, Schlüsse auf den düngenden Effekt der Zwischenfruchtrückstände, also wieviel N der Folgekultur zu welchem Zeitpunkt aus den Zwischenfruchtrückständen zur Verfügung steht, zu ziehen. Dies hängt dieser Studie zufolge von verschiedenen Faktoren ab, neben dem C/N-Verhältnis der Zwischenfruchtart auch von deren Ligningehalt und davon, ob es sich um eine abfrierende oder überwinternde Art handelt.

In der Studie von Baggs et al. (2000) hatte der in den Zwischenfrüchten aufgenommene N keinerlei Effekt auf den Ertrag der nachfolgenden Hauptfrucht Hafer. Die Einarbeitung dieser Zwischenfrüchte mit einem eher weiten C/N-Verhältnis führte zu einer Immobilisation des Boden-N und verzögerten Mineralisation des Pflanzen-N. Die Autoren nehmen an, dass es in den Zwischenfruchtvarianten im Folgejahr durch verstärkte Mineralisierung zu erhöhten Erträgen kommt.

Zu einem solchen Ergebnis kommt eine Studie von Rayns und Lennartsson (1995). Grünroggen verringerte im Vergleich zu Phacelia und legumen Zwischenfrüchten am meisten die Nitratverlagerung und nahm den meisten N auf. Auch wenn der prozentuale N-Gehalt mit 1,6 % deutlich geringer war als von der ebenfalls angebauten Winterwicke (3,5 %), hatte der Grünroggen durch seine hohe Biomasseproduktion eine ähnliche N-Menge akkumuliert wie die Winterwicke. Die Mineralisation beider Arten verlief sehr unterschiedlich: während nach Einarbeitung der Wicke die Mineralisation sehr schnell einsetzte und ihren Höhepunkt erreichte, wurde der vom Roggen konservierte N noch im auf die Einarbeitung folgenden Herbst und frühen Winter mineralisiert. Dies könnte sogar das Problem der Nitratauswaschung nur um ein Jahr verschieben statt es zu vermeiden (Rayns und Lennartsson 1995).

2.4.2 Effekte des Einarbeitungszeitpunkts auf die N-Mineralisierung

Die natürliche N-Dynamik des Bodens im Jahresverlauf ist von mehreren Mineralisierungsphasen gekennzeichnet (Scheller 1993, S. 218). Diese Dynamik wird durch Temperatur und Bodenfeuchte ausgelöst und durch Bodenbearbeitung beeinflusst.

Die Steuerung der Stickstoffdynamik zielt auf die Erhöhung der N-Verfügbarkeit im Frühjahr und die Nitrifixierung im Herbst (Reents und Möller 2001). Für die Erreichung dieser Ziele ist neben der Wahl der Zwischenfrucht oder Zwischenfruchtmischung der Zeitpunkt der Einarbeitung von entscheidender Bedeutung (Thorup-Kristensen und Dresbøll 2010).

In einigen Quellen wird lediglich zwischen einem Einarbeitungszeitpunkt im Herbst oder im Frühjahr differenziert. Um N-Verluste durch Nitratreverlagerung zu vermeiden wird empfohlen, wenn die Bodenart dies erlaubt, die Zwischenfrüchte erst im Frühjahr umzubrechen (Nieder 1998). Allerdings ist laut König (1996, S. 87–88) auf schweren Böden im Hinblick auf die Nitratreverlagerung auch ein Herbstumbruch vertretbar. Aus einer Studie von Möller und Reents (2009) geht hervor, dass ein Herbstumbruch (Anfang Oktober) zwar zu einer höheren Nitratauswaschung führte, dass aber das meiste Nitrat nur bis zu einer Tiefe von 1,5 m ausgewaschen wurde und vom nachfolgenden Winterweizen zu einem Großteil wieder aufgenommen wurde. Da die Nitratauswaschung im Herbst nach Leguminosen in Reinsaat (Erbsen, Sommerwicke, Winterwicke) am höchsten war, schließen die Autoren, dass die untersuchten Nicht-Leguminosen und Leguminosen-Nicht-Leguminosen-Mischungen (Ölrettich, Ölrettich + Erbsen, Ölrettich + Sommerwicke) ihren Zweck auch bei einem Herbstumbruch erfüllen können; Leguminosen in Reinsaat aber sinnvollerweise erst im Frühjahr umgebrochen werden (Möller und Reents 2009).

In anderen Quellen wird zwischen einem um wenige Wochen verschobenen Termin im Herbst oder Frühjahr unterschieden. Thorup-Kristensen und Dresbøll (2010) beobachteten bei einer Verschiebung des Einarbeitungszeitpunkts von Grünroggen nach hinten einen Einfluss auf verschiedene Faktoren, die in Verbindung mit der N-Verfügbarkeit für die nachfolgende Hauptfrucht stehen. Eine spätere Einarbeitung im Herbst lässt den Zwischenfrüchten mehr Zeit, N aufzunehmen. Da außerdem die N-Mineralisierung später beginnt, ist das Auswaschungsrisiko vermindert (Thorup-Kristensen et al. 2003). Beides kann zu einer höheren N-Verfügbarkeit für die folgende Hauptfrucht führen; ein späterer Einarbeitungszeitpunkt im Herbst – wo möglich – kann also empfohlen werden. Dagegen kommt es bei einer späteren Einarbeitung von überwinternden Zwischenfrüchten im Frühjahr zu einer Erhöhung des C/N-Verhältnisses, was zu einer verzögerten Mineralisierung oder sogar Immobilisierung von N führen kann. Außerdem nehmen die Zwischenfrüchte weiteren N aus dem Boden auf, der sonst der nachfolgenden Hauptfrucht direkt zur Verfügung stehen würde. Damit stehen die Zwischenfrüchte in Konkurrenz zur Hauptfrucht. Ein früher Umbruch im Frühjahr, also vor Beginn der erneuten Wachstumsphase, hat daher den Vorteil, dass im Boden vorhandener N nicht von den Zwischenfrüchten aufgenommen wird, sondern der nachfolgenden Hauptfrucht zur Verfügung steht (Thorup-Kristensen 1994; Thorup-Kristensen und Dresbøll 2010). Beides gilt hauptsächlich für Nicht-Leguminosen; Leguminosen sind für einen späten Umbruch im Frühjahr geeigneter (Thorup-Kristensen et al. 2003). Der optimale Umbruchtermin hängt nicht nur davon ab, ob Leguminosen oder Nicht-Leguminosen angebaut wurden, sondern auch vom Standort. So kann der Konkurrenzeffekt in sehr trockenen Gebieten bereits im Herbst einsetzen. In trockenen Gebieten sollten Zwischenfrüchte daher früher eingearbeitet werden als in Gebieten mit hohen Niederschlägen und hohem Auswaschungspotenzial (z. B. Sandböden) (Thorup-Kristensen und Dresbøll 2010).

Auch eine Studie von Rayns und Lennartsson (1995) kommt zu dem Ergebnis, dass ein frühes Einarbeiten im Frühjahr von Zwischenfrüchten mit weitem C/N-Verhältnis anzustreben ist. So war es auf deren Versuchsstandort (Bodenart: sandiger Lehm) von Vorteil, nach der Einarbeitung von Grünroggen etwa einen Monat mit der Aussaat einer Nachfrucht zu warten. Es setzte sofort nach der

Einarbeitung, die Mitte April stattgefunden hatte, eine leichte Mineralisierung des Grünroggens ein, die jedoch erst gut einen Monat später ihren vorläufigen Höhepunkt mit rund 60 kg N/ha in 0-15 cm Bodentiefe erreichte (Rayns und Lennartsson 1995). Bei Zwischenfrüchten mit engerem C/N-Verhältnis setzt die Mineralisierung dagegen schneller ein. So setzte in einer Winterwicke-Variante im selben Versuch eine intensive Mineralisierung schon nach gut zwei Wochen ein (Rayns und Lennartsson 1995). In Versuchen von Drinkwater et al. (2000) erreichte die Mineralisierung von Winterwicke ihren Höhepunkt vor der Zeit des höchsten Bedarfs an N der nachfolgenden Hauptfrucht Mais (Bodenart: mittel toniger Lehm). Um die Mineralisierung zu steuern, wurde die Winterwicke nicht eingearbeitet sondern abgemäht und als Mulchschicht liegen gelassen. Die Mineralisierung wurde durch mechanische Beikrautkontrolle im Mais (mit dem Cultivator) angeregt.

Versuche zum Umbruchstermin von Deutschem Weidelgras vor der Nachfrucht Mais zeigten, dass bei einem Umbruch direkt vor der Maisansaat mit einer stärkeren Nitratverlagerung nach der Maisernte zu rechnen ist (Renius et al. 1992, S. 149). Ein vorgezogener Umbruch im Winter (29.12.) führte dagegen zu einem relativ hohen Nitratangebot im Mai und Juni, welches dann vom Maisbestand deutlich bis zur Ernte im Oktober reduziert wurde. Ein Umbruchtermin am 28.3. führte zu Nitratgehalten zwischen denen der beiden anderen Umbruchstermine (Renius et al. 1992, S. 149–150). Ähnliches gilt für den Umbruch von Ölrettich bei Umbruchterminen am 6.2. versus 25.3. und 6.5. (Renius et al. 1992, S. 152).

Für den Ertrag der nachfolgenden Hauptfrucht kann es vorteilhaft sein, wenn die Zwischenfrüchte über Winter absterben. So kam es bei einer Studie beim Vergleich von Hafer und Roggen, die beide als Zwischenfrüchte ausgesät worden waren, zum deutlichen Ertragsvorteil der nachfolgenden Hauptfrucht, die nach Hafer angebaut worden war (Hashemi et al. 2013). Dies führen die Autoren auf das Absterben des Hafers im Winter zurück, wodurch der Hafer längere Zeit „kompostiert“ wurde im Gegensatz zum Roggen, der nicht abfror und außerdem durch das Weiterwachsen ein weiteres C/N-Verhältnis entwickelte (Hashemi et al. 2013). Allerdings sollten auf einem stark auswaschungsgefährdeten Standort vorzugsweise überwinterte Zwischenfrüchte oder zumindest eine Mischung aus abfrierenden und überwinterten Zwischenfrüchten angebaut werden, da eine abfrierende Sommerung auch ohne Umbruch sukzessiv N abgibt (König 1996, S. 93 und 111). Dies ist vor allem dann der Fall, wenn es einen frühen Frosteinbruch mit anschließender milder Witterung gibt (Heß 1989, S. 94).

2.5 Zwischenfruchtanbau zur Beikrautkontrolle

Befürchtungen Beikräuter nicht ausreichend kontrollieren zu können sind häufig das größte Hemmnis für ökologisch wirtschaftende Landwirte, eine konservierende Bodenbearbeitung umzusetzen (Carr et al. 2012b). Es gibt einen Trend zu einem höheren Beikrautdruck bei abnehmender Bodenbearbeitungsintensität (Boström 1999; Grosse et al. 2014a). Insbesondere mehrjährige Beikräuter lassen sich durch eine reduzierte Bodenbearbeitung schlechter bekämpfen (Armengot et al. 2015; Brandsæter et al. 2011; Gruber und Claupein 2009; Kainz et al. 2003; Sans et al. 2011). Allerdings wirkt sich ein höheres Beikrautaukommen nicht zwangsläufig negativ auf den Ertrag aus (Armengot et al. 2015; Bàrberi et al. 2014; Krauss et al. 2010; Schulz et al. 2009). Hingegen sind bei einer Direktsaat im Ökologischen Landbau Ertragseinbußen bis hin zum Totalausfall aufgrund zu hohen Beikrautaukommens wahrscheinlicher (Drinkwater et al. 2000; Grosse et al. 2014b).

2.5.1 Mechanismen der Beikrautunterdrückung

Zwischenfrüchte können sowohl während ihrer Wachstumsperiode als auch in abgestorbenem Zustand eine Beikraut unterdrückende Wirkung haben. Durch die Absorption von Licht sowie die Konkurrenz um Wasser, Nährstoffe und Raum hat in der Regel die noch lebende Zwischenfrucht eine bessere Beikraut unterdrückende Wirkung als die abgestorbene Pflanzenmasse (Teasdale et al. 2007). Eine schnelle Bodenbedeckung und eine hohe Biomasseproduktion der Zwischenfrucht sind daher wichtige Eigenschaften zur Beikrautunterdrückung (Brust et al. 2011; Dorn et al. 2011; Dorn et al. 2013; Stadler et al. 2009). Nicht nur die oberirdische Biomasse sondern auch die Wurzelmasse der Zwischenfrüchte ist im Hinblick auf eine effiziente Nährstoff- und Wasserkonkurrenz gegenüber den Beikräutern von Bedeutung (Brust et al. 2011).

Eine Mulfschicht aus abgestorbenem Pflanzenmaterial kann als physikalische Barriere wirken (Bond und Grundy 2001). Außerdem kann sie Umweltreize, die die Keimruhe beenden, abschwächen (Mirsky et al. 2013). Vor allem in den USA werden häufig die mit speziellen Walzen („roller-crimper“) abgetötete winterharte Zwischenfrüchte als dicke Mulfschicht liegen gelassen (Carr et al. 2012b). Für eine erfolgreiche Beikrautkontrolle durch diese Mulfschicht sind sehr hohe Biomasseerträge nötig (Reberg-Horton et al. 2012). Halde und Entz (2014) geben als Schwellenwert für eine erfolgreiche Beikrautunterdrückung mit einer Gerste-Winterwicke-Mischung 67 dt TM pro ha an. Eine dicke Mulfschicht kann sogar für zwei Jahre als Beikrautkontrolle dienen (Carr et al. 2013b). Andere Studien sprechen von acht bis zehn Wochen Beikrautunterdrückung (Leavitt et al. 2011). Die Unterdrückung mehrjähriger Beikräuter allein durch eine solche Mulfschicht ist allerdings nicht möglich (Carr et al. 2013a).

Zwischenfrüchte können nicht nur das Wachstum von Beikräutern verhindern oder erschweren, sondern auch die Samenproduktion. Oft korreliert die Biomasse von Beikräutern positiv mit ihrer Samenproduktion (Lutman 2002). Daher können Zwischenfrüchte, die zu einer Verringerung der Biomasse der Beikräuter führen, auch zu einer Verringerung der Samenproduktion führen (Kruidhof et al. 2008). Ferner kann die Förderung von samenfressenden Prädatoren durch den Zwischenfruchtanbau eine Verringerung der Beikrautsamenbank bewirken (Teasdale et al. 2007). Darüber hinaus können manche Zwischenfruchtarten sowohl während ihres Wachstums als auch in abgestorbenem Zustand durch die Abgabe allelopathischer Substanzen eine Beikraut unterdrückende Wirkung haben. Dies ist z. B. für Grünroggen und Hafer (Altieri et al. 2011), aber auch für Lupine, Luzerne und Raps (Kruidhof et al. 2008) bekannt.

2.5.2 Auswirkungen der Saatstärke und der Samengröße auf die Beikrautkontrolle

Eine höhere Saatstärke kann eine höhere Biomasseproduktion zur Folge haben als eine niedrigere Saatstärke. In einer Studie von Brennan und Boyd (2012) war dies der Fall für eine Leguminosen-Roggen-Mischung (bestehend aus 10 % Roggen, 35 % Ackerbohne, 25 % Erbse, 15 % Sommerwicke und 15 % Purpurwicke (*V. benghalensis*)). Es wurde die einfache mit der dreifachen Saatstärke verglichen (einfache Saatstärke 140 kg ha⁻¹); die Verdreifachung führte zu einer ungefähr 2,7-fach höheren Bestandesdichte. Die höhere Bestandesdichte resultierte in einer höheren Biomasseproduktion vor allem der legumen Mischungspartner. Auf die Biomasseproduktion von Grünroggen (einfache Saatstärke 90 kg ha⁻¹) und einer Senfmischung (einfache Saatstärke 11 kg ha⁻¹) hatte die Verdreifachung der Saatstärke jedoch kaum einen Effekt (Brennan und Boyd 2012). Allerdings ist es auch möglich, dass eine höhere Saatstärke zwar nicht zu einer höheren Biomasse führt, aber zu einer höheren Bodendeckung in einem frühen Entwicklungsstadium der Zwischenfrucht, was einen positiven Effekt für die Beikrautkontrolle hat (Mirsky et al. 2013; Ryan et al. 2011). In der Studie von

Ryan et al. (2011) wurden drei verschiedene Saatstärken von Grünroggen verglichen: 90, 150 und 210 kg ha⁻¹. Die höhere Saatstärke führte nicht zu einer höheren Biomasse des Grünroggens, jedoch zu einer reduzierten Biomasse des Beikrauts. Besonders im Stadium der Keimung sind die Beikräuter sehr konkurrenzempfindlich. In diesem Stadium genügen schon geringe Deckungsgrade von den Zwischenfrüchten, um einen Konkurrenzeffekt zu erzielen. Wachsen die Beikräuter über dieses konkurrenzempfindliche Stadium hinaus, nimmt der Bekämpfungserfolg rapide ab (Kolbe et al. 2004, S. 19). Aus diesem Grund kann außer einer höheren Saatstärke der Anbau von großkörnigen Zwischenfruchtarten im Vergleich zu kleinsamigen Zwischenfruchtarten einen Vorteil in der Beikrautunterdrückung haben. So erreichten in Versuchen von Uchino et al. (2011) großkörnige Zwischenfruchtarten früher eine gute Bodendeckung und damit eine bessere Beikrautunterdrückung als kleinsamige Arten. Dies führen die Autoren zum einen auf die größere Unempfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen der großkörnigen Arten zurück, zum anderen auf den größeren Deckungsgrad pro Pflanze (Uchino et al. 2011).

2.5.3 Kombination von Zwischenfruchtanbau mit mechanischer Beikrautregulierung

Eine aktive Beikrautregulierung durch eine flache, meist mehrmalige Bodenbearbeitung vor der Aussaat der Zwischenfrüchte oder der nächsten Hauptfrucht ist bei pfluglos arbeitenden Landwirten ein bewährtes Verfahren (Wilhelm 2011). Dieses Vorgehen wird auch „falsches Saatbett“ genannt, da im Boden befindliche Beikrautsamen zum Keimen angeregt werden. Auch für das Bekämpfen von Wurzelbeikräutern ist dieses Vorgehen hilfreich. So ist eine mehrmalige flache Bearbeitung besonders wichtig, wenn sich *C. arvensis* auf der Fläche befindet (Wilhelm 2011). Bei diesem Verfahren muss allerdings auf Zwischenfrüchte zurückgegriffen werden, die sich für einen späten Saattermin eignen (Kruidhof et al. 2008).

Soll nach Zwischenfrüchten in einer im Mulchsaatenverfahren gesäten Hauptfrucht eine mechanische Beikrautregulierung betrieben werden, ist der herkömmliche Striegel schon ab einer Mulchbedeckung von 16 % dafür ungeeignet (Hänsel 2010). Ein Rollstriegel, dessen Wirkung mehr auf einem Verschüttungseffekt als auf einem Ausreißen der Beikräuter beruht, ist dagegen für den Einsatz in Mulchsaaten aufgrund seiner Unempfindlichkeit gegenüber Pflanzenrückständen auf der Bodenoberfläche gut geeignet (Rumpler 2011).

2.5.4 Geeignete Zwischenfruchtarten zur Beikrautkontrolle

Bei einem Anbau der Zwischenfrucht vor einer Sommerkultur sollte sie idealerweise sowohl im Herbst als auch im Frühjahr eine beikrautunterdrückende Wirkung haben. Um herauszufinden, ob überwinterte Zwischenfruchtarten im Frühjahr eine bessere beikrautunterdrückende Wirkung haben als abfrierende, testeten Kruidhof et al. (2008) sechs verschiedene Zwischenfruchtarten (Ölrettich, Winterrap, Winterroggen, Italienisches Weidelgras, Weiße Lupine, Luzerne). Winterrap (TM zwischen 37 und 42 dt ha⁻¹) zeigte eine starke Konkurrenzkraft im Herbst und eine mittlere im Frühjahr und war in dieser Studie die beste Art für das Beikrautmanagement.

Auch Ölrettich (TM zwischen 35 und 72 dt ha⁻¹) reduzierte die Beikrautbiomasse im Herbst stark, aber war nicht effektiv in der Beikrautkontrolle im Frühjahr. Jedoch kann eine gute Konkurrenzkraft im Herbst allein schon durch eine Verminderung des Beikrautsamenaufkommens eine positive Wirkung auf das Anbausystem zeigen. Luzerne und Weiße Lupine hatten eine sehr schwache Konkurrenzkraft im Herbst, reduzierten aber das Aufkommen von Beikräutern im Frühjahr vermutlich durch die Abgabe allelopathischer Substanzen beträchtlich (Kruidhof et al. 2008).

In einer anderen Studie zeigte jedoch gerade Ölrettich (TM zwischen 32 und 55 dt ha⁻¹) auch im Frühjahr eine gute Beikraut unterdrückende Wirkung (Lounsbury und Weil 2014). Die Autoren dieser Studie sahen es als Vorteil an, dass die Biomasse-Rückstände von Ölrettich gut handhabbar sind. Als weiteren Vorzug von Ölrettich gaben sie an, dass er leicht durch Abmähen zum Absterben gebracht werden kann, falls er nicht vollständig abgefroren ist.

Auch in mehreren anderen Studien zeigten sich Brassica-Arten wie Gelbsenf und Ölrettich vielversprechend (Brust et al. 2011; Brust et al. 2014a; Dorn et al. 2013; Stadler et al. 2009; Wittwer et al. 2013). Sommer- und Winterwicke erzielten in verschiedenen Studien ebenfalls gute Ergebnisse (Dorn et al. 2011, Grosse et al. 2014a, 2014b; Wittwer et al. 2013). Die in Deutschland noch wenig angebauten Zwischenfrüchte Tatarischer Buchweizen (*Fagopyrum tataricum* L. Gaertn.) und Futterrettich (*Raphanus sativus* L. var. *Longipinnatus*) haben das Potenzial für eine schnelle Bodenbedeckung und hohe Biomasseproduktion und eine damit einhergehende gute Beikrautkontrolle (Brust et al. 2014a). Eine in Deutschland ebenfalls relativ neue Zwischenfruchtart ist der Sandhafer (*Avena strigosa* Schreb.). Bedingt durch sein gutes Wurzelwachstum ist er konkurrenzstark gegenüber Beikräutern (Brust et al. 2011; Brust und Gerhards 2012).

2.6 Anbau von Zwischenfruchtmischungen

Grundsätzlich bieten Artenmischungen Vorteile für den Anbau, da sie sich resilienter gegenüber Klimaschwankungen, Witterungseinflüssen und Managementfehlern erweisen und daher eine höhere Ertragsstabilität haben (Finckh 2008; Szerencsits und Erhart 2015; Wortman et al. 2012). Eine ausgeklügelte Zusammensetzung einer Zwischenfruchtmischung kann weitere Vorteile sowohl für das N-Management als auch für die Beikrautunterdrückung bieten.

Leguminosen eignen sich besser dafür, die Nachfrucht mit N zu versorgen, während Nichtleguminosen besser geeignet sind, Nitratauswaschung zu verhindern. Ferner kann die symbiotische N₂-Fixierleistung von Leguminosen durch Mischbau mit einer Nicht-Leguminose erhöht werden (Schmidtke 2008). Außerdem kann es bei einem solchen Mischbau durch die langsamere Mineralisierung der Nicht-Leguminosen zu einer längerfristigen Vorfruchtwirkung kommen wie in Versuchen von Beckmann (1998, S. 81) bei einer Mischung von Leguminosen mit Gräsern.

Der Anbau von Mischungen aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen wird von verschiedenen Seiten empfohlen (Campiglia et al. 2011; Dabney et al. 2007; Rinnofner et al. 2005a; Rinnofner et al. 2005b; Sainju et al. 2002; Sainju et al. 2007; Sainju 1997; Schmidt und Gläser 2012). Das Wachstum von einer Art in einer Mischung muss jedoch nicht zwangsläufig dem in Reinkultur entsprechen und je nach Zusammensetzung der Mischung kann sich eine andere N-Mineralisierung, N-Aufnahme und ein anderer Biomassertrag ergeben. Die oberirdische Architektur der Pflanzen muss zusammenpassen und die Wurzeln der Mischungspartner sollten sich ergänzen. Außerdem muss die Mischung für die Fruchtfolge und für die angestrebten Ziele (hier N-Akkumulation und Beikrautunterdrückung) geeignet sein. Ferner haben die Arten bezüglich des Aussaatzeitpunkts und der Saattechnik unterschiedliche Ansprüche. Daher wird für die erfolgreiche Zusammenstellung von Mischungen ein großes Fachwissen benötigt.

In Zwischenfruchtversuchen vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie werden neben Zwischenfruchtreinkulturen auch handelsübliche Mischungen getestet. Der Anbau

von Zwischenfrüchten in Mischungen zeigte zahlreiche Vorteile (Schmidt und Gläser 2013, 2013, S. 33). So erhöhten sich das Aussaatfenster und die Biomasseerträge. Die Nährstoffmobilisation in verschiedenen Bodentiefen und deren Konservierung wurde den Ergebnissen zufolge optimiert. Die Leguminosenpartner stellten den Nicht-Leguminosen N bereit. Auch für die Beikrautunterdrückung zeigen sich Vorteile, wenn sich in der Mischung schnellkeimende sowie frostunempfindlichere Arten befinden (Brust et al. 2014b; Schmidt und Gläser 2013, S. 33). Rankenden Leguminosen können aufrecht stehende Arten als Stützfrucht dienen. Eine ausgewogene Mischung kann die Vorteile der verschiedenen Arten bei im Vergleich zu Leguminosen eher kostengünstigerem Saatgut in sich vereinen (Beckmann 1998, S. 81; Schmidt und Gläser 2013, S. 33).

Auch Reents und Möller (2001) empfehlen den Anbau einer Mischung aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen, insbesondere Brassicaceae. Eine solche Mischung kann eine gute N-Konservierung im Herbst gewährleisten und ein gutes Wachstum und eine gute N-Versorgung der Folgekultur sicherstellen. Brassicaceae in Reinkultur gewährleisten ihren Versuchsergebnissen zufolge die größte Sicherheit in der Nitrataufnahme im Herbst. Bei einem alleinigen Anbau kann es aber durch das weite C/N-Verhältnis oder auch die Abgabe allelopathischer Substanzen zu einer verzögerten N-Mineralisierung kommen, was zu Ertragseinbußen bei der Folgekultur führt (Reents und Möller 2001). Ein alleiniger Anbau von Leguminosen kann auf Böden mit niedriger Feldkapazität keinen ausreichenden Schutz vor Nitratauswaschung bieten bzw. die Emissionen sogar noch erhöhen (Reents und Möller 2001).

Zwischenfruchtanbau von einer Zwischenfruchtart in Reinkultur ist in der Ökologischen Landwirtschaft in Europa immer noch weit verbreitet (Peigné et al. 2014). Der zusätzliche Nutzen von fachkundig zusammengestellten Zwischenfruchtmischungen sollte gegenüber Landwirten verstärkt kommuniziert werden. Übersichtliche Kriterien, welche Arten zu welchem Zweck sinnvoll in Mischungen zusammengestellt werden können und welche Mischungen zu welchen Fruchtfolgen passen, sollten für Landwirte, die selber mischen wollen, zur Verfügung stehen. Bemühungen dieser Art werden teilweise von Beratern, Landwirtschaftskammern, Landes- und Anbauverbänden unternommen (z.B. Alpers und Simon 2012). Auch finanzielle Anreize ähnlich der Greening-Prämie für konventionelle Betriebe, die den Anbau einer Zwischenfruchtmischung aus mindestens zwei Mischungspartnern vorsieht (Hoffmann und Schaper 2015), könnten einer weiteren Verbreitung von Zwischenfruchtmischungen dienen und einen eventuellen Mehraufwand durch das Zusammenstellen der Mischung oder eventuell höhere Ausgaben durch den Kauf einer fertigen Mischung ausgleichen.

3 Themenschwerpunkt II: Die kurzfristigen Auswirkungen eines Anbaus von Zwischenfrüchten und einer einmalig differenzierten Bodenbearbeitung zum Anbau von Hafer auf Beikrautaufkommen, Stickstoffflüsse und Haferertrag

3.1 Problemstellung

In der Ökologischen Landwirtschaft werden Methoden der reduzierten Bodenbearbeitung bisher wesentlich seltener eingesetzt als in der konventionellen Landwirtschaft (Wilhelm et al. 2011). Ein Grund dafür sind Ertragseinbußen, die bei der Anwendung von reduzierter Bodenbearbeitung durch eine in der Regel verringerte N-Mineralisation und/oder einen häufig höheren Beikrautdruck auftreten können (Mäder und Berner 2012) (siehe auch „Gesamtziel der Arbeit“). Da die N-Verfügbarkeit im Frühjahr in der Ökologischen Landwirtschaft ohnehin oft ein limitierender Faktor für das Pflanzenwachstum und den Ertrag ist (Koopmans und Bokhorst 2002), müssen besonders bei der Kombination von ökologischem Anbau und reduzierter Bodenbearbeitung Wege zur besseren N-Versorgung der Kulturen gefunden werden. Zur vorbeugenden pfluglosen Beikrautkontrolle können in der Ökologischen Landwirtschaft hauptsächlich eine fachgemäße Fruchtfolgegestaltung sowie der Anbau von Zwischenfrüchten eingesetzt werden. Letzterer kann aufgrund deren Konkurrenzkraft Beikraut unterdrückende Wirkung zeigen (Bàrberi 2002; Peigné et al. 2007; Shrestha et al. 2002) und gleichzeitig die N-Versorgung verbessern (Thorup-Kristensen et al. 2003). Die Kombination von reduzierter Bodenbearbeitung mit dem Anbau von geeigneten Zwischenfrüchten ist daher ein vielversprechender Ansatz.

Zur Untersuchung der kurzfristigen Wirkung verschiedener Zwischenfrüchten und deren Einarbeitung mit unterschiedlicher Bodenbearbeitungsintensität auf Stickstoffflüsse, Beikrautaufkommen und Ertrag der nachfolgenden Hauptfrucht wurden zwei wiederholte einjährige Versuche angelegt. Die Versuche waren Teil des Forschungsprojektes TILMAN ORG.

Anhand der Versuchsergebnisse soll in diesem Themenschwerpunkt den folgenden Fragen nachgegangen werden:

- Welche der getesteten Zwischenfruchtarten führt zu den höchsten N_{\min} - und NO_3 -N-Werten im Frühjahr?
- Führt die reduzierte Bodenbearbeitung zu geringeren N_{\min} - und NO_3 -N-Werten verglichen mit herkömmlichem Pflügen?
- Welche der getesteten Zwischenfruchtarten hat sowohl im Frühjahr vor der Bodenbearbeitung als auch während des Wachstumsverlaufs des Hafers den besten beikrautunterdrückenden Effekt?
- Führen eine reduzierte Bodenbearbeitung oder Mulch- und Direktsaatverfahren nach dem Anbau der Zwischenfrüchte zu einem höheren Beikrautaufkommen als die Bearbeitung mit dem Pflug?
- Wie wirken sich die verschiedenen Zwischenfrüchte und Bodenbearbeitungsvarianten auf die Diversität der Beikrautpopulation aus?
- Wie wirken sich die verschiedenen Zwischenfrüchte und Bodenbearbeitungsvarianten auf die Zusammensetzung der Beikrautpopulation aus?

- Wie wirken sich die verschiedenen Zwischenfrüchte und Bodenbearbeitungsvarianten auf den Ertrag des Hafers aus?

3.2 Material und Methoden

3.2.1 Standortbeschreibung

Um unterschiedliche Bodenarten und Klimaverhältnisse bei der Fragestellung berücksichtigen zu können, wurden die Versuche auf zwei verschiedenen Standorten angelegt. Ein Standort war der Lehr- und Versuchsbetrieb der Universität Kassel, die Hessische Staatsdomäne Frankenhausen (51.5 N, 9.4 E; 231 m ü. NN). Der zweite Standort war der Biolandbetrieb Meyerhof in Osnabrück/Belm (52.3 N, 8.1 E; 103 m ü. NN). Der Versuch in Frankenhausen wird DFH (= Domäne Frankenhausen) genannt, entsprechend den Versuchsjahren DFH1 (= 2011/12) und DFH2 (= 2012/13). Der Versuch in Belm wird analog Belm1 (= 2011/12) und Belm2 (= 2012/13) genannt. Weitere Angaben zu den Versuchsschlägen werden in Tabelle 4 wiedergegeben.

Tabelle 4: Charakteristika der vier Versuchsschläge

Versuch	DFH1	DFH2	Belm1	Belm2
Schlag	Stegbreite	Mühlenbreite	Wirtschaftsfläche	Wirtschaftsfläche
Bodentyp	Pelosol- Braunerde*	Kolluvisol-Gley*	nicht bekannt	nicht bekannt
Bodenart	Ut4**	Ut4**	sandiger Boden	sandiger Boden
Vorfrucht	Winterweizen	Winterweizen	Sommerweizen	Sommerweizen
Vor-Vorfrucht	Möhren	Möhren	Klee gras	Klee gras

Quellen: * Brandt 2001 ** Brandt et al. 2001

Die Charakterisierung der vier Schläge bezüglich Grundnährstoffen und pH-Wert sowie C_t und N_t ist Tabelle 5 zu entnehmen. Die Probenahme hierfür erfolgte zu Versuchsbeginn (DFH2, Belm2) bzw. zu Versuchsende (DFH1, Belm1). Es wurden auf jedem Schlag von jeder Parzelle Proben gezogen. Die Einzelproben wurden pro Versuchsschlag und Schicht blockweise zu einer Mischprobe aggregiert. Die hier wiedergegebenen Werte sind Mittelwerte aus den blockweisen Mischproben.

Tabelle 5: Bodenchemische Grunddaten der Versuchsschläge

		DFH1	DFH2	Belm1	Belm2
0-30 cm	pH-Wert	6,8	6,9	5,1	5,4
	P [mg kg ⁻¹ TS]	55,3	134,6	37,4	51,9
	K [mg kg ⁻¹ TS]	99,6	209,0	53,1	91,2
	Mg [mg kg ⁻¹ TS]	99,2	96,2	41,9	50,9
0-30 cm	Nt [%]	0,1	0,1	0,1	0,1
	Ct [%]	1,1	1,4	1,1	1,3
	C/N-Verhältnis	11	14	11	13
30-60 cm	Nt [%]	0,1	0,1	0,1	0,1
	Ct [%]	0,6	0,8	0,7	0,7
	C/N-Verhältnis	6	8	7	7

Tabelle 6 gibt die Art, Menge und den Zeitpunkt der Düngung im letzten Jahr vor Versuchsbeginn wieder.

Tabelle 6: Düngung im Jahr vor Versuchsbeginn

Versuch	Art und Menge	Zeitpunkt
DFH1	20 m ³ Gülle	21.10.2010
DFH2	22 m ³ und 20 m ³ Gülle	28.10.2011 und 2.4.2012
Belm1 und 2	keine Gülle, aber jeweils Klee gras als Vorvorfrucht	

3.2.2 Witterung

Da es in der Wetterstation von Frankenhausen zeitweise zu Problemen kam, wurde teilweise auf Daten anderer Wetterstationen in der Nähe zurückgegriffen. Dies war der Fall für den Niederschlag im Zeitraum vom August 2011 bis Dezember 2011 (Daten von der Wetterstation Flughafen Kassel Calden, ca. 5 km entfernt) und für die Temperatur des gesamten Jahres 2012 (Daten von der Wetterstation Kassel Harleshausen, ca. 15 km entfernt).

Für die Berechnung des 30jährigen Mittels wurde auf Daten aus den Jahren 1981 bis 2010 des Deutschen Wetterdienstes (DWD) von der Wetterstation Kassel zurückgegriffen. Die mittlere Temperatur für diesen Ort und Zeitraum beträgt 9,1°C, der gemittelte Jahresniederschlag beträgt 724,6 mm. Für den Versuchszeitraum 2011/12 (September bis August) beträgt die mittlere Temperatur 9,4°C und die Niederschlagssumme 556,8 mm, für den Versuchszeitraum 2012/13 (September bis August) beträgt sie 8,2°C und 481,7 mm (Tabelle 7). Der Niederschlag liegt in beiden Versuchsjahren also weit unter dem langjährigen Mittel.

Tabelle 7: Temperatur- und Niederschlagsmittel für Frankenhausen

Temperatur	30jähriges Mittel	9,1°C
	2011/12	9,4°C
	2012/13	8,2°C
Niederschlag	30jähriges Mittel	724,6 mm
	2011/12	556,8 mm
	2012/13	481,7 mm

Der Temperaturverlauf im Versuchszeitraum 2011 bis 2013 ähnelt dem Verlauf des 30jährigen Mittels (Abbildung 1). Die größte Abweichung ist ein deutlich kühlerer März 2013. Die Niederschläge fallen in vielen Monaten geringer aus als die gemittelten Summen. Der Mai 2013 sticht durch eine überdurchschnittlich hohe Niederschlagssumme hervor.

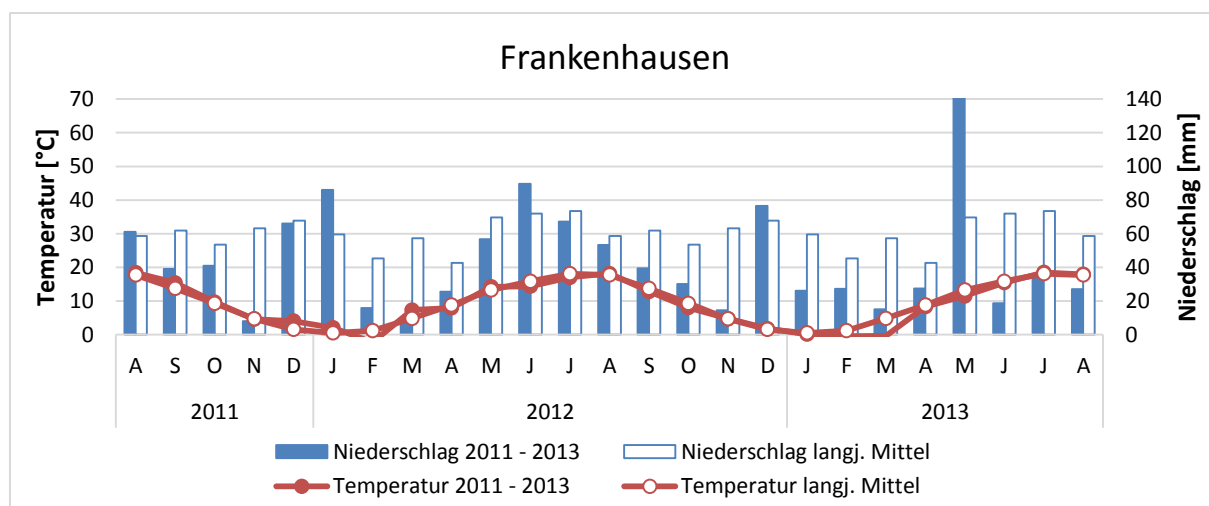


Abbildung 1: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2011 – 2013, Wetterstationen Frankenhausen / Kassel Calden / Kassel Harleshausen

Für die Versuchsflächen in Belm wird auf Wetterdaten der Hochschule Osnabrück / Standort Haste zurückgegriffen. Diese Station befindet sich in ca. 8 km Entfernung des Meyerhofs in Belm. Das langjährige Mittel (1981-2010) für Osnabrück / Haste beträgt 9,1°C und 756,8 mm. Für den Versuchszeitraum 2011/12 (September bis August) beträgt die mittlere Temperatur 9,9°C und die Niederschlagssumme 554,2 mm, für den Versuchszeitraum 2012/13 (September bis August) beträgt sie 9,1°C und 592,2 mm (Tabelle 8). Auch an diesem Standort liegt also der Niederschlag in beiden Versuchsjahren weit unter dem langjährigen Mittel.

Tabelle 8: Temperatur- und Niederschlagsmittel für Osnabrück

Temperatur	30jähriges Mittel	9,1°C
	2011/12	9,9°C
	2012/13	9,1°C
Niederschlag	30jähriges Mittel	756,8 mm
	2011/12	554,2 mm
	2012/13	592,2 mm

Der Temperaturverlauf im Versuchszeitraum folgt weitgehend dem langjährigen Mittel (Abbildung 2). Ausnahmen sind ein wärmerer Dezember 2011 und März 2012 sowie ein kühlerer März 2013. Die Niederschläge weichen stärker von dem langjährigen Mittel ab. So waren 2011 August und Dezember wesentlich feuchter als im langjährigen Mittel; im November fielen hingegen nahezu keine Niederschläge. Das Jahr 2012 begann mit höheren Niederschlägen als üblich, worauf ein trockenes Frühjahr folgte. Der Juli war regenreicher, August und September trockener. Auch der November war trockener. Im Jahr 2013 fiel in allen Monaten des Versuchszeitraums außer Januar und Mai weniger Regen als im langjährigen Mittel.

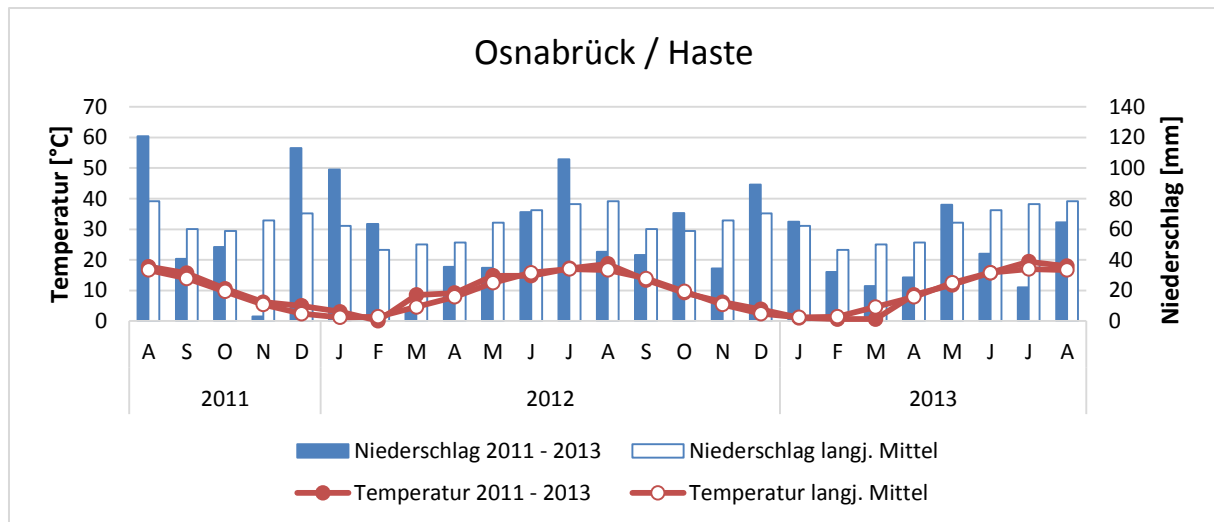


Abbildung 2: Witterungsverlauf im Versuchszeitraum 2011 – 2013, Wetterstation Hochschule Osnabrück, Standort Haste

3.2.3 Versuchsaufbau

In den Versuchen wurden drei verschiedene legume und nicht-legume abfrierende Zwischenfruchtarten angebaut. Die Wahl fiel auf Gelbsenf (*Sinapis alba*) als von Praktikern häufig angebaute nicht-legume Zwischenfrucht, auf Perserklee (*Trifolium resupinatum*) als kleinsamige Leguminose und auf Sommerwicke (*Vicia sativa*) als grobkörnige Leguminose. Die Zwischenfrüchte wurden mit unterschiedlicher Bodenbearbeitungsintensität eingearbeitet, worauf der Anbau von Sommerhafer (*Avena sativa*) folgte. Neben dem Pflug als herkömmlicher Variante wurden verschiedene reduzierte Varianten bis hin zur Direktsaat erprobt. Die Dauer der Versuche war jeweils von August eines Jahres bis August des nächsten Jahres. DFH1 und Belm1 wurden als zweifaktorielle Spaltanlagen mit dem Faktor Zwischenfrucht auf Großparzellen und ab der Differenzierung nach Bodenbearbeitung im Frühjahr mit dem Faktor Bodenbearbeitung auf Kleinparzellen durchgeführt. Bei DFH2 und Belm2 wurden die Zwischenfrüchte auf Kleinparzellen und die Bodenbearbeitung im Frühjahr in Großparzellen angelegt.

Mit Ausnahme von DFH1 wurden die Versuche in vierfacher Wiederholung angelegt. DFH1 wurde ab der Differenzierung nach Bodenbearbeitung in achtfacher Wiederholung weitergeführt, da aufgrund der technischen Durchführbarkeit der Bodenbearbeitung in vierfacher Wiederholung keine vollständige Randomisierung und somit keine sachgemäße statistische Auswertung möglich gewesen wäre.

Die Parzellengröße und Anzahl betrug

- in DFH1
 - vor der Differenzierung nach Bodenbearbeitung 6 m x 60 m (16 Parzellen)
 - nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung 6 m x 7,5 m (128 Parzellen)
- in DFH2
 - von Beginn bis Ende 6 m x 10 m (64 Parzellen)
- in Belm1
 - vor der Differenzierung nach Bodenbearbeitung 6 m x 90 m (16 Parzellen)
 - nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung 6 m x 30 m (48 Parzellen)

- in Belm2
 - von Beginn bis Ende 6 m x 10 m (48 Parzellen).

Die Zwischenfruchtsorten und Saatstärken waren auf beiden Standorten und in beiden Jahren für

- *S. alba*: Cv. Asta; Saatstärke 20 kg ha⁻¹
- *T. resupinatum*: Cv. Marco Polo; Saatstärke 20 kg ha⁻¹
- *V. sativa*: Cv. Ereica; Saatstärke 105 kg ha⁻¹.

Als Kontrolle diente eine Schwarzbrache.

Der Hafer (*Avena sativa*, Cv. Scorpion) wurde mit folgenden Saatstärken gesät:

- DFH1 400 keimfähige Körner m⁻²
- DFH2 aufgrund später Saat 450 keimfähige Körner m⁻²
- Belm1 400 keimfähige Körner m⁻²
- Belm2 aufgrund später Saat 450 keimfähige Körner m⁻²

Die Bodenbearbeitungsvarianten und ein Überblick über die weiteren ackerbaulichen Maßnahmen sind aus Tabelle 9 und Tabelle 10 ersichtlich. Es wurde keine mechanische Beikrautregulierung durchgeführt.

Tabelle 9: Übersicht über den ackerbaulichen Ablauf von DFH1 und DFH2

Datum	Maßnahme	Tiefe / Reihenabstand
22.08.2011 / 20.+21.08.2012	Stoppelbearbeitung Grubber	Tiefe 10 cm
23.08.2011 / 22.08.2012	Kreiselegge	
26.08.2011 / 22.08.2012	Aussaat Zwischenfrüchte und Anwalzen	Reihenabstand 12 cm
17.10.2011 / ---	Abflammen der Schwarzbrache- parzellen	
05.04.2012 / 18.04.2013	Pflug Grubber / Scheibenegge	Tiefe 22- 24 cm Tiefe 10-12 cm / 7 cm
	2012 keine Bearbeitung in den Mulch- und Direktsaatvarianten 2013 Abflammen jeweils einer halben Parzelle in den Mulch- und Direktsaatvarianten aufgrund hohen Durchwuchses	
10.04.2012 / 18.04.2013	Kreiselegge Keine Bearbeitung in den Mulch- und Direktsaatparzellen	
10.04.2012 / 22.04.2013	Aussaat des Hafers	Reihenabstand 12 cm in Pflug- u. Grubber / 15 cm in Mulch- u. Direktsaatparzellen

--- Diese Maßnahme erfolgte in DFH2 nicht

Tabelle 10: Übersicht über den ackerbaulichen Ablauf von Belm1 und Belm2

Datum	Maßnahme	Tiefe / Reihenabstand
25.08.2011 / 16.08.2012	Stoppelbearbeitung Grubber Kreiselegge	Tiefe 10 cm
25.08.2011 / 17.08.2012	Aussaat Zwischenfrüchte	Reihenabstand 17,5 cm
02.11.2011 / ---	Abflammen der Schwarzbracheparzellen	
02.04.2012 / 15.04.2013	Pflug Grubber Fräse	Tiefe 23 cm Tiefe 13-15 cm Tiefe 6-8 cm
02.04.2012 / 15.04.2013	Aussaat des Hafers	Reihenabstand 17,5 cm

--- Diese Maßnahme erfolgte in Belm2 nicht

3.2.4 Datenerhebung

3.2.4.1 Untersuchungen an Pflanzen

Die Zwischenfrüchte wurde jeweils im November vor dem Abfrieren beprobt. Dafür wurde in DFH1 sechs Mal pro Parzelle und in Belm1 sieben Mal pro Parzelle 0,5 m² von Hand geerntet. In DFH2 sowie in Belm2 wurde ein Quadrat mit 1,5 m Seitenlänge (=2,25 m²) pro Parzelle von Hand geerntet. Direkt im Anschluss an die Ernte wurde der Grünschnitt gewogen. Dann wurde aus jeder Probe eine Teilproben gewonnen, welche im Trockenschrank bei 60°C getrocknet wurde. Die Proben wurden außer zur Ertragsbestimmung zur Analyse des Gesamtstickstoffgehalts (N_t) und –kohlenstoffgehalts (C_t) der oberirdischen Biomasse verwendet. Der Grünschnitt des Hafers und der reife Hafer wurden ebenfalls von Hand geerntet. Dafür wurde 2012 zweimal (Frankenhausen) bzw. dreimal (Belm) 0,5 m² pro Parzelle von Hand geschnitten, 2013 vier Mal 0,5 m² pro Parzelle. Die Ernteproben des Hafers wurden für die Feststellung folgender Parameter verwendet:

- Rispen pro m²
- Kornertrag
- Strohertrag
- N_t (Korn und Stroh)
- Tausendkornmasse.

Bezüglich der Beikräuter wurde der **Deckungsgrad** (DG) nach Art in einem späten Stadium der Zwischenfrüchte und einem späten Stadium der Hauptfrucht Hafer auf einer Fläche von einem Quadratmeter pro Parzelle bestimmt. Für die Abschätzung der prozentualen Bodendeckung wurden Referenzbilder verwendet. Für den Gesamtdeckungsgrad wurden die Deckungsgrade der verschiedenen Arten addiert. Da die Pflanzen auf verschiedenen Ebenen wachsen, kann der Gesamtdeckungsgrad 100 % übersteigen. Die **Dichte** nach Art wurde in einem frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer ermittelt, d. h. alle Beikrautpflanzen auf der Boniturfläche wurden gezählt. Die Boniturfläche betrug ein Zehntel Quadratmeter und wurde viermal randomisiert über die Parzelle verteilt. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich die meisten Beikräuter im Keimblattstadium. War die Art nicht bestimmbar, wurde die Gattung vermerkt. Die oberirdische **Gesamtbiomasse** wurde in einem späten Stadium des Hafers zeitgleich mit dem Deckungsgrad nach Art und auf derselben Fläche quantifiziert. Hierfür wurden alle Beikräuter bodennah abgeschnitten. Die Proben wurden im Trockenschrank getrocknet. Nach vollständiger Trocknung wurde die Trockenmasse bestimmt.

3.2.4.2 Bodenuntersuchungen

Für die Bodenproben wurden an fünf bis sechs über das Versuchsjahr verteilten Terminen Proben bis zu einer Tiefe von 90 cm gezogen. Wenn eine Probenahme bis 90 cm Tiefe aufgrund der Bodenverhältnisse nicht möglich war, wurde der Boden bis zu einer Tiefe von 60 cm beprobt. Die Unterteilung der Probe in Profilrichtung erfolgte in der Regel in 30 cm Abschnitten. Nur zu Beginn des Projekts erfolgte eine andere Einteilung aufgrund der Absprachen mit den Projektpartnern aus anderen europäischen Ländern. Die Einteilung bei den ersten zwei Bodenprobeterminen war folgendermaßen: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm und 60-90 cm der Bodentiefe. Pro Parzelle und Schicht wurde eine Mischprobe aus je nach Größe der Parzelle zwischen 3 und 8 Einstichen gewonnen. Diese Proben wurden auf den Versuchsflächen sofort in gekühlte Isolierboxen verpackt. Alle Proben wurden schnellstmöglich eingefroren. Zur Analyse des Gehalts an mineralisiertem Stickstoff wurden die Proben zum Hessischen Landeslabor nach Kassel / Harleshausen gebracht. Die Untersuchung der N_{min}-Proben erfolgte nach DIN ISO 14255 und nach DIN EN ISO 11732. Das

gesamte Probenmaterial wurde auf $\text{NO}_3\text{-N}$ untersucht, die Proben der Krumenschicht auch auf $\text{NH}_4\text{-N}$. Einmal pro Jahr wurden zusätzlich die Grundnährstoffe, der pH –Wert und der Gesamtkohlenstoff (C_t) und Gesamtstickstoff (N_t) bestimmt. Diese Analysen erfolgten im Labor des Fachgebiets für Ökologischen Land- und Pflanzenbau der Universität Kassel/Witzenhausen.

3.2.4.3 Termine der Probenahmen und Bonituren

Der zeitliche Ablauf der Probenahmen und Bonituren ist für ein exemplarisches Versuchsjahr in Abbildung 3 dargestellt. Die genauen Termine sind in Tabelle 11 und 12 wiedergegeben.

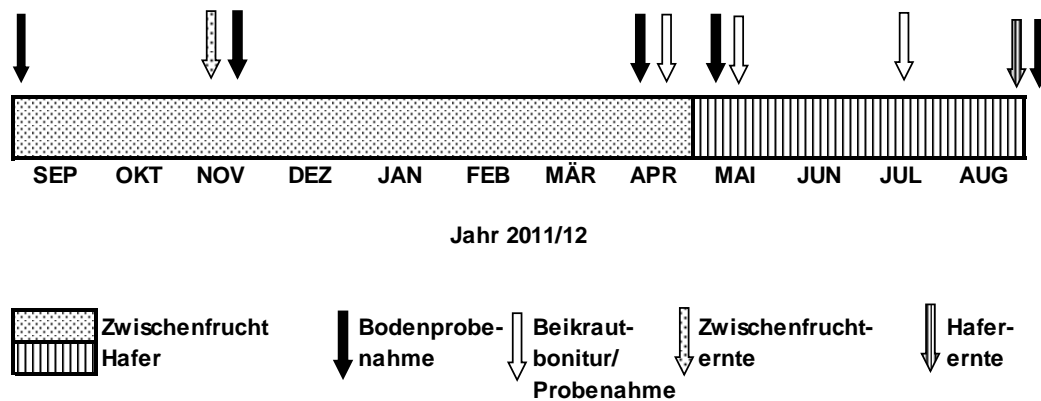


Abbildung 3: Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Bonituren und Probenahmen in einem Versuchsjahr

Tabelle 11: Probenahme- und Boniturtermine in Frankenhausen

Parameter	Kultur	DFH1	DFH2
ZF-Ertrag	ZF	17.11.11	24.11.12
HF-Grünmasse	HF	n.e.	25.06.13
HF-Ertrag	HF	09.08.12	12.08.13
Beikraut-DG	ZF	29.03.12	08.04.13
-Dichte	HF	23.05.12	17.05.13
-Biomasse und DG	HF	11.07.12	16.07.13
Bodenprobenahme	ZF	29.08.11	24.8.12
	ZF	24.11.11	06.12.12
	ZF	26.03.12	11.04.13
	HF	02.05.12	16.05.13
	HF	n.e.	25.06.13
	HF-Stoppel	29.08.12	03.09.13

n.e. = Keine Daten erfasst

Tabelle 12: Probenahme- und Boniturtermine in Belm

Parameter	Kultur	Belm1	Belm2
ZF-Ertrag	ZF	25.10.11	23.11.12
HF-Grünmasse	HF	19.06.12	20.06.13
HF-Ertrag	HF	08.08.12	05.08.13
Beikraut-DG	ZF	n.e.	04.04.13
-Dichte	HF	n.e.	14.05.13
-Biomasse und DG	HF	n.e.	23.07.13
Bodenprobenahme	ZF	01.09.11	28.08.12
	ZF	25.10.11	23.11.12
	ZF	21.03.12	04.04.13
	HF	26.04.12	14.05.13
	HF	19.06.12	20.06.13
	HF-Stoppel	17.08.12	23.08.13

n.e. = Keine Daten erfasst

3.2.5 Berechnungen

3.2.5.1 Untersuchungen an Pflanzen

Für die Berechnungen der Trockensubstanz, der Erträge sowie Parametern der Ertragsstruktur wurden folgende Formeln verwendet:

- ZF-Ertrag und HF-Grünmasse [dt TM/ha] = $\frac{((\text{geerntete Biomasse [kg]} \times 100) / \text{geerntete Fläche [m}^2]) \times \text{Trockensubstanz [\%]} / 10}{10}$
- TS [%] = $100 \times \text{TM Teilprobe [g]} / \text{FM Teilprobe [g]}$
- HF-Ertrag bei 14 % Restfeuchte [dt/ha] = $\frac{(((\text{Ernteprobe [kg]} \times 100) / \text{geerntete Fläche [m}^2]) \times \text{Trockensubstanz [\%]} / 10) / 86 \times 100}{100}$
- HF-Feldaufgang und rispenträgende Halme [Pflanzen bzw. Rispen/m²] = $100 / \text{Reihenabstand [cm]} \times \text{Anzahl Pflanzen bzw. Rispen/laufenden m}$
- Die Kornzahl pro Rispe wurde aus der Tausendkornmasse, dem Kornertrag und den Rispen pro m² errechnet.

Für die Berechnungen von Parametern des Beikrautaufkommens und der Diversität der Beikrautgesellschaft wurden folgende Formeln verwendet:

- Beikrautgesamtdeckungsgrad [%] = Summe der Deckungsgrade pro Art [%]
(dieser kann 100 % übersteigen, da die Pflanzen häufig auf verschiedenen Ebenen wachsen)
- Beikrautdichte [Pflanzen/m²] = Anzahl gezählter Pflanzen/m²
- Beikrautbiomasse [g TM/m²] = geerntete oberirdische Trockenbiomasse/m²
- Artenanzahl = Anzahl unterschiedlicher Arten pro Parzelle
- Shannon-Wiener Index (H') = $-\sum p_i \times \ln(p_i)$
(wobei p_i der Anteil des Deckungsgrads oder der Dichte von Art i am Gesamtdeckungsgrad oder an der Gesamtdichte der Beikrautgesellschaft ist)

- Äquität (E) = $H'/\ln A$ (wobei A die Gesamtartenzahl ist). Der Wert für die Äquität liegt dabei zwischen 0 (völlig ungleiche Verteilung der Individuen auf die einzelnen Arten) und 1 (totale Gleichverteilung) (Lexikon der Biologie 1999).

Die N_2 -Fixierleistung der Leguminosen wurde mit folgender Formel berechnet (nach Høgh-Jensen et al. (2004) und Amossé et al. (2014)):

- $SNF = TM_{\text{Leguminose}} * N\% * P_{\text{fix}} * (1 + P_{\text{Wurzeln+Stoppeln}} + P_{\text{immobilisiert}})$

Wobei

- SNF = symbiotische N_2 -Fixierung [kg/ha]
- $TM_{\text{Leguminose}}$ = oberirdischer Biomasse-TM-Ertrag der Leguminose [$kg\ ha^{-1}$]
- $N\%$ = N-Konzentration in der TM der Leguminose [$kg\ kg^{-1}$]
- P_{fix} = Anteil von N aus SNF am Gesamt N in der oberirdischen Biomasse. Werte nach Amossé et al. (2014): *Medicago sativa*: 0,96; *Medicago lupulina*: 0,87; *Trifolium pratense*: 0,84; *Trifolium repens*: 0,71. Für *T. resupinatum* und *V. sativa* wurden die Werte der jeweils ähnlichsten Pflanzenart ausgewählt, und zwar für *T. resupinatum* der Wert von *T. pratense* (0,84) und für *V. sativa* der Wert von *M. sativa* (0,96).
- $P_{\text{Wurzeln+Stoppeln}}$ = N aus SNF in Wurzeln und Stoppeln als Anteil am gesamten N aus SNF in der oberirdischen Biomasse am Ende der Wachstumsperiode, 0,25
- $P_{\text{immobilisiert}}$ = N aus SNF, das durch Rhizodeposition an den Boden abgegeben und dort immobilisiert wurde, 0,25.

3.2.5.2 Bodenuntersuchungen

Die Berechnungen von $NO_3\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$ und N_{min} erfolgten nach folgenden Formeln:

- $NO_3\text{-N}$ und $NH_4\text{-N}$ [kg/Schicht und ha] = $NO_3\text{-N}$ bzw. $NH_4\text{-N}$ [mg/100 g] x Dicke der Schicht [cm] x 1,5
- N_{min} = $NO_3\text{-N}$ [kg/Schicht und ha] + $NH_4\text{-N}$ [kg/Schicht und ha].

3.2.6 Datenauswertung

Um die Verteilung von Zwischenfrucht-, Grünmasse- und Hafererträgen, Beikrautaufkommen und -diversität sowie N_{min} und $NO_3\text{-N}$ zu beschreiben, wurden Mittelwert und Standardfehler berechnet. Die Auswertung erfolgte separat nach Jahren, um den unterschiedlichen Witterungsbedingungen Rechnung zu tragen. Jeder Datensatz wurde auf normalverteilte Residuen überprüft (Kolmogorov-Smirnov-Test). Lag keine Normalverteilung vor, wurden die Daten für die statistische Auswertung transformiert. Die Art der Transformation wird jeweils bei den Ergebnissen angegeben. Die Darstellung der Daten in den Balkendiagrammen beruht auf den Mittelwerten der ursprünglichen Daten. Großteilstück, Kleinteilstück und Block wurden als feste Faktoren mit einer univariaten Varianzanalyse auf signifikante Effekte und Wechselwirkungen überprüft. Wenn die Varianzanalyse signifikante Effekte oder Wechselwirkungen anzeigte, wurde anschließend von der Faktorenkombination Zwischenfrucht x Bodenbearbeitung bzw. von den Einzelfaktoren ein Post-hoc Test (Tukey-B) durchgeführt ($\alpha \leq 0,05$). Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten sind in den Grafiken mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Ab Vorhandenseins des zweiten Faktors werden Buchstaben nur bei einer signifikanten Wechselwirkung verwendet.

Bei DFH1 war es aufgrund der Versuchsanlage nötig, außer den vertikalen Blöcken horizontale „Zeilenblöcke“ in die Analyse einzuschließen (Piepho 2012).

Die statistischen Analysen wurden mit SPSS-21 durchgeführt.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Zwischenfrüchte

3.3.1.1 Ertrag

Im Versuch **DFH1** betrug der oberirdische Biomasseertrag der Zwischenfrüchte im Mittel der vier Wiederholungen für *S. alba* 20,9 dt Trockenmasse (TM) ha⁻¹ und für *V. sativa* 29,9 dt TM ha⁻¹. *T. resupinatum* war so schlecht aufgelaufen, dass er nicht beprobt werden konnte. In **DFH2** betrug der Aufwuchs von *S. alba* 17,1 dt TM ha⁻¹, von *T. resupinatum* 6 dt TM ha⁻¹ und von *V. sativa* 15,4 dt TM ha⁻¹. *S. alba* und *V. sativa* hatten einen signifikant höheren Biomasseertrag als *T. resupinatum* (Tabelle 13; Abbildung 4 und 5).

Tabelle 13: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Zwischenfruchtertrag, -N-Aufnahme und C/N-Verhältnis für den Faktor Zwischenfrucht (ZF) in DFH2 und Belm2

Effekt	DFH2			Belm2		
	ZF-Biomasse	ZF-N-Aufnahme	ZF-C/N-Verhältnis	ZF-Biomasse	ZF-N-Aufnahme	ZF-C/N-Verhältnis
ZF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

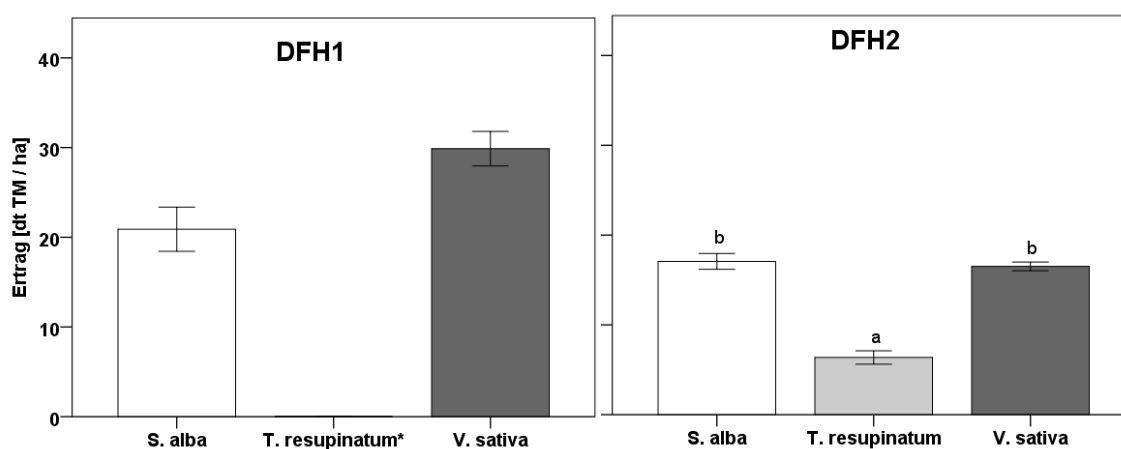


Abbildung 4 und 5: Trockenmasseerträge der Zwischenfrüchte in DFH1 und DFH2

**T. resupinatum* war so schlecht aufgelaufen, dass er nicht beprobt werden konnte. Daher konnte von DFH1 keine Varianzanalyse durchgeführt werden.

Im Versuch **Belm1** betrug der oberirdische Biomasseertrag der Zwischenfrüchte im Mittel der vier Wiederholungen für *S. alba* 24,0 dt TM ha⁻¹ und für *V. sativa* 14,9 dt TM ha⁻¹ (Abbildung 6). *T. resupinatum* war auch in Belm1 so schlecht aufgelaufen, dass er nicht beprobt werden konnte. In **Belm2** betrug der Ertrag von *S. alba* 25,7 dt TM ha⁻¹, von *T. resupinatum* 5,3 dt TM ha⁻¹ und von *V. sativa* 8,8 dt TM ha⁻¹. Die Zwischenfruchterträge unterschieden sich signifikant voneinander (Abbildung 7). *S. alba* hatte den signifikant höchsten Biomasseertrag, *V. sativa* einen mittleren und *T. resupinatum* den niedrigsten (Tabelle 13 und Abbildung 7).

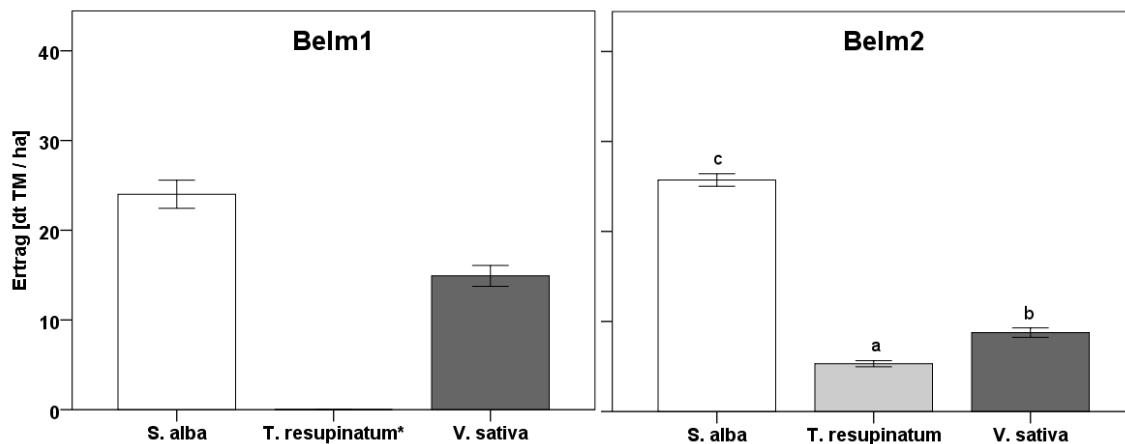


Abbildung 6 und 7: Trockenmasseerträge der Zwischenfrüchte in Belm1 und Belm2

**T. resupinatum* war so schlecht aufgelaufen, dass er nicht beprobt werden konnte. Daher konnte von Belm1 keine Varianzanalyse durchgeführt werden.

3.3.1.2 N-Aufnahme

Im Versuch **DFH1** betrug die N-Aufnahme im Mittel der vier Wiederholungen im Aufwuchs von *S. alba* 34,9 kg N ha⁻¹ und von *V. sativa* 124,4 kg N ha⁻¹. *T. resupinatum* war so schlecht aufgelaufen, dass er nicht beprobt werden konnte (Abbildung 8). In **DFH2** betrug die N-Aufnahme von *S. alba* 43,4 kg N ha⁻¹, von *T. resupinatum* 22,9 kg N ha⁻¹ und von *V. sativa* 72,7 kg N ha⁻¹. Dabei unterschieden sich die N-Aufnahmen der Zwischenfruchtarten signifikant voneinander. *V. sativa* hatte die signifikant höchste N-Aufnahme, *S. alba* eine mittlere und *T. resupinatum* die niedrigste (Tabelle 13 und Abbildung 9).

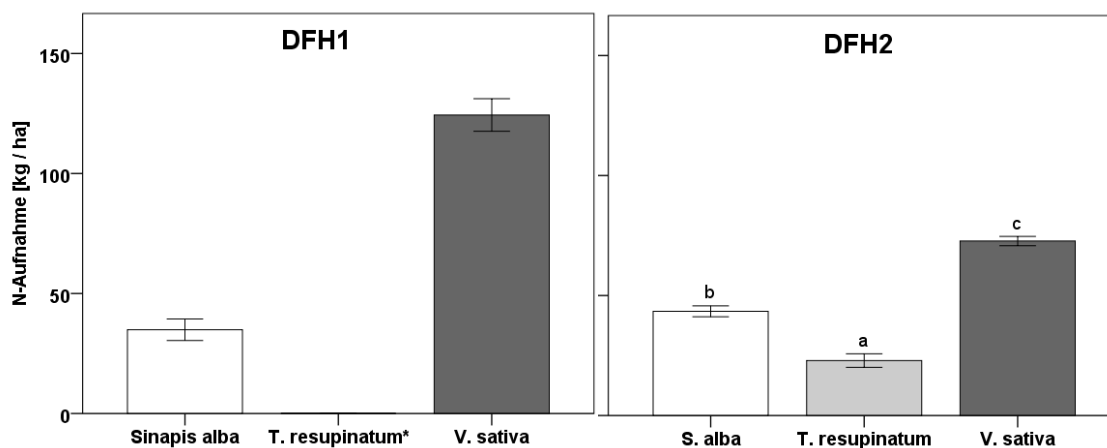


Abbildung 8 und 9: Gesamt-N-Aufnahme der Zwischenfrüchte in der oberirdischen Biomasse in DFH1 und DFH2

**T. resupinatum* war so schlecht aufgelaufen, dass er nicht beprobt werden konnte. Daher konnte von DFH1 keine Varianzanalyse durchgeführt werden.

Im Versuch **Belm1** betrug die N-Aufnahme im Mittel der vier Wiederholungen im Aufwuchs von *S. alba* 67,6 kg N ha⁻¹ und von *V. sativa* 45,3 kg N ha⁻¹. *T. resupinatum* war so schlecht aufgelaufen, dass er nicht beprobt werden konnte (Abbildung 10). In **Belm2** betrug die N-Aufnahme von *S. alba* 71,3 kg N ha⁻¹, von *T. resupinatum* 16,1 kg N ha⁻¹ und von *V. sativa* 31,2 kg N ha⁻¹. Dabei unterschied

sich die N-Aufnahme der Zwischenfrüchte signifikant; *S. alba* hatte die signifikant höchste, *V. sativa* eine mittlere und *T. resupinatum* die niedrigste (Tabelle 13 und Abbildung 11).

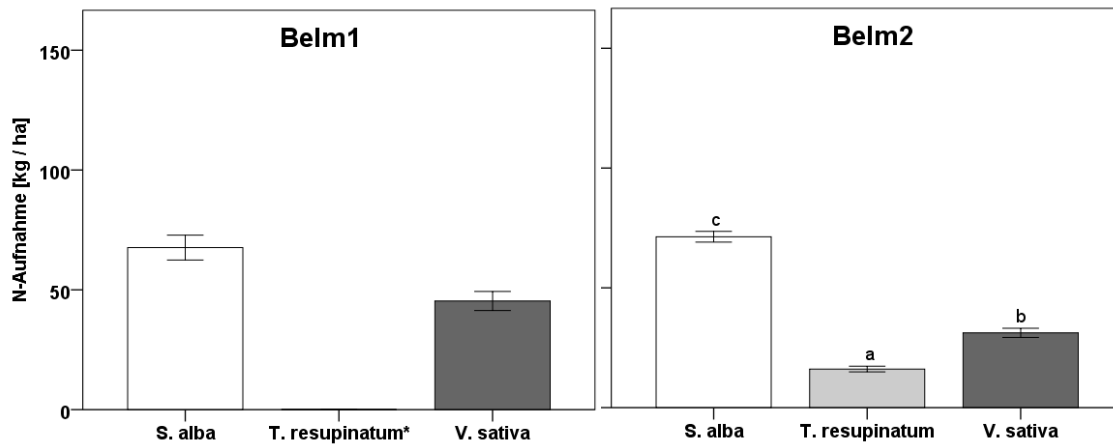


Abbildung 10 und 11: Gesamt-N-Aufnahme der Zwischenfrüchte in der oberirdischen Biomasse in Belm1 und Belm2

**T. resupinatum* war so schlecht aufgelaufen, dass er nicht beprobt werden konnte. Daher konnte von DFH1 keine Varianzanalyse durchgeführt werden.

3.3.1.3 C/N-Verhältnis

Das C/N-Verhältnis von *S. alba* lag auf den verschiedenen Standorten zwischen 15,0 und 25,8, das von *T. resupinatum* lag bei 10,9 und 11,5 und das von *V. sativa* lag zwischen 9,9 und 12,6 (Tabelle 14). Dabei waren in DFH2 und Belm2 signifikante Unterschiede vorhanden. *S. alba* hatte auf beiden Standorten das höchste C/N-Verhältnis. In DFH2 hatte *V. sativa* das niedrigste C/N-Verhältnis und *T. resupinatum* ein mittleres, während in Belm2 das C/N-Verhältnis von *T. resupinatum* und *V. sativa* dasselbe Niveau hatte (Tabelle 13 und Tabelle 14).

Tabelle 14: C/N-Verhältnis der Zwischenfruchtarten in den verschiedenen Versuchen

Zwischenfruchtart	DFH1	DFH2	Belm1	Belm2
<i>S. alba</i>	25,9 ± 0,72	16,7 ± 0,47 c	15,0 ± 0,43	15,5 ± 0,38 b
<i>T. resupinatum</i>	n.e.	10,9 ± 0,10 b	n.e.	11,5 ± 0,18 a
<i>V. sativa</i>	10,0 ± 0,19	9,9 ± 0,12 a	12,6 ± 0,24	11,4 ± 0,09 a

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Spalte ($\alpha \leq 0,05$)
n.e. = nicht erfasst, da *T. resupinatum* aufgrund zu geringen Aufwuchses nicht beprobt worden war

3.3.2 N-Dynamik

3.3.2.1 Boden-N

DFH1 (2011/12)

Da der Anteil von $\text{NH}_4\text{-N}$ am gesamten N_{min} an allen Probenahmeterminen gering war (in der Regel unter 1 kg ha^{-1} Schicht⁻¹, maximal $1,6 \text{ kg ha}^{-1}$ Schicht⁻¹), wird im Folgenden auf eine getrennte Darstellung von $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ verzichtet.

Im Versuch DFH1 war zu Versuchsbeginn am 29.08.2011 der N_{min} -Gehalt in den Bodenschichten 0-10 cm und 10-20 cm und der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt in den Bodenschichten 20-40 cm und 40-60 cm erwartungsgemäß auf der gesamten Fläche auf einem ähnlichen Niveau und es gab keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 12 a und Tabelle 15). Am 24.11.2011 gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht (Tabelle 15). Die N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte in allen Bodenschichten waren in der Schwarzbrache-Variante verglichen mit den anderen Varianten signifikant am höchsten (Abbildung 12 b und Tabelle A-1). In der Schicht 20-40 cm nahmen die *T. resupinatum*- und *V. sativa*-Varianten eine mittlere Position ein, d. h. der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt war signifikant höher als in der *S. alba*-Variante, aber signifikant niedriger als in der Schwarzbrache-Variante (Abbildung 12 b und Tabelle A-1). Am 26.03.2012 gab es weiterhin einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht auf den N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt aller untersuchten Schichten (Tabelle 15). In der *V. sativa*-Variante war in der Bodenschicht 0-30 cm der N_{min} -Gehalt und in den Bodenschichten 30-60 cm und 60-90 cm der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt signifikant am höchsten. In der Schwarzbrache-Variante lag der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt in der Schicht 60-90 cm ebenfalls auf diesem Niveau. Die drei Bodenschichten der *T. resupinatum*-Variante wiesen mittlere Werte auf, wie auch die Schicht 30-60 cm in der Schwarzbrachevariante. Die *S. alba*-Variante hatte in allen drei Schichten die signifikant niedrigsten Werte (Abbildung 12 c und Tabelle A-1).

Nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung am 02.05.2012 gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht auf die N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte aller drei Bodenschichten und einen signifikanten Einfluss des Faktors Bodenbearbeitung auf die N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte der oberen zwei Bodenschichten (Tabelle 15). Die N_{min} -Gehalte in der Schicht 0-30 cm und die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte in der Schicht 30-60 cm waren in den *V. sativa* x Pflug- und *V. sativa* x Grubber-Varianten signifikant am höchsten. Am zweithöchsten waren in diesen beiden Schichten die N-Gehalte in den *T. resupinatum* x Pflug- und *T. resupinatum* x Grubber- sowie Schwarzbrache x Pflug- und Schwarzbrache x Grubber-Varianten. Am niedrigsten waren die N-Gehalte in den *S. alba*-Varianten. Die Mulch- und Direktsaat-Varianten hatten in den oberen beiden Bodenschichten in jeder Zwischenfrucht niedrigere N-Gehalte als die Pflug- und Grubbervarianten, wobei die N-Gehalte für Mulch- und Direktsaat in den *V. sativa*-Parzellen trotzdem noch auf einem hohen Niveau waren. In der Bodenschicht 60-90 cm gab es zwischen den Varianten keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 12 d und Tabelle A-2). Zu Versuchsende am 29.08.2012 gab es zwischen den verbliebenen Varianten mengenmäßig nur noch geringe Unterschiede. Die Varianten unterschieden sich trotzdem signifikant. Es gab einen signifikanten Einfluss beider Faktoren und eine signifikante Wechselwirkung in der Schicht 0-30 cm. In der Schicht 30-60 cm hatte allein der Faktor Zwischenfrucht einen signifikanten Einfluss (Tabelle 15). In der *V. sativa* x Pflug-Variante war der N_{min} -Gehalt in der Schicht 0-30 cm signifikant höher als in allen anderen Varianten. In der Schicht 30-60 cm war der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt in der *V. sativa* x Grubber-Variante signifikant höher als in den *S. alba* x Pflug- und *S. alba* x Grubber-Varianten (Abbildung 12 e; Tabelle A-2).

Tabelle 15: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung in DFH1

Schicht	29.08.11				24.11.11					26.03.12		
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
BB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZF*BB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Schicht	02.05.12			29.08.12		
	1	2	3	1	2	3
ZF	0,000	0,000	0,023	0,000	0,001	n.e.
BB	0,000	0,000	n.s.	0,000	n.s.	n.e.
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	0,000	n.s.	n.e.

n.e. = nicht erfasst

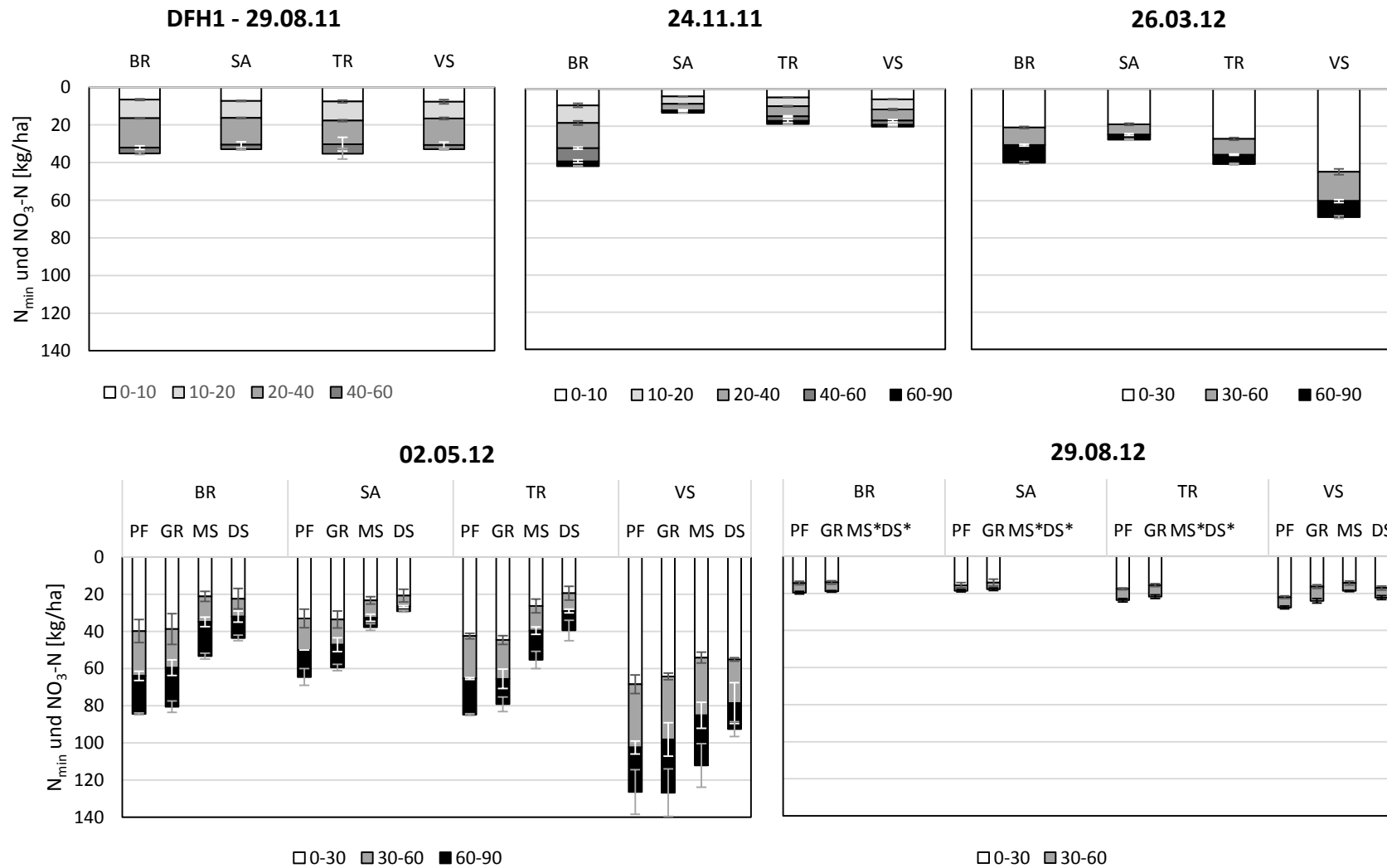


Abbildung 12 a-e: N_{min}-Gehalte im Oberboden und NO₃-N-Gehalte im Unterboden im Versuch DFH1

*Varianten waren durch zu hohes Beikrautaukommen nicht in die Analysen einbezogen worden

DFH2 (2012/13)

Auf dieser Versuchsfläche war der Anteil von $\text{NH}_4\text{-N}$ am gesamten N_{min} an allen Probenahmeterminen höher als im Versuch DFH1, aber anteilmäßig ebenfalls nur gering, so dass auch auf eine getrennte Darstellung verzichtet wurde. Die höchsten $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte wurden in den *V. sativa*-Varianten bzw. *V. sativa* x Pflug-Varianten erreicht (in der Schicht 0-30 cm bis maximal $6 \text{ kg NH}_4\text{-N ha}^{-1}$).

Auch im Versuch DFH2 war der N-Gehalt zu Versuchsbeginn am 24.08.2012 erwartungsgemäß in allen Varianten auf einem ähnlichen Niveau und es gab keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 13 a und Tabelle 16). Am 06.12.2012 gab es einen signifikanten Effekt des Faktors Zwischenfrucht auf den N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt von jeder der drei untersuchten Bodenschichten (Tabelle 16). Der N_{min} -Gehalt in der Schicht 0-30 cm in der *V. sativa*-Variante war signifikant am höchsten und in der Schwarzbrache-Variante signifikant am niedrigsten. Die N_{min} -Gehalte der *T. resupinatum*-Variante lagen dazwischen. In der Schicht 30-60 cm waren die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte der *V. sativa*-Variante signifikant am höchsten, wenn auch die mengenmäßigen Unterschiede aus pflanzenbaulicher Sicht nur gering waren. Ähnliches gilt für die Schicht 60-90 cm; die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte bewegten sich insgesamt auf niedrigem Niveau, jedoch gab es signifikante Unterschiede: von den höchsten Werten in der *V. sativa*-Variante über mittlere Werte in der *T. resupinatum*-Variante bis zu den niedrigsten Werten in den *S. alba*- und Schwarzbrachevarianten (Abbildung 13 b und Tabelle A-3). Am 11.04.2013 gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht (Tabelle 16). Die mengenmäßigen Unterschiede hatten sich vergrößert. Wieder waren in der *V. sativa*-Variante die höchsten N-Gehalte in allen drei Schichten zu finden. In der obersten Schicht waren die N_{min} -Gehalte nach Schwarzbrache, *S. alba* und *T. resupinatum* gleich niedrig, in den unteren beiden Schichten waren die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte nach Schwarzbrache signifikant am niedrigsten (Abbildung 13 c und Tabelle A-3).

Am 16.05.2013 nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung hatte sowohl der Faktor Zwischenfrucht als auch der Faktor Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss auf den N-Gehalt aller drei Bodenschichten und es gab eine signifikante Wechselwirkung bezüglich der N_{min} -Werte der obersten Bodenschicht (Tabelle 16). Die N_{min} -Gehalte in der Schicht 0-30 cm waren in der *T. resupinatum* x Pflug-Variante signifikant am höchsten. Ähnlich hoch waren die N_{min} -Gehalte in den *V. sativa* x Pflug- und *V. sativa* x Scheibenegge-Varianten. In der Schicht 30-60 cm hatte die *V. sativa* x Scheibenegge-Variante den signifikant höchsten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt. In der Schicht 60-90 cm gab es keine signifikanten Unterschiede. Die Mulch- und Direktsaatvarianten hatten nach *V. sativa* in allen drei Bodenschichten deutlich höhere N-Gehalte als die Mulch- und Direktsaatvarianten nach den anderen Zwischenfrüchten und der Schwarzbrache (Abbildung 13 d und Tabelle A-4). Am 25.06.2013 waren die mengenmäßigen Unterschiede wieder nur gering. Jedoch gab es eine signifikante Wechselwirkung in der Schicht 0-30 cm: am höchsten waren die N_{min} -Gehalte in den Schwarzbrache x Mulchsaat-, *S. alba* x Pflug-, *V. sativa* x Mulchsaat- und *V. sativa* x Direktsaatvarianten, am niedrigsten waren sie in der Schwarzbrache x Pflug-Variante (Tabelle 16 und Abbildung 13 e). In der Schicht 30-60 cm gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. In der Schicht 60-90 cm gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht und eine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 16). Die *V. sativa* x Mulchsaatvariante hatte den signifikant höchsten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt, während die Mulch- und Direktsaatvarianten in den anderen Zwischenfrüchten und der Schwarzbrache die signifikant niedrigsten Werte hatten (Abbildung 13 e und Tabelle A-4). Zu Versuchsende am 03.09.2013 gab es in den verbliebenen Varianten in keiner Bodenschicht signifikante Unterschiede (Abbildung 13 f und Tabelle 16).

Tabelle 16: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung in DFH2

Schicht	24.08.12			06.12.12			11.04.13			16.05.13			25.06.13			03.09.13		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	n.s.	n.s.	0,000	n.s.	n.s.	n.s.
BB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,009	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ZF*BB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	n.s.	n.s.	0,003	n.s.	0,008	n.s.	n.s.	n.s.

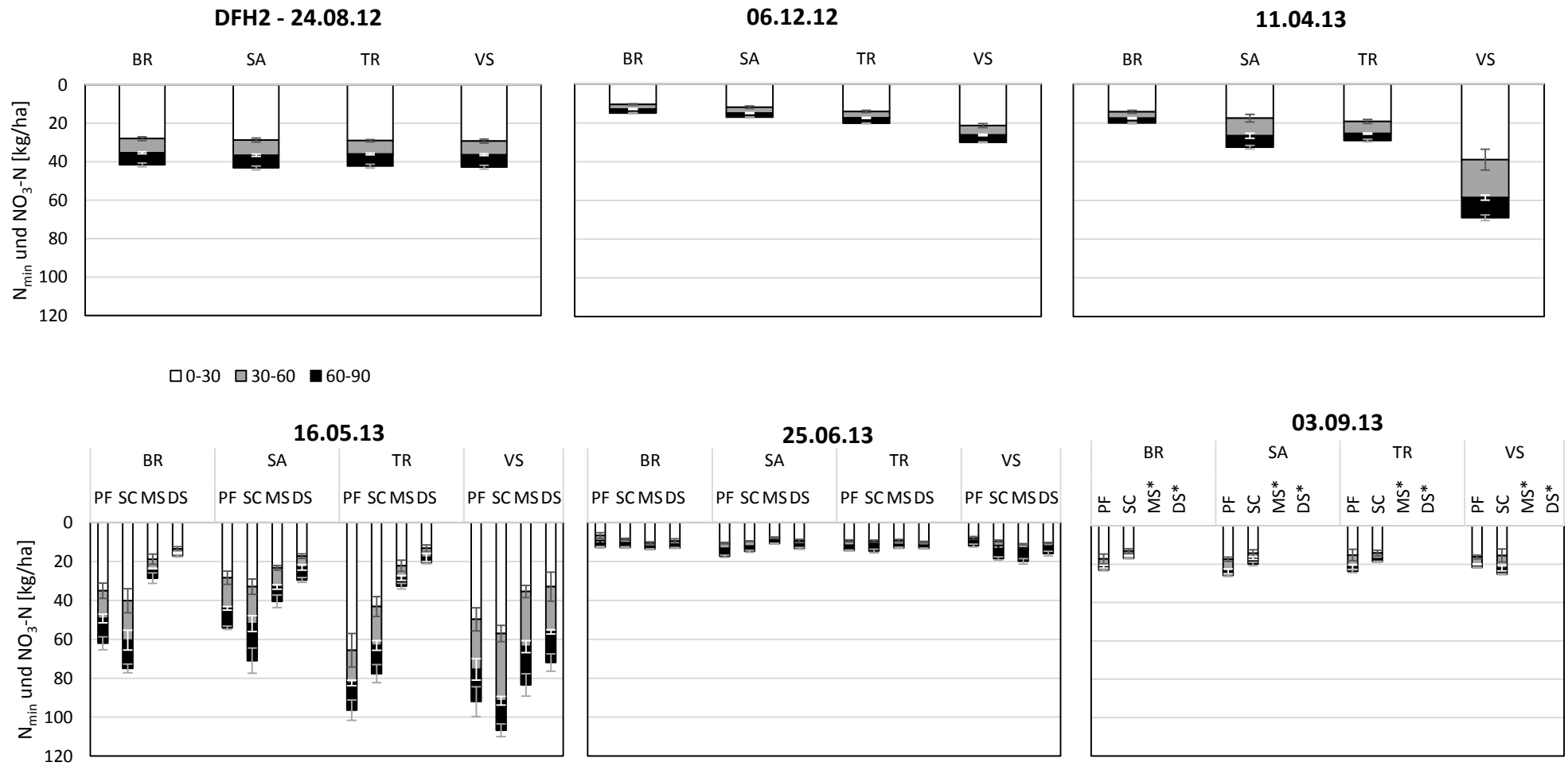


Abbildung 13 a-f: N_{min} -Gehalte im Oberboden und NO_3-N -Gehalte im Unterboden im Versuch DFH2

*Varianten waren durch zu hohes Beikrautauflkommen nicht in die Analysen einbezogen worden

Belm1 (2011/12)

Im Vergleich zu den Versuchsflächen von Frankenhausen war in Belm der Anteil von $\text{NH}_4\text{-N}$ am gesamten N_{min} höher. Teilweise bestand die Hälfte des N_{min} der obersten Schicht aus $\text{NH}_4\text{-N}$, beim Oktober-Termin in der Schwarzbrache-Variante sogar etwas mehr als die Hälfte (3,7 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ und 2,1 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ in der Schicht 0-10 cm). Bei den Probenahmen nach der Bodenbearbeitung im Frühjahr war der Anteil von $\text{NH}_4\text{-N}$ geringer als im Herbst, aber immer noch wesentlich höher als in Frankenhausen. Der höchste $\text{NH}_4\text{-N}$ -Wert wurde am 26.04.2012 in der *V. sativa* x Pflug-Variante gemessen (14 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ und 42 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ in der Schicht 0-30 cm).

Auch im Versuch Belm1 gab es zu Versuchsbeginn am 01.09.2011 über die Versuchsfläche hinweg keine signifikanten Unterschiede im N-Gehalt der verschiedenen Bodenschichten (Abbildung 14 a und Tabelle 17). Beim nächsten Beprobungstermin am 25.10.2011 gab es in der Schicht 0-10 cm keine signifikanten Unterschiede im N_{min} -Gehalt (Tabelle 17). In den darunter liegenden Schichten gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht (Tabelle 17). Der N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt in den *S. alba*-Varianten war signifikant niedriger als in den drei anderen Varianten (Abbildung 14 b; Tabelle A-5). Am 21.03.2012 gab es in den Schichten 0-30 cm und 60-90 cm einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht (Tabelle 17). Der N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt war in diesen Schichten in der Schwarzbrache-Variante signifikant am niedrigsten. In den *S. alba*- und *V. sativa*-Varianten gab es die höchsten, in der *T. resupinatum*-Variante mittlere N-Werte (Abbildung 14 c; Tabelle A-5).

Nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung am 26.04.2012 gab es in der Schicht 0-30 cm einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht und in der Schicht 30-60 cm einen signifikanten Einfluss des Faktors Bodenbearbeitung auf den N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt. Es gab jedoch keine signifikante Wechselwirkung. In der Schicht 60-90 cm gab es überhaupt keine signifikanten Effekte (Tabelle 17). In der Schicht 0-30 cm hatten die Schwarzbrache-Varianten niedrigere Werte als die Zwischenfrucht-Varianten. In der Schicht 30-60 cm hatten die Fräse-Varianten jeweils niedrigere Werte als die Pflug- und Grubber-Varianten (Abbildung 14 d und Tabelle A- 6). Am 19.06.2012 gab es zwischen den Varianten in keiner Schicht signifikante Unterschiede im N_{min} - oder $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt und die N-Gehalte waren erwartungsgemäß gering (Abbildung 14 e und Tabelle 17). Zu Versuchsende am 17.08.2012 hatten die *V. sativa*-Varianten höhere N_{min} - bzw. $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte als die anderen Zwischenfruchtvarianten und Schwarzbrache. Die Pflugvarianten hatten jeweils höhere Werte als Grubber- und Fräsevarianten (Abbildung 14 f und Tabelle A-6).

Tabelle 17: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{min} und $\text{NO}_3\text{-N}$ für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung in Belm1

Schicht	01.09.11				25.10.11					21.03.12		
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,031	0,045	0,000	0,001	0,014	n.s.	0,002
BB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZF*BB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Schicht	26.04.12			19.06.12			17.08.12		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ZF	0,020	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.e.	0,002	n.s.	0,001
BB	n.s.	0,020	n.s.	n.s.	n.s.	n.e.	0,002	0,020	0,006
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.e.	n.s.	n.s.	n.s.

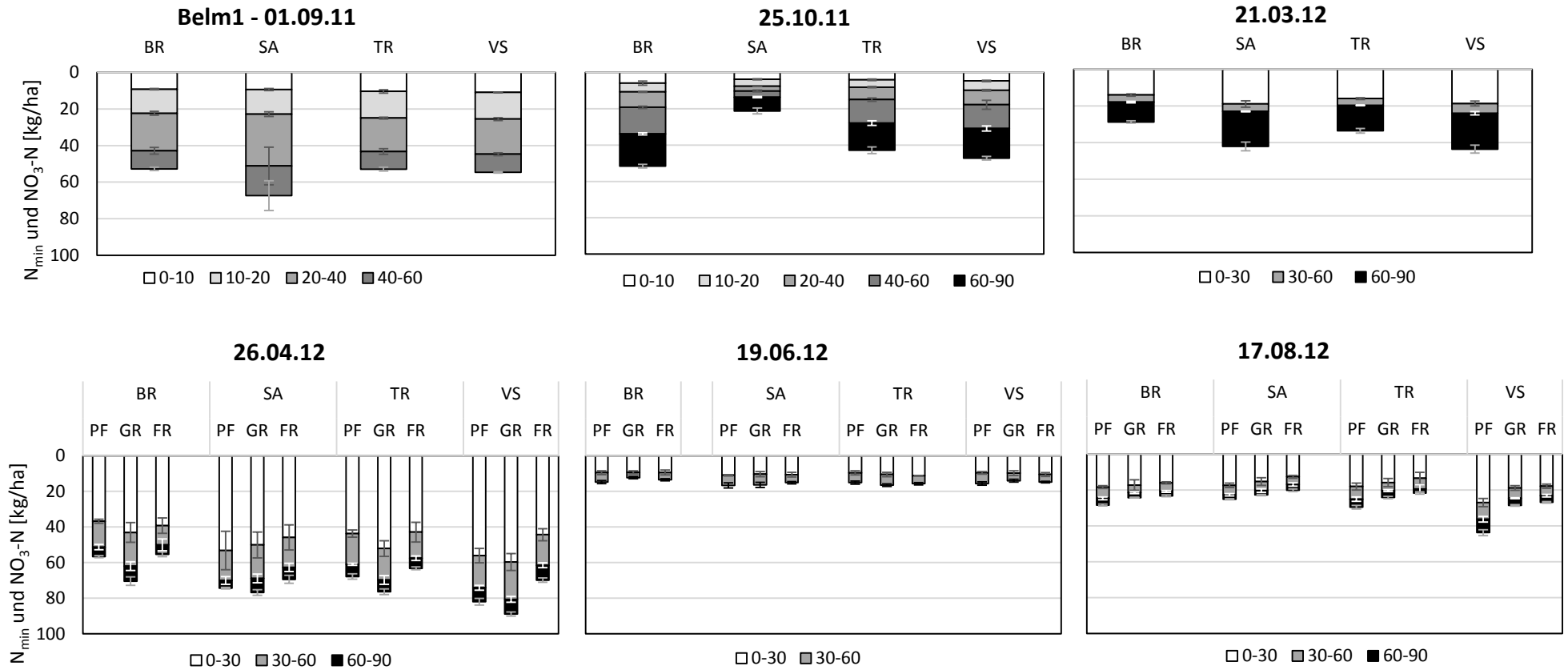


Abbildung 14 a-f: N_{min} -Gehalte im Oberboden und NO_3-N -Gehalte im Unterboden an sechs Terminen im Versuch Belm1

Belm2

Zu Versuchsbeginn am 28.08.2012 gab es erwartungsgemäß keine signifikanten Unterschiede im N_{\min} - bzw. NO_3 -N-Gehalt über das Versuchsfeld hinweg (Abbildung 15 a; Tabelle 18 und Tabelle A-7). Die Werte waren mit $86 - 100 \text{ kg N ha}^{-1}$ in 0-90 cm Bodentiefe für August sehr hoch.

Der NH_4 -N-Gehalt war an allen Probenahmeterminen in fast allen Varianten relativ konstant bei 3 bis 5 kg ha^{-1} in der Schicht 0-30 cm. Ausnahmen waren nur die *V. sativa*-Variante am 04.04.2013 mit $6,6 \text{ kg ha}^{-1}$ und die *T. resupinatum* x Fräse-Variante am 14.05.2013 mit $7,8 \text{ kg ha}^{-1}$. Aufgrund dieser relativ konstanten Werte wird im Folgenden NO_3 -N und NH_4 -N nicht getrennt dargestellt.

Am 23.11.2012 gab es in der Schicht 0-30 cm keine signifikanten Unterschiede im N_{\min} -Gehalt zwischen den verschiedenen Varianten. In den Schichten 30-60 cm und 60-90 cm gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht. Die *S. alba*-Variante hatte in beiden Schichten den signifikant niedrigsten und die Schwarzbrache-Variante den signifikant höchsten NO_3 -N-Gehalt (Abbildung 15 b; Tabelle 18 und Tabelle A-7). Am 04.04.2013 gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht auf den N-Gehalt aller drei Schichten. Der N_{\min} -Gehalt in der Schicht 0-30 cm und der NO_3 -N-Gehalt in der Schicht 30-60 cm war in den *S. alba*- und *V. sativa*-Varianten signifikant am höchsten. In der Schicht 60-90 cm war der NO_3 -N-Gehalt in der *S. alba*-Variante signifikant am höchsten und in den Schwarzbrache- und *T. resupinatum*-Varianten signifikant am niedrigsten (Abbildung 15 c; Tabelle 18 und Tabelle A-7).

Am 14.05.2013 nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung gab es in allen Schichten einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht auf den N-Gehalt. In allen Schichten hatten die Schwarzbrachevarianten den niedrigsten N_{\min} - und NO_3 -N-Gehalt. *T. resupinatum* führte zu etwas geringeren N-Gehalten als *V. sativa* und *S. alba* (Abbildung 15 d; Tabelle 18 und Tabelle A-8). Am 20.06.2013 gab es in der Schicht 0-30 cm keine signifikanten Unterschiede im N_{\min} -Gehalt. In den Schichten 30-60 cm und 60-90 cm gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht auf den NO_3 -N-Gehalt. In beiden Schichten war der NO_3 -N-Gehalt in den Schwarzbrache-Varianten niedriger als in den Zwischenfruchtvarianten (Abbildung 15 e; Tabelle 18 und Tabelle A-8). Am 23.08.2013 gab es in der obersten Schicht einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung. Grubbern führte zu einem geringeren N_{\min} -Gehalt als Pflügen und Fräsen. Sonst gab es überhaupt keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 15 f; Tabelle 18 und Tabelle A-8).

Tabelle 18: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3 -N für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung in Belm2

Schicht	28.08.12			23.11.12			04.04.13		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZF*BB	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Schicht	14.05.13			20.06.13			23.08.13		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ZF	0,048	0,000	0,001	n.s.	0,042	0,001	n.s.	n.s.	n.s.
BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,022	n.s.	n.s.
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

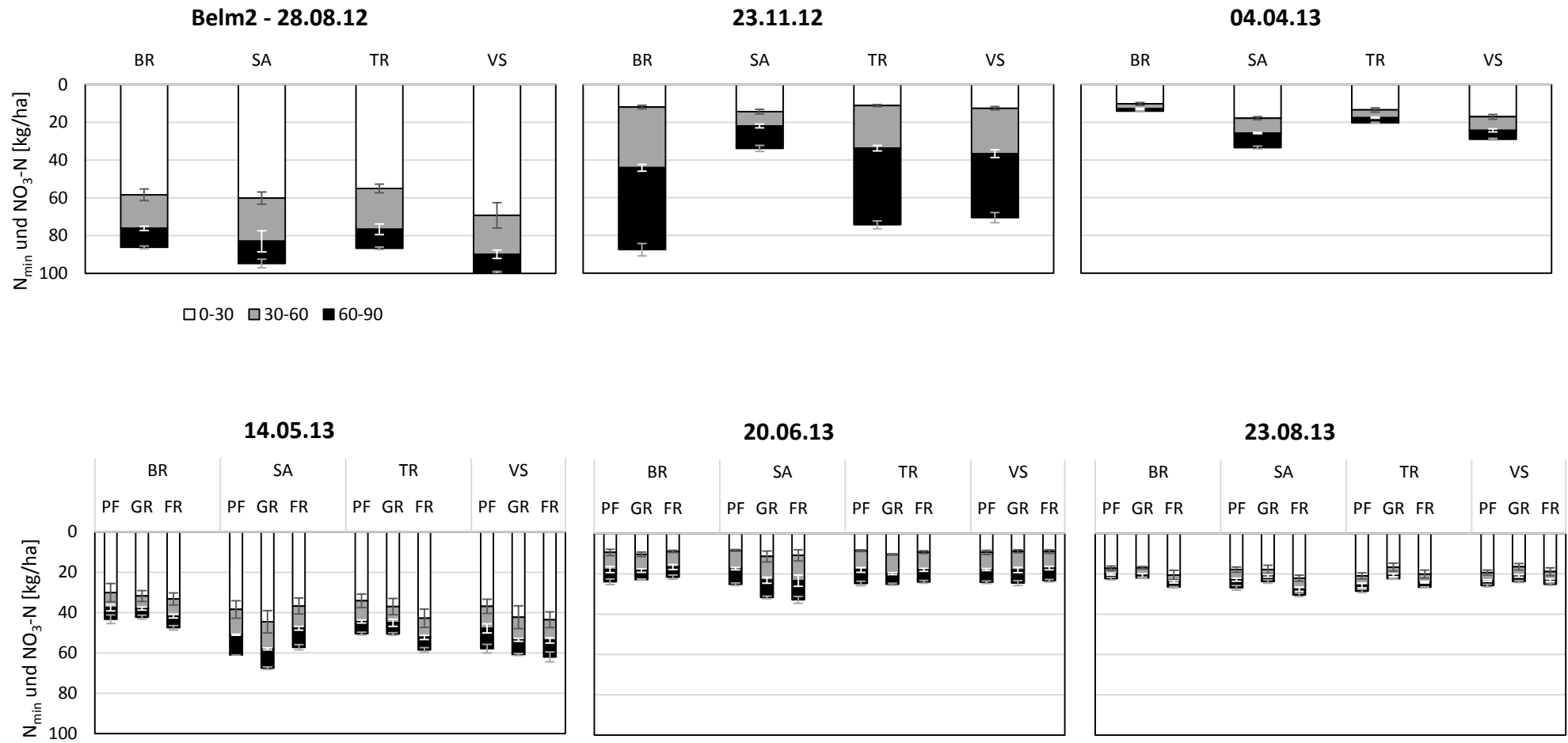


Abbildung 15 a-f: N_{min} -Gehalte im Oberboden und NO_3-N -Gehalte im Unterboden an sechs Terminen im Versuch Belm2

3.3.2.2 N-Flächenbilanz

Die N-Flächenbilanz stellt dar, welche N-Mengen im Verlauf eines Jahres zur jeweiligen Versuchsvariante hinzukommen und welche sie verlassen. Die Ausgangsbasis ist der Versuchsschlag.

Im Versuch **DFH1** war die N-Flächenbilanz von den Schwarzbrache- und *S. alba*-Varianten deutlich negativ. Die höchsten N-Entzüge fanden sich in der Schwarzbrache x Pflug-Variante. Sie resultierten in einer negativen Bilanz von -69 kg N ha^{-1} . Die N-Flächenbilanz von den *V. sativa*-Varianten war deutlich positiv. Die Bilanzsumme reichte von 88 kg N ha^{-1} von der *V. sativa* x Pflug-Variante bis zu 99 kg N ha^{-1} von der *V. sativa* x Direktsaat-Variante (Tabelle 19).

Im Versuch **DFH2** war die N-Flächenbilanz von den Schwarzbrache-, *S. alba*- und *T. resupinatum*-Varianten deutlich negativ. Die höheren N-Entzüge durch die höheren Hafererträge in den Pflugvarianten führten in den Schwarzbrache x Pflug- und *S. alba* x Pflug-Varianten zu negativen Bilanzen von -77 kg N ha^{-1} bzw. -79 kg N ha^{-1} . In den Schwarzbrache x Grubber- und *S. alba* x Grubber-Varianten lagen die N-Bilanzen bei -42 kg N ha^{-1} bzw. -52 kg N ha^{-1} . In den *V. sativa*-Varianten war die N-Bilanz relativ ausgeglichen (Tabelle 20).

Im Versuch **Belm1** war die N-Flächenbilanz von den Schwarzbrache- und *S. alba*-Varianten deutlich negativ. Am niedrigsten war die Bilanzsumme von der *S. alba* x Pflug-Variante mit -61 kg N ha^{-1} . Die *V. sativa* x Pflug-Variante resultiert in einer Bilanzsumme von -11 kg N ha^{-1} . *V. sativa* x Grubber und *V. sativa* x Fräse wiesen leicht positive Bilanzen auf (Tabelle 21).

Im Versuch **Belm2** war die N-Flächenbilanz von allen Varianten negativ. Am niedrigsten war die Bilanzsumme von der Schwarzbrache x Pflug-Variante mit -68 kg N ha^{-1} , gefolgt von der *S. alba* x Pflug-Variante mit -66 kg N ha^{-1} . *V. sativa* x Grubber hatte die geringste negative N-Bilanz mit -6 kg N ha^{-1} (Tabelle 22).

Tabelle 19: N-Flächenbilanz von DFH1

<i>N-Eintrag/Austrag [kg/ha]</i>	BR x PF	BR x GR	SA x PF	SA x GR	VS x PF	VS x GR	VS x MS	VS x DS
N ₂ -Fixierung Zwischenfrucht ¹	0	0	0	0	180	180	180	180
Deposition (nur N) ²	13	13	13	13	13	13	13	13
Gesamt Einträge	13	13	13	13	193	193	193	193
<i>N-Austrag (vom Feld abtransportierte N-Aufnahme)</i>								
Haferkorn	72	63	55	54	90	85	82	80
Haferstroh	10	10	11	11	15	13	13	14
Gesamt Austräge	82	73	66	65	105	98	95	94
Summe	-69	-60	-53	-52	88	95	98	99

Die Varianten BR x MS und BR x DS sowie SA x MS und SA x DS waren durch zu hohes Beikrautaufkommen nicht in die Analysen einbezogen worden. Die TR-Varianten waren durch das zu schlechte Auflaufen von *T. resupinatum* nicht in die Analysen einbezogen worden.

Tabelle 20: N-Flächenbilanz von DFH2

<i>N-Eintrag/Austrag [kg/ha]</i>	BR x PF	BR x SC	SA x PF	SA x SC	TR x PF	TR x SC	VS x PF	VS x SC
N ₂ -Fixierung Zwischenfrucht ¹	0	0	0	0	29	29	106	106
Deposition (nur N) ²	13	13	13	13	13	13	13	13
Gesamt Einträge	13	13	13	13	42	42	119	119
<i>N-Austrag (vom Feld abtransportierte N-Aufnahme)</i>								
Haferkorn	72	42	73	50	82	54	85	92
Haferstroh	18	13	19	15	23	18	25	29
Gesamt Austräge	90	55	92	65	105	72	110	121
Summe	-77	-42	-79	-52	-63	-30	9	-2

Die MS- und DS-Varianten waren durch zu hohes Beikrautaufkommen nicht in die Analysen einbezogen worden.

¹ Nach Høgh-Jensen et al. (2004) und Amossé et al. (2014)

² Die Werte für die atmosphärische N-Deposition auf dem jeweiligen Standort wurden aus der interaktiven Karte des Umweltbundesamtes (2009) (<http://gis.uba.de/website/depo1/>) übernommen.

Tabelle 21: N-Flächenbilanz von Belm1

<i>N-Eintrag/Austrag [kg/ha]</i>	BR x PF	BR x GR	BR x FR	SA x PF	SA x GR	SA x FR	VS x PF	VS x GR	VS x FR
N ₂ -Fixierung Zwischenfrucht ¹	0	0	0	0	0	0	65	65	65
Deposition (nur N) ²	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Gesamt Einträge	21	21	21	21	21	21	86	86	86
<i>N-Austrag (vom Feld abtransportierte N-Aufnahme)</i>									
Haferkorn	64	41	49	70	52	37	87	66	61
Haferstroh	8	7	6	12	6	7	10	9	9
Gesamt Austräge	72	48	55	82	58	44	97	75	70
Summe	-51	-27	-34	-61	-37	-23	-11	11	16

Die TR-Varianten waren durch das zu schlechte Auflaufen von *T. resupinatum* nicht in die Analysen einbezogen worden.

Tabelle 22: N-Flächenbilanz von Belm2

<i>N-Eintrag/Austrag [kg/ha]</i>	BR x PF	BR x GR	BR x FR	SA x PF	SA x GR	SA x FR	TR x PF	TR x GR	TR x FR	VS x PF	VS x GR	VS x FR
N ₂ -Fixierung Zwischenfrucht ¹	0	0	0	0	0	0	20	20	20	45	45	45
Deposition (nur N) ²	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Gesamt Einträge	21	21	21	21	21	21	41	41	41	66	66	66
<i>N-Austrag (vom Feld abtransportierte N-Aufnahme)</i>												
Haferkorn	77	56	60	72	62	68	84	53	67	75	63	75
Haferstroh	12	12	11	15	11	11	15	10	13	15	9	11
Gesamt Austräge	89	68	71	87	73	79	99	63	80	90	72	86
Summe	-68	-47	-50	-66	-52	-58	-58	-22	-39	-24	-6	-20

¹ Nach Høgh-Jensen et al. (2004) und Amossé et al. (2014)

² Die Werte für die atmosphärische N-Deposition auf dem jeweiligen Standort wurden aus der interaktiven Karte des Umweltbundesamtes (2009) (<http://gis.uba.de/website/depo1/>) übernommen.

3.3.3 Beikrautaufkommen und Zusammensetzung der Population

3.3.3.1 Spätes Stadium der Zwischenfrüchte

Beikrautdeckungsgrad

Die Daten für den Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch **DFH1** waren nicht normalverteilt. Für die statistische Auswertung wurden die Daten log-transformiert. Es gab einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht (Tabelle 23). Der Beikrautdeckungsgrad war der in der *V. sativa*-Variante signifikant am niedrigsten und in der *T. resupinatum*-Variante signifikant am höchsten. In der *S. alba*-Variante war der Deckungsgrad auf mittlerem Niveau (Abbildung 16).

Auch im Versuch **DFH2** gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht (Tabelle 23). Wieder war der Beikrautdeckungsgrad in der *V. sativa*-Variante signifikant am niedrigsten. Es folgten die *S. alba*-Variante und die *T. resupinatum*-Variante mit einem jeweils signifikant höheren Beikrautdeckungsgrad. Signifikant am höchsten war der Beikrautdeckungsgrad in der Schwarzbrache-Variante. Insgesamt war der Beikrautdeckungsgrad wesentlich höher als in DFH1 (Abbildung 17).

Auch im Versuch **Belm2** gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht (Tabelle 23). Hier war der Beikrautdeckungsgrad in der *S. alba*-Variante signifikant am niedrigsten. In den anderen drei Varianten war er um ein mehrfaches höher als in der *S. alba*-Variante, dabei lag bei den drei Varianten ein ähnliches Niveau vor (Abbildung 18).

Tabelle 23: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad (DG), Artenanzahl (A), Äquität (E) und Shannon-Wiener Index (H') der Beikrautbonitur im späten Stadium der Zwischenfrüchte für den Faktor Zwischenfrucht (ZF)

Effekt	DFH1				DFH2				Belm2			
	DG	A	E	H'	DG	A	E	H'	DG	A	E	H'
ZF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,01	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	n.s.

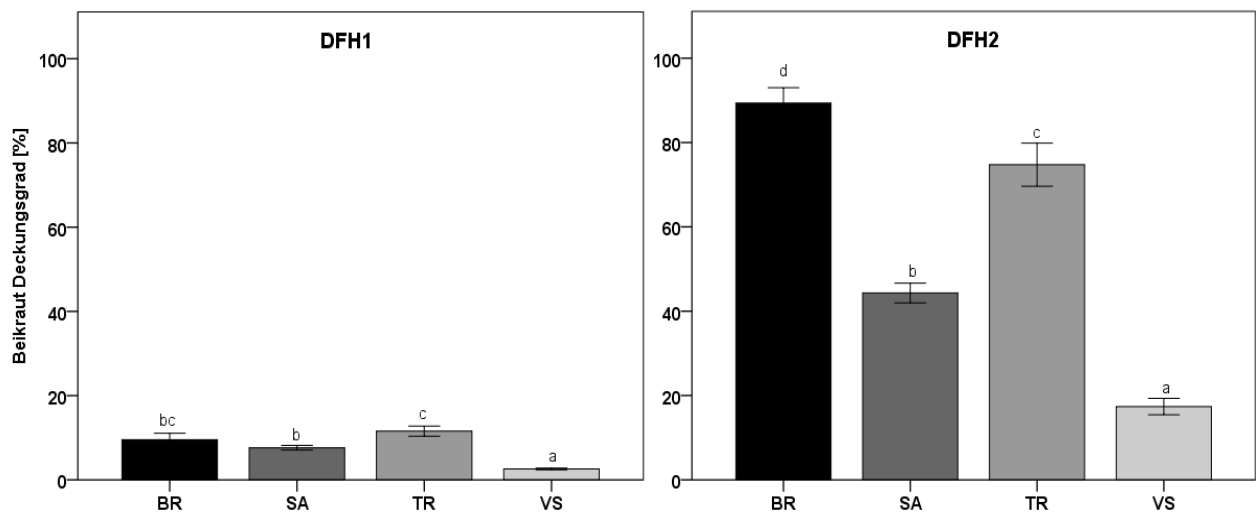


Abbildung 16 und 17: Deckungsgrad der Beikrautgesellschaft in % im späten Stadium der Zwischenfrüchte in den Versuchen DFH1 und DFH2

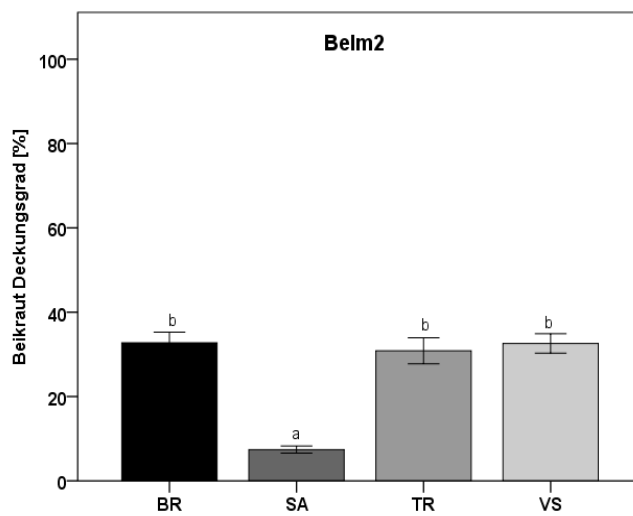


Abbildung 18: Deckungsgrad der Beikrautgesellschaft in % im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch Belm2

Zusammensetzung der Population

Im Versuch **DFH1** überwogen anteilmäßig das Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*), Kamillearten (*Matricaria* spp.) und die Gewöhnliche Vogelmiere (*Stellaria media*). Auffällig ist, dass in der Schwarzbrache-Variante der Anteil an *Matricaria* spp. höher ist als in den anderen Varianten, dagegen der Anteil an *Stellaria media* geringer (Abbildung 19).

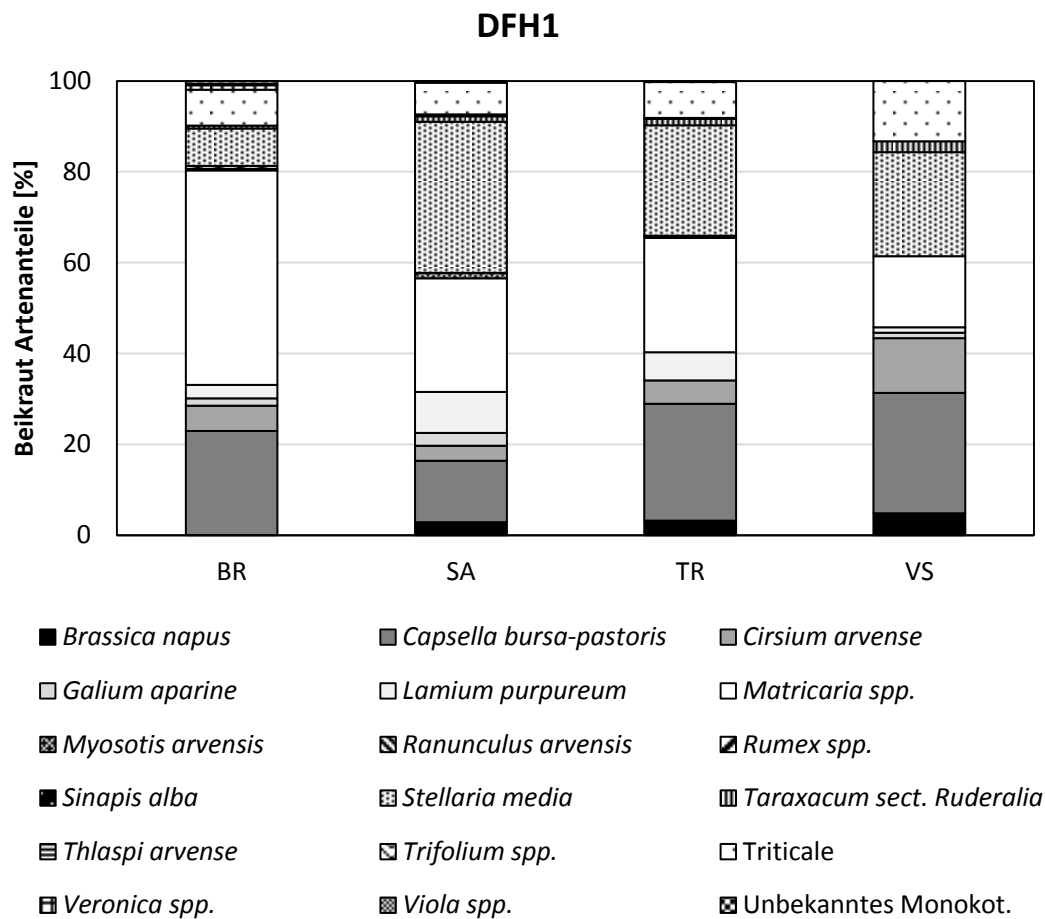


Abbildung 19: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch DFH1

Im Versuch **DFH2** überwog *Stellaria media* in der Zusammensetzung der Beikrautpopulation. Viele Beikräuter waren im Keimblattstadium und wurden als „unbekanntes Dikotyl“ zusammengefasst (Abbildung 20).

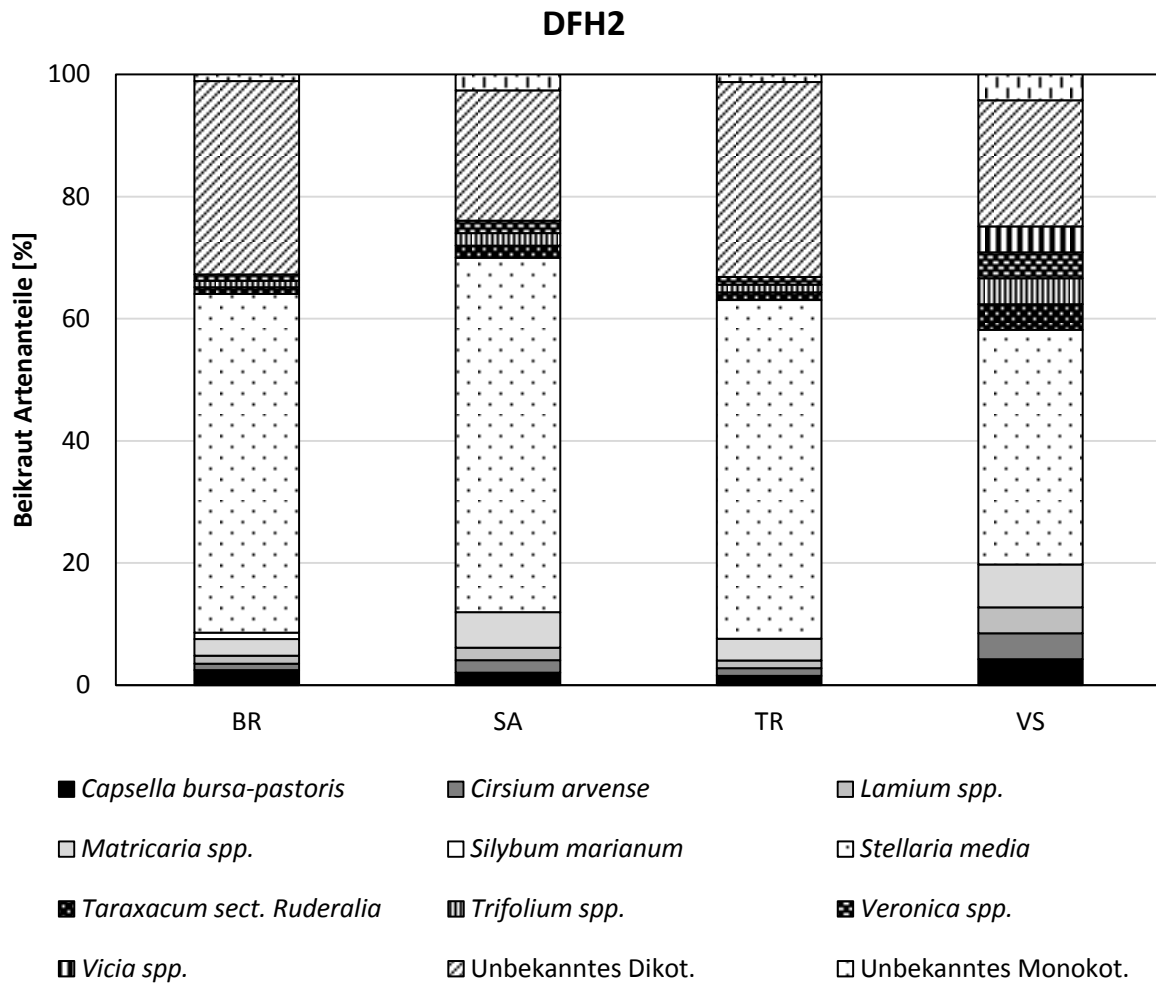


Abbildung 20: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch DFH2

Im Versuch **Belm2** war Ackerfrauenmantel (*Aphanes arvensis*) häufig anzutreffen, vor allem in der *S. alba*-Variante. Des Weiteren gab es viel Durchwuchs von der Vorfrucht Sommerweizen, allerdings nicht in der *S. alba*-Variante. Mohnarten (*Papaver* spp.) waren häufig zu finden; in der *S. alba*-Variante allerdings seltener als in den drei anderen Varianten. *Stellaria media* war weit verbreitet. Stiefmütterchenarten (*Viola* spp.) waren in der *S. alba*-Variante häufiger zu finden als in den anderen Varianten. Auch gab es in der *S. alba*-Variante mehr unbestimmbare Gräser (unbekanntes Monokotyl) als in den anderen Varianten (Abbildung 21).

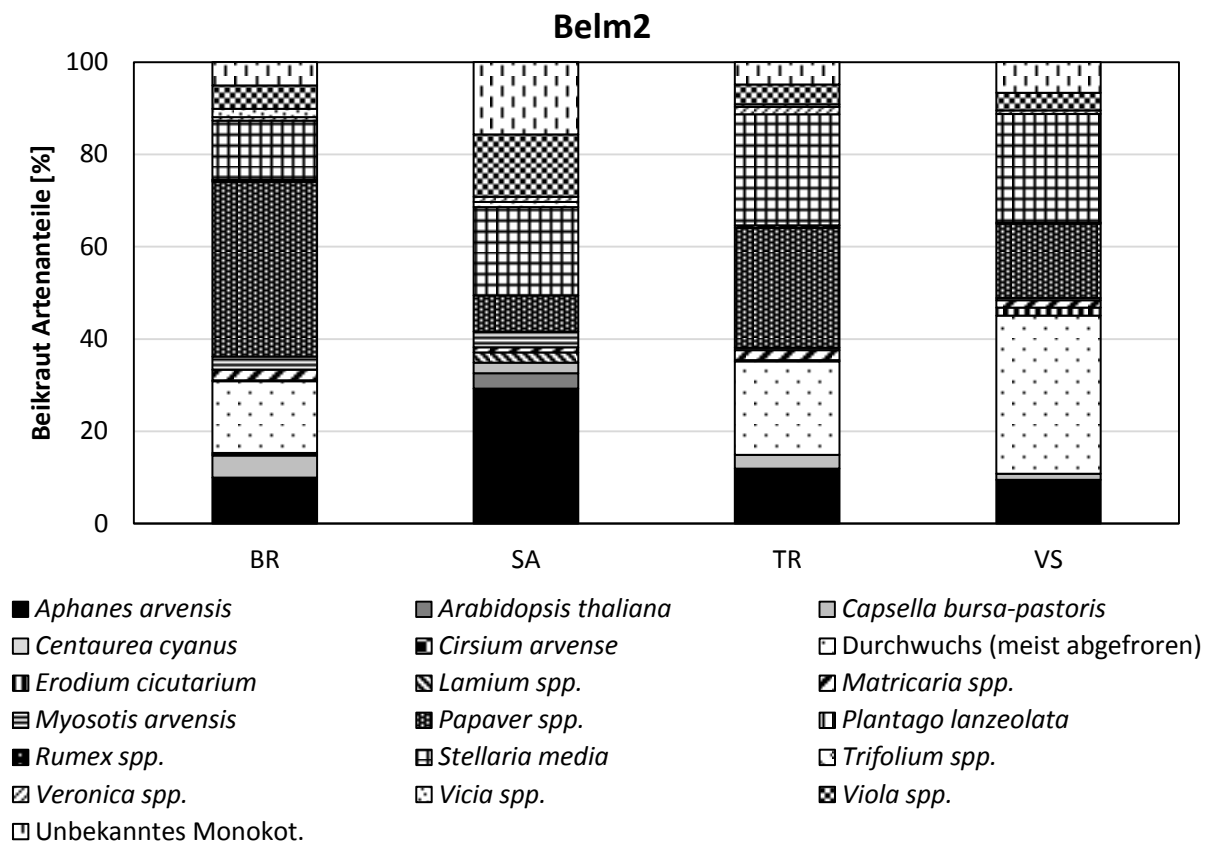


Abbildung 21: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch Belm2

Artenreichtum

Im Versuch **DFH1** gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht auf den Artenreichtum (Tabelle 23). In der *V. sativa*-Variante war die signifikant niedrigste Artenanzahl vorhanden. Die Artenzahl in den anderen Varianten war auf einem ungefähr doppelt so hohen Niveau, jedoch immer noch niedrig (Abbildung 22).

Im Versuch **DFH2** gab es ebenfalls einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht auf den Artenreichtum (Tabelle 23). Hier war die Artenanzahl insgesamt etwas höher als im Versuch DFH1; die Schwarzbrache-Variante hatte die signifikant höchste Artenanzahl und die *V. sativa*-Variante die signifikant niedrigste Artenanzahl (Abbildung 23).

Auch im Versuch **Belm2** gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht auf den Artenreichtum (Tabelle 23). Hier hatte die *S. alba*-Variante verglichen mit den drei anderen Varianten die signifikant niedrigste Artenanzahl (Abbildung 24).

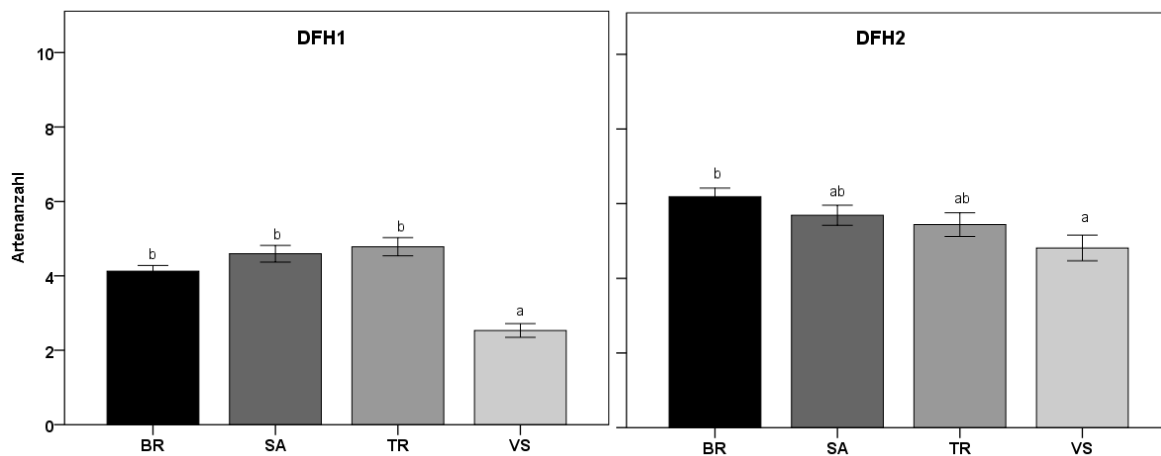


Abbildung 22 und 23: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte in den Versuchen DFH1 und DFH2

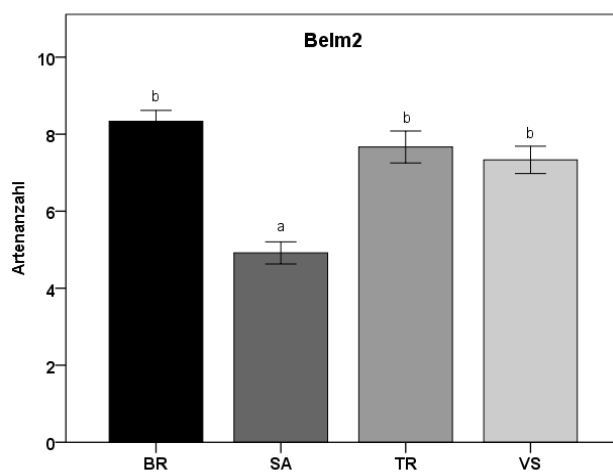


Abbildung 24: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte in dem Versuch Belm2

Äquität

In jedem der drei untersuchten Versuche hatte der Faktor Zwischenfrucht einen signifikanten Einfluss auf die Äquität der Beikrautgesellschaft (Tabelle 23).

Die Äquität der Beikrautgesellschaft im Versuch **DFH1** war signifikant am niedrigsten in der *T. resupinatum*-Variante und signifikant am höchsten in der *V. sativa*-Variante (Abbildung 25).

Im Versuch **DFH2** war die Äquität signifikant am niedrigsten in der Schwarzbrache-Variante und signifikant am höchsten in der *V. sativa*-Variante (Abbildung 26).

Im Versuch **Belm2** war die Äquität der Beikrautgesellschaft in der *S. alba*-Variante signifikant höher als in den drei anderen Varianten (Abbildung 27).

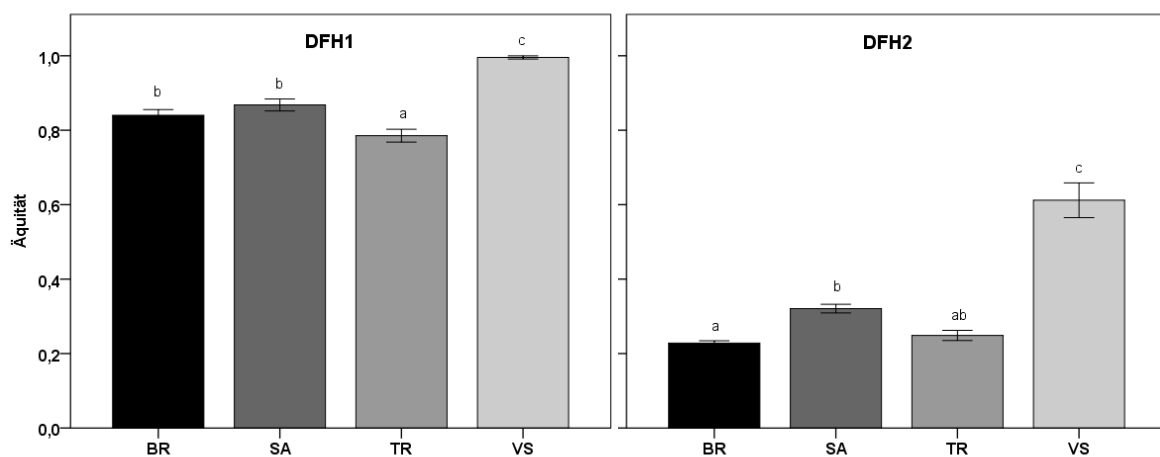


Abbildung 25 und 26: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte in den Versuchen DFH1 und DFH2

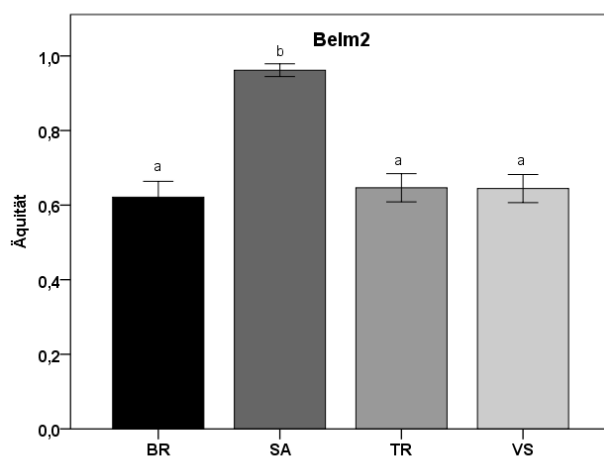


Abbildung 27: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch Belm2

Shannon-Wiener Index

Im Versuch **DFH1** hatte der Faktor Zwischenfrucht einen signifikanten Einfluss auf den Shannon-Wiener Index (H') (Tabelle 23). In der *V. sativa*-Variante war er signifikant niedriger als in den drei anderen Varianten (Abbildung 28).

Auch im Versuch **DFH2** hatte der Faktor Zwischenfrucht einen signifikanten Einfluss auf H' (Tabelle 23). Hier war H' in der *V. sativa*-Variante signifikant höher als in den anderen drei Varianten (Abbildung 29).

Im Versuch **Belm2** gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Die Werte für H' waren höher als in den Versuchen DFH1 und DFH2 (Tabelle 23 und Abbildung 30).

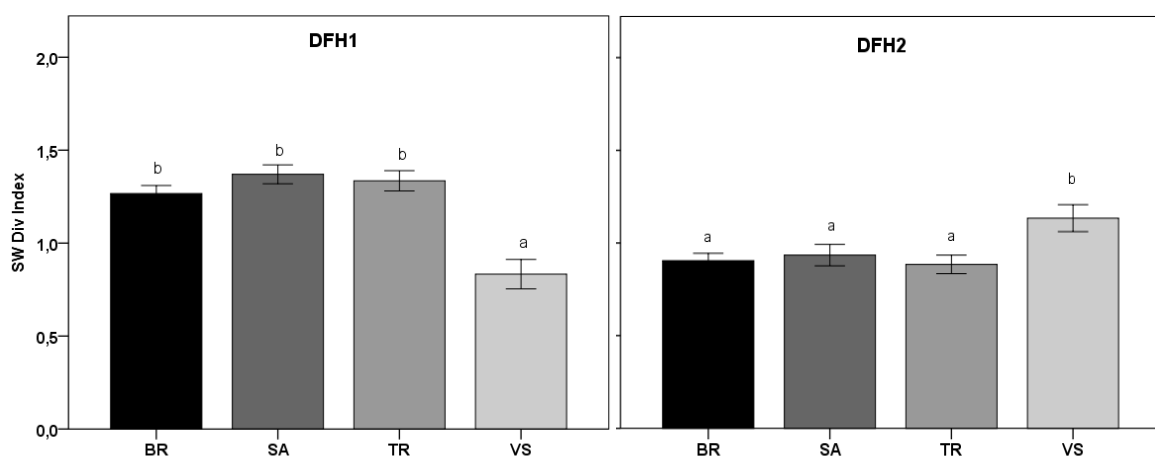


Abbildung 28 und 29: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaften im späten Stadium der Zwischenfrüchte in den Versuchen DFH1 und DFH2

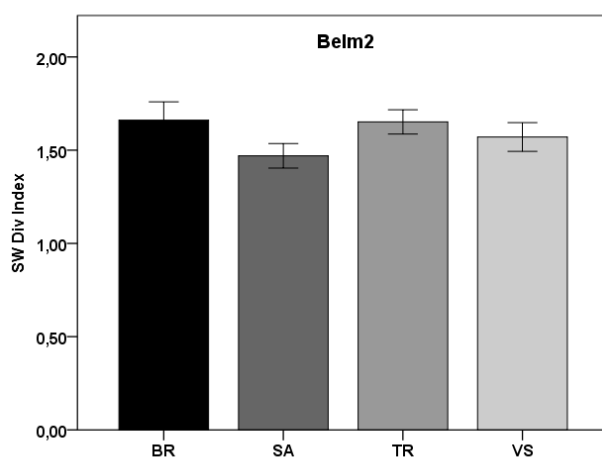


Abbildung 30: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte im Versuch Belm2

3.3.3.2 Frühes Stadium der Hauptfrucht Hafer

Beikrautdichte

Im Versuch **DFH1** gab es einen signifikanten Einfluss sowohl des Faktors Zwischenfrucht als auch des Faktors Bodenbearbeitung und eine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 24). In allen Mulch- und Direktsaatvarianten war die Beikrautdichte signifikant niedriger als in den in den anderen Bodenbearbeitungsvarianten (Ausnahme: *V. sativa* x Mulchsaat). Durch die Direktsaatmethode waren die existierenden Beikräuter nicht oder kaum in ihrer Entwicklung gestört worden und es waren keine oder nur wenig neue Beikrautsamen an die Oberfläche geholt worden. So gab es weniger, aber dafür umso größere Beikräuter in diesen Varianten. Signifikant die meisten Beikräuter gab es in der *S. alba* x Pflug-Variante (Abbildung 31).

Im Versuch **DFH2** gab es sehr viel Durchwuchs der Vorfrucht Winterweizen. Um ein Fortbestehen der Mulch- und Direktsaatparzellen zu ermöglichen, wurde jeweils eine Parzellenhälfte dieser Varianten abgeflammt. Im Folgenden sind immer die Ergebnisse der abgeflamten Parzellenhälften dargestellt. Es gab es keine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 24). Die Bodenbearbeitung hatte einen signifikanten Einfluss. Die Direktsaatvarianten hatten die signifikant niedrigste Beikrautdichte aufgrund des Abflammens. Die Pflugvarianten hatten eine mittlere Beikrautdichte. Die Scheibeneggevarianten hatten die signifikant höchste Beikrautdichte. Insgesamt war die Beikrautdichte um ein mehrfaches höher als in DFH1 (Abbildung 32).

Im Versuch **Belm2** gab es keine signifikante Wechselwirkung, aber sowohl von den Zwischenfrüchten als auch von der Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss (Tabelle 24). Nach *S. alba* gab es die höchste Beikrautdichte. Pflügen führte zu einer höheren Beikrautdichte als Grubbern oder Fräsen (Abbildung 33).

Tabelle 24: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdichte, Artenanzahl (A), Äquität (E) und Shannon-Wiener Index (H') der Beikrautbonitur im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	Dichte	DFH1			DFH2				Belm2			
		A	E	H'	Dichte	A	E	H'	Dichte	A	E	H'
ZF	0,003	0,016	n.s.	0,005	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,000	n.s.	n.s.	n.s.
BB	0,000	0,000	0,000	n.s.	0,000	0,015	n.s.	n.s.	0,048	0,001	n.s.	0,02
ZF*BB	0,011	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

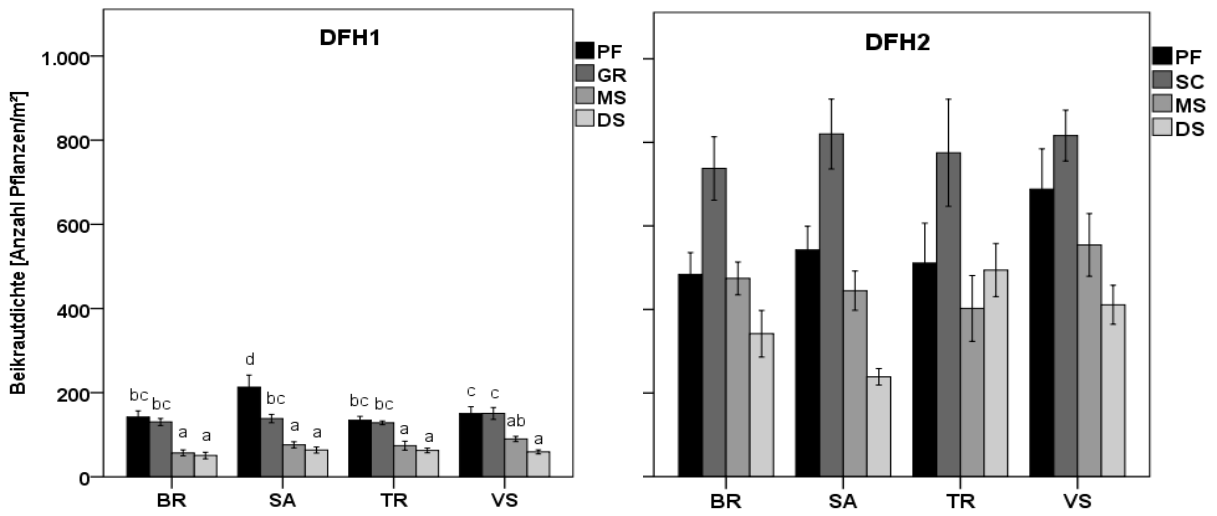


Abbildung 31 und 32: Beikrautdichte im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2

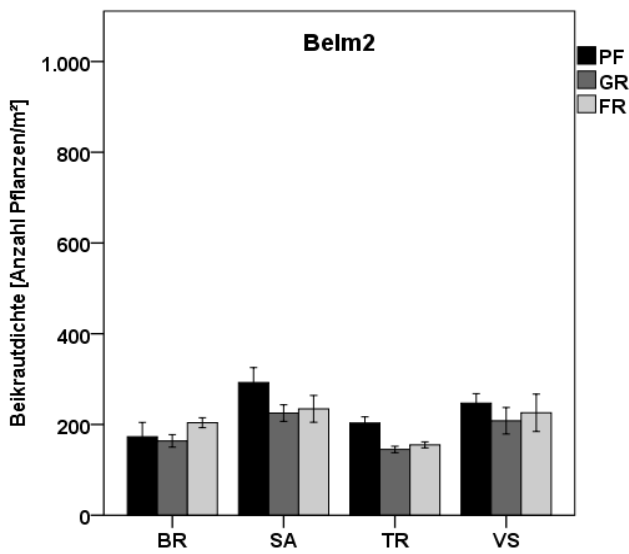


Abbildung 33: Beikrautdichte im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

Zusammensetzung der Population

Im Versuch **DFH1** gab es in den Mulch- und Direktsaatvarianten mehr Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*), mehr Kamillearten (*Matricaria* spp.) und mehr Gewöhnliche Vogelmiere (*Stellaria media*) als in den Pflug- und Grubbervarianten.

In den Pflug- und Grubbervarianten gab es dagegen etwas mehr Gänsefußarten (*Chenopodium* spp.), mehr Taubnesselarten (*Lamium* spp.), mehr Senfarten (*Sinapis* spp.) und mehr Ackerhellerkaut (*Thlaspi arvensis*) als in den Mulch- und Direktsaatvarianten.

In den reduzierten Varianten (= Mulch- und Direktsaat und Grubber) gab es mehr Klettenlabkraut (*Galium aparine*) als in den Pflugvarianten, in den Pflugvarianten mehr Gänsedisteln (*Sonchus* spp.) als in den reduzierten Varianten.

Die Zwischenfruchtvarianten unterschieden sich nur geringfügig. Die *V. sativa*-Varianten hatten bei *Stellaria media* und *Thlaspi arvensis* eine Gleichverteilung über die Bodenbearbeitungsvarianten hinweg im Gegensatz zu den anderen Zwischenfrucht- und Schwarzbrachevarianten (Abbildung 34).

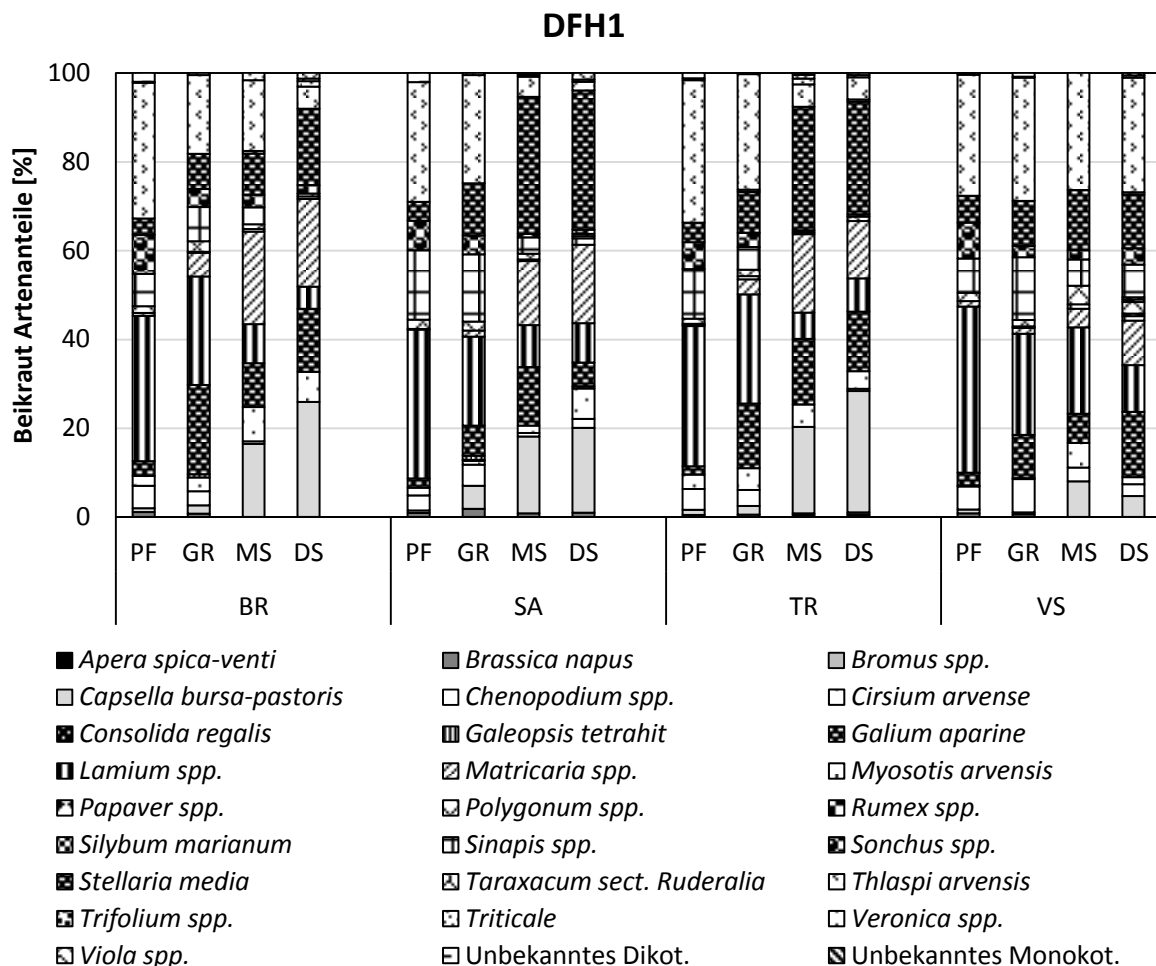


Abbildung 34: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch DFH1

Im Versuch **DFH2** gab es in den Pflug- und Scheibeneggevarianten mehr Gänsefußarten (*Chenopodium* spp.), tendenziell mehr Taubnesselarten (*Lamium* spp.) und der Anteil an unbestimmbaren dikotylen Arten (Unbekanntes Dikot.) war höher als in den Mulch- und Direktsaatvarianten. *Stellaria media* dominierte in nahezu jeder Variante. Nur in der *S. alba* x Direktsaatvariante gab es mehr Durchwuchs (*Triticum aestivum*) als *Stellaria media*. Generell war der Anteil an *Triticum aestivum* in den Mulch- und Direktsaatvarianten höher als in den Pflug- und Scheibeneggevarianten, obwohl erstere abgeflammt worden waren (Abbildung 35).

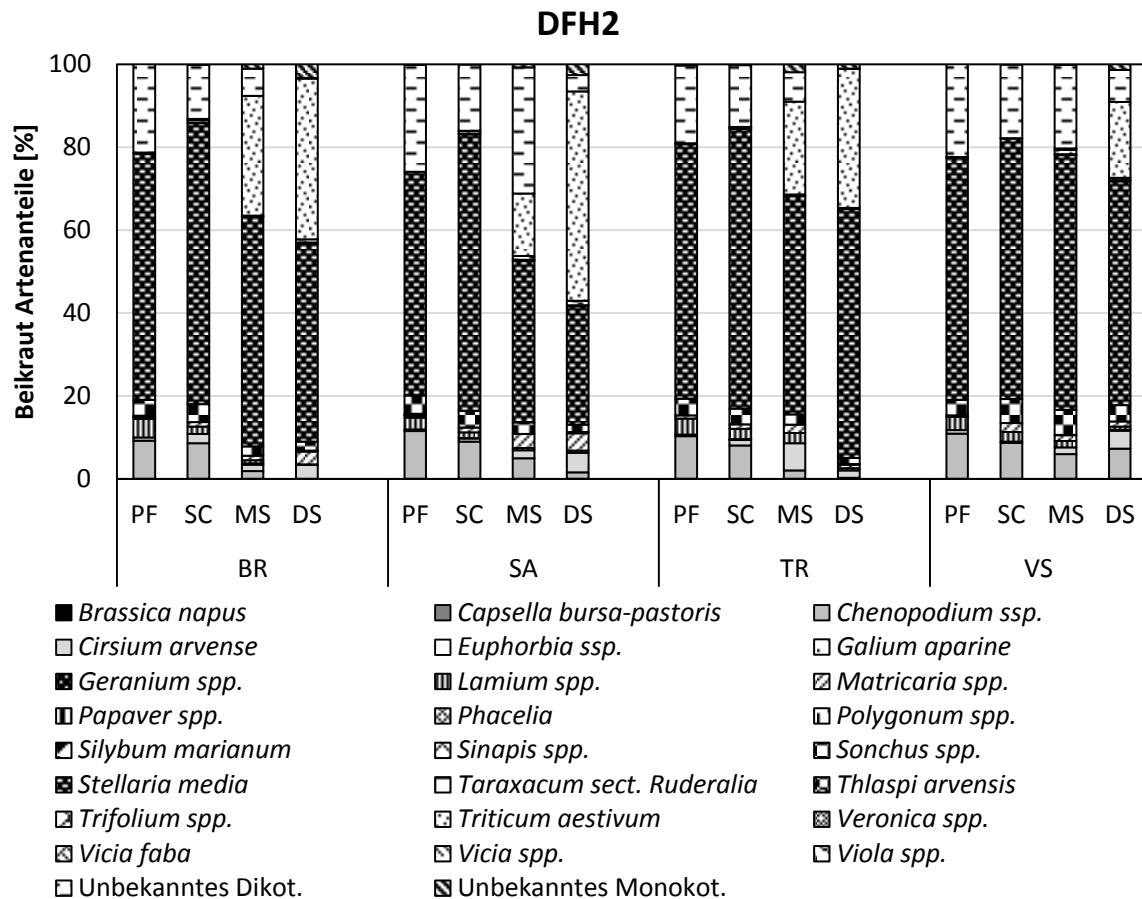


Abbildung 35: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch DFH2

Im Versuch **Belm2** gab es im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer viele unbestimmbare dikotyle Arten, da sich viele Beikräuter im Keimblattstadium befanden. Der Anteil dieser unbekannt dikotylen Arten war in den Pflugvarianten noch etwas höher als in den reduzierten Varianten (= Grubber und Fräse).

In den reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten gab es mehr Gewöhnlichen Reiherschnabel (*Erodium cicutarium*) und mehr *Stellaria media* als in den Pflugvarianten (Abbildung 36).

Hinsichtlich der Zwischenfrüchte fällt auf, dass in den *S. alba*-Varianten die Unterschiede der Bodenbearbeitungen kaum auffallen, d.h. alle drei Bodenbearbeitungsvarianten sind in dieser Zwischenfruchtvariante fast identisch hinsichtlich der Zusammensetzung der Beikrautpopulation (Abbildung 36).

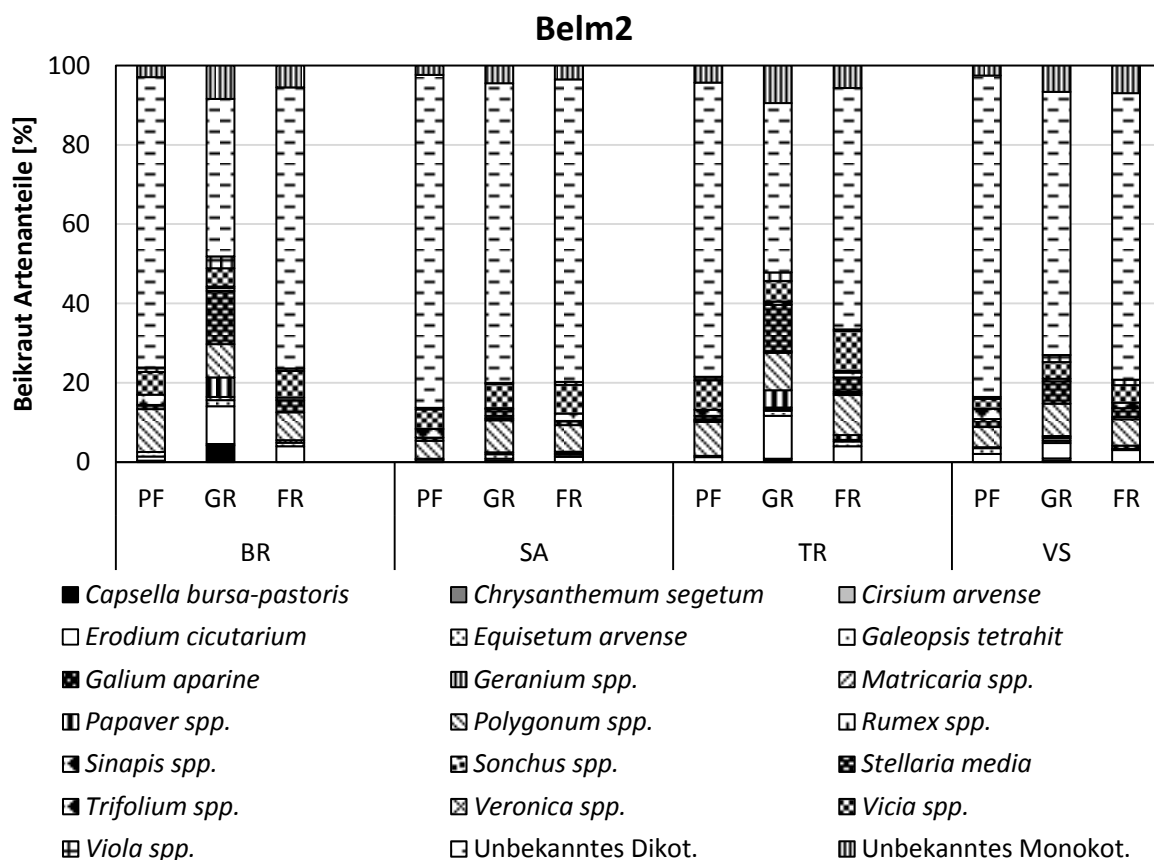


Abbildung 36: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

Artenreichtum

Im Versuch **DFH1** gab es einen signifikanten Einfluss sowohl von der Zwischenfrucht als auch von der Bodenbearbeitung auf die Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer (Tabelle 24). Grubbern führte nach jeder Zwischenfrucht zu einer höheren Artenzahl als Pflügen. Nach Schwarzbrache, *S. alba* und *T. resupinatum* führten Mulch- und Direktsaat zu einer niedrigeren Artenzahl als Grubbern und Pflügen. Nach *V. sativa* jedoch gab es bei allen vier Bodenbearbeitungsvarianten eine ähnlich hohe Artenanzahl (Abbildung 37).

Im Versuch **DFH2** gab es einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Artenanzahl der Beikrautgesellschaft (Tabelle 24). Die Pflugvarianten hatten die signifikant niedrigste Artenanzahl (Abbildung 38).

Im Versuch **Belm2** gab es ebenfalls einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung (Tabelle 24). Die Pflug- und Fräsevarianten hatten eine signifikant niedrigere Artenanzahl als die Grubbervarianten (Abbildung 39).

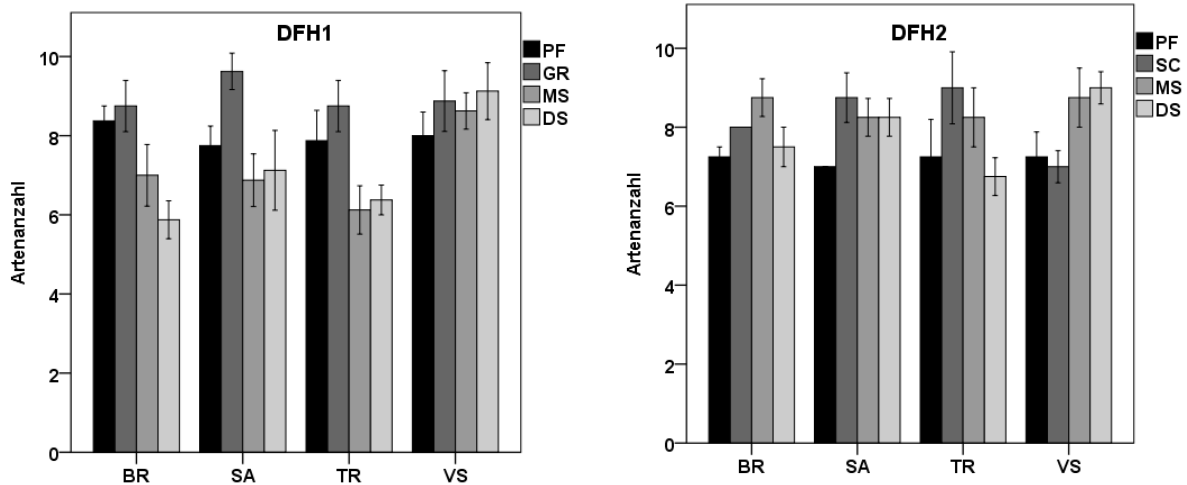


Abbildung 37 und 38: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2

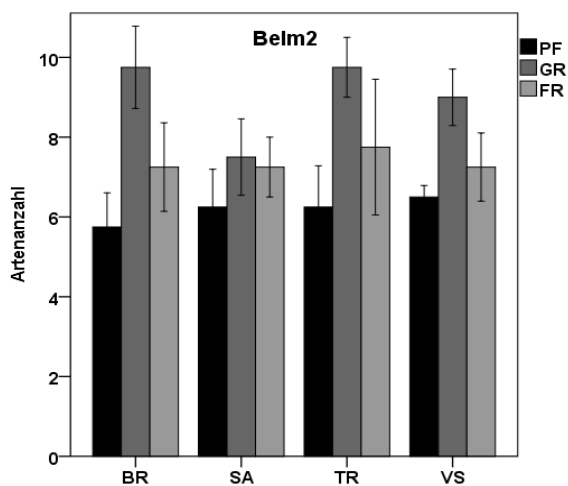


Abbildung 39: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

Äquität

Im Versuch **DFH1** gab es einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Äquität der Beikrautgesellschaft (Tabelle 24). Pflügen und Grubbern führte zu einer geringeren Äquität als Mulch- und Direktsaat (Abbildung 40).

Im Versuch **DFH2** gab es keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 24). Die Werte für die Äquität waren auf einem niedrigeren Niveau als im Versuch DFH1 (Abbildung 41).

Auch im Versuch **Belm2** gab es keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 24). Die Werte für die Äquität waren höher als im Versuch DFH2, aber niedriger als im Versuch DFH1 (Abbildung 42).

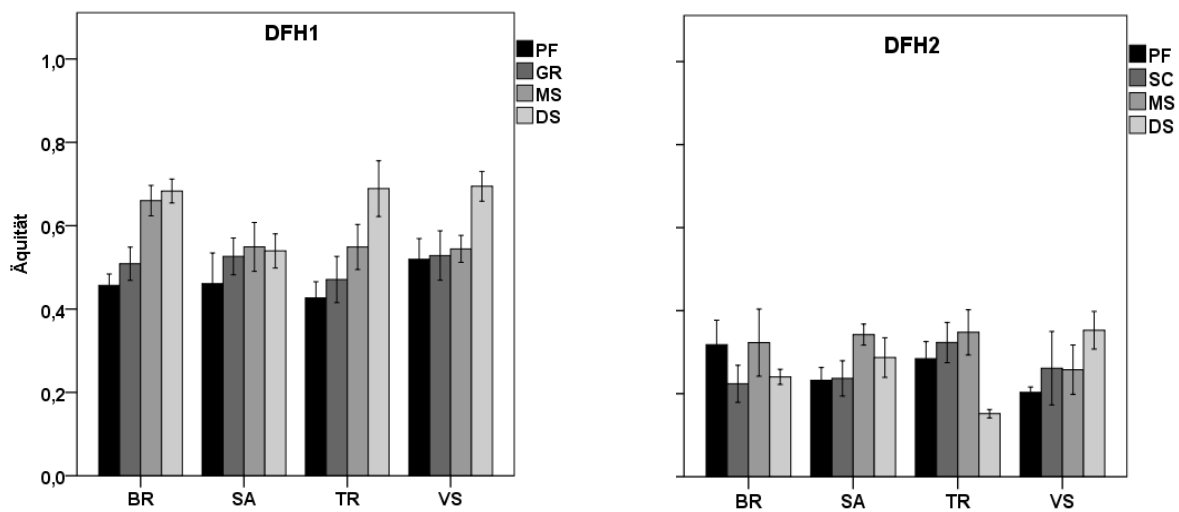


Abbildung 40 und 41: Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2

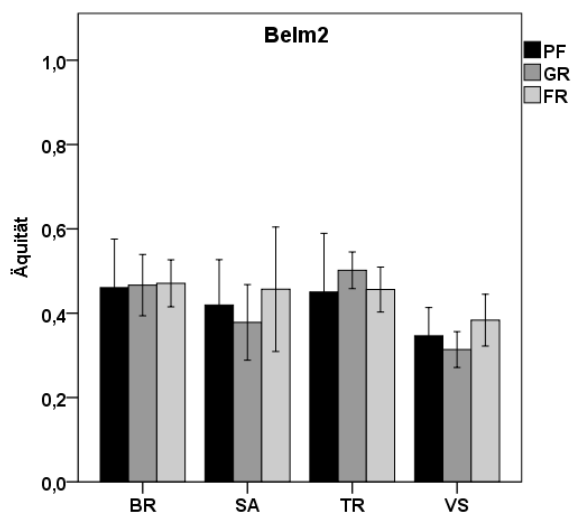


Abbildung 42: Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

Shannon-Wiener Index

Im Versuch **DFH1** hatte der Faktor Zwischenfrucht einen signifikanten Einfluss auf den Shannon-Wiener Index. *T. resupinatum* und Schwarzbrache hatten den signifikant niedrigsten Wert und *V. sativa* den höchsten. Es gab keine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 24 und Abbildung 43).

Im Versuch **DFH2** gab es keine signifikanten Effekte (Tabelle 24). Die Werte schwankten stark zwischen den verschiedenen Varianten (Abbildung 44).

Im Versuch **Belm2** gab es einen signifikanten Effekt der Bodenbearbeitung. Die Pflugvarianten hatten den signifikant niedrigsten Wert und die Grubbertvarianten den höchsten. Es gab keine weiteren signifikanten Effekte (Tabelle 24 und Abbildung 45).

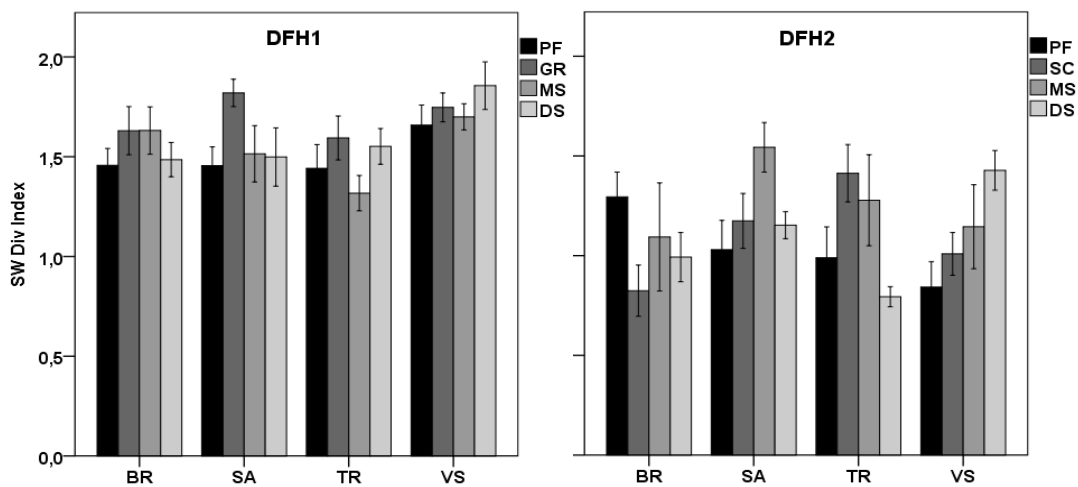


Abbildung 43 und 44: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2

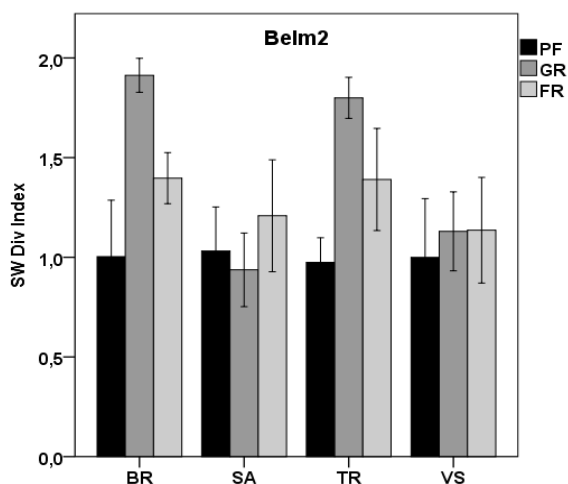


Abbildung 45: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

3.3.3.3 Spätes Stadium der Hauptfrucht Hafer

Beikrautdeckungsgrad

Die Daten für den Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer für den Versuch **DFH1** waren nicht normalverteilt. Für die Varianzanalyse wurden log-transformierte Daten verwendet. Es gab einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung (Tabelle 25). Die Pflug-Varianten hatten nach allen Zwischenfrüchten und der Schwarzbrache den signifikant niedrigsten Beikrautdeckungsgrad (Abbildung 46). Die Mulch- und Direktsaatvarianten nach Schwarzbrache, *S. alba* und *T. resupinatum* hatten durch zu hohen Beikrautdruck aufgegeben werden müssen. Die Mulch- und Direktsaatvarianten nach *V. sativa* hatten beibehalten werden können. Der Beikrautdeckungsgrad nahm in den *V. sativa*-Varianten mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität zu, war aber auch in der Direktsaatvariante nur auf dem Niveau der Grubbervarianten von Schwarzbrache und *T. resupinatum* (Abbildung 46).

Im Versuch **DFH2** gab es einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Beikrautdeckungsgrad (Tabelle 25). Die Pflugvarianten hatten einen signifikant niedrigeren Beikrautdeckungsgrad als die Scheibeneggevarianten. Das Beikrautauflkommen war insgesamt wesentlich höher als im Versuch DFH1. Alle Mulch- und Direktsaatvarianten hatten aufgegeben werden müssen (Abbildung 47).

Im Versuch **Belm2** gab es ebenfalls einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung (Tabelle 25). Die Pflugvarianten hatten den signifikant niedrigsten Beikrautdeckungsgrad und die Grubbervarianten den höchsten. Die Fräsevarianten wiesen einen mittleren Beikrautdeckungsgrad auf (Abbildung 48).

Tabelle 25: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad (DG), Beikrautbiomasse (Biom.), Artenanzahl (A), Äquität (E) und Shannon-Wiener Index (H') der Beikrautbonitur im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	DFH1					DFH2				
	DG	Biom.	A	E	H'	DG	Biom.	A	E	H'
ZF	n.s.	n.s.	0,031	n.s.	0,014	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BB	0,001	0,016	n.s.	n.s.	0,024	0,000	0,000	0,000	n.s.	0,011
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,023	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Effekt	Belm2				
	DG	Biom.	A	E	H'
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BB	0,002	0,007	n.s.	n.s.	n.s.
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

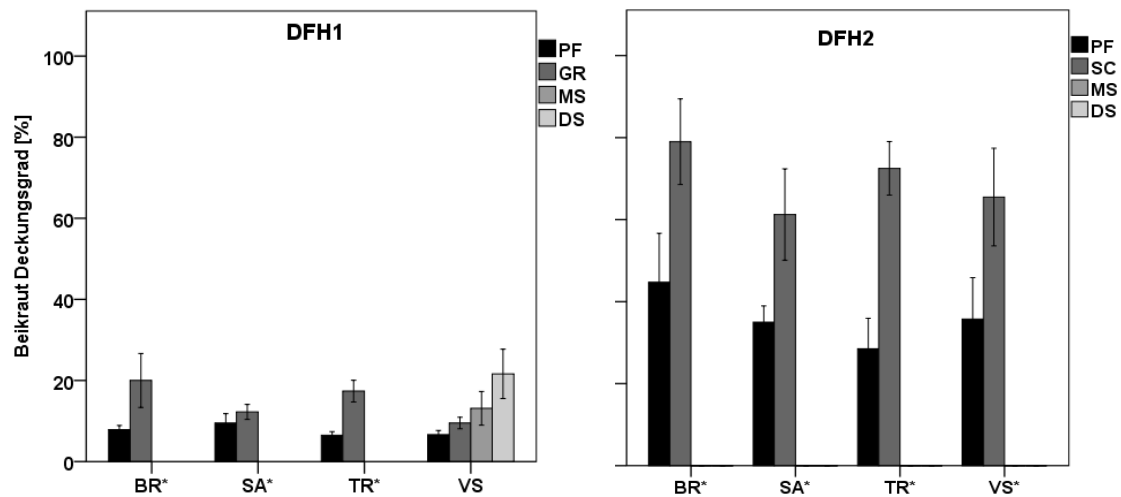


Abbildung 46 und 47: Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2

*Mulch- und Direktsaatvarianten waren durch zu hohes Beikrautaukommen nicht in die Analysen einbezogen worden

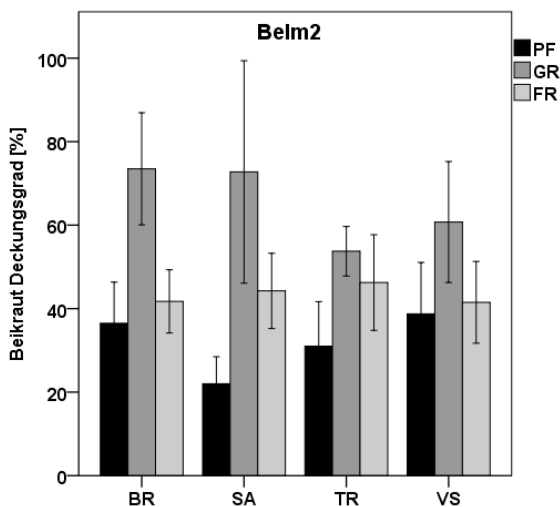


Abbildung 48: Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

Beikrautbiomasse

Die Daten der Beikrautbiomasse im Versuch **DFH1** waren nicht normalverteilt. Für die Varianzanalyse wurden log-transformierte Daten verwendet. Die Bodenbearbeitung hatte einen signifikanten Einfluss (Tabelle 25). Die Pflugvarianten hatten in jeder Zwischenfruchtvariante eine signifikant geringere Beikrautbiomasse als die Grubbervarianten. Die Beikrautbiomasse in der *V. sativa* x Mulchsaatvariante war auf einem ähnlichen Niveau wie die Grubbervarianten. Die *V. sativa* x Direktsaatvariante wies eine deutlich höhere Beikrautbiomasse auf (Abbildung 49).

Auch im Versuch **DFH2** gab es einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung (Tabelle 25). In den Pflugvarianten der Schwarzbrache-, *S. alba*- und *T. resupinatum*-Parzellen gab es eine niedrigere Beikrautbiomasse als in den Scheibeneggevarianten. Bei *V. sativa* hingegen gab es keinen deutlichen Unterschied in der Beikrautbiomasse zwischen der Pflug- und Scheibeneggevariante (Abbildung 50).

Im Versuch **Belm2** gab es ebenfalls einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung (Tabelle 25). In den Pflugvarianten gab es eine signifikant niedrigere Beikrautbiomasse als in den Fräse- und Grubbervarianten (Abbildung 51).

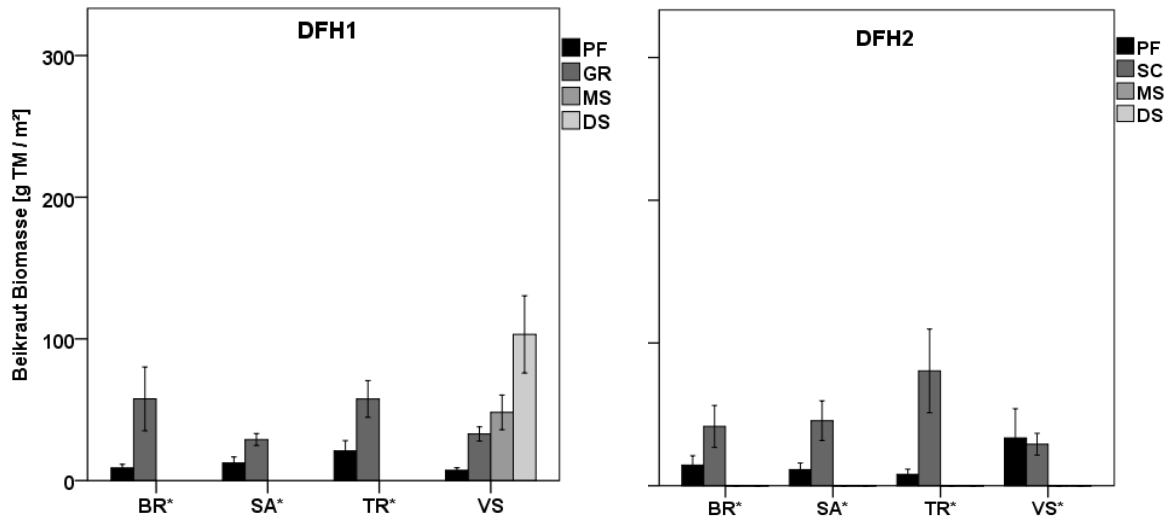


Abbildung 49 und 50: Beikrautbiomasse im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2

*Mulch- und Direktsaatvarianten waren durch zu hohes Beikrautaukommen nicht in die Analysen einbezogen worden

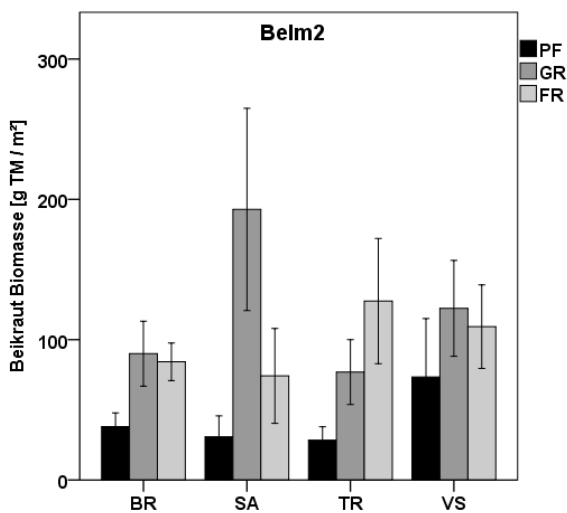


Abbildung 51: Beikrautbiomasse im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

Zusammensetzung der Population

Im Versuch **DFH1** gab es keine eindeutigen Trends bezüglich der Zusammensetzung der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer. Tendenziell war in den reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten *Matricaria* spp. stärker vertreten. In den Pflugvarianten waren *Lamium* spp., *Sinapis* spp. und *Sonchus* spp. etwas stärker vertreten als in den reduzierten Varianten (Abbildung 52).

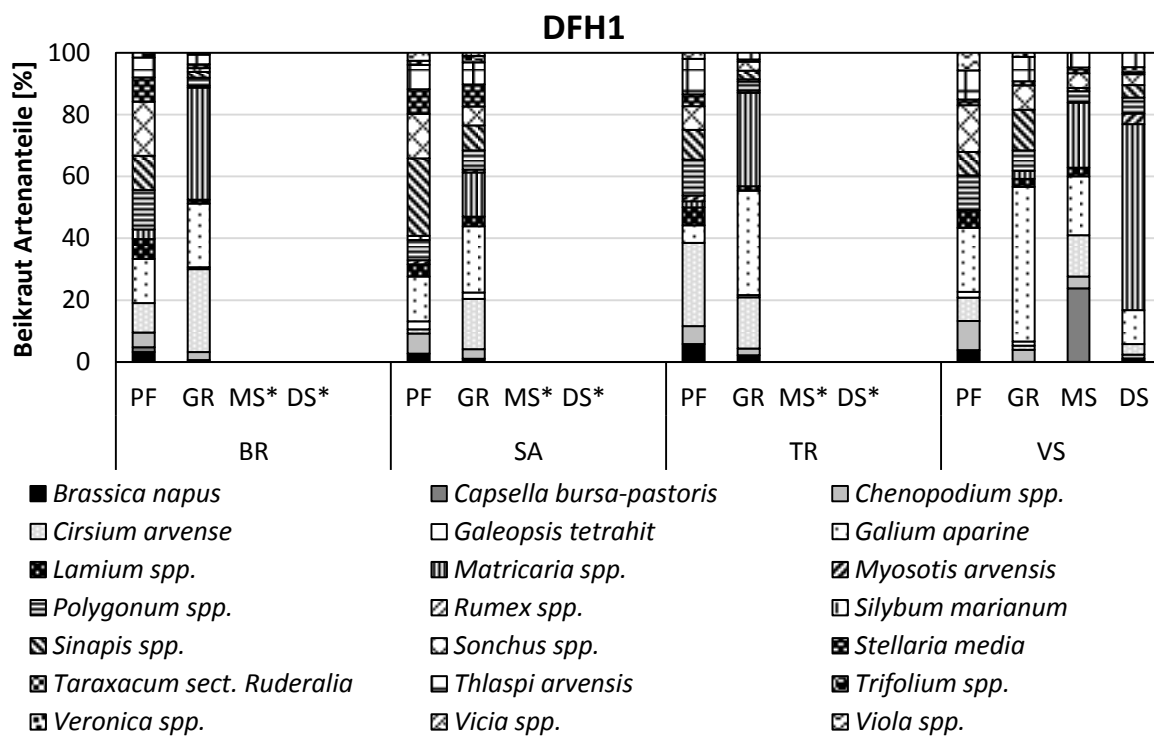


Abbildung 52: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch DFH1

*Varianten waren durch zu hohes Beikrautauftreten nicht in die Analysen einbezogen worden

Im Versuch **DFH2** trat Windhalm (*Apera spica-venti*) nur in den Scheibeneggevarianten, nicht aber in den Pflugvarianten auf. Ferner gab es in den Scheibeneggevarianten mehr *Matricaria* spp. als in den Pflugvarianten. Die Unterschiede in der Zusammensetzung der Beikrautpopulation waren aber zwischen den verschiedenen Varianten nicht sehr stark ausgeprägt (Abbildung 53).

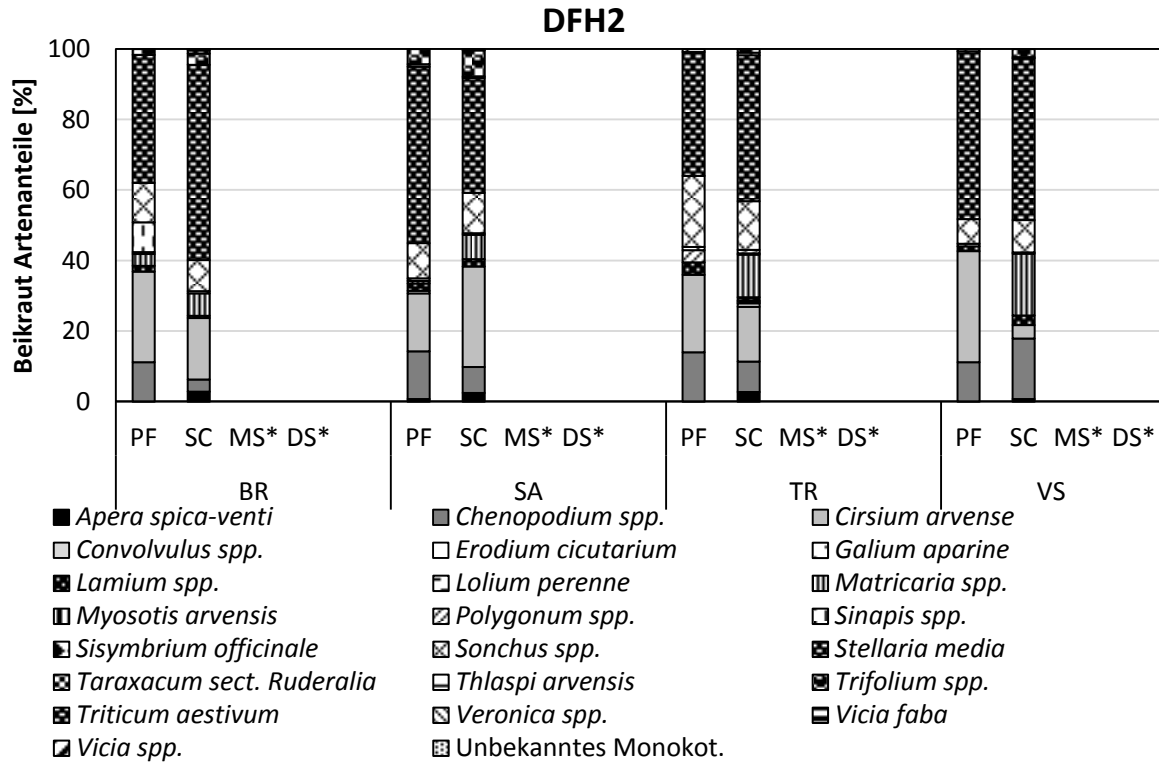


Abbildung 53: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch DFH2

*Varianten waren durch zu hohes Beikrautauftreten nicht in die Analysen einbezogen worden

Im Versuch **Belm2** gab es Effekte der Zwischenfrüchte auf die Zusammensetzung der Beikrautpopulation. So gab es in den drei Zwischenfruchtvarianten mehr Mohnarten (*Papaver* spp.) als in der Schwarzbrachevariante. In der Schwarzbrachevariante gab es im Gegensatz zu den drei Zwischenfruchtvarianten in jeder Bodenbearbeitung Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*). Ebenso kam *Stellaria media* in der Schwarzbrachevariante in jeder Bodenbearbeitung vor; in den drei Zwischenfruchtvarianten aber hauptsächlich in den reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten (Abbildung 54).

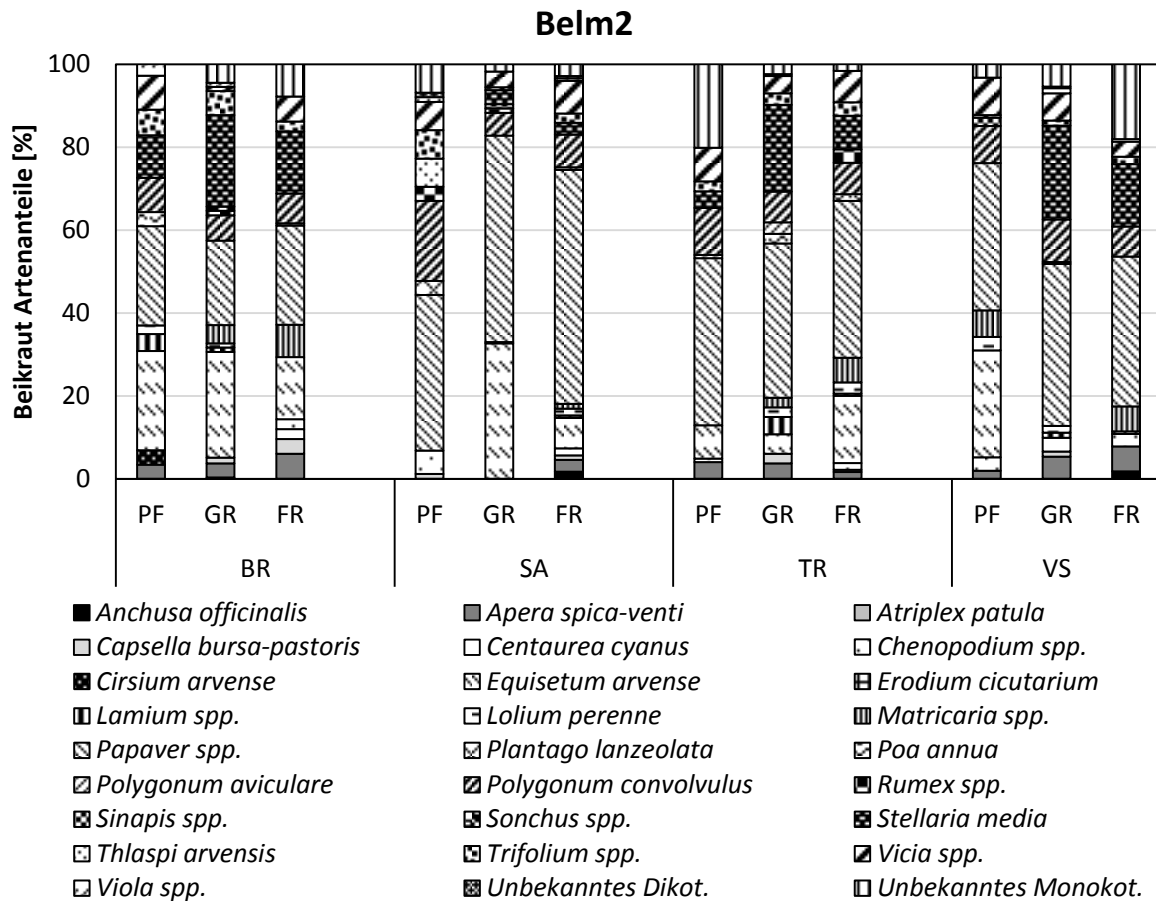


Abbildung 54: Die Zusammensetzung der Beikrautpopulation im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

Artenreichtum

Im Versuch **DFH1** gab es einen signifikanten Einfluss der Zwischenfrucht auf den Artenreichtum der Beikrautgesellschaft (Tabelle 25). Die *V. sativa*- und *T. resupinatum*-Varianten hatten eine signifikant niedrigere Artenanzahl als die *S. alba*-Varianten (Abbildung 55).

Im Versuch **DFH2** hatte die Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss (Tabelle 25). Die Pflugvarianten hatten eine signifikant niedrigere Artenanzahl als die Scheibeneggevarianten (Abbildung 56).

Im Versuch **Belm2** gab es keine signifikanten Effekte (Tabelle 25 und Abbildung 57).

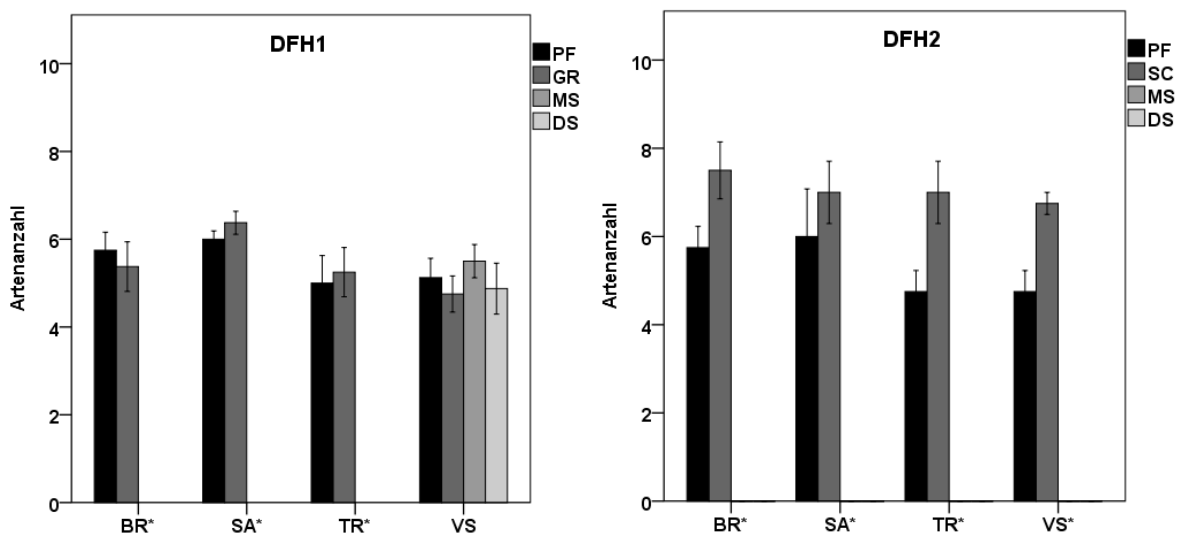


Abbildung 55 und 56: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2

*Mulch- und Direktsaatvarianten waren durch zu hohes Beikrautaukommen nicht in die Analysen einbezogen worden

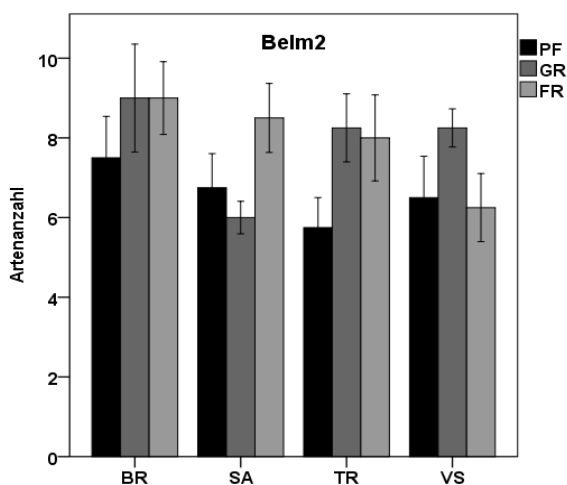


Abbildung 57: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im den Versuch Belm2

Äquität

Im Versuch **DFH1** gab es keine signifikanten Effekte auf die Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer (Tabelle 25). Die *T. resupinatum* x Grubber-Variante hatte den niedrigsten Wert. Alle Pflugvarianten hatten die höchsten Werte (Abbildung 58).

Im Versuch **DFH2** gab es ebenfalls keine signifikanten Effekte (Tabelle 25). Die Werte sind mit Ausnahme der *T. resupinatum* x Pflug-Variante etwa auf dem Niveau der niedrigsten Variante des Versuchs DFH1 (Abbildung 59).

Im Versuch **Belm2** gab es ebenfalls keine signifikanten Effekte (Tabelle 25 und Abbildung 60).

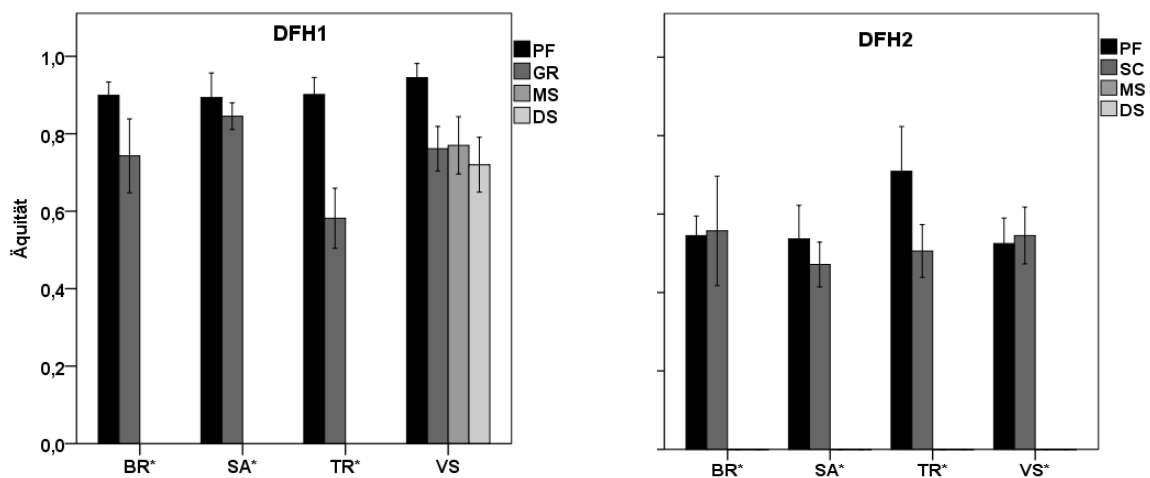


Abbildung 58 und 59: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2

*Mulch- und Direktsaatvarianten waren durch zu hohes Beikrautauflaufen nicht in die Analysen einbezogen worden

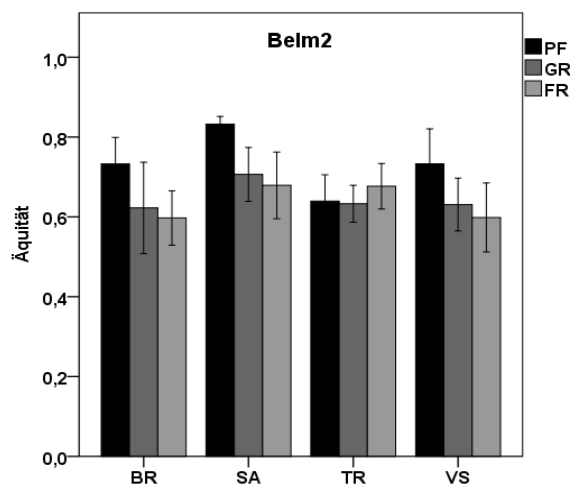


Abbildung 60: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

Shannon-Wiener Index

Im Versuch **DFH1** gab es auf den Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft einen signifikanten Einfluss sowohl der Zwischenfrucht als auch der Bodenbearbeitung und es gab eine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 25). Grubbern nach *T. resupinatum* führte zum signifikant niedrigsten Shannon-Wiener Index, Grubbern nach *S. alba*-Varianten zum Shannon-Wiener Index in der höchsten Kategorie (Abbildung 61).

Im Versuch **DFH2** gab es einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung (Tabelle 25). Die Pflugvarianten hatten einen signifikant niedrigeren Wert als die Scheibeneggevarianten (Abbildung 62). Es gab keine signifikante Wechselwirkung.

Im Versuch **Belm2** gab es keine signifikanten Effekte (Tabelle 25 und Abbildung 63).

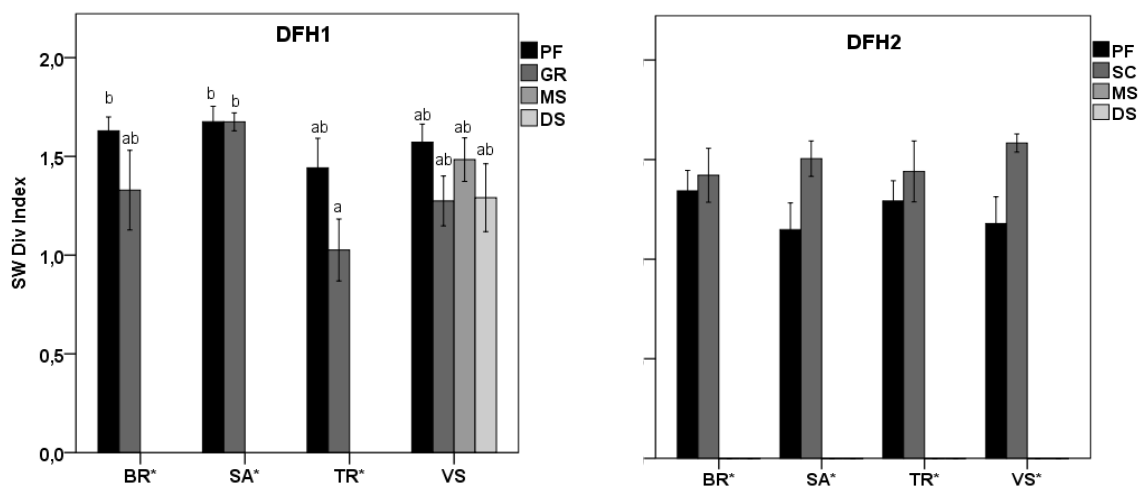


Abbildung 61 und 62: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer in den Versuchen DFH1 und DFH2

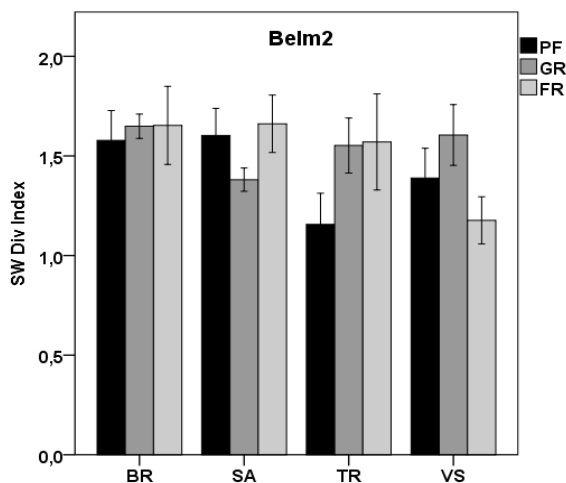


Abbildung 63: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im Versuch Belm2

3.3.4 Hauptfrucht Hafer

3.3.4.1 Feldaufgang

Im Versuch **DFH1** gab es einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Feldaufgang des Hafers. Grubbern führte zum niedrigsten Feldaufgang nach allen Zwischenfrüchten. Am deutlichsten war der Unterschied zu den anderen Bodenbearbeitungsvarianten nach *S. alba* und *V. sativa* (Abbildung 64 und Tabelle 26).

Im Versuch **DFH2** gab es einen signifikanten Einfluss sowohl der Zwischenfrucht als auch der Bodenbearbeitung (Tabelle 26). Es kam in der *S. alba* x Mulchsaat-Variante zum niedrigsten Feldaufgang und in der *V. sativa* x Scheibenegge-Variante zum höchsten Feldaufgang (Abbildung 65). Das Abflammen in den Mulch- und Direktsaatvarianten führte zu einem geringerem Feldaufgang in diesen Parzellen (Abbildung 66). Hierdurch wurde der Zwischenfruchteffekt überdeckt (Tabelle 26).

Im Versuch **Belm1** gab es einen signifikanten Einfluss der Zwischenfrucht (Tabelle 26). *S. alba* führte zum niedrigsten und *T. resupinatum* zum höchsten Feldaufgang des Hafers (Abbildung 67).

Im Versuch **Belm2** gab es keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 26). Ein sehr lückiger Feldaufgang führte zu einer niedrigen Anzahl Pflanzen pro Quadratmeter (Abbildung 68).

Tabelle 26: Signifikanztabelle der Varianzanalyse vom Feldaufgang der Hauptfrucht Hafer für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	Feldaufgang			Belm1	Belm2
	DFH1	DFH2	DFH2 abgefl.		
ZF	n.s.	0,39	n.s.	0,002	n.s.
BB	0,012	0,23	0,000	n.s.	n.s.
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

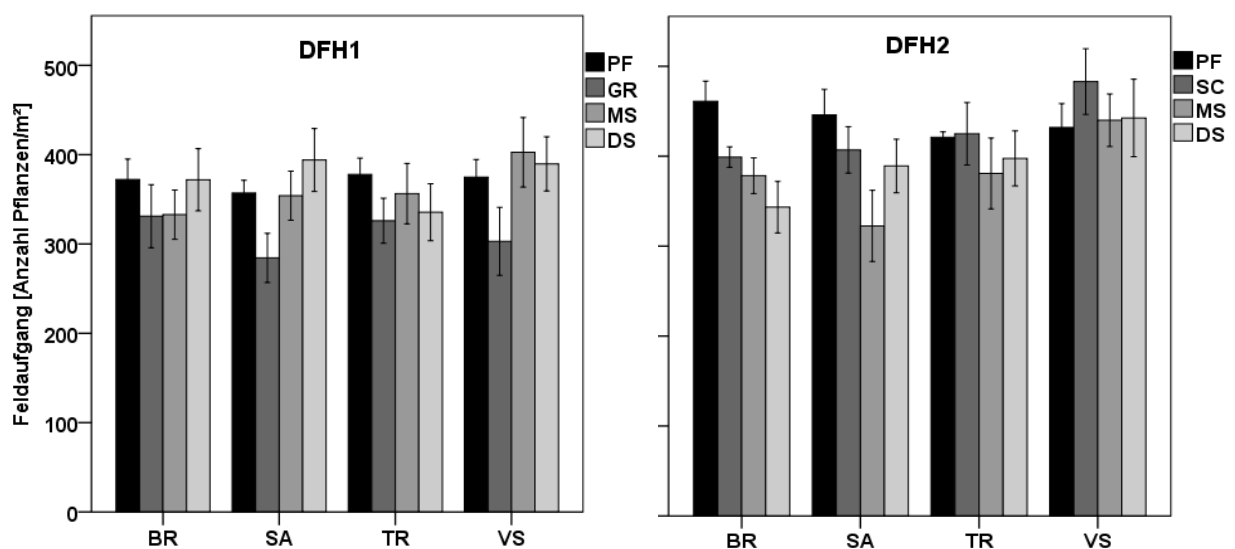


Abbildung 64 und 65: Feldaufgang in den Versuchen DFH1 und DFH2

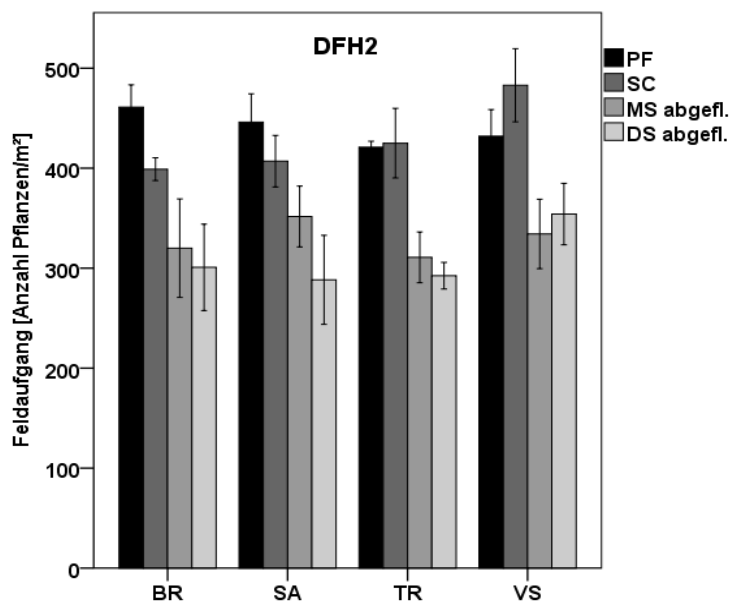


Abbildung 66: Feldaufgang im Versuch DFH2 auf dem abgeflamten Teil der Parzelle

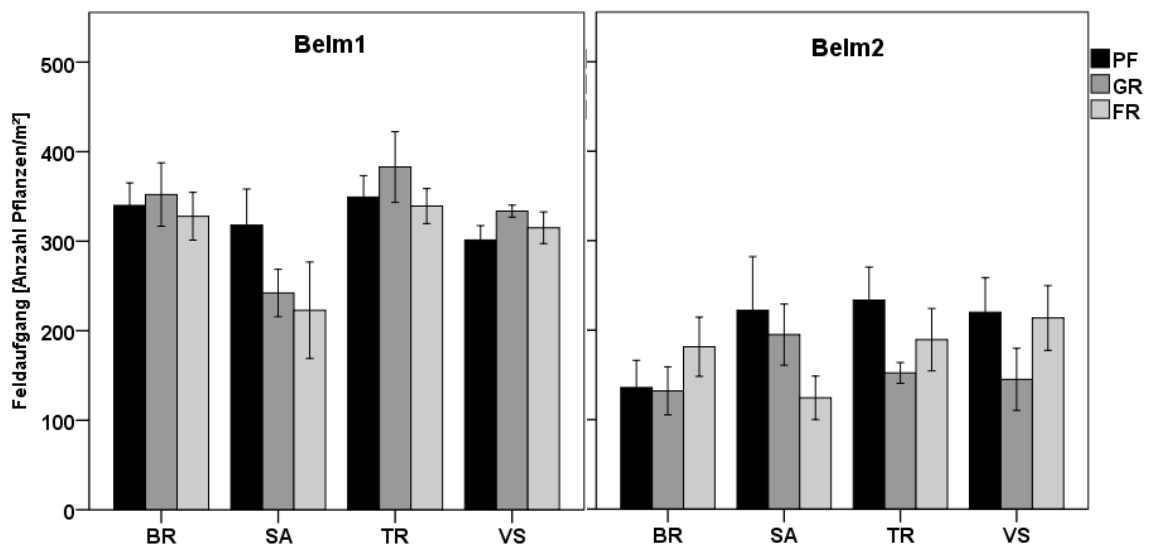


Abbildung 67 und 68: Feldaufgang in den Versuchen Belm1 und Belm2

3.3.4.2 Grünmasseertrag und N-Aufnahme der Grünmasse

Im Versuch **DFH2** gab es keine signifikanten Unterschiede im Grünmasseertrag des Hafers zwischen den verschiedenen Varianten (Tabelle 27 und Abbildung 69). In der N-Aufnahme der Grünmasse gab es hingegen signifikante Unterschiede hinsichtlich der Zwischenfruchtvariante (Tabelle 27). Sie war am niedrigsten nach *S. alba* insbesondere in den reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten und am höchsten nach *V. sativa* insbesondere in den Pflug- und Scheibenegge-Varianten (Abbildung 70).

Im Versuch **Belm1** gab es einen signifikanten Einfluss der Zwischenfrucht und der Bodenbearbeitung auf den Grünmasseertrag des Hafers (Tabelle 27). Der Grünmasseertrag des Hafers nach *S. alba*, *T. resupinatum* und *V. sativa* war in den Pflugvarianten höher als in den reduzierten Varianten, nach Schwarzbrache schwankte er nicht stark zwischen den verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten. Nach *V. sativa* waren die Grünmasseerträge in jeder Bodenbearbeitungsvariante am höchsten. Am niedrigsten waren die Grünmasseerträge in den *S. alba* x Grubber und *S. alba* x Fräse-Varianten (Abbildung 71). Auch auf die N-Aufnahme des Hafers gab es einen signifikanten Einfluss von Zwischenfrucht und Bodenbearbeitung (Tabelle 27). Nach Schwarzbrache gab es die niedrigste N-Aufnahme und nach *V. sativa* die höchste. Nach jeder Zwischenfrucht war in den Pflugvarianten die N-Aufnahme am höchsten (Abbildung 72).

Im Versuch **Belm2** gab es einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Grünmasseertrag des Hafers (Tabelle 27). Fräsen und Pflügen führten zu einem höheren Grünmasseertrag als Grubbern. Die niedrigsten Grünmasseerträge gab es in den Grubbervarianten nach Schwarzbrache und *T. resupinatum*. Den höchsten Grünmasseertrag gab es in der *V. sativa* x Fräse-Variante (Abbildung 73). Auf die N-Aufnahme der Grünmasse gab es einen signifikanten Einfluss von Zwischenfrucht und Bodenbearbeitung (Tabelle 27). Fräsen und Pflügen führte zu einer höheren N-Aufnahme als Grubbern. *V. sativa* führte zu einer höheren N-Aufnahme als die anderen Zwischenfruchtarten und Schwarzbrache (Abbildung 74).

Tabelle 27: Signifikanztabelle der Varianzanalyse vom Hafer-Grünmasseertrag und deren N-Aufnahme für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	Grünmasseertrag			N-Aufnahme		
	DFH2	Belm1	Belm2	DFH2	Belm1	Belm2
ZF	n.s.	0,01	n.s.	0,000	0,001	0,028
BB	n.s.	0,001	0,002	n.s.	0,000	0,01
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

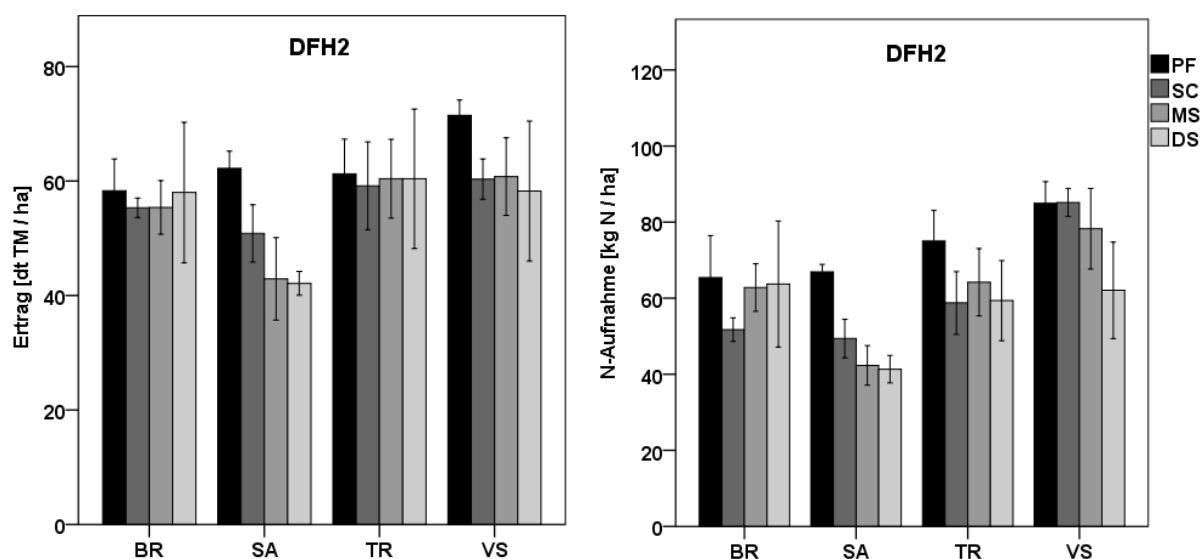


Abbildung 69 und 70: Trockenmasseertrag des Hafergrünschnitts vom 25.06.2013 im Versuch DFH2 sowie dessen N-Aufnahme

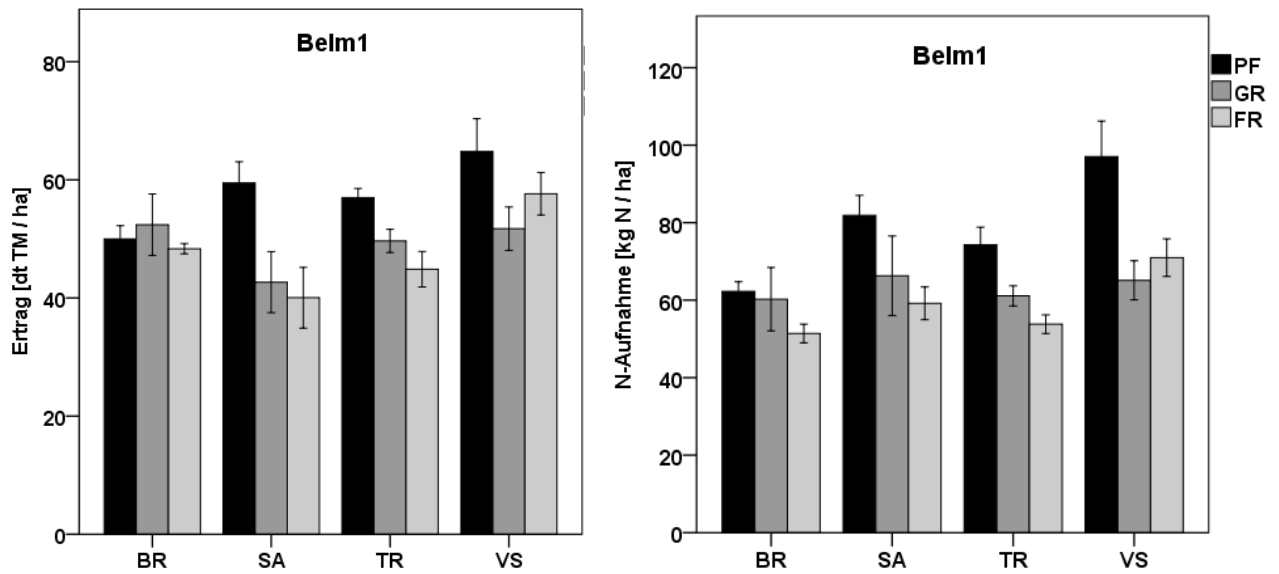


Abbildung 71 und 72: Trockenmasseertrag des Hafergrünschnitts vom 19.06.2012 im Versuch Belm1 sowie dessen N-Aufnahme

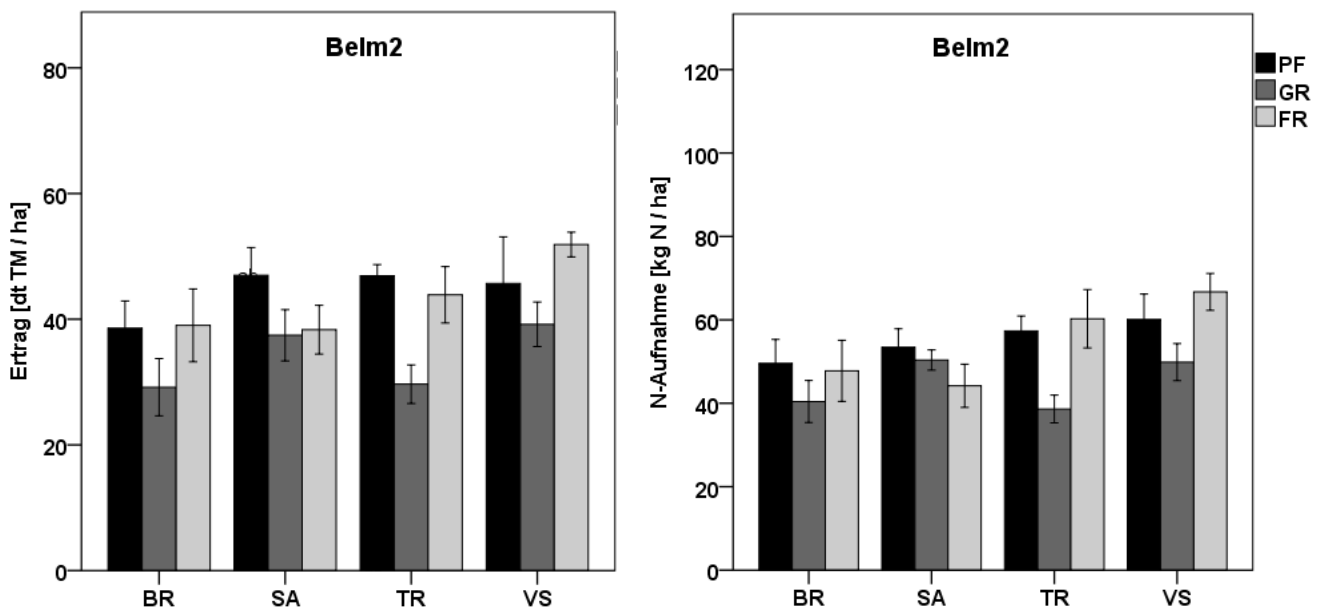


Abbildung 73 und 74: Trockenmasseertrag des Hafergrünschnitts vom 20.06.2013 im Versuch Belm2 sowie dessen N-Aufnahme

3.3.4.3 Korn- und Strohertrag

Im Versuch **DFH1** gab es einen signifikanten Einfluss der Zwischenfrucht auf den Kornertrag des Hafers (Tabelle 28). Er war nach *S. alba* am niedrigsten und nach *V. sativa* am höchsten (Abbildung 75). Es gab keine statistisch absicherbare Wechselwirkung zwischen Zwischenfrucht und Bodenbearbeitung.

Im Versuch **DFH2** gab es einen signifikanten Effekt von Zwischenfrucht und Bodenbearbeitung sowie eine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 28). Der Kornertrag war nach *V. sativa* sowohl in den Pflug- als auch in den Scheibenegevarianten auf einem hohen Niveau. Nach Schwarzbrache, *S. alba* und *T. resupinatum* war er in den Pflugvarianten hoch, in den Scheibenegevarianten jedoch niedrig (Abbildung 76).

Im Versuch **Belm1** gab es einen signifikanten Effekt von Zwischenfrucht und Bodenbearbeitung sowie eine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 28). Der Kornertrag war signifikant am niedrigsten in der Schwarzbrache x Fräse-Variante. Er war signifikant am höchsten in den *S. alba* x Pflug- und *V. sativa* x Pflug-Varianten (Abbildung 77).

Im Versuch **Belm2** gab es einen signifikanten Effekt der Bodenbearbeitung auf den Kornertrag (Tabelle 28). Pflügen führte zum höchsten Ertrag und Grubbern zum niedrigsten (Abbildung 78).

Tabelle 28: Signifikanztabelle der Varianzanalyse vom Hafer Korn- und Strohertrag für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	Hafer-Kornertrag				Hafer-Strohertrag			
	DFH1	DFH2	Belm1	Belm2	DFH1	DFH2	Belm1	Belm2
ZF	0,000	0,000	0,000	n.s.	0,000	0,000	0,005	n.s.
BB	n.s.	0,000	0,000	0,003	n.s.	0,000	0,001	0,000
ZF*BB	n.s.	0,000	0,001	n.s.	n.s.	0,008	0,007	n.s.

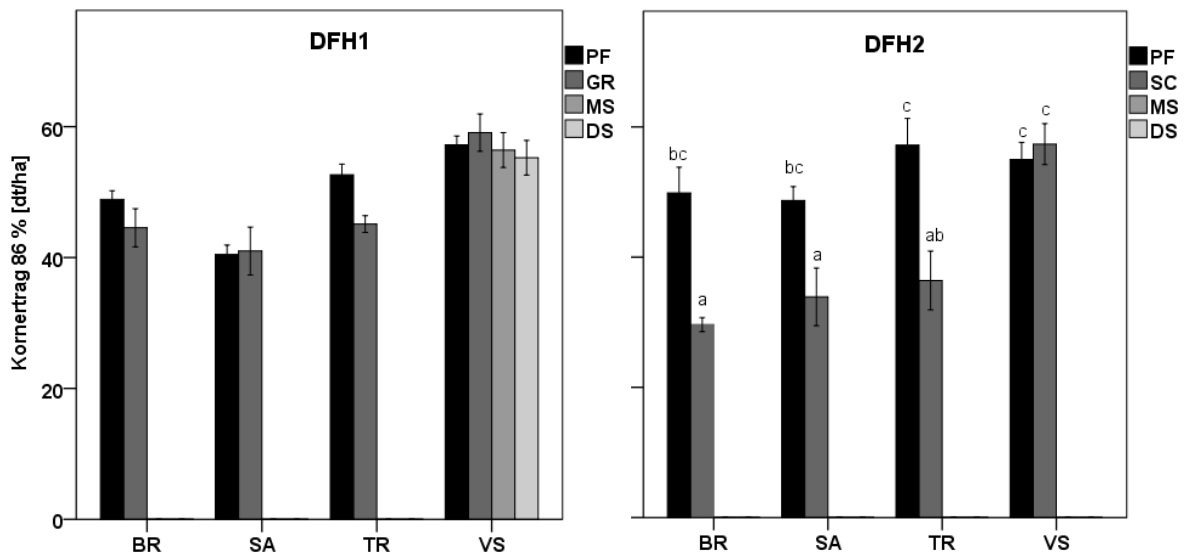


Abbildung 75 und 76: Haferertrag bei 86% Trockensubstanz in den Versuchen DFH1 und DFH2

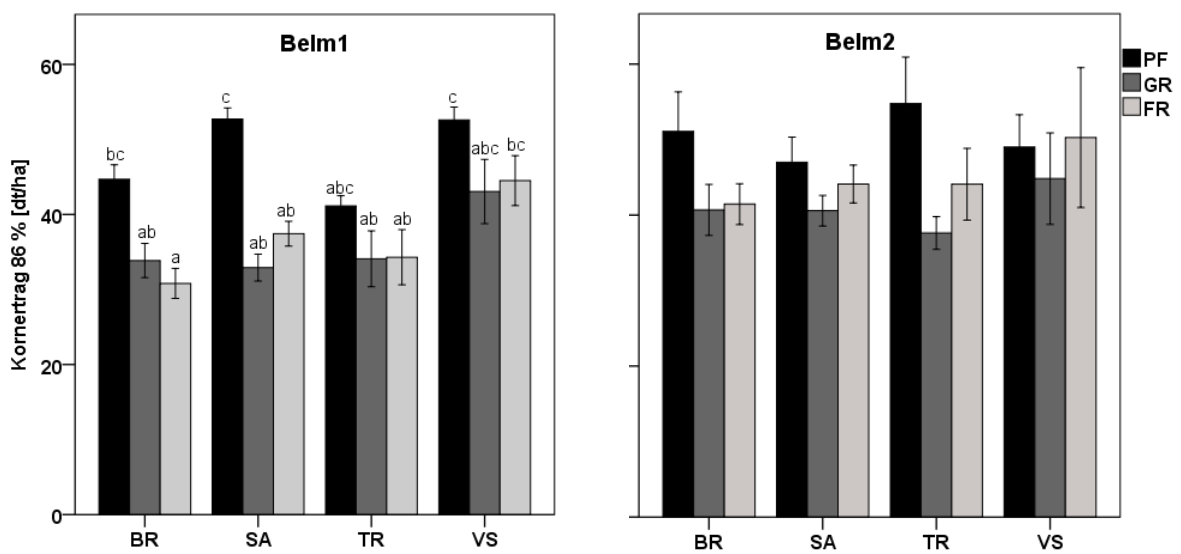


Abbildung 77 und 78: Haferertrag bei 86% Trockensubstanz in den Versuchen Belm1 und Belm2

Im Versuch **DFH1** gab es einen signifikanten Einfluss der Zwischenfrucht auf den Strohertrag des Hafers (Tabelle 28). Er war nach *V. sativa* signifikant höher als nach Schwarzbrache, *S. alba* und *T. resupinatum* (Abbildung 79).

Im Versuch **DFH2** gab es einen signifikanten Einfluss von Zwischenfrucht und Bodenbearbeitung sowie eine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 28). In der *T. resupinatum* x Pflug-Variante und in der *V. sativa* x Scheibenegge-Variante war der Strohertrag signifikant am höchsten. In den Scheibeneggevarianten von Schwarzbrache, *T. resupinatum* und *S. alba* war er signifikant am niedrigsten (Abbildung 80).

Im Versuch **Belm1** gab es einen signifikanten Einfluss von Zwischenfrucht und Bodenbearbeitung sowie eine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 28). Pflugbearbeitung führte nach jeder Zwischenfrucht sowie Schwarzbrache zu einem höheren Strohertrag als Grubbern und Fräsen. Nach *V. sativa* war der Ertragsunterschied zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten aber nur gering ausgeprägt (Abbildung 81).

Im Versuch **Belm2** gab es einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Strohertrag (Tabelle 28). Er war nach Pflügen am höchsten und nach Grubbern am niedrigsten (Abbildung 82).

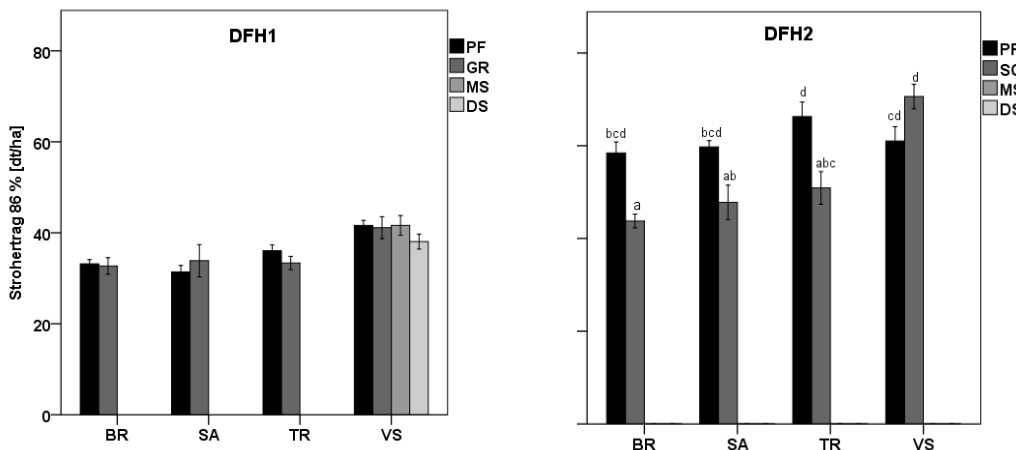


Abbildung 79 und 80: Strohertrag in den Versuchen DFH1 und DFH2

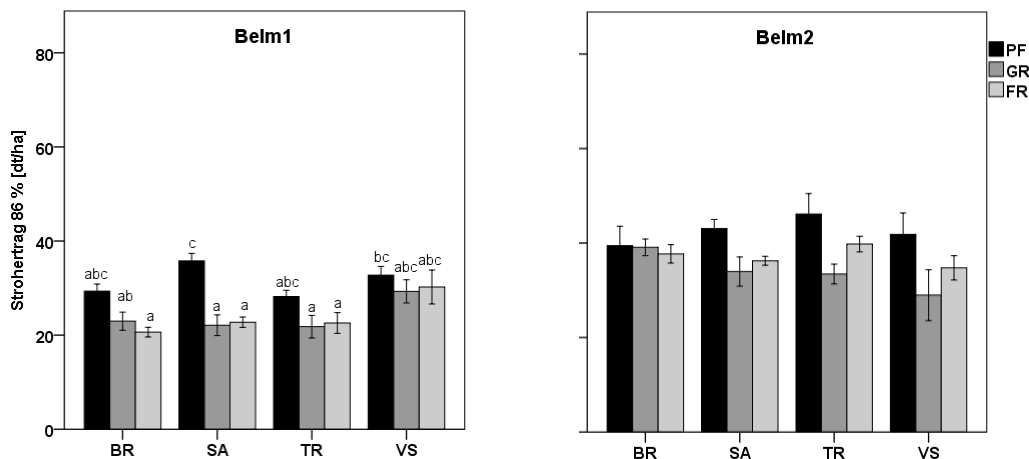


Abbildung 81 und 82: Strohertrag in den Versuchen Belm1 und Belm2

3.3.4.4 Ertragsstruktur

Rispen pro m²

Im Versuch **DFH1** hatte der Faktor Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Rispen pro Quadratmeter. Die Grubbervarianten hatten die niedrigste Anzahl Rispen und die Mulchsaatvariante die höchste. Es gab keine weiteren signifikanten Effekte (Abbildung 83 und Tabelle 29).

Im Versuch **DFH2** gab es keine signifikanten Effekte. In den *S. alba*- und *T. resupinatum*-Parzellen gab es jeweils in der Pflugvariante mehr Rispen pro m² als in der Scheibeneggevariante (Abbildung 84 und Tabelle 29).

Im Versuch **Belm1** hatte der Faktor Zwischenfrucht einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Rispen pro Quadratmeter. Die *S. alba*-Varianten hatten die niedrigste Anzahl Rispen, die Schwarzbrache- und *V. sativa*-Varianten die höchste (Abbildung 85 und Tabelle 29).

Im Versuch **Belm2** hatte der Faktor Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl Rispen pro Quadratmeter. Die Grubbervarianten hatten die niedrigste Anzahl Rispen und die Pflugvarianten die höchste (Abbildung 86 und Tabelle 29).

Tabelle 29: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Ertragsstruktur und Qualität des Hafers für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitung (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	Rispen/m ²				Tausendkornmasse			
	DFH1	DFH2	Belm1	Belm2	DFH1	DFH2	Belm1	Belm2
ZF	n.s.	n.s.	0,022	n.s.	0,000	n.s.	0,031	n.s.
BB	0,001	n.s.	n.s.	0,017	0,004	n.s.	0,009	n.s.
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,027	n.s.

Effekt	Kornzahl/Rispe			
	DFH1	DFH2	Belm1	Belm2
ZF	0,000	0,000	0,000	n.s.
BB	0,000	0,000	0,000	n.s.
ZF*BB	0,028	0,037	n.s.	n.s.

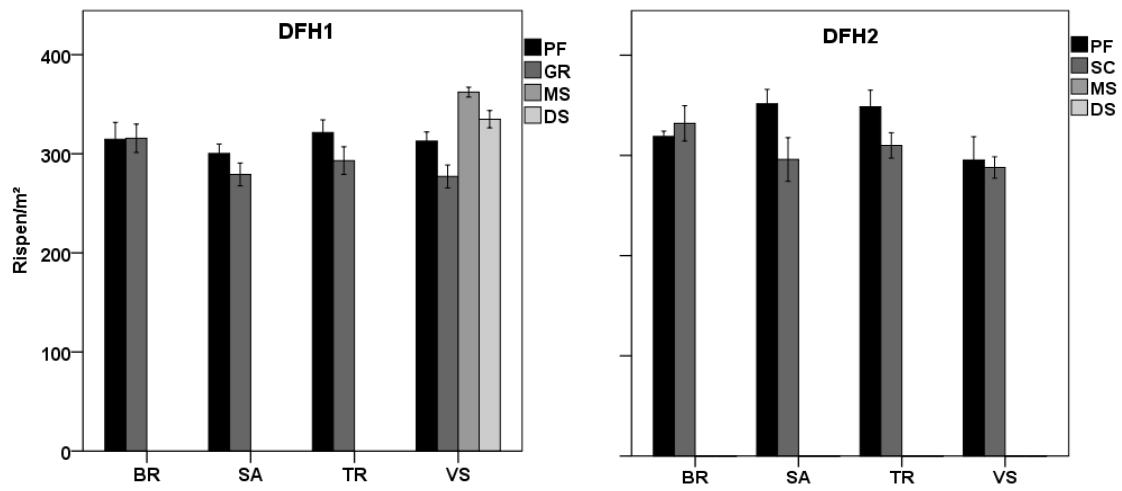


Abbildung 83 und 84: Rispen pro m² in den Versuchen DFH1 und DFH2

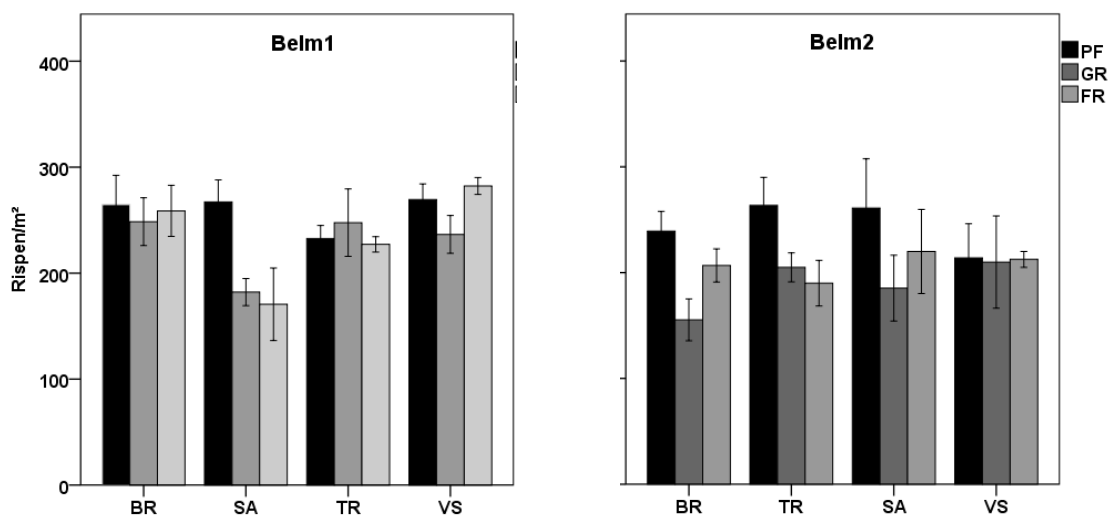


Abbildung 85 und 86: Rispen pro m² in den Versuchen Belm1 und Belm2

Tausendkornmasse

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten in der Tausendkornmasse (TKM) im Versuch **DFH1** waren gering. Dennoch gab es signifikante Effekte für Faktor Zwischenfrucht und Bodenbearbeitung, jedoch keine signifikante Wechselwirkung. Pflügen führte in jeder Zwischenfruchtart sowie der Schwarzbrache zu einer geringeren TKM als Grubbern. Nach *S. alba* wurde die höchste TKM erreicht. Die Werte reichten von 38,4 g in der *V. sativa* x Pflug-Variante bis zu 40,1 g in der *S. alba* x Grubber-Variante. Auffällig ist, dass in den *V. sativa*-Varianten die Mulch- und Direktsaatbearbeitung zu einer höheren TKM führten als die Pflug- und Grubberbearbeitung (Abbildung 87 und Tabelle 29).

Im Versuch **DFH2** gab es keine signifikanten Effekte und die Unterschiede zwischen den Varianten waren bis auf die Bodenbearbeitungsvarianten nach *V. sativa* gering. Wieder hatte die *V. sativa* x Pflug-Variante die niedrigste Tausendkornmasse, und zwar 37,2 g. Die *V. sativa* x Scheibenegge-Variante hatte eine TKM ähnlich den anderen Varianten (38,9 g). Die höchste Tausendkornmasse hatte die Schwarzbrache x Scheibenegge-Variante mit 39,0 g (Abbildung 88 und Tabelle 29).

Im Versuch **Belm1** hatte sowohl der Faktor Zwischenfrucht als auch der Faktor Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss auf die TKM und es gab eine signifikante Wechselwirkung Zwischenfrucht*Bodenbearbeitung. Die *V. sativa* x Pflug-Variante hatte mit 37,4 g die signifikant niedrigste Tausendkornmasse und auch *V. sativa* x Grubber gehörte zur niedrigsten Kategorie, während die *T. resupinatum* x Grubber-Variante mit 41,0 g die höchste TKM hatte (Abbildung 89 und Tabelle 29).

Im Versuch **Belm2** gab es keine signifikanten Effekte. Auch hier waren die Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten gering. Sie reichten von 38,6 g in der *T. resupinatum* x Fräse-Variante bis zu 40,5 g in der Schwarzbrache x Grubber-Variante (Abbildung 90 und Tabelle 29).

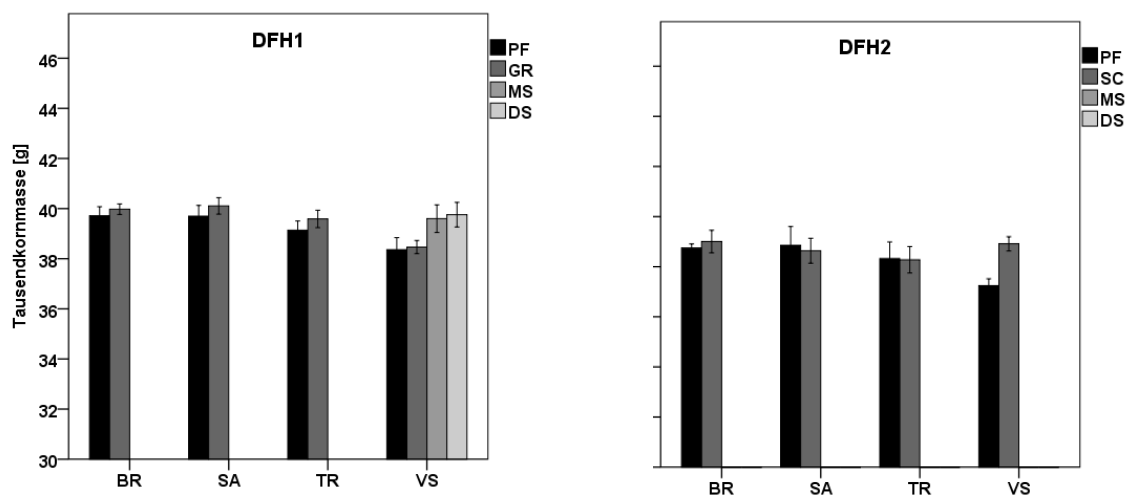


Abbildung 87 und 88: Tausendkornmasse in den Versuchen DFH1 und DFH2

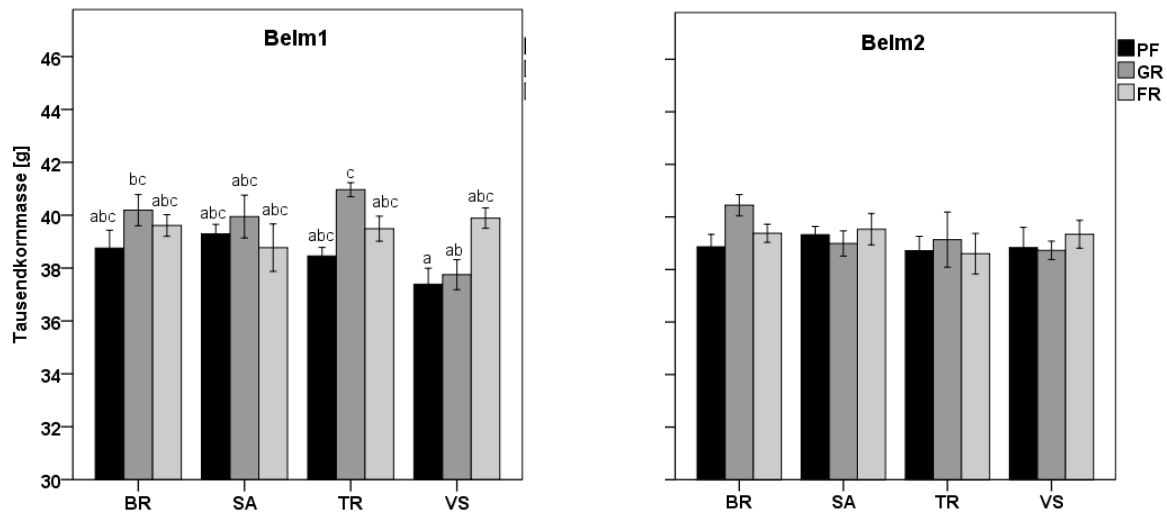


Abbildung 89 und 90: Tausendkornmasse in den Versuchen Belm1 und Belm2

Kornzahl pro Rispe

Im Versuch **DFH1** gab es einen signifikanten Einfluss sowohl der Zwischenfrucht als auch der Bodenbearbeitung sowie eine signifikante Wechselwirkung Zwischenfrucht*Bodenbearbeitung auf die Kornzahl pro Rispe. Die *S. alba* x Pflug- (34 Körner) und die *S. alba* x Grubber- (37 Körner) sowie die Schwarzbrache x Grubber- (37 Körner) -Varianten hatten die signifikant niedrigsten Kornzahlen pro Rispe. Die *V. sativa* x Grubber-Variante hatte mit 56 Körnern die signifikant höchste Kornzahl pro Rispe (Abbildung 91 und Tabelle 29).

Im Versuch **DFH2** gab es einen signifikanten Einfluss sowohl der Zwischenfrucht als auch der Bodenbearbeitung sowie eine signifikante Wechselwirkung Zwischenfrucht*Bodenbearbeitung. Die Schwarzbrache x Scheibenegge-Variante hatte mit 23 Körnern die signifikant niedrigste Kornzahl pro Rispe. Die *V. sativa* x Pflug- und *V. sativa* x Scheibenegge-Varianten hatten mit jeweils 51 Körnern die signifikant höchsten Kornzahlen pro Rispe (Abbildung 92 und Tabelle 29).

Im Versuch **Belm1** gab es einen signifikanten Einfluss sowohl der Zwischenfrucht als auch der Bodenbearbeitung. Es gab keine signifikante Wechselwirkung. Die Schwarzbrache x Fräse-Variante hatte mit 30 Körnern die niedrigste Kornzahl pro Rispe. Die *S. alba* x Pflug-Variante hatte mit 55 Körnern die höchste Kornzahl pro Rispe (Abbildung 93 und Tabelle 29).

Im Versuch **Belm2** gab es keine signifikanten Effekte. Durch den lückigen Bestand gab es bei der errechneten Kornzahl eine große Streuung und zum Teil ungewöhnlich hohe Kornzahlen pro Rispe (Abbildung 94 und Tabelle 29).

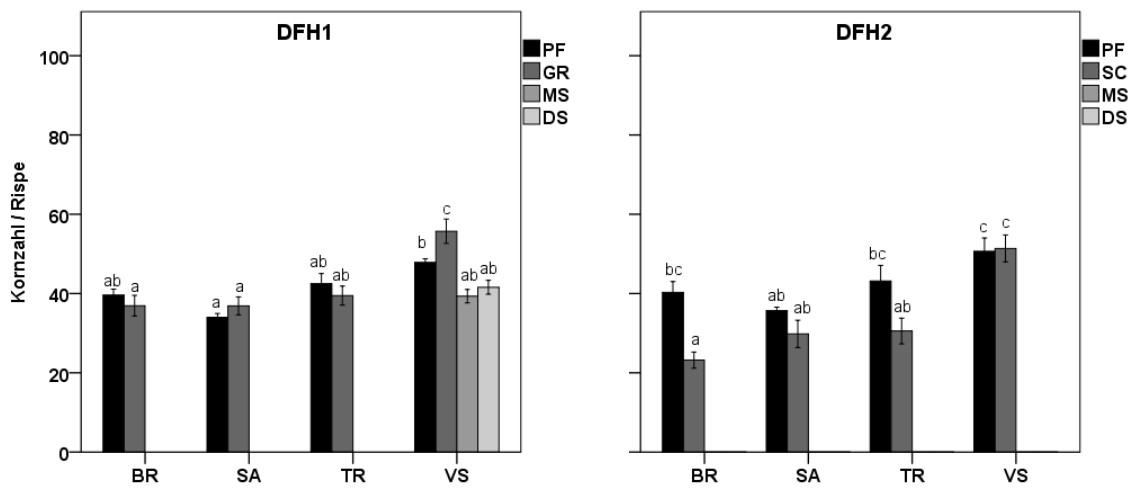


Abbildung 91 und 92: Kornzahl pro Rispe in den Versuchen DFH1 und DFH2

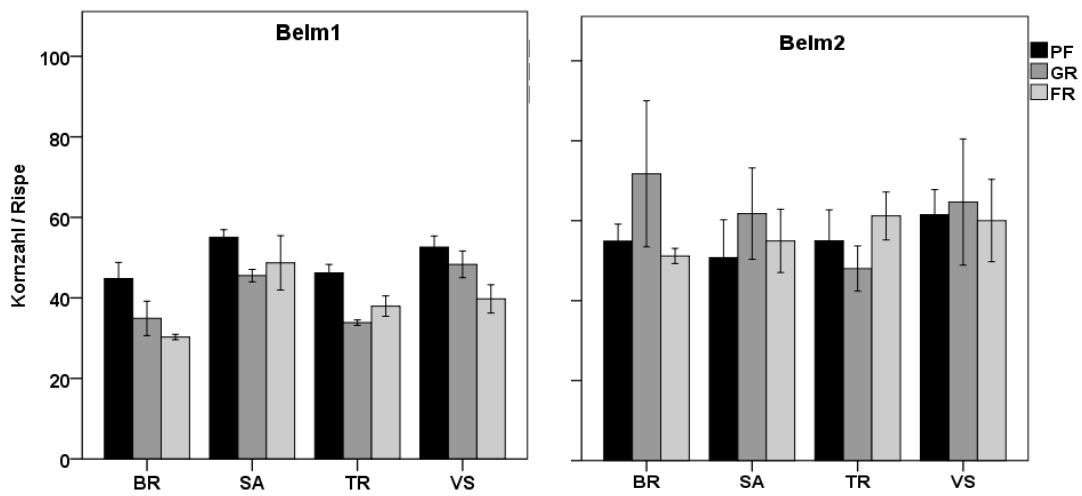


Abbildung 93 und 94: Kornzahl pro Rispe in den Versuchen Belm1 und Belm2

3.4 Diskussion

- **Welche der getesteten Zwischenfruchtarten führt zu den höchsten N_{\min} - und NO_3 -N-Werten im Frühjahr?**

Erträge der Zwischenfrüchte

Im Versuch DFH1 war der Ertrag von *S. alba* ca. 3,8 dt TM ha⁻¹ und der Ertrag von *V. sativa* ca. 14,5 dt TM ha⁻¹ höher als in DFH2. Das heißt, der Ertrag von *S. alba* variierte nur geringfügig, während der Ertrag von *V. sativa* in DFH2 nur etwa die Hälfte von DFH1 betrug. Die vier Tage, die in DFH2 früher gesät worden war, hatten also keinen messbaren positiven Effekt gehabt. Beide Saattermine (26.08. und 22.08.) sind als spät anzusehen. Rinnofner et al. (2005b) sprechen bei einer Aussaat am 12. August bereits von einer späten Aussaat.

Eventuell hatte die Temperatur für den Minderertrag von *V. sativa* im zweiten Versuchsjahr den Ausschlag gegeben. So stand der September 2011 mit durchschnittlich 15,4°C und der Oktober 2011 mit durchschnittlich 9,7°C einem kühleren September 2012 mit 12,8°C und einem kühleren Oktober 2012 mit 8,0°C gegenüber. Ferner waren beide Monate beider Jahre trockener als das langjährige Mittel; der September in beiden Jahren mit 39 mm versus 39,4 mm sehr ähnlich, aber der Oktober 2012 mit 30,1 mm noch trockener als der Oktober 2011 mit 41 mm. Der November beider Jahre fiel so trocken aus, dass dem Boden nahezu kein Wasser zugeführt wurde; d.h. es erfolgte auch im November, wo aufgrund der Temperaturen noch ein Wachstum der Zwischenfrüchte hätte stattfinden können, kein Ausgleich oder Auffüllen des Wasserhaushaltes (weniger als 16 mm Niederschlag im November beider Jahre; langjähriges Mittel: 63 mm).

Desweiteren spielte eventuell das massive Auftreten von Ausfallgetreide in DFH2 eine Rolle, welches in Konkurrenz zur wachsenden Zwischenfrucht stand.

T. resupinatum war in DFH1 sehr schlecht aufgelaufen. In der Literatur wird an mehreren Stellen ein mangelhafter Aufgang oder Totalausfall von *T. resupinatum* erwähnt (Gruber und Thamm 2005; König 1996, S. 18; Kolbe et al. 2004, S. 9). In Frankenhausen war vermutlich das Verschlämmen aufgrund von Starkregen kurz nach der Saat ausschlaggebend für ungünstige Auflaufbedingungen im Jahr 2011. In DFH2 war *T. resupinatum* besser aufgelaufen und hatte Erträge von 6 dt TM ha⁻¹ erbracht, was einem in der Literatur angegebenen Durchschnittswert entspricht (Gruber und Thamm 2005).

Auch in Belm waren die Erträge von *V. sativa* in Belm2 geringer als in Belm1 (8,8 dt TM ha⁻¹ versus 14,9 dt TM ha⁻¹). Die Erträge von *S. alba* waren dagegen in beiden Versuchsjahren auf einem ähnlichen Niveau bzw. im zweiten Versuchsjahr leicht höher als im ersten (25,7 dt TM ha⁻¹ versus 24,0 dt TM ha⁻¹). In beiden Jahren war der Ertrag von *S. alba* höher als in Frankenhausen (+3,1 dt TM ha⁻¹ im ersten Versuchsjahr; +8,6 dt TM ha⁻¹ im zweiten Versuchsjahr). Dagegen war der Ertrag von *V. sativa* geringer (-15 dt TM ha⁻¹ im ersten Versuchsjahr; -6,6 dt TM ha⁻¹ im zweiten Versuchsjahr) und der Ertrag von *T. resupinatum* vergleichbar.

Ein möglicher Grund für den besseren Senfertrag in Belm kann das höhere N-Niveau der Böden zu Beginn der Versuche sein. Dies ist für *S. alba* als N-liebende Pflanze wichtig. Ein möglicher Grund für den geringeren Ertrag in Belm von *V. sativa* kann der Sandboden sein. So gedeiht *V. sativa* am besten auf mittleren und schweren, kalkhaltigen frischen Lehmböden (Köppl 2010). Für Sandboden besser geeignet ist *V. villosa* (Kolbe et al. 2004, S. 78), wenn nicht notwendigerweise auf eine abfrierende

Zwischenfrucht zurückgegriffen werden muss. Falls dies der Fall ist, könnten *Lupinus* spp. angebaut werden (Kolbe et al. 2004, S. 78–80).

Es fällt auf, dass *S. alba* auf beiden Standorten ertragsstabiler als die anderen Zwischenfrüchte ist. Dies wird in verschiedenen Studien bestätigt (Brust et al. 2011; Kolbe et al. 2004; Thorup-Kristensen 1994).

C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte

S. alba hatte im Versuch DFH1 ein wesentlich höheres C/N-Verhältnis als in den anderen Versuchen. Fehler bei der Trocknung können ausgeschlossen werden, da diese Proben gleich behandelt wurden wie die anderen Zwischenfruchtproben und gleichzeitig mit ihnen im Trockenschrank waren. Vermutlich war *S. alba* im Versuch DFH1 in einem weiter fortgeschrittenem Vegetationsstadium als in den anderen Versuchen und es war mehr verholztes Stängelmaterial in den Proben als in den Proben der anderen Standorte. In der Literatur werden für das C/N-Verhältnis von *S. alba* Werte von 12,9 (Kolbe et al. 2004, S. 9), 17,8 -30,3 (Baggs et al. 2000), 11-28 (Schmidt und Gläser 2013, S. 24) angegeben. Im Allgemeinen finden sich in der Literatur für das C/N-Verhältnis von Zwischenfrüchten Werte zwischen 10-30 (Thorup-Kristensen et al. 2003). Der hohe Wert von 25,9 ist insofern nicht ungewöhnlich und liegt im Rahmen dieser Angaben.

N_{min}- und NO₃-N im Frühjahr

In Frankenhausen hatten die Zwischenfrüchte einen deutlichen Einfluss auf den Gehalt an N_{min} und NO₃-N. Im Frühjahr vor der Bodenbearbeitung resultierte *V. sativa* in beiden Versuchen in den höchsten N_{min} und NO₃-N-Gehalten in den Schichten 0-30 cm und 30-60 cm. Auch nach der Bodenbearbeitung führte *V. sativa* zu höheren N_{min} und NO₃-N-Werten als die anderen Zwischenfrüchte. Obwohl der Biomasseertrag von *V. sativa* in DFH2 nur etwa halb so hoch wie in DFH1 war, waren die N_{min} und NO₃-N-Werte in den *V. sativa*-Varianten in DFH2 auf einem ähnlichen Niveau wie in DFH1. Der bessere Aufwuchs von *T. resupinatum* in DFH2 war an den Ergebnissen des Pflugsystems sichtbar. Im reduzierten Bodenbearbeitungssystem schnitt die *T. resupinatum*-Variante aber auch in DFH2 schlechter ab als die *V. sativa*-Variante. Am niedrigsten waren die N_{min} und NO₃-N-Werte in beiden Versuchen und beiden Bodenbearbeitungssystemen in den *S. alba*-Varianten. Die N-Aufnahme in der Wachstumsperiode führte wie erwünscht zu geringen N_{min} und NO₃-N-Gehalten im Herbst. Allerdings war die N-Aufnahme mit 34,9 kg N ha⁻¹ im Versuch DFH1 und 43,4 kg N ha⁻¹ im Versuch DFH2 eher gering. Vermutlich hätte die N-Aufnahme bei höheren Boden-N-Gehalten höher liegen können. Der Ausgangsgehalt beider Flächen lag bei rund 34 kg N ha⁻¹ in der Schicht 0-60 cm. Im Frühjahr nach der Bodenbearbeitung erreichten die N_{min} und NO₃-N-Gehalte der *S. alba*-Varianten nicht die Gehalte der *V. sativa*-Varianten, lagen aber in den reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten und der Direktsaat auf ähnlichem Niveau wie die Schwarzbrache- und *T. resupinatum*-Varianten. Das höhere C/N-Verhältnis von *S. alba* verglichen mit *T. resupinatum* wirkte sich hier also nicht negativ auf die Frühjahrs-N-Gehalte aus.

In Belm waren die Unterschiede in den N_{min} und NO₃-N-Gehalten zwischen den Zwischenfruchtarten geringer. *S. alba* wies ein gutes N-Aufnahmevermögen auf. Beim Herbsttermin hatte *S. alba* in beiden Versuchen signifikant geringere N_{min} und NO₃-N-Gehalte, was insbesondere auf dem Sandboden einen guten Schutz vor Auswaschung darstellt. Bei den anderen Varianten kann davon ausgegangen werden, dass es aufgrund des durchlässigeren Sandbodens schon im Oktober zu einer Nitratverlagerung kam, was die hohen Werte in der Schicht 60-90 cm erklären würde. Im Frühjahr erreichten alle Varianten ungefähr dasselbe Niveau.

- **Führt die reduzierte Bodenbearbeitung zu geringeren N_{\min} - und NO_3 -N-Werten verglichen mit herkömmlichem Pflügen?**

Die Zwischenfrüchte waren mit Fräse, Grubber oder Scheibenegge oberflächlich eingearbeitet worden. In keinem der Versuche führte dies zu wesentlich geringeren N_{\min} - und NO_3 -N-Gehalten im Frühjahr im Vergleich zu der Pflugvariante der jeweiligen Zwischenfrucht. Der Grubber bewährte sich jedoch nicht zur Einarbeitung von *S. alba*, da das kaum zerkleinerte Material später die Drillmaschine verstopfte.

Mulch- und Direktsaat in DFH1 und DFH2 führten zu deutlich geringeren N_{\min} - und NO_3 -N-Gehalten im Frühjahr, vor allem nach Schwarzbrache, *S. alba* und *T. resupinatum*. Am höchsten und nahezu auf dem Niveau der Pflug- und Grubbervariante waren die N_{\min} - und NO_3 -N-Gehalte in den Mulch- und Direktsaatvarianten nach *V. sativa* in DFH1. Hier machte sich vermutlich der höhere Ertrag von *V. sativa* des ersten Versuchsjahres bemerkbar.

Im Verlauf der weiteren Vegetationsperiode gab es in der Regel keine signifikanten Unterschiede im N-Gehalt. In Belm zeigten der Grünmasseertrag und dessen N-Aufnahme jedoch einen signifikanten Unterschied zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten; in Belm1 war beides nach Pflügen am höchsten und in Belm2 sowohl nach Pflügen als auch nach Fräsen.

Allerdings können die langfristigen Auswirkungen einer reduzierten Bodenbearbeitung hier aufgrund der Einjährigkeit der Versuche nicht abgeschätzt werden. Bei langfristig pfluglos bewirtschafteten Sandböden, insbesondere solchen mit geringen Humusgehalten, besteht eine Neigung zu Verdichtungen der Krume. Zusätzlich problematisch ist, dass in Sandböden häufig tiefgrabende Regenwürmer und somit leicht durchwurzelbare, kontinuierliche Makroporen weitgehend fehlen (Nieder 1998). Es ist daher wichtig, pfluglos bewirtschaftete Sandböden krumentief zu lockern.

- **Welche der getesteten Zwischenfruchtarten hat sowohl im Frühjahr vor der Bodenbearbeitung als auch während des Wachstumsverlaufs des Hafers den besten beikrautunterdrückenden Effekt?**

In DFH1 und DFH2 war der Deckungsgrad der Beikräuter im späten Stadium der Zwischenfrüchte in beiden Jahren nach *V. sativa* signifikant am niedrigsten. *S. alba* hatte ein mittleres Beikrautunterdrückungspotenzial. In DFH2 war das Beikrautauftreten in allen Varianten wesentlich höher als in DFH1. In Belm2 war der Deckungsgrad der Beikräuter nach *S. alba* signifikant am niedrigsten.

Die Beikrautdichte im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer war in DFH1 und Belm2 in der *S. alba* x Pflug-Variante signifikant am höchsten. Dieses höhere Beikrautauftreten relativierte sich während der Vegetationsphase des Hafers wieder. Die Beikrautdichte wird in einem jungen Stadium der Beikräuter gezählt und sagt somit nur etwas über das vorhandene Beikrautpotenzial aus und nicht über die weitere Entwicklung. Am niedrigsten war die Beikrautdichte in Mulch- und Direktsaat von DFH1, wo es signifikant weniger, aber dafür umso größere Beikräuter gab. In diesen Parzellen waren die Beikräuter durch die fehlende Bodenbearbeitung nicht oder kaum in ihrer Entwicklung gestört worden und konnten so teilweise ab dem vergangenen Herbst ungestört weiterwachsen.

Das wesentlich höhere Beikrautauftreten von DFH2 im Vergleich zu DFH1 zeigte sich auch in der Dichte; die Anzahl war in jeder Variante ein Vielfaches höher. Problematisch war hier der starke

Durchwuchs der Vorfrucht Winterweizen, der als Beikraut mitgezählt wurde. Am höchsten war die Beikrautdichte in den Scheibeneggeparzellen. Am niedrigsten war sie in Mulch- und Direktsaat aufgrund des Abflammens.

In DFH1 war der Deckungsgrad der Beikräuter im späten Stadium des Hafers in den Pflugvarianten grundsätzlich niedrig verglichen mit den anderen Bodenbearbeitungsvarianten und unterschieden sich nicht hinsichtlich der Zwischenfruchtvarianten und Schwarzbrache. In den Mulch- und Direktsaatvarianten mussten die Haferparzellen nach den Zwischenfrüchten *S. alba* und *T. resupinatum* sowie nach der Schwarzbrache wegen zu hohen Beikrautdruckes aufgegeben werden. Im Vergleich dazu konnte *V. sativa* die Beikräuter wesentlich besser unterdrücken. In DFH2 mussten alle Mulch- und Direktsaatvarianten aufgrund zu hohen Beikrautdruckes aufgegeben werden. Der Beikrautdruck auf den Scheibenegge-Varianten war signifikant höher als der Beikrautdruck auf den Pflug-Varianten und es gab keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Zwischenfruchtvarianten und Schwarzbrache. Es herrschte insgesamt - auch auf den Pflug-Varianten - ein wesentlich höherer Beikrautdeckungsgrad als im Vorjahr. Der höhere Deckungsgrad kam auch durch den hohen Anteil an Gewöhnlicher Vogelmiere (*Stellaria media*) zustande. Dies erklärt auch, warum die Beikrautbiomasse in DFH2 ähnlich ist wie in DFH1 und nicht etwa aufgrund des höheren Deckungsgrades wesentlich höher, da *Stellaria media* kein hohes Gewicht hat.

Bei der Beikrautbiomasse zeigte sich die Überlegenheit des Pfluges als Instruments zur Beikrautkontrolle. In allen Versuchen war in den Schwarzbrache x Pflug-, *S. alba* x Pflug- und *T. resupinatum* x Pflug-Varianten die Beikrautbiomasse am niedrigsten. In DFH2 und Belm2 war die Beikrautbiomasse in der *V. sativa* x Pflug-Variante höher als in den anderen Pflugvarianten und in DFH2 auf demselben Niveau wie die *V. sativa* x Scheibenegge-Variante.

Die relative Vorzüglichkeit von *V. sativa* in Frankenhausen im ersten Versuchsjahr im Hinblick auf die Beikrautunterdrückung bestätigt die Ergebnisse von Beckmann (1998, S. 81). Ergebnisse von Wittwer et al. (2013) zeigen einen ähnlich guten Erfolg von *S. alba* und *V. sativa*, was den Ergebnissen des zweiten Versuchsjahres auf beiden Standorten entspricht. In Frankenhausen konnte die Beobachtung gemacht werden, dass *V. sativa* beim Abfrieren regelrecht „Platten“ bildete, die dort, wo genügend Biomasse vorhanden war, den Boden gut bedeckt hielten und ein Aufkommen der Beikräuter weitgehend verhinderten (Abbildung A-1). So ist der ausbleibende Erfolg von *V. sativa* in den Mulch- und Direktsaatvarianten von DFH2 zum einen in der dort geringeren Biomassebildung von *V. sativa* und zum anderen in dem generell höheren Beikrautaufkommen zu suchen.

- **Wie wirken sich die verschiedenen Zwischenfrüchte und Bodenbearbeitungsvarianten auf die Diversität der Beikrautpopulation aus?**

Die Diversitätsindices können einen Hinweis darauf geben, wie problematisch eine Beikrautgesellschaft in ackerbaulicher Hinsicht einzustufen ist. Je diverser und gleichverteilter eine Beikrautgesellschaft ist, desto unproblematischer ist sie in der Regel (Mahn 2002). Überwiegen eine oder wenige Arten, ist das ein Anzeichen dafür, dass diese Arten unerwünscht günstige Entwicklungsbedingungen vorfinden (Mahn 2002). Die Artenanzahl, d. h. die gesamte Anzahl der auf einer Fläche oder Parzelle vorgefundenen Arten, ist der einfachste und älteste Diversitätsindex (Krebs 1989, S. 329). Der Shannon-Wiener Index (H') ist der in der Ökologie gebräuchlichste Index und berücksichtigt neben der absoluten Artenanzahl auch die relative Häufigkeit der Art, d. h. die Gleichmäßigkeit der Verteilung der verschiedenen Arten (Krebs 1989, S. 330). Bei einer gleich hohen

Artenanzahl ist eine Beikrautgesellschaft mit höherem H' diverser in dem Sinn, dass die relative Dichte bzw. der relative Deckungsgrad der zugehörigen Arten einander ähnlicher ist. Die Äquität (oder Evenness; englisch für Gleichmäßigkeit) ist ein Maß für die Gleichverteilung. Da H' allein nicht erkennen lässt, ob sein Wert aufgrund einer hohen Artenzahl mit jeweils unterschiedlicher Individuenzahl oder durch gleichmäßige Verteilung der Individuen auf wenige Arten entstanden ist, benutzt man als Vergleichsmaß die berechnete Äquität (Krebs 1989, S. 330). Man setzt dabei den tatsächlichen Diversitätswert in Relation zu dem maximal möglichen Diversitätswert, der sich bei gleicher Artenzahl, aber unter größtmöglicher Gleichverteilung der Individuen auf die bestehenden Arten ergeben würde.

Vor der Differenzierung nach Bodenbearbeitung nahm in den Versuchen in Frankenhausen *V. sativa* und im Versuch in Belm *S. alba* eine Sonderstellung ein. *V. sativa* hatte in Frankenhausen eine signifikant geringere Artenanzahl bei signifikant höherer Äquität. In DFH1 ging dies mit signifikant niedrigerem H' und in DFH2 mit signifikant höherem H' als die anderen Zwischenfruchtvarianten und Schwarzbrache einher. In Belm2 hatte *S. alba* eine signifikant niedrigere Artenanzahl bei signifikant höherer Äquität. Bezüglich H' unterschieden sich die Varianten hier kaum. In allen drei Versuchen ging also die Zwischenfrucht mit dem höchsten Beikrautunterdrückungspotenzial mit einer geringeren Artenzahl und höherer Äquität einher. Allerdings waren die Werte für die Äquität im Versuch DFH2 in allen Varianten auf einem wesentlich niedrigeren Niveau als in den anderen Versuchen, was auf die Dominanz von wenigen Arten hinweist.

Nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung gab es nur in DFH1 signifikante Unterschiede, aber insgesamt gesehen keine eindeutigen Tendenzen. Die Werte für Äquität waren wieder im Versuch DFH2 am geringsten. Dies setzte sich auch im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer fort. Ansonsten gab es auch im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer kein eindeutigen Trends bezüglich der Artenanzahl, Äquität und H' .

- **Wie wirken sich die verschiedenen Zwischenfrüchte und Bodenbearbeitungsvarianten auf die Zusammensetzung der Beikrautpopulation aus?**

Im späten Stadium der Zwischenfrüchte war im Versuch DFH1 in der Schwarzbrache-Variante der Anteil an Kamillearten (*Matricaria* spp.) höher und der Anteil an Gewöhnlicher Vogelmiere (*Stellaria media*) niedriger als in den drei Zwischenfruchtvarianten. Im Versuch DFH2 überwog *Stellaria media* in jeder Variante. Im Versuch Belm2 war in der *S. alba*-Variante der Anteil an dem sehr konkurrenzschwachen (Holzner und Glauning 2005, S. 225) Ackerfrauenmantel (*Aphanes arvensis*) höher als in den anderen Varianten, der Anteil an Durchwuchs von der Vorfrucht Sommerweizen dagegen geringer bis gar nicht vorhanden.

Die Unterschiede in der Zusammensetzung der Beikrautpopulation, die auf die Zwischenfrüchte zurückzuführen sind, wurden bei den späteren Boniturterminen durch die Art der Bodenbearbeitung überlagert. Effekte der Zwischenfrüchte auf die Zusammensetzung der Beikrautpopulation waren bei den Versuchen in Frankenhausen nach der Bodenbearbeitung kaum mehr sichtbar. Im Versuch Belm2 dagegen waren Effekte der Zwischenfruchtvarianten auch nach der Bodenbearbeitung zu sehen. Die Schwarzbrache schien das Auftreten von Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) und *Stellaria media* zu fördern.

In beiden Versuchen in Frankenhausen schien die Pflugbearbeitung Gänsedistelarten (*Sonchus* spp.), Gänsefußarten (*Chenopodium* spp.), Senfarten (*Sinapis* spp.) und Taubnesselarten (*Lamium* spp.) zu

fördern. Die reduzierten Varianten verstärkten tendenziell das Auftreten von Kamillearten (*Matricaria* spp.), diese kamen bei Mulch- und Direktsaat am häufigsten vor. In DFH2 war daneben *Triticum aestivum* als Ausfallgetreide in Mulch- und Direktsaat trotz des Abflammens sehr häufig vertreten. Die Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) kam tendenziell etwas häufiger in den reduzierten Varianten und der Direktsaat vor. Ferner wurde *Stellaria media* in den reduzierten Varianten und der Direktsaat häufiger beobachtet als in den Pflugvarianten. In ähnlicher Weise wurde in Belm2 mehr *Stellaria media* in den reduzierten Varianten als in den Pflugvarianten gefunden.

Die Konkurrenzkraft der häufigsten Kamillearten (*Matricaria* spp.) wird bei Holzner und Glauning (2005, S. 110–114) als mittel bis stark beschrieben. Da sie bis in den späten Herbst keimen und überwintern kann, hatten sie insbesondere in den Direktsaatvarianten einen Vorsprung vor den Kulturpflanzen und wurden hier konkurrenzstark und problematisch. Das Problemunkraut des Ökologischen Landbaus, *Cirsium arvense*, wurde in diesen einjährigen Versuchen durch die reduzierte Bodenbearbeitung und Direktsaat nur leicht vermehrt. Hier müsste man beobachten, wie sich ein längerfristiger Pflugverzicht auswirken würde. Die Konkurrenzkraft von *Stellaria media* wird als mittel beschrieben (Holzner und Glauning 2005, S. 189). In den Versuchen wurde sie als nicht problematisch für den Haferanbau wahrgenommen.

- **Wie wirken sich die verschiedenen Zwischenfrüchte und Bodenbearbeitungsvarianten auf den Ertrag des Hafers aus?**

Im Versuch DFH1 kam es in den *S. alba*-Varianten zu einem Minderertrag in beiden verbliebenen Bodenbearbeitungssystemen. *V. sativa* führte zu den höchsten Erträgen in allen Bodenbearbeitungssystemen und zu den einzigen beerntbaren Mulch- und Direktsaatvarianten. Diese waren auf ähnlichem Ertragsniveau wie die Pflug- und Grubbervarianten. Im Versuch DFH2 waren die Ertragsunterschiede größer als in DFH1. Pflügen führte durchweg zu guten Hafererträgen; die reduzierte Bodenbearbeitung führte zu Ertragseinbußen außer nach *V. sativa*, wo gerade nach der reduzierten Bearbeitung Höchstserträge geerntet wurden.

Auch in Belm waren die Hafererträge in den reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten (Grubber und Fräse) nach *V. sativa* höher als nach *S. alba*, *T. resupinatum* oder Schwarzbrache. Allerdings erreichten diese Varianten nicht das Niveau der besten Pflugvarianten. Im Versuch Belm2 war der Haferertrag nach der Bearbeitung mit der Fräse in allen Zwischenfruchtvarianten höher als nach der Bearbeitung mit dem Grubber, wenn auch nicht statistisch absicherbar. Die Streuung war aufgrund des lückigen Bestandes sehr hoch.

Der Korn- und der Strohertrag des Hafers entsprachen sich im Wesentlichen, d. h. die Varianten mit einem hohen Kornertrag hatten auch einen hohen Strohertrag und die Varianten mit einem niedrigen Kornertrag hatten einen niedrigen Strohertrag.

Von den hier vorgestellten Zwischenfrüchten scheint *V. sativa* besonders geeignet, um im Ökologischen Landbau mit reduzierter Bodenbearbeitung kombiniert zu werden. Insofern werden die positiven Ergebnisse von Wittwer et al. (2013) bestätigt, die mit *V. sativa* als Zwischenfrucht in einem System mit reduzierter Bodenbearbeitung vergleichbare Erträge wie in einem Pflug-Verfahren erzielt hatten.

In Frankenhausen zeigen die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres, dass im Ökologischen Landbau sogar mit Mulch- und Direktsaat nach dem Anbau einer passenden Zwischenfrucht, in diesem Fall

V. sativa, auf einem dafür geeigneten Standort vergleichbare Hafererträge wie nach einer Bearbeitung mit dem Pflug realisiert werden können.

2012/13 vermochte es allerdings im Gegensatz zu 2011/12 keine der Zwischenfruchtvarianten in Frankenhausen, die Beikräuter so weit zu unterdrücken, dass eine Mulch- oder Direktsaat zu befriedigenden Ertragsergebnissen der Hauptfrucht Hafer geführt hätte. Dies kann daran gelegen haben, dass die Zwischenfrüchte, vor allem *V. sativa*, wesentlich weniger Grünmasse produziert hatten als 2011/12. Auch hatte das Abflammen keinen ausreichend Beikraut unterdrückenden Effekt gezeigt, so dass Mulch- und Direktsaat 2012/13 schließlich aufgegeben werden mussten.

Für möglichst wiederholbare Erfolge von *V. sativa* in Kombination mit Mulch- oder Direktsaat wäre eine schnelle Jugendentwicklung von *V. sativa* wichtig, damit, unabhängig von eventuell ungünstigen klimatischen Bedingungen, ein schneller Bestandsschluss erreicht werden kann. In dieser Hinsicht muss eine Sorte gewählt werden, die rasch aufläuft und viel Biomasse bildet. Ferner können weitere Überlegungen zur Optimierung von Saatzeitpunkt (möglichst früh, z. B. durch Mähdruschsaat, Grubbersaat oder auch Untersaat), Fruchtfolgegestaltung (Aussaat der Zwischenfrucht nach einer früh räumenden Vorfrucht wie z.B. Wintergeste) und Drilltechnik (hinsichtlich Bodenschluss und Wasserversorgung) oder dem Anbau von Zwischenfruchtmischungen angestellt werden.

Was eine geeignete Zwischenfrucht ist, hängt aber vom Standort ab. So wäre es interessant, auf dem sandigen Boden in Belm mit anderen Arten zu experimentieren (s. oben). Ferner wäre wegen der höheren Saatgutkosten von *V. sativa* verglichen z. B. mit *S. alba*, eine ökonomische Betrachtung sinnvoll, d. h. ob sich die Mehrkosten des Saatgutes durch einen Mehrertrag der Hauptfrucht bezahlt machen oder ob es andere Ökosystemleistungen gibt, die diese Mehrkosten ausgleichen. Eine weitere Frage wäre, ob nach *S. alba* im zweiten Jahr positive Ertragseffekte auftreten, da dieser sich aufgrund des weiteren C/N-Verhältnisses langsamer zersetzt. In Kombination mit dem Pflug führte *S. alba* mit Ausnahme von DFH1 zu relativ guten Hafererträgen. Hier ist anzumerken, dass in DFH1 *S. alba* das mit Abstand weiteste C/N-Verhältnis aufgewiesen hatte.

Im Hinblick auf die etwas höheren Hafererträge nach der Bodenbearbeitung mit der Fräse als mit dem Grubber in Belm wäre es interessant, einen Vergleich der Fräse mit dem Grubber im Hinblick auf die ökologischen Vor- (flachere Bearbeitungstiefe) und Nachteile (feines Zerschneiden der Aggregate) von der Fräse durchzuführen.

3.5 Fazit

Ein kurzzeitiger Pflugverzicht kann positive Auswirkungen für den Boden, wie eine verringerte Erosionsneigung durch einen höheren Bedeckungsgrad, sowie ökonomische oder arbeitstechnische Vorteile für den Landwirt mit sich bringen. Darüber hinaus hat die langfristige Etablierung reduzierter Bodenbearbeitungssysteme im Ökolandbau das Potenzial, durch eine Steigerung der Bodenfruchtbarkeit den Ökolandbau weiter zu verbessern. Ein Pflugverzicht so oft wie möglich scheint also in vielerlei Hinsicht sinnvoll zu sein.

Der Einsatz einer geeigneten Zwischenfrucht wirkte sich in den vorgestellten Versuchen in den Systemen mit reduzierter Bodenbearbeitung deutlich positiv auf Beikrautauflaufen, Stickstoffflüsse und Haferertrag aus. Die Ergebnisse zeigen, dass im ökologischen Landbau mit reduzierter Bodenbearbeitung (hier Fräse, Grubber oder Scheibenegge) bei passender Zwischenfrucht (hier *V. sativa*) vergleichbare Hafererträge erreicht werden können wie nach der wendenden Bearbeitung

mit dem Pflug. Um die Bodenbearbeitung weiter in Richtung Direktsaat zu reduzieren, ist ein entscheidender Faktor die ausreichende Biomasseproduktion der Zwischenfrucht.

Damit die Voraussetzungen für eine hohe Biomasseproduktion gegeben sind, müssen der Saatzeitpunkt (möglichst früh) und die Drilltechnik hinsichtlich Bodenschluss und Wasserversorgung optimiert werden, um eine schnelle Jugendentwicklung und den zügigen Bestandsschluss zu fördern. In dieser Hinsicht sollte auch eine Sorte gewählt werden, die rasch aufläuft und viel Biomasse bildet. Da die Biomasseproduktion der Zwischenfrucht aber dennoch Schwankungen unterliegen wird, könnte eine flexible Wahl der Bodenbearbeitungsmethode den größten Erfolg versprechen: Bei ausreichender Biomassebildung und Bodendeckung der Zwischenfrucht könnte eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität in Richtung Mulch- oder Direktsaat erwogen werden; ein geringerer Aufwuchs der Zwischenfrucht spräche dagegen eher für den Einsatz des Grubbers oder der Scheibenegge.

Natürlich kann von einjährigen Versuchen nicht auf einen langfristigen Pflugverzicht geschlossen werden. Um zu beantworten, wie sich Beikrautaufkommen und Bodeneigenschaften bei mehrjähriger ausschließlich reduzierter Bodenbearbeitung entwickeln, sind wissenschaftliche Versuche mit langjähriger Laufzeit erforderlich. Weiterhin können *On-Farm*-Versuche sowie ein noch ausgeprägter Dialog der Wissenschaft mit der Praxis einer Weiterentwicklung der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökolandbau förderlich sein. Dabei sollte nicht nur der Transfer von wissenschaftlichen Ergebnissen in die Praxis sondern auch die Formulierung und Weiterverbreitung des Wissens von auf diesem Gebiet erfolgreichen Praktikern ein sehr wichtiger Bestandteil sein.

4 Themenschwerpunkt III: Systemvergleich Stoppelhobel versus Pflug: Ist der Einsatz des Stoppelhobels im Ökolandbau in Kombination mit der passenden Zwischenfrucht im Hinblick auf Beikrautregulierung und Anregung der Mineralisation eine gleichwertige Alternative zu herkömmlichem Pflügen?

4.1 Problemstellung

Im Ökologischen Landbau können mehrjährige Beikrautarten, insbesondere *Cirsium arvense*, den Landwirt vor größere Herausforderungen stellen. Dies gilt vor allem für viehlose Betriebe, wo es keine Regulierung durch mehrjährigen Futterbau gibt. Die Integration des mehrjährigen Futterbaus in die Fruchtfolge hat sich zur Regulierung von *C. arvense* gut bewährt (z. B. Verschwele und Häusler 2004). Auf der anderen Hand gilt tiefes Pflügen (ca. 25 cm) als sicheres Mittel zur Reduktion der mehrjährigen Beikräuter (Bakken et al. 2009; Brandsæter et al. 2011; Kouwenhoven et al. 2002;). Flaches Pflügen (ca. 12-20 cm, Kouwenhoven et al. 2002) bringt jedoch zahlreiche Vorteile für die Struktur des Bodens und das Bodenleben mit sich. Dazu gehört die Anreicherung von organischem Material, Bodenorganismen und Nährstoffen an der Oberfläche. Im Unterboden können sich durchgehende Bioporen entwickeln. Energieverbrauch und Arbeitszeit werden bei flachem Pflügen im Vergleich zu tiefem Pflügen verringert (Kouwenhoven et al. 2002).

Die Vorteile einer flachen Bearbeitungstiefe mit einer effizienten Regulierung von Beikräutern verbinden soll ein weiterentwickelter Schälppflug, der Stoppelhobel der Firma Zobel. Durch seine flächig abschneidende und komplett wendende Arbeitsweise soll er ein wertvolles Gerät insbesondere für die Regulierung mehrjähriger Beikrautarten sein (Dierauer und Böhler 2007). Aufgrund der im Vergleich zum herkömmlichen Pflug kleineren Streichbleche wird der Boden nicht nur gewendet, sondern auch stärker gemischt (Schmidt 2010, S. 3). Durch die flache Arbeitsweise verbleibt die organische Substanz an der Bodenoberfläche, was die Bodengare fördert. Die Gareförderung einerseits und die flache Arbeitstiefe andererseits sollen sich besonders erfolgreich auf die Regulierung von *C. arvense* auswirken (Heilmann 2014). Die flache und genau einstellbare Arbeitstiefe soll es ermöglichen, die meist zwischen 12 und 20 cm tiefen waagrechten Verbreitungsorgane von *C. arvense* nicht zu stören und dadurch in eine „Dormanz“ fallen zu lassen (Heilmann 2014).

Anhand der Versuchsergebnissen von zwei Versuchsjahren eines seit 2007 laufenden Systemvergleichs Stoppelhobel versus herkömmliches Pflügen in zwei verschiedenen Fruchtfolgen mit integrierten Zwischenfrüchten in allen drei Systemen soll folgenden Forschungsfragen nachgegangen werden:

- Welchen Einfluss haben die Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesysteme auf N_{\min} und NO_3-N ? Welche der getesteten Zwischenfrüchte führen in den verschiedenen Systemen zu den höchsten N_{\min} - und NO_3-N -Werten?
- Welchen Einfluss haben die Fruchtfolge-/Bodenbearbeitungssysteme und die Zwischenfrüchte auf die N-Flächenbilanzen der beiden Versuchsjahre?

- Nimmt der Gehalt an organischem Kohlenstoff und mikrobieller Biomasse bei einer mehrjährigen ausschließlichen Bearbeitung mit dem Stoppelhobel verglichen mit den Pflugsystemen in den oberen Bodenschichten zu?
- Ist der Stoppelhobel im Hinblick auf die Regulierung von *C. arvense* und anderen mehrjährigen Beikräutern ähnlich effektiv wie der Anbau von mehrjährigem Luzernegras in einem herkömmlichen Pflugsystem?
- Welche Zwischenfrüchte haben in den verschiedenen Systemen den besten beikrautunterdrückenden Effekt und wie wirken die verschiedenen Systeme auf das Beikrautaukommen?
- Wie wirken sich die verschiedenen Systeme und Zwischenfrüchte auf die Diversität, Äquität und Zusammensetzung der Beikrautpopulation aus?
- Wie wirken sich die Bodenbearbeitungs-Fruchtfolgesysteme und die verschiedenen Zwischenfrüchte auf die Erträge der nachfolgend angebauten Hauptfrüchte Sommerhafer und Ackerbohne aus?
- Führen die verschiedenen Systeme und Zwischenfrüchte zu Unterschieden im Feldaufgang und in der Ertragsstruktur der nachfolgend angebauten Hauptfrüchte Sommerhafer und Ackerbohne?

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Standortbeschreibung

Der Versuch wurde auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb der Universität Kassel, der Domäne Frankenhausen (51,5 N, 9,4 E; 231 m ü NN), auf dem Schlag „Untere Kiebitzbreite“ angelegt. Beim Bodentyp handelt es sich um eine Parabraunerde aus Löß. Die Bodenart im Pflughorizont ist ein stark toniger Schluff (Ut4) bis stark schluffiger Ton (Tu4) (Brandt et al. 2001, S. 83–84).

Die Charakterisierung des Schlages bezüglich der Grundnährstoffe und des pH-Wertes sowie C_t und N_t ist Tabelle 30 zu entnehmen. Es wurden zwölf Mischproben vom 05.09.2012 analysiert; die hier angegebenen Werte sind Mittelwerte der zwölf Proben.

Tabelle 30: Bodenchemische Parameter des Versuchsschlages

Bodentiefe [cm]	Parameter	Wert
0-30	pH	6,6
	P [mg kg ⁻¹ TS]	28,5
	K [mg kg ⁻¹ TS]	104,6
	Mg [mg kg ⁻¹ TS]	123,8
0-30	N_t [%]	0,1
	C_t [%]	0,9
	C/N-Verhältnis	9
30-60	N_t [%]	0,04
	C_t [%]	0,4
	C/N-Verhältnis	10

4.2.2 Witterung

- siehe Kapitel 3.2.2 -

4.2.3 Versuchsaufbau

Ursprünglich war der Versuch geplant worden, um den Einfluss von konventioneller Bodenbearbeitung mit reduzierter Bodenbearbeitung (Stoppelhobel) auf die Entwicklung von *C. arvense* in einer getreidebasierten Fruchtfolge zu vergleichen. Dafür wurde 2007 ein mehrjähriger Versuch als randomisierte Blockanlage mit vier Feldwiederholungen angelegt. Die konventionelle Bodenbearbeitung war eine zweimalige Stoppelbearbeitung mit dem Grubber gefolgt von Pflügen auf 25 cm Tiefe, die reduzierte Bearbeitung erfolgte ausschließlich mit dem Stoppelhobel auf maximal 10 cm Tiefe (Haase und Heß 2011).

2008 wurde als Kontrolle zu dem Pflug- und Stoppelhobelsystem in der getreidebasierten Fruchtfolge Luzernegras ausgesät, da der mehrjährige Futterbau eine im Ökologischen Landbau bewährte Maßnahme zur Regulierung von *C. arvense* ist. Der Anbau des Luzernegrases erstreckte sich über drei Jahre. Das Luzernegras wurde pro Jahr zwei bis dreimal gemäht und der Aufwuchs abgefahren. Die Bodenbearbeitung erfolgte in dieser Fruchtfolge nach dem Umbruch im Jahr 2010 analog zur konventionellen Bodenbearbeitung in der getreidebasierten Fruchtfolge. Die Bearbeitung mit dem Stoppelhobel erfolgte nur in der getreidebasierten Fruchtfolge (Abbildung 95).

	Stoppelhobel (SH)	Pflug (PF)	Pflug (Pfluz)
2007		S o m m e r g e r s t e	
2007/2008	Winterweizen		Luzernegras
2008/2009	Triticale		Luzernegras
2009/2010	Wintererbse-Triticale		Luzernegras
2010/2011		T r i t i c a l e	
2011/2012		Z w i s c h e n f r ü c h t e	
2012		S o m m e r h a f e r	
2013		A c k e r b o h n e	

Abbildung 95: Fruchtfolge und Bodenbearbeitungssysteme des mehrjährigen Versuchs (2007 bis 2013) auf der Domäne Frankenhausen; die gestrichelte Linie markiert den Zeitrahmen der hier vorgestellten Ergebnisse

Im Herbst 2011 mit Beginn des Projektes TILMAN ORG wurde der bis dahin einfaktorielle Versuch um den Faktor Zwischenfrucht in Form einer Spaltanlage erweitert. Die vierfache Wiederholung wurde

beibehalten. Es wurden folgende legume und nicht-legume Zwischenfruchtarten in Reinsaat und in einer Mischung aus zwei Arten angebaut:

- *Lolium perenne* (40 kg ha⁻¹; Cv. Lemmos)
- *Phacelia tanacetifolia* (12 kg ha⁻¹; Cv. Boratus)
- *Sinapis alba* (20 kg ha⁻¹; Cv. Asta)
- *Sinapis alba* und *Trifolium resupinatum* (Mischung; jeweils 10 kg ha⁻¹)
- *Trifolium resupinatum* (20 kg ha⁻¹; Cv. Marco Polo)
- *Vicia sativa* (40 kg ha⁻¹; Cv. Ereica)
- Schwarzbrache (= Kontrolle).

Im ersten Versuchsjahr des TILMAN ORG – Projekts (2011/12) wurden alle Varianten beprobt bzw. bonitiert (= 84 Parzellen). Im zweiten Versuchsjahr (2012/13) wurden nur ausgewählte Parzellen beprobt bzw. bonitiert, um zu überprüfen, ob es auch im zweiten Anbaujahr nach dem Zwischenfruchtanbau noch Effekte der verschiedenen Zwischenfruchtarten gab. Ausgewählt wurde dafür folgende Varianten: Schwarzbrache, *S. alba* und *V. sativa* (= 36 Parzellen). Die Parzellengröße betrug 6 m x 10 m (Abbildung 96).

		2011/12			2012/13		
		1-6	2-6	3-6	1-6	2-6	3-6
		1-7	2-5	3-3	1-7	2-5	3-3
		1-2	2-1	3-2	1-2	2-1	3-2
		1-5	2-7	3-7	1-5	2-7	3-7
		1-3	2-4	3-4	1-3	2-4	3-4
		1-4	2-3	3-1	1-4	2-3	3-1
6 m		1-1	2-2	3-5	1-1	2-2	3-5
		BLOCK A			BLOCK A		

1- Pflug	-1 <i>Sinapis alba</i>
2- Stoppelhobel	-2 <i>Trifolium resupinatum</i>
3- Pflug+Alfalfa (2008-2010)	-3 Mischung (<i>S. alba</i> und <i>T. resupinatum</i>)
	-4 <i>Phacelia tanacetifolia</i>
	-5 <i>Lolium perenne</i>
	-6 Schwarzbrache
	-7 <i>Vicia sativa</i>

Abbildung 96: Ausschnitt aus dem Versuchsplan des mehrjährigen Versuchs
(2012/13 wurden die weißen Parzellen nicht bonitiert bzw. beprobt)

Auf die Zwischenfrüchte folgte im ersten Versuchsjahr von TILMAN ORG die Aussaat der Hauptfrucht Hafer (*Avena sativa*, Cv. Scorpion, 400 keimfähige Körner pro m², Reihenabstand 10,7 cm). Im zweiten Versuchsjahr von TILMAN ORG wurden Ackerbohnen ausgesät (*Vicia faba*, Cv. Bioro, 40 keimfähige Körner pro m², Doppelreihe mit 15 cm Abstand, Reihenabstand zwischen den Doppelreihen 45 cm).

Während der Laufzeit des Versuchs wurde keine Düngung vorgenommen. Im Jahr 2011/12 wurde keine Beikrautkontrolle durchgeführt. 2012/13 wurde die Fläche einmal gehackt (Tabelle 31).

Tabelle 31: Ackerbauliche Maßnahmen im mehrjährigen Versuch 2011-2013

Datum	Pflugsysteme	Tiefe / Reihenabstand	Stoppelhobelsystem	Tiefe / Reihenabstand
24.08.2011	Pflug Kreiselegge	Tiefe 25 cm	Stoppelhobel Kreiselegge	Tiefe 8-10 cm
30./31.08.2011	Aussaat der ZF, walzen	Reihenabstand 18,75 cm	Aussaat der ZF, walzen	Reihenabstand 18,75 cm
17.10.2011	Abflammen der Schwarzbrache- parzellen		Abflammen der Schwarzbrache- parzellen	
16.04.2012	Abschlegeln der ZF (Sichelmäher), dann Grubber	Tiefe 7-10 cm	Abschlegeln der ZF (Sichelmäher), dann Stoppelhobel	Tiefe 7-12 cm
17.04.2012	Kreiselegge Saat (Hafer)	Reihenabstand 12 cm	Kreiselegge Saat (Hafer)	Reihenabstand 12 cm
13.08.2012	Ernte (Hafer)		Ernte (Hafer)	
01.10.2012	Pflug	Tiefe 25 cm	Stoppelhobel	Tiefe 8 cm
29.10.2012	-		Stoppelhobel	Tiefe 12 cm
18.04.2013	Federzinkengrubber	Tiefe 8 cm	Federzinkengrubber	Tiefe 8 cm
22.04.2013	Kreiselegge Saat (Ackerbohne)	Doppelreihen mit 15 cm Abstand, dazwischen 45 cm Abstand	Kreiselegge Saat (Ackerbohne)	Doppelreihen mit 15 cm Abstand, dazwischen 45 cm Abstand
11.06.2013	Hacken		Hacken	
26.08.2013	Ernte (Ackerbohne)		Ernte (Ackerbohne)	

4.2.4 Datenerhebung

Untersuchungen an Pflanzen

Der Ertrag der Zwischenfrüchte wurde am 17.11.2011 bestimmt. Dafür wurde pro Parzelle eine quadratische Fläche mit 1,5 m Seitenlänge von Hand dicht über dem Boden abgeschnitten. Direkt im Anschluss an die Handernte wurde der Grünschnitt gewogen. Aus jeder Probe wurde eine Teilprobe zur Bestimmung der Trockenmasse gewonnen. Diese wurde im Trockenschrank bei 60°C getrocknet. Die Proben wurden außer zur Ertragsbestimmung zur Analyse des Gesamtstickstoffgehaltes (N_t) und –kohlenstoffgehaltes (C_t) der oberirdischen Biomasse verwendet.

Die Ernte des Hafers erfolgte am 13.08.2012 ebenfalls von Hand. Dafür wurde zwei Mal pro Parzelle 0,5 m² geerntet. Auch die Ernte der Ackerbohnen erfolgte von Hand, und zwar am 26.08.2013. Dafür wurde pro Parzelle fünf Meter Doppelreihe dicht über dem Boden abgeschnitten.

Die Ernteproben von Hafer und Ackerbohnen wurden für die Feststellung folgender Parameter verwendet:

- Rispen bzw. Pflanzen pro m²
- Hülsen pro Pflanze (Ackerbohne)
- Kornertrag
- Strohertrag
- C_t , N_t (Korn und Stroh)
- Tausendkornmasse.

Bezüglich der Beikräuter wurde der Deckungsgrad (DG) nach Art in einem späten Stadium der Zwischenfrüchte und einem späten Stadium der Hauptfrüchte auf einer Fläche von einem Quadratmeter pro Parzelle bestimmt. Für die Abschätzung der prozentualen Bodendeckung wurden Referenzbilder verwendet. Für den Gesamtdeckungsgrad wurden die Deckungsgrade der verschiedenen Arten addiert. Da die Pflanzen auf verschiedenen Ebenen wachsen, kann der Gesamtdeckungsgrad 100 % übersteigen. Die Dichte nach Art wurde in einem frühen Stadium der Hauptfrüchte ermittelt, d. h. alle Beikrautpflanzen auf der Boniturfläche wurden gezählt. Die Boniturfläche betrug ein Zehntel Quadratmeter und wurde viermal zufällig über die Parzelle verteilt. Die oberirdische Gesamtbiomasse wurde in einem späten Stadium der Hauptfrüchte zeitgleich mit dem Deckungsgrad nach Art und auf derselben Fläche quantifiziert. Hierfür wurden alle Beikräuter bodennah abgeschnitten. Die Proben wurden im Trockenschrank getrocknet. Nach vollständiger Trocknung wurde die Trockenmasse bestimmt.

Bodenuntersuchungen

Zur Analyse des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden wurden an fünf über das Versuchsjahr verteilten Terminen Proben bis zu einer Tiefe von 90 cm gezogen. Wenn eine Probenahme bis 90 cm Tiefe aufgrund der Bodenverhältnisse nicht möglich war, wurde der Boden bis zu einer Tiefe von 60 cm beprobt. Die Unterteilung der Probe in Profilrichtung erfolgte in der Regel in 30 cm Abschnitten. Nur zu Beginn des Projekts erfolgte eine andere Einteilung aufgrund der Absprachen mit den Projektpartnern aus anderen europäischen Ländern. Die Einteilung bei den ersten zwei Bodenprobeterminen war folgendermaßen: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm und 60-90 cm der Bodentiefe. Pro Parzelle und Schicht wurde eine Mischprobe aus drei Einstichen gewonnen. Diese Proben wurden auf der Versuchsfläche sofort in gekühlte Isolierboxen verpackt. Alle Proben wurden schnellstmöglich eingefroren. Zur Analyse des Gehalts an mineralisiertem Stickstoff wurden

die Proben zum Hessischen Landeslabor nach Kassel / Harleshausen gebracht. Die Untersuchung der N_{\min} -Proben erfolgte nach DIN ISO 14255 und nach DIN EN ISO 11732. Das gesamte Probenmaterial wurde auf NO_3 -N untersucht, die Proben der Krumschicht auch auf NH_4 -N.

Der Boden wurde im Frühjahr 2012 zusätzlich zu der N_{\min} -Beprobung auf organischen Kohlenstoff untersucht. Dafür wurden Proben in den Bearbeitungstiefen gezogen, d. h. 0 – 10 cm entsprechend der Bearbeitungstiefe des Stoppelhobels, 10 – 25 cm entsprechend der Pflugtiefe und 25 – 50 cm als unbearbeitete Schicht. Die lufttrockenen und auf 2 mm gesiebten Proben wurden an das Centre de Recherche Public Gabriel Lippmann in Luxemburg (CRPGL) geschickt und dort nach der Walkley-Black Methode (ISO 14235) auf organischen Kohlenstoff untersucht. Die Lagerungsdichte wurde ebenfalls in dieser Schichtung untersucht.

Im Frühjahr 2013 wurde der Boden zusätzlich zu der N_{\min} -Beprobung auf den Gehalt an mikrobieller Biomasse hin untersucht. Die Proben wurden in der Schichtung der Bearbeitungstiefen gezogen wie oben beschrieben. Die Analyse erfolgte nach der Chloroform-Fumigations-Extraktionsmethode (Jørgensen 1995). Das Grundprinzip dieser Methode ist es, dass durch die Begasung von Bodenmaterial Zellmembranen von lebenden Organismen zerstört werden. In der anschließenden Inkubationsphase kommt es durch autolytische Prozesse zum Abbau von Polymeren. Dadurch steigt nach der Entfernung des Chloroforms der Anteil an extrahierbaren Substanzen im Vergleich zur unbegasteten Bezugsbodenprobe. Diese Zunahme ist proportional zur Biomasse, die im Boden vorhanden war (Jørgensen 1995).

Der zeitliche Ablauf der Probenahmen und Bonituren ist für ein exemplarisches Versuchsjahr in Abbildung 97 dargestellt. Die Termine der Bodenproben und Beikrautbonituren sind in Tabelle 32 und 33 wiedergegeben.

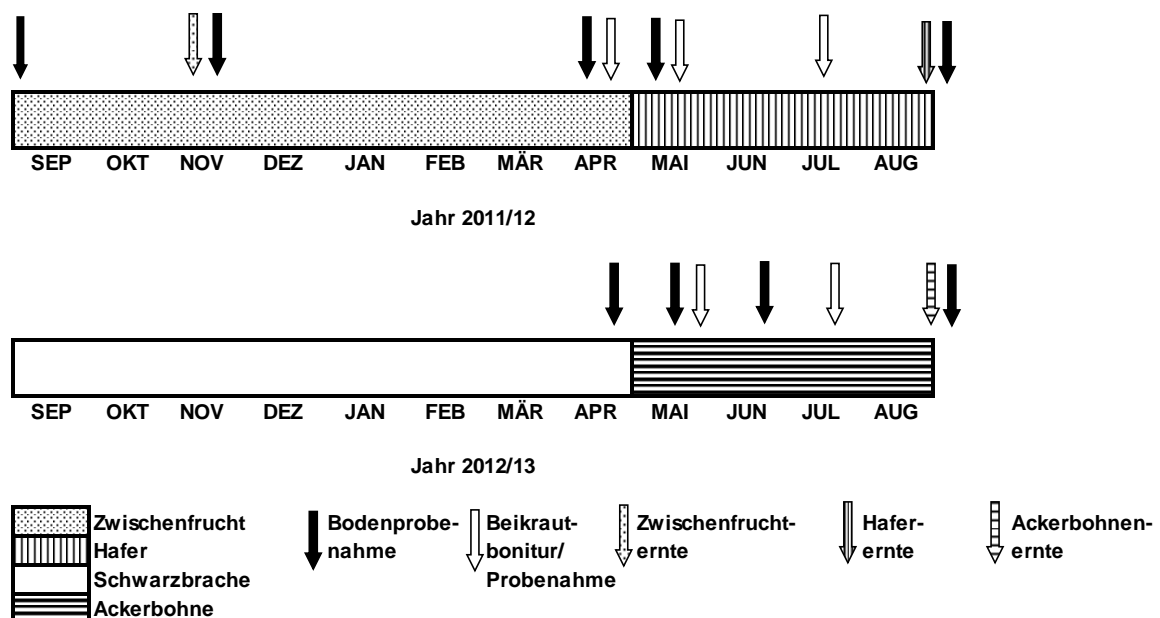


Abbildung 97: Zeitlicher Ablauf der Bonituren und Probenahmen im mehrjährigen Versuch

Tabelle 32: Bodenprobenahmeterminen, untersuchte Parameter und Probentiefen im mehrjährigen Versuch

Parameter	Kultur	Tiefen [cm]	Datum
N _{min}	ZF	0-10, 10-20, 20-40, 40-60	02.09.2011
	ZF	0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-90	23.11.2011
	ZF	0-30, 30-60, 60-90	15.03.2012
	Hafer	0-30, 30-60, 60-90	15.05.2012
	Hafer-Stoppel	0-30, 30-60	05.09.2012
	BR	0-30, 30-60, 60-90	08.04.2013
	Ackerbohne	0-30, 30-60, 60-90	23.05.2013
	Ackerbohne	0-30, 30-60, 60-90	18.06.2013
	Ackerbohne-Stoppel	0-30, 30-60, 60-90	09.09.2013
pH, Grundnährstoffe	Hafer-Stoppel	0-30, 30-60	05.09.2012
LD, C _{org}	ZF	0-10, 10-25, 25-50	27.03.2012
LD, N _{mic} , C _{mic}	BR	0-10, 10-25, 25-50	12.04.2013

Tabelle 33: Pflanzenprobenahme- und Boniturtermine im mehrjährigen Versuch

Parameter	Kultur	Fläche pro Parzelle	Datum
ZF-Ertrag	ZF	150 cm x 150 cm	17.11.2011
Beikraut-DG	ZF	100 cm x 100 cm	30.03.2012
-Dichte	Hafer	4 x 1/10 m ²	30.05.2012
	Ackerbohne	4 x 1/10 m ²	23.05.2013
-Biomasse und DG	Hafer	100 cm x 100 cm	25.07.2012
	Ackerbohne	100 cm x 100 cm	19.07.2013
Feldaufgang	Hafer	4 x 0,5 m Reihe	16.05.2012
	Ackerbohne	4 x 1 m Doppelreihe	17.05.2013
Grünschnitt	Ackerbohne	2 x 1 m Doppelreihe	18.06.2013
Ertrag	Hafer	2 x 0,5 m ²	13.08.2012
	Ackerbohne	2 x 5 m Doppelreihe	26.08.2013

4.2.5 Datenauswertung

- Berechnungen und Statistik siehe Kapitel 3.2.5 -

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Zwischenfrüchte – Ertrag und C/N-Verhältnis

Die Zwischenfrüchte unterschieden sich signifikant hinsichtlich ihres Biomasseertrags. Es gab einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung und eine signifikante Wechselwirkung Bodenbearbeitung*Zwischenfrucht (Tabelle 34). Das Stoppelhobelsystem (SH) führte zum geringsten Zwischenfruchtertrag bei jeder Zwischenfruchtart mit Ausnahme von *V. sativa*. *V. sativa* hatte einen ähnlichen Ertrag in jedem System. Den niedrigsten Ertrag von rund 5 dt Trockenmasse pro Hektar hatten *L. perenne*, *P. tanacetifolia*, *S. alba* und die Mischung aus *S. alba* und *T. resupinatum* jeweils im Stoppelhobelsystem. Den höchsten Ertrag von rund 15 dt TM pro Hektar erbrachten *S. alba* im Pflug-Luzernegras (PflLuz)-System und *V. sativa* in allen drei Systemen (Abbildung 98).

Die Zwischenfrüchte unterschieden sich signifikant in ihrer N-Aufnahme, die Bodenbearbeitung hatte einen signifikanten Einfluss und es gab eine signifikante Wechselwirkung Bodenbearbeitung*Zwischenfrucht (Tabelle 34). Die Zwischenfrüchte im PflLuz-System hatten die höchste N-Aufnahme, die Zwischenfrüchte im SH-System die niedrigste mit Ausnahme von *V. sativa*, die in allen drei Bodenbearbeitungssystemen die höchste N-Aufnahme der Zwischenfruchtarten hatte. Die N-Aufnahme von *V. sativa* reichte von 47,3 kg N ha⁻¹ im PflLuz-System bis 57,5 kg N ha⁻¹ im PF-System. Im SH-System lag die N-Aufnahme von *V. sativa* bei 52,8 kg N ha⁻¹. In diesem System war der Abstand zu den anderen Zwischenfruchtarten besonders hoch (Abbildung 99).

Tabelle 34: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Zwischenfruchtertrag, -N-Aufnahme und C/N-Verhältnis für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	ZF-Biomasseertrag	ZF-N-Aufnahme	ZF-C/N-Verhältnis
ZF	0,000	0,000	0,000
BB	0,000	0,000	0,000
ZF*BB	0,000	0,000	0,000

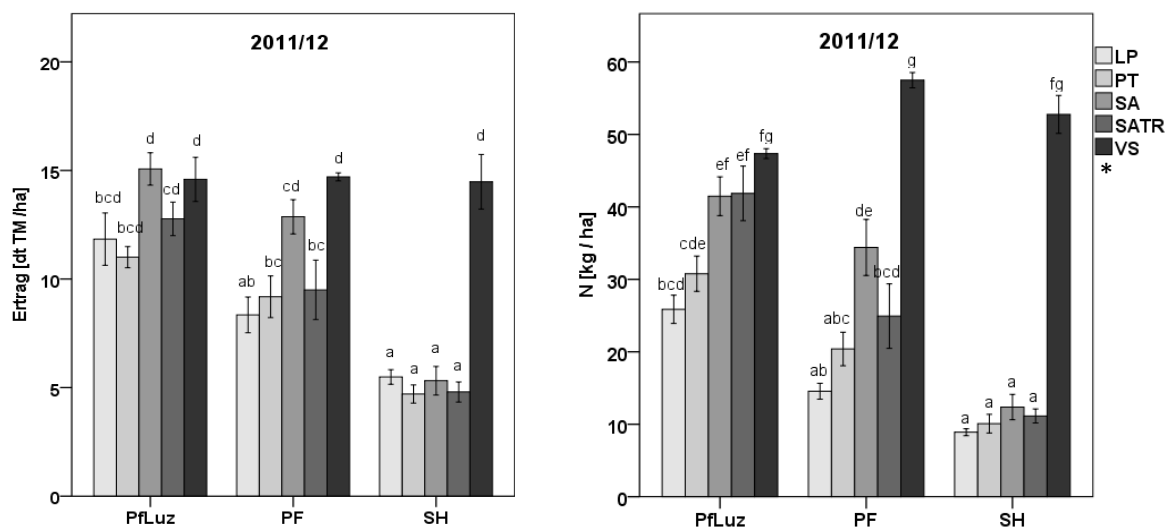


Abbildung 98 und 99: Biomasseertrag und N-Aufnahme der Zwischenfrüchte am 17.11.2011

(Pfluz=Pflug in Fruchtfolge mit Luzernegrass, PF=Pflug in getreidebasierter Fruchtfolge, SH=Stoppelhobelsystem in getreidebasierter Fruchtfolge. LP=*L. perenne*, PT=*P. tanacetifolia*, SA=*S. alba*, SATR=Mischung aus *S. alba* und *T. resupinatum*, VS=*V. sativa*)

(* *T. resupinatum* hatte wegen zu schlechten Feldaufgangs nicht beprobt werden können)

Die Zwischenfrüchte unterschieden sich signifikant in ihrem C/N-Verhältnis, die Bodenbearbeitung hatte einen signifikanten Einfluss und es gab eine signifikante Wechselwirkung

Bodenbearbeitung*Zwischenfrucht (Tabelle 34). Von den untersuchten Zwischenfruchtarten hatte *L. perenne* das höchste C/N-Verhältnis, welches im Bereich zwischen 16,1 im Pfluz-System und 21,3 im SH-System lag. *S. alba* wies ein etwas niedrigeres C/N-Verhältnis auf (15,3 – 16,7). Die Mischung aus *S. alba* und *T. resupinatum* hatte ein C/N-Verhältnis zwischen 12,8 und 17,1. *P. tanacetifolia* hatte ein C/N-Verhältnis zwischen 12,8 und 15,9. *V. sativa* hatte das niedrigste C/N-Verhältnis (9,4–10,6). In jeder Zwischenfruchtvariante bis auf *V. sativa* war das C/N-Verhältnis im Pfluz-System am niedrigsten und im SH-System am höchsten. Bei *V. sativa* war es im Pfluz-System am höchsten und im PF-System am niedrigsten, allerdings mit nur geringen Unterschieden (Tabelle 35).

Tabelle 35: C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte

Zwischenfrucht	Pfluz	PF	SH
LP	16,1 ± 0,35 d	19,8 ± 1,34 ef	21,3 ± 0,75 f
PT	12,8 ± 0,53 bc	15,9 ± 0,42 cd	15,9 ± 0,59 cd
SA	15,3 ± 0,63 cd	16,1 ± 0,91 d	16,7 ± 0,27 d
SATR	12,8 ± 0,56 bc	16,1 ± 0,60 d	17,1 ± 0,54 de
VS	10,6 ± 0,38 ab	9,4 ± 0,20 a	10,1 ± 0,23 ab

4.3.2 Versuchsjahr 2011/12 - N-Dynamik

4.3.2.1 Einfluss der Systeme und der Zwischenfrüchte

Der Anteil von $\text{NH}_4\text{-N}$ am N_{min} war an allen Terminen klein und wird im Folgenden nicht gesondert dargestellt. Es werden zur Orientierung der kleinste und größte Mittelwert pro Variante genannt.

Der Gehalt an $\text{NH}_4\text{-N}$ am 02.09.2011 lag zwischen $0,2$ und $0,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Schicht}^{-1}$. Die Varianzanalyse von N_{min} im Oberboden und $\text{NO}_3\text{-N}$ im Unterboden zeigte einen signifikanten Effekt des Bodenbearbeitungs-Fruchtfolgesystems (Tabelle 36). Das Pfluz-System hatte in jeder Schicht einen signifikant höheren N_{min} - bzw. $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt verglichen mit den anderen beiden Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystemen (Abbildung 100 a und Tabelle A- 9).

Am 23.11.2011 lagen die Werte von $\text{NH}_4\text{-N}$ zwischen $0,5$ und $1,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Schicht}^{-1}$. Die Varianzanalyse von N_{min} im Oberboden und $\text{NO}_3\text{-N}$ im Unterboden zeigte keine signifikanten Effekte in den oberen beiden Bodenschichten sowie der untersten Schicht. In den Schichten 20-40 cm und 40-60 cm gab es einen signifikanten Effekt des Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystems (Tabelle 36). Das Pfluz-System hatte in diesen Schichten wieder einen signifikant höheren $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt verglichen mit den anderen beiden Bodenbearbeitungssystemen (Abbildung 100 b und Tabelle A-9).

Am 15.03.2012 wurden die Bodenproben erstmals differenziert nach Zwischenfruchtvarianten gezogen. Die Werte von $\text{NH}_4\text{-N}$ lagen zwischen $0,5$ und $2,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Schicht}^{-1}$. Die Varianzanalyse zeigte signifikante Effekte sowohl für den Faktor Zwischenfrucht als auch für das Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem als auch für deren Wechselwirkung (Tabelle 36). *V. sativa* führte in allen Bodenbearbeitungssystemen zu den signifikant höchsten N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werten. Im Pfluz-System war der Abstand von *V. sativa* zu den anderen Zwischenfruchtvarianten geringer als in den PF- und SH-Systemen. *L. perenne* hatte in den Pfluz- und PF-Systemen zu den niedrigsten N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werten geführt (Abbildung 101 a und Tabelle A-10).

Am 15.05.2012 lagen die Werte von $\text{NH}_4\text{-N}$ zwischen $0,6$ und $3,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Schicht}^{-1}$. Die Varianzanalyse für die N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werte zeigte einen signifikanten Effekt des Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystems auf die N-Gehalte jeder Schicht. Das Pfluz-System hatte in jeder Schicht den signifikant höchsten N_{min} - bzw. $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt. Auf die N-Gehalte der obersten Schicht gab es außerdem einen signifikanten Einfluss der Zwischenfrucht und eine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 36). Hinsichtlich der Zwischenfrüchte führten *L. perenne* und Schwarzbrache zu dem signifikant niedrigsten, *V. sativa* zu dem signifikant höchsten N_{min} -Gehalt in der Schicht 0-30 cm in jedem Bodenbearbeitungssystem. *T. resupinatum* führte im PF-System zu ähnlich hohen N_{min} -Werten wie *V. sativa*, nicht jedoch im SH-System (Abbildung 101 b und Tabelle A-11).

Am 05.09.2012 lagen die Werte von $\text{NH}_4\text{-N}$ zwischen $0,5$ und $0,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Schicht}^{-1}$. Die N_{min} -Gehalte waren im Pfluz-System ungefähr doppelt so hoch wie in den beiden anderen Bodenbearbeitungssystemen. Die Varianzanalyse zeigte einen signifikanten Effekt von dem Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem sowie eine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 36). Signifikant am höchsten waren die N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte in der SATR-Variante des Pfluz-Systems. In den anderen beiden Bodenbearbeitungssystemen waren die N_{min} - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte in der SATR-Variante so niedrig wie in den anderen Zwischenfruchtvarianten auch (Abbildung 101 c und Tabelle A-12).

Tabelle 36: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Schicht	02.09.2011				23.11.2011					15.03.2012			15.05.2012			05.09.2012	
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	1	2
ZF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,004	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BB	0,001	0,000	0,041	0,004	n.s.	n.s.	0,001	0,001	n.s.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ZF*BB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,009	n.s.	n.s.	0,014	0,003

- = keine Daten vorhanden (Bodenproben noch nicht differenziert nach Zwischenfrucht gezogen)

n.s. = nicht signifikant

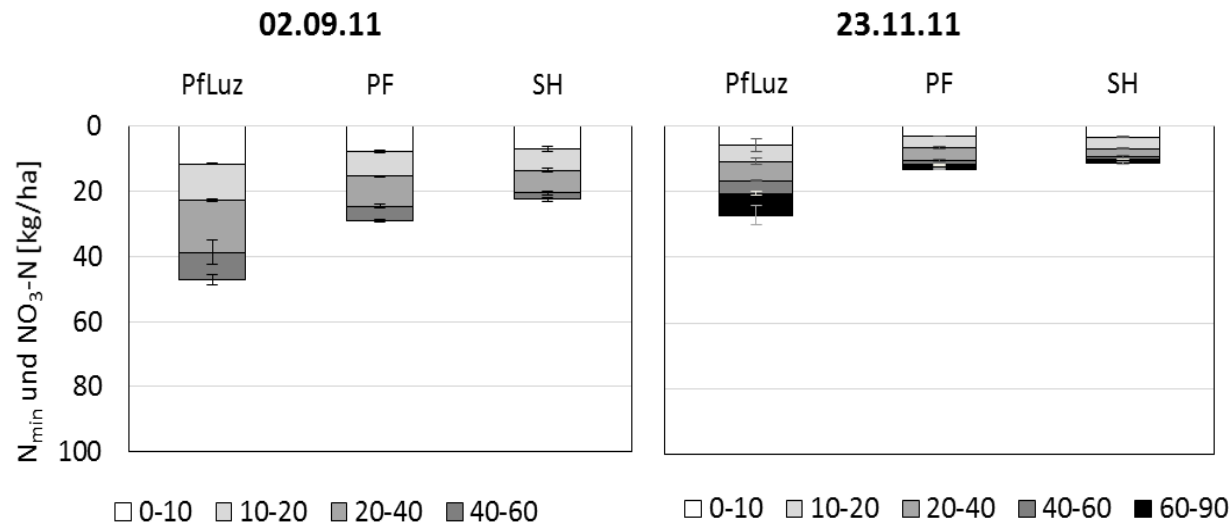


Abbildung 100 a und b: N_{\min} -Gehalte im Oberboden und NO_3-N -Gehalte im Unterboden

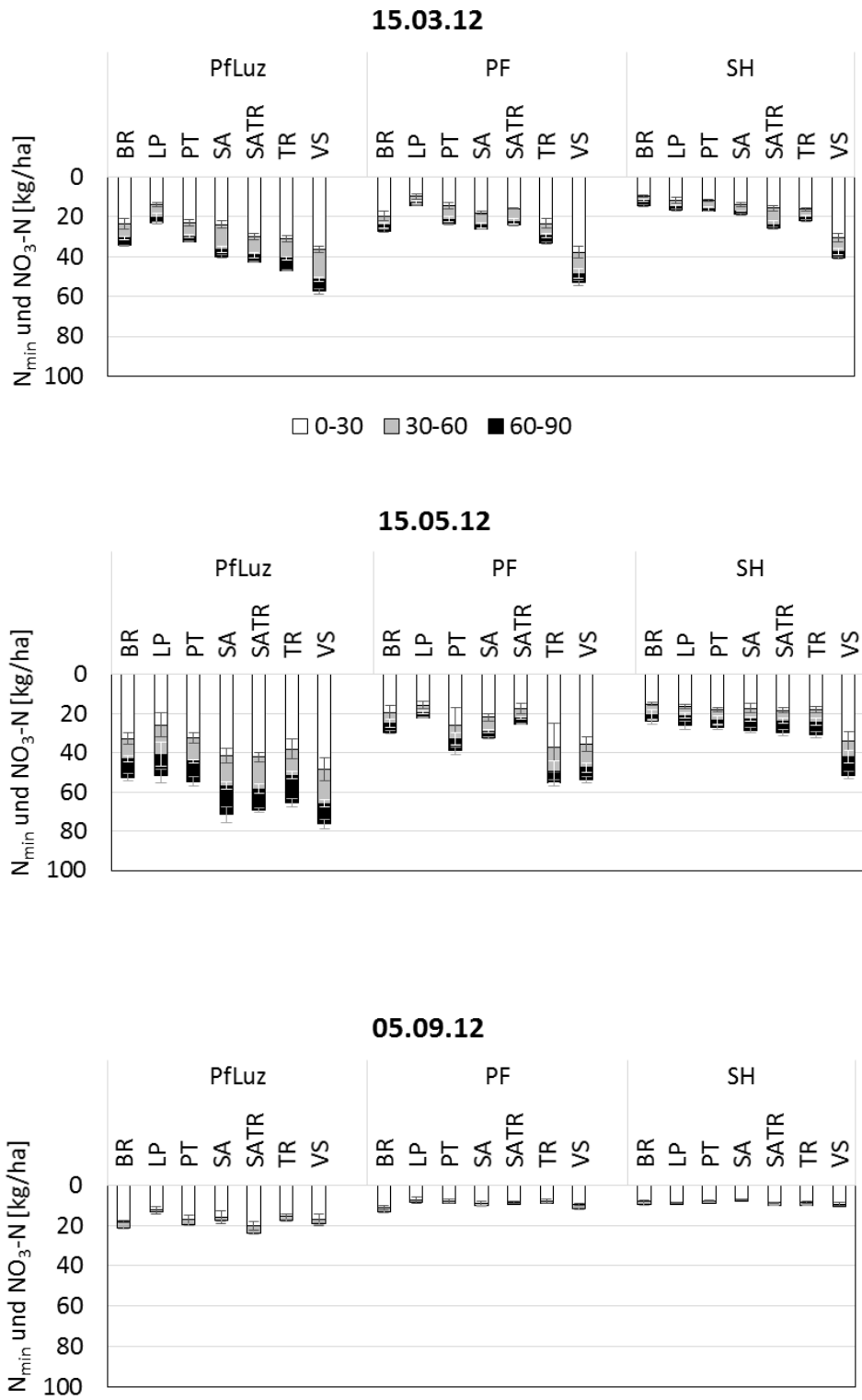


Abbildung 101 a-c: N_{min} -Gehalte im Oberboden und NO_3-N -Gehalte im Unterboden

4.3.2.2 N-Flächenbilanz

Die N-Flächenbilanz der Schwarzbrache-, *L. perenne*-, *S. alba*- und *P. tanacetifolia*-Varianten war in allen drei Systemen negativ. Die N-Flächenbilanz der *V. sativa*-Varianten im PF- und SH-System resultierte in positiven Saldi. In der *V. sativa*-Variante des Pfluz-Systems waren die N-Austräge von allen Varianten am höchsten. In dieser Variante entstand ein leicht negativer Saldo (Tabelle 37).

Tabelle 37: N-Flächenbilanz verschiedener Varianten im Versuchsjahr 2011/12

<i>N</i> -Eintrag/Austrag [kg/ha] 1)	Pfluz					PF					SH				
	BR	LP	PT	SA	VS	BR	LP	PT	SA	VS	BR	LP	PT	SA	VS
<i>N</i> -Eintrag															
N ₂ -Fixierung Zwischenfrucht	0	0	0	0	70	0	0	0	0	86	0	0	0	0	79
Deposition (nur N ₂)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Gesamt Einträge	13	13	13	13	83	13	13	13	13	99	13	13	13	13	92
<i>N</i> -Austrag (vom Feld abtransportierte <i>N</i> -Aufnahme)															
Haferkorn	75	41	70	55	83	38	27	41	40	66	25	37	34	34	56
Haferstroh	14	9	14	11	18	8	7	8	6	11	8	8	9	8	12
Gesamt Austräge	89	50	84	65	101	46	34	49	46	77	33	45	43	42	68
Saldo	-76	-37	-71	-52	-18	-33	-21	-36	-33	22	-20	-32	-30	-29	24

¹⁾Die Varianten TR und SATR konnten nicht bilanziert werden, da für *T. resupinatum* kein Ertrag hatte bestimmt werden können

4.3.3 Gehalt an organischem Kohlenstoff

Nach fünfjähriger differenzierter Bodenbearbeitung gab es zwischen den Systemen keine signifikanten Unterschiede im Gehalt an organischem Kohlenstoff. Die oberen beiden Schichten (0-10 cm und 10-25 cm) unterschieden sich jedoch in jedem System signifikant von der untersten Schicht (25-50 cm) (Abbildung 102).

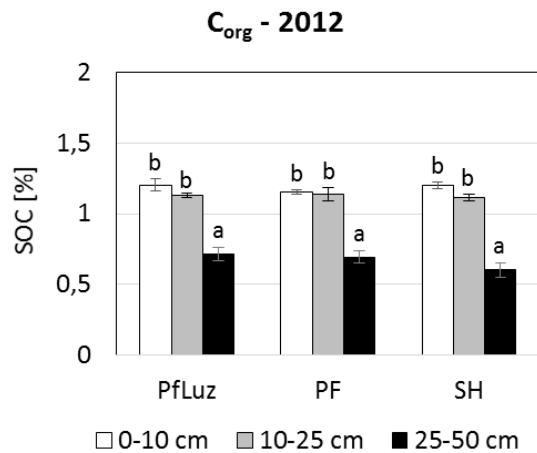


Abbildung 102: Gehalt an organischem Kohlenstoff im Frühjahr 2012 in drei Bodentiefen

Auch unter Berücksichtigung der Lagerungsdichte (Tabelle 21) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Menge an organischem Kohlenstoff zwischen den Systemen (Abbildung 103).

Tabelle 38: Lagerungsdichte [g cm⁻³] der drei Systeme in der Differenzierung nach Bodenbearbeitungstiefen

	PfLuz	PF	SH
0-10 cm	1,4	1,4	1,4
10-25 cm	1,4	1,4	1,4
25-50 cm	1,5	1,5	1,6

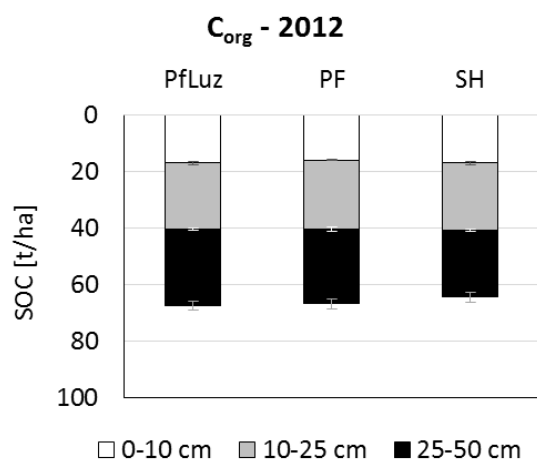


Abbildung 103: Organischer Kohlenstoff im Frühjahr 2012 in drei Bodentiefen

4.3.4 Beikrautaufkommen und Zusammensetzung der Population 2011/12

4.3.4.1 Spätes Stadium der Zwischenfrüchte

Beikrautdeckungsgrad

Die Daten für den Beikrautdeckungsgrad, der am 30.03.2012 bonitiert worden war, waren nicht normalverteilt. Für die statistischen Analysen wurden wurzeltransformierte Daten verwendet. Das Bodenbearbeitungs-Fruchtfolgesystem hatte einen signifikanten Einfluss auf den Beikrautdeckungsgrad. Im SH-System war der Beikrautdeckungsgrad signifikant höher als in den anderen beiden Systemen. Es gab eine signifikante Wechselwirkung Bodenbearbeitung*Zwischenfrucht. Im Pfluz-System hatten die Zwischenfruchtvarianten *L. perenne*, *P. tanacetifolia* und *S. alba* den signifikant niedrigsten Beikrautdeckungsgrad und die Schwarzbrache-Variante den höchsten. Im SH-System hatte *L. perenne* den niedrigsten Beikrautdeckungsgrad und Schwarzbrache sowie *T. resupinatum* den höchsten (Tabelle 39 und Abbildung 104).

Tabelle 39: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad (DG), Artenzahl (A), Äquität (E) und Shannon-Wiener Index (H') der Beikrautbonitur vom 30.03.2012 für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	DG	A	E	H'
ZF	0,000	0,001	0,01	0,04
BB	0,000	n.s.	0,000	0,000
ZF*BB	0,000	n.s.	0,004	0,05

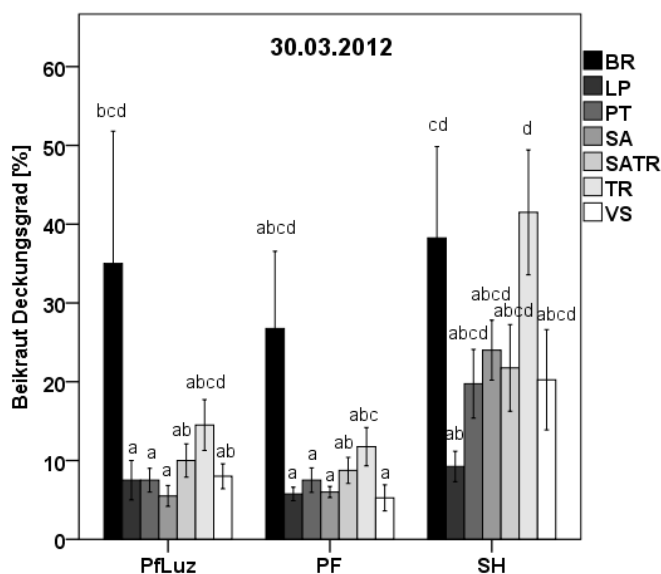


Abbildung 104: Deckungsgrad der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte

Zusammensetzung der Population

Im Pfluz-System wurden höhere Anteile an Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*) geschätzt als in den anderen beiden Systemen. In Pfluz x Schwarzbrache nahm das Hirtentäschelkraut den größten Anteil (74 %) an der Zusammensetzung der Beikrautpopulation von dieser Variante ein. Im SH-System gab es wesentlich mehr Kamillearten (*Matricaria* spp.) als in den anderen beiden Systemen. In allen Varianten des SH-Systems nahmen Kamillearten den größten Teil an der Zusammensetzung der Beikrautpopulation ein. Im PF-System gab es mehr Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) als in den anderen beiden Systemen (Abbildung 105 und Tabelle A- 14).

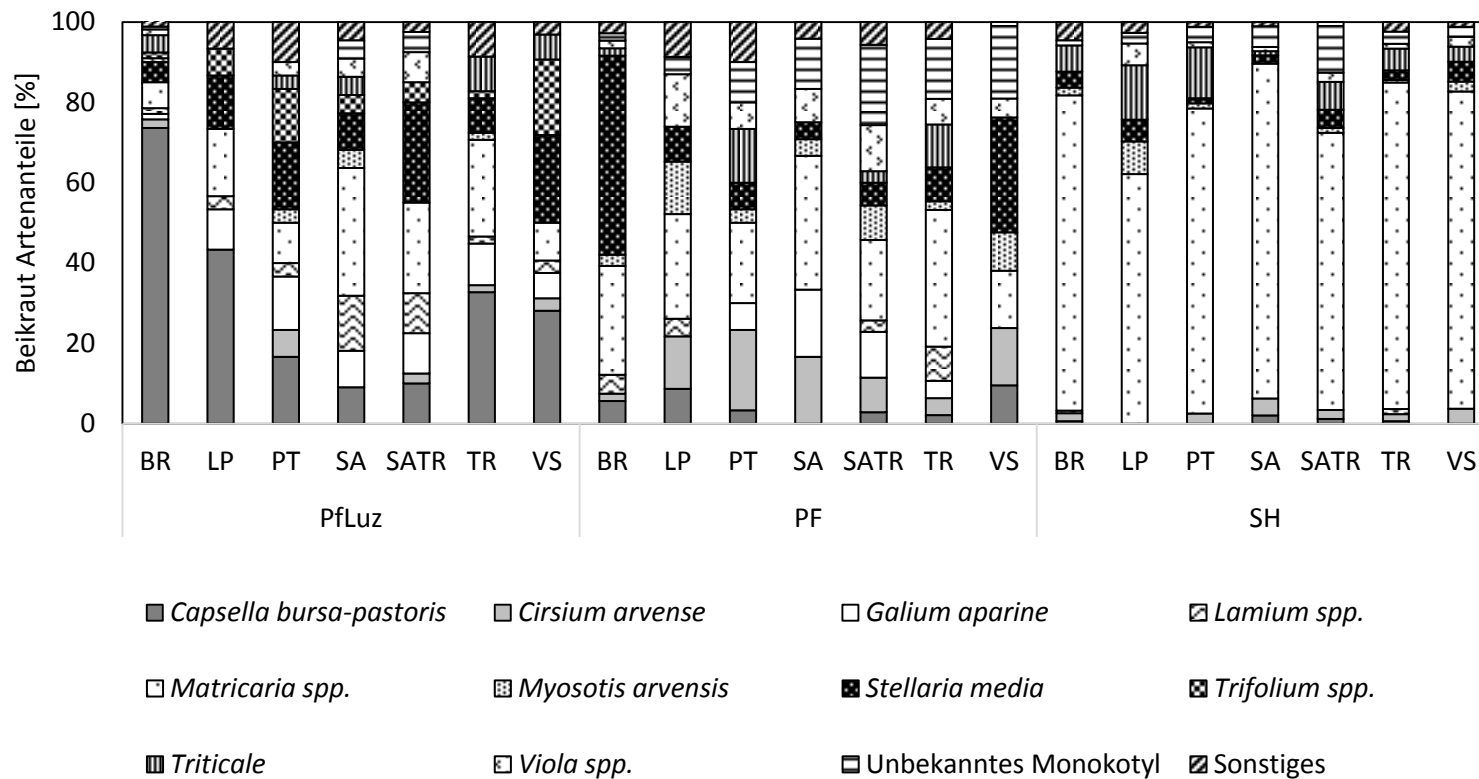


Abbildung 105: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 30.03.2012 im späten Stadium der Zwischenfrüchte

Artenreichtum

Auf den Artenreichtum der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht. In den *V. sativa*-Varianten eines jeden Bodenbearbeitungssystems gab es die niedrigste Anzahl Arten. Die höchste Artenanzahl gab es in den Schwarzbrache- und *T. resupinatum*-Varianten (Tabelle 39 und Abbildung 106).

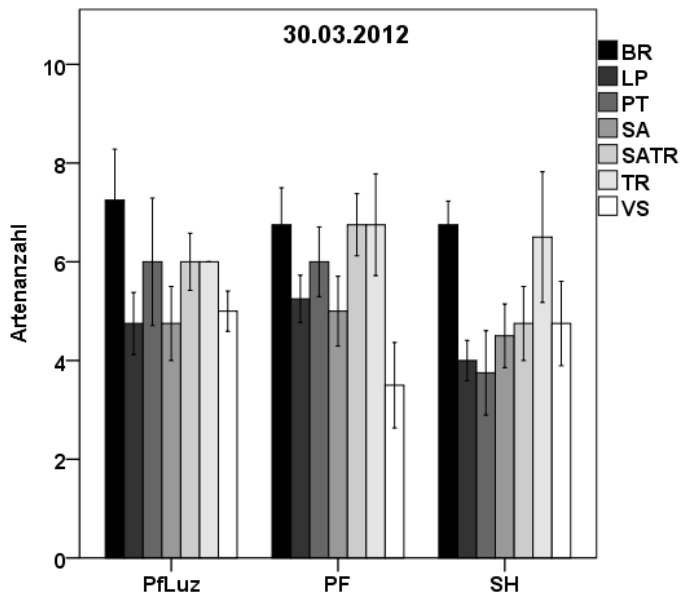


Abbildung 106: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte

Äquität

Das Bodenbearbeitungs/Fruchtfolge-System hatte auf die Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte einen signifikanten Einfluss. Das SH-System hatte einen signifikant niedrigeren Wert als das Pfluz- und das PF-System. Ferner hatte der Faktor Zwischenfrucht einen signifikanten Einfluss. Die Schwarzbrache führte zum signifikant niedrigsten Wert für die Äquität und *L. perenne* zum höchsten. Außerdem gab es eine signifikante Wechselwirkung. SH**S. alba* führte zur signifikant niedrigsten, Pfluz**L. perenne* und Pfluz**S. alba* sowie PF**L. perenne* zur signifikant höchsten Äquität (Tabelle 39 und Abbildung 107).

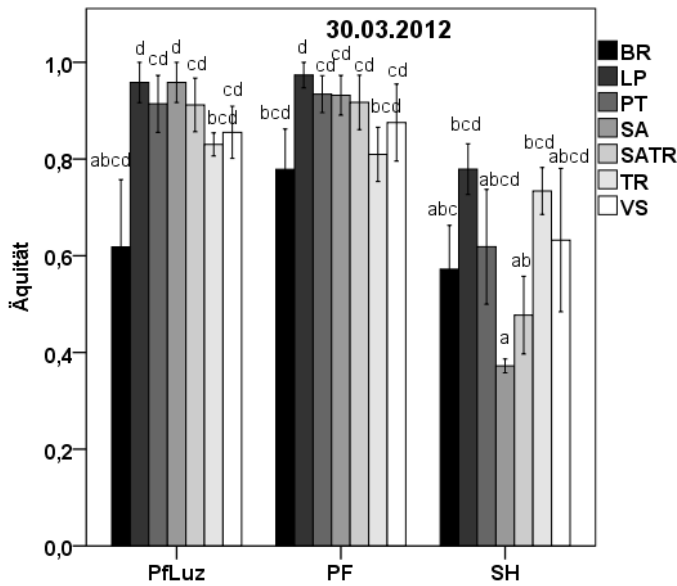


Abbildung 107: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte

Shannon-Wiener Index

Das Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem hatte einen signifikanten Einfluss auf den Shannon-Wiener Index (H'). Das SH-System hatte einen signifikant niedrigeren H' als die beiden anderen Systeme. Außerdem gab es eine signifikante Wechselwirkung Bodenbearbeitung*Zwischenfrucht. *P. tanacetifolia* und *S. alba* führten im SH-System zu einem niedrigen H', in den anderen beiden Systemen jedoch zu einem hohen. SATR x PF führte zum höchsten H' überhaupt; im SH-System erreichte SATR nur einen niedrigen Wert (Tabelle 39 und Abbildung 108).

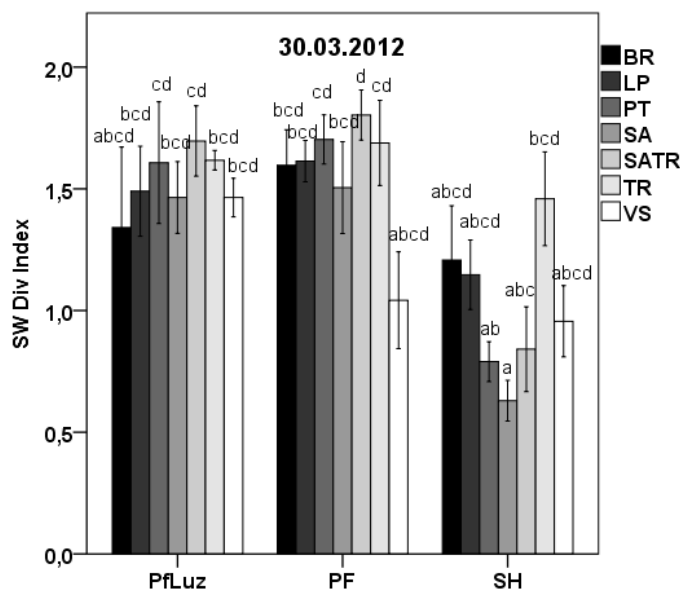


Abbildung 108: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Zwischenfrüchte

4.3.4.2 Frühes Stadium der Hauptfrucht Hafer

Beikrautdichte

Das Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem hatte auf die Beikrautdichte, die am 30.05.2012 gezählt worden war, einen signifikanten Einfluss. Das SH-System hatte signifikant mehr Beikräuter als die anderen beiden Systeme. Es lagen kein statistisch absicherbarer Einfluss der Zwischenfrüchte und keine statistisch absicherbare Wechselwirkung vor (Abbildung 109).

Tabelle 40: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdichte (Dichte), Artenanzahl (A), Äquität (E) und Shannon-Wiener Index (H') der Beikrautbonitur vom 30.05.2012 für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	Dichte	A	E	H'
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	0,021
BB	0,000	n.s.	0,000	0,004
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

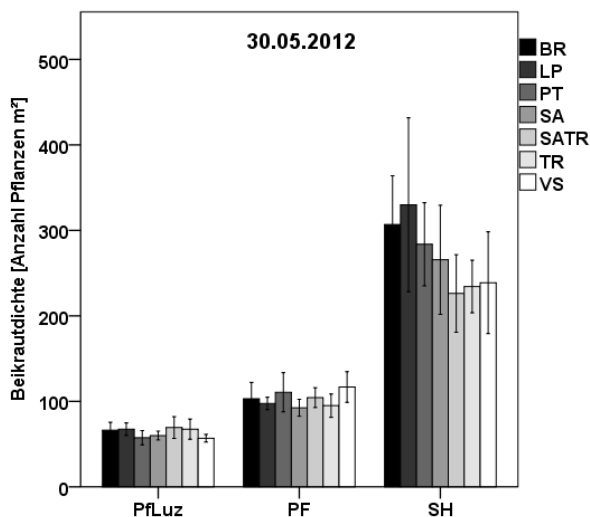


Abbildung 109: Beikrautdichte im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer

Zusammensetzung der Population

Im Pfluz-System machten in allen Varianten Gänsefußarten (*Chenopodium* spp.) einen Großteil der Beikrautgesellschaft aus. Auch die Beikrautgesellschaft der PF x Schwarzbrache-Variante bestand zu einem Großteil aus Gänsefußgewächsen. Die anderen Varianten des PF-Systems hatten geringere Anteile Gänsefußgewächse, aber einen größeren Anteil an Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) als alle Varianten des Pfluz-Systems. Die Varianten des SH-Systems hatten deutlich geringere Anteile an Gänsefußarten sowie Vogelknötericharten (*Polygonum* spp.) als die beiden anderen Systeme. Der Anteil an Ackerkratzdistel war in allen Varianten des SH-Systems höher als beim vorherigen Boniturtermin und höher als in den Varianten des Pfluz-Systems, jedoch noch immer niedriger als in den Varianten des PF-Systems. Die Beikrautgesellschaft aller Varianten des SH-Systems wurde von Kamillearten (*Matricaria* spp.) dominiert (Abbildung 110 und Tabelle A- 15).

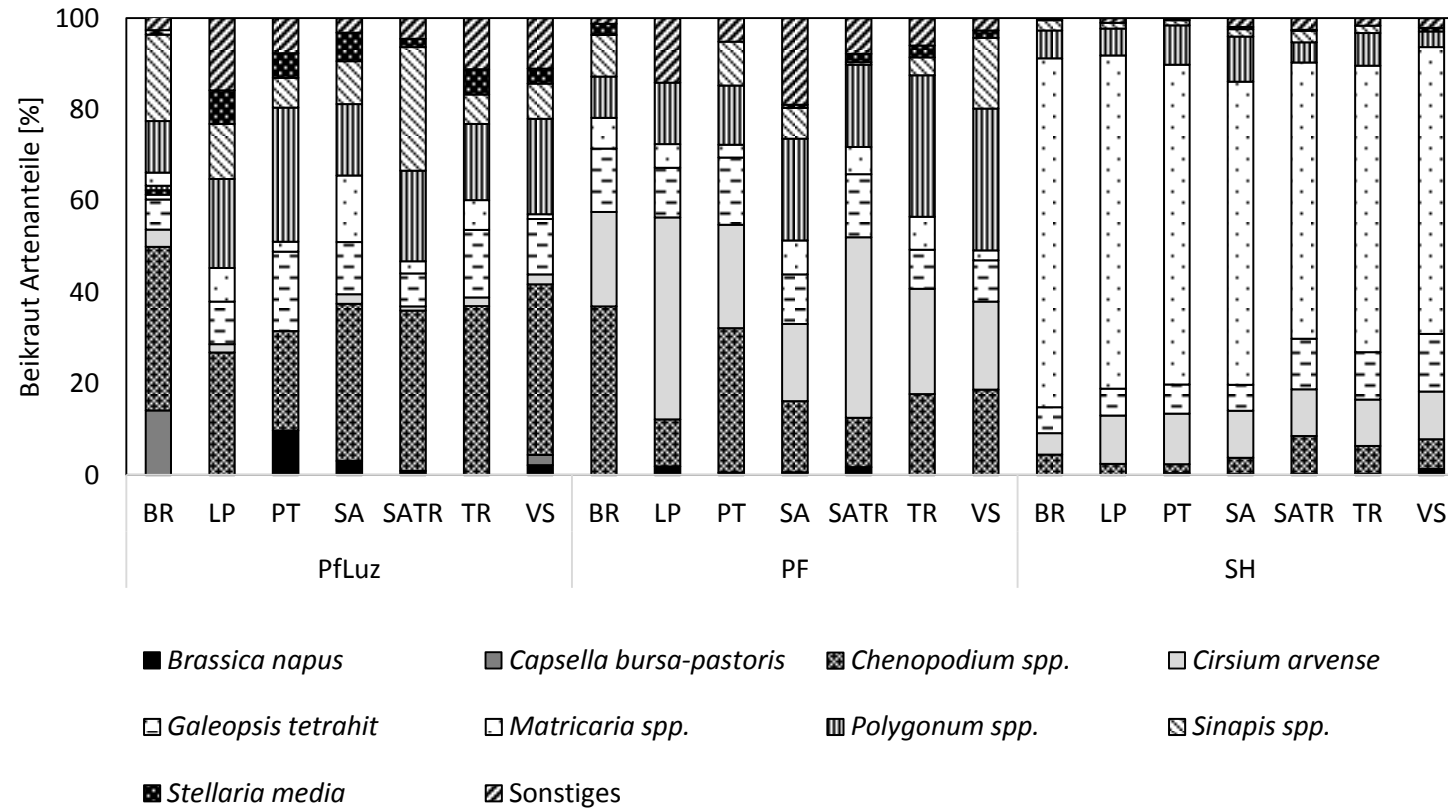


Abbildung 110: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 30.05.2012 im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer

Artenreichtum

Im Artenreichtum der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer gab es zwischen den verschiedenen Varianten keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 40 und Abbildung 111).

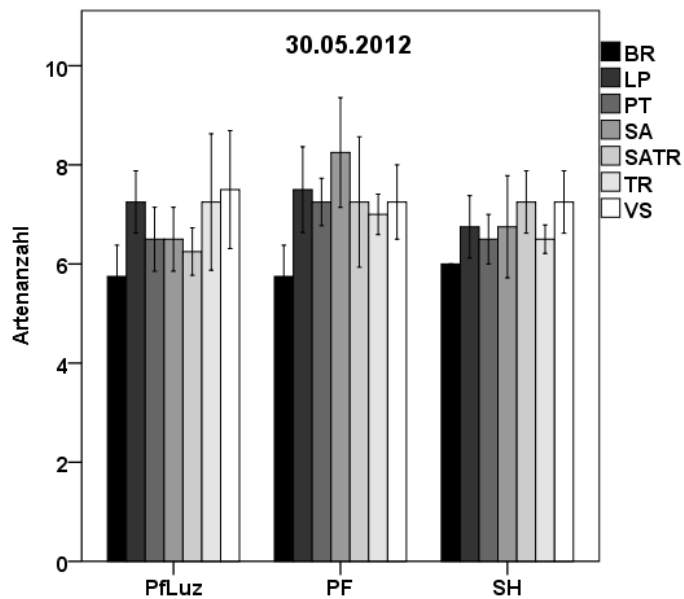


Abbildung 111: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer

Äquität

Auf die Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer gab es einen höchst signifikanten Einfluss des Bodenbearbeitungs/Fruchtfolgesystems. Das SH-System hatte einen signifikant niedrigeren Wert als das PF-System und das Pfluz-System. Es gab keine weiteren signifikanten Effekte. Tendenziell führte Schwarzbrache in allen Systemen zu einem niedrigen Wert. *S. alba*, *P. tanacetifolia* und *V. sativa* führten zu höheren Werten im Pfluz-System als in den anderen Systemen (Tabelle 40 und Abbildung 112).

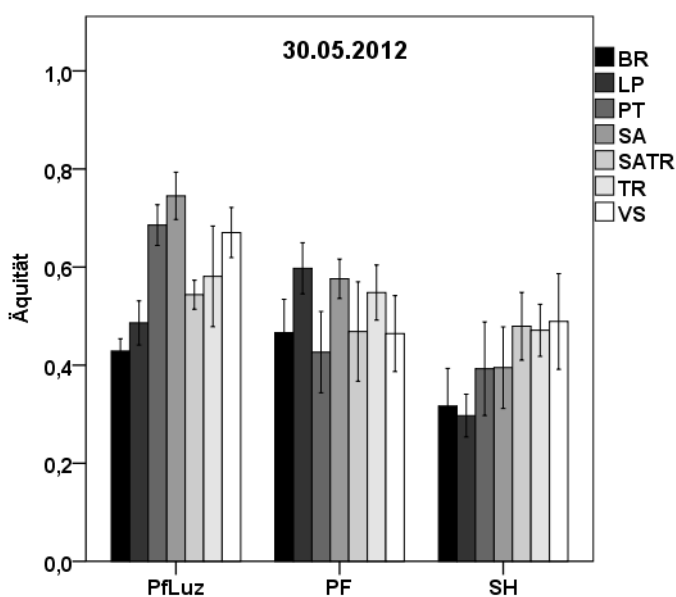


Abbildung 112: Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer

Shannon-Wiener Index

Es gab einen signifikanten Einfluss des Faktors Bodenbearbeitung/Fruchtfolge auf den Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer. Das SH-System hatte einen signifikant niedrigeren H' als die beiden anderen Systeme. Ferner gab es einen signifikanten Einfluss des Faktors Zwischenfrucht. Die Schwarzbrache führte zum signifikant niedrigsten, *V. sativa* und *S. alba* zum signifikant höchsten H' . Es gab keine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 40 und Abbildung 113).

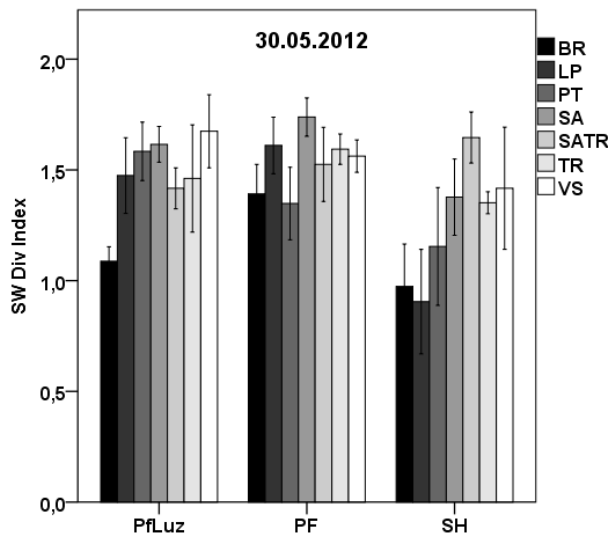


Abbildung 113: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer

4.3.4.3 Spätes Stadium der Hauptfrucht Hafer

Beikrautdeckungsgrad

Die Daten für den Beikrautdeckungsgrad, der am 25.07.2012 bonitiert worden war, waren nicht normalverteilt. Für die statistischen Analysen wurden wurzeltransformierte Daten verwendet. Die Bodenbearbeitung hatte einen signifikanten Einfluss und es gab eine signifikante Wechselwirkung. Im Pfluz-System gab es in der *P. tanacetifolia*-Variante den signifikant niedrigsten Deckungsgrad, in der *P. tanacetifolia*-Variante des SH-Systems jedoch den signifikant höchsten. Einen ebenso hohen Deckungsgrad gab es in der Schwarzbrache- und *L. perenne*-Variante im PF-System und in der *V. sativa*-Variante im SH-System (Tabelle 41 und Abbildung 114).

Tabelle 41: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad (DG), Biomasse (Biom.), Artenanzahl (A), Äquität (E) und Shannon-Wiener Index (H') der Beikrautbonitur vom 25.07.2012 für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/ Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	DG	Biom.	A	E	H'
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BB	0,000	0,000	n.s.	0,000	n.s.
ZF*BB	0,010	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

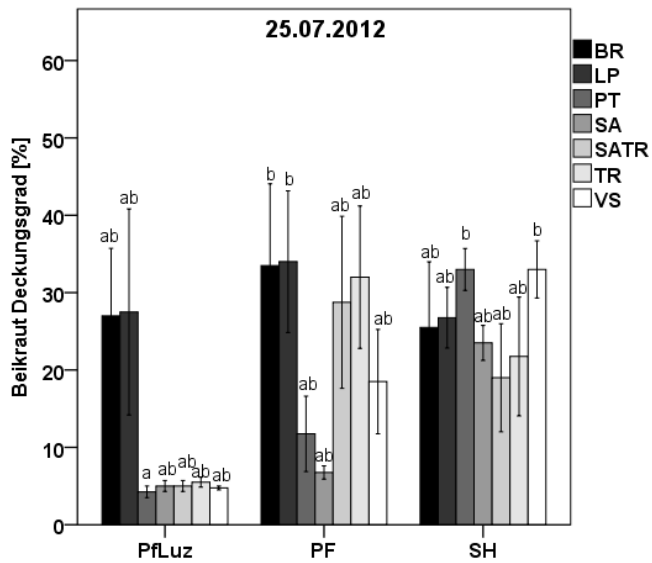


Abbildung 114: Deckungsgrad der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer

Beikrautbiomasse

Die Bodenbearbeitung hatte einen signifikanten Einfluss auf die Biomasse des Beikrauts. Das Pfluz-System hatte eine signifikant niedrigere Beikrautbiomasse als die beiden anderen Systeme. Es lagen kein statistisch absicherbarer Einfluss der Zwischenfrüchte und keine statistisch absicherbare Wechselwirkung vor (Tabelle 41 und Abbildung 115).

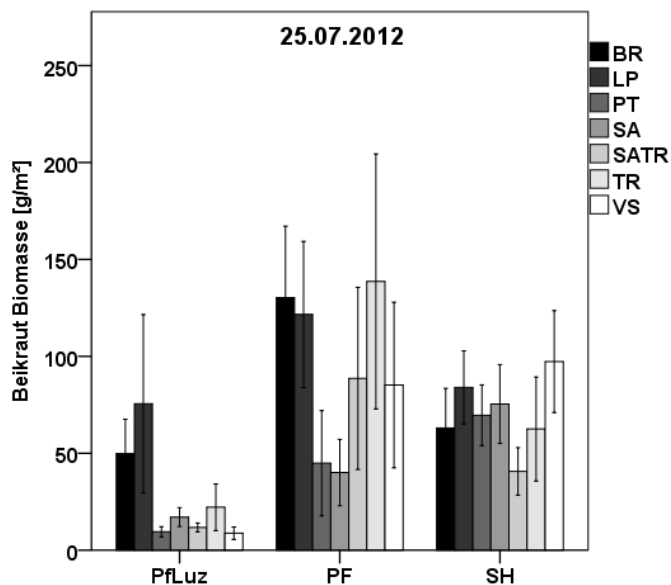


Abbildung 115: Beikrautbiomasse im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer

Zusammensetzung der Population

In der Schwarzbrache- und *L. perenne*-Variante des Pfluz-Systems dominierten Kamillearten (*Matricaria* spp.) die Zusammensetzung der Beikrautgesellschaft. In den anderen Varianten des Pfluz-Systems traten weniger Kamillearten, aber mehr Gänsefußarten (*Chenopodium* spp.), mehr Klettenlabkraut (*Galium aparine*) und mehr Vogelknötericharten (*Polygonum* spp.) auf als in der Schwarzbrache- und *L. perenne*-Variante des Pfluz-Systems. In der Schwarzbrache-Variante des PF-Systems dominierten die Ackerkratzdistel und Kamillearten. Beides trat mit etwa gleich großen Anteilen auf. In der PF x SA-Variante war der Anteil von *C. arvense* geringer als in den anderen Varianten des PF-Systems. In den anderen Varianten des PF-Systems dominierte die Ackerkratzdistel. Dies war auch der Fall in allen Varianten des SH-Systems, in dem die Ackerkratzdistel stets die bestimmende Art war (Abbildung 116 und Tabelle A- 16).

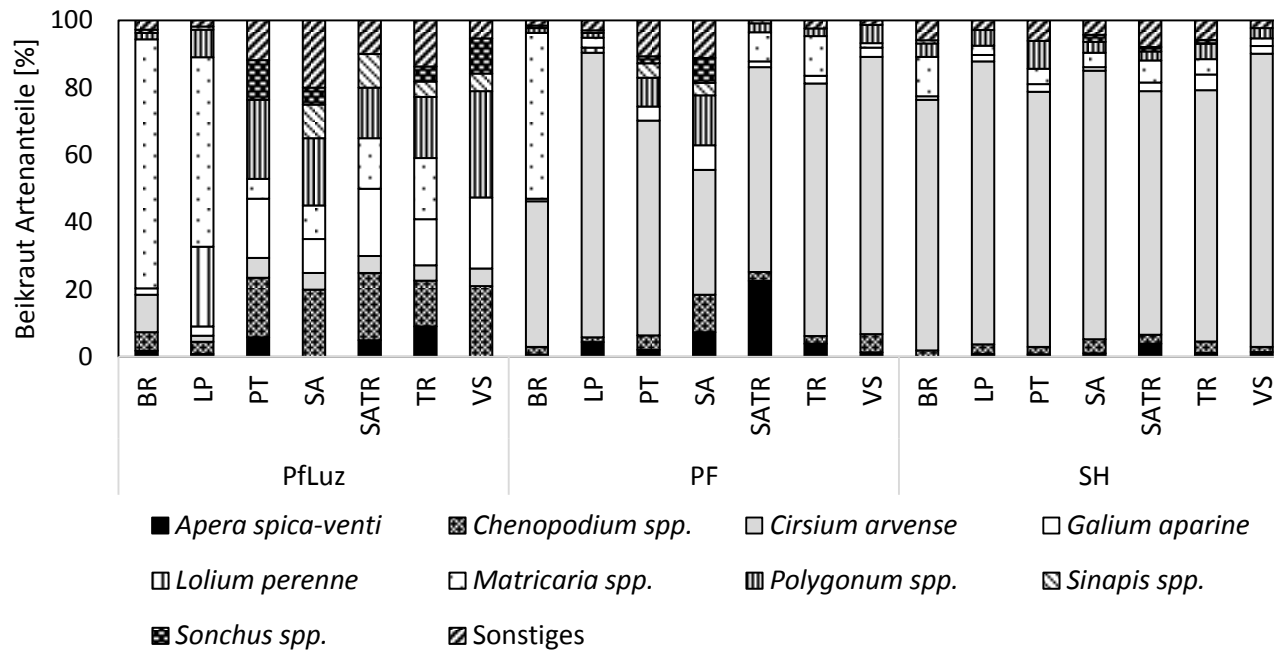


Abbildung 116: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 25.07.2012 im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer

Artenreichtum

Im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer gab es bezüglich der Artenanzahl der Beikrautgesellschaft keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten (Tabelle 41 und Abbildung 117).

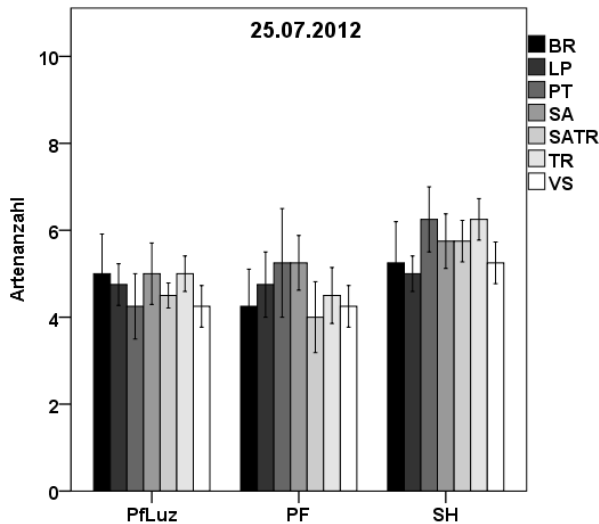


Abbildung 117: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer

Äquität

Auf die Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer gab es einen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesysteme. Das SH-System hatte den signifikant niedrigsten Wert, das PF-System einen mittleren und das Pfluz-System den höchsten Wert. Die höchsten Werte wurden im Pfluz-System nach *P. tanacetifolia* und *S. alba* erreicht. Den niedrigsten Wert gab es im SH-System nach *S. alba* (Tabelle 41 und Abbildung 118).

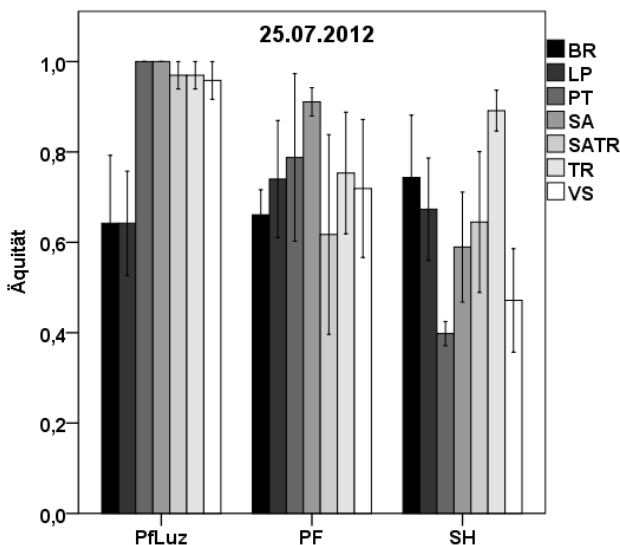


Abbildung 118: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer

Shannon-Wiener Index

Es gab keine statistisch absicherbaren Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten hinsichtlich des Shannon-Wiener Index am 25.07.2012. Tendenziell führte im Pfluz- und im PF-System Schwarzbrache zum niedrigsten und *S. alba* zum höchsten H' . Im Pfluz-System erreichte *T. resupinatum* einen ähnlich hohen Wert wie *S. alba*. Im SH-System gab es die niedrigsten Werte in den *P. tanacetifolia*- und *V. sativa*-Varianten und den höchsten Wert in der *T. resupinatum*-Variante (Tabelle 41 und Abbildung 119).

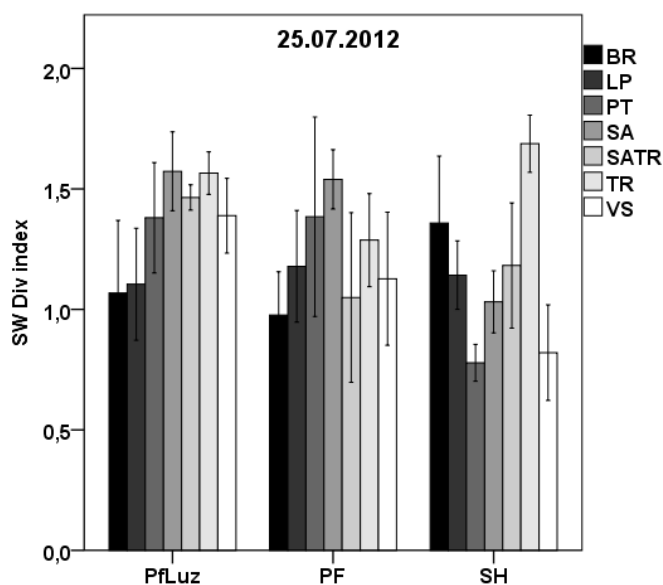


Abbildung 119: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer

4.3.4.4 Aufkommen von *C. arvensis*

An allen drei Boniturterminen hatte die Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss auf das Aufkommen von *C. arvensis*. Es gab keine signifikanten Wechselwirkungen und keine signifikanten Effekte der Zwischenfrüchte (Tabelle 42). An allen drei Boniturterminen führte das Pfluz-System zu einem signifikant niedrigeren Aufkommen von *C. arvensis* als die anderen beiden Systeme, d.h. am 30.03.2012 und 25.07.2012 war der Deckungsgrad und am 30.05.2012 war die Dichte von *C. arvensis* im Pfluz-System signifikant niedriger als in den anderen beiden Systemen. Das Aufkommen von *C. arvensis* war im PF- und im SH-System ähnlich hoch (Abbildung 120).

Tabelle 42: Signifikanztabelle der Varianzanalyse des Auftretens von *C. arvensis* für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/ Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	30.03.12	30.05.12	25.07.12
ZF	n.s.	n.s.	n.s.
BB	0,001	0,000	0,000
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.

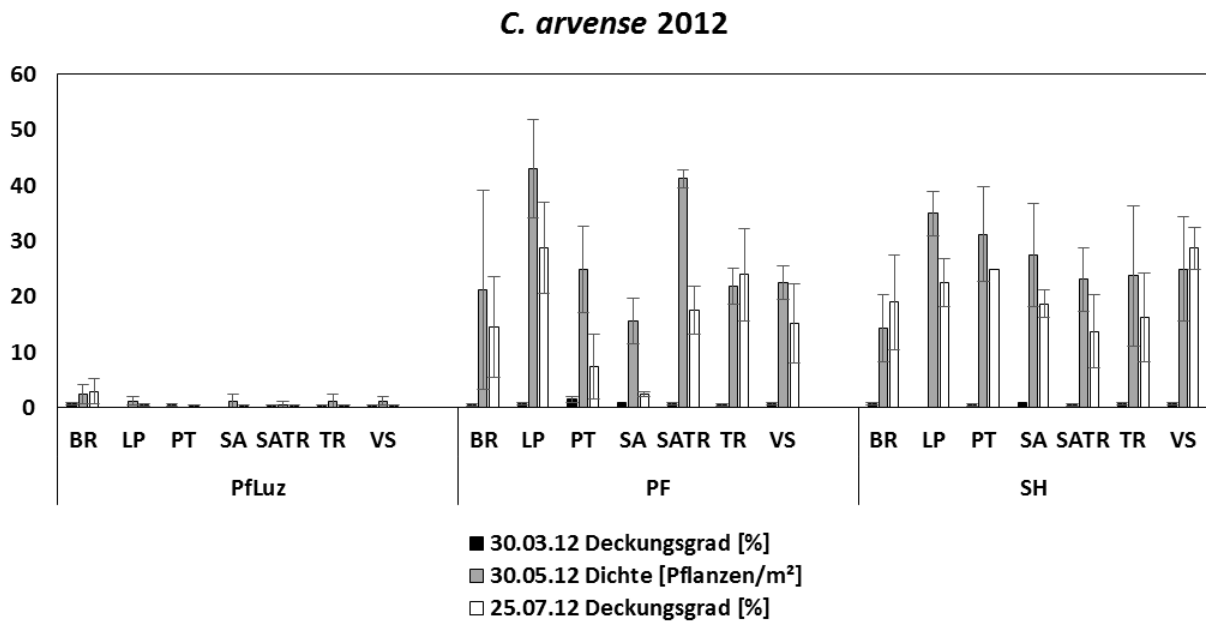


Abbildung 120: Das Aufkommen von *C. arvensis* an den drei Boniturterminen des Jahres 2012

4.3.5 Hauptfrucht Hafer

4.3.5.1 Felddaufgang

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten im Felddaufgang des Hafers. Tendenziell gab es im SH-System einen etwas niedrigeren Felddaufgang als in den anderen beiden Systemen. Die Werte für den Felddaufgang reichten von 300 Pflanzen pro m² bis 400 Pflanzen pro m². Die Mischung SATR im SH-System führte zum niedrigsten Felddaufgang gefolgt von *S. alba*, *T. resupinatum* und *L. perenne* jeweils im SH-System mit ähnlich niedrigen Felddaufgängen. *T. resupinatum* im Pfluz-System führte zum höchsten Felddaufgang (Abbildung 121).

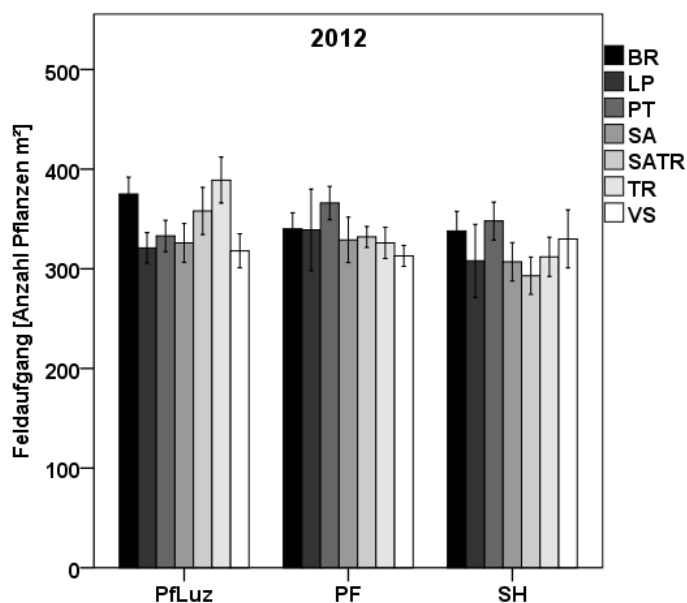


Abbildung 121: Felddaufgang der Hauptfrucht Hafer

4.3.5.2 Ertrag

Der Faktor Bodenbearbeitung/Fruchtfolge hatte einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag der Hauptfrucht Hafer. Das SH-System hatte den niedrigsten, das Pfluz-System den höchsten und das PF-System einen mittleren Kornertrag. Es gab eine signifikante Wechselwirkung Bodenbearbeitung*Zwischenfrucht. Schwarzbrache, *L. perenne*, *P. tanacetifolia*, die Mischung und *T. resupinatum* führten im SH-System und im PF-System zu den niedrigsten Kornerträgen wohingegen im Pfluz-System alle Zwischenfruchtvarianten sowie die Schwarzbrache zu höchsten Erträgen führten. Im SH-System führte auch *S. alba* zu niedrigsten Hafererträgen. Die einzige Zwischenfrucht, die im SH-System zu höchsten Kornerträgen führte war *V. sativa* (Tabelle 43 und Abbildung 122).

Auch auf den Strohertrag der Hauptfrucht Hafer hatte der Faktor Bodenbearbeitung/Fruchtfolge einen signifikanten Einfluss. Die SH- und PF-Systeme hatten einen signifikant niedrigeren Strohertrag als das Pfluz-System. Es gab eine signifikante Wechselwirkung Bodenbearbeitung*Zwischenfrucht. *S. alba* führte im SH-System zu einem signifikant niedrigeren Strohertrag als im Pfluz-System. *V. sativa* führte in jedem System zu den höchsten Stroherträgen (Tabelle 43 und Abbildung 123).

Tabelle 43: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Ertrag, Ertragsstruktur und Qualität des Hafers für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	Kornertrag	Strohertrag	Rispen tragende Halme	TKM	Kornzahl pro Rispe	HL
ZF	0,000	0,000	n.s.	0,005	0,026	n.s.
BB	0,000	0,000	n.s.	n.s.	0,000	0,000
ZF*BB	0,000	0,001	n.s.	n.s.	0,000	n.s.

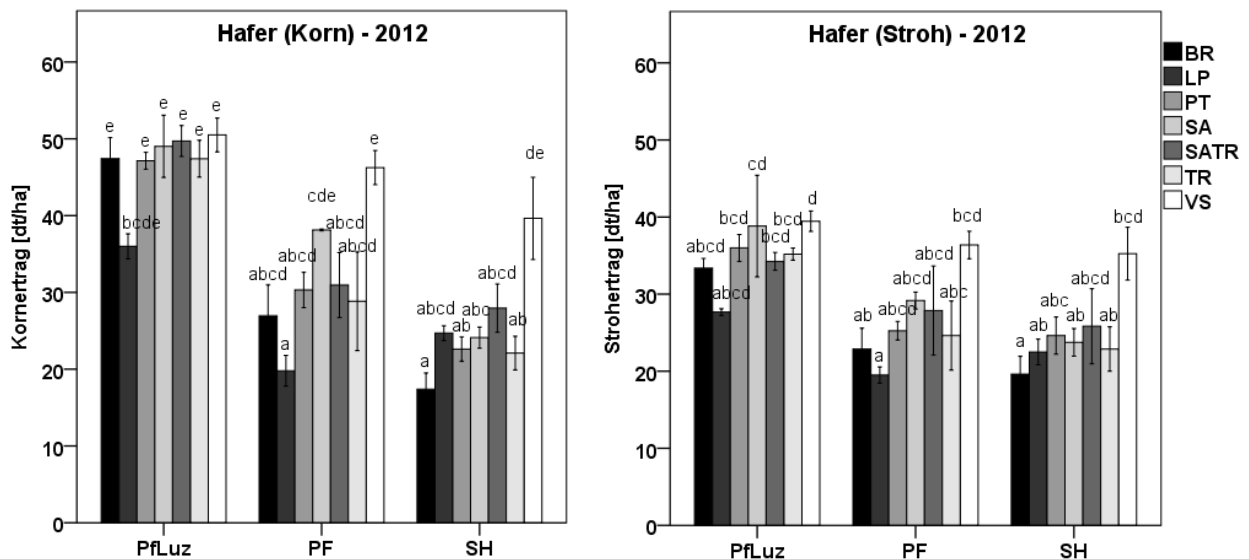


Abbildung 122 und 123: Korn- und Strohertrag (bei 86 % TS) der Hauptfrucht Hafer

4.3.5.3 Ertragsstruktur und Qualität

Die Varianzanalyse der Ertragsstruktur des Hafers zeigte keine signifikanten Effekte auf die Anzahl Rispen pro m² (Tabelle 43 und Abbildung 124). Auf die errechnete Kornzahl pro Rispe hatte sowohl die Zwischenfrucht als auch die Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss und es gab eine signifikante Wechselwirkung. *L. perenne* und Schwarzbrache führten zur niedrigsten Kornzahl pro Rispe und *V. sativa* zur höchsten. Das SH-System führte zur niedrigsten, das PF-System zu einer mittleren und das Pfluz-System zur höchsten Kornzahl pro Rispe. SH x BR hatte von allen Varianten die niedrigste Kornzahl pro Rispe, Pfluz x SATR und Pfluz x SA die höchste (Tabelle 43 und Abbildung 125). Auf die Tausendkornmasse gab es einen signifikanten Effekt des Faktors Zwischenfrucht. *T. resupinatum* führte zur niedrigsten Tausendkornmasse. Die Mischung SATR, *L. perenne*, die Schwarzbrache sowie *S. alba* führten zur höchsten Tausendkornmasse (Tabelle 43 und Abbildung 126).

Das Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem hatte einen signifikanten Einfluss auf die Hektolitermasse des Hafers. Das SH-System hatte eine signifikant niedrigere Hektolitermasse als das Pfluz- und das PF-System. Es gab keine weiteren signifikanten Effekte (Tabelle 43 und Abbildung 127).

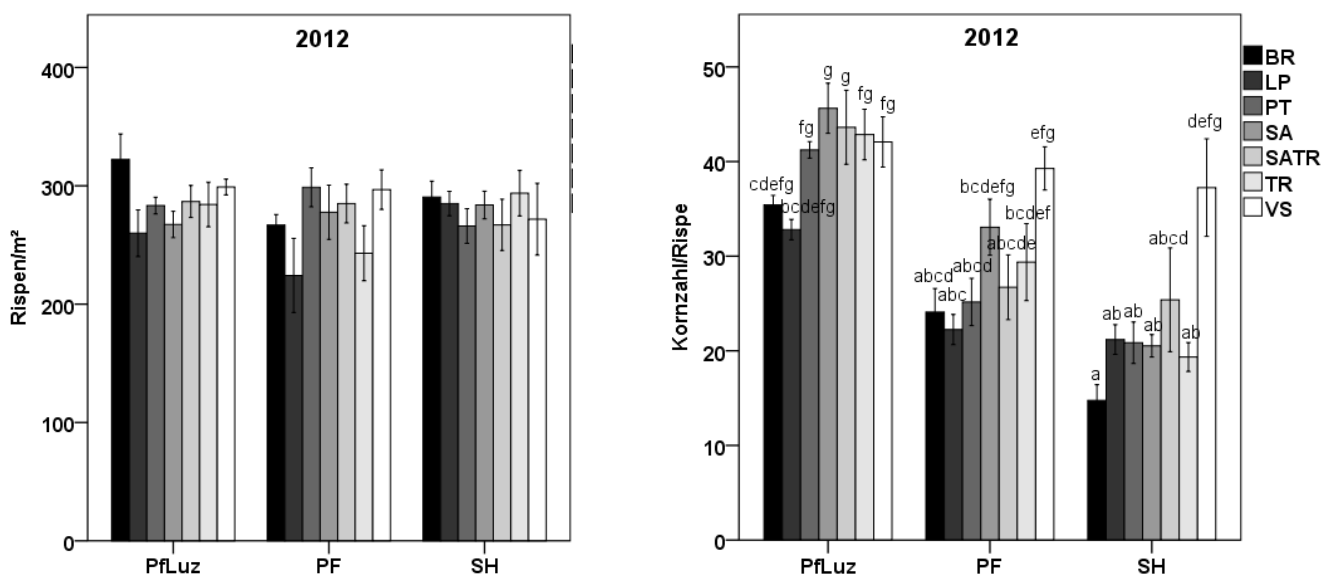


Abbildung 124 und 125: Rispennzahl und Kornzahl pro Rispe der Hauptfrucht Hafer

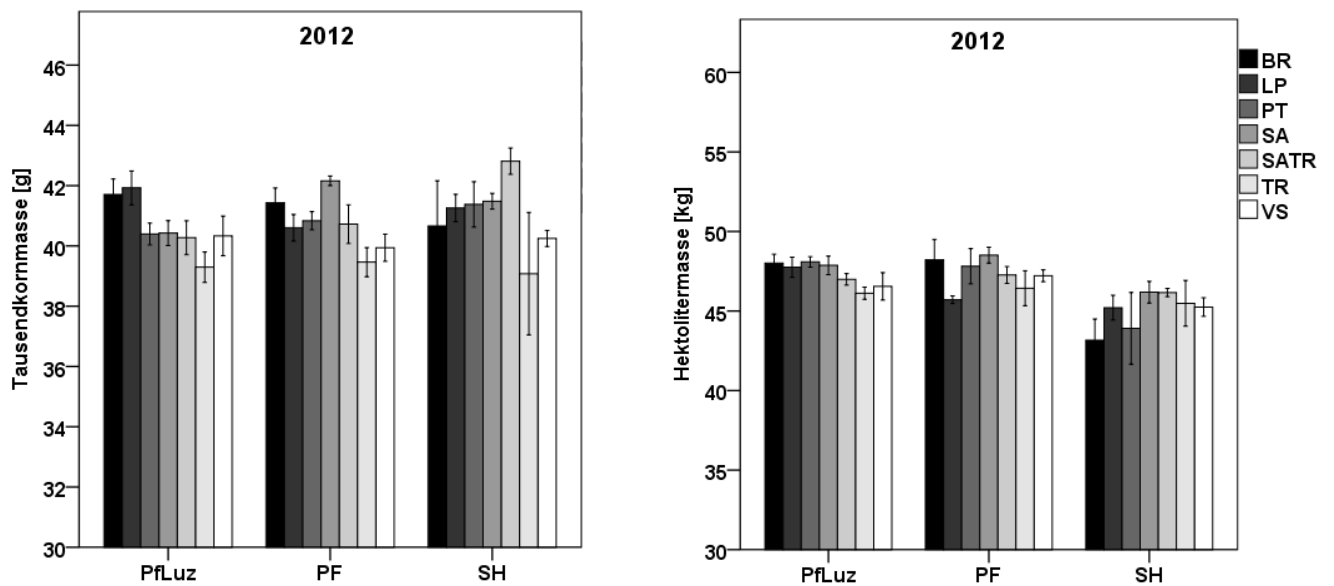


Abbildung 126 und 127: Tausendkornmasse des Hafers (bei 86 % TS) und Hektolitermasse des Hafers (bei 86 % TS)

4.3.6 Versuchsjahr 2012/13 - N-Dynamik

4.3.6.1 Einfluss der Systeme und Zwischenfrüchte

Ab dem Versuchsjahr 2012/13, also dem zweiten Jahr nach dem Anbau der Zwischenfrüchte, wurden nur noch die Varianten Schwarzbrache, *S. alba* und *V. sativa* in die Untersuchungen einbezogen. Diese Varianten wurden als die unterschiedlichsten Varianten ausgewählt, um Aufschluss darüber zu geben, ob es im zweiten Anbaujahr nach den Zwischenfrüchten noch nachweisbare Effekte von ihnen gibt.

Die Varianzanalyse von N_{\min} und NO_3-N von allen Terminen des Jahres 2013 zeigte einen signifikanten Einfluss des Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystems auf alle drei Schichten mit Ausnahme der obersten Schicht am 08.09.2013. Die Zwischenfrüchte hatten keinen signifikanten Einfluss auf N_{\min} und NO_3-N im zweiten Jahr nach ihrem Anbau und es gab keine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 44).

Am 08.04.2013 und 23.05.2013 lagen die Werte von NH_4-N zwischen $0,6$ und $2,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Schicht}^{-1}$ bzw. $0,5$ und $1,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Schicht}^{-1}$. Die N_{\min} - bzw. NO_3-N -Gehalte waren im PflLuz-System in allen drei Schichten signifikant höher als in den anderen beiden Systemen (Abbildung 128 a und b; Tabelle A-13).

Am 18.06.2013 lagen die Werte von NH_4-N zwischen $0,5$ und $2,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Schicht}^{-1}$. Die Unterschiede im N_{\min} -Gehalt waren in der Schicht 0-30 cm im PflLuz-System signifikant höher als im PF-System. Der N_{\min} -Gehalt in der Schicht 0-30 cm im SH-System lag zwischen diesen beiden Systemen. In den Schichten 30-60 cm und 60-90 cm hatte das PflLuz-System den signifikant höchsten NO_3-N -Gehalt (Abbildung 128 c und Tabelle A-13).

Am 08.09.2013 lagen die Werte von $\text{NH}_4\text{-N}$ zwischen $0,5$ und $1,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Schicht}^{-1}$. Es gab zwischen den verschiedenen Systemen keine signifikanten Unterschiede im N_{min} -Gehalt in der Schicht 0-30 cm. Der hohe Wert für die *V. sativa*-Variante im PF-System liegt in dem ungewöhnlich hohen Wert einer Teilprobe begründet, woher auch der große Standardfehler stammt. In der Schicht 30-60 cm hatte das Pfluz-System den signifikant höchsten und das SH-System den signifikant niedrigsten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt. Das PF-System hatte einen mittleren $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt. In der Schicht 60-90 cm hatte das Pfluz-System wieder den signifikant höchsten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt verglichen mit den beiden anderen Systemen. Die Unterschiede betragen jedoch nur wenige Kilogramm pro Hektar (Abbildung 128 d und Tabelle A-13).

Tabelle 44: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von N_{min} und $\text{NO}_3\text{-N}$ für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/ Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Schicht	08.04.2013			23.05.2013			18.06.2013			08.09.2013		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BB	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	n.s.	0,037	0,001
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

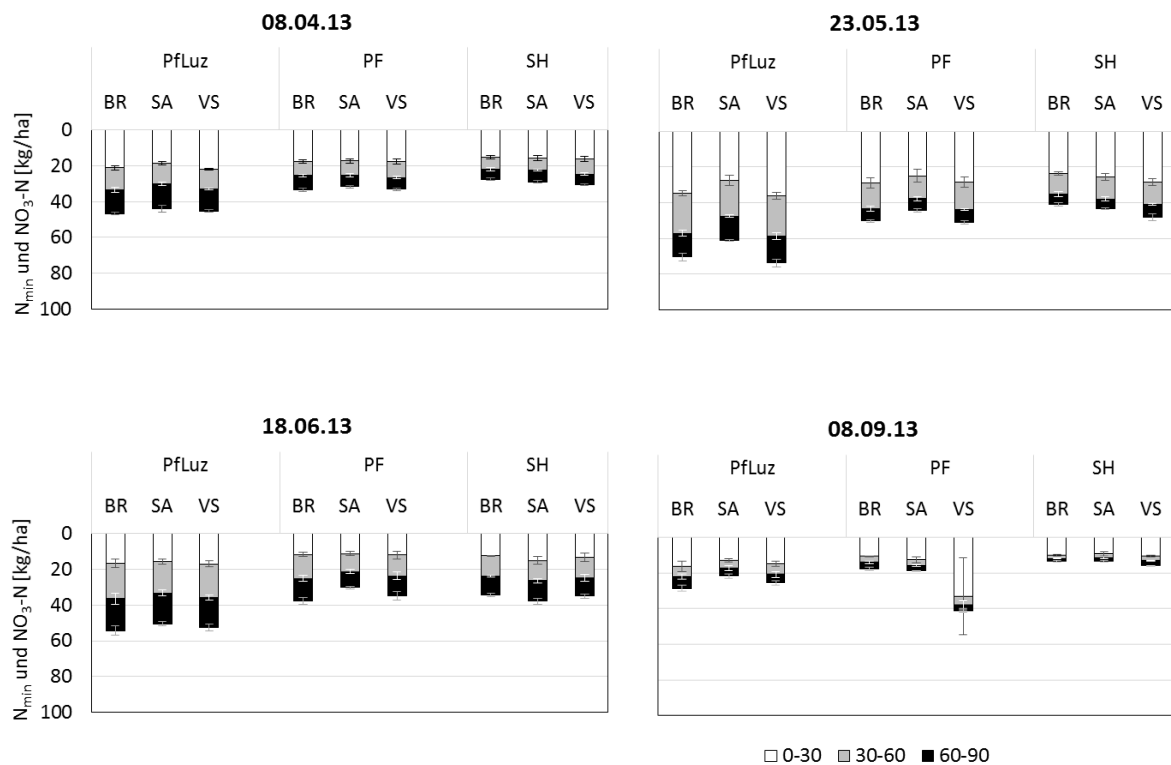


Abbildung 128 a-d: N_{min} -Gehalte im Oberboden und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte im Unterboden

4.3.6.2 N-Flächenbilanz

2012/13 waren durch die hohe N₂-Fixierungsleistung der Hauptfrucht Ackerbohne alle Salden positiv. Die verschiedenen Varianten unterschieden sich nur gering. Die Salden reichten von 60 kg bis 70 kg (Tabelle 45).

Tabelle 45: N-Flächenbilanz der Varianten im Versuchsjahr 2012/13

2012/13 <i>N-Eintrag/Austrag [kg/ha]</i>	Pfluz			PF			SH		
	BR	SA	VS	BR	SA	VS	BR	SA	VS
<i>N-Eintrag</i>									
N ₂ -Fixierung Hauptfrucht	244	232	224	216	233	203	225	228	217
Deposition (nur N ₂)	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Gesamt Einträge	257	245	237	229	246	216	238	241	230
<i>N-Austrag (vom Feld abtransportierte N-Aufnahme)</i>									
Ackerbohne-Bohne	163	156	149	146	156	136	149	150	148
Ackerbohne-Stroh	24	22	22	19	22	20	23	24	19
Gesamt Austräge	187	178	171	165	178	156	172	174	167
Saldo	70	67	66	64	68	60	66	67	63

4.3.7 Mikrobielle Biomasse des Bodens

Nach siebenjähriger differenzierter Bodenbearbeitung unterschieden sich die Systeme hinsichtlich der Menge an mikrobiellem N und C signifikant in der obersten Schicht (N_{mik} p = 0,003; C_{mik} p = 0,014). Das SH-System hatte in dieser Schicht signifikant mehr N_{mik} und C_{mik} als das Pfluz- und das PF-System. In den beiden unteren Schichten unterschieden sich die drei Systeme nicht signifikant voneinander (Abbildung 129 und 130).

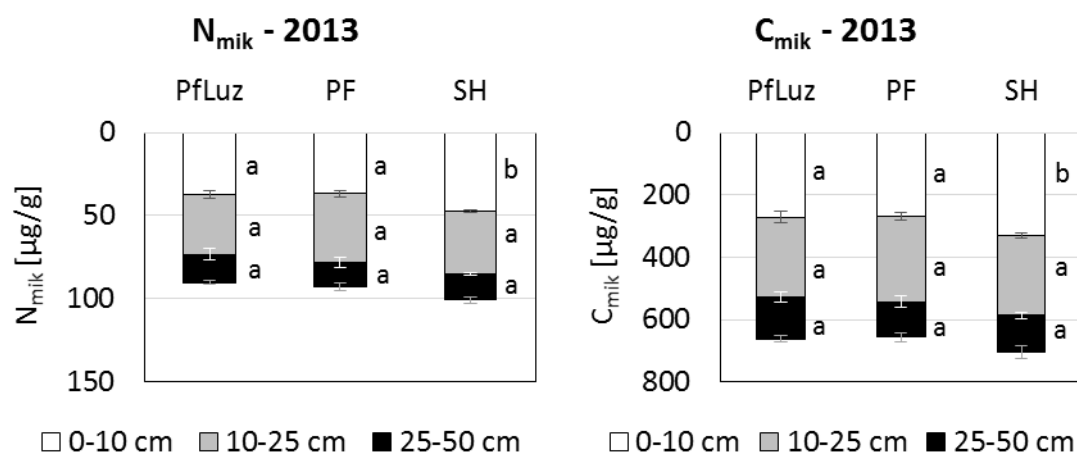


Abbildung 129 und 130: N_{mik} und C_{mik} im Frühjahr 2013 in drei Bodentiefen

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Systemen innerhalb einer Schicht ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B)

4.3.8 Beikrautaufkommen und Zusammensetzung der Population 2012/13

4.3.8.1 Frühes Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Beikrautdichte

Das Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem hatte auf die Beikrautdichte, die am 23.05.2013 im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne gezählt worden war, einen signifikanten Einfluss. Das SH-System hatte signifikant mehr Beikräuter als die anderen beiden Systeme. Es lagen kein statistisch absicherbarer Einfluss der Zwischenfrüchte im zweiten Jahr nach ihrem Anbau und keine statistisch absicherbare Wechselwirkung vor (Tabelle 46 und Abbildung 131).

Tabelle 46: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdichte (Dichte), Artenanzahl (A), Äquität (E) und Shannon-Wiener Index (H') der Beikrautbonitur vom 23.05.2013 für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	Dichte	A	E	H'
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BB	0,002	n.s.	0,007	0,03
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

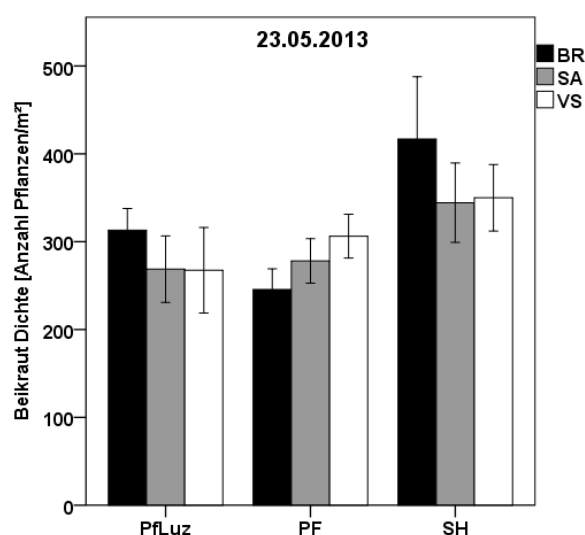


Abbildung 131: Beikrautdichte im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Zusammensetzung der Population

Die Unterschiede in der Zusammensetzung der Beikrautpopulation zwischen den verschiedenen Systemen bzw. den verschiedenen Varianten der Systeme waren im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne gering. Es gab in allen Varianten einen großen Anteil nicht bestimmbarer dikotyle Arten, da sich viele Beikräuter an diesem Termin im frühen Keimblattstadium befanden. Unterschiede gab es hauptsächlich zwischen den Systemen und zwar bezüglich des Vorkommens der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*), des Klettenlabkrauts (*Galium aparine*) und der Kamillearten (*Matricaria spp.*). Die Ackerkratzdistel trat im PF- und SH-System stärker auf als im Pfluz-System. Klettenlabkraut trat in den Pfluz- und PF-Systemen häufiger auf als im SH-System. Kamillearten waren im SH-System stärker vertreten als in den beiden anderen Systemen (Abbildung 132 und Tabelle A- 17).

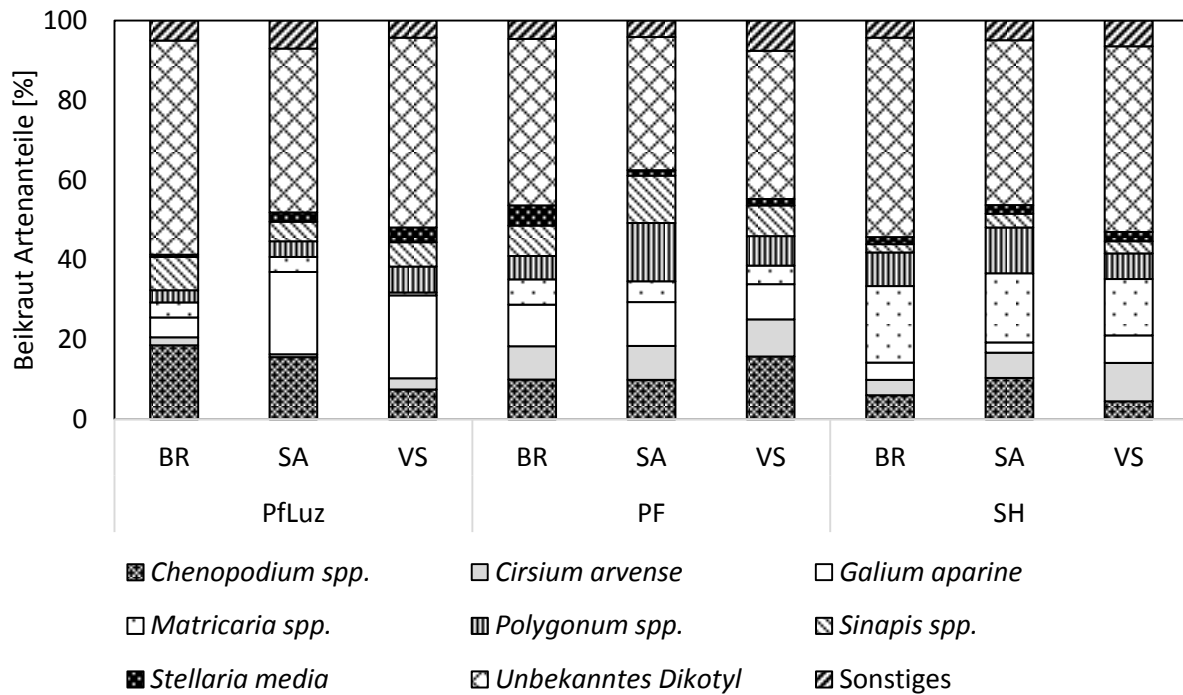


Abbildung 132: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 23.05.2013 im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Artenreichtum

Zwischen den verschiedenen Varianten gab es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne. Die Artenanzahl schwankte nur geringfügig zwischen den verschiedenen Varianten im Bereich von zehn Arten (Abbildung 133).

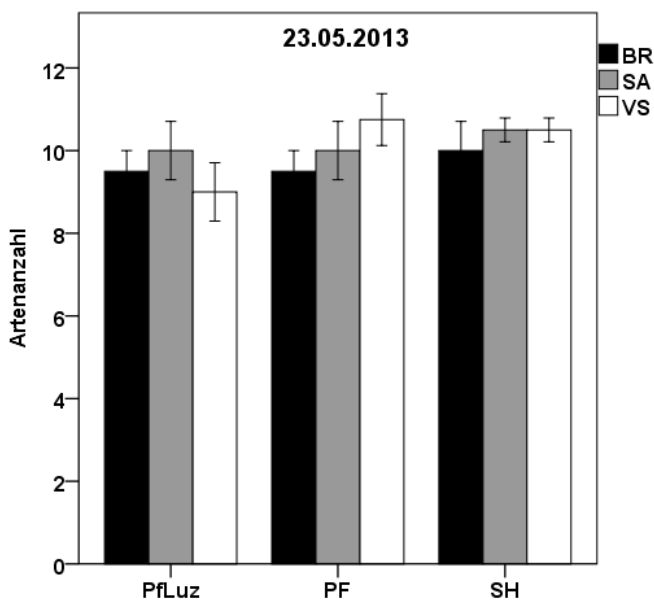


Abbildung 133: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Äquität

Das Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem hatte auf die Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne einen signifikanten Einfluss (Tabelle 46). Das PF-System hatte einen signifikant höheren Wert als das Pfluz- und das SH-System. Den niedrigsten Wert hatte die SH x *S. alba*-Variante. Den höchsten Wert hatte die PF x Schwarzbrache-Variante. Insgesamt waren die Werte jedoch relativ gering (Abbildung 134).

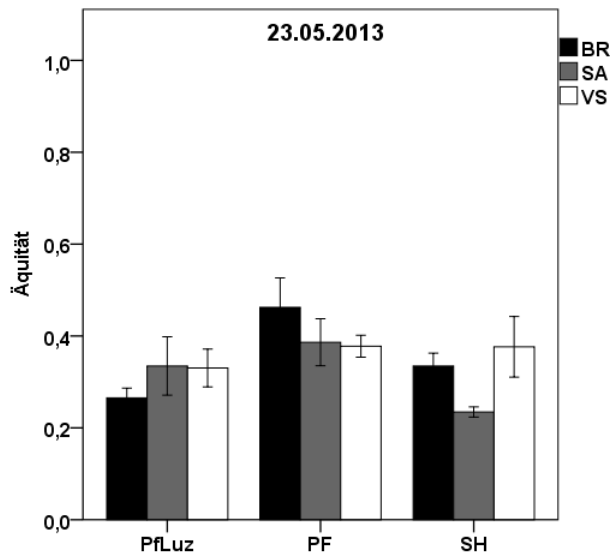


Abbildung 134: Äquität der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Shannon-Wiener Index

Es gab einen signifikanten Einfluss des Faktors Bodenbearbeitung/Fruchtfolge auf den Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne (Tabelle 46). Das Pfluz-System hatte einen signifikant niedrigeren SW Index als das PF-System. Den niedrigsten Wert überhaupt hatte die Pfluz x Schwarzbrache-Variante (Abbildung 135).

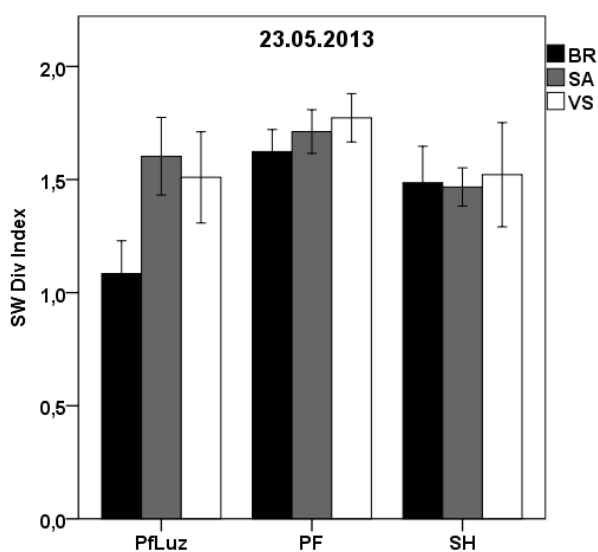


Abbildung 135: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

4.3.8.2 Spätes Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Beikrautdeckungsgrad

Die Varianten unterschieden sich nicht statistisch absicherbar bezüglich des Beikrautdeckungsgrads am 19.07.2013. Weder der Faktor Bodenbearbeitung noch der Faktor Zwischenfrucht hatten einen signifikanten Einfluss und es gab keine signifikante Wechselwirkung. *S. alba* führte im Pfluz- und SH-System zu einem niedrigeren Beikrautdeckungsgrad als Schwarzbrache und *V. sativa*. Innerhalb des PF-Systems gab es die geringsten Schwankungen (Tabelle 47 und Abbildung 136).

Tabelle 47: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Beikrautdeckungsgrad (DG), Biomasse (Biom.), Artenzahl (A), Äquität (E) und Shannon-Wiener Index (H') der Beikrautbonitur vom 19.07.2013 für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/ Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	DG	Biom.	A	E	H'
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

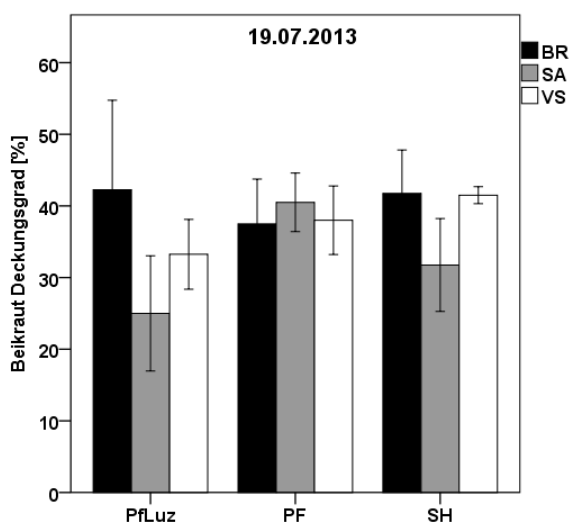


Abbildung 136: Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Beikrautbiomasse

Die Varianten unterschieden sich nicht statistisch absicherbar bezüglich der Beikrautbiomasse am 19.07.2013. Weder der Faktor Bodenbearbeitung noch der Faktor Zwischenfrucht hatten einen signifikanten Einfluss. In allen Systemen kam es in den Schwarzbrache- und *V. sativa*-Varianten zu einer höheren Beikrautbiomasse als in den *S. alba*-Varianten. Diese Abstufung war im PF-System am deutlichsten (Tabelle 47 und Abbildung 137).

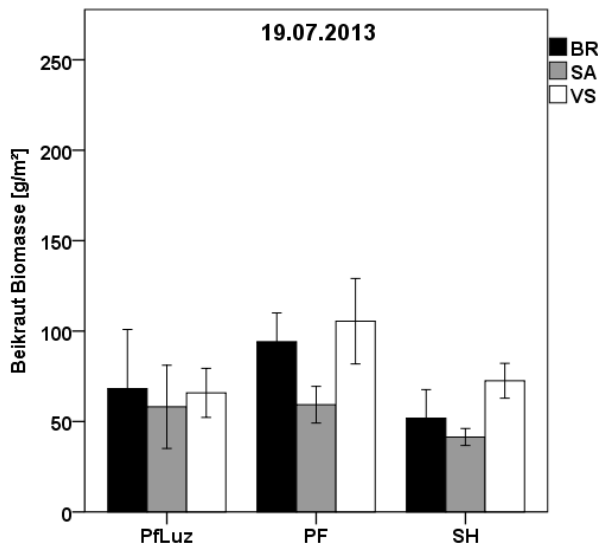


Abbildung 137: Beikrautbiomasse im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Zusammensetzung der Population

Die Beikrautpopulation war in den meisten Varianten bestimmt durch die Ackerkratzdistel (*C. arvense*) und Senfarten (*Sinapis* spp.). In den Varianten des Pfluz-Systems trat das Klettenlabkraut (*Galium aparine*) stärker auf als in den Varianten der anderen beiden Systeme. Senfarten waren in den Varianten des Pfluz-Systems stark vertreten. In der *S. alba*-Variante des Pfluz-Systems kam kaum (unter 3 %) Ackerkratzdistel vor. In den Varianten des PF-Systems waren die Ackerkratzdistel sowie Senfarten die bestimmenden Arten. In allen Varianten des SH-Systems war die Ackerkratzdistel (*C. arvense*) die bestimmende Art. Den höchsten Anteil an Ackerkratzdistel gab es in der *V. sativa*-Variante des SH-Systems mit 54 % des Beikrautdeckungsgrades. Größere Artenanteile nahmen in den Varianten des SH-Systems außerdem Kamillearten (*Matricaria* spp.) und Senfarten (*Sinapis* spp.) ein (Abbildung 138 und Tabelle A- 18).

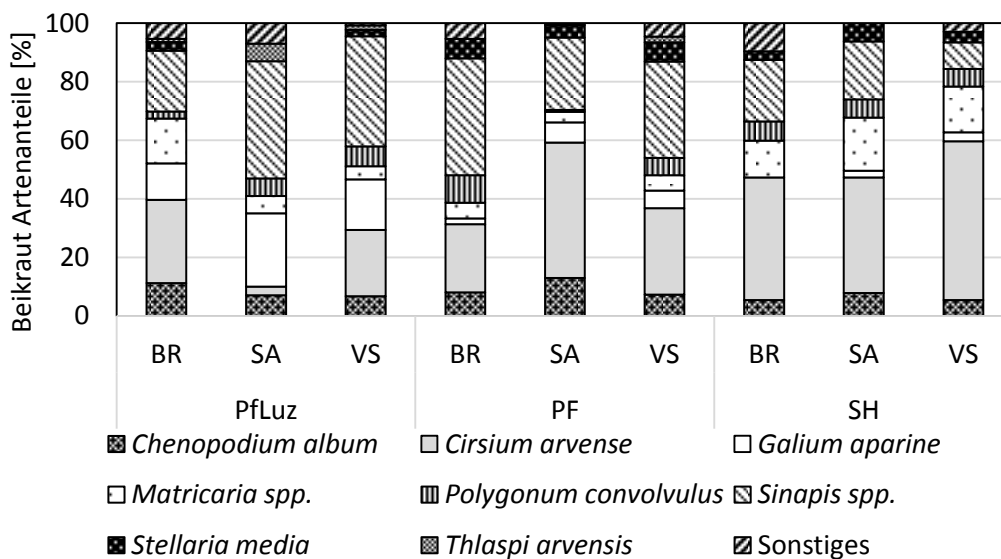


Abbildung 138: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 19.07.2013 im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Artenreichtum

Die verschiedenen Varianten unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich der Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne. Die Artenanzahl schwankte im Bereich um sechs Arten. Am geringsten war sie in den *S. alba*-Varianten des SH-Systems (Tabelle 47 und Abbildung 139).

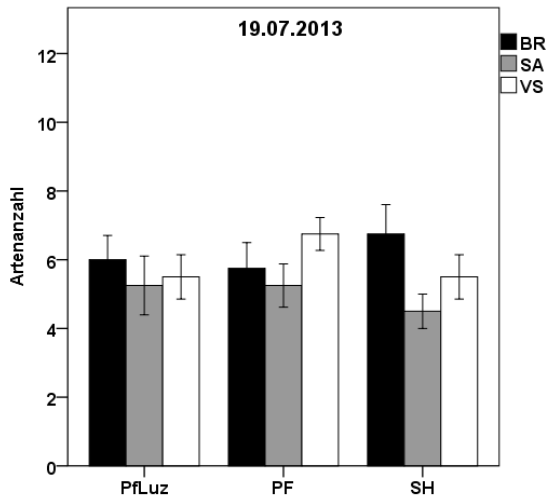


Abbildung 139: Artenanzahl der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Äquität

Hinsichtlich der Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten. Den niedrigsten Wert gab es in der SH x *V. sativa*-Variante. Die höchsten Werte gab es in der Pfluz x *S. alba* sowie der PF x *V. sativa*-Variante (Tabelle 47 und Abbildung 140).

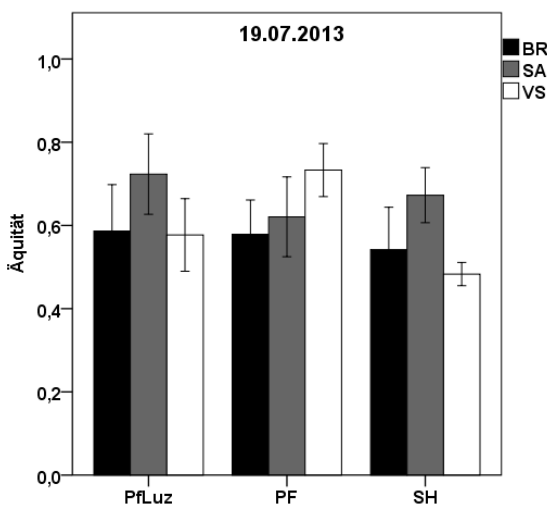


Abbildung 140: Äquität der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

Shannon-Wiener Index

Es gab keine statistisch absicherbaren Unterschiede hinsichtlich des Shannon-Wiener Index zwischen den verschiedenen Varianten. In der *V. sativa*-Variante im PF-System wurde der höchste Wert erreicht, in der *V. sativa*-Variante im SH-System der niedrigste Wert. Die anderen Varianten unterschieden sich nur geringfügig (Tabelle 47 und Abbildung 141).

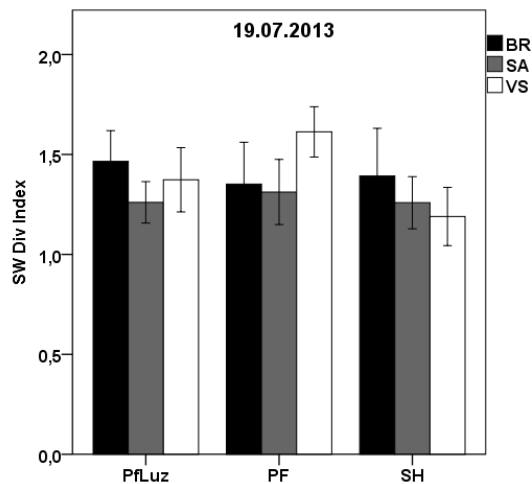


Abbildung 141: Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne

4.3.8.3 Aufkommen von *C. arvensis*

An beiden Boniturterminen gab es einen signifikanten Einfluss des Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystems auf das Aufkommen von *C. arvensis*. Es gab keinen statistisch absicherbaren Effekt der Zwischenfrüchte im zweiten Jahr nach ihrem Anbau und keine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 48). Am 23.05.2013 gab es im PFLuz-System eine signifikant niedrigere Dichte von *C. arvensis* verglichen mit den anderen beiden Systemen. Am 19.07.2013 gab es im PFLuz-System einen signifikant niedrigeren Deckungsgrad von *C. arvensis* als im SH-System. Im PF-System gab es einen mittleren Deckungsgrad von *C. arvensis* (Abbildung 142).

Tabelle 48: Signifikanztabelle der Varianzanalyse des Auftretens von *C. arvensis* für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/ Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	23.05.13	19.07.13
ZF	n.s.	n.s.
BB	0,000	0,009
ZF*BB	n.s.	n.s.

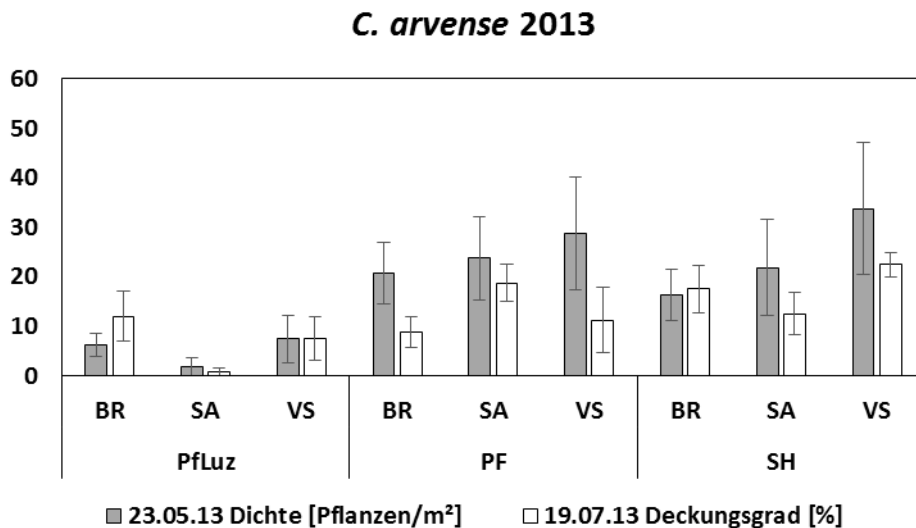


Abbildung 142: Das Aufkommen von *C. arvense* an beiden Boniturterminen des Jahres 2013

4.3.9 Hauptfrucht Ackerbohne

4.3.9.1 Feldaufgang

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten hinsichtlich des Feldaufgangs der Hauptfrucht Ackerbohne. Der Feldaufgang lag in jeder Variante bei über vierzig Pflanzen pro m² (Abbildung 143).

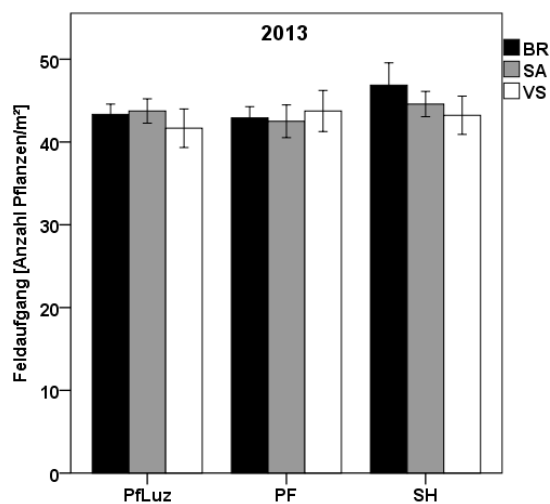


Abbildung 143: Felddichte der Hauptfrucht Ackerbohne

4.3.9.2 Grünmasse und N-Aufnahme

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten hinsichtlich des Grünschnitt-Ertrags der Hauptfrucht Ackerbohne am 18.06.2013. Auch im N-Gehalt des Grünschnitts gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten. Tendenziell war der N-Gehalt des Grünschnitts im Pfluz- und SH-System in den *S. alba*-Varianten höher (Abbildung 144 und 145).

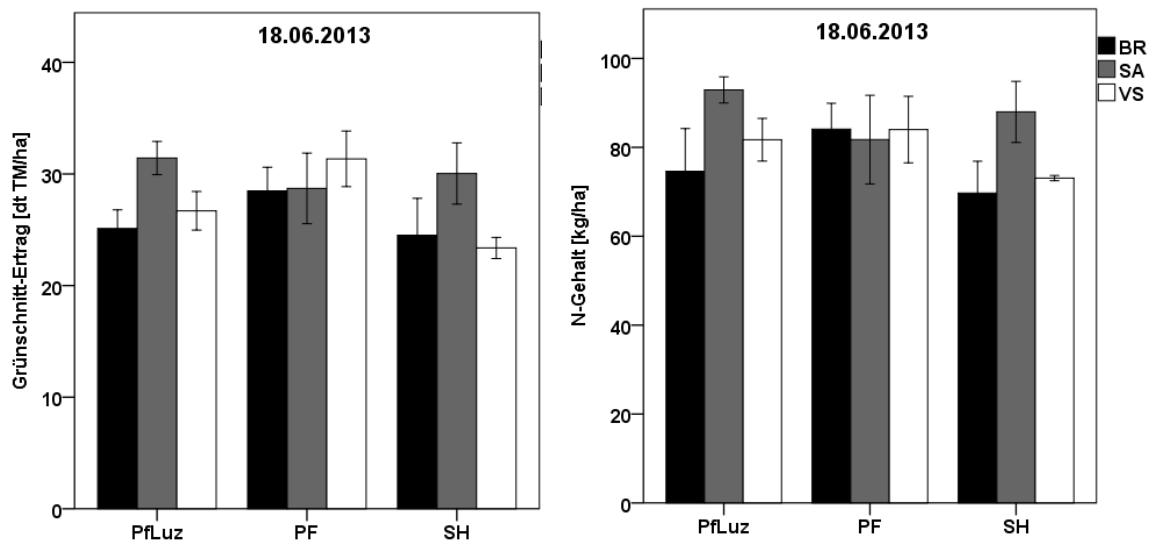


Abbildung 144 und 145: Ertrag des Ackerbohnen-Grünschnitts sowie dessen N-Gehalt

4.3.9.3 Ertrag und Ertragsstruktur

Im Bohnen- und Strohertrag der Ackerbohnen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten (Tabelle 49). Der Bohnenertrag schwankte bei 86 % TS zwischen 31 dt ha⁻¹ in der PF x VS-Variante und 37 dt ha⁻¹ in der Pfluz x BR-Variante (Abbildung 146). Der Strohertrag betrug bei 86 % TS zwischen 35 dt ha⁻¹ in der SH x VS-Variante und 43 dt ha⁻¹ in der Pfluz x BR-Variante (Abbildung 148).

Es gab einen signifikanten Effekt des Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystems auf die Tausendkornmasse (TKM) der Bohnen (Tabelle 49). Das PF-System führte zu einer signifikant niedrigeren TKM als das Pfluz-System. Das SH-System führte zu einer TKM zwischen den beiden anderen Systemen. Tendenziell war die TKM im Pfluz- und SH-System in der Schwarzbrachevariante höher als in den *S. alba* oder *V. sativa*-Varianten (Abbildung 147).

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten in der Anzahl hülsentragender Stängel, in der Anzahl Hülsen pro Stängel und in der Anzahl Bohnen pro Hülse (Tabelle 49). Die Anzahl hülsentragender Stängel pro m² bewegte sich zwischen 41 und 46 Stängeln pro m² (Abbildung 149). Tendenziell gab es in der Pfluz x Schwarzbrache-Variante die höchste Anzahl Hülsen pro Stängel (Abbildung 150). Die errechnete Anzahl Bohnen pro Hülse war in allen Varianten sehr ähnlich und lag bei knapp drei Bohnen pro Hülse (Abbildung 151).

Tabelle 49: Signifikanztabelle der Varianzanalyse von Ertrag und Ertragsstruktur der Ackerbohne für Zwischenfrucht (ZF), Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem (BB) und deren Wechselwirkung

Effekt	Bohnen- ertrag	Stroh- ertrag	Hülsen tragende Stängel	TKM	Hülsen pro Stängel	Bohnen pro Hülse
ZF	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BB	n.s.	n.s.	n.s.	0,026	n.s.	n.s.
ZF*BB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

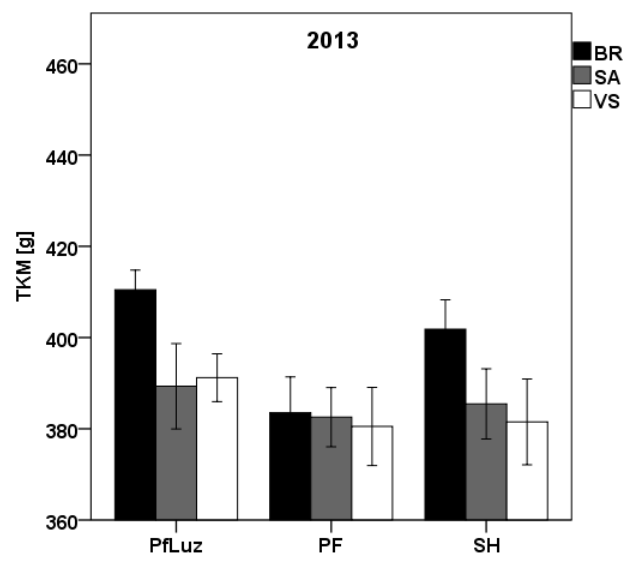
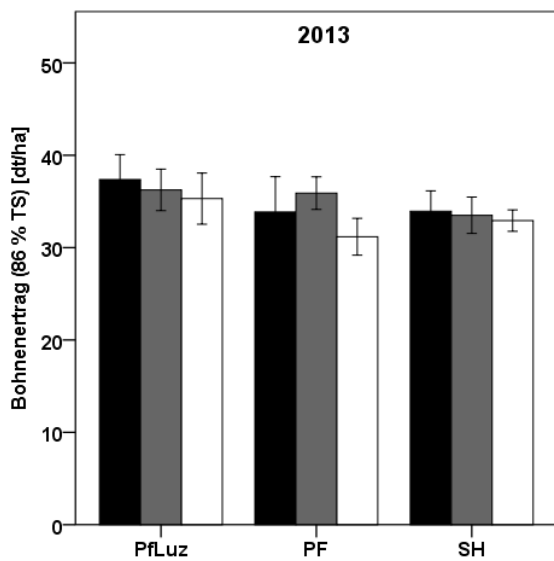


Abbildung 146 und 147: Bohnerertrag sowie Tausendkornmasse der Hauptfrucht Ackerbohne

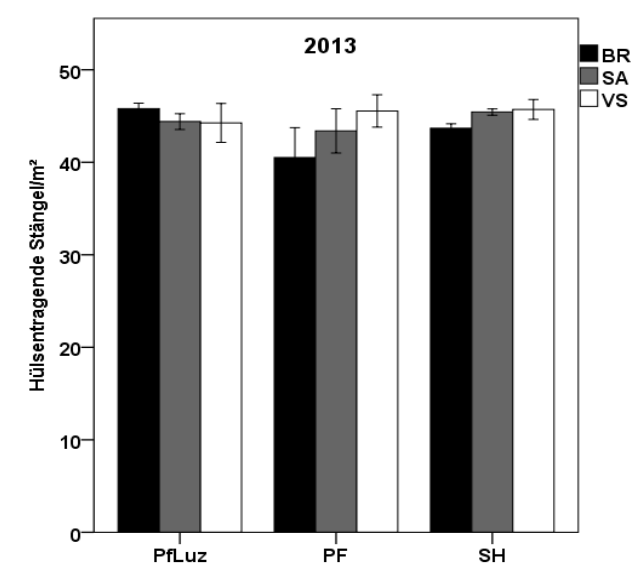
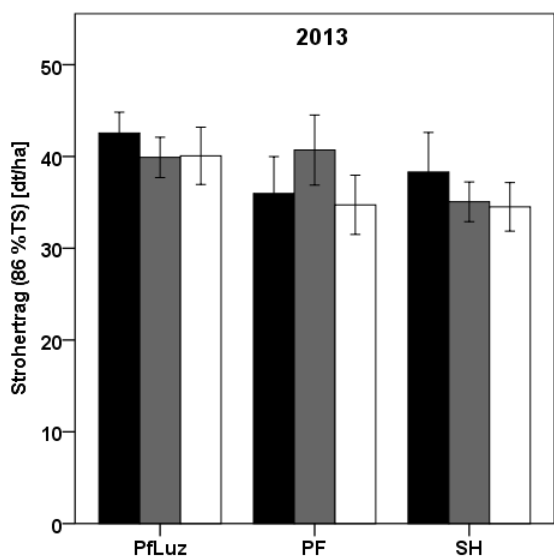


Abbildung 148 und 149: Strohertrag sowie hülsen tragende Stängel der Hauptfrucht Ackerbohne

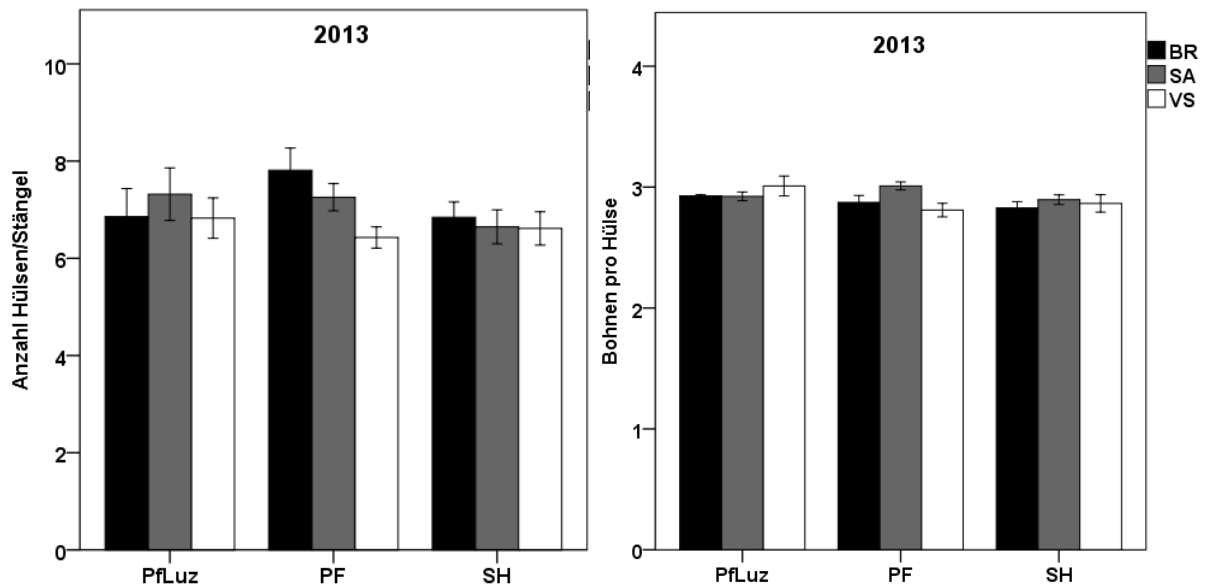


Abbildung 150 und 151: Anzahl Hülsen pro Stängel sowie Anzahl Bohnen pro Hülse der Hauptfrucht Ackerbohne

4.4 Diskussion

- **Welchen Einfluss haben die Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesysteme auf N_{\min} und NO_3-N ? Welche der getesteten Zwischenfrüchte führen in den verschiedenen Systemen zu den höchsten N_{\min} - und NO_3-N -Werten?**

Zu Beginn der hier durchgeführten Bodenuntersuchungen war der Einfluss der Fruchtfolge deutlich stärker als der des Bodenbearbeitungssystems. Das PflLuz-System hatte zu diesem Zeitpunkt, also ein Jahr nach dem Umbruch des Luzernegrases und nach der Ernte der angebauten Triticale, in jeder Schicht einen signifikant höheren N-Gehalt als die beiden anderen Systeme. Zwischen PF- und SH-System gab es in keiner Schicht signifikante Unterschiede.

Im PF- und im SH-System war die Wahl der passenden Zwischenfrucht für eine gute N-Versorgung von entscheidender Bedeutung, während im PflLuz-System keine großen Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtvarianten hinsichtlich der N_{\min} und NO_3-N -Werte bestanden. An beiden Frühjahrsterminen nach dem Anbau der Zwischenfrüchte führte im PF- und SH-System *V. sativa* zu N_{\min} und NO_3-N -Werten auf einem ähnlichen Niveau wie es in allen Varianten des PflLuz-Systems bestand (Abbildung 101 a und b). Auch im PflLuz-System führte *V. sativa* zu den höchsten N_{\min} und NO_3-N -Werten, aber der Abstand zu den anderen Varianten dieses Systems war nicht hoch. Am höchsten war der Abstand der N_{\min} und NO_3-N Werte nach *V. sativa* zu den anderen Varianten im SH-System. Zurückzuführen sein können die hohen N_{\min} und NO_3-N Werte nach *V. sativa* sowohl auf die

hohe N-Aufnahme von *V. sativa* besonders im PF- und SH-System als auch auf deren niedriges C/N-Verhältnis (Abbildung 99 und Tabelle 35).

Zwei Regressionen von Frühjahrs- N_{\min} zu N-Aufnahme der Zwischenfrüchte sowie Frühjahrs- N_{\min} zum C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte zeigen einen etwas größeren Einfluss der N-Aufnahme als des C/N-Verhältnisses (Abbildung 152 und 153). Einen nur geringen Einfluss auf den N_{\min} -Gehalt des Bodens hat der Biomasseertrag der Zwischenfrüchte ($R^2 = 0,4824$; ohne Abbildung), da je nach Art ein unterschiedlich hohes N-Aufnahmevermögen und ein unterschiedliches C/N-Verhältnis besteht. Die N-Aufnahme und die Biomasseproduktion korrelieren zwar in hohem Maße ($r = 0,906$; ohne Abbildung), aber das unterschiedliche N-Aufnahmevermögen der verschiedenen Zwischenfruchtarten führt zu größeren Unterschieden in der N-Aufnahme verglichen mit dem Biomasseertrag (Abbildung 98 und 99). So gibt es im Pfluz-System statistisch gesehen keine Unterschiede hinsichtlich des Biomasseertrages der verschiedenen Zwischenfruchtarten, in der N-Aufnahme gibt es aber statistisch abgesicherte Unterschiede, die die unterschiedlichen N_{\min} -Gehalte erklären können.

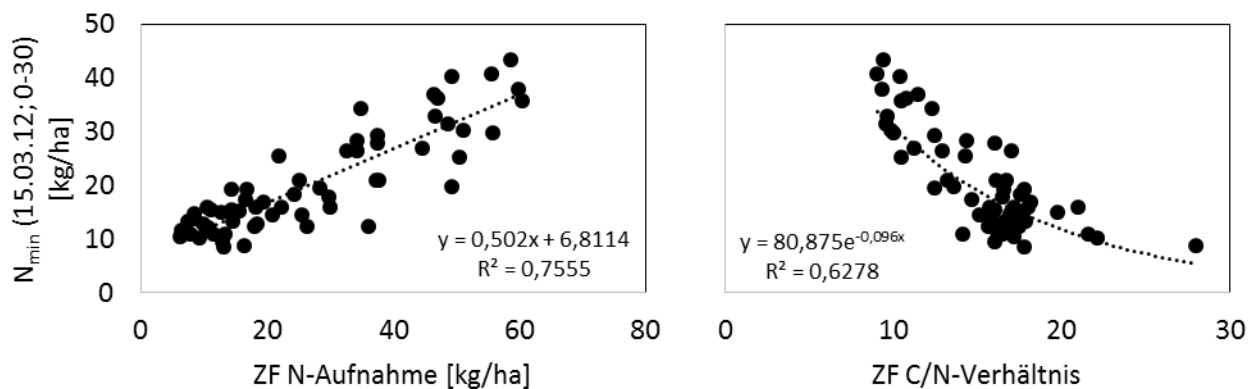


Abbildung 152 und 153: Frühjahrs- N_{\min} der Schicht 0-30 cm in Abhängigkeit von der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte sowie deren C/N-Verhältnis

L. perenne als überwinternde Art führte im Pfluz- und PF-System vor der Einarbeitung am 15.03.12 als einzige Art zu geringeren N_{\min} -Werten verglichen mit der Schwarzbrache (Abbildung 101 a). Auch nach der Einarbeitung am 15.05.2012 führte *L. perenne* im Pfluz- und PF-System zu den geringsten N_{\min} -Werten (Abbildung 101 b). *L. perenne* hatte in jedem System sowohl die geringste N-Aufnahme als auch das höchste C/N-Verhältnis von den getesteten Zwischenfrüchten (Abbildung 99 und Tabelle 35). Das hohe C/N-Verhältnis kann zu einer temporären Immobilisation des N führen, wie es auch in einer Studie von Baggs et al. (2000) berichtet wird.

Das C/N-Verhältnis von *T. resupinatum* als zweite legume Art in diesem Versuch konnte aufgrund des geringen Aufwuchses nicht bestimmt werden. Es wird bei Fageria et al. (2011, S. 545) mit 15,8 angegeben. Dieser Wert liegt über dem C/N-Verhältnis von *V. sativa*, die in allen drei Systemen das niedrigste C/N-Verhältnis (9,4 bis 10,6) hatte. Ferner wurde aufgrund des geringen Aufwuchses vermutlich wenig N gebunden. Die in allen drei Systemen an beiden Frühjahrsterminen niedrigere N-Mineralisation von *T. resupinatum* verglichen mit *V. sativa* (außer PF x TR am zweiten

Frühjahrstermin) läßt auf ein höheres C/N-Verhältnis und eine geringere N-Aufnahme von *T. resupinatum* verglichen mit *V. sativa* schließen.

Die Schwarzbrache war in jedem System trotz des Abflammens mit Beikraut bewachsen. Es fand also auch in diesen Varianten eine N-Konservierung durch den Bewuchs statt. Die N-Mineralisation in allen Schwarzbrache-Varianten war im Frühjahr vergleichbar oder höher als die N-Mineralisation in den nicht-legumen Zwischenfruchtvarianten. Dies ist in Übereinstimmung mit Ergebnissen von Baggs et al. (2000), in deren Studie N-Konservierung durch Beikrautbewuchs ebenso effektiv war wie die der ausgesäten Zwischenfrüchte. Jedoch ist anzunehmen, dass ungesteuerter Bewuchs die Beikrautproblematik in den folgenden Feldkulturen erhöhen wird.

Der Biomasseertrag von *S. alba* war im PF-System signifikant höher als im SH-System. Das N-Niveau beider Systeme war zu Versuchsbeginn ähnlich, allerdings im SH-System etwas niedriger als im PF-System. Auf dem vorhandenen geringen N-Niveau kann dies eventuell einen Ertragsunterschied bewirken. Es können aber auch andere Ursachen eine Rolle gespielt haben wie beispielsweise die geringere Tiefenlockerung im SH-System.

Im zweiten Jahr nach den Zwischenfrüchten waren keine Effekte der Zwischenfrüchte auf den N-Gehalt des Bodens nachweisbar. Der Einfluss der Fruchtfolge war jedoch das gesamte Versuchsjahr über messbar. Das PF- und das SH-System lagen auf einem ähnlichen N-Niveau, während das Pfluz-System an jedem Termin einen signifikant höheren N-Gehalt aufwies.

- **Welchen Einfluss haben die Fruchtfolge-/Bodenbearbeitungssysteme und die Zwischenfrüchte auf die N-Flächenbilanzen der beiden Versuchsjahre?**

Die N-Flächenbilanz des Versuchsjahres 2011/12 im ersten Jahr nach dem Anbau der Zwischenfrüchte war im Pfluz-System für alle Varianten negativ, im PF- und SH-System für *V. sativa* positiv (Tabelle 37). Im PF- und SH-System war die N₂-Fixierung von *V. sativa* höher als im Pfluz-System, was auf das geringere N_{min}- und NO₃-N-Ausgangsniveau dieser Systeme zurückzuführen ist. Auch Anthes (2005, S. 146) berichtet von höheren N₂-Fixierleistungen von *V. sativa* und anderen Leguminosen bei geringeren Boden-N-Gehalten. Dies weist auf eine Selbstregelung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen (Anthes 2005, S. 141). Die mit der N-Differenzmethode geschätzten N₂-Fixierleistungen von *V. sativa* werden dort mit 22 bis 107 kg N ha⁻¹ angegeben. Die hier mit Schätzwerten von Amossé et al. (2014) berechneten N₂-Fixierleistungen von 70 bis 86 kg N ha⁻¹ (Tabelle 37) liegen innerhalb dieses Rahmens. Die N-Austräge durch das Haferkorn und -stroh waren in allen Varianten höher als die N_{min}- und NO₃-N-Gehalte vor der Saat, was bei den nicht-legumen Arten und der Schwarzbrache auf die N-Nachlieferung aus den Bodenvorräten während der Vegetationsperiode zurückzuführen ist (Wehrmann und Scharpf 1979). Die N-Austräge waren bei *V. sativa* im PF- und SH-System trotz der dort höheren N₂-Fixierleistung niedriger als bei *V. sativa* im Pfluz-System, was zu den dort positiven Salden beigetragen hat. In der Pfluz x *V. sativa* –Variante gab es den höchsten N_{min}- und NO₃-N-Gehalt vor Vegetationsbeginn. Es ist davon auszugehen, dass dort N aus der N₂-Fixierung und N_{min}-Aufnahme des zweijährigen Luzernegrases zur guten N-Versorgung beigetragen hat. Die hohen N-Austräge von Haferkorn und -stroh führten in dieser Variante zu einem negativen Saldo. Das Phänomen der „negativen Rückkopplung des Angebotes an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden auf den N-Flächenbilanzsaldo“ (Anthes 2005, S. 143) konnte somit bestätigt werden.

Die N-Flächenbilanz des Versuchsjahres 2012/13 nach dem Anbau der Ackerbohne war für alle Varianten auf einem ähnlichen Niveau positiv (60 - 70 kg ha⁻¹, Tabelle 45). In den Versuchen von Anthes (2005, S. 147) führte Ackerbohne zu Flächenbilanzsalden zwischen 12 und 48 kg ha⁻¹. Die hier vorgestellten Ergebnisse liegen also etwas über diesem Rahmen. Die Werte für den Anteil N aus symbiotischer N₂-Fixierung am Gesamt N der Pflanze reichen in der von Anthes (2005, S. 219) zusammengestellten Tabelle von 0,28 bis 0,92. Der hier nach Amossé et al. (2014) geschätzte Wert von 0,87 ist im oberen Bereich dieser Angabe, in Verbindung mit dem eher geringen N-Ausgangsniveau der Fläche aber denkbar. Eine Vergleichsberechnung mit einer bei Bachinger und Stein-Bachinger (2004, S. 109) angegebenen Faustregel für die N₂-Fixierungsabschätzung (3,5 kg fixierter N₂ pro dt oberirdischer Leguminosen-Trockenmasse) ergab nur um wenige kg abweichende Werte von denen in dieser Bilanz vorgestellten, nämlich 198 – 241 kg N₂ ha⁻¹ im Vergleich zu 203 – 244 kg N₂ ha⁻¹ (Tabelle 45). Die N-Aufnahme aus N₂-Fixierung in Spross und Wurzeln der Ackerbohne wird bei Kahnt (2008, S. 126) mit 240-400 kg ha⁻¹ Jahr⁻¹ angegeben. In den hier vorgestellten Bilanzen lag die N-Aufnahme durch N₂-Fixierung etwas unter diesen Angaben bzw. am unteren Rand dieser Angaben. Bei einem höheren Korn- und Strohertrag wären diese Werte jedoch entsprechend höher gewesen.

- **Nimmt der Gehalt an organischem Kohlenstoff und mikrobieller Biomasse bei einer mehrjährigen ausschließlichen Bearbeitung mit dem Stoppelhobel verglichen mit den Pflugsystemen in den oberen Bodenschichten zu?**

Der Gehalt an C_{org} entspricht in diesem Versuch weitgehend dem Gehalt an C_t, da der pH-Wert bei etwa 6,5 liegt. Zwischen den Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystemen gab es keine signifikanten Unterschiede im Gehalt an C_{org}. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu anderen Versuchsergebnissen, bei denen reduzierte Bodenbearbeitung zu signifikant höheren Werten an C_{org} führte (z. B. Zikeli et al. 2013). Es gab signifikante Unterschiede zwischen den Bodenschichten, die jedoch im SH-System nicht ausgeprägter waren als in den beiden Pflug-Systemen. In manchen Studien, z. B. Gadermaier et al. (2012), wird von einer verstärkten Schichtung im reduzierten System durch Zunahme von C_{org} in der obersten Schicht berichtet. Die C_{org}-Werte waren mit rund 1,2 % in der Schicht 0-10 cm, 1,1 % in der Schicht 10-25 cm und 0,7 % in der Schicht 25-50 cm in allen Varianten eher niedrig. Die daraus abzuleitenden Humusgehalte (bei 58 % C in der organischen Substanz Multiplikation mit dem Faktor F=1,724; Ahl et al., S. 10) lagen bei 2,1 % in der Schicht 0-10 cm, 1,9 % in der Schicht 10-25 cm und 1,2 % in der Schicht 25-50 cm. Für Humusaufbau wäre eine langfristige Strategie nötig. Soll z. B. der Humusgehalt in 0-20 cm Bodentiefe von 1,7 % auf 3,4 % verdoppelt werden, dann müssten dem Boden 3000 kg N in organischer Form zugeführt werden. D.h. dreißig Jahre müssten zusätzlich zu dem Bedarf der Kulturpflanzen 100 kg N ha⁻¹ nur für den Humusaufbau in den Boden eingebracht werden (Kahnt 2008, S. 26).

Das SH-System hatte im Bearbeitungshorizont (0-10 cm) signifikant mehr mikrobiellen N und C als die anderen beiden Systeme, während es in den darunter liegenden Schichten keine signifikanten Unterschiede gab. Dieses Ergebnis ist im Einklang mit Studien von Berner et al. (2008a), Emmerling (2005), Fließbach et al. (2014) und Kuntz et al. (2013). Der höhere Gehalt an mikrobieller Biomasse im SH-System ist ein positives Resultat im Hinblick auf die Bodenfruchtbarkeit, da die mikrobielle Biomasse ein wichtiger Indikator für dieselbe ist (Jørgensen 1995, S. 169). Andere Studien berichten von einem geringeren C_{mik}-Gehalt bei reduzierter Bodenbearbeitung verglichen mit herkömmlichem Pflügen, was auf Bodenverdichtungen und damit zusammenhängende nachteilige Bedingungen für mikrobielle Aktivität zurückgeführt wurde (Ahl et al. 1998; Vian et al. 2009). Es gilt also,

Bodenverdichtungen unbedingt zu vermeiden bzw. vor der Umstellung auf reduzierte Bearbeitung zu lockern, da diese bei reduzierter Bearbeitung schlechter wieder aufgelöst werden können als bei tiefer Bodenbearbeitung (Peigné et al. 2007). Dieser Punkt ist Landwirten, die reduzierte Bodenbearbeitung erfolgreich einsetzen, sehr präsent (Wilhelm et al. 2009).

- **Ist der Stoppelhobel im Hinblick auf die Regulierung von *C. arvense* und anderen mehrjährigen Beikräutern ähnlich effektiv wie der Anbau von mehrjährigem Luzernegras in einem herkömmlichen Pflugsystem?**

C. arvense war das einzige ausdauernde Beikraut, das einen relevanten Anteil an der Beikrautpopulation einnahm. Die Population bestand hauptsächlich aus einjährigen oder überwinternd einjährigen Arten. In den Zwischenfruchtvarianten des Pfluz-Systems gab es im Versuchsjahr 2011/12 durchgehend ein nur sehr geringes Aufkommen von *C. arvense*. Die Schwarzbrache hatte in diesem System an allen drei Boniturterminen ein etwas höheres Aufkommen von *C. arvense* als die Zwischenfruchtvarianten. Dies weist auf einen leicht positiven Effekt der Zwischenfrüchte zusätzlich zu dem mehrjährigen Luzernegras hin und ist im Einklang mit Ergebnissen einer Umfrage von Verschwele und Häusler (2004). Im PF- und SH-System trat *C. arvense* am 30.03.2012 nur gering auf, nahm aber bei den beiden weiteren Boniturterminen stark zu und den überwiegenden Anteil an der Population ein (zwischen 37 % und 85 % im PF-System und zwischen 72 % und 87 % im SH-System). *S. alba* führte im PF-System zum geringsten Aufkommen von *C. arvense* in der Hauptfrucht Hafer in diesem System.

Im Versuchsjahr 2012/2013 wiederholte sich das Ergebnis, dass es im Pfluz-System durchgehend das geringste Aufkommen von *C. arvense* und die geringsten Anteile von *C. arvense* an der Beikrautpopulation verglichen mit den anderen beiden Systemen gab. Entscheidend für eine erfolgreiche Kontrolle von *C. arvense* durch Futterbau ist Studien von Lukashyk (2005) und von Lukashyk et al. (2008) zufolge das mehrmalige Schneiden. Dort gelang eine erfolgreiche Kontrolle von *C. arvense* schon mit einjährigem Futterbau bei dreimaligem Schneiden.

Das Aufkommen von *C. arvense* war in der *S. alba*-Variante des Pfluz-Systems besonders gering. In der Schwarzbrache- und der *V. sativa*-Variante dieses Systems waren die Dichte und der Deckungsgrad von *C. arvense* jedoch höher als im Vorjahr. Dies mag daran gelegen haben, dass das Luzernegras ein Jahr länger zurücklag. In den Varianten des PF- und SH-Systems gab es eine vergleichbare oder leicht höhere Dichte von *C. arvense* als im Vorjahr. Der Deckungsgrad von *C. arvense* im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne war jedoch tendenziell niedriger als im Vorjahr. Hier zeigt sich wahrscheinlich ein positiver Effekt des Hackens. Ferner nahm *C. arvense* im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne in den Varianten des PF-Systems mit 23 % bis 46 % und in den Varianten des SH-Systems mit 39 % bis 54 % einen geringeren Anteil an der Beikrautpopulation ein als im Versuchsjahr 2011/12 im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer. Die Ackerbohne wirkte also in diesem Versuch nicht grundsätzlich vermehrend auf das Auftreten von *C. arvense*, wie dies z.B. in einer Studie von Gruber und Claupein (2009) der Fall gewesen war oder Körnerleguminosen allgemein nachgesagt wird (Melander und Rasmussen 2014).

Tiefes Pflügen (25 cm) führte in einer Studie von Brandsæter et al. (2011) verglichen mit flachem Pflügen (15 cm) zu bis zu 90 % geringerem Auftreten von *C. arvense*. In dem hier vorgestellten Versuch führte tiefes Pflügen allein nicht zu einer befriedigenden Beikrautkontrolle von *C. arvense*. Nur das Pflügen in der Fruchtfolge mit mehrjährigem Luzernegras erwies sich als erfolgreich in der

Regulierung von *C. arvensis*. Luzerngras in Kombination mit tiefem Pflügen (25 cm) erwies sich auch in Studien von Gruber und Claupein (2008; 2009) als effektiv zur Regulierung von *C. arvensis*, während sich bei flachem Pflügen (15 cm) oder Grubbern (15 cm) im auf das Luzerngras folgenden Winterweizen *C. arvensis* schnell wieder ausbreitete. Bei flachem Pflügen und Grubbern gab es dort also keinen Langzeiteffekt von mehrjährigem Luzerngras. Vergleicht man die Ergebnisse der verschiedenen Systeme bezüglich des Auftretens von *C. arvensis* des hier vorgestellten Versuchs, wird jedoch ein Effekt des Luzerngrases bis zum Ende des Versuchs drei Jahre nach dem Umbruch des Luzerngrases sichtbar. Nur die Kombination aus mehrjährigem Luzerngras und tiefem Pflügen erwies sich in diesem Versuch als effektiv zur Regulierung von *C. arvensis*. Tiefes Pflügen in einer Getreidebasierten Fruchtfolge erwies sich ebenso wie das Stoppelhobelsystem in der Getreidebasierten Fruchtfolge als unzureichend in der Kontrolle von *C. arvensis*. Schon zu Anfang des Versuches war sowohl im PF-System als auch im SH-System eine Zunahme der Distelnester zu beobachten (Haase und Heß 2011). Der Stoppelhobel hat also in diesem Versuch die an ihn gestellten Erwartungen nicht erfüllt. Allerdings ist bei diesem Ergebnis zu berücksichtigen, dass im Vergleich zum Pflug hier – wie so oft in der Praxis auch (Schmidt 2010, S. 282) - mit dem reduzierten Verfahren geringere Erfahrungen vorliegen, was eventuell zu einem nicht optimalen Einsatz des Stoppelhobels, vor allem hinsichtlich des Bearbeitungszeitpunkts, führte.

Eine Kombination von einer Fruchtfolge mit mehrjährigem Futterbau und reduzierter Bearbeitung wie zum Beispiel dem Stoppelhobel könnte die Vorteile einer reduzierten Bearbeitung mit effektiver Regulierung von *C. arvensis* verbinden. An Möglichkeiten der Verwendung des Klee- oder Luzerngrases in viehlosen Betrieben und des Umbruchs desselben in Systemen mit reduzierter Bodenbearbeitung wird aktuell geforscht. Eine Verwendungsmöglichkeit in viehlosen Betrieben ist der so genannte cut-and-carry fertilizer, d.h. die Verwendung geschnittenen Klee- oder Luzerngrases als Dünger auf anderen Flächen (Burgt et al. 2013). Beim Umbruch mit reduzierter Bearbeitung ist Durchwuchs ein häufiges Problem. Auch Gruber und Claupein (2008) führen in ihrer Studie das hohe Aufkommen von *C. arvensis* nach Luzerngras im System mit flachem Pflügen bzw. Grubbern zumindest zum Teil auf Durchwuchs des Luzerngrases zurück. Andere Geräte können beim Umbruch von mehrjährigem Klee- oder Luzerngras eventuell effektiver sein wie zum Beispiel eine rotierende Zinkenwalze, die einem Kreiselgrubber nachläuft (Reiter et al. 2015). Krauss et al. (2010) berichten von einem erfolgreichen Kleeumbruch im September mit dem Stoppelhobel und anschließendem Grubbern gefolgt von dem Anbau einer Zwischenfrucht. Eine weitere vielversprechende Bodenbearbeitungsmethode in Fruchtfolgen mit mehrjährigem Futterbau und mit Bezug auf die Kontrolle von *C. arvensis* ist ein Zweischichtenpflug-System (Gruber und Claupein 2008; Gruber und Claupein 2009). Weitere möglicherweise passende Geräte modernerer Bauart sind WecoDyn, Dyna-Drive und Vario-Digger.

- **Welche Zwischenfrüchte haben in den verschiedenen Systemen den besten beikrautunterdrückenden Effekt und wie wirken die verschiedenen Systeme auf das Beikrautaufkommen?**

Im späten Stadium der Zwischenfrüchte hatten *L. perenne*, *P. tanacetifolia*, *S. alba*, die Mischung aus *S. alba* und *T. resupinatum* sowie *V. sativa* in jedem System eine bessere Beikraut unterdrückende Wirkung gezeigt als Schwarzbrache und *T. resupinatum*. In einer Studie von Dorn et al. (2011) sowie Zwischenfruchtversuchen in Sachsen (Schmidt und Gläser 2013, S. 26) wurde ebenfalls in den Kontrollparzellen ohne Zwischenfruchtanbau ein massives Beikrautaufkommen festgestellt, während alle Zwischenfruchtvarianten ein beikrautunterdrückendes Potenzial aufwiesen. *T. resupinatum* wird

bei Kolbe et al. (2004, S. 19) als unbefriedigend zur Beikrautkontrolle eingestuft, was auf seine zögerliche Anfangsentwicklung zurückgeführt wird. Wiederholt wird darauf hingewiesen, dass Zwischenfruchtgemenge aus mehreren Arten sich als am erfolgreichsten in der Beikrautkontrolle gezeigt haben (z. B. Schmidt und Gläser 2014, S. 39).

Häufig gibt es eine negative Korrelation zwischen Zwischenfruchtbiomasse und Beikrautaufkommen (Bärberi und Mazzoncini 2001; Teasdale et al. 2007). Die Korrelation von Zwischenfruchtbiomasse und Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Zwischenfrüchte ist in diesem Versuch nur schwach negativ ($r = -0,45$; ohne Abbildung). Ein wichtiger Grund hierfür ist, dass die Daten für Schwarzbrache und *T. resupinatum* nicht beinhaltet sind, da für beides keine Ertragsbestimmung hatte stattfinden können. Die anderen Zwischenfruchtarten weisen an diesem Boniturtermin einen nur geringen Unterschied im Beikrautunterdrückungspotenzial auf. Vergleicht man die Abbildungen des Zwischenfruchtertrags (Abbildung 98) und des Beikrautdeckungsgrads (Abbildung 104), sieht man jedoch, dass der höhere Ertrag der Zwischenfrüchte im Pfluz- und PF-System verglichen mit dem SH-System sich in einer dort besseren Beikrautunterdrückung widerspiegelt.

Am 30.05.2012 waren die Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtvarianten hinsichtlich der Beikrautdichte nur gering. Die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystemen waren jedoch sehr groß und statistisch absicherbar. Das Pfluz- und das PF-System hatten eine um 76 % (Pfluz-System) bzw. 62 % (PF-System) geringere Beikrautdichte als das SH-System. 2013 gab es wieder im SH-System eine signifikant höhere Beikrautdichte als in den beiden anderen Systemen. Alle drei Systeme hatten jedoch eine sehr hohe Beikrautdichte und sich im Vergleich zum Vorjahr angeglichen (Mittelwert der Dichte im Pfluz-System 283, im PF-System 276 und im SH-System 370 Pflanzen m^{-1}).

Beim Beikrautdeckungsgrad und bei der Beikrautbiomasse im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer waren jedoch 2012 wieder Einflüsse der Zwischenfrüchte zu sehen, am stärksten im Pfluz-System. So hatten dort *P. tanacetifolia*, *S. alba*, die Mischung, *T. resupinatum* und *V. sativa* eine wesentlich bessere Beikrautunterdrückung zur Folge als die Schwarzbrache- und die *L. perenne*-Varianten. Im PF-System stand ebenfalls in der Schwarzbrache- und der *L. perenne*-Variante viel Beikraut, aber auch in der *T. resupinatum*-Variante. Nur *P. tanacetifolia* und *S. alba* hatten hier zu einer besseren Beikrautunterdrückung geführt. Im SH-System waren die Unterschiede im Beikrautaufkommen zwischen den Zwischenfruchtvarianten geringer als in den anderen Systemen. Die Beikrautbiomasse war im SH-System tendenziell etwas niedriger als im PF-System; das etwas niedrigere N-Niveau des SH-Systems mag hier eine Rolle gespielt haben. 2013 wiederholte sich diese Tendenz.

Wie zu erwarten gab es im zweiten Jahr nach dem Anbau der Zwischenfrüchte keine nachweisbaren Effekte der Zwischenfrüchte auf das Beikrautaufkommen. Üblicherweise ist im Boden immer ein großer Samenvorrat der verschiedensten Beikrautarten vorhanden, so dass sich jedes Jahr ein der jeweiligen Kulturart angepasster Beikrautbestand entwickeln kann. Langfristig passt sich jedoch der Samenvorrat im Boden der Fruchtfolgegestaltung an (Oehmichen und Becker 1986, S. 41).

Es lassen sich aus diesem Versuch keine grundsätzlichen Empfehlungen ableiten, welche der getesteten Zwischenfrüchte die beste beikrautunterdrückende Wirkung haben. Auch die verbreitete Einschätzung, dass Gramineen und Kruziferen besser zur Beikrautunterdrückung geeignet seien als Leguminosen (Bärberi 2002) wird in diesem Versuch nur teilweise bestätigt. Die beikrautunterdrückende Wirkung der Zwischenfrüchte wurde außerdem zumindest zum Teil durch

die Effekte der Systeme überlagert. Als tendenziell eher weniger geeignet zur Unterdrückung von Beikraut haben sich in diesem Versuch *L. perenne* und *T. resupinatum* gezeigt. Die Beikrautbiomasse in den Varianten Pfluz x *L. perenne* und PF x *L. perenne* sowie PF x *T. resupinatum* war so hoch wie in den Schwarzbrache-Varianten dieser Systeme (Abbildung 115). Auffallend ist, dass in diesen Varianten auch die Anzahl Rispen pro m² des Hafers geringer war als in den anderen Varianten (Abbildung 124). Entweder verhinderte ein hier höheres Beikrautauflkommen ein optimales Wachstum des Hafers; oder der Hafer wuchs in diesen Varianten schlechter, was ein höheres Beikrautauflkommen begünstigte.

Das PF- und das Pfluz-System wurden in diesem Versuch in beiden Versuchsjahren im Herbst gepflügt und im Frühjahr gegrubbert. Dies mag neben der Fruchtfolge ausschlaggebend gewesen sein für das hohe Beikrautauflkommen im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer im PF-System. So führte in einer Studie von Gruber und Claupein (2009) Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber zur signifikant höchsten Beikrautdicht verglichen mit der tiefen Pflugbearbeitung (25 cm), flachen Pflugbearbeitung (15 cm) sowie der Bearbeitung mit dem Zweischichtenpflug (15 + 10 cm). In dem hier vorgestellten Versuch war im Pfluz-System das Grubbern im Frühjahr zur Beikrautkontrolle ausreichend; bei fehlendem Luzerngras in der Fruchtfolge wie im PF-System jedoch nicht. Dies bestätigt die Schlussfolgerung von Gruber und Claupein (2009), dass Beikrautkontrolle im Ökologischen Landbau eine Kombination verschiedener Verfahren ist (Stoppelbearbeitung, Grundbodenbearbeitung, mechanische Beikrautregulierung, Zwischenfruchtanbau, Fruchtfolgegestaltung, mehrjähriger Futterbau) und wenn einer dieser Faktoren reduziert ist oder fehlt, die anderen Verfahren intensiviert werden müssen.

- **Wie wirken sich die verschiedenen Systeme und Zwischenfrüchte auf die Diversität, Äquität und Zusammensetzung der Beikrautpopulation aus?**

2012 hatte das SH-System in der Regel niedrigere Diversitätsindices als die anderen beiden Systeme bei deutlich geringerer Äquität. Das lag an den ersten beiden Boniturterminen an der Dominanz von Kamillearten (*Matricaria* spp.). Dies verschob sich am dritten Boniturtermin zu einer Dominanz von der Ackerkratzdistel (*C. arvensis*). Andere Studien berichten von einer Erhöhung der Beikrautdiversität durch reduzierte Bodenbearbeitung (Armengot et al. 2016; Bärberi und Mazzoncini 2001; Bärberi et al. 2014) oder von einer ähnlichen Beikrautdiversität bei reduzierter Bodenbearbeitung verglichen mit konventioneller Bodenbearbeitung (Hampl et al. 2005; Sans et al. 2011). Dies kann hier nicht bestätigt werden, wobei die einseitige getreidebasierte Fruchtfolge zu diesem Ergebnis beigetragen haben mag. Die Anwendung des Stoppelhobels in einer vielfältigeren Fruchtfolge hätte eventuell zu einem anderen Ergebnis führen können.

Die Wirkung der Bodenbearbeitung auf die Diversität der Beikrautgesellschaft hängt in der Studie von Armengot et al. (2016) vom jeweiligen Versuch und von der angebauten Kulturart ab. In deren vergleichenden Betrachtung von sieben Feldversuchen in verschiedenen Anbauregionen Europas spielte die angebaute Kulturart sogar eine wichtigere Rolle als die Art der Bodenbearbeitung (Armengot et al. 2016).

Im PF-System lagen die Diversität der Beikrautpopulation an allen drei Boniturterminen und die Äquität an den ersten beiden Boniturterminen auf dem Niveau des Pfluz-Systems. Die Äquität am dritten Boniturtermin lag zwischen Pfluz- und SH-System. Wie im SH-System gab es hier eine Dominanz von *C. arvensis*, wenn auch nicht in so starker Ausprägung.

Eine maximale Diversifikation des Anbausystems (d.h. die Fruchtfolge und die Bodenbearbeitung betreffend) beugt dem Auftreten einer spezialisierten Beikrautgesellschaft vor (Bärberi 2002). Das Überwiegen einer oder weniger Beikrautarten kann in dieser Hinsicht als ein Anzeichen von einer zu einseitigen Bewirtschaftung in der Vergangenheit angesehen werden. In dieser Hinsicht positiv haben sich also das Luzernegras in der Fruchtfolge sowie das abwechselnde Pflügen und Grubbern ausgewirkt.

Häufig wird in der Literatur beschrieben, dass reduzierte Bodenbearbeitung mehrjährige Beikräuter und/oder Gräser fördere (Armengot et al. 2016; Mäder und Berner 2012; Peigné et al. 2007; Shrestha et al. 2002). Für *C. arvense* war dies in diesem Versuch der Fall, aber abgesehen von *C. arvense* bestand die Beikrautpopulation in allen drei Systemen hauptsächlich aus einjährigen oder überwintert einjährigen dikotylen Arten.

In den Pfluz- und PF-Systemen führten die Zwischenfruchtvarianten im Vergleich zur Schwarzbrachevariante tendenziell zu einer höheren Äquität und einem höheren Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft. Im SH-System war diese Tendenz weniger eindeutig. Das Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem spielte für diese Parameter grundsätzlich eine größere Rolle als der Faktor Zwischenfrucht. Hinsichtlich der Zusammensetzung der Beikrautpopulation war der Einfluss des Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystems deutlich ausgeprägter als der der Zwischenfrüchte. Auch in einer Studie von Bärberi und Mazzoncini (2001) wurde der Effekt der Zwischenfrüchte auf die Zusammensetzung der Beikrautpopulation häufig von dem Bodenbearbeitungs-/Managementsystem überlagert.

2013 gab es keinen nachweisbaren Einfluss der Zwischenfrüchte auf die Diversität, Äquität und Zusammensetzung der Beikrautpopulation mehr. Das Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystem hatte im frühen Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne einen signifikanten Einfluss auf die Äquität und den Shannon-Wiener Index der Beikrautgesellschaft in der Hinsicht, dass das PF-System eine höhere Äquität und einen höheren Shannon-Wiener Index hatte als die beiden anderen Systeme. Im späten Stadium der Hauptfrucht Ackerbohne gab es keine statistisch absicherbaren Unterschiede zwischen den Varianten hinsichtlich Diversität und Äquität der Beikrautpopulation. Die Angleichung der Varianten kann durch das Hacken zustande gekommen sein. In der Zusammensetzung der Beikrautpopulation gab es aber dennoch Unterschiede. So gab es in der Pfluz x SA-Variante deutlich weniger *C. arvense* als in den anderen untersuchten Varianten.

- **Wie wirken sich die Bodenbearbeitungs-Fruchtfolgesysteme und die verschiedenen Zwischenfrüchte auf die Erträge der Hauptfrüchte aus?**

Der Ertrag des Hafers war im Pfluz-System in allen Zwischenfruchtvarianten statistisch gesehen auf demselben Niveau. Im PF- und im SH-System gab es dagegen signifikante Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtvarianten. In beiden Systemen führte *V. sativa* zu einem Haferertrag auf einem mit dem Ertrag des Pfluz-Systems vergleichbaren Niveau. Im SH-System war der Abstand zwischen der *V. sativa*-Variante und den anderen Zwischenfruchtvarianten ausgeprägter als im PF-System. Im reduzierten System ist es demzufolge besonders wichtig, eine gut passende Zwischenfrucht anzubauen, während die Wahl der Zwischenfruchtart bei einer Pflugbearbeitung weniger wichtig ist. Dies bestätigt die Ergebnisse der einjährigen Versuche. Außerdem deuten die Ergebnisse im mehrjährigen Versuch darauf hin, dass bei einer Pflugbearbeitung und einer abwechslungsreichen

Fruchtfolge mit mehrjährigem Futterbau die Wahl der Zwischenfruchtart nahezu keine Bedeutung hat.

Im PF-System führte neben *V. sativa* auch *S. alba* zu einem hohen Ertragsniveau. Das Ertragsniveau des Hafers spiegelt vor allem im PF- und SH-System das Ertragsniveau der jeweiligen Zwischenfruchtart wieder (Abbildung 154). Die Regression von ZF-Biomasseertrag und Hafer-Kornertrag ist in Abbildung 155 dargestellt ($R^2=0,5412$). *T. resupinatum* ist in diesen Abbildungen nicht enthalten, da keine Ertragsbestimmung hatte stattfinden können. Der Biomasseertrag der Zwischenfrüchte ist für den Ertrag der nachfolgenden Hauptfrucht nicht immer ausschlaggebend. Auch Zwischenfrüchte mit geringer Biomasseproduktion wie z.B. *T. resupinatum* können den Ertrag der nachfolgenden Hauptfrucht steigern (Gruber und Thamm 2005).

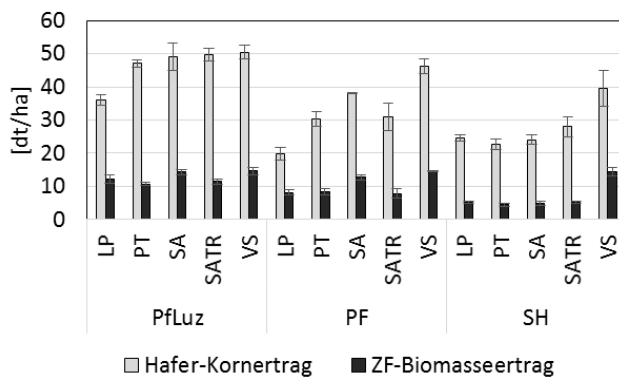


Abbildung 154: Kornertrag des Hafers und Biomasseertrag (TM) der Zwischenfrüchte

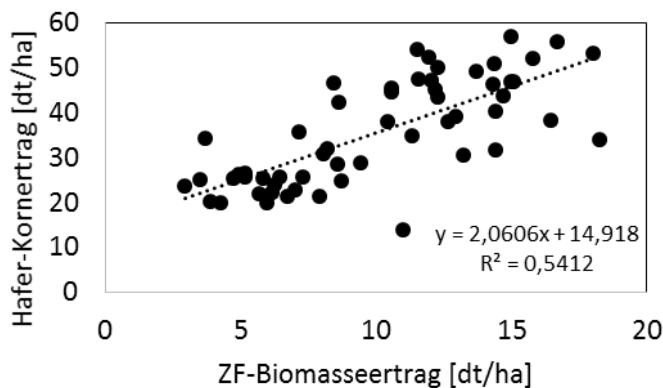


Abbildung 155: Hafer-Kornertrag in Abhängigkeit von Zwischenfruchtbiomasseertrag (n=60 da keine ZF-Biomasseertragsdaten für Schwarzbrache- und *T. resupinatum*-Varianten vorhanden)

Die aufgenommene Menge N der Zwischenfrüchte wird ebenfalls im Haferertrag widerspiegelt. Der Regressionskoeffizient beträgt hier 0,57 (Abbildung 156). Das C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte hat einen geringeren Einfluss auf den Hafer-Kornertrag ($R^2=0,44$; Abbildung 157).

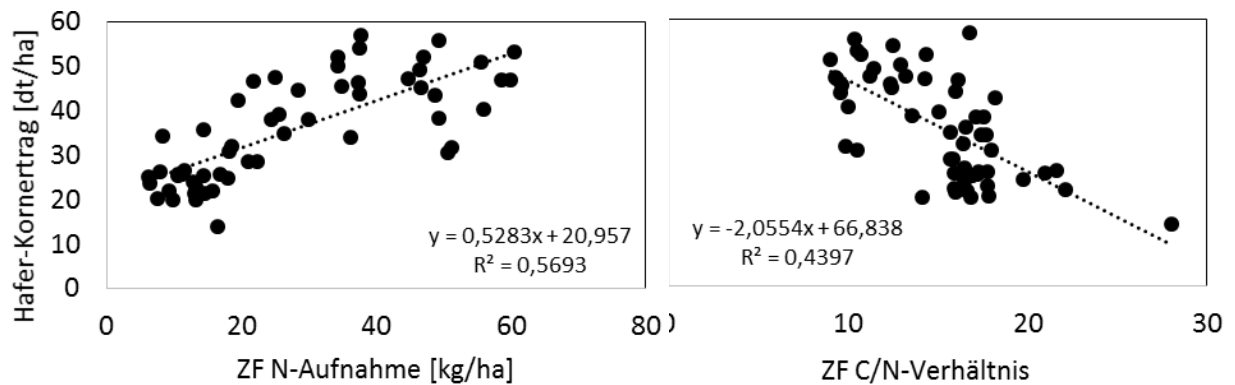


Abbildung 156 und 157: Hafer-Kornertrag in Abhängigkeit von Zwischenfrucht-N-Aufnahme sowie - C/N-Verhältnis

(n=60 da keine ZF-Biomasseertragsdaten für Schwarzbrache- und *T. resupinatum*-Varianten vorhanden)

Der Frühjahrs- N_{\min} -Gehalt des Oberbodens erklärt 61 % der Variation des Hafer-Kornertrags (Abbildung 158). Diese Beziehung ist also stärker als die vorherigen. Wie im ersten Abschnitt dieser Diskussion gezeigt werden konnte, hängt der Frühjahrs- N_{\min} -Gehalt stärker von der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte ab als von deren C/N-Verhältnis. Obwohl das C/N-Verhältnis der Zwischenfrucht wichtig für den Frühjahrs- N_{\min} -Gehalt des Bodens ist, gibt es in keiner Weise präzise die N-Mineralisation unter Feldbedingungen wieder (Thorup-Kristensen et al. 2003). Um einen hohen Frühjahrs- N_{\min} -Gehalt zu erreichen ist möglicherweise also der Zwischenfruchtart mit potentiell höherem N-Aufnahmevermögen der Vorzug vor einer Zwischenfrucht mit niedrigerem C/N-Verhältnis zu geben. Jedoch können auch andere Pflanzeigenschaften eine wichtige Rolle spielen, wie der Gehalt an Lignin oder Polyphenol, die Wasserlöslichkeit der C- und N-Bestandteile oder der Anteil von NO_3 -N am Gesamt-N in der Pflanze.

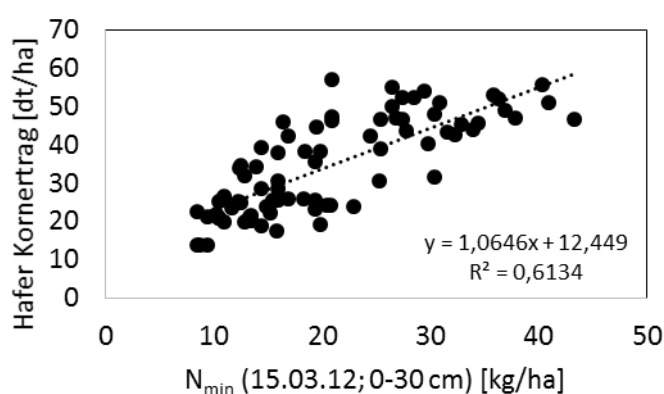


Abbildung 158: Hafer-Kornertrag in Abhängigkeit vom Frühjahrs- N_{\min} -Gehalt im Oberboden (n=80)

Zwischen Beikrautbiomasse und Hafer-Kornertrag gab es einen Korrelationskoeffizienten von -0,5 und zwischen Beikrautdeckungsgrad im späten Stadium der Hauptfrucht Hafer und Hafer-Kornertrag einen Korrelationskoeffizienten von -0,56 (Daten nicht gezeigt). Nicht immer bedeutete ein höheres

Beikrautaufkommen eine Ertragseinbuße (z.B. Abbildung 115 und Abbildung 122). Zu diesem Ergebnis kommt auch eine Studie von Bärberi et al. (2014).

Im Ertrag der Ackerbohne 2013 waren keine Unterschiede durch Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesysteme erkennbar. Die legume Hauptfrucht war also in der Lage, vorhandene Unterschiede im N_{\min} -Ausgangsniveau zu kompensieren. Auch die Zwischenfruchtvarianten wirkten sich im zweiten Jahr nach ihrem Anbau nicht signifikant auf den Ackerbohnenenertrag aus. Als übliche Erklärung für den durchweg relativ geringen Ackerbohnenenertrag von unter 40 dt ha^{-1} würde wohl der späte Saattermin (22.04.2013) dienen. Späte Saat muss aber nicht notwendigerweise zu Ertragseinbußen führen, wie Landessortenversuche der Jahre 1988 bis 2012 gezeigt haben (Sauermann 2013). Eventuell hätte Pflügen im Frühjahr anstelle der Bearbeitung mit dem Federzinkengrubber positiv auf den Ertrag der Ackerbohne gewirkt. So führte Grubbern in einer Studie von Gruber und Claupein (2009) zu großen Einbußen im Kornertrag der Hauptfrucht Ackerbohne. Andererseits wird in anderer Literatur von guter Toleranz der Ackerbohne gegenüber Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung berichtet (Shirliffe und Johnson 2012). Die Witterung kann eine ungünstige Wirkung auf den Kornertrag der Ackerbohne ausgeübt haben. So kommt der ausreichenden Wasserversorgung zur Zeit der Blüte und des Hülsenansatzes eine besonders wichtige Bedeutung zu (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2007). Trockenstress zu diesem Zeitpunkt kann zu verstärktem Abwurf von Blüten und jungen Hülsen führen. In dieser Hinsicht hat sich wahrscheinlich die stark unterdurchschnittliche Niederschlagsmenge der Monate Juni und Juli 2013 negativ ausgewirkt.

- **Führen die verschiedenen Systeme und Zwischenfrüchte zu Unterschieden im Feldaufgang und in der Ertragsstruktur der Hauptfrüchte?**

Durch die höhere Strohmenge im Saatbereich bei reduzierter Bodenbearbeitung im Vergleich zur tiefen Bearbeitung kann es zu einem geringeren Feldaufgang in der reduzierten Variante kommen. Bei guter Sätechnik hinsichtlich des Bodenschlusses kann sich eine reduzierte Bodenbearbeitung insbesondere in Trockenjahren jedoch auch positiv auf den Feldaufgang auswirken (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland Pfalz 2012, S. 49). Schüle (2010, S. 142) stellte bei flacher Arbeitstiefe einen im Vergleich zur tiefen Bearbeitung reduzierten Feldaufgang fest. Dies konnte hier nicht bestätigt werden. Der Feldaufgang war in beiden Jahren in den verschiedenen Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystemen sowie den Zwischenfruchtvarianten nicht signifikant unterschiedlich. Jedoch war die Bearbeitung im Pflugsystem vor der Aussaat des Hafers durch einen Grubber ausgeführt worden, d.h. der kurzfristige Einfluss auf den Feldaufgang des Hafers war Grubber vs. Stoppelhobel und nicht Pflug vs. Stoppehobel. Vor der Aussaat der Ackerbohne war die gesamte Fläche gegrubbert worden, was ebenfalls die fehlenden Unterschiede zwischen den Systemen erklären kann.

Der Feldaufgang der Ackerbohne war mit durchweg über 40 Pflanzen pro m^2 bei einer Aussaatstärke von 40 keimfähigen Körnern pro m^2 sehr hoch. Möglicherweise waren zum Zeitpunkt der Erhebung des Feldaufgangs schon Seitentriebe vorhanden. Diese bilden sich bei der Ackerbohne oftmals schon unter der Erde und werden fälschlicherweise als einzelne Pflanzen gezählt (Bischoff et al. 2015, S. 19).

Schon bei früheren Untersuchungen dieses Versuchs stellte sich heraus, dass Ertragsunterschiede zwischen den Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystemen nicht auf Unterschiede in der

Tausendkornmasse zurückzuführen waren (Haase und Heß 2011). Dies bestätigte sich in den Ergebnissen des Jahres 2011 in der Ertragsstruktur des Hafers. Die Tausendkornmasse wird, abgesehen von der Sorte, in erster Linie von der Bodengüte und der Witterung nach der Blüte bestimmt. In der Regel ist sie durch agronomische Maßnahmen weniger beeinflussbar als die Bestandesdichte oder die Kornzahl pro Rispe (AGES 2013, S. 117). Die Kornzahl pro Rispe wurde signifikant von den Bodenbearbeitungs-/Fruchtfolgesystemen und den Zwischenfruchtvarianten beeinflusst (Tabelle 43). Unterschiedliche N-Verfügbarkeit während der Ausbildung dieses Merkmals kann hier die Ursache gewesen sein.

In nahezu jeder Ackerbohne waren Löcher von Bohnenkäfern (*Bruchus rufimanus*), welche die Tausendkornmasse gesenkt haben könnten. Jedoch waren die Werte der TKM noch im Bereich wie für die Sorte Bioro angegeben, welche von Natur aus kleinkörnig ist und eine niedrige Tausendkornmasse hat (Vogt-Kaute 2015). Die Parameter der Ertragsstruktur der Ackerbohne unterschieden sich nur marginal zwischen den einzelnen Varianten; Ausnahme war die höhere Tausendkornmasse in den Varianten Pfluz x Schwarzbrache und SH x Schwarzbrache. Diese resultierte aber nicht in einem höheren Kornertrag in diesen Varianten; die höhere Kornmasse wurde durch leicht verringerte hülsentragende Stängel, Anzahl Hülsen pro Stängel und Bohnen pro Hülse wieder ausgeglichen.

4.5 Fazit

Die N-Aufnahme sowie das C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte sind wichtige Parameter zum Erreichen eines hohen Frühjahrs- N_{\min} -Gehaltes. *V. sativa* erwies sich wie in den einjährigen Versuchen bei reduzierter Bodenbearbeitung sowie in dem PF-System als sehr effektiv bezüglich Erzielen eines hohen N_{\min} -Gehaltes und Haferertrags. In der Fruchtfolge mit Luzernegrass (Pfluz-System) spielte die Wahl der Zwischenfrucht keine große Rolle. Lediglich in Hinsicht auf die Kontrolle von *C. arvense* hatte hier die Kombination mit *S. alba* einen leicht positiven Effekt.

Das Luzernegrass in der Fruchtfolge (Pfluz-System) erwies sich verglichen mit der getreidebasierten Fruchtfolge und Pflügen (PF-System) und dem SH-System als bestes Mittel in der Kontrolle von *C. arvense*. Auch die N_{\min} -Gehalte und Hafererträge profitierten von diesem System. Die Ackerbohne als Leguminose reagierte unempfindlich auf die verschiedenen Systeme. In der getreidebasierten Fruchtfolge war das PF-System hinsichtlich Anregung der Mineralisation, Beikrautkontrolle und Haferertrag dem SH-System nur teilweise überlegen. Der negative Effekt der einseitigen Fruchtfolge überlagerte die Auswirkungen der Bodenbearbeitung. Weder im PF-System noch im SH-System konnte *C. arvense* so effektiv kontrolliert werden wie im Pfluz-System. Eine vielfältige Fruchtfolge inklusive Futterbau würde bessere Ausgangsbedingungen für den Einsatz eines Gerätes zur reduzierten Bodenbearbeitung schaffen. Auch der Umbruch des Luzerne- oder Kleeegrasses müsste nicht zwangsläufig mit dem herkömmlichen Pflug erfolgen. Hier besteht aber noch weiterer Forschungs- und Erprobungsbedarf.

Diese Studie bestätigt, dass die Ökologische Landwirtschaft für einen erfolgreichen Ackerbau auf eine Kombination verschiedener Verfahren angewiesen ist (wie Stoppelbearbeitung, Grundbodenbearbeitung, mechanische Beikrautregulierung, Zwischenfruchtanbau, Fruchtfolgegestaltung, mehrjähriger Futterbau) und dass eine Reduzierung in einem Bereich (beispielsweise Bodenbearbeitung) eine Intensivierung in einem anderen Bereich (beispielsweise Diversifizierung der Fruchtfolge) erfordert.

5 Zusammenfassung

Reduzierte Bodenbearbeitung und Zwischenfrüchte haben das Potenzial, Anbausysteme im Ökologischen Landbau weiter zu verbessern, wenn sie an dessen spezifische Bedingungen angepasst werden. Ein Ziel des europäischen Forschungsprojektes „TILMAN ORG“ (2011-2014; www.tilman-org.net) war es, eine wirksamere Beikrautregulierung bei gleichzeitig guter N-Versorgung der Kulturpflanzen durch den verbesserten Einsatz von Zwischenfrüchten innerhalb verschiedener Szenarien reduzierter Bodenbearbeitung zu entwickeln.

Die Ergebnisse zweier wiederholter einjähriger Feldversuche auf zwei verschiedenen Standorten hinsichtlich der Wirkung unterschiedlicher legumer und nicht-legumer Zwischenfruchtarten in verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen auf das Beikrautaufkommen, die N-Flüsse und die Hauptfruchterträge sind das erste Hauptthema dieser Arbeit.

Die Standorte der Versuche waren das Versuchsgut der Universität Kassel, die Domäne Frankenhausen (DFH1 und DFH2), und der Biolandbetrieb Meyerhof in Belm/Osnabrück (Belm1 und Belm2). In diesen Versuchen folgte die Hauptfrucht Hafer nach folgenden Zwischenfrüchten:

- *Sinapis alba*
- *Trifolium resupinatum*
- *Vicia sativa*
- sowie einer Schwarzbrache als Kontrolle.

Der Hafer wurde nach unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten gesät. Dies waren in DFH1 und DFH2:

- Pflug (22-24 cm Bearbeitungstiefe)
- Grubber (DFH1; 10-12 cm) bzw. Scheibenegge (DFH2; 7 cm)
- Mulchsaat
- Direktsaat.

In Belm1 und Belm2 waren es:

- Pflug (23 cm)
- Grubber (13-15 cm)
- Fräse (6-8 cm).

Im Versuch DFH1 hatte *V. sativa* den höchsten Ertrag von allen Zwischenfrüchten. Im Versuch DFH2 lag der Ertrag von *V. sativa* nur bei der Hälfte des Vorjahresversuchs und *S. alba* erreichte hier ein ähnliches Ertragsniveau. In Belm1 und Belm2 war der Ertrag von *S. alba* in beiden Jahren deutlich höher als von *V. sativa* und *T. resupinatum*. *T. resupinatum* hatte in jedem der Versuche den niedrigsten Ertrag von allen Zwischenfruchtarten.

V. sativa hatte in DFH1 und DFH2 die höchste N-Aufnahme und das niedrigste C/N-Verhältnis der untersuchten Zwischenfrüchte. *S. alba* hatte das höchste C/N-Verhältnis. In Belm1 und Belm2 hatte *S. alba* sowohl die höchste N-Aufnahme als auch das höchste C/N-Verhältnis.

In DFH1 und DFH2 führte *V. sativa* zu den höchsten N_{\min} -Gehalten im Oberboden und NO_3-N -Gehalten im Unterboden, insbesondere auch in den Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung. In

Belm1 und Belm2 waren die N-Gehalte nach allen Zwischenfrüchten ähnlich. Die verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten führten zu keinen signifikanten Unterschieden in den N-Gehalten.

Das Beikrautaufkommen war in DFH1 in den Pflugvarianten grundsätzlich niedrig verglichen mit den anderen Bodenbearbeitungsvarianten. In DFH1 mussten in den Mulch- und Direktsaatvarianten die Haferparzellen nach den Zwischenfrüchten *S. alba* und *T. resupinatum* sowie nach der Schwarzbrache wegen zu hohen Beikrautdruckes aufgegeben werden. Im Vergleich dazu konnte *V. sativa* im Versuch DFH1 die Beikräuter wesentlich besser unterdrücken und führte zu mit Pflug- und Grubbervarianten vergleichbaren Erträgen der Hauptfrucht Hafer auf einem Niveau von 55,3 dt ha⁻¹ bis 59,1 dt ha⁻¹. Im Versuch DFH2 mussten alle Mulch- und Direktsaatvarianten aufgrund zu hohen Beikrautdruckes aufgegeben werden. Der Beikrautdruck auf den Scheibenegge - Varianten unterschied sich nicht signifikant von dem Beikrautdruck auf den Pflug – Varianten, es führte aber nur die Zwischenfrucht *V. sativa* zu ähnlich hohen Erträgen in der Hauptfrucht Hafer wie in den Pflug - Varianten (*V. sativa* x Scheibenegge 56,2 dt ha⁻¹, *V. sativa* x Pflug 53,9 dt ha⁻¹). Auf den Pflug – Varianten herrschte abermals ein geringer Beikrautdruck. Beim Ertrag der Pflugvarianten gab es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Zwischenfrüchte.

In Belm war das Beikraut nur im Versuch Belm2 bonitiert worden. Dort hatte *S. alba* das Beikraut im späten Stadium der Zwischenfrüchte besser unterdrückt als die anderen Zwischenfruchtarten. Später wurde dieser Effekt von der Bodenbearbeitung überdeckt; Pflügen führte zum niedrigsten Beikrautaufkommen nach jeder Zwischenfruchtart sowie Schwarzbrache. Sowohl in Belm1 als auch Belm2 führte Pflügen zu höheren Hafererträgen als Grubbern oder Fräsen. Dieser Effekt war jedoch in beiden Versuchen nach *V. sativa* schwächer ausgeprägt als nach den anderen Zwischenfruchtarten.

Das zweite Hauptthema dieser Arbeit ist ein Systemversuch, bei dem untersucht wurde, ob der Stoppelhobel der Firma Zobel ähnlich effizient in der Regulierung von *C. arvense* ist wie mehrjähriger Futterbau. Der Versuch wurde auf dem Versuchsgut der Universität Kassel im Jahr 2007 angelegt. Es erfolgte ein Vergleich zwischen den folgenden Systemen:

- Pflügen in einer Fruchtfolge, die dreijähriges Luzernegras enthielt (bis 25 cm tief)
- Pflügen in einer getreidebasierten Fruchtfolge (bis 25 cm tief)
- einer Bearbeitung mit dem Stoppelhobel ebenfalls in getreidebasierter Fruchtfolge (bis 12 cm tief).

2011 wurden in allen drei Systemen folgende Zwischenfrüchte integriert:

- *Lolium perenne*
- *Phacelia tanacetifolia*
- *Sinapis alba*
- *Trifolium resupinatum*
- Mischung aus *S. alba* und *T. resupinatum*
- *Vicia sativa*
- Schwarzbrache als Kontrolle.

Als Hauptfrüchte wurden 2012 Hafer und 2013 Ackerbohnen angebaut.

Die Auswirkungen dieser Systeme auf Beikrautaufkommen, N-Flüsse und Hauptfrucherträge sind das Thema dieses Teils.

Von allen Zwischenfrüchten hatte *V. sativa* den höchsten Ertrag und die höchste N-Aufnahme in allen drei Systemen. Der Ertrag der Zwischenfrüchte im Stoppelhobel-System war für alle Arten außer *V. sativa* niedriger als in den beiden Pflugsystemen. Gleiches galt für die N-Aufnahme. *L. perenne* hatte das höchste C/N-Verhältnis und *V. sativa* das niedrigste der untersuchten Zwischenfrüchte. *T. resupinatum* hatten aufgrund dessen schlechten Feldaufgangs nicht beprobt werden können.

Die Vorfrucht Luzernegras (2007-2010) wirkte sich 2012 deutlich auf den N_{\min} -Gehalt des Oberbodens und den NO_3 -N-Gehalt des Unterbodens aus und führte zu höheren Werten als im Pflug- und Stoppelhobel-System in der getreidebasierten Fruchtfolge. Hinsichtlich der Zwischenfrüchte führte *V. sativa* zum höchsten und *L. perenne* zum niedrigsten N_{\min} - und NO_3 -N-Gehalt. Teilweise führte auch *T. resupinatum* zu ähnlich hohen N-Gehalten wie *V. sativa*; Schwarzbrache, *P. tanacetifolia* und *S. alba* zu ähnlich niedrigen N-Gehalten wie *L. perenne*. Auch 2013 war im Pflug-System in der Fruchtfolge mit Luzernegras N_{\min} und NO_3 -N höher als in den anderen beiden Systemen. Ein Einfluss der Zwischenfrüchte auf N_{\min} und NO_3 -N war im zweiten Jahr nach ihrem Anbau unter der Hauptfrucht Ackerbohne nicht nachweisbar.

2012, also fünf Jahre nach Beginn des Versuchs, gab es zwischen den drei Systemen keine signifikanten Unterschiede im Gehalt an organischem Kohlenstoff. In jedem System hatten die oberen beiden Schichten (0-10 cm und 10-25 cm) einen signifikant höheren prozentualen Anteil an organischem Kohlenstoff als die unterste Schicht (25-50 cm). 2013 wurde der Boden auf den Gehalt an mikrobiellem N und C untersucht. Das Stoppelhobel-System hatte in der obersten Schicht signifikant mehr N_{mik} und C_{mik} als das Pflugsystem in der Fruchtfolge mit Luzernegras- und das Pflug-System in der getreidebasierten Fruchtfolge. In den beiden unteren Schichten unterschieden sich die drei Systeme nicht signifikant voneinander.

2012 war das Beikrautaufkommen in der Regel im Pflug-System in der Fruchtfolge mit Luzernegras am niedrigsten und im Stoppelhobel-System am höchsten. Das Beikrautaufkommen im Pflug-System in der getreidebasierten Fruchtfolge lag an den ersten beiden Boniturterminen zwischen den anderen beiden Systemen, am dritten Boniturtermin war es aber in manchen Varianten höher als im Stoppelhobel-System. Schwarzbrache führte in der Regel in jedem System zu einem hohen Beikrautaufkommen. Im Pflug-System in der Fruchtfolge mit Luzernegras war *L. perenne* tendenziell weniger zur Beikrautunterdrückung geeignet als die anderen Zwischenfrüchte; hier kann auch Durchwuchs von *L. perenne*, der als Beikaut mitzählte, eine Rolle gespielt haben. *P. tanacetifolia* und *S. alba* hatten vor allem im Pflug-System in der getreidebasierten Fruchtfolge eine gute Wirkung. Im Stoppelhobel-System führte *T. resupinatum* im späten Stadium der Zwischenfrüchte zum höchsten Beikrautaufkommen, was sich aber bis zur Ernte des Hafers wieder an die anderen Varianten anglich. 2013 unterschieden sich die Systeme zur Ernte der Ackerbohne nicht stark im Beikrautaufkommen; dies kann in einer einmaligen mechanischen Beikrautkontrolle (Hacken) nach dem Auflaufen der Ackerbohnen begründet sein.

2012 wirkte sich der Stoppelhobel tendenziell negativ auf die Diversität der Beikrautgesellschaft, gemessen in Artenanzahl, Äquität und Shannon-Wiener Index, aus. Die Zwischenfrüchte hatten verglichen mit der Schwarzbrache eher einen positiven Effekt, d.h. eine höhere Diversität bei gleichmäßigerer Verteilung. 2013 waren keine klaren Tendenzen zu erkennen.

C. arvensis trat in beiden Jahren im Stoppelhobel-System und im Pflug-System in der getreidebasierten Fruchtfolge stärker auf als im Pflug-System in der Fruchtfolge mit Luzernegras. Das dreijährige Luzernegras in der Fruchtfolge erwies sich somit als effektiver zur Kontrolle von *C. arvensis* als die Wahl der Bodenbearbeitung.

2012 hatte das Stoppelhobel-System den niedrigsten, das Pflug-System in der Fruchtfolge mit Luzernegras den höchsten und das Pflug-System in der getreidebasierten Fruchtfolge einen mittleren Haferkornenertrag. Im Pflug-System in der Fruchtfolge mit Luzernegras führten alle Zwischenfruchtvarianten zu höchsten Erträgen. Im Stoppelhobel-System spielte die Wahl der Zwischenfrucht eine große Rolle. Nur *V. sativa* führte hier zu Erträgen auf demselben Niveau wie das aller Varianten des Pflug-Systems in der Fruchtfolge mit Luzernegras und das der besten Varianten des Pflug-Systems. 2013 gab es im Ertrag der Ackerbohnen keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten.

6 Summary

Reduced tillage and green manures may be capable to further improve organic crop production systems, if they are adapted to its specific needs. One goal of the European research projekt "TILMAN ORG" (2011-2014; www.tilman-org.net) was, to develop a more efficient weed management while improving the N-supply for the field crops through a highly developed used of green manure crops within different cenarios of reduced tillage.

The results of two repeated one year trials on two different sites regarding the effects of different green manure species in different tillage systems on weed emergence, N-Fluxes, and main crop yields are one main topic of this work.

The sites of the trials were the research farm of University of Kassel 'Domaene Frankenhäusen' (DFH1 and DFH2) and the organic farm 'Meyerhof' in Belm near Osnabrueck (Belm1 and Belm2). In these trials the main crop succeeded after following green manure crops:

- *Sinapis alba*
- *Trifolium resupinatum*
- *Vicia sativa*
- bare fallow as control.

The oat was sown after different tillage methods. Theses were in DFH1 and DFH2:

- Plough (22-24-cm depth)
- Chisel (DFH1; 10-12 cm) or disc harrow (DFH2; 7 cm)
- Mulching and drilling
- Direct drilling.

In Belm1 and Belm2 it were:

- Plough (23 cm)
- Chisel (13-15 cm)
- Rotary hoe (6-8 cm).

In DFH1 *V. sativa* yielded higher than the other green manure species. In DFH2 the yield of *V. sativa* was only about half as much as in the previous trial and here *S. alba* had about as much yield as *V. sativa*. In Belm1 und Belm2 the yield of *S. alba* in both years was higher than that of *V. sativa* and *T. resupinatum*. *T. resupinatum* had the lowest yield in every trial.

In DFH1 and DFH2 *V. sativa* had the highest N-uptake and the lowest C/N-ratio of the analysed green manure species. *S. alba* had the highest C/N-ratio. In Belm1 and Belm2 *S. alba* had the highest N-uptake as well as the highest C/N-ratio.

In DFH1 and DFH2 *V. sativa* resulted in the highest N-contents of the soil, especially in the reduced tillage systems. In Belm1 and Belm2, soil N-contents were similar after all green manure species. Besides that, the different tillage techniques did not lead to significant differences in the N-content there.

In DFH1 weed cover was generally low in the plough system compared to the other tillage systems. In the mulching + drilling- and direct drilling- systems *V. sativa* was able to suppress weeds considerably more efficiently than the other green manure treatments. The oat plots after the green manure species *S. alba* and *T. resupinatum* as well as the bare fallow had to be given up because weed pressure was too high. Instead, the oat yield in the mulching + drilling- and direct drilling treatments after green manure species *V. sativa* resulted in oat yields similar to the plough and chisel treatments (from 5.5 t ha⁻¹ to 5.9 t ha⁻¹). In DFH2 all mulching + drilling- and direct drilling- plots had to be given up because of too high weed pressure. In the disc harrow– system weed pressure differed not significantly from the plough system, but only green manure species *V. sativa* resulted in comparable oat yields (*V. sativa* x disc harrow 5.6 t ha⁻¹, *V. sativa* x plough 5.4 t ha⁻¹). On the plough treatments there was low weed pressure again. In the oat yield of the plough treatments there were no significant differences regarding the green manure species.

In Belm weed pressure had been assessed only in Belm2. There, in the late stage of the green manure crops *S. alba* suppressed weeds considerably better than the other green manure species. Later on this effect was masked by the tillage method. The plough resulted in the lowest weed emergence in every green manure treatment. In Belm1 as well as in Belm2 the plough resulted in higher oat yields than the chisel or the rotary hoe. However, in both trials this effect was less pronounced after *V. sativa* than after the other green manure species.

The second main topic is a system comparison stubble cleaner vs. plough. The aim was to test if the stubble cleaner is as efficient for the control of *C. arvensis* as perennial alfalfa-grass ley. The trial started 2007 on the research farm of University of Kassel. The following systems were compared:

- Plough in a crop rotation with three years of alfalfa-grass ley (to a depth of 25 cm)
- Plough in a cereal based crop rotation (to a depth of 25 cm)
- Stubble cleaner in a cereal based crop rotation (maximum depth of 12 cm).

2011 in all three systems the following green manure crops were integrated:

- *Lolium perenne*
- *Phacelia tanacetifolia*
- *Sinapis alba*
- *Trifolium resupinatum*
- Mixture from *S. alba* and *T. resupinatum*
- *Vicia sativa*
- Bare fallow as control.

Main crops were 2012 oats and 2013 field beans.

The effects of these systems on weed emergence, N-Fluxes and main crop yields are the topic of this part.

V. sativa had the highest yield and the highest N-uptake of all green manure species in all three systems. The yield of the green manure crops in the stubble cleaner system beside *V. sativa* was lower than their yield in the plough systems. The same was true for their N-uptake. *L. perenne* had the highest C/N-ratio and *V. sativa* the lowest of the examined green manure species. *T. resupinatum* could not be assessed due to its poor field emergence.

The precrop alfalfa-grass ley (2007-2010) had a distinct impact onto the N-content of the soil in the year 2012 and led to higher N-contents than the cereal based crop rotation. Regarding the green manure species *V. sativa* led to the highest and *L. perenne* to the lowest N-contents. To some extent *T. resupinatum* led to similar high N-contents like *V. sativa*; bare fallow, *P. tanacetifolia* and *S. alba* to similar low N-contents like *L. perenne*. 2013 again the N-contents were highest in the plough system with precrop alfalfa. Effects of the green manure species were not visible in the second year after their cultivation.

2012, i.e. five years after the start of the trial, there were no significant differences between the three systems in their content of organic carbon. In each system, the two upper layers (0-10 cm and 10-25 cm) had a significant higher proportion of organic carbon than the lowest layer (25-50 cm). 2013 the soil was analysed regarding the content of microbial N and C. In the uppermost layer the stubble cleaner system had significantly more N_{mic} and C_{mic} than the two other systems. In the two layers below there were no significant differences between the three systems.

2012 weed emergence was usually lowest in the plough system with precrop alfalfa and highest in the stubble cleaner system. Weed emergence in the plough system in the cereal based crop rotation was at the two first assessment dates between the two other systems. However, at the third date it was in some treatments higher than weed emergence in the stubble cleaner system. Bare fallow normally led to high weed emergence in every system. In the plough system with precrop alfalfa *L. perenne* was less suitable for weed control than the other green manure species. Volunteers of *L. perenne* were counted as weeds too and may be a reason for the higher weed emergence in this treatment. *P. tanacetifolia* and *S. alba* suppressed weeds well especially in the plough system in the cereal based crop rotation. In the stubble cleaner system, *T. resupinatum* led to the highest weed emergence in the late stage of the green manure crops, which diminished til the late stage of the main crop oat. 2013 there were no significant differences in weed emergence among the systems which may be due to the mechanical weed control (harrowing) after emergence of the field beans.

2012 there was to some extent a negativ impact of the stubble cleaner on the diversity of the weed community, measured in number of species, equity and Shannon-Wiener Index. The green manures had a slightly positiv effect, i.e. a higher diversity together with a more equal distribution, compared to the bare fallow. 2013 no clear tendencies could be identified.

C. arvense occurred more frequently in the plough system in the cereal based crop rotation and the stubble cleaner systems than in the plough system with precrop alfalfa in both years. The three years of alfalfa-grass ley therefore were more important for the control of *C. arvense* than the choice of the tillage method in this trial.

2012 the stubble cleaner system resulted in the lowest, the plough system with precrop alfalfa in the highest and the plough system in the cereal based crop rotation in an intermediate oat yield. In the plough system with precrop alfalfa all green manure species resulted in highest oat yields. In contrast to that in the stubble cleaner system the choice of the green manure crop was very important. Only *V. sativa* resulted in oat yields like in all treatments of the plough system with precrop alfalfa and in the best treatments of the plough system in the cereal based crop rotation. 2013 there were no significant differences in the yield of field bean of the analysed treatments.

7 Literaturverzeichnis

AGES (2013): Beschreibende Sortenliste. Bundesamt für Ernährungssicherheit Österreich. Online verfügbar unter www.baes.gv.at, zuletzt geprüft am 18.06.2016.

Ahl, C.; Becker, K.; Jörgensen, R. G.; Wildhagen, H.: Aspekte und Grundlagen der Bodenkunde. 32. Aufl. Göttingen und Witzenhausen: Eigenverlag.

Ahl, C.; Jörgensen, R. G.; Kandeler, E.; Meyer, B.; Woehler, V. (1998): Microbial biomass and activity in silt and sand loams after long-term shallow tillage in central Germany. In: *Soil and Tillage Research* 49 (1-2), S. 93–104. DOI: 10.1016/S0167-1987(98)00166-4.

aid (Hg.) (2014): Gute fachliche Praxis - Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. 2. Aufl. Unter Mitarbeit von J. Brunotte, W. Schmidt, R. Brandhuber, M. Bach, H. Honecker, J. Bug et al. aid infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e. V. Bonn.

Alliaume, F.; Rossing, W.; Tittonell, P.; Jorge, G.; Dogliotti, S. (2014): Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 183, S. 127–137. DOI: 10.1016/j.agee.2013.11.001.

Almagro, M.; Vente, J. de; Boix-Fayos, C.; García-Franco, N.; Melgares de Aguilar, J.; González, D. et al. (2013): Sustainable land management practices as providers of several ecosystem services under rainfed Mediterranean agroecosystems. In: *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. DOI: 10.1007/s11027-013-9535-2.

Alpers, A.; Simon, S. (2012): Zwischenfrüchte - die Mischung macht's. In: *Naturland Nachrichten* (04/August 2012), S. 40–42. Online verfügbar unter http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Naturland_Nachrichten/2012-04/2012-04_Zwischenfruechte.pdf.

Altieri, M. A.; Lana, M. A.; Bittencourt, H. V.; Kieling, A. S.; Comin, J. J.; Lovato, P. E. (2011): Enhancing Crop Productivity via Weed Suppression in Organic No-Till Cropping Systems in Santa Catarina, Brazil. In: *Journal of Sustainable Agriculture* 35 (8), S. 855–869. DOI: 10.1080/10440046.2011.588998.

Amossé, C.; Jeuffroy, M.-H.; Mary, B.; David, C. (2014): Contribution of relay intercropping with legume cover crops on nitrogen dynamics in organic grain systems. In: *Nutr Cycl Agroecosyst* 98 (1), S. 1–14. DOI: 10.1007/s10705-013-9591-8.

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.

Armengot, L.; Berner, A.; Blanco-Moreno, J. M.; Mäder, P.; Sans, F. X. (2015): Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. In: *Agron. Sustain. Dev.* 35 (1), S. 339–346. DOI: 10.1007/s13593-014-0249-y.

Armengot, L.; Blanco-Moreno, J. M.; Bàrberi, P.; Bocci, G.; Carlesi, S.; Aendekerk, R. et al. (2016): Tillage as a driver of change in weed communities. A functional perspective. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 222, S. 276–285. DOI: 10.1016/j.agee.2016.02.021.

Bachinger, J.; Stein-Bachinger, K. (2004): Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau. Ein Handbuch für Beratung und Praxis ; Berechnungsgrundlagen, Faustzahlen, Schätzverfahren zur Erstellung von Nährstoffbilanzen ; Handlungsempfehlungen zum effizienten Umgang mit

innerbetrieblichen Nährstoffressourcen, insbesondere Stickstoff. Münster: Landwirtschaftsverl. (KTBL-Schriften, 423).

Baggs, E. M.; Watson, C. A.; Rees, R. M. (2000): The fate of nitrogen from incorporated cover crop and green manure residues. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56 (2), S. 153–163. DOI: 10.1023/A:1009825606341.

Bakken, A. K.; Brandsæter, L. O.; Eltun, R.; Hansen, S.; Mangerud, K.; Pommeresche, R.; Riley, H. (2009): Effect of tractor weight, depth of ploughing and wheel placement during ploughing in an organic cereal rotation on contrasting soils. In: *Soil and Tillage Research* 103 (2), S. 433–441. DOI: 10.1016/j.still.2008.12.010.

Bàrberi, P. (2002): Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? In: *Weed Res* 42 (3), S. 177–193. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2002.00277.x.

Bàrberi, P.; Aenderkerk, R.; Antichi, D.; Armengot, L.; Berner, A.; Bigongiali, F. et al. (2014): Reduced tillage and cover crops in organic arable systems preserve weed diversity without jeopardising crop yield. In: G. Rahmann und Aksoy U. (Hg.): *Building Organic Bridges; Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference*, Bd. 3. Organic World Congress. Istanbul, 13.-15.10.2014. 3 Bände (Thünen Report 20), S. 765–768.

Bàrberi, P.; Mazzoncini, M. (2001): Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. In: *Weed Science* 49, S. 491–499.

Baresel, J. P.; Reents, H.-J.; Schenkel, W. (2003): Screening alternativer Leguminosenarten auf ihre Eignung zur Gründüngung und zum Mischanbau im Ökologischen Landbau. Abschlussbericht. Online verfügbar unter www.orgprints.org/8353.

Beckmann, E. (1998): Zum Wert von *Vicia sativa* L. und *Trifolium resupinatum* L. unter variierenden Bedingungen im Zwischenfruchtanbau. Dissertation. Justus-Liebig-Universität, Gießen. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.

Berner, A.; Fließbach, A.; Nietlispach, B.; Mäder, P. (2008a): Effects of reduced tillage on soil organic carbon and microbial activity in a clayey soil. In: D. Neuhoff, N. Halberg, T. Alföldi, W. Lockeretz, A. Thommen, I. A. Rasmussen et al. (Hg.): *Cultivating the Future Based on Science. Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR)*. 16th IFOAM Organic World Congress. Modena, Italy, 16.-20.06.2008.

Berner, A.; Hildermann, I.; Fließbach, A.; Pfiffner, L.; Niggli, U.; Mäder, P. (2008b): Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. In: *Soil and Tillage Research* 101 (1-2), S. 89–96. DOI: 10.1016/j.still.2008.07.012.

Berry, P. M.; Sylvester-Bradley, R.; Philipps, L.; Hatch, D. J.; Cuttle, S. P.; Rayns, F. W.; Gosling, P. (2002): Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? In: *Soil Use and Management* 18 (3), S. 248–255. DOI: 10.1079/SUM2002129.

Bischoff, J.; Fischer, K.; Käufler, F.; Stemann, G.; Weber, M.; Lenz, M. et al. (2015): Praxisnah. Ackerbohnen und Körnererbsen. Fachinformationen für die Landwirtschaft. Sonderausgabe Leguminosen.

Bloch, R.; Bachinger, J. (2010): Anpassung an den Klimawandel im Praxistest. Innovationen für den Ökolandbau. In: *ForschungsReport*, Bd. 2, S. 18–21. Online verfügbar unter <http://orgprints.org/19763/>, zuletzt geprüft am 19.02.2015.

- Bloch, R.; Bachinger, J. (2012): Assessing the vulnerability of organic farming systems: a case study from the Federal State of Brandenburg. In: International Farming Systems Association (IFSA) (Hg.): Producing and reproducing farming systems: new modes of organisation for sustainable food systems of tomorrow. 10th European IFSA Symposium. Aarhus, Denmark, 01.-04.07.2012. IFSA Europe Group. Vienna, S. WS 3.1. (1-6).
- Blombäck, K.; Eckersten, H.; Lewan, E.; Aronsson, H. (2003): Simulations of soil carbon and nitrogen dynamics during seven years in a catch crop experiment. In: *Agricultural Systems* 76 (1), S. 95–114. DOI: 10.1016/S0308-521X(02)00030-6.
- Bodner, G.; Kastelliz, A.; Liebhard, P.; Loiskandl, W.; Himmelbauer, M.; Kaul, H.-P. (2011): Wurzeleigenschaften von Zwischenfrüchten und ihre agroökologische Funktion. In: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft (Hg.): Bericht. 1. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Wurzelforschung : am 13. und 14. September 2011 am LFZ Raumberg-Gumpenstein. Österreichische Gesellschaft für Wurzelforschung. Irdning: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, S. 67–74.
- Böhm, H.; Brandhuber, R.; Bruns, C.; Demmel, M.; Finckh, M. R.; Fuchs, J.; Gronle, A. (2014): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit. Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Bonn. Online verfügbar unter <http://orgprints.org/25326/>, zuletzt geprüft am 16.02.2015.
- Bond, W.; Grundy, A. C. (2001): Non-chemical weed management in organic farming systems. In: *Weed Res* 41 (5), S. 383–405. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2001.00246.x.
- Boström, U. (1999): Type and time of autumn tillage with and without herbicides at reduced rates in southern Sweden. In: *Soil and Tillage Research* 50 (3-4), S. 271–281. DOI: 10.1016/S0167-1987(99)00016-1.
- Brandsæter, L. O.; Bakken, A. K.; Mangerud, K.; Riley, H.; Eltun, R.; Fykse, H. (2011): Effects of tractor weight, wheel placement and depth of ploughing on the infestation of perennial weeds in organically farmed cereals. In: *European Journal of Agronomy* 34 (4), S. 239–246. DOI: 10.1016/j.eja.2011.02.001.
- Brandsæter, L. O.; Heggen, H.; Riley, H.; Stubhaug, E.; Henriksen, T. M. (2008): Winter survival, biomass accumulation and N mineralization of winter annual and biennial legumes sown at various times of year in Northern Temperate Regions. In: *European Journal of Agronomy* 28 (3), S. 437–448. DOI: 10.1016/j.eja.2007.11.013.
- Brandt, M. (2001): Bodenprofile der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen. Witzenhausen: GhK, Fachgebiet Bodenkunde (Arbeitsberichte / Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich 11, Fachgebiet Bodenkunde, Nr. 4).
- Brandt, M.; Wildhagen, H.; Heß, J. (2001): Bodenmonitoring auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen. Kartier- und Analyseergebnisse. Witzenhausen: GhK, Fachgebiet Bodenkunde (Arbeitsberichte / Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich 11, Fachgebiet Bodenkunde, Nr. 5).
- Brennan, E. B.; Boyd, N. S. (2012): Winter Cover Crop Seeding Rate and Variety Affects during Eight Years of Organic Vegetables: I. Cover Crop Biomass Production. In: *Agronomy Journal* 104 (3), S. 684–698. DOI: 10.2134/agronj2011.0330.

- Brust, J.; Claupein, W.; Gerhards, R. (2014a): Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. In: *Crop Protection* 63, S. 1–8. DOI: 10.1016/j.cropro.2014.04.022.
- Brust, J.; Gerhards, R. (2012): Lopsided oat (*Avena strigosa*) as a new summer annual cover crop for weed suppression in Central Europe. In: H. Nordmeyer und L. Ulber (Hg.): Tagungsband 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Proceedings 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, March 13-15, 2012. Braunschweig, 13.-15.3.2012. Quedlinburg: Julius Kühn Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (Julius-Kühn-Archiv, 434), S. 257–264.
- Brust, J.; Gerhards, R.; Karanisa, T.; Ruff, L.; Kipp, A. (2011): Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. In: *Gesunde Pflanzen* 63 (4), S. 191–198. DOI: 10.1007/s10343-011-0263-9.
- Brust, J.; Weber, J.; Gerhards, R. (2014b): Do cover crop mixtures have the same ability to suppress weeds as competitive monoculture cover crops? In: H. Nordmeyer und L. Ulber (Hg.): Tagungsband 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Proceedings 26th German Conference on Weed Biology and Weed Control. Braunschweig, 11.-13.03.2014. Quedlinburg: Julius Kühn Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (Julius-Kühn-Archiv, 443), S. 422–430.
- Buchner, W.; Köller, K. (1990): Integrierte Bodenbearbeitung. 13 Tab. Stuttgart: Ulmer.
- Burgt, G.-J. van der; Eekeren, N. van; Scholberg, J. M. S.; Koopmans, C. J. (2013): Lucerne (*Medicago sativa*) or grass-clover as cut-and-carry fertilizers in organic agriculture. In: *Grassland Science in Europe*, Bd. 18, S. 123–125.
- Campiglia, E.; Mancinelli, R.; Radicetti, E.; Marinari, S. (2011): Legume cover crops and mulches: effects on nitrate leaching and nitrogen input in a pepper crop (*Capsicum annuum* L.). In: *Nutr Cycl Agroecosyst* 89 (3), S. 399–412. DOI: 10.1007/s10705-010-9404-2.
- Canali, S.; Campanelli, G.; Ciaccia, C.; Leteo, F.; Testani, E.; Montemurro, F. (2013): Conservation tillage strategy based on the roller crimper technology for weed control in Mediterranean vegetable organic cropping systems. In: *European Journal of Agronomy* 50, S. 11–18. DOI: 10.1016/j.eja.2013.05.001.
- Carr, P.; Gramig, G.; Liebig, M. (2013a): Impacts of Organic Zero Tillage Systems on Crops, Weeds, and Soil Quality. In: *Sustainability* 5 (7), S. 3172–3201. DOI: 10.3390/su5073172.
- Carr, P. M.; Anderson, R. L.; Lawley, Y. E.; Miller, P. R.; Zwinger, S. F. (2012a): Organic zero-till in the northern US Great Plains Region: Opportunities and obstacles. In: *Renew. Agric. Food Syst.* 27 (01), S. 12–20. DOI: 10.1017/S174217051100041X.
- Carr, P. M.; Horsley, R. D.; Gunderson, J. J.; Winch, T. J.; Martin, G. B. (2013b): Weed growth and crop performance following hairy vetch, rye, and wheat cover crops in a cool semiarid region. In: *Org. Agr.* 3 (3-4), S. 149–161. DOI: 10.1007/s13165-013-0057-8.
- Carr, P. M.; Mäder, P.; Creamer, N. G.; Beeby, J. S. (2012b): Editorial: Overview and comparison of conservation tillage practices and organic farming in Europe and North America. In: *Renew. Agric. Food Syst.* 27 (01), S. 2–6. DOI: 10.1017/S1742170511000536.
- Casagrande, M.; Peigné, J.; David, C.; Sans, F. X.; Blanco-Moreno, J. M.; Cooper, J. M. et al. (2014): Organic Farmers in Europe: motivations and problems for using conservation agriculture practices.

In: G. Rahmann und Aksoy U. (Hg.): Building Organic Bridges; Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference, Bd. 1. Organic World Congress. Istanbul, 13.-15.10.2014. 3 Bände (Thünen Report 20), S. 295–298.

Cavigelli, M. A.; Mirsky, S. B.; Teasdale, J. R.; Spargo, J. T.; Doran, J. (2013): Organic grain cropping systems to enhance ecosystem services. In: *Renew. Agric. Food Syst.* 28 (02), S. 145–159. DOI: 10.1017/S1742170512000439.

Cooper, J. M.; Baranski, M.; De Lange, M. N.; Bàrberi, P.; Fließbach, A.; Peigné, J. et al. (2014): Effects of reduced tillage in organic farming on yield, weeds and soil carbon: Meta-analysis. In: G. Rahmann und Aksoy U. (Hg.): Building Organic Bridges; Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference, Bd. 4. Organic World Congress. Istanbul, 13.-15.10.2014. 3 Bände (Thünen Report 20), S. 1163–1166.

Dabbelt, D. (2015): Wie säe ich meine Zwischenfrucht richtig aus? Online verfügbar unter http://www.phpetersen.com/fileadmin/user_upload/medien/Wie_sae_ich_Zwischenfruechte_richtig_aus.pdf, zuletzt geprüft am 02.02.2018.

Dabney, S. M.; Delgado, J. A.; Reeves, D. W. (2007): Using winter cover crops to improve soil and water quality. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32 (7-8), S. 1221–1250. DOI: 10.1081/CSS-100104110.

Derpsch, R.; Friedrich, T.; Kassam, A.; Hongwen, L. (2010): Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. In: *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3 (1), S. 1–25.

Deter, A. (2013): Mähen und Säen in einem Zug. Online verfügbar unter <http://www.topagrar.com/news/Home-top-News-Maehen-und-Saeen-in-einem-Zug-1223536.html>, zuletzt geprüft am 16.08.2016.

Dierauer, H.; Böhler, D. (2007): Stoppelhobel Erfahrungsbericht. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL). Frick, Schweiz.

Dittmann, B.; Zimmer, J. (2010): Versuche zu reduzierter Bodenbearbeitung im Ökolandbau. In: H. Schmidt (Hg.): *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele und Forschungsergebnisse*. Gefördert durch das Bundesprogramm Ökologischer Landbau. Berlin: Dr. Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 227–231.

Dorn, B.; Jossi, W.; Heijden, M. van der (2011): Leguminosen als Zwischenbegrünung im ökologischen Ackerbau mit konservierender Bodenbearbeitung. In: G. Leithold, K. Becker, C. Brock, S. Fischinger, A.-K. Spiegel, K. Spory et al. (Hg.): *Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis*. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 15.-18. März 2011. Justus-Liebig-Universität. 2 Bände. Berlin: Dr. Köster, S. 32–35.

Dorn, B.; Stadler, M.; Heijden, M. van der; Streit, B. (2013): Regulation of cover crops and weeds using a roll-chopper for herbicide reduction in no-tillage winter wheat. In: *Soil and Tillage Research* 134, S. 121–132. DOI: 10.1016/j.still.2013.07.014.

Drinkwater, L. E.; Janke, R. R.; Rossoni-Longnecker, L. (2000): Effects of tillage intensity on nitrogen dynamics and productivity in legume-based grain systems. In: *Plant and Soil* 227 (1/2), S. 99–113. DOI: 10.1023/A:1026569715168.

DSV (2015): Anbauhinweise. Deutsche Saatveredelung AG. Online verfügbar unter <https://www.dsv-saaten.de/oeko/terralife/anbauhinweise/>, zuletzt geprüft am 13.03.2015.

- Echternacht, S. (2004): Zur Masse und Qualität von Ackerpferch-Zwischenfrüchten in Abhängigkeit von Art bzw. Sortentyp, Saat- und Erntezeitpunkt. Dissertation. Justus-Liebig-Universität, Gießen. Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement.
- Emmerling, C. (2001): Response of earthworm communities to different types of soil tillage. In: *Applied Soil Ecology* 17 (1), S. 91–96. DOI: 10.1016/S0929-1393(00)00132-3.
- Emmerling, C. (2005): Entwicklung der organischen Bodensubstanz, Bodenstruktur, Nährstoffgehalte sowie bodenbiologischen Eigenschaften. In: Stiftung Ökologie und Landbau (Hg.): Projekt Ökologische Bodenbearbeitung. Zehn Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im ökologischen Ackerbau. Abschlussbericht. Bad Dürkheim, S. 24–40.
- Emmerling, C.; Hampl, U. (2002): Wie sich reduzierte Bodenbearbeitung auswirkt. In: *Ökologie & Landbau* 124 (4), S. 19–23.
- Fageria, N. K. (2014): Nitrogen Management in Crop Production: CRC Press.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; Jones, C. A. (2011): Growth and mineral nutrition of field crops. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press (Books in soils, plants, and the environment).
- FAO (2015): Conservation Agriculture. Agriculture and Consumer Protection Department. Rom. Online verfügbar unter www.fao.org/ag/ca, zuletzt geprüft am 10.02.2015.
- FiBL (Hg.) (2011): Reduced tillage and green manures for sustainable organic cropping systems - TILMAN-ORG. A CORE Organic II project. Online verfügbar unter www.tilman-org.net, zuletzt geprüft am 06.02.2015.
- Finckh, M. R. (2008): Reaktionsmöglichkeiten auf den Klimawandel durch Pflanzenzüchtung und Sortenwahl. In: U. Klöble (Hg.): Klimawandel und Ökolandbau. Situation, Anpassungsstrategien und Forschungsbedarf : KBTL-Fachgespräch 1. und 2. Dezember 2008 in Göttingen. Darmstadt: KTBL (472), S. 160–175.
- Fließbach, A.; Hammerl, V.; Antichi, D.; Bàrberi, P.; Berner, A.; Bufe, C. et al. (2014): Soil quality changes in field trials comparing organic reduced tillage to plough systems across Europe. In: G. Rahmann und Aksoy U. (Hg.): Building Organic Bridges; Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference, Bd. 4. Organic World Congress. Istanbul, 13.-15.10.2014. 3 Bände (Thünen Report 20), S. 1051–1054.
- Freyer, B. (2003): Fruchtfolgen. [konventionell, integriert, biologisch] ; 116 Tabellen. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- Friberg, H.; Edel-Hermann, V.; Faivre, C.; Gautheron, N.; Fayolle, L.; Faloya, V. et al. (2009): Cause and duration of mustard incorporation effects on soil-borne plant pathogenic fungi. In: *Soil Biology and Biochemistry* 41 (10), S. 2075–2084. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.07.017.
- Fuchs, R.; Cais, K.; Rehm, A.; Salzedo, G.; Wiesinger, K. (2009): Wirkung von Zwischenfrüchten auf die Folgefrucht Hafer – angelegt als Untersaaten in Winterroggen und als Stoppelsaat. In: K. Wiesinger und K. Cais (Hg.): Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Ökolandbautag 2009 (Schriftenreihe der LfL, 7), S. 85–98.
- Gadermaier, F.; Berner, A.; Fließbach, A.; Friedel, J. K.; Mäder, P. (2012): Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. In: *Renew. Agric. Food Syst.* 27 (1), S. 68–80.

- Gronle, A.; Heß, J.; Böhm, H. (2015): Weed suppressive ability in sole and intercrops of pea and oat and its interaction with ploughing depth and crop interference in organic farming. In: *Org. Agr.* 5 (1), S. 39–51. DOI: 10.1007/s13165-014-0095-x.
- Grosse, M.; Haase, T.; Heß, J. (2014a): Influence of Reduced Tillage and Green Manures on Weed Emergence and Yield in Organic Farming (TILMAN-ORG SESSION). In: G. Rahmann und Aksoy U. (Hg.): *Building Organic Bridges; Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference*, Bd. 2. Organic World Congress. Istanbul, 13.-15.10.2014. 3 Bände (Thünen Report 20), S. 411–414.
- Grosse, M.; Haase, T.; Heß, J. (2014b): Wirkung von reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung im Ökologischen Landbau auf den Beikrautbesatz. In: H. Nordmeyer und L. Ulber (Hg.): *Tagungsband 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Proceedings 26th German Conference on Weed Biology and Weed Control*. Braunschweig, 11.-13.03.2014. Quedlinburg: Julius Kühn Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (Julius-Kühn-Archiv, 443), S. 502–506.
- Grosse, M.; Heß, J. (2015): Der kurzfristige Einfluss von drei Zwischenfruchtarten und zwei verschiedenen Bodenbearbeitungen auf Frühjahrs-NO₃-N des Bodens und Ertrag der Hauptfrucht Hafer. In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthard, J. Pape und G. Trei (Hg.): *Am Mut hängt der Erfolg: Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung*. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015. Berlin: Dr. Köster, S. 84–87.
- Gruber, H. (2003): Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses auf Kulturpflanzen und Unkräuter. In: H. Harder und F. Klopfer (Hg.): *Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau*. KTBL-Tagung und Workshop vom 13.-14. November 2002 in Kassel. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverl. (KTBL-Schrift, 416), S. 87–90.
- Gruber, H.; Thamm, U. (2005): Eignung von ausgewählten Zwischenfruchtgemengen für Anbau und Verfütterung im ökologischen Landbau, Nr. 4/04. Forschungsberichte der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Koordinierungsstelle Ökologischer Landbau.
- Gruber, S.; Claupein, W. (2008): Effects of Conservation Tillage on Canada Thistle (*Cirsium arvense*) in Organic Farming. In: D. Neuhoff, N. Halberg, T. Alföldi, W. Lockeretz, A. Thommen, I. A. Rasmussen et al. (Hg.): *Cultivating the Future Based on Science. Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR)*. 16th IFOAM Organic World Congress. Modena, Italy, 16.-20.06.2008. Online verfügbar unter <http://orgprints.org/11730>, zuletzt geprüft am 27.02.2015.
- Gruber, S.; Claupein, W. (2009): Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. In: *Soil and Tillage Research* 105 (1), S. 104–111. DOI: 10.1016/j.still.2009.06.001.
- Haase, T.; Heß, J. (2011): Strategien zur Regulierung der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. In: G. Leithold, K. Becker, C. Brock, S. Fischinger, A.-K. Spiegel, K. Spory et al. (Hg.): *Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis*, Bd. 1. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 15.-18. März 2011. Justus-Liebig-Universität. 2 Bände. Berlin: Dr. Köster, S. 236–237.

- Haase, T.; Schüler, C.; Heß, J. (2007): The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing. In: *European Journal of Agronomy* 26 (3), S. 187–197. DOI: 10.1016/j.eja.2006.09.008.
- Halde, C.; Entz, M. H. (2014): Flax (*Linum usitatissimum* L.) production system performance under organic rotational no-till and two organic tilled systems in a cool subhumid continental climate. In: *Soil and Tillage Research* 143, S. 145–154. DOI: 10.1016/j.still.2014.06.009.
- Hampl, U. (1995): Ökologische Bodenbearbeitung und Beikrautregulierung. Holm: SÖL; Deukalion (SÖL-Sonderausgabe, 56).
- Hampl, U. (2005): 10 Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau – Methoden und Ergebnisse. In: J. Heß und G. Rahmann (Hg.): Ende der Nische. 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 01.-04.03.2005. Kassel: kassel university press GmbH, S. 13–14.
- Hampl, U.; Oesau, A.; Emmerling, C.; Bassemir, U. K.; Beste, A.; Kussel, N. (2005): Projekt Ökologische Bodenbearbeitung. Zehn Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im ökologischen Ackerbau. Abschlussbericht. Hg. v. Stiftung Ökologie und Landbau. Bad Dürkheim.
- Hänsel, M. (2010): Den Boden im Öko-Landbau ohne Pflug bearbeiten. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), 10.11.2010. Online verfügbar unter <https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/328,4f125718-237d-eebf-5ee314cc03f54014~pdf.html>.
- Haramoto, E. R.; Gallandt, E. R. (2004): Brassica cover cropping for weed management: A review. In: *Renew. Agric. Food Syst.* 19 (04), S. 187–198. DOI: 10.1079/RAFS200490.
- Hashemi, M.; Farsad, A.; Sadeghpour, A.; Weis, S. A.; Herbert, S. J. (2013): Cover-crop seeding-date influence on fall nitrogen recovery. In: *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 176 (1), S. 69–75. DOI: 10.1002/jpln.201200062.
- Heilmann, H. (2014): Zur Ökophysiologie des Auftretens von *Cirsium arvense*. In: H. Nordmeyer und L. Ulber (Hg.): Tagungsband 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Proceedings 26th German Conference on Weed Biology and Weed Control. Braunschweig, 11.-13.03.2014. Quedlinburg: Julius Kühn Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (Julius-Kühn-Archiv, 443), S. 218–224.
- Hernanz, J. L.; Sánchez-Girón, V.; Navarrete, L.; Sánchez, M. J. (2014): Long-term (1983–2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. In: *Field Crops Research* 166, S. 26–37. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.06.013.
- Heß, J. (1989): Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras - Klee gras - Weizen - Roggen. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn. Abteilung Bodenbearbeitung und Angewandte Bodenphysik.
- Hiltbrunner, J.; Liedgens, M.; Bloch, L.; Stamp, P.; Streit, B. (2007): Legume cover crops as living mulches for winter wheat: Components of biomass and the control of weeds. In: *European Journal of Agronomy* 26 (1), S. 21–29. DOI: 10.1016/j.eja.2006.08.002.
- Hoffmann, A.; Schaper, J. (2015): Greening mit Zwischenfrüchten – was ist bei der optimalen Mischung zu beachten? Hg. v. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Online verfügbar unter <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/1870/article/27002.html>, zuletzt geprüft am 10.04.2015.

Høgh-Jensen, H.; Loges, R.; Jørgensen, F. V.; Vinther, F. P.; Jensen, E. S. (2004): An empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in grass-clover mixtures. In: *Agricultural Systems* 82 (2), S. 181–194. DOI: 10.1016/j.agsy.2003.12.003.

Holland, J. M. (2004): The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 103 (1), S. 1–25. DOI: 10.1016/j.agee.2003.12.018.

Holzner, W.; Glauning, J. (2005): Ackerunkräuter. Bestimmung, Biologie, landwirtschaftliche Bedeutung. Graz: Stocker, Leopold.

Jacobs, A.; Rauber, R.; Ludwig, B. (2009): Impact of reduced tillage on carbon and nitrogen storage of two Haplic Luvisols after 40 years. In: *Soil and Tillage Research* 102 (1), S. 158–164. DOI: 10.1016/j.still.2008.08.012.

Jørgensen, R. G. (1995): Die quantitative Bestimmung der mikrobiellen Biomasse in Böden mit der Chloroform-Fumigations-Extraktions-Methode. Institut für Bodenwissenschaften. Göttingen: Im Selbstverlag (Göttinger Bodenkundliche Berichte, 104).

Kahnt, G. (1981): Gründung. Frankfurt (Main): DLG-Verlag.

Kahnt, G. (2008): Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau. Frankfurt am Main: DLG-Verl.

Kainz, M.; Gerl, G.; Lemnitzer, B.; Bauchenß, J.; Hülsbergen, K.-J. (2005): Wirkungen differenzierter Bodenbearbeitungssysteme im Dauerversuch Scheyern. In: J. Heß und G. Rahmann (Hg.): Ende der Nische. 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 01.-04.03.2005. Kassel: kassel university press GmbH, S. 1–4.

Kainz, M.; Kimmelman, S.; Reents, H.-J. (2003): Bodenbearbeitung im Ökolandbau – Ergebnisse und Erfahrungen aus einem langjährigen Feldversuch. In: B. Freyer (Hg.): Ökologischer Landbau der Zukunft, 33-36. 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 23.-26.02.2003. Universität für Bodenkultur.

Kassam, A.; Friedrich, T.; Derpsch, R.; Kienzle, J. (2014): Global Overview of the Spread of Conservation Agriculture. 6th World Congress on Conservation Agriculture. Winnipeg, Kanada, 22.06.2014.

Kolbe, H. (2008): Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau. Hg. v. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Dresden. Online verfügbar unter <http://orgprints.org/15100/>, zuletzt geprüft am 16.02.2015.

Kolbe, H.; Schuster, M.; Hänsel, M.; Grünbeck, A.; Schließer, I.; Köhler, A. et al. (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Hg. v. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig.

Köller, K.; Linke, C. (2001): Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. Wissenschaftliche Ergebnisse - praktische Erfahrungen. 2. Aufl. Frankfurt am Main: DLG-Verl.

König, U. J. (1996): Zwischenfruchtanbau von Leguminosen. [Abschlußbericht des Forschungsprojektes:] Verfahren zur Minimierung der Nitratausträge und Optimierung des N-Transfers in die Folgefrüchte [beim Zwischenfruchtanbau von Leguminosen]. Darmstadt: Inst. für

Biologisch-Dynamische Forschung (Schriftenreihe / Institut für Biologisch-Dynamische Forschung Darmstadt, 6).

Koopmans, C. J.; Bokhorst, J. (2002): Nitrogen mineralisation in organic farming systems: a test of the NDICEA model. In: *Agronomie* 22 (7-8), S. 855–862. DOI: 10.1051/agro:2002046.

Köpke, U. (2003): Spezifika der Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau aus Sicht der Wissenschaft und der Praxis. In: KTBL (Hg.): Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau. KTBL-Tagung und Workshop vom 13.-14. November 2002 in Kassel. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL-Schrift, 416), S. 7–22.

Köppl, P. (2010): Anbau- und Kulturanleitung Wicken. Landwirtschaftskammer Oberösterreich. Online verfügbar unter <https://www.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2010>, zuletzt geprüft am 15.09.2015.

Kouwenhoven, J.; Perdok, U.; Boer, J.; Oomen, G. (2002): Soil management by shallow mouldboard ploughing in The Netherlands. In: *Soil and Tillage Research* 65 (2), S. 125–139. DOI: 10.1016/S0167-1987(01)00271-9.

Krauss, M.; Berner, A.; Burger, D.; Wiemken, A.; Niggli, U.; Mäder, P. (2010): Reduced tillage in temperate organic farming: implications for crop management and forage production. In: *Soil Use and Management* 26 (1), S. 12–20. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00253.x.

Krebs, C. J. (1989): Ecological methodology. New York: Harper & Row.

Kruidhof, H. M.; Bastiaans, L.; Kropff, M. J. (2008): Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. In: *Weed Research* 48 (6), S. 492–502. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2008.00665.x.

Kuntz, M.; Berner, A.; Gattinger, A.; Scholberg, J. M. S.; Mäder, P.; Pfiffner, L. (2013): Influence of reduced tillage on earthworm and microbial communities under organic arable farming. In: *Pedobiologia* 56 (4-6), S. 251–260. DOI: 10.1016/j.pedobi.2013.08.005.

Larsen, E.; Grossman, J.; Edgell, J.; Hoyt, G.; Osmond, D.; Hu, S. (2014): Soil biological properties, soil losses and corn yield in long-term organic and conventional farming systems. In: *Soil and Tillage Research* 139, S. 37–45. DOI: 10.1016/j.still.2014.02.002.

Leavitt, M. J.; Sheaffer, C. C.; Wyse, D. L.; Allan, D. L. (2011): Rolled Winter Rye and Hairy Vetch Cover Crops Lower Weed Density but Reduce Vegetable Yields in No-tillage Organic Production. American Society for Horticultural Science. Online verfügbar unter <http://hortsci.ashspublications.org/content/46/3/387.short>, zuletzt aktualisiert am 01.03.2011, zuletzt geprüft am 07.10.2014.

Lounsbury, N. P.; Weil, R. R. (2014): No-till seeded spinach after winterkilled cover crops in an organic production system. In: *Renew. Agric. Food Syst.*, S. 1–13. DOI: 10.1017/S1742170514000301.

Lukashyk, P. (2005): Problemunkräuter im organischen Landbau. Entwicklung von Strategien zur nachhaltigen Regulierung von Ackerkratzdistel *Cirsium arvense* (L.) Scop. und rauhaarige Wicke *Vicia hirsuta* (L.) S.F. Gray. 1. Aufl. Berlin: Köster (Schriftenreihe / Institut für Organischen Landbau, [27]).

- Lukashyk, P.; Berg, M.; Köpke, U. (2008): Strategies to control Canada thistle (*Cirsium arvense*) under organic farming conditions. In: *RAF* 23 (01). DOI: 10.1017/S1742170507002013.
- Lütke Entrup, N. (2001): Zwischenfrüchte im umweltgerechten Pflanzenbau. Gelsenkirchen: Thomas Mann.
- Lutman, P. J. W. (2002): Estimation of seed production by *Stellaria media*, *Sinapis arvensis* and *Tripleurospermum inodorum* in arable crops. In: *Weed Res* 42 (5), S. 359–369. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2002.00296.x.
- Mäder, P.; Berner, A. (2012): Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. In: *Renew. Agric. Food Syst.* 27 (01), S. 7–11. DOI: 10.1017/S1742170511000470.
- Mainer, V.; Ebertseder, T.; Schmid, H. (2009): Einfluss der Bodenbearbeitung und des Säverfahrens auf die Spross- und Wurzelleistung unterschiedlicher Zwischenfruchtmischungen im Ökologischen Landbau. In: *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 21, S. 85–86.
- McDaniel, M. D.; Tiemann, L. K.; Grandy, A. S. (2014): Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. In: *Ecological Applications* 24 (3), S. 560–570. DOI: 10.1890/13-0616.1.
- Melander, B.; Rasmussen, I. A. (2014): The dynamics of *Cirsium arvense* and *Elytrigia repens* in long-term organic crop rotation experiments. In: European Weed Research Society (Hg.): Proceedings. 10th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control. Alnarp, Schweden, 16.-19.03.2014, S. 33.
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland Pfalz (2012): Bodenbearbeitungssysteme. Bodenbearbeitungssysteme im Fokus von Ökonomie und Ökologie. Handreichung für eine differenzierte Beurteilung. Unter Mitarbeit von T. Appel. Hg. v. Landwirtschaftskammer und Landesregierung Rheinland-Pfalz.
- Mirsky, S. B.; Ryan, M. R.; Curran, W. S.; Teasdale, J. R.; Maul, J.; Spargo, J. T. et al. (2012): Conservation tillage issues: Cover crop-based organic rotational no-till grain production in the mid-Atlantic region, USA. In: *Renew. Agric. Food Syst.* 27 (01), S. 31–40.
- Mirsky, S. B.; Ryan, M. R.; Teasdale, J. R.; Curran, W. S.; Reberg-Horton, S. C.; Spargo, J. T. et al. (2013): Overcoming Weed Management Challenges in Cover Crop-Based Organic Rotational No-Till Soybean Production in the Eastern United States. In: *Weed Technology* 27 (1), S. 193–203. DOI: 10.1614/WT-D-12-00078.1.
- Möller, K.; Reents, H.-J. (2009): Effects of various cover crops after peas on nitrate leaching and nitrogen supply to succeeding winter wheat or potato crops. In: *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172 (2), S. 277–287. DOI: 10.1002/jpln.200700336.
- Motisi, N.; Montfort, F.; Faloya, V.; Lucas, P.; Doré, T. (2009): Growing *Brassica juncea* as a cover crop, then incorporating its residues provide complementary control of *Rhizoctonia* root rot of sugar beet. In: *Field Crops Research* 113 (3), S. 238–245. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.05.011.
- Mueller, T.; Thorup-Kristensen, K. (2001): N-Fixation of Selected Green Manure Plants in an Organic Crop Rotation. In: *Biological Agriculture & Horticulture* 18 (4), S. 345–363. DOI: 10.1080/01448765.2001.9754897.

- Nieder, R. (1998): Bodenbearbeitung und Nährstoffaustrag. In: KTBL (Hg.): Bodenbearbeitung und Bodenschutz. Schlussfolgerungen für gute fachliche Praxis. KTBL-Arbeitspapier, 266. Münster, S. 91–116.
- Niggli, U.; Dierauer, H. (2000): Unkrautbekämpfung im ökologischen Landbau in der Schweiz. In: B. Pallutt (Hg.): Unkrautregulierung im ökologischen Landbau, Bd. 72. Pflanzenschutz im ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze - Drittes Fachgespräch. Kleinmachnow, 02.11.1999. Ribbesbüttel: Saphir Verlag (Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt), S. 17–26.
- Oehmichen, J.; Becker, F. A. (1986): Produktionstechnik. 204 Tabellen. Berlin [u.a.]: Parey (Pflanzenproduktion / Jobst Oehmichen, Bd. 2).
- Paffrath, A.; Stumm, C. (2010): Systemvergleich wendende und nicht wendende Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau. In: H. Schmidt (Hg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele und Forschungsergebnisse. Gefördert durch das Bundesprogramm Ökologischer Landbau. Berlin: Dr. Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 252–256.
- Peigné, J.; Ball, B. C.; Roger-Estrade, J.; David, C. (2007): Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. In: *Soil Use & Management* 23 (2), S. 129–144. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2006.00082.x.
- Peigné, J.; Casagrande, M.; David, C.; Sans, F. X.; Blanco-Moreno, J. M.; Cooper, J. M. et al. (2014): Diversity of conservation agriculture practices among European organic farmers. In: G. Rahmann und Aksoy U. (Hg.): Building Organic Bridges; Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference, Bd. 1. Organic World Congress. Istanbul, 13.-15.10.2014. 3 Bände (Thünen Report 20), S. 287–290.
- Peigné, J.; Casagrande, M.; Payet, V.; David, C.; Sans, F. X.; Blanco-Moreno, J. M. et al. (2015): How organic farmers practice conservation agriculture in Europe. In: *Renew. Agric. Food Syst.*, S. 1–14. DOI: 10.1017/S1742170514000477.
- Pekrun, C.; Zimmermann, C.; Pflaum, S.; Bunk, A.; Weiß, K.; Henne, U. (2011): Zwischenbrachemanagement und Zwischenfruchtbestellung. Ansätze für eine konservierende Landwirtschaft. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Leipzig, 29.11.2011. Online verfügbar unter www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Zwischenbrachemanagement_und_Zwischenfruchtbestellung_Ansaetze_fuer_eine_konservierende_Landwirtschaft.pdf.
- Peszt, W. (2014): Ansaat von Zwischenfrüchten mittels Mähdruschaat und Vordruschaat - Überblick. Burgenländische Landwirtschaftskammer. Online verfügbar unter <https://bgl.lko.at/media.php>, zuletzt geprüft am 16.08.2016.
- Piepho, H.-P. (2012): Vorlage für Zwischenfrucht-Bodenbearbeitungs-Versuch. Stuttgart-Hohenheim, 01.05.2012. E-Mail an Hannes Schulz.
- Ponti, T. de; Rijk, B.; Ittersum, M. K. van (2012): The crop yield gap between organic and conventional agriculture. In: *Agricultural Systems* 108, S. 1–9. DOI: 10.1016/j.agsy.2011.12.004.
- Price, A. J.; Norsworthy, J. K. (2013): Cover Crops for Weed Management in Southern Reduced-Tillage Vegetable Cropping Systems. In: *Weed Technology* 27 (1), S. 212–217. DOI: 10.1614/WT-D-12-00056.1.
- Rayns, F. W.; Lennartsson, E. K. M. (1995): The nitrogen dynamics of winter green manures. In: H. F. Cook und H. C. Lee (Hg.): Soil Management in Sustainable Agriculture. Proceedings of the Third

- International Conference on Sustainable Agriculture. Wye, Ashford, Kent, UK: Wye College Press, S. 308–311.
- Reberg-Horton, S. C.; Grossman, J. M.; Kornecki, T. S.; Meijer, A. D.; Price, A. J.; Place, G. T.; Webster, T. M. (2012): Utilizing cover crop mulches to reduce tillage in organic systems in the southeastern USA. In: *Renew. Agric. Food Syst.* 27 (1), S. 41–48.
- Reents, H.-J.; Möller, K. (2001): Stickstoffmanagement im ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Zwischenfrüchten. In: H.-J. Reents (Hg.): Von Leit-Bildern zu Leit-Linien. 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin, 06.-08.03.2001. Berlin: Dr. Köster, S. 179–192.
- Reiter, S.; Suntinger, M.; Friedel, J. K. (2015): Pfluglose Bodenbearbeitung im Ökolandbau - Geräteversuch zum pfluglosen Klee grasumbruch. In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthard, J. Pape und G. Trei (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg: Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015. Berlin: Dr. Köster, S. 88–89.
- Renius, W.; Kees, H.; Lütke Entrup, E.; Lütke Entrup, N. (1992): Zwischenfruchtbau zur Futtergewinnung und Gründüngung. Ein Baustein zur Bodenfruchtbarkeit und zum Umweltschutz. 3., überarbeitete und erweiterte Aufl. Frankfurt, Main: DLG-Verlag.
- Rinnofner, T.; Farthofer, R.; Friedel, J. K.; Pietsch, G.; Loiskandl, W.; Freyer, B. (2005a): Stickstoffaufnahme und Biomasseertrag von Zwischenfrüchten und deren Auswirkungen auf Bodennitratgehalte und die Folgekultur unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus im pannonischen Klimagebiet. In: J. Heß und G. Rahmann (Hg.): Ende der Nische. 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 01.-04.03.2005. Kassel: kassel university press GmbH.
- Rinnofner, T.; Friedel, J. K.; Farthofer, R.; Pietsch, G.; Freyer, B. (2005b): Effizienz verschiedener Zwischenfruchtvarianten unterschiedlich hohen Leguminosenanteils in der Reduktion der Mineralstickstoff-gehalte im Boden unter pannonischen Standortbedingungen. In: A. Kämpf, W. Claupein, S. Graeff und W. Diepenbrock (Hg.): Wasser und Pflanzenbau - Herausforderungen für zukünftige Produktionssysteme. 48. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Wien, 27.-29.09.2005. Stuttgart: Verlag Günter Heimbach (Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 17), S. 391–392.
- Rumpler, J. (2011): Längs fahren - quer striegeln: Der Rollstriegel für Reihen- und Flächenkulturen. In: B. Wilhelm und O. Hensel (Hg.): Landtechnische Lösungen zur Beikrautregulierung im Ökolandbau. Berichte aus Forschung und Praxis. Witzenhausen: DITSL, S. 157–163.
- Rusch, H. P. (2004): Bodenfruchtbarkeit. Eine Studie biologischen Denkens ; mit 29 Tabellen. 7. Aufl. Xanten: OLV, Organischer Landbau-Verl. Lau.
- Ryan, M. R.; Curran, W. S.; Grantham, A. M.; Hunsberger, L. K.; Mirsky, S. B.; Mortensen, D. A. et al. (2011): Effects of Seeding Rate and Poultry Litter on Weed Suppression from a Rolled Cereal Rye Cover Crop. In: *Weed Science* 59 (3), S. 438–444. DOI: 10.1614/WS-D-10-00180.1.
- Sainju, U. M. (1997): Winter cover crops for sustainable agricultural systems: Influence on soil properties, water quality, and crop yields. In: *Hortscience* 32 (02), S. 21–28.

- Sainju, U. M.; Singh, B.; Whitehead, W. (2002): Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. In: *Soil and Tillage Research* 63 (3-4), S. 167–179. DOI: 10.1016/S0167-1987(01)00244-6.
- Sainju, U. M.; Singh, B. P. (2001): Tillage, Cover Crop, and Kill-Planting Date Effects on Corn Yield and Soil Nitrogen. In: *Agronomy Journal* 93 (4), S. 878–886. DOI: 10.2134/agronj2001.934878x.
- Sainju, U. M.; Singh, B. P.; Whitehead, W. F.; Wang, S. (2007): Accumulation and Crop Uptake of Soil Mineral Nitrogen as Influenced by Tillage, Cover Crops, and Nitrogen Fertilization. In: *Agronomy Journal* 99 (3), S. 682. DOI: 10.2134/agronj2006.0177.
- Sainju, U. M.; Whitehead, W. F.; Singh, B. P.; Wang, S. (2006): Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on soil nitrogen and cotton and sorghum yields. In: *European Journal of Agronomy* 25 (4), S. 372–382. DOI: 10.1016/j.eja.2006.07.005.
- Sans, F. X.; Berner, A.; Armengot, L.; Mäder, P. (2011): Tillage effects on weed communities in an organic winter wheat-sunflower-spelt cropping sequence. In: *Weed Research* 51 (4), S. 413–421. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2011.00859.x.
- Sarrantonio, M. (1995): Microbial activity and nitrogen dynamics following a winter annual green manure. In: H. F. Cook und H. C. Lee (Hg.): *Soil Management in Sustainable Agriculture*. Proceedings of the Third International Conference on Sustainable Agriculture. Wye, Ashford, Kent, UK: Wye College Press, S. 300–307.
- Sauermann, W. (2013): Ackerbohnen können bis Mitte April gesät werden. Aussaatzeit hat kaum Einfluss auf Ertrag und Erntezeit. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Bauernblatt).
- Scheller, E. (1993): Die Stickstoff-Versorgung der Pflanzen aus dem Stickstoff-Stoffwechsel des Bodens. Ein Beitrag zu einer Pflanzenernährungslehre des organischen Landbaus. Gesamthochsch., Diss.–Kassel, 1993. Weikersheim: Margraf (Ökologie & Landwirtschaft, 4).
- Schmidt, A.; Gläser, H. (2012): Anbau von Zwischenfrüchten. Auswertung der Versuchsanlagen 2011/12 in Sachsen. Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen 2007-2013. Hg. v. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Dresden.
- Schmidt, A.; Gläser, H. (2013): Anbau von Zwischenfrüchten. Auswertung der Versuchsanlagen 2012/13 in Sachsen. Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen 2007-2013. Hg. v. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Dresden.
- Schmidt, A.; Gläser, H. (2014): Anbau von Zwischenfrüchten. Auswertung der Versuchsanlagen 2013/14. Hg. v. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Freistaat Sachsen (LfULG). Dresden.
- Schmidt, A.; Müller, E.; Böttcher, F.; Schmidt, M. (2012): Welche Art für welchen Zweck? Panorama Zwischenfrüchte. In: *DLG-Mitteilungen* 08/2012, S. 70–73.
- Schmidt, H. (1997): Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau. Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Dissertation, Witzenhausen. Universität Kassel.
- Schmidt, H. (Hg.) (2010): *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele und Forschungsergebnisse*. Gefördert durch das Bundesprogramm Ökologischer Landbau. Berlin: Dr. Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6).

- Schmidt, H.; Leithold, G. (2003): Einfluss unterschiedlicher Grundbodenbearbeitungssysteme auf den Unkrautdruck in ökologischen Fruchtfolgen. In: H. Harder und F. Klopfer (Hg.): Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau. KTBL-Tagung und Workshop vom 13.-14. November 2002 in Kassel. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverl. (KTBL-Schrift, 416), S. 76–79.
- Schmidtke, K. (2008): How to optimise symbiotic nitrogen fixation in organic crop rotations. ISOFAR Conference 'Organic Agriculture in Asia'. Dankook University, Republic of Korea, 13.03.2008. Online verfügbar unter <http://orgprints.org/13272/>, zuletzt geprüft am 15.01.2015.
- Schüle, T. (2010): Auswirkungen variabler Arbeitstiefe auf pflanzenbauliche Parameter bei teilflächenspezifischer Bodenbearbeitung. Hamburg: Kovač (Schriftenreihe Agrarwissenschaftliche Forschungsergebnisse, Bd. 42).
- Schulz, F.; Brock, C.; Leithold, G. (2009): Effekte unterschiedlicher Systeme der Grundbodenbearbeitung auf Erträge und Beikraut im Dauerfeldversuch Gladbacherhof. In: J. Mayer, T. Alföldi, F. Leiber, D. Dubois, P. Fried, F. Heckendorn et al. (Hg.): Werte - Wege - Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel, Bd. 1. Berlin: Köster, S. 22–25.
- Schulz, H.; Oberfell, J.; Heß, J. (2015): Impulse zur Verbesserung der Spätsommerversorgung der Honigbiene durch Kulturmaßnahmen im Ökologischen Landbau. In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthard, J. Pape und G. Trei (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg: Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015. Berlin: Dr. Köster, S. 236–239.
- Schwarz, J. (2014): Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Verunkrautung. In: *Getreidemagazin* 19 (3), S. 31–33.
- Scopel, E.; Triomphe, B.; Affholder, F.; Da Silva, F. A. M.; Corbeels, M.; Xavier, J. H. V. et al. (2013): Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. In: *Agron. Sustain. Dev.* 33 (1), S. 113–130. DOI: 10.1007/s13593-012-0106-9.
- Shepherd, M. A. (1999): The effectiveness of cover crops during eight years of a UK sandland rotation. In: *Soil Use and Management* 15 (1), S. 41–48. DOI: 10.1111/j.1475-2743.1999.tb00062.x.
- Shirliffe, S. J.; Johnson, E. N. (2012): Progress towards no-till organic weed control in western Canada. In: *Renew. Agric. Food Syst.* 27 (1), S. 60–67.
- Shrestha, A.; Knezevic, S. Z.; Roy, R. C.; Ball-Coelho, B. R.; Swanton, C. J. (2002): Effect of tillage, cover crop and crop rotation on the composition of weed flora in a sandy soil. In: *Weed Res* 42 (1), S. 76–87. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2002.00264.x.
- Šišić, A.; Bacanović, J.; Bruns, C.; Finckh, M. R. (2015): Anfälligkeit einer Sommererbse gegenüber Isolat von Pathogenarten, die von symptomfreien Kleearten und Wicken isoliert wurden. In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthard, J. Pape und G. Trei (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg: Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015. Berlin: Dr. Köster, S. 178–179.
- Stadler, M.; Zihlmann, U.; Scherrer, C.; Jossi, W.; Streit, B. (2009): Verschiedene Gründüngerpflanzen – Anbaueignung und Unkrautunterdrückung im Direktsaatsystem vor Winterweizen. In: J. Mayer, T. Alföldi, F. Leiber, D. Dubois, P. Fried, F. Heckendorn et al. (Hg.): Werte - Wege - Wirkungen:

Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel, Bd. 1. Berlin: Köster, S. 131–132.

Szerencsits, M.; Erhart, E. (2015): Biogaserzeugung ohne Flächenkonkurrenz auf Basis von Zwischenfrüchten, Klee gras und Reststoffen. In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthard, J. Pape und G. Trei (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg: Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landwirtschaft. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015. Berlin: Dr. Köster, S. 256–259.

Teasdale, J. R.; Brandsæter, L. O.; Calegari, A.; Skora Neto, F. (2007): Cover Crops and Weed Management. In: M. K. Upadhyaya und R. E. Blackshaw (Hg.): Non-chemical weed management. Principles, concepts, and technology. Cambridge, MA: CABI, S. 49–64.

Teasdale, J. R.; Mirsky, S. B.; Spargo, J. T.; Cavigelli, M. A.; Maul, J. E. (2012): Reduced-Tillage Organic Corn Production in a Hairy Vetch Cover Crop. In: *Agronomy Journal* 104 (3), S. 621. DOI: 10.2134/agronj2011.0317.

Tebrügge, F.; Düring, R.-A. (1999): Reducing tillage intensity — a review of results from a long-term study in Germany. In: *Soil and Tillage Research* 53 (1), S. 15–28. DOI: 10.1016/S0167-1987(99)00073-2.

Thorup-Kristensen, K. (1994): The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops. In: *Fertilizer Research* 37, S. 227–234.

Thorup-Kristensen, K. (2001): Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? In: *Plant and Soil* 230, S. 185–195.

Thorup-Kristensen, K. (2005): Use of green manure, catch crops, and deep rooted crops for nutrient management in an organic vegetable crop rotation. Online verfügbar unter <http://orgprints.org/7907>, zuletzt geprüft am 13.02.2015.

Thorup-Kristensen, K.; Dresbøll, D. B. (2010): Incorporation time of nitrogen catch crops influences the N effect for the succeeding crop. In: *Soil Use and Management* 26 (1), S. 27–35. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00255.x.

Thorup-Kristensen, K.; Magid, J.; Stoutmann Jensen, L. (2003): Catch Crops and Green Manures as Biological Tools in Nitrogen Management in Temperate Zones. In: *Advances in Agronomy* 79, S. 227–302.

Thorup-Kristensen, K.; Nielsen, N. E. (1998): Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on the nitrogen supply for succeeding crops. In: *Plant and Soil* 203, S. 79–89.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): Leitlinie zur effizienten und umweltfreundlichen Erzeugung von Ackerbohnen. Freistaat Thüringen.

Triplett, G. B.; Dick, W. A. (2008): No-Tillage Crop Production: A Revolution in Agriculture! In: *Agronomy Journal* 100 (Supplement_3), S. 153–165. DOI: 10.2134/agronj2007.0005c.

Uchino, H.; Iwama, K.; Jitsuyama, Y.; Ichiyama, K.; Sugiura, E.; Yudate, T. (2011): Stable Characteristics of Cover Crops for Weed Suppression in Organic Farming Systems. In: *Plant Prod. Sci.* 14 (1), S. 75–85. DOI: 10.1626/pp.s.14.75.

- Umweltbundesamt (UBA) (2009): Kartendienst Stickstoffdeposition. Online verfügbar unter <http://gis.uba.de/website/depo1/>, zuletzt geprüft am 21.07.2015.
- Urbatzka, P.; Cais, K. (2009): Versuchsergebnisse aus Bayern. Produktionstechnische Versuche zu Zwischenfrüchten, angelegt als Untersaaten in Winterroggen und als Stoppelsaat sowie Nachwirkung auf Hafer, 2002 - 2009. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising.
- Urbatzka, P.; Cais, K.; Rehm, A.; Salzeder, G.; Schätzl, R. (2013): Ökonomische Rentabilität legumer Zwischenfrüchte im Fruchtfolgeglied Getreide - Getreide. In: D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm und U. Köpke (Hg.): Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Bonn, 05.-08.03.2013. Berlin: Dr. Köster.
- Urbatzka, P.; Cais, K.; Salzeder, G.; Wiesinger, K. (2011a): Einfluss des Saatzeitpunktes legumer Zwischenfrüchte auf Ertrag der Deck- und Folgefrucht. In: G. Leithold, K. Becker, C. Brock, S. Fischinger, A.-K. Spiegel, K. Spory et al. (Hg.): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis, Bd. 1. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 15.-18. März 2011. Justus-Liebig-Universität. 2 Bände. Berlin: Dr. Köster, S. 203–206.
- Urbatzka, P.; Cais, K.; Salzeder, G.; Wiesinger, K. (2011b): Wirkung verschiedener Leguminosen als Untersaat im Vergleich zur Stoppelsaat auf Ertrag und Qualität der Deckfrucht Winterroggen und der Folgefrucht Hafer. In: G. Leithold, K. Becker, C. Brock, S. Fischinger, A.-K. Spiegel, K. Spory et al. (Hg.): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis, Bd. 1. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 15.-18. März 2011. Justus-Liebig-Universität. 2 Bände. Berlin: Dr. Köster, S. 85–88.
- Urbatzka, P.; Graß, R.; Haase, T.; Schüler, C.; Heß, J. (2009): Fate of legume-derived nitrogen in monocultures and mixtures with cereals. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 132 (1-2), S. 116–125. DOI: 10.1016/j.agee.2009.03.006.
- Verch, G.; Kächele, H.; Hörtl, K.; Richter, C.; Fuchs, C. (2009): Comparing the profitability of tillage methods in Northeast Germany—A field trial from 2002 to 2005. In: *Soil and Tillage Research* 104 (1), S. 16–21. DOI: 10.1016/j.still.2008.12.012.
- Verschwele, A.; Häusler, A. (2004): Effect of crop rotation and tillage on infestation of *Cirsium arvense* in organic farming systems. In: European Weed Research Society (Hg.): Proceedings. 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control. Lillehammer, Norwegen, 8.-10.03.2004, S. 187–194.
- Vian, J. F.; Peigné, J.; Chaussod, R.; Roger-Estrade, J. (2009): Effects of four tillage systems on soil structure and soil microbial biomass in organic farming. In: *Soil Use and Management* 25 (1), S. 1–10. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2008.00176.x.
- Vogt-Kaute, W. (2015): Saatgut für die Frühjahrssaussaat 2016. In: *Naturland Nachrichten* (06/2015), S. 27–32.
- Wehrmann, J.; Scharpf, H. C. (1979): Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (Nmin-Methode). In: *Plant Soil* 52 (1), S. 109–126. DOI: 10.1007/BF02197737.
- Wilhelm, B. (2010): Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau - Analyse einer Verfahrenstechnik im Kontext der Bodenfruchtbarkeit. Dissertation. Universität Kassel, Witzenhausen. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hebis:34-2010092934655>.

Wilhelm, B. (2011): Beikrautmanagement ohne Pflug - Erfahrungen aus der Praxis. In: B. Wilhelm und O. Hensel (Hg.): Landtechnische Lösungen zur Beikrautregulierung im Ökolandbau. Berichte aus Forschung und Praxis. Witzenhausen: DITSL, S. 69–75.

Wilhelm, B.; Baars, T.; Kaufmann, B. (2009): Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau – mit qualitativer Sozialforschung erfolgreiche Systeme wissenschaftlich erfassen und naturwissenschaftliche Ergebnisse ergänzen. In: J. Mayer, T. Alföldi, F. Leiber, D. Dubois, P. Fried, F. Heckendorn et al. (Hg.): Werte - Wege - Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel, Bd. 1. Berlin: Köster, S. 49–52.

Wilhelm, B.; Tiedemann, L.; Hensel, O.; Heß, J. (2011): Grundbodenbearbeitung im Ökolandbau - eine Betriebsumfrage. In: G. Leithold, K. Becker, C. Brock, S. Fischinger, A.-K. Spiegel, K. Spory et al. (Hg.): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis, Bd. 1. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 15.-18. März 2011. Justus-Liebig-Universität. 2 Bände. Berlin: Dr. Köster, S. 40–43.

Wittwer, R.; Dorn, B.; Jossi, W.; Zihlmann, U.; Heijden, M. van der (2013): Zwischenfrüchte als wichtiges Puzzleteil für den pfluglosen ökologischen Landbau. In: D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm und U. Köpke (Hg.): Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Bonn, 05.-08.03.2013. Berlin: Dr. Köster, S. 46–49.

Wortman, S. E.; Francis, C. A.; Bernards, M. L.; Drijber, R. A.; Lindquist, J. L. (2012): Optimizing Cover Crop Benefits with Diverse Mixtures and an Alternative Termination Method. In: *Agronomy Journal* 104 (5), S. 1425. DOI: 10.2134/agronj2012.0185.

Zentler, J. (2011): Reduzierte Bodenbearbeitung im Ökolandbau – Erfahrungswissenschaftliche Analyse österreichischer Ackerbaubetriebe. In: G. Leithold, K. Becker, C. Brock, S. Fischinger, A.-K. Spiegel, K. Spory et al. (Hg.): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis, Bd. 1. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 15.-18. März 2011. Justus-Liebig-Universität. 2 Bände. Berlin: Dr. Köster, S. 26–29.

Zikeli, S.; Gruber, S.; Teufel, C.-F.; Hartung, K.; Claupein, W. (2013): Effects of Reduced Tillage on Crop Yield, Plant Available Nutrients and Soil Organic Matter in a 12-Year Long-Term Trial under Organic Management. In: *Sustainability* 5 (9), S. 3876–3894. DOI: 10.3390/su5093876.

Zimmermann, C.; Pekrun, C.; Schiefer, R.; Jacobs, O.; Weiß, K.; Gall, C.; Köller, K. (2011): Zwischenfrüchte mit dem Mähdrescher säen. Erste Erfahrungen mit der Mähdruschsaat (Innovation, 2). Online verfügbar unter <https://www.dsv-saaten.de/export/sites/.../zwischenfruechte-2-11.pdf>, zuletzt geprüft am 16.08.2016.

8 Anhang

Tabelle A- 1: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte vor der Differenzierung nach Bodenbearbeitung im Versuch DFH1. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

DFH1 - 29.08.11								
	BR		SA		TR		VS	
0-10	6,5	a	7,2	a	7,5	a	7,7	a
10-20	9,9	a	9,0	a	10,2	a	8,8	a
20-40	15,7	a	14,3	a	12,5	a	14,2	a
40-60	3,0	a	2,3	a	5,1	a	2,3	a
DFH1 - 24.11.11								
	BR		SA		TR		VS	
0-10	8,7	b	3,9	a	4,5	a	5,5	a
10-20	9,5	b	4,1	a	4,7	a	5,4	a
20-40	13,6	c	3,4	a	5,5	b	6,1	b
40-60	7,1	b	0,6	a	2,4	a	2,2	a
60-90	2,6	b	0,9	a	1,7	a	1,0	a
DFH1 - 26.03.12								
	BR		SA		TR		VS	
0-30	20,6	a	19,0	a	26,8	b	44,5	c
30-60	9,4	b	5,5	a	8,5	b	15,7	c
60-90	9,6	c	2,7	a	5,1	b	8,7	c

Tabelle A- 2: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung im Versuch DFH1. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

DFH1 - 02.05.12																																
	BR				SA				TR				VS																			
	PF	GR	MS	DS	PF	GR	MS	DS	PF	GR	MS	DS	PF	GR	MS	DS																
0-30	39,9	a	38,8	a	21,2	a	22,4	a	33,1	a	33,6	a	23,3	a	20,7	a	42,5	a	44,6	a	26,3	a	19,5	a	68,4	a	64,3	a	54,1	a	55,1	a
30-60	24,0	a	20,8	a	13,6	a	9,6	a	17,0	a	13,5	a	9,4	a	5,9	a	22,8	a	20,9	a	13,3	a	9,5	a	34,0	a	33,9	a	31,0	a	23,5	a
60-90	20,5	a	21,0	a	18,5	a	11,5	a	14,5	a	12,3	a	5,0	a	2,5	a	19,5	a	13,7	a	15,8	a	10,5	a	24,0	a	28,7	a	27,0	a	14,0	a
DFH1 - 29.08.12																																
	BR				SA				TR				VS																			
	PF	GR	MS*	DS*	PF	GR	MS*	DS*	PF	GR	MS*	DS*	PF	GR	MS	DS																
0-30	14,4	a	14,1	a					15,6	a	14,2	a					17,5	a	15,6	a					22,1	b	16,3	a	14,4	a	17,1	a
30-60	5,2	a	4,8	a					3,0	a	3,5	a					6,2	a	6,2	a					5,5	a	7,7	a	4,3	a	5,2	a

Tabelle A- 3: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte vor der Differenzierung nach Bodenbearbeitung im Versuch DFH2. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$, Tukey-B).

DFH2 - 24.08.12								
	BR		SA		TR		VS	
0-30	28,0	a	28,7	a	29,0	a	29,2	a
30-60	7,4	a	7,9	a	6,9	a	7,1	a
60-90	6,2	a	6,6	a	6,3	a	6,4	a
DFH2 - 06.12.12								
	BR		SA		TR		VS	
0-30	10,4	a	11,9	ab	14,1	b	21,4	c
30-60	2,4	a	3,1	a	3,4	a	4,9	b
60-90	2,1	a	2,1	a	2,8	b	3,8	c
DFH2 - 11.04.13								
	BR		SA		TR		VS	
0-30	14,2	a	17,6	a	19,3	a	39,0	b
30-60	3,4	a	9,1	b	6,2	ab	19,6	c
60-90	2,4	a	5,9	b	3,6	ab	10,4	c

Tabelle A- 4: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung im Versuch DFH2. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$, Tukey-B).

DFH2 - 16.05.13																																
	BR				SA				TR				VS																			
	PF	SC	MS	DS	PF	SC	MS	DS	PF	SC	MS	DS	PF	SC	MS	DS																
0-30	35,1	abcde	40,2	cdef	18,9	abc	13,7	ab	28,4	abcde	33,0	abcde	23,3	abcd	17,3	ab	65,7	g	43,2	def	22,2	abcd	13,2	a	49,8	efg	57,1	fg	35,5	bcde	33,0	abcde
30-60	14,3	a	20,3	a	4,8	a	2,0	a	15,8	a	19,0	a	9,8	a	5,8	a	16,8	a	20,0	a	6,3	a	4,8	a	25,8	a	34,5	a	28,3	a	23,3	a
60-90	12,8	a	14,5	a	5,0	a	1,5	a	10,0	a	19,0	a	7,5	a	6,5	a	14,0	a	14,5	a	4,3	a	2,8	a	16,5	a	15,3	a	19,8	a	15,8	a
DFH2 - 25.06.13																																
	BR				SA				TR				VS																			
	PF	SC	MS	DS	PF	SC	MS	DS	PF	SC	MS	DS	PF	SC	MS	DS																
0-30	6,7	a	8,6	ab	10,5	b	9,6	ab	10,6	b	9,6	ab	7,9	ab	9,6	ab	9,4	ab	9,7	ab	9,3	ab	10,1	ab	8,1	ab	9,5	ab	11,2	b	10,4	b
30-60	4,0	a	2,3	a	2,0	a	2,3	a	3,0	a	2,8	a	1,5	a	2,0	a	2,5	a	1,8	a	2,3	a	1,8	a	1,5	a	4,0	a	2,8	a	2,0	a
60-90	2,0	ab	2,0	ab	1,3	a	1,3	a	3,8	abc	2,5	ab	1,5	a	1,8	a	2,5	ab	3,3	abc	1,5	a	1,5	a	2,3	ab	5,0	bc	6,0	c	3,5	abc
DFH2 - 03.09.13																																
	BR				SA				TR				VS																			
	PF	SC	MS	DS	PF	SC	MS	DS	PF	SC	MS	DS	PF	SC	MS	DS																
0-30	17,3	a	13,2	a					17,4	a	14,4	a					15,2	a	14,2	a					16,3	a	15,5	a				
30-60	4,0	a	2,5	a					6,3	a	2,5	a					6,3	a	3,0	a					3,8	a	6,5	a				
60-90	1,8	a	1,3	a					2,3	a	3,0	a					2,3	a	1,5	a					1,8	a	3,3	a				

Tabelle A- 5: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte vor der Differenzierung nach Bodenbearbeitung im Versuch Belm1. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

Belm1 - 01.09.11						
	BR		SA		TR	VS
0-10	9,2	a	9,3	a	10,4	a
10-20	13,2	a	13,5	a	14,6	a
20-40	20,5	a	28,4	a	18,4	a
40-60	9,9	a	16,2	a	9,6	a
Belm1 - 25.10.11						
	BR		SA		TR	VS
0-10	5,8	a	3,7	a	4,0	a
10-20	4,9	ab	3,8	a	4,1	ab
20-40	8,5	b	2,7	a	6,9	ab
40-60	14,6	b	3,4	a	12,9	b
60-90	17,8	b	7,7	a	15,0	b
Belm1 - 21.03.12						
	BR		SA		TR	VS
0-30	14,0	a	18,9	b	15,9	ab
30-60	3,8	a	4,1	a	3,7	a
60-90	10,9	a	19,1	b	13,9	ab

Tabelle A- 6: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung im Versuch Belm1. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

Belm1 - 26.04.12													
	BR			SA			TR			VS			
	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR	
0-30	36,8	43,1	39,3	53,3	50,1	45,9	43,8	52,1	42,9	56,0	59,6	44,3	
30-60	14,5	18,9	10,8	16,8	18,8	16,9	17,2	17,7	14,6	18,1	21,0	17,2	
60-90	5,4	8,4	5,3	4,4	8,0	6,6	6,9	6,6	5,7	7,9	8,2	8,3	
Belm1 - 19.06.12													
	BR			SA			TR			VS			
	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR	
0-30	9,5	9,2	9,4	10,9	10,3	10,6	9,6	10,5	11,2	9,6	9,7	10,5	
30-60	5,3	3,0	4,0	5,8	6,0	4,5	5,5	6,0	4,5	6,0	4,3	4,3	
Belm1 - 17.08.12													
	BR			SA			TR			VS			
	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR	
0-30	18,4	17,3	16,1	17,5	15,3	12,7	18,1	16,0	13,5	27,0	18,9	17,9	
30-60	6,3	4,3	4,8	5,3	5,0	4,3	7,0	4,5	6,0	9,3	5,8	5,3	
60-90	3,8	2,8	2,5	2,5	2,5	3,3	4,5	3,8	2,3	7,5	4,0	3,8	

Tabelle A- 7: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte vor der Differenzierung nach Bodenbearbeitung im Versuch Belm2. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

Belm2 - 28.08.12					
	BR	SA	TR	VS	
0-30	58,4 a	60,1 a	55,0 a	69,2 a	
30-60	17,8 a	22,9 a	21,7 a	20,7 a	
60-90	10,1 a	11,8 a	10,1 a	9,6 a	
Belm2 - 23.11.12					
	BR	SA	TR	VS	
0-30	11,9 a	14,4 a	11,1 a	12,6 a	
30-60	32,2 c	7,6 a	22,6 b	24,1 b	
60-90	43,5 c	11,9 a	40,7 bc	33,9 b	
Belm2 - 04.04.13					
	BR	SA	TR	VS	
0-30	10,2 a	17,9 b	13,4 a	17,1 b	
30-60	2,6 a	7,8 b	4,1 a	7,3 b	
60-90	1,3 a	7,7 c	2,8 a	4,7 b	

Tabelle A- 8: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte nach der Differenzierung nach Bodenbearbeitung im Versuch Belm2. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

Belm2 - 14.05.13																								
	BR			SA			TR			VS														
	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR												
0-30	30,1	a	31,8	a	33,2	a	38,4	a	44,5	a	36,7	a	34,2	a	37,0	a	42,8	a	36,8	a	42,2	a	43,5	a
30-60	7,5	a	6,3	a	8,5	a	12,5	a	13,5	a	11,0	a	10,3	a	8,0	a	9,5	a	11,0	a	11,3	a	10,3	a
60-90	5,8	a	4,3	a	5,8	a	10,0	a	9,5	a	9,5	a	6,0	a	5,5	a	6,3	a	10,0	a	7,3	a	8,3	a
Belm2 - 20.06.13																								
	BR			SA			TR			VS														
	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR												
0-30	9,4	a	10,4	a	8,9	a	8,5	a	11,4	a	10,9	a	8,5	a	10,4	a	9,3	a	9,4	a	8,9	a	9,0	a
30-60	8,5	a	8,0	a	7,8	a	9,0	a	11,8	a	12,5	a	9,5	a	9,5	a	8,8	a	8,5	a	9,3	a	8,3	a
60-90	6,0	a	4,5	a	5,0	a	7,8	a	8,5	a	9,5	a	6,8	a	5,3	ab	6,0	ab	6,3	a	6,5	a	6,3	a
Belm2 - 23.08.13																								
	BR			SA			TR			VS														
	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR	PF	GR	FR												
0-30	17,2	a	17,0	a	20,6	a	17,9	a	17,9	a	22,2	a	21,0	a	16,7	a	20,2	a	19,4	a	16,5	a	18,9	a
30-60	3,0	a	3,8	a	3,5	a	5,0	a	3,3	a	5,5	a	4,8	a	4,0	a	4,0	a	4,0	a	4,5	a	4,3	a
60-90	2,3	a	1,3	a	2,5	a	4,0	a	2,8	a	2,8	a	2,8	a	1,8	a	2,5	a	2,5	a	2,8	a	2,0	a

Tabelle A- 9: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte vor der Differenzierung nach Zwischenfrüchten im mehrjährigen Versuch. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

SHV - 02.09.2011						
	Pfluz		PF		SH	
0-10	11,5	b	7,9	a	6,9	a
10-20	11,0	b	7,4	a	6,6	a
20-40	16,2	b	9,2	ab	7,0	a
40-60	8,5	b	4,5	a	2,0	a
SHV - 23.11.2011						
	Pfluz		PF		SH	
0-10	5,9	n.s.	3,2	n.s.	3,4	n.s.
10-20	5,0	n.s.	3,5	n.s.	3,5	n.s.
20-40	5,8	b	4,0	a	2,7	a
40-60	3,9	b	1,1	a	0,6	a
60-90	6,6	n.s.	1,5	n.s.	1,2	n.s.

Tabelle A- 10: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte nach der Differenzierung nach Zwischenfrüchten vor der Bodenbearbeitung im mehrjährigen Versuch. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Schicht, die hier über drei Zeilen dargestellt ist ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

SHV - 15.03.2012														
Pfluz														
	BR		LP		PT		SA		SATR		TR		VS	
0-30	23,7	efgh	14,2	abc	23,1	defg	24,0	fgh	29,8	ghi	31,2	hij	36,6	ij
30-60	7,0	abcd	6,5	abcd	6,8	abcd	12,3	de	9,5	bcde	9,8	bcde	14,8	e
60-90	3,8	abc	2,3	ab	2,8	ab	3,8	abc	3,5	abc	6,0	c	6,0	c
PF														
	BR		LP		PT		SA		SATR		TR		VS	
0-30	19,7	cdef	10,0	ab	14,8	abc	18,0	bcdef	16,0	abcde	23,5	defgh	38,0	j
30-60	4,8	abc	2,8	ab	6,5	abcd	6,3	abcd	6,5	abcd	6,0	abcd	10,5	cde
60-90	2,8	ab	1,8	a	2,5	ab	2,0	ab	1,8	a	3,8	abc	4,8	bc
SH														
	BR		LP		PT		SA		SATR		TR		VS	
0-30	9,7	a	11,9	abc	11,7	abc	14,0	abc	15,7	abcd	16,3	abcdef	30,8	ghij
30-60	2,3	a	3,3	ab	4,3	abc	3,0	ab	8,5	abcde	4,0	abc	6,8	abcd
60-90	2,5	ab	1,5	a	1,3	a	1,8	a	1,5	a	1,8	a	3,3	abc

Tabelle A- 11: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte nach der Differenzierung nach Zwischenfrüchten nach der Bodenbearbeitung im mehrjährigen Versuch. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Schicht, die hier über drei Zeilen dargestellt ist ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

SHV - 15.05.2012														
Pfluz														
	BR		LP		PT		SA		SATR		TR		VS	
0-30	32,8	abcd	25,8	abcd	32,3	abcd	41,3	bcd	42,2	cd	38,1	abcd	48,4	d
30-60	10,3	n.s.	15,0	n.s.	12,0	n.s.	15,5	n.s.	16,3	n.s.	13,3	n.s.	17,5	n.s.
60-90	9,5	n.s.	11,0	n.s.	10,3	n.s.	14,8	n.s.	11,0	n.s.	14,0	n.s.	10,5	n.s.
PF														
	BR		LP		PT		SA		SATR		TR		VS	
0-30	19,5	abc	15,6	a	26,2	abcd	22,0	abc	17,3	a	37,2	abcd	35,6	abcd
30-60	5,3	n.s.	3,8	n.s.	6,8	n.s.	7,0	n.s.	5,0	n.s.	12,5	n.s.	12,0	n.s.
60-90	4,8	n.s.	2,8	n.s.	6,0	n.s.	3,5	n.s.	3,0	n.s.	5,5	n.s.	6,3	n.s.
SH														
	BR		LP		PT		SA		SATR		TR		VS	
0-30	15,0	a	16,5	a	18,0	ab	17,3	a	18,4	ab	18,2	ab	34,0	abcd
30-60	5,5	n.s.	4,5	n.s.	5,3	n.s.	5,5	n.s.	5,3	n.s.	6,0	n.s.	8,0	n.s.
60-90	3,5	n.s.	5,0	n.s.	4,0	n.s.	5,8	n.s.	6,0	n.s.	6,8	n.s.	9,5	n.s.

Tabelle A- 12: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte nach der Differenzierung nach Zwischenfrüchten nach der Ernte im mehrjährigen Versuch. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Schicht, die hier über drei Zeilen dargestellt ist ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

SHV - 05.09.2012														
Pfluz														
	BR		LP		PT		SA		SATR		TR		VS	
0-30	18,1	cd	12,4	abc	17,1	cd	15,9	bcd	20,3	d	15,7	bcd	17,3	cd
30-60	3,0	ab	1,0	a	2,8	ab	1,8	ab	3,5	b	1,8	ab	2,0	ab
PF														
	BR		LP		PT		SA		SATR		TR		VS	
0-30	11,3	abc	7,4	a	8,0	a	9,2	ab	8,5	a	8,2	a	9,8	ab
30-60	2,0	ab	1,0	a	1,0	a	1,3	a	1,0	a	1,0	a	1,8	ab
SH														
	BR		LP		PT		SA		SATR		TR		VS	
0-30	8,3	a	8,8	a	7,9	a	7,2	a	8,7	a	8,4	a	9,5	ab
30-60	1,5	a	1,0	a	1,0	a	1,0	a	1,3	a	1,5	a	1,0	a

Tabelle A- 13: N_{min}- bzw. NO₃-N-Gehalte der Bodenbearbeitungsvarianten 2013 im mehrjährigen Versuch. Angegeben sind die Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile ($\alpha \leq 0,05$; Tukey-B).

SHV - 08.04.2013						
	PfLuz		PF		SH	
0-30	20,8	b	17,6	a	15,6	a
30-60	11,5	b	8,2	a	7,4	a
60-90	13,2	b	7,0	a	6,0	a
SHV - 23.05.2013						
	PfLuz		PF		SH	
0-30	32,8	b	27,5	a	25,9	a
30-60	21,7	b	14,2	a	12,2	a
60-90	13,9	b	6,9	a	6,1	a
SHV - 18.06.2013						
	PfLuz		PF		SH	
0-30	16,4	b	11,6	a	13,5	ab
30-60	18,7	b	11,8	a	11,4	a
60-90	17,4	b	10,8	a	10,8	a
SHV - 08.09.2013						
	PfLuz		PF		SH	
0-30	14,7	n.s.	18,9	n.s.	10,0	n.s.
30-60	5,4	b	3,8	ab	2,2	a
60-90	5,3	b	3,3	a	2,2	a

Tabelle A- 14: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 30.03.12 im mehrjährigen Versuch

	Pfluz							PF							SH						
	BR	LP	PT	SA	SATR	TR	VS	BR	LP	PT	SA	SATR	TR	VS	BR	LP	PT	SA	SATR	TR	VS
<i>Brassica napus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	74	43	17	9	10	33	28	6	9	3	0	3	2	10	1	0	0	2	1	1	0
<i>Cirsium arvense</i>	2	0	7	0	3	2	3	2	13	20	17	9	4	14	2	0	3	4	2	2	4
<i>Galium aparine</i>	1	10	13	9	10	10	6	0	0	7	17	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lamium spp.</i>	1	3	3	14	10	2	3	5	4	0	0	3	9	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Matricaria spp.</i>	6	17	10	32	23	24	9	27	26	20	33	20	34	14	78	62	76	83	69	81	79
<i>Myosotis arvensis</i>	0	0	3	5	0	2	0	3	13	3	4	9	2	10	2	8	1	0	1	1	2
<i>Rumex spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	3	0	0	1	0	0	1	0	1	0
<i>Sinapis alba</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Stellaria media</i>	5	13	17	9	25	9	22	50	9	7	4	6	9	29	4	5	1	2	5	2	5
<i>Taraxacum sect. Ruderalia</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0
<i>Thlaspi arvense</i>	2	7	7	5	3	9	3	0	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Trifolium spp.</i>	1	7	13	5	5	2	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Triticale</i>	4	0	3	5	0	9	6	2	0	13	0	3	11	0	7	14	13	1	7	5	4
<i>Veronica spp.</i>	0	0	3	0	0	0	0	2	4	3	0	0	2	0	1	3	0	0	0	0	0
<i>Viola spp.</i>	1	0	3	5	8	0	0	2	13	7	8	11	6	5	0	5	1	1	2	1	2
Unbekanntes Monokotyl	1	0	0	5	5	0	0	2	4	10	13	20	15	19	1	3	4	5	13	3	2

Tabelle A- 15: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 30.05.2012 im mehrjährigen Versuch

	Pfluz							PF							SH							
	BR	LP	PT	SA	SATR	TR	VS	BR	LP	PT	SA	SATR	TR	VS	BR	LP	PT	SA	SATR	TR	VS	
<i>Agropyron repens</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brassica napus</i>	0	0	10	3	1	0	2	0	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	14	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chenopodium spp.</i>	36	27	22	34	35	37	37	37	10	32	16	11	18	19	4	2	2	4	8	6	7	
<i>Cirsium arvense</i>	4	2	0	2	1	2	2	21	44	23	17	40	23	19	5	11	11	10	10	10	10	
<i>Convolvulus spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<i>Galeopsis tetrahit</i>	7	9	17	11	7	15	12	14	11	15	11	14	9	9	6	6	6	6	11	10	13	
<i>Galium aparine</i>	0	4	0	0	0	0	0	0	1	1	7	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
<i>Lamium spp.</i>	1	0	1	1	2	4	3	0	1	1	1	3	1	1	0	0	0	0	1	0	1	
<i>Lolium perenne</i>	0	6	0	0	0	0	0	0	3	0	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Matricaria spp.</i>	3	7	2	15	3	6	1	7	5	3	7	6	7	2	76	73	70	66	60	63	63	
<i>Myosotis arvensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
<i>Papaver spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Polygonum spp.</i>	11	19	29	16	20	17	21	9	13	13	22	18	31	31	6	6	9	10	4	7	3	
<i>Rumex spp.</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Sinapis spp.</i>	19	12	7	9	27	6	8	9	0	10	7	1	4	16	2	1	1	2	2	2	0	
<i>Sonchus spp.</i>	1	0	3	2	0	2	4	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Stellaria media</i>	0	7	5	6	2	6	3	2	0	0	1	2	3	2	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Thlaspi arvensis</i>	0	3	2	0	1	4	3	1	6	3	7	2	2	1	0	1	0	0	2	0	0	
<i>Trifolium spp.</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Triticale</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Vicia spp.</i>	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Viola spp.</i>	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Unbekanntes Dikotyl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Unbekanntes Monokotyl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabelle A- 16: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 25.07.2012 im mehrjährigen Versuch

	Pfluz							PF							SH						
	BR	LP	PT	SA	SATR	TR	VS	BR	LP	PT	SA	SATR	TR	VS	BR	LP	PT	SA	SATR	TR	VS
<i>Apera spica-venti</i>	2	1	6	0	5	9	0	1	4	2	7	23	4	1	0	1	1	1	4	1	2
<i>Brassica napus</i>	0	0	6	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Chenopodium</i> spp.	6	4	18	20	20	14	21	2	1	4	11	3	2	5	2	3	2	4	3	3	2
<i>Cirsium arvense</i>	11	2	6	5	5	5	5	43	85	64	37	61	75	82	75	84	76	80	72	75	87
<i>Galeopsis tetrahit</i>	0	1	0	0	0	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Galium aparine</i>	2	3	18	10	20	14	21	1	0	4	7	2	2	3	1	2	2	1	3	5	2
<i>Lamium</i> spp.	1	1	6	5	5	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
<i>Lolium perenne</i>	0	24	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Matricaria</i> spp.	74	56	6	10	15	18	0	49	3	0	0	9	12	1	12	3	5	4	7	5	2
<i>Myosotis arvensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2	3	2	2	1	1	0
<i>Papaver</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Polygonum</i> spp.	2	8	24	20	15	18	32	1	1	9	15	3	2	5	4	5	8	3	3	5	3
<i>Sinapis</i> spp.	0	1	0	10	10	5	5	0	1	4	4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Sonchus</i> spp.	1	0	12	5	0	5	11	1	0	2	7	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0
<i>Stellaria media</i>	0	0	0	0	0	0	5	1	0	2	4	0	0	0	2	0	0	1	4	1	1
<i>Thlaspi arvensis</i>	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Trifolium</i> spp.	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Triticale</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Vicia</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Viola</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	1	0	2	0	2	0	0	1	0
Unbekanntes Dikotyl	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	4	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1
Unbekanntes Monokotyl	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle A- 17: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 23.05.2013 im mehrjährigen Versuch

	Pfluz			PF			SH		
	BR	SA	VS	BR	SA	VS	BR	SA	VS
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chenopodium</i> spp.	19	16	7	10	10	16	6	10	4
<i>Cirsium arvense</i>	2	1	3	8	9	9	4	6	10
<i>Equisetum arvense</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Galeopsis tetrahit</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Galium aparine</i>	5	21	21	10	11	9	4	3	7
<i>Geranium</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lamium</i> spp.	1	1	1	2	1	2	1	1	1
<i>Matricaria</i> spp.	4	4	1	6	5	5	19	17	14
<i>Polygonum</i> spp.	3	4	7	6	15	7	8	11	6
<i>Sinapis</i> spp.	8	5	6	8	12	8	2	3	3
<i>Sonchus</i> spp.	1	1	2	0	0	1	1	1	1
<i>Stellaria media</i>	1	2	4	5	1	2	2	2	2
<i>Thlaspi arvensis</i>	2	4	1	2	3	4	2	3	4
<i>Veronica</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Viola</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unbekanntes Dikotyl	54	41	48	42	33	37	50	41	47
Unbekanntes Monokotyl	1	0	0	0	0	1	0	0	0

Tabelle A- 18: Die Artenanteile der Beikrautpopulation von jeder Variante in Prozent am 19.07.2013 im mehrjährigen Versuch

	Pfluz			PF			SH		
	BR	SA	VS	BR	SA	VS	BR	SA	VS
<i>Anchusa arvensis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brassica napus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	5	1	0	0	0	0	2	0	0
<i>Centaurea cyanus</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0
<i>Chenopodium album</i>	11	7	7	8	13	7	5	8	5
<i>Chenopodium ficifolium</i>	0	0	0	1	0	0	1	0	0
<i>Cirsium arvense</i>	28	3	23	23	46	30	42	39	54
<i>Galium aparine</i>	12	25	17	2	7	6	0	2	3
<i>Lamium</i> spp.	1	1	1	0	1	1	1	0	1
<i>Matricaria</i> spp.	15	6	5	5	4	5	13	18	16
<i>Myosotis arvensis</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Papaver</i> spp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Polygonum amphibium</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	0
<i>Polygonum aviculare</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	2
<i>Polygonum convolvulus</i>	2	6	7	9	1	6	7	6	6
<i>Sinapis</i> spp.	21	40	38	40	25	33	21	20	9
<i>Sonchus</i> spp.	0	3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stellaria media</i>	3	0	2	7	4	7	3	6	4
<i>Thlaspi arvensis</i>	1	6	2	0	0	2	0	0	0
<i>Viola</i> spp.	0	1	0	1	0	1	1	0	1



Abbildung A- 1: *V. sativa* nach dem Abfrieren

Danksagung

Herzlich bedanken möchte ich mich bei

Prof. Dr. Jürgen Heß für die Überlassung des Themas und für wertvolle Diskussionen,

Dr. Paul Mäder für die Übernahme der Zweitbegutachtung meiner Dissertation und die wohlwollende Unterstützung während der gesamten Projektlaufzeit und darüber hinaus,

Dr. Thorsten Haase für das „ans-Land-ziehen“ des Projekts und Rat und Tat besonders in der Anfangszeit des Projekts,

den Projektpartner von TILMAN ORG für die schöne und lehrreiche Zusammenarbeit,

Eberhard Kölsch für die Unterstützung seitens des Feldversuchswesens,

allen studentischen Hilfskräften, die während der zwei Versuchsjahre rund 4 m³ oder (bei einer Trockendichte von 1,5 g/cm³) 6 t Boden bewegt haben,

Hannes Schulz nicht nur für tatkräftige Hilfe in den Versuchen sondern auch für geduldige „Nachhilfe“ in Statistikfragen,

last but not least meinen ehemaligen Kolleginnen für Freundschaft und erheiternde Mittagspausen.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe Dritter angefertigt habe. Ich habe keine anderen als die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel benutzt. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Dritte waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der Dissertation nicht beteiligt; insbesondere habe ich hierfür nicht die Hilfe eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Kein Teil dieser Arbeit ist in einem anderen Promotions- oder Habilitationsverfahren verwendet worden.

Müncheberg, 18.12.2016

Meike Grosse