

53

Berichte aus dem TFZ

Bioenergieträger mit Blühaspekt

Leguminosen-Getreide-
Gemenge



Bioenergieträger mit Blühaspekt
– Leguminosen-Getreide-Gemenge



Bioenergieträger mit Blühaspekt – Leguminosen-Getreide-Gemenge

Veronika Eberl
Maendy Fritz

Berichte aus dem TFZ 53

Straubing, August 2017

Projekttitel: Bioenergieträger mit Blühaspekt – Leguminosen-Getreide-Gemenge
Projektleitung: Dr. Maendy Fritz
Autorinnen: Veronika Eberl
Dr. Maendy Fritz
Mitarbeiter: Franz Heimler
Christian Loher

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Förderkennzeichen EW/13/51 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen.

© 2017
Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.
Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

Unter Verwendung mineralölfreier Druckfarben (Mineralölanteil <1 %) gedruckt auf chlorfreiem Papier aus nachhaltiger, zertifizierter Waldbewirtschaftung.

ISSN: 1614-1008

Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing

E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Veronika Eberl, Dr. Maendy Fritz, Ulrich Eidenschink
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2017
Gestaltung: Veronika Eberl, Dr. Maendy Fritz

Fotonachweis: Querschnitt aktiver Rhizobien: © Klaus Peter Wilbois, mit freundlicher Genehmigung (Abbildung 33); Knöllchenbakterien an Bohnenwurzeln: © Josef Schlaghecken (Abbildung 33); weitere Bilder: TFZ

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis.....	11
1 Einleitung.....	15
2 Stand des Wissens.....	17
2.1 Botanik.....	17
2.1.1 Taxonomie der Leguminosen (<i>Fabaceae</i>)	17
2.1.2 Artenporträt Futtererbse (<i>Pisum sativum</i>)	17
2.1.3 Artenporträts Zottelwicke (<i>Vicia villosa</i>) und Pannonische Wicke (<i>Vicia pannonica</i>)	19
2.2 Vorfruchtwert von Körnerleguminosen	20
2.2.1 Einfluss von Körnerleguminosen auf Bodenfruchtbarkeit und Wertschöpfung in der Fruchtfolge	20
2.2.2 Physiologie der Stickstoffassimilation	21
2.2.3 Quantifizierung der Stickstoffassimilation von Leguminosen in Reinbeständen und im Mischanbau	22
2.3 Bestandsführung von Leguminosen-Getreide-Gemengen.....	23
2.3.1 Allgemeine Standortansprüche und Produktionstechnik	23
2.3.2 Mangelnde Selbstverträglichkeit von Leguminosen und Gegenmaßnahmen	25
3 Zielstellung	27
4 Material und Methoden	29
4.1 Charakteristik der Versuchsstandorte	29
4.2 Versuchsdurchführung	29
4.2.1 Bestandsführung der Leguminosen-Getreide-Gemenge.....	31
4.2.2 Bestandsführung der Nachfrucht	34
4.3 Ernte und Probenaufbereitung	36
4.4 Wertgebende Inhaltsstoffe und Biogasertragspotenzial	37
4.5 Vorfruchtwert der Leguminosen-Getreide-Gemenge.....	38
4.6 Vegetationsbegleitende Datenerhebung.....	39
4.7 Statistische Auswertung	39
5 Ergebnisse und Diskussion	41
5.1 Klimatische Rahmenbedingungen	41
5.2 Bestandsentwicklung der Leguminosen-Getreide-Gemenge.....	44
5.2.1 Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2013/2014	44
5.2.2 Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2014/2015	46
5.2.3 Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2015/2016	49

5.2.4	Einflussfaktoren auf die Bestandsentwicklung und Optimierungsmöglichkeiten	51
5.2.4.1	Ausgewogene Bestandszusammensetzung	51
5.2.4.2	Optimierung des Blühaspekts von Leguminosen-Getreide-Gemengen	53
5.3	Bestandsentwicklung der Nachfrucht	55
5.3.1	Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2013/2014	55
5.3.2	Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2014/2015	56
5.3.3	Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2015/2016	59
5.4	Trockenmasseertragspotenzial von Leguminosen-Getreide-Gemengen.....	61
5.4.1	Allgemeines Ertragsniveau.....	61
5.4.2	Detailbetrachtung der gezeigten Ertragsleistung in Abhängigkeit des Versuchsjahrs	64
5.4.2.1	Ertragsleistung im Versuchsjahr 2013/2014	64
5.4.2.2	Ertragsleistung im Versuchsjahr 2014/2015	66
5.4.2.3	Ertragsleistung im Versuchsjahr 2015/2016	70
5.4.3	Einfluss der Leguminosenart und des Leguminosenanteils auf die Ertragsleistung von Leguminosen-Getreide-Gemengen.....	73
5.4.3.1	Einflussfaktoren auf den Trockensubstanzgehalt und Optimierungsmöglichkeiten	74
5.4.3.2	Einflussfaktoren auf den Trockenmasseertrag und Optimierungsmöglichkeiten	76
5.4.4	Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Ertragsleistung von Leguminosen-Getreide-Gemengen.....	78
5.5	Substratqualität und Methanertragspotenzial von Leguminosen-Getreide-Gemengen	79
5.5.1	Substratqualität	79
5.5.2	Biogas- und Methanertragspotenzial.....	82
5.6	Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Leguminosen-Getreide-Gemengen.....	85
5.6.1	Detailbetrachtung der Nährstoffgehalte in Abhängigkeit des Versuchsjahrs	86
5.6.2	Nährstoffentzüge und Nährstoffbedarf von Leguminosen-Getreide-Gemengen	87
5.6.3	Stickstoffbilanz und Stickstoffbindungsvermögen von Leguminosen-Getreide-Gemengen.....	88
5.7	Vorfruchtwert der Leguminosen-Getreide-Gemenge	92
5.7.1	Bodenstickstoffgehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge	92
5.7.2	Ertragsleistung und Substratqualität der Nachfrucht Mais	93
5.7.2.1	Versuchsjahr 2014/2015	93
5.7.2.2	Versuchsjahr 2015/2016	97
	Zusammenfassung	101
	Abstract	103
	Quellenverzeichnis	105
	Anhang (mit Farbbildern ab S.164)	111

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung eines Fiederblatts, stark modifiziert nach Nultsch (2012) [46]	18
Abbildung 2:	Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge mit einem reihenunabhängigen Parzellenhäcksler.....	37
Abbildung 3:	Witterungsverlauf am Standort Aholting während der gesamten Versuchslaufzeit im Vergleich zum vieljährigen Mittel (2001–2015)	41
Abbildung 4:	Witterungsverlauf am Standort Straubing während der gesamten Versuchslaufzeit im Vergleich zum vieljährigen Mittel (2001–2015)	42
Abbildung 5:	Ergebnisse der Lagerbonitur im Versuchsjahr 2013/2014 in Abhängigkeit von Standort und Getreidemischungspartner, beide Düngestufen.....	45
Abbildung 6:	Unterschiedliche Lagerneigung von Gerstenbeständen bei üblicher N-Aufwandsmenge (links) und reduzierte N-Aufwandsmenge (rechts), Versuchsjahr 2013/2014	46
Abbildung 7:	Verkrustetes Saatbett (links) und lückiger Auflauf der Roggenvarianten (rechts) am Standort Straubing, Versuchsjahr 2014/2015	47
Abbildung 8:	Lagerneigung der Triticale-Leguminosen-Gemenge am Standort Aholting in Abhängigkeit des Leguminosenanteils, N-Düngestufe normal, Versuchsjahr 2014/2015.....	48
Abbildung 9:	Starke Bestockung des Getreides (links) und üppiges Leguminosenwachstum (rechts) bei Wickroggen am Standort Straubing, Versuchsjahr 2014/2015	51
Abbildung 10:	Exemplarische Darstellung von Blühverlauf und Blühzeitraum der im Versuch betrachteten Leguminosenarten	54
Abbildung 11:	Lagerbildung in den Beständen der Nachfrucht Sorghum im Vergleich von 1. Saattermin (stehend, im Hintergrund) und 2. Saattermin (lagernd, im Vordergrund), Versuchsjahr 2013/2014.....	56
Abbildung 12:	Trockenstresssymptomatik an der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015 mit kleinem Wuchs, starrem Habitus und eingerollten Blättern.....	57
Abbildung 13:	Auffälligkeiten in der Bestandsentwicklung der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015: ungenügende Streckung der Internodien (links), von Maisbeulenbrand befallener Kolben (Mitte), Frostschäden am Standort Aholting zum Zeitpunkt der Ernte (rechts).....	58
Abbildung 14:	Ertragsleistung der Leguminosen-Getreide-Gemenge am Standort Aholting im Vergleich der Versuchsjahre, Darstellung gruppiert nach Getreidemischungspartner, N-Düngestufe normal.....	63

Abbildung 15:	Ertragsleistung der Leguminosen-Getreide-Gemenge am Standort Straubing im Vergleich der Versuchsjahre, Darstellung gruppiert nach Getreidemischungspartner, N-Düngestufe normal	63
Abbildung 16:	Detailbetrachtung der Ertragsleistung im Versuchsjahr 2013/2014, Darstellung getrennt nach Getreidemischungspartner und N-Düngestufe	65
Abbildung 17:	Detailbetrachtung der Ertragsleistung im Versuchsjahr 2014/2015, Darstellung getrennt nach Getreidemischungspartner und N-Düngestufe	67
Abbildung 18:	Detailbetrachtung der Ertragsleistung im Versuchsjahr 2015/2016, Darstellung getrennt nach Getreidemischungspartner und N-Düngestufe	70
Abbildung 19:	Wesentliche Einflussfaktoren auf die Ertragsleistung von Leguminosen-Getreide-Gemengen	73
Abbildung 20:	Einfluss von Leguminosenart und Leguminosenanteil auf den Trockensubstanzgehalt zum Zeitpunkt der Ernte.....	74
Abbildung 21:	Relative Ertragsabweichung ausgewählter Leguminosen-Getreide-Gemenge im Vergleich zur Reingetreidereferenz	77
Abbildung 22:	Methanausbeuten und Methanerträge der Versuchsvarianten im Vergleich aller Versuchsjahre	83
Abbildung 23:	Mittlere Methanausbeuten und Methanerträge der Leguminosen-Getreide-Gemenge in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners, alle Versuchsjahre.....	84
Abbildung 24:	Kennzahlen zu Stickstoffentzug und Bodenstickstoffgehalten der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Vergleich zu den Reingetreidereferenzen, Versuchsjahr 2015/2016.....	89
Abbildung 25:	Schema zur Ermittlung des N-Bindungsvermögens der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuch.....	91
Abbildung 26:	Trockenmasseertragsleistung der Nachfrucht Mais in Abhängigkeit von Standort und Saattermin, Versuchsjahr 2014/2015.....	94
Abbildung 27:	Relative Ertragsabweichung der Nachfrucht Mais beim Nachbau nach einem Gemenge im Vergleich zum Nachbau nach Reingetreide, Versuchsjahr 2014/2015.....	95
Abbildung 28:	Trockenmasseertragsleistung der Nachfrucht Mais in Abhängigkeit von Standort und Saattermin, Versuchsjahr 2015/2016.....	97
Abbildung 29:	Relative Ertragsabweichung der Nachfrucht Mais beim Nachbau nach einem Gemenge im Vergleich zum Nachbau nach Reingetreide, Versuchsjahr 2015/2016.....	98
Abbildung 30:	Zottelwicke mit charakteristischer Blattbehaarung (links), Bestand zum Zeitpunkt der Vollblüte (rechts)	164
Abbildung 31:	Pannonische Wicke zum Zeitpunkt der Vollblüte (links), bei beginnender Hülsenbildung (rechts)	164

Abbildung 32: Entwicklung der Wintererbse Arakta im Vegetationsverlauf	164
Abbildung 33: Rhizobien an Bohnenwurzeln, © Schlaghecken (2002) [51], und Querschnitt aktiver Rhizobien mit charakteristisch tiefroter Färbung im Inneren, © Wilbois (2015) [67]	165
Abbildung 34: Befall von Triticale-Erbсен-Gemengen mit <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. pisi, Standort Straubing, Versuchsjahr 2014/2015	165
Abbildung 35: <i>Rhynchosporium</i> -Befall in den Triticale-Gemengen im Versuchsjahr 2015/2016	165
Abbildung 36: Unterschiedliche Dominanz von Wintererbse, Pannonischer Wicke und Zottelwicke (von oben nach unten) gegenüber dem Mischungspartner Triticale	166
Abbildung 37: Hummeln (links und Mitte) und Biene (rechts) beim Sammelflug	167
Abbildung 38: Gelblich verfärbte Pflanzen mit unregelmäßigem Wuchs (hinten) in den Maisbeständen des 1. Saattermins am Standort Straubing, Versuchsjahr 2015/2016	167

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Stickstoffassimilation verschiedener Körnerleguminosenarten, modifiziert nach Freyer (2005) [27].....	22
Tabelle 2:	Empfohlene Anbaupausen bei Erbsen und Wicken im Haupt- und Zwischenfruchtanbau [69]	26
Tabelle 3:	Standort- und Klimaparameter der Versuchsflächen, alle Versuchsjahre	29
Tabelle 4:	Übersicht der betrachteten Getreide-Reinsaaten bzw. Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuch	30
Tabelle 5:	Übersicht über die Stickstoffdüngung der Leguminosen-Getreide-Gemenge, alle Versuchsjahre	32
Tabelle 6:	Vegetationsperioden der Leguminosen-Getreide-Gemenge in Abhängigkeit von Standort und Getreidemischungspartner, alle Versuchsjahre	33
Tabelle 7:	Eckdaten zum Anbau der Nachfrucht in Abhängigkeit von Standort und Saattermin, alle Versuchsjahre.....	35
Tabelle 8:	Herbizideinsatz in der Nachfrucht Mais in den Versuchsjahren 2015 und 2016	36
Tabelle 9:	Bewertung der im Versuch betrachteten Leguminosen-Getreide-Gemenge im Hinblick auf die Ausgewogenheit ihrer Bestandszusammensetzung	52
Tabelle 10:	Bestandshöhe der Nachfrucht Mais zum Zeitpunkt der Ernte 2015.....	57
Tabelle 11:	Richtwerte zum Ertragspotenzial von Reingetreide-GPS bzw. Leguminosen-Getreide-GPS bei mittlerer Standortgüte, modifiziert nach [7]	61
Tabelle 12:	Einfluss der Leguminosenart auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015	68
Tabelle 13:	Einfluss des Leguminosenanteils auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015	68
Tabelle 14:	Einfluss der Leguminosenart auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016	71
Tabelle 15:	Einfluss des Leguminosenanteils auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016	72
Tabelle 16:	Nährstoffgehalte von Getreide und Leguminosen-Getreide-Gemengen, grobkörnig, Mischungsverhältnis 30:70, bei Ganzpflanzennutzung, modifiziert nach [37].....	86

Tabelle 17:	Übersicht aller betrachteten Versuchsvarianten im Projekt „Bioenergieträger mit Blühaspekt: Leguminosen-Getreide-Gemenge“	111
Tabelle 18:	Ergebnisse der Lagerbonitur in den Leguminosen-Getreide-Gemengen zum Zeitpunkt der Ernte 2014	113
Tabelle 19:	Ergebnisse der Lagerbonitur in den Leguminosen-Getreide-Gemengen zum Zeitpunkt der Ernte 2015	114
Tabelle 20:	Ergebnisse der Lagerbonitur in den Leguminosen-Getreide-Gemengen zum Zeitpunkt der Ernte 2016	115
Tabelle 21:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholting	116
Tabelle 22:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing	117
Tabelle 23:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting	118
Tabelle 24:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing	119
Tabelle 25:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting	120
Tabelle 26:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing	121
Tabelle 27:	Relative Ertragsleistung ausgewählter Leguminosen-Getreide-Gemenge im Vergleich zur Reingetreidereferenz	122
Tabelle 28:	Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholting	123
Tabelle 29:	Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing	124
Tabelle 30:	Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting	125
Tabelle 31:	Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing	126

Tabelle 32:	Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting	127
Tabelle 33:	Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing	128
Tabelle 34:	Methanausbeuten und Methanerträge der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing	129
Tabelle 35:	Methanausbeuten und Methanerträge der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting	130
Tabelle 36:	Methanausbeuten und Methanerträge der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting	131
Tabelle 37:	Abweichungen im Methanertragspotenzial der Versuchsvarianten in Abhängigkeit der Methodik, Versuchsjahr 2013/2014	132
Tabelle 38:	Abweichungen im Methanertragspotenzial der Versuchsvarianten in Abhängigkeit der Methodik, Versuchsjahr 2014/2015	133
Tabelle 39:	Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholting	134
Tabelle 40:	Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing	135
Tabelle 41:	Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting	136
Tabelle 42:	Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing	137
Tabelle 43:	Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting	138
Tabelle 44:	Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing	139
Tabelle 45:	N-Bindung der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuch, Standort Aholting, Versuchsjahr 2015/2016	140
Tabelle 46:	N-Bindung der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuch, Standort Straubing, Versuchsjahr 2015/2016	141
Tabelle 47:	N_{\min} -Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholting	142
Tabelle 48:	N_{\min} -Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing	143
Tabelle 49:	N_{\min} -Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting	146
Tabelle 50:	N_{\min} -Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing	147

Tabelle 51:	N _{min} -Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting.....	150
Tabelle 52:	N _{min} -Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing	151
Tabelle 53:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Sorghum im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholting.....	154
Tabelle 54:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Sorghum im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing	154
Tabelle 55:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting	155
Tabelle 56:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing	156
Tabelle 57:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting	157
Tabelle 58:	Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing	158
Tabelle 59:	Substratqualität der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting	159
Tabelle 60:	Substratqualität der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing.....	160
Tabelle 61:	Substratqualität der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting	161
Tabelle 62:	Substratqualität der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing.....	162

1 Einleitung

Mehr als die Hälfte des Substratbedarfs in Biogasanlagen wurde im Jahr 2014 durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe gedeckt. Mit einem Anteil von 73 % wurde dabei der überwiegende Teil des pflanzlichen Substrats durch Maissilage bereitgestellt [24].

Unter ökonomischen Aspekten betrachtet scheint dieses Ergebnis verständlich, denn in der Praxis überzeugt die klassische Biogaskultur durch die bereits ausgereifte Produktionstechnik und eine konkurrenzlos hohe Ertragsleistung. Dem entgegen steht die Limitierung des Einsatzes von Maissubstrat nach dem EEG 2012 [18] und auch unabhängig von gesetzlichen Regelungen muss es im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaftsweise Ziel sein, das Artenspektrum auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen zu erhöhen.

So stellt eine möglichst hohe Biodiversität den Schlüssel dar, um dem bei Monokulturen verstärkt auftretenden Schädlingsdruck (z. B. Westlicher Maiswurzelbohrer) wirksam zu begegnen. Eine planvolle Gestaltung der Fruchtfolge kann darüber hinaus helfen, den Einsatz von Produktionsmitteln zu reduzieren. Nicht nur innerhalb eines Produktionsverfahrens wird von den pflanzenbaulichen Besonderheiten einer Kulturart, wie einem guten Unkrautunterdrückungsvermögen oder der symbiotischen Stickstofffixierungsleistung, profitiert, auch der Nachfrucht kommen diese Effekte im Sinne der Vorfruchtwirkung zugute.

Der Anbau blühender Kulturen kann das Landschaftsbild auf besondere Weise bereichern und auf diesem Wege dazu beitragen, die Akzeptanz des Energiepflanzenbaus in der Bevölkerung zu steigern. Nicht zu unterschätzen ist auch das damit verbundene Nahrungsangebot für bestäubende Insekten, die zunehmend unter der Verarmung unserer Kulturlandschaft leiden.

Mit dem Anbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen eröffnet sich die Möglichkeit, dem Streben nach Ertragssicherheit und dem Grundgedanken einer nachhaltigen Landwirtschaft gleichermaßen gerecht zu werden. Während die Getreidemischungspartner die ertragsbildende Komponente in den Leguminosen-Getreide-Gemengen darstellen, begründen erst die Leguminosen den ökologischen Mehrwert der Mischkulturen. Diese vielversprechende Ausgangssituation ist Anlass für eine eingehendere Betrachtung verschiedener Leguminosen-Getreide-Gemenge, die im Rahmen eines insgesamt dreijährigen Anbauversuchs insbesondere hinsichtlich ihrer Eignung als Energiepflanzen beurteilt werden sollen.

2 Stand des Wissens

2.1 Botanik

Die Botanik einer Pflanze und das Hintergrundwissen über die damit verbundenen pflanzenbaulichen Anforderungen und Besonderheiten sind Grundlage für einen erfolgreichen Anbau – sowohl in der Praxis als auch im Versuchswesen.

Beim Anbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen muss den Ansprüchen zweier verschiedener Pflanzenfamilien Rechnung getragen werden. Da die im Versuch betrachteten Getreidemischungspartner Roggen, Triticale und Gerste hinreichend bekannt sind, konzentriert sich die einführende Betrachtung zur Botanik insbesondere auf die Leguminosen (*Fabaceae*) und deren Anforderungen im Gemengeanbau.

2.1.1 Taxonomie der Leguminosen (*Fabaceae*)

Die Hülsenfrüchtler (*Fabaceae*), auch Leguminosen genannt, sind eine der artenreichsten Pflanzenfamilien und gehören zur Ordnung der Schmetterlingsblütenartigen (*Fabales*) [32].

Die größte und landwirtschaftlich bedeutsamste Unterfamilie wird von den Schmetterlingsblütlern (*Faboideae*) gebildet, die zahlreiche eiweißreiche Körnerfruchtarten wie z. B. Ackerbohne (*Vicia faba*), Linse (*Lens culinaris*) und Lupine (*Lupinus sp.*) sowie die im Versuch betrachteten und im Folgenden genannten Leguminosenarten unter sich vereint. Die Futtererbse (*Pisum sativum*) ist dabei der Gattung der Erbsen (*Pisum*) zuzuordnen, Zottelwicke (*Vicia villosa*) und Pannonische Wicke (*Vicia pannonica*) gehören der Gattung der Wicken (*Vicia*) an [32].

2.1.2 Artenporträt Futtererbse (*Pisum sativum*)

Die Futtererbse (*Pisum sativum*), auch Saat- oder Ackererbse genannt, stellt die wohl bekannteste Art innerhalb der Gattung der Erbsen (*Pisum*) dar. Es wird zwischen drei Unterarten differenziert, wobei die im mitteleuropäischen Raum in Anbau gebrachten Kulturformen ausnahmslos der Subspezies *sativum* (*Pisum sativum ssp. sativum*) zuzuordnen sind [55].

Futtererbsen weisen eine breite Variation im Phänotyp auf. Neben Blühfarbe, Kornfarbe und Kornform stellt der Wuchstyp der Pflanze ein charakteristisches Merkmal dar. In Abhängigkeit der Blattausprägung und einer teilweisen oder vollständigen Umbildung des Blattapparats zu Ranken wird zwischen Vollblatttypen, Halbblatttypen und Rankentypen unterschieden [55].

Während sich bei den Vollblatttypen nur anstelle der Endfieder eine Ranke befindet (vgl. Abbildung 1), sind bei den Halbblatttypen sämtliche Fiederblättchen zu Ranken umgebildet, lediglich die Nebenblätter sind noch vorhanden (vgl. Abbildung 1). Dieser spezielle Phänotyp ist das Ergebnis intensiver Züchtungsbemühungen in den letzten Jahrzehnten.

Durch das systematische Einkreuzen von Mutanten, die über genau dieses Merkmal verfügten, wurden halbblattlose Sorten mit erhöhtem Rankenanteil und verbesserter Standfestigkeit entwickelt. Eine besondere Form stellt der vollkommen blattlose Rankentyp dar, bei dem der gesamte Blattapparat zu Ranken umgebildet wurde – es sind weder Fieder- noch Nebenblätter vorhanden [55].

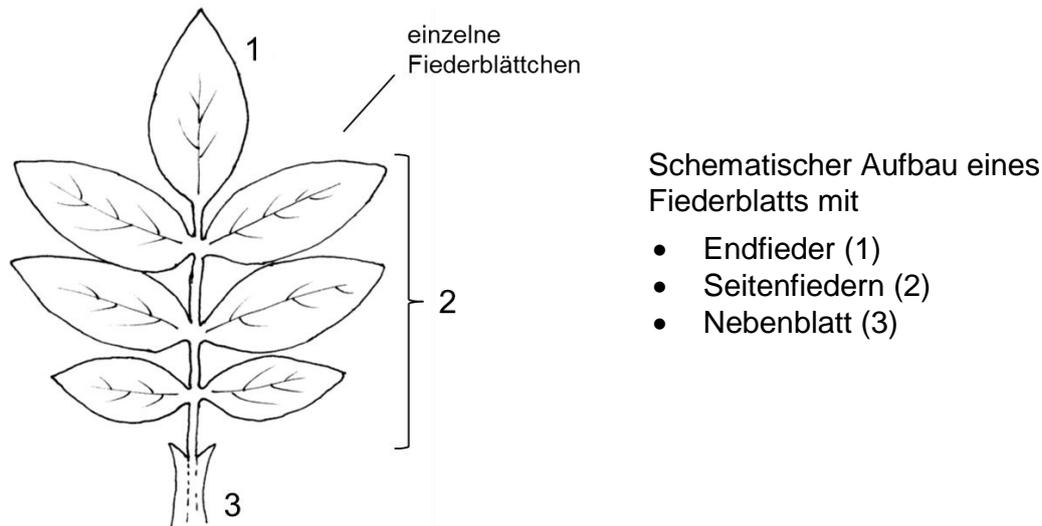


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Fiederblatts, stark modifiziert nach Nultsch (2012) [46]

Hinsichtlich pflanzenbaulicher Eigenschaften wird Vollblatttypen ein besseres Unkrautunterdrückungsvermögen zugesprochen als den teilweise oder vollständig blattlosen Wuchstypen. Als Nachteil ist jedoch die erhöhte Lagerneigung der blattmassereichen Bestände zu nennen, die ursprünglich Anlass für die Entwicklung rankenbetonter Sorten war. Für eine verbesserte Standfestigkeit wird bei vollblättrigen Sorten daher ein Gemengeanbau mit Getreide als Stützfrucht empfohlen [53].

Am Wuchstyp und dem daraus resultierenden Anteil an Grünmasse orientiert sich auch die Verwertungsrichtung der Pflanzen. Während die massewüchsigen Vollblatttypen vorwiegend der Ganzpflanzennutzung oder der Gründüngung dienen, finden sich in der Gruppe der Halbblatttypen überwiegend Sorten für die Kornnutzung. Heute sind alle in der Bundessortenliste für die Hauptfruchtnutzung eingetragenen Sorten ausschließlich halbblattlos. Aus der Anzahl an Zulassungen kann ferner abgeleitet werden, dass der Fokus der aktuellen Züchtungsaktivitäten in Deutschland klar auf der Kornnutzung liegt. In der Sparte Zwischenfruchtanbau wird nur eine sehr geringe Anzahl an Erbsensorten ausgewiesen [14].

Zum Zeitpunkt des Blühbeginns zeigt sich mit den charakteristisch geformten Blütenständen ein weiteres phänologisches Merkmal der Erbse. Obwohl überwiegend Selbstbefruchtung herrscht, tritt je nach Witterungsverlauf auch eine Fremdbestäubung durch Insekten auf, für die der am Grunde der Blüte abgesonderte Nektar eine wertvolle Nahrungsquelle darstellt. Der Anteil an Fremdbefruchtung übersteigt jedoch selten 50 % [55].

Die Farbgebung der im Durchmesser etwa 3 cm großen Blütenstände reicht von weiß- bis buntblühend. Der Begriff buntblühend bezeichnet dabei in aller Regel rosa bis violett gefärbte Blüten, aus denen sich im weiteren Entwicklungsverlauf Hülsen mit bräunlichen, tanninhaltigen Samen bilden (vgl. Abbildung 32 im Anhang). Durch den höheren Gehalt antinutritiver Substanzen sowie eine geringere Korngröße, verbunden mit einem höheren Anteil an Rohfaser, haben buntblühende Erbsen einen vergleichsweise geringen Futterwert. Für die Kornnutzung werden deshalb vorwiegend die ernährungsphysiologisch höherwertigen Fruchtstände der weißblühenden Sorten herangezogen. Optisch unterscheiden sich die daraus hervorgehenden Körner durch eine hellere, gelbliche Färbung und ein höheres Tausendkorngewicht [53].

Je nach Standorteigenschaften und dem verfügbaren Vegetationszeitraum innerhalb der betrieblichen Fruchtfolge kann bei Futtererbsen zwischen einjährigen und winterannualen Typen gewählt werden.

Im Ergebnis von Anbauversuchen wird das Auswinterungsrisiko von Wintererbsen dank des züchterischen Fortschritts mittlerweile als sehr gering eingestuft [25]. In Summe mit einer Vielzahl weiterer pflanzenbaulicher Vorzüge (vgl. Abschnitt 2.2.1) ergibt sich daraus mehr und mehr eine Vorrangstellung der Wintererbse gegenüber der Sommererbse. Als eines der wichtigsten Entscheidungskriterien für die Praxis liegt auch das Ertragsniveau der Wintererbsen in der Regel über dem der Sommererbsen. Lediglich in Jahren mit optimalem Vegetationsverlauf und ausreichend Feuchtigkeit während der Wachstumsperiode reichen die Sommerformen ertraglich an die Winterformen heran [25].

2.1.3 Artenporträts Zottelwicke (*Vicia villosa*) und Pannonische Wicke (*Vicia pannonica*)

Die Systematik der Gattung *Vicia* gestaltet sich komplex. Bis heute sind mehr als 150 Arten bekannt. In Abhängigkeit der von den Botanikern herangezogenen Einteilungskriterien werden sie oftmals verschiedenen Untergattungen und Sektionen zugewiesen [55].

Ebenso wie bei den Erbsen treten auch bei den Wicken unterschiedliche Phänotypen auf, die sich in ihrer Wüchsigkeit, der Form ihrer Blätter sowie der Farbe und Ausprägung ihrer Blütenstände teils deutlich unterscheiden.

Im Gegensatz zu den Futtererbsen wurde bei den Wicken bis dato aber nur wenig Züchtungsarbeit geleistet. Meist dienen Wicken als Komponente in Zwischenfruchtmischungen zur Gründüngung oder werden als Bestandteil von Leguminosen-Getreide-Gemengen als Ganzpflanze genutzt. Speziellen Anforderungen, wie sie z. B. für die Kornnutzung gefordert werden, sind die Pflanzen daher nicht unterworfen. Eine Kornnutzung der Wicken wäre beim Anbau mit einer Stützfrucht, wie z. B. Hafer, zwar theoretisch denkbar, durch die geringe Ertragsleistung und den hohen Gehalt antinutritiver Inhaltsstoffe stellen sie für die Praxis jedoch keine tragfähige Alternative zu anderen eiweißreichen Körnerfruchtarten dar [63].

In Deutschland werden für die landwirtschaftliche Nutzung vor allem die Futterwicke (*Vicia sativa*) als Sommerung und die Zottelwicke (*Vicia villosa*) als Winterung herangezogen. Die ebenfalls frosttolerante Pannonische Wicke (*Vicia pannonica*) ist hierzulande nur wenig bekannt [2] (vgl. Abbildung 30 und Abbildung 31 im Anhang).

Die Pannonische Wicke kann als eine der Zottelwicke sehr ähnliche Art beschrieben werden. Im Gegensatz zu dieser ist sie jedoch weniger wüchsig, was in Abhängigkeit der Dominanz des Getreidemischungspartners durchaus als vorteilhaft betrachtet werden kann. In der Jugendentwicklung stellt die charakteristische Form der Fiederblättchen ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden Wickenarten dar. Während sie bei der Pannonischen Wicke als verkehrt eiförmig zu beschreiben sind, sind sie bei der Zottelwicke länglich-lanzettlich ausgebildet. Auch die für die Zottelwicke namensgebende Behaarung des Stängels und der Blätter ist bei der Pannonischen Wicke weit weniger stark ausgeprägt. Zum Zeitpunkt der Blüte hebt sich die Zottelwicke dank der blau-violetten Färbung ihrer Blütenstände besonders deutlich von der Pannonischen Wicke ab. Diese wirkt als weißblühende Art, insbesondere im Gemengeanbau mit Getreide, deutlich unauffälliger. Aus den Blütenständen beider Wickenarten entwickeln sich im weiteren Verlauf nahezu identisch ausgebildete, abgeflachte Hülsenfrüchte mit erbsenähnlichen, jedoch deutlich kleineren Samen.

2.2 Vorfruchtwert von Körnerleguminosen

2.2.1 Einfluss von Körnerleguminosen auf Bodenfruchtbarkeit und Wertschöpfung in der Fruchtfolge

Im ökologischen Landbau ist der Anbau von Körnerleguminosen für die Bodenfruchtbarkeit unverzichtbar. Doch auch konventionell wirtschaftende Betriebe können von einer Integration der Hülsenfrüchte in die Fruchtfolge – sei dies in Reinsaat oder im Gemengeanbau – profitieren.

Das bekannteste Merkmal der Leguminosen ist zweifelsohne ihre Fähigkeit, Luftstickstoff zu binden und diesen elementaren Nährstoff für sich selbst und Folgefrüchte verfügbar zu machen (vgl. Abschnitt 2.2.2). Doch erst in der Summe mit weiteren gewinnbringenden Eigenschaften begründet sich der hohe Vorfruchtwert der Kulturen.

Leguminosen verfügen über ein tiefreichendes Wurzelsystem, mit dem schwer verfügbare oder in den Unterboden verlagerte Nährstoffverbindungen aufgeschlossen und aufgenommen werden können, bevor es zur Auswaschung kommt. Nach der Ernte bleibt ein Teil dieser Nährstoffe in den Stoppelrückständen zurück und steht zusammen mit dem in den Knöllchenbakterien gebundenen Luftstickstoff der Nachfrucht zur Verfügung [10]. Auch die Strukturbildung und die biologische Aktivität des Bodens werden durch die intensive Durchwurzelung gefördert. Die zahlreichen Feinwurzeln wachsen aktiv in noch wenig belebte Bodenschichten vor und helfen so, den Bodenraum weitreichend zu erschließen [49]. Die Saatbettbereitung zur Nachfrucht kann durch die hervorragende Bo-

dengare im Allgemeinen pfluglos erfolgen, die Kosten für eine Grundbodenbearbeitung werden auf diese Weise eingespart bzw. verringert.

Als Winterung lassen sich Leguminosen besonders gewinnbringend in die Fruchtfolge integrieren. Bereits im Herbst zur Aussaat gebracht, bedecken die Bestände den Boden über die vegetationsfreie Zeit und vermindern auf diese Weise das Risiko von Bodenerosion und Nährstoffauswaschungen. Die Winterfeuchte wird effizient genutzt und die Stickstofffixierungsleistung durch die längere Vegetationszeit erhöht. Mit einem vergleichsweise frühen Blüte- und Abreifezeitpunkt der Wintertypen reduziert sich gleichzeitig der Krankheits- und Schädlingsdruck in den Beständen. Die Ernte erfolgt, insbesondere bei einer Ganzpflanzennutzung der Bestände, noch deutlich vor der Haupterntesaison und hilft auf diese Weise, Arbeitsspitzen zu entzerren. Das entstandene Zeitfenster kann für den Zwischenfruchtanbau genutzt werden, selbst der Nachbau einer früh abreifenden Zweitfrucht ist bei entsprechender Bodenqualität möglich [53].

2.2.2 Physiologie der Stickstoffassimilation

Wie bereits angeführt verfügen Leguminosen über die besondere Fähigkeit, eine Symbiose mit bestimmten Bodenbakterien, den sog. Rhizobien, einzugehen und auf diese Weise den primär nicht pflanzenverfügbaren Luftstickstoff für sich nutzbar zu machen. Die Bakterien profitieren im Gegenzug von den mineralischen Nährstoffen, die sie der Pflanze entnehmen.

Charakteristisches Zeichen dieser wechselseitigen Beziehung ist die Ausbildung von artspezifischen Bakterienknöllchen an den Haupt- und Nebenwurzeln der Pflanzen (vgl. Abbildung 33 im Anhang). In diesen wird der molekulare Stickstoff (N_2) aus der Luft gebunden und durch ein spezielles Enzym, die Nitrogenase, unter hohem Energieaufwand zu pflanzenverfügbarem Ammonium (NH_4) reduziert. Dieser Vorgang ist nur im Zusammenspiel von Bakterium und Pflanze möglich. Unter natürlichen Bedingungen können weder Leguminosen noch Rhizobien allein molekularen Stickstoff fixieren [65].

Die symbiotische Beziehung zwischen Bakterien und Wirtspflanze ist darüber hinaus artspezifisch. Die im Versuch in Anbau gebrachten Wintererbsen (Gattung *Pisum*) sowie Zottelwicke und Pannonische Wicke (Gattung *Vicia*) gehen eine Symbiose mit *Rhizobium leguminosarum* ein. Diese Rhizobium-Art kommt natürlicherweise im Boden vor, eine Impfung des Saatguts mit dem Bakterium ist in der Regel nicht erforderlich [55].

Gelingt es im Ackerbau, diese hocheffiziente Symbiose zu etablieren, bedarf es keiner Stickstoffdüngung der Körnerleguminosen. Auch die nachfolgende Frucht profitiert von dieser Stickstoffquelle [55].

2.2.3 Quantifizierung der Stickstoffassimilation von Leguminosen in Reinbeständen und im Mischanbau

Dass Körnerleguminosen vor allem im Ökolandbau einen entscheidenden Beitrag zur ausreichenden Stickstoffversorgung leisten, ist unumstritten. Schwierigkeiten bereitet hingegen die konkrete Quantifizierung der Stickstoffassimilation. Zahlreiche Einflussfaktoren und komplexe Wechselwirkungen führen zu vielen Unwägbarkeiten, sodass die angewandten Schätzverfahren lediglich Richtwerte für die Nährstoffbilanzierung liefern können [33][36]. Entsprechend breit streuen auch die Angaben zur Stickstofffixierungsleistung verschiedener Körnerleguminosenarten in der Literatur. Freyer [27] hat diesbezüglich Angaben aus verschiedenen Quellen zusammengetragen (Tabelle 1):

Tabelle 1: Stickstoffassimilation verschiedener Körnerleguminosenarten, modifiziert nach Freyer (2005) [27]

Körnerleguminosenart	Stickstoffassimilation in kg/ha und Jahr	
	Variationsbreite	Durchschnittswert
Ackerbohne	100–450	170
Erbsen	50–300	100
Lupinen	50–400	100
Wicken	30–180	100
Sojabohnen	60–300	100
Linsen	30–100	60

Die enorme Variationsbreite der von Freyer [27] gesammelten Werte spiegelt die große Anzahl an Parametern wider, die die Stickstoffassimilation der Leguminosen beeinflussen. Als zentrale Faktoren gelten standortbedingte Einflüsse wie der pH-Wert und der N_{\min} -Gehalt des Bodens. Sowohl bei zu sauren Böden [5] als auch bei einer zu hohen Stickstoffversorgung des Standorts [41] wird das Assimilationsvermögen der Knöllchenbakterien stark vermindert. Insbesondere bei Betrieben mit hohem Viehbesatz und intensiver organischer Düngung sollte deshalb darauf geachtet werden, dass zur Aussaat der Körnerleguminosen im Boden nur geringe Mengen verfügbaren Stickstoffs (N_{\min} -Werte) vorhanden sind. Kaum zu beeinflussen sind hingegen jahresabhängige Parameter wie die Witterungsbedingungen im Verlauf der Vegetationszeit [10][57].

Den Rahmen für das grundsätzliche Stickstofffixierungspotenzial einer Pflanze bilden neben der Leguminosenart auch typ- und sortenspezifische Eigenschaften. So wurde im Vergleich von Sommer- und Winterform einer Kulturart wiederholt eine deutlich höhere Stickstoffassimilation der winterannualen Typen nachgewiesen. Dieser Zusammenhang wird mit der früheren N_2 -Fixierung sowie einer vermehrten oberirdischen Biomasseausbildung, die in der Regel mit einer ebenso größeren unterirdischen Biomasseausbildung einhergeht, erklärt [59].

Unterschiede in Abhängigkeit des Wuchstyps konnten insbesondere beim Anbau von Futtererbsen nachgewiesen werden. Während die Stickstoffassimilation halbblattloser Wintererbsen im zitierten Versuch [53] mit 50 bis 85 kg N/ha beziffert wurde, lag die Stickstofffixierungsleistung der normalblättrigen Typen bei gleichen Standortbedingungen mit 150 bis 180 kg N/ha um den Faktor 1,5 bis 3 höher. Bemerkenswert ist, dass auf diese Weise selbst im Gemengeanbau mit Triticale oder Raps noch eine Stickstofffixierungsleistung auf dem Niveau der halbblattlosen Wintererbsen in Reinsaat erreicht wurde [53].

Eine besondere Herausforderung stellt die Ermittlung des N-Bindungspotenzials von Leguminosen-Getreide-Gemengen dar. Im ökologischen Landbau bedient man sich dabei nachfolgender Gleichung, die auch im Programm BEFU [37], einer vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie entwickelten Anwendung zur Düngbedarfsermittlung, herangezogen wird.

$$N\text{-Bindung} = 0,4 \cdot N\text{-Entzug} + 65 \quad [37] \quad (2.1)$$

Die Gleichung ist für alle Leguminosen-Getreide-Gemenge mit grobkörnigen Leguminosen, unabhängig vom Leguminosenanteil im Gemenge, anwendbar. Unterschiedlichen Leguminosenanteilen wird über die variable Größe des N-Entzugs Rechnung getragen. Dieser wird aus dem spezifischen – auch vom Leguminosenanteil abhängigen – N-Gehalt des jeweiligen Gemenges und dessen Ertragsleistung berechnet.

Die Anwendung der Gleichung erfolgt in den angeführten Beispielen unter der Voraussetzung einer mittleren Ertragsleistung, die dem Erwartungshorizont im Ökolandbau entsprechend mit 220 dt FM/ha veranschlagt wurde [37].

2.3 Bestandsführung von Leguminosen-Getreide-Gemengen

2.3.1 Allgemeine Standortansprüche und Produktionstechnik

Der Anbau von Körnerleguminosen gilt als anspruchsvoll. Nur wenn den pflanzenbaulichen Besonderheiten dieser Kulturarten Rechnung getragen wird, gelingt es, gesunde und ertragsstarke Bestände zu etablieren, die über eine ausreichende Stickstofffixierungsleistung verfügen und die Bodenfruchtbarkeit verbessern. Insbesondere im Gemengeanbau mit Getreide müssen die spezifischen Anforderungen des Leguminosenpartners ausreichend berücksichtigt werden, um maximal von dessen Vorzügen profitieren zu können.

Die Ansprüche der Leguminosen an die Bodengüte sind vergleichsweise gering. Da sie in ihrer Stickstoffversorgung autark sind, können sie auch auf nährstoffarmen Standorten gut gedeihen. Humusreiche Böden, die im Ackerbau im Allgemeinen bevorzugt werden, sind wegen der erhöhten Stickstoffnachlieferung für den Leguminosenanbau weniger

geeignet (vgl. Abschnitt 2.2.3) [52]. Sowohl Erbsen als auch Wicken bevorzugen leichte, durchlässige Böden mit einem neutralen bis schwach sauren pH-Wert. Beide Kulturen gelten als trockentolerant und benötigen eine relativ geringe Menge an Gesamtniederschlag. Eine ausreichende Wasserversorgung zum Zeitpunkt der Blüte muss jedoch sichergestellt sein [5][49].

Großen Einfluss auf eine optimale Entwicklung der Leguminosenbestände hat hingegen die Bodenstruktur. Körnerleguminosen reagieren äußerst empfindlich auf Verdichtungen und deren Begleitumstände wie eine schlechte Durchlüftung und verzögerte Erwärmung des Bodens sowie auftretende Staunässe. Ertragsrückgänge und eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber bodenbürtigen Krankheitserregern sind häufig die Folge. Vor Aussaat wird aus diesem Grund im Allgemeinen eine reduzierte und flachwendende Bodenbearbeitung empfohlen. Sonderfälle, wie z. B. Standorte mit erhöhtem Unkrautdruck, sind davon auszunehmen [2][68].

Die Aussaat der Winterkörnerleguminosen sollte im Zeitraum von Ende September bis Anfang Oktober und damit zeitgleich mit der Aussaat der meisten Wintergetreidearten erfolgen.

Hinsichtlich der Nährstoffversorgung mit den wichtigsten Mineralstoffen (Calcium, Kalium, Magnesium, Phosphor) und Spurenelementen (Mangan, Kupfer, Bor, Zink) werden Bodenkonzentrationen in der Gehaltsstufe B in der Regel als ausreichend bewertet. Eine Ausnahme stellt die Phosphorversorgung von Erbsenbeständen dar, die nach den Ergebnissen eines Anbauversuchs auf die Gehaltsstufe C eingestellt werden sollte, um optimale Ertragsleistungen zu erzielen [54].

Von einer Stickstoffdüngung ist in reinen Leguminosenbeständen bekanntermaßen abzusehen (vgl. Abschnitt 2.2.2). Beim Anbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen gilt es, an dieser Stelle einen Kompromiss zwischen den differenzierenden Ansprüchen der beiden Kulturarten zu finden. Insbesondere zu Vegetationsbeginn im Frühjahr ist für eine ausreichende Bestockung des Getreides eine Stickstoffgabe zu empfehlen, deren Aufwandmenge in Abhängigkeit des Leguminosenanteils aber ggf. reduziert werden sollte.

Viel diskutiert bleibt die Frage, ob für den Anbau von Körnerleguminosen eine Schwefelapplikation standardmäßig zu empfehlen ist. Bisher konnte in Düngeversuchen keine eindeutige Wirkung gezielter Schwefelgaben zu Körnerleguminosen nachgewiesen werden. Während von einer Seite trotzdem eine kontinuierliche Schwefeldüngung angeraten wird [69], empfehlen andere Stimmen eine betriebsindividuelle Bedarfsanalyse und gegebenenfalls die Anlage von Düngefenstern, um die Notwendigkeit einer Schwefelapplikation schlagspezifisch überprüfen zu können [45]. Fakt ist, dass industrielle Schwefelemissionen in Deutschland in den letzten Jahren merklich gesunken sind und zahlreiche Kulturarten auf diesem Weg nicht mehr automatisch mit der erforderlichen Menge an Schwefel versorgt werden. Da Schwefel ebenso wie Stickstoff ausgewaschen werden kann, gelten besonders leichte Böden mit geringen Gehalten an organischer Substanz als potenzielle Schwefel-Mangelstandorte. Fehlt Schwefel, kann sich dies bei den Leguminosen negativ auf die Eiweißsynthese und die symbiotische Stickstofffixierung aus-

wirken. Insbesondere im ökologischen Landbau kann dies weitreichende Folgen für die gesamte Fruchtfolge haben.

Kurativer Pflanzenschutz ist in Leguminosen-Getreide-Gemengen nur sehr beschränkt möglich. Sowohl in der Gruppe der Herbizide als auch bei den Wachstumsregulatoren stehen keine Präparate zur Verfügung, die für diese Form des Gemengeanbaus zugelassen sind. Es müssen daher präventive Maßnahmen wie eine ausreichende Flächenpflege zur Unkrautregulation oder die gezielte Auswahl standfester Sorten getroffen werden, um das Schadpotenzial so gering wie möglich zu halten. Der Einsatz getreidespezifischer Fungizide ist bei einer Ganzpflanzennutzung in der Regel nicht erforderlich. Durch den früheren Erntezeitpunkt kommen die Symptome meist nicht vollständig zur Ausprägung, darüber hinaus ist auch die Schadschwelle bei einer Nutzung als Biogassubstrat deutlich höher anzusetzen als bei einer Kornnutzung.

2.3.2 Mangelnde Selbstverträglichkeit von Leguminosen und Gegenmaßnahmen

Körnerleguminosen weisen eine mangelnde Selbstverträglichkeit auf. Ein zu hoher Anteil von Körnerleguminosen in der Fruchtfolge führt rasch zu Ertragsrückgängen und entsprechenden Einbrüchen bei der Stickstofffixierung. Diese unerwünschte Reaktion gründet auf toxischen Ausscheidungen der Leguminosen, die bei den nachfolgenden Pflanzengenerationen zu Keimlingsanomalien, Auflaufstörungen und verringertem Wurzelwachstum führen. Zudem häuft sich das Auftreten art- bzw. gattungsspezifischer Schädlings- und Krankheitsbilder, deren Infektionszyklus allein durch ausreichend lange Anbaupausen unterbrochen werden kann [48].

Konkrete Angaben zur erforderlichen Länge der Anbaupausen sind in der Literatur nur schwerlich zu finden. So reichen die Empfehlungen von einer mindestens dreijährigen Unterbrechung [48] bis hin zu einer Zeitspanne von zehn Jahren, die damit begründet wird, dass viele der leguminosenspezifischen Krankheitserreger über diesen Zeitraum hinweg im Boden überdauern können [41].

Einigkeit besteht dahingehend, dass neben der kulturspezifischen Ausprägung der Selbstunverträglichkeit zahlreiche weitere Einflussfaktoren die notwendige Länge der Anbaupause beeinflussen.

Eine engere Fruchtfolge ist demnach unter der Voraussetzung einer regelmäßigen Düngung mit Stallmist oder Kompost möglich. Diese Substrate fördern die biologische Aktivität des Bodens und tragen so zu einem verbesserten Abbau von Krankheitserregern bei [41]. In Feldversuchen eines breit angelegten Forschungsprojekts unter Federführung des BÖLN (Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft) konnte mit dem Einsatz von Grüngutkomposten der Befall mit bodenbürtigen Krankheiten an Erbsen um bis zu 80 % verringert werden [11].

Des Weiteren ist von Bedeutung, in welcher Intensität und über welchen Zeitraum hinweg die Leguminosen zum Anbau gebracht werden: Leguminosen-Getreide-Gemenge können enger gestellt werden als Reinbestände an Leguminosen, Sommerungen wiegen

weniger schwer als überwinternde Sorten. Grundsätzlich zu berücksichtigen bleibt der Anbau von Leguminosen jedoch immer, denn selbst über einzelne Pflanzen in Zwischenfruchtgemengen können Infektionsbrücken geschaffen werden, über die der Erreger auf die nachfolgende Hauptfrucht übertragen wird [69].

In Abhängigkeit der oben erläuterten Parameter werden von Zöllner [69] für Erbsen und Wicken folgende Anbaupausen empfohlen (Tabelle 2):

Tabelle 2: Empfohlene Anbaupausen bei Erbsen und Wicken im Haupt- und Zwischenfruchtanbau [69]

Fruchtart	Anbaupause in Jahren	Zentrale Schaderreger
Erbse	4–8	Fusariumwelke, Blattfleckenkrankheit
Wicke	3–5	Brennfleckenkrankheit, Fußkrankheiten, Stängelälchen

Beratungsinstitutionen des Ökolandbaus mahnten zuletzt jedoch an, die Anbaupausen weiter auszudehnen. Argumentiert wird dahingehend, dass die Anfälligkeit gegenüber Fußkrankheiten insbesondere bei den Erbsen wesentlich höher zu sein scheint als bisher angenommen. Beim mehrmaligen Anbau einer Leguminosenart auf einer Fläche müssten die Anbaupausen daher von Mal zu Mal verlängert werden, um Ertragsdepressionen zu vermeiden [63].

Mit Blick auf die Zukunft wäre es deshalb zu begrüßen, wenn über die Züchtung vermehrt Sorten entwickelt werden könnten, die eine Resistenz gegenüber den wichtigsten Erregern aufweisen. Einen möglichen Ansatzpunkt könnten die buntblühenden und damit tanninhaltigen Sorten liefern, die mutmaßlich weniger anfällig gegenüber leguminosenspezifischen Fruchtfolgekrankheiten sind [63].

3 Zielstellung

Wie die dargelegten Fakten zeigen, hat der Anbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen eine Reihe an Vorzügen aufzuweisen. Um diese weitreichend ausschöpfen und ausgewogene Bestände etablieren zu können, muss jedoch auch den pflanzenbaulichen Besonderheiten des Gemengeanbaus Rechnung getragen werden.

Historisch war der Anbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen zum Zwecke der Futternutzung weit verbreitet und auch heute werden sie insbesondere im ökologischen Landbau als proteinreiches Futtermittel geschätzt. Bezüglich ihrer Eignung als Biogas-substrat liegen hingegen kaum Erfahrungswerte vor.

Gegenstand des insgesamt dreijährigen Feldversuchs war deshalb die Untersuchung, mit welcher Art von Leguminosen-Getreide-Gemenge sich ausgewogene Mischungen etablieren lassen, die sowohl hinsichtlich der realisierbaren Trockenmasseerträge als auch bezüglich der inhaltsstofflichen Zusammensetzung den Anforderungen an einen Einsatz in der Biogaserzeugung genügen. Pflanzenbaulich sollten Strategien entwickelt werden, mit denen der hohe ökologische Nutzen des Gemengeanbaus mit möglichst geringem Zusatzaufwand zum Reinkulturanbau erhalten werden kann.

Arbeitsschwerpunkte des Projekts im Überblick

- Untersuchung verschiedener Mischungen von Winterroggen, Wintertriticale und Wintergerste mit den Leguminosen Zottelwicke, Pannonische Wicke und Wintererbse unter Variation der Saatgutanteile der Leguminosen, um diesen wichtigen Kostenfaktor möglichst gering zu halten,
- Prüfung des notwendigen Stickstoffniveaus mit ortsüblichen und reduzierten Düngevarianten,
- vegetationsbegleitende Bonituren zu Bestandsentwicklung, Bestandszusammensetzung (Deckungsgrade), Blühbeginn und Blühdauer der Leguminosen,
- Erhebung von Frischmasse- und Trockenmasseerträgen,
- Pflanzenanalysen zur Untersuchung der Gemengequalität im Hinblick auf die allgemeinen Siliereigenschaften sowie die nachfolgende Verwertung als Biogassubstrat oder als Futtermittel (v. a. Proteingehalt, Fasergehalt, Energiegehalt, theoretische Methanausbeute),
- Nachbau einer einheitlichen Sommerung, um den Vorfruchtwert der Gemenge abzubilden (Bodengare, N-Fixierung, Unkrautunterdrückung etc.).

4 Material und Methoden

4.1 Charakteristik der Versuchsstandorte

Der Anbau der Leguminosen-Getreide-Gemenge erfolgte über die gesamte Versuchslaufzeit auf jeweils zwei Standorten. Hintergrund war das Bestreben, das Entwicklungsvermögen der Leguminosen-Getreide-Gemenge sowohl auf einem guten als auch auf einem etwas schwächeren Standort beurteilen zu können. Eine der beiden Versuchsanlagen befand sich jeweils auf einem für das Gäubodengebiet typischen Lössstandort bei Straubing, der durch eine gute Wasserspeicherkapazität sowie eine hohe Ackerzahl charakterisiert war. Für den zweiten Standort wurden Flächen im Auengebiet der Donau nahe Aholting gewählt, welche eher mittlere Böden mit geringerer Wasserspeicherkapazität vorzuweisen hatten.

Nach der von Roßberg et al. [49] ausgewiesenen Gebietsgliederung Deutschlands nach Boden-Klima-Räumen sind sämtliche für den Versuchsanbau gewählte Standorte dem Sektor „Gäu, Donau- und Inntal“ zuzurechnen. Einen Überblick über die Standort- und Klimaparameter der Versuchsflächen in den Jahren 2013/2014 bis 2015/2016 gibt nachstehende Tabelle 3.

Tabelle 3: Standort- und Klimaparameter der Versuchsflächen, alle Versuchsjahre

Standort Jahr	Temperatur ^{*)} in °C	Niederschlag ^{*)} in mm	Bodenart	Ackerzahl	Vorfrucht
Aholting	9,5	749			
2013/2014			Ls	43	Frühkartoffeln
2014/2015			Sl	38	Frühkartoffeln
2015/2016			Sl	38	Mais
Straubing	9,4	746			
2013/2014			L	75	Winterweizen
2014/2015			Lu	76	Winterweizen
2015/2016			Lu	75	Winterweizen

^{*)} vieljähriges Mittel der Jahre 2001 bis 2015 aus den Daten der Agrarwettermessstation Piering für Straubing und der Agrarwettermessstation Sarching für Aholting [6]

4.2 Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde an den Standorten Aholting und Straubing mit einem Spektrum von jeweils 31 Varianten zu einem Saattermin durchgeführt. Zur Beurteilung der Vorfruchtwirkung erfolgte unmittelbar nach der Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge der Anbau einer einheitlichen Nachfrucht. Im Versuchsjahr 2013/2014 wurde Sorghum als Nachfrucht gewählt. Mit der Sorte Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*) fiel die Entscheidung auf einen Genotyp der frühen Reifegruppen, um auch in Zweitfruchtstellung noch eine

ausreichende Abreife zu gewährleisten. Als Reaktion auf die massive Lagerbildung in den Sorghumbeständen (vgl. Abschnitt 5.3.1) wurde der Versuchsaufbau modifiziert und in den Versuchsjahren 2014/2015 und 2015/2016 die Kulturart Mais als Nachfrucht herangezogen. Mit Wahl der Silomais-Sorte Monty (S 190) wurde auch hier, dem späten Saattermin entsprechend, ein Genotyp der sehr frühen Reifegruppe gewählt.

Der Kernversuch mit einem Gesamtumfang von 31 Varianten umfasste 24 Varianten verschiedener Leguminosen-Getreide-Gemenge, eine Wickroggenmischung mit Untersaat (DSV Wickroggen Plus mit Welschem Weidelgras) sowie 6 Reingetreidevarianten als Referenz. Einen Überblick über die im Versuch betrachteten Getreide-Reinsaaten bzw. Leguminosen-Getreide-Gemenge gibt Tabelle 4.

Tabelle 4: Übersicht der betrachteten Getreide-Reinsaaten bzw. Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuch

Gruppe ¹⁾	Wintergetreide ²⁾	Leguminose ³⁾	Untersaat ⁴⁾
Roggen-Gemenge	Winterroggen		
	Winterroggen	Zottelwicke	
	Winterroggen	Pannonische Wicke	
	Winterroggen	Zottelwicke	Welsches Weidelgras
Triticale-Gemenge	Wintertriticale		
	Wintertriticale	Wintererbse	
	Wintertriticale	Zottelwicke	
	Wintertriticale	Pannonische Wicke	
Gersten-Gemenge	Wintergerste		
	Wintergerste	Wintererbse	

¹⁾ Gruppierung der Varianten nach dem Getreidemischungspartner

²⁾ Winterroggen (*Secale cereale*), Wintertriticale (*Triticum aestivum* x *Secale cereale*), Wintergerste (*Hordeum vulgare*)

³⁾ Zottelwicke (*Vicia villosa*), Pannonische Wicke (*Vicia pannonica*), Wintererbse (*Pisum sativum*)

⁴⁾ Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*)

Neben der Variation der Getreideart und des Leguminosenpartners wurden in Abhängigkeit des angestrebten Anbauziels drei verschiedene Anteile an Leguminosen in der Gesamtmischung gewählt. Gemenge mit dem geringsten Leguminosenanteil im Versuch sind nachfolgend durch die Beschreibung „Leguminosenanteil min“, Gemenge mit mittlerem Leguminosenanteil durch „Leguminosenanteil mittel“ und Gemenge mit höchstem Leguminosenanteil durch „Leguminosenanteil max“ gekennzeichnet.

Während mit Fokus auf den Blühaspekt bereits eine geringe Anzahl an Pflanzen je Quadratmeter ausreicht, ist für eine relevante Stickstofffixierung ein deutlich höherer Anteil an Leguminosen zu wählen. Um speziell diesen Aspekt des Gemengeanbaus von Getreide und Leguminosen näher zu beleuchten, wurden die Varianten mit dem jeweils höchsten Leguminosenanteil ergänzend zur Normaldüngung auch unter der Vorausset-

zung einer reduzierten N-Düngegabe betrachtet. Als Vergleichsbasis dienten die entsprechenden Reingetreidevarianten, welche ergänzend zur ortsüblichen auch unter der Voraussetzung einer reduzierten Stickstoffgabe in Anbau gebracht wurden.

Eine detaillierte Aufstellung der im Versuch betrachteten Varianten mit Sortenbezeichnungen und Mischungsverhältnissen findet sich in Tabelle 17 im Anhang.

4.2.1 Bestandsführung der Leguminosen-Getreide-Gemenge

Die Aussaat der Leguminosen-Getreide-Gemenge erfolgte zeitgleich für alle Varianten Ende September. Sowohl die Reinsaaten als auch die Leguminosen-Getreide-Gemenge wurden in einem Arbeitsgang mit einem Reihenabstand von 14,5 cm gedrillt. Die Saatstärke für das Getreide wurde bei den Triticale- und Gersten-Gemengen, identisch zur Saatstärke bei Reinsaat, auf 280 bzw. 330 kmf. Körner/m² festgelegt. Der tendenziell höheren Konkurrenzkraft des Roggens wurde bei den Varianten mit hohem und mittlerem Wickenanteil mit einem Abschlag von 10 % auf die Saatstärke bei Reinsaat Rechnung getragen. Der Anteil der Leguminosen orientierte sich primär an der gesteckten Zielvorgabe, berücksichtigte aber auch die Konkurrenzkraft des jeweiligen Getreidepartners sowie der Leguminosenart selbst und lag in Abhängigkeit der Variante zwischen 3 % und 25 % der Saatstärke bei Reinsaat (vgl. Tabelle 17 im Anhang).

Über die Notwendigkeit eines Herbizideinsatzes in den Getreide-Reinsaaten wurde in Abhängigkeit des vorherrschenden Unkrautdrucks entschieden. Lediglich im Versuchsjahr 2013/2014 wurde die Schadschwelle überschritten und dem Unkrautdurchwuchs mit der Applikation von 0,9 l/ha Bacara Forte begegnet. In den Versuchsjahren 2014/2015 sowie 2015/2016 konnte davon abgesehen werden. Für den Gemengeanbau von Getreide und Leguminosen sind keine Präparate bekannt, die in beiden Kulturen verträglich sind, ferner besteht keine Zulassung. Im Allgemeinen zeichnen sich Leguminosen-Getreide-Gemenge aber durch eine gute Unkrautunterdrückung aus, sodass auf den Einsatz unkrautregulierender Maßnahmen verzichtet werden kann.

Auch von weiteren Pflanzenschutzmaßnahmen kann bei einer Ganzpflanzennutzung von Reingetreidebeständen bzw. Leguminosen-Getreide-Gemengen in der Regel abgesehen werden. Nur in Ausnahmefällen wird die Schadschwelle bis zum Erntetermin, der deutlich früher liegt als bei einer Kornnutzung, überschritten (vgl. Abschnitt 2.3.1). In der gesamten Versuchslaufzeit musste lediglich einmal mittels Fungizidapplikation auf einen *Rhynchosporium*-Befall an Triticale reagiert werden (vgl. Abschnitt 5.2.3).

Die Stickstoffdüngung der Bestände erfolgte in zwei Gaben zu den bei Ganzpflanzennutzung üblichen Entwicklungsstadien BBCH 27/29 (BBCH Getreide/Leguminose) und BBCH 33/36. Der guten fachlichen Praxis folgend wurde der N-Sollwert vorausgehend in Abhängigkeit der Ertragserwartung und des Getreide-Mischungspartners festgelegt. Für die Roggen-Gemenge ergab sich auf diese Weise ein Gesamtstickstoffbedarf von 170 kg N/ha, für Gerste- und Triticale-Gemenge ein Bedarf von 200 kg N/ha. Da in den Versuchsjahren 2013/2014 und 2014/2015 vermehrt mit Starkregen verbundene Gewitter zu verzeichnen waren, in deren Folge es wiederholt zu schwerem Lager in den Be-

ständen kam (vgl. Unterkapitel 5.2), entschied man sich im Versuchsjahr 2015/2016 zu einer Reduzierung der Stickstoffgaben, um das Lagerisiko zu senken. Im Ergebnis wurden die N-Sollwerte im Versuchsjahr 2015/2016 auf 130 kg N/ha bei Roggen, auf 160 kg N/ha bei Gerste und auf 170 kg N/ha bei Triticale festgelegt (vgl. Tabelle 5). Nach Abzug der jahres- und standortspezifischen N_{\min} -Gehalte im Boden wurden die verbleibenden Restdüngemengen ermittelt und standardmäßig auf zwei Gaben verteilt. Für die N-reduzierten Varianten wurde bereits vor Abzug von N_{\min} ein Abschlag in Höhe von ca. 30 % auf den N-Sollwert vorgenommen und die verbleibende Restdüngemenge, analog zu den normal gedüngten Varianten, auf zwei Gaben verteilt. Vom festgelegten Abschlag abgewichen werden musste im Versuchsjahr 2013/2014. Eine schubweise Mineralisation der hohen N_{\min} -Vorräte im Boden führte zu einer üppigen Bestandsentwicklung und früh einsetzendem Lager, sodass man gezwungen war, den Düngeplan mit einer deutlichen Reduktion der Stickstoffgaben zum 2. Termin kurzfristig anzupassen. Das Verhältnis der Düngegaben von den reduziert zu den normal gedüngten Varianten wurde dadurch leicht verschoben, sodass sich insbesondere bei den Triticale- und Gerste-Varianten am Standort Straubing ein etwas höherer Abschlag ergab. Auch im Versuchsjahr 2014/2015 erforderte die üppige Bestandsentwicklung am Standort Straubing eine kurzfristige Anpassung der 2. Düngegabe. Eine Reduzierung um 10 kg N/ha verschob das Verhältnis zwischen den normal und den reduziert gedüngten Varianten aber nur unwesentlich.

Die in Abhängigkeit von Versuchsjahr, N_{\min} -Gehalt, Getreidemischungspartner und Düngestufe applizierten Stickstoffmengen in kg N/ha sind ebenso wie die zugrunde liegenden Ausgangsdaten nachstehender Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Übersicht über die Stickstoffdüngung der Leguminosen-Getreide-Gemenge, alle Versuchsjahre

Standort Gruppe	Aholting			Straubing		
	Roggen	Triticale	Gerste	Roggen	Triticale	Gerste
2013/2014						
N-Sollwert in kg N/ha	170	200	200	170	200	200
N_{\min} in kg N/ha	90	90	90	60	60	60
Stickstoffgabe in kg N/ha Var. „normal“	80	100	100	75	100	110
Stickstoffgabe in kg N/ha Var. „reduziert“	30	40	40	35	40	50
2014/2015						
N-Sollwert in kg N/ha	170	200	200	170	200	200
N_{\min} in kg N/ha	25	25	25	35	35	35
Stickstoffgabe in kg N/ha Var. „normal“	145	175	175	125	155	155
Stickstoffgabe in kg N/ha Var. „reduziert“	95	115	115	75	95	95

Standort Gruppe	Aholting			Straubing		
	Roggen	Triticale	Gerste	Roggen	Triticale	Gerste
2015/2016						
N-Sollwert in kg N/ha	130	170	160	130	170	160
N _{min} in kg N/ha	20	20	20	20	20	20
Stickstoffgabe in kg N/ha Var. „normal“	110	150	140	110	150	140
Stickstoffgabe in kg N/ha Var. „reduziert“	70	100	90	70	100	90

Über die Notwendigkeit einer Mineralstoffdüngung von Phosphor, Kali und Magnesium wurde grundsätzlich auf Basis der in der Grundbodenuntersuchung vor Aussaat ermittelten Bodengehaltsstufen entschieden und bei Bedarf eine Aufdüngung auf die anzustrebende Gehaltsstufe C vorgenommen. Dem erhöhten Schwefelbedarf der Leguminosen wurde mit der Applikation von 30 kg Reinnährstoff/ha (Kieserit, 150 kg/ha) zu Vegetationsbeginn im Frühjahr Rechnung getragen.

Der Erntezeitpunkt der Leguminosen-Getreide-Gemenge orientierte sich am Entwicklungsstadium der Getreidemischungspartner und wurde im Hinblick auf eine maximale Biogas- und Methanausbeute zur frühen Teigreife (BBCH 83–85) festgelegt. Dem kürzeren Vegetationszyklus folgend lag der Erntetermin der Gersten-Gemenge deshalb vor dem der Roggen- und Triticale-Gemenge, die im Versuch zeitgleich beerntet wurden. Die exakten Termine für Aussaat und Ernte sowie die Eckdaten zu den Vegetationsperioden sind für sämtliche Versuchsjahre in nachfolgender Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Vegetationsperioden der Leguminosen-Getreide-Gemenge in Abhängigkeit von Standort und Getreidemischungspartner, alle Versuchsjahre

Standort Gruppe	Aholting			Straubing		
	Roggen	Triticale	Gerste	Roggen	Triticale	Gerste
2013/2014						
Aussaat	26.09.13	26.09.13	26.09.13	25.09.13	25.09.13	25.09.13
Auflaufen	02.10.13	02.10.13	02.10.13	02.10.13	02.10.13	02.10.13
Vegetationsende 2013 ¹⁾	15.11.13	15.11.13	15.11.13	15.11.13	15.11.13	15.11.13
Vegetationsbeginn 2014 ²⁾	12.03.14	12.03.14	12.03.14	12.03.14	12.03.14	12.03.14
Ernte	18.06.14	18.06.14	02.06.14	23.06.14	23.06.14	04.06.14
Anzahl Vegetationstage	148	148	132	154	154	135

Standort Gruppe	Aholting			Straubing		
	Roggen	Triticale	Gerste	Roggen	Triticale	Gerste
2014/2015						
Aussaat	02.10.14	02.10.14	02.10.14	30.09.14	30.09.14	30.09.14
Auflaufen	13.10.14	13.10.14	10.10.14	09.10.14	09.10.14	07.10.14
Vegetationsende 2014 ¹⁾	25.11.14	25.11.14	25.11.14	25.11.14	25.11.14	25.11.14
Vegetationsbeginn 2015 ²⁾	19.03.15	19.03.15	19.03.15	19.03.15	19.03.15	19.03.15
Ernte	25.06.15	25.06.15	02.06.15	29.06.15	29.06.15	02.06.15
Anzahl Vegetationstage	152	152	129	158	158	131
2015/2016						
Aussaat	01.10.15	01.10.15	01.10.15	30.09.15	30.09.15	30.09.15
Auflaufen	12.10.15	12.10.15	10.10.15	10.10.15	10.10.15	07.10.15
Vegetationsende 2015 ¹⁾	25.11.15	25.11.15	25.11.15	25.11.15	25.11.15	25.11.15
Vegetationsbeginn 2016 ²⁾	25.03.16	25.03.16	25.03.16	25.03.16	25.03.16	25.03.16
Ernte	22.06.16	22.06.16	08.06.16	23.06.16	23.06.16	08.06.16
Anzahl Vegetationstage	144	144	130	146	146	131

¹⁾ Definition nach Formayer et al. [26]: 5 aufeinanderfolgende Tage mit Tagesmittel < 5 °C

²⁾ Definition nach Formayer et al. [26]: 5 aufeinanderfolgende Tage mit Tagesmittel > 5 °C

4.2.2 Bestandsführung der Nachfrucht

Die Aussaat der Nachfrucht erfolgte jeweils unmittelbar im Anschluss an die Beerntung der Leguminosen-Getreide-Gemenge, sodass sich pro Standort zwei Saattermine ergeben. Die auf die Gerstenvarianten folgende Aussaat wird nachfolgend als Saattermin 1 (T 1), die auf die Roggen- und Triticalevarianten folgende Aussaat als Saattermin 2 (T 2) bezeichnet. Die jahresspezifischen Anbaudaten der Nachfrucht werden in Tabelle 7 ausgewiesen. Ergänzend werden sowohl die Temperatur- als auch die Niederschlagssumme für die Vegetationsperiode der Nachfrucht dargestellt, da diese beiden Größen häufig den begrenzenden Faktor für eine erfolgreiche Etablierung einer Zweitkultur bilden. Auf die Bestandsführung der Nachfrucht Sorghum im Versuchsjahr 2013/2014 wird nicht näher eingegangen, da infolge der Lagerbildung im Saattermin 2 keine verwertbaren Ergebnisse für die Fragestellungen im Versuch gewonnen werden konnten (vgl. Abschnitt 5.3.1).

Tabelle 7: Eckdaten zum Anbau der Nachfrucht in Abhängigkeit von Standort und Saattermin, alle Versuchsjahre

Standort	Aholting		Straubing	
	T 1	T 2	T 1	T 2
2014 (Sorghum, Sorte Lussi)				
Aussaat	04.06.14	25.06.14	06.06.14	27.06.14
Ernte	07.10.14	– ³⁾	09.10.14	– ³⁾
Anzahl Vegetationstage	125		125	
Temperatursumme ¹⁾ in °C	772		772	
Niederschlagssumme in mm	234		244	
2015 (Mais, Sorte Monty)				
Aussaat	05.06.15	01.07.15	05.06.15	03.07.15
Ernte	15.09.15	13.10.15	12.10.15	16.09.15
Anzahl Vegetationstage	102	104	103	101
Temperatursumme ²⁾ in °C	1345	1236	1370	1213
Niederschlagssumme in mm	169	112	213	161
2016 (Mais, Sorte Monty)				
Aussaat	13.06.16	29.06.16	13.06.16	05.07.16
Ernte	21.09.16	19.10.16	22.09.16	13.10.16
Anzahl Vegetationstage	100	112	101	100
Temperatursumme ²⁾ in °C	1299	1117	1307	1061
Niederschlagssumme in mm	208	192	328	270

¹⁾ Temperatursummen nach AGPM-Modell [22]

²⁾ Wärmesumme gemäß Mais-Reifeprognosemodell nach AGPM [22] und Anpassung der Basistemperatur von 10 °C an Sorghum [28]

³⁾ wegen Lagerbildung keine Beerntung möglich

Unter Berücksichtigung der Standortbedingungen sowie der fruchtartspezifischen Anforderungen wurde die Grundbodenbearbeitung vor Aussaat der Nachfrucht Mais standardmäßig mittels Flachgrubber durchgeführt. Auf diese Weise sollten unnötige Feuchtigkeitsverluste vermieden werden und der Wasseranschluss erhalten bleiben. Nach vorangegangener Saatbeetbereitung mit Kreiselegge und Packerwalze wurde die Kultur per Einzelkornsäugerät mit einem Reihenabstand von 75 cm und einer Saatstärke von 10 keimfähigen Körnern/m² zur Aussaat gebracht. Für eine verbesserte Jugendentwicklung wurde standardmäßig eine Unterfußdüngung mit 30 kg N/ha sowie 80 kg P/ha durchgeführt. Auf weitere Stickstoffgaben wurde im Hinblick auf die Beurteilung der Vorfruchtwirkung der Leguminosen-Getreide-Gemenge verzichtet.

Als Reaktion auf durchwachsende Unkräuter wurde grundsätzlich eine Herbizidapplikation im Nachauflauf (BBCH 13–16) durchgeführt. Die Auswahl der Wirkstoffe und Auf-

wandsmengen wurde nach guter fachlicher Praxis in Abhängigkeit des Unkrautspektrums und der Witterungsbedingungen getroffen (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Herbizideinsatz in der Nachfrucht Mais in den Versuchsjahren 2015 und 2016

Standort	Aholting		Straubing	
	T 1	T 2	T 1	T 2
2015				
Präparat	Clio Super	Clio Super	Clio Super	Clio Super
Aufwandsmenge	1,5 l/ha	1,5 l/ha	1,5 l/ha	1,5 l/ha
	Certrol B	Certrol B	Certrol B	Certrol B
	0,75 l/ha	0,6 l/ha	0,75 l/ha	0,6 l/ha
		Mais Banvel		Mais Banvel
		250 g/ha		250 g/ha
2016				
Präparat	Clio Super	Certrol B	Clio Super	Certrol B
Aufwandsmenge	1,5 l/ha	0,75 l/ha	1,5 l/ha	1,5 l/ha
		Gardo Gold		
		2,5 l/ha		

4.3 Ernte und Probenaufbereitung

Die Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge erfolgte als Ganzpflanze durch einen reihenunabhängigen Parzellenhäcksler (vgl. Abbildung 2). Bei stark lagernden Beständen wurde für eine verbesserte Aufnahme des Pflanzenmaterials ein Grünguternter eingesetzt. Beide Erntegeräte verfügen über eine Wiegeeinrichtung und ermöglichen die Entnahme einer homogenen Probe aus dem Erntegutstrom für die nachfolgenden Analysen.

Die gewonnenen Frischmasseproben wurden bei maximal 60 °C getrocknet und bis zur Laboruntersuchung geschützt gelagert. Zusätzlich erfolgte jeweils die Entnahme einer separaten Probe für die TS-Bestimmung. Diese wurde nach den Richtlinien des Bundesortenamts [13] bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Die Beerntung der Nachfrucht Mais wurde ebenfalls mit dem reihenunabhängigen Parzellenhäcksler vorgenommen. Die Entnahme sowie die Aufbereitung des Probenmaterials erfolgten analog zur Hauptfrucht.



Abbildung 2: Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge mit einem reihenunabhängigen Parzellenhäcksler

4.4 Wertgebende Inhaltsstoffe und Biogasertragspotenzial

Die Ermittlung der wertgebenden Inhaltsstoffe wurde in Anlehnung an die Futtermittelanalytik vorgenommen. Diese gibt Aufschluss über die Zusammensetzung des Pflanzenmaterials und dessen Verdaulichkeit. Neben der Quantifizierung von Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und N-freien Extraktstoffen nach dem Weender Verfahren erfolgte eine Erweiterung der Analyse nach van Soest. Zusätzlich ausgewiesen wurden damit die Gehalte an Cellulose, Hemicellulose und Lignin; es erfolgte keine vollständige Darstellung der nach van Soest üblichen Parameter. Im Rahmen der Mineralstoffanalyse wurden die Gehalte von Phosphor, Kalium, Magnesium und Schwefel im Erntegut bestimmt.

Die Analysen wurden nach Ausschreibung von Food GmbH Jena Analytik & Consulting unter Verwendung der folgenden Standardprozeduren nach VDLUFA [61] durchgeführt:

Rohasche (XA): VDLUFA, MB Bd. 3, Unterkapitel 8.1,

Rohprotein (XP): über die Bestimmung des Stickstoffgehalts (Dumas) nach VDLUFA MB. Bd. 3, Abschnitt 4.1.2; Multiplikation von Gesamt-N mit dem Faktor 6,25 ergibt den Rohproteingehalt der Ausgangssubstanz,

Rohfett (XL): VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 5.1.1,

Rohfaser (XF): VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 6.1.2,

N-freie Extraktstoffe (NfE): rechnerische Ermittlung aus der Differenz zwischen organischer Trockenmasse und der Summe aus Rohfett-, Rohprotein- und Rohfasergehalt,

NDF (van Soest): *neutral detergent fiber*; VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 6.5.1; Fraktion enthält Hemicellulose, Cellulose und Lignin,

ADF (Van Soest): *acid detergent fiber*; VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 6.5.2; Fraktion enthält Cellulose und Lignin; die Differenz zwischen NDF und ADF entspricht dem Gehalt an Hemicellulosen,

ADL (van Soest): *acid detergent lignin*; VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 6.5.3; Differenz zwischen ADF und ADL entspricht dem Gehalt an Cellulose,

Mineralstoffe: VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 2.2.2.6,

Methanertragspotenzial: Die Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute erfolgte exemplarisch für einen Standort. Die Auswahl des Standorts wurde im Vorfeld der Ernte auf Grundlage der Bestandsentwicklung getroffen. Ziel war es, das tatsächliche Potenzial der Kulturen beleuchten zu können und den Einfluss anderer Faktoren, beispielsweise durch aufgetretenes Lager, zu reduzieren. Im Fokus der Untersuchung stand die Fragestellung, inwieweit sich das Methanertragspotenzial der verschiedenen Varianten unterscheidet. Insbesondere herausgestellt werden sollte, ob im direkten Vergleich von Reingetreide und Leguminosen-Getreide-Gemengen signifikante Unterschiede nachzuweisen sind. Auch eine mögliche Abhängigkeit von Leguminosenart und -anteil wurde beleuchtet.

Als Methodik wurde das Verfahren des Hohenheimer Biogasertragstests (HBT) nach DIN 38414-8 [19] und VDI 4630 [62] in dreifacher Wiederholung festgelegt. Für die Durchführung wurde, ebenfalls nach Ausschreibung, das Landwirtschaftliche Labor Dr. Janssen beauftragt.

Ausgewählte Versuchsvarianten wurden zudem dem Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), dem und dem ATB Potsdam für hauseigene Gärtests zur Verfügung gestellt. An der LfL erfolgte die Bestimmung des Methanbildungspotenzials an getrocknetem Häckselmaterial. Die Durchführung der Gärtests [15] erfolgte in Anlehnung an die Methoden des VDI [62] und der VDLUFA [60]. Am ATB Potsdam wurde das Methanbildungspotenzial an silierten Proben mittels Batch-Ansatzes [29] ermittelt. Die Ergebnisse wurden dem Datenpool einer breit angelegten Studie zur Ermittlung des Methanbildungspotenzials verschiedener Pflanzenarten aus Energiefruchtfolgen zugeführt [30].

4.5 Vorfruchtwert der Leguminosen-Getreide-Gemenge

Als Grundlage für die Beurteilung der Vorfruchtwirkung der Leguminosen-Getreide-Gemenge dienten die N_{\min} -Bodengehalte nach Ernte, die Bestandsentwicklung der Nachfrucht sowie deren quantitative und qualitative Ertragsleistung.

Die exakte Quantifizierung der Stickstoffvorräte im Boden erfolgte durch eine variantengenaue Beprobung im unmittelbaren Anschluss an die Beerntung der Leguminosen-Getreide-Gemenge (VDLUFA MB. Bd. 1, Abschnitt 6.1.4.1). Am Standort Aholting konnte die Beprobung infolge des sandigen Bodens nur bis zu einer Tiefe von 60 cm durchgeführt werden, für Straubing liegen Werte bis zu der üblichen Probentiefe von 90 cm vor.

Die Bestimmung der pflanzlichen Inhaltsstoffe in der Nachfrucht Mais wurde mittels NIRS-Methode (Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie) nach VDLUFA, MB Bd. 3, Unterkapitel 31.2 vorgenommen. Im Versuchsjahr 2015/2016 erfolgte die Analytik aus technischen Gründen durch einen nasschemischen Aufschluss der Proben gemäß den in Unterkapitel 4.4 aufgeführten Standardprozeduren.

Ergänzend erfolgte eine rechnerische Ermittlung des Gas- und Methanbildungspotenzials nach Friedrich Weißbach [66]. Weißbach hat für seine Modelle Gleichungen zur Schätzung der fermentierbaren organischen Trockensubstanz (FoTS) etabliert. Für die meisten Substrate, so auch für Mais, basieren diese auf dem Rohfasergehalt (vgl. Formel (4.1))

$$\begin{aligned} \text{Methanausbeute} \left(\frac{lCH_4}{kg TM} \right) &= 0,420 \cdot FoTS \left(\frac{g}{kg TM} \right) \\ &= 0,420 \cdot (984 - XA - 0,47 \cdot XF - 0,00104 \cdot XF^2) \end{aligned} \quad (4.1)$$

4.6 Vegetationsbegleitende Datenerhebung

Für eine vergleichbare Darstellung des Entwicklungsverlaufs zwischen den Kulturarten sowie zwischen den einzelnen Versuchsjahren wurde sowohl für die Haupt- als auch für die Nachfrucht eine vegetationsbegleitende Erhebung der Entwicklungsstadien durchgeführt. Die Bewertung der Kulturen erfolgte auf Grundlage der artspezifischen BBCH-Codierung [44], die Getreide- bzw. Leguminosenpartner innerhalb der Gemeinde wurden getrennt betrachtet.

Die zur Hauptkultur ergänzend durchgeführten Deckungsgradbonituren geben Aufschluss über die Bestandsdichte, die Bestandszusammensetzung sowie die Entwicklung der beiden Parameter über den Vegetationsverlauf hinweg. Als Bezugsgröße dient nach Definition des Bundessortenamts in den Richtlinien für die Durchführung landwirtschaftlicher Wertprüfungen und Sortenversuche [13] ein Prozentwert, der widerspiegelt, welchen Anteil der Bodenoberfläche die betrachtete Kulturart beim senkrechten Blick von oben bedeckt.

4.7 Statistische Auswertung

Der Feldversuch wurde in einer randomisierten Spalt-Anlage in Form von Doppelparzellen in vierfacher Wiederholung angelegt; die einzelnen Wiederholungen waren durch Großteilstücke (Düngestufe) und die darin eingebetteten Mittelteilstücke (Getreidemischungspartner) gegliedert. Aus pflanzenbaulichen Gründen variierten die gewählten Leguminosenpartner in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners. Der Versuchsaufbau war an dieser Stelle nicht orthogonal. Die verschiedenen Leguminosen-Getreide-

Gemenge wurden deshalb als einfaktorielle Varianten (Getreideart \times Leguminosenart statt Faktor 1 = Getreide und Faktor 2 = Leguminose) betrachtet.

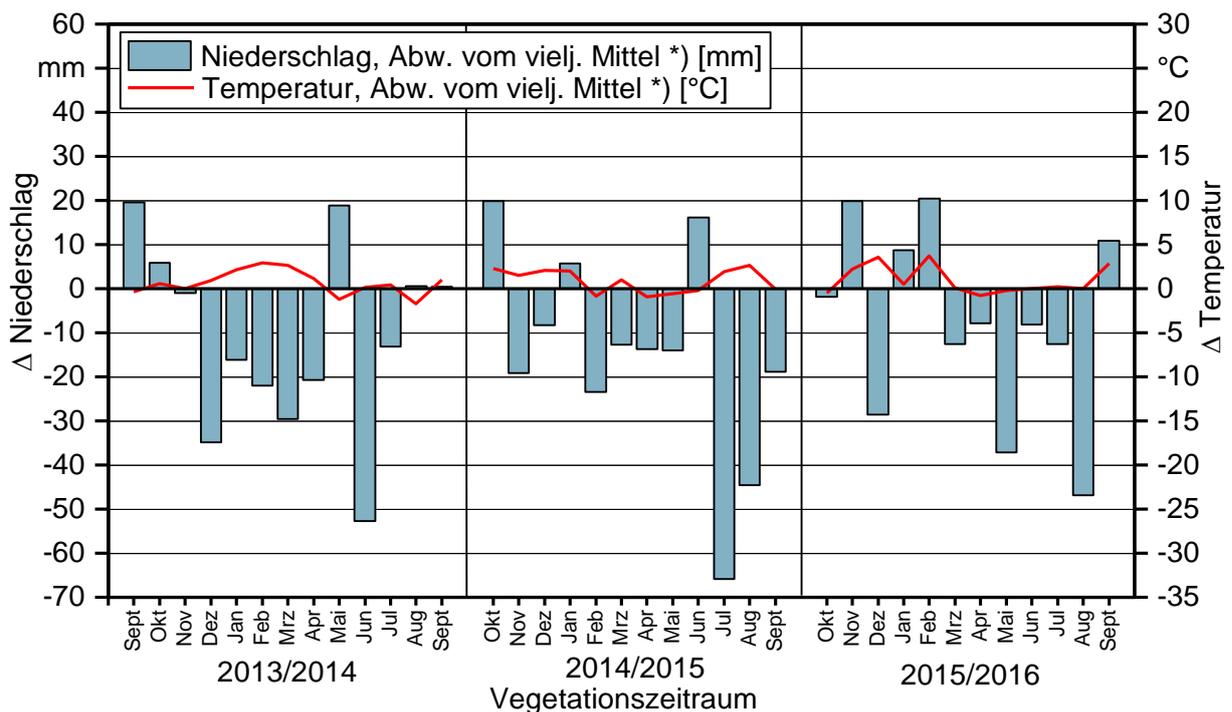
Für die statistische Datenanalyse der TM-Erträge und der TS-Gehalte wurde die Software SAS Version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) verwendet. Im Vorfeld wurden die Daten auf Varianzhomogenität und Normalverteilung geprüft. Die Varianzanalysen wurden mittels der Prozedur Mixed ausgeführt. Zusammenhänge zwischen Parametern wurden mittels der Prozedur Korr geprüft. Signifikante Unterschiede beruhen auf einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Für die grafische Darstellung wurde das Programm OriginPro 2015 (OriginLab, Northampton, MA, USA) verwendet.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Klimatische Rahmenbedingungen

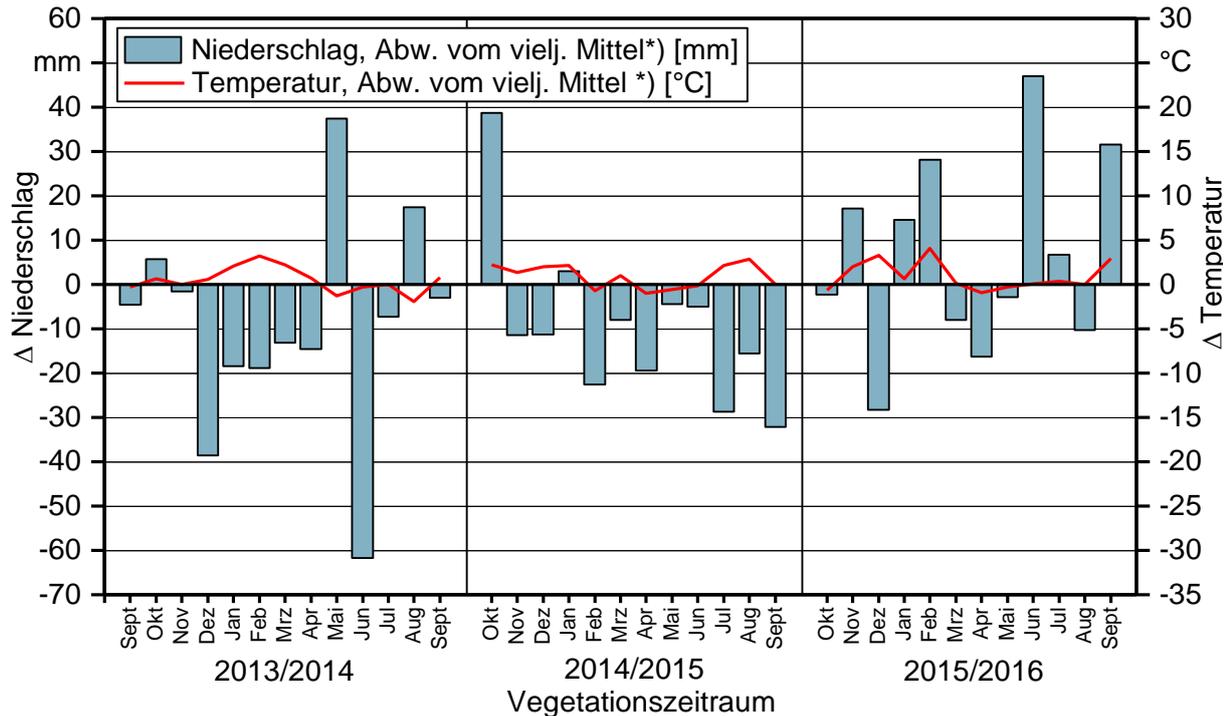
Über die gesamte Versuchslaufzeit hinweg erwies sich der Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode als wesentliche Einflussgröße auf die Entwicklung der Leguminosen-Getreide-Gemenge und deren Nachfrucht. So wirkte sich die Niederschlagsmenge im Frühsommer unmittelbar auf die Bestandszusammensetzung der Leguminosen-Getreide-Gemenge aus. Die Temperaturen und insbesondere die Wasservorräte im Hoch- und Spätsommer entschieden maßgeblich über die erfolgreiche Etablierung der Nachfrucht.

Der charakteristische Witterungsverlauf eines Jahres wird im Vergleich zum vieljährigen Mittel besonders deutlich, sodass die nachfolgenden Grafiken (vgl. Abbildung 3 und Abbildung 4) jeweils die Abweichung der Jahreswerte zum langjährigen Mittel in Abhängigkeit des Standorts ausweisen. Der betrachtete Zeitraum von September des Aussaatjahrs bis September des Erntejahrs umfasst die Vegetationsperioden von Haupt- und Nachfrucht.



¹⁾ vieljähriges Mittel der Jahre 2001 bis 2015 aus den Daten der Agrarwettermessstation Sarching (für Aholfing) [6]

Abbildung 3: Witterungsverlauf am Standort Aholfing während der gesamten Versuchslaufzeit im Vergleich zum vieljährigen Mittel (2001–2015)



¹⁾ vieljähriges Mittel der Jahre 2001 bis 2015 aus den Daten der Agrarwettermessstation Piering (für Straubing) [6]

Abbildung 4: Witterungsverlauf am Standort Straubing während der gesamten Versuchslaufzeit im Vergleich zum vieljährigen Mittel (2001–2015)

Der Vegetationsverlauf im Versuchsjahr 2013/2014 wurde in hohem Maße durch die außergewöhnlich milde Witterung im Winterhalbjahr geprägt. Mit einem beinahe nahtlosen Übergang in ein ebenso warmes wie trockenes Frühjahr begann das Vegetationsjahr 2014 außerordentlich früh, sodass die Winterungen dem jahreszeitlich üblichen Entwicklungsstand Ende April um etwa drei Wochen vorauslagen. Schwierigkeiten bereitete die zunehmende Trockenheit. Die Niederschläge im Mai vermochten das bestehende Wasserdefizit zwar vorübergehend auszugleichen, reichten in Abhängigkeit der Bodenbeschaffenheit der Standorte aber nur bedingt, um die Bestände auch über den trockenen Juni hinweg ausreichend mit Feuchtigkeit zu versorgen. Unter Trockenstress litten vor allem die Kulturen am leichteren Standort Aholting. Nach weitgehend günstigen Witterungsbedingungen sowohl zur Ernte der Hauptfrucht als auch zur Aussaat der Nachfrucht Sorghum entwickelten sich die Bestände zunächst gut. Gewitter mit böigen Winden und Starkregenereignissen Ende September waren jedoch Auslöser für massive Lagerschäden in den Sorghumbeständen, in deren Folge diese nicht mehr beerntet werden konnten (vgl. Abschnitt 5.3.1).

Das Kalenderjahr 2014 ging als wärmstes Jahr seit Aufzeichnungsbeginn in die Geschichte der Agrarmeteorologie ein. Entsprechend mild begann auch das Vegetationsjahr für die Versuchskulturen im zweiten Anbaujahr. Starke Gewitterschauer Anfang Oktober führten am Standort Straubing jedoch zu einer massiven Verschlammung mit nachfolgender Verkrustung der Bodenoberfläche, sodass insbesondere die Roggenvarianten nicht vollständig zum Auflaufen kamen (vgl. Abschnitt 5.2.2). Nach einem insgesamt milden Verlauf des Winters starteten die Bestände ohne Auswinterungsschäden ins Früh-

jahr. Die phänologische Entwicklung der Kulturen verlief im normalen Tempo. Im Mai und Juni profitierten die Bestände von den – im Gegensatz zu Restdeutschland – regional ausreichend starken Niederschlägen, entwickelten sich gut und erlangten zum üblichen Zeitpunkt die Silierreife. Extreme Trockenheit brachten die Monate Juli und August. Der als Nachfrucht im unmittelbaren Anschluss an die Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge gesäte Mais reagierte auf den Wassermangel mit deutlicher Trockenstresssymptomatik und erbrachte nur eine geringe Ertragsleistung. Infolge einsetzender Fröste Mitte Oktober mussten die Bestände noch vor Erreichen der optimalen Silierreife beerntet werden (vgl. Abschnitt 5.3.2).

Der Witterungsverlauf zu Beginn des dritten Versuchsjahrs zeigte sich insgesamt durchschnittlich. Die Monate September und Oktober waren jedoch – ebenso wie der vorangegangene Sommer – deutlich zu trocken. Erst durch ausgiebige Regenfälle im November konnte das bestehende Niederschlagsdefizit ausgeglichen werden. Der Winter startete zu mild, sodass der Eintritt in die Vegetationsruhe nur zögerlich erfolgte. Insgesamt fiel die Jahreszeit sehr warm und auch feuchter als im vieljährigen Mittel aus. Der Frühling 2016 hingegen präsentierte sich mit insgesamt ausgeglichenen Temperaturen. Wiederkehrende, kürzere Fröste im April beeinträchtigten das Wachstum der artspezifisch kälteempfindlicheren Leguminosen nicht. Ausreichend Niederschläge trugen zu einer üppigen Entwicklung der Kulturen bei, erhöhten jedoch auch das Infektionsrisiko der Pflanzen mit Pilzkrankheiten, was sich im konkreten Fall in einem Befall der Triticalebestände mit der *Rhynchosporium*-Blattfleckenkrankheit niederschlug (vgl. Abschnitt 5.2.3). Von den gebildeten Wasservorräten im Boden profitierte auch die Nachfrucht Mais, für die sich insgesamt gute Entwicklungsbedingungen boten. Ein Starkregenereignis am Standort Straubing, das sich unmittelbar nach Aussaat des 1. Saattermins ereignete, führte jedoch zu erschwerten Auflaufbedingungen für diese Varianten (vgl. Abschnitt 5.3.3). Auch die nachfolgende Vegetationszeit wurde von wiederkehrenden, lokal begrenzten Gewitterschauern geprägt, welche sich am Ende in stark differenzierenden Niederschlagssummen in Abhängigkeit des Standorts widerspiegelten. Darüber hinaus boten die warmen Temperaturen im Verlauf des Sommers und insbesondere des Septembers aber optimale Voraussetzungen für die Entwicklung der Zweitfrucht. Eine sichere Abreife mit Trockensubstanzgehalten von über 28 % konnte dennoch nur von den Beständen am Standort Aholting erreicht werden, während die Varianten am Standort Straubing, wohl auch vor dem Hintergrund einer deutlich besseren Wasserversorgung, den anzustrebenden Richtwert nicht immer erreichten.

5.2 Bestandsentwicklung der Leguminosen-Getreide-Gemenge

5.2.1 Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2013/2014

Die Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2013/2014 war in hohem Maße vom Witterungsverlauf geprägt. Bis ins späte Frühjahr hinein profitierten die Kulturen von den außergewöhnlich milden Temperaturen im Verlauf des Winterhalbjahrs.

Der Vegetationsbeginn im Jahr 2014 war mit Anfang März äußerst zeitig und rund zwei Wochen früher als im langjährigen Mittel zu datieren. Eine erste Bestandskontrolle zeigte an beiden Standorten gut entwickelte Jungpflanzen ohne Anzeichen für Auswinterungsschäden oder einen Krankheits- und Schädlingsbefall. Begleitet von optimalen Wachstumsbedingungen war im weiteren Verlauf nicht nur ein zügiges Voranschreiten der Entwicklungsstadien, sondern auch ein enormer Längen- und Massezuwachs zu beobachten.

Ende April traten die Leguminosen etwa zeitgleich mit dem Getreide in die generative Entwicklung ein. Der Blühbeginn der Leguminosen war in Abhängigkeit von Art und Standort ab Mitte Mai zu datieren. Im Vergleich der Arten setzte die Blüte bei Erbse und Pannonischer Wicke als Erstes und nahezu zeitgleich ein, die Zottelwicke folgte mit einem deutlichen Abstand von rund einer Woche. Durch die fortwährende Ausbildung neuer Blütentrauben erstreckte sich die Blühdauer der Wicken über einen deutlich längeren Zeitraum als bei der Erbse, die nach nur kurzer Blühdauer rasch Hülsen ausbildete.

Im Vergleich der Standorte war bei den Leguminosen in Aholting, ebenso wie beim Getreide, ein leichter Entwicklungsvorsprung zu beobachten. Gleichzeitig wirkte der Habitus der Pflanzen aber eher spärlich. Die Bestände in Straubing verweilten deutlich länger in der vegetativen Entwicklung und bildeten vergleichsweise mehr Grünmasse aus als in Aholting. Da hinsichtlich der vorherrschenden Witterungsbedingungen keine signifikanten Unterschiede nachzuweisen waren, wird diese Entwicklung auf die unterschiedlichen Bodenqualitäten der Standorte zurückgeführt (vgl. Tabelle 3). Der sandige Boden am Standort Aholting verfügt über deutlich weniger Wasserkapazität als der lehmige Boden am Standort Straubing. In Verbindung mit der vorherrschenden Frühsommertrockenheit und dem zunehmenden Trockenstress traten die Leguminosen am Standort Aholting verfrüht in die Abreife ein.

Ab dem Zeitpunkt des Ährenschiebens war in den Roggen- und Gerstenbeständen bei den Standorten das Auftreten pilzlicher Schaderreger zu beobachten. In den Gerstenbeständen zeigte sich ein mäßiger Befall mit Netzflecken, in den Roggenbeständen trat ein mäßiger Befall mit Braunrost auf. Die Schadschwellen wurden nicht überschritten, so dass auf einen Fungizideinsatz verzichtet werden konnte.

Als weitaus gravierender war die massive Lagerbildung in den Gersten- und Roggenvarianten zu bewerten. Sämtliche Gemengevarianten mit Triticale als Mischungspartner hingegen waren vom Lagerereignis nicht betroffen. Die nach den Richtlinien des Bundesortenamts für Getreide (Unterkapitel 5.6) [13] parzellengenau ermittelten Boniturnoten können Tabelle 18 im Anhang entnommen werden.

Als Hauptursache der mangelnden Standfestigkeit darf die wüchsige Witterung in Kombination mit einer schubweisen Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs im Boden vermutet werden. Demnach waren die Bestände auf der lehmig-schweren und zugleich humusreicheren Fläche in Straubing signifikant stärker vom Lager betroffen als auf der tendenziell sandigen Fläche in Aholting (vgl. Abbildung 5).

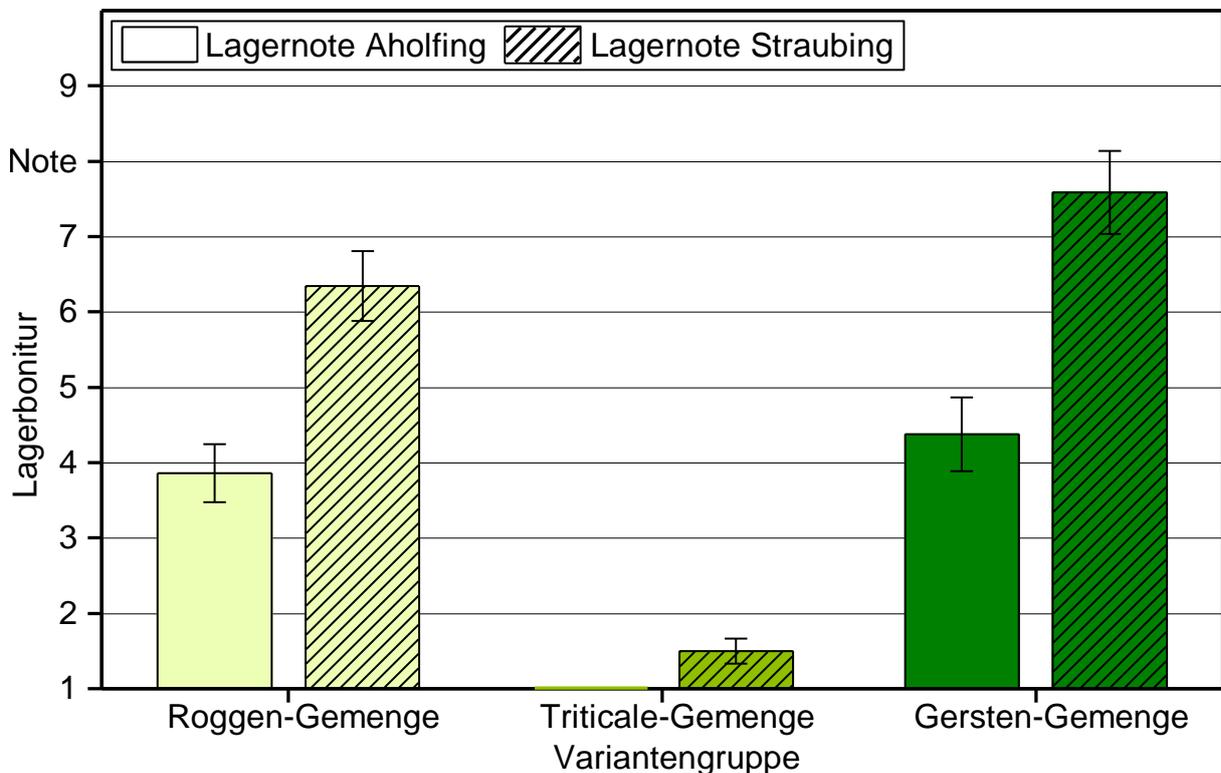


Abbildung 5: Ergebnisse der Lagerbonitur im Versuchsjahr 2013/2014 in Abhängigkeit von Standort und Getreidemischungspartner, beide Düngestufen

Unabhängig von Standort und Getreidemischungspartner konnte für die Bestände mit reduzierter Stickstoffgabe (Variantengruppe „N-reduziert“) eine signifikant bessere Standfestigkeit nachgewiesen werden als für die Bestände mit einer Stickstoffgabe in üblicher Aufwandsmenge (Variantengruppe „N-normal“). Grundlage dieser Aussage bildet die direkte Gegenüberstellung der Varianten, die – ceteris paribus – sowohl unter normaler als auch unter reduzierter Düngung betrachtet wurden (vgl. Unterkapitel 4.2). Während die reaktiv veranlasste Reduzierung der Stickstoffapplikation zum zweiten Düngetermin nicht ausreichte, um eine Lagerbildung zu verhindern, zeigte die von vornherein stark eingeschränkte Düngung in der Variantengruppe „N-reduziert“ ausreichend Wirkung, um den bestehenden Stickstoffüberschuss in relevantem Maße zu senken und die Lagerneigung der Bestände auf diese Weise zu verringern (vgl. Abbildung 6).

Ein Zusammenhang zwischen dem Schweregrad des Lagers und dem Leguminosenanteil im Gemenge, welcher in den Versuchsjahren 2014/2015 und 2015/2016 klar nachzuweisen war, konnte im Versuchsjahr 2013/2014 nicht abgesichert werden.



Abbildung 6: *Unterschiedliche Lagerneigung von Gerstenbeständen bei üblicher N-Aufwandsmenge (links) und reduzierte N-Aufwandsmenge (rechts), Versuchsjahr 2013/2014*

5.2.2 Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2014/2015

Die Bestandsentwicklung der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015 verlief durchweg positiv, war in einigen Versuchsvarianten am Standort Straubing jedoch bis zur Ernte von Auflaufschwierigkeiten geprägt.

Die Aussaat konnte für beide Standorte termingerecht und unter optimalen Bedingungen durchgeführt werden. Unwetterartige Niederschläge im Tagesverlauf des 03.10.2014 führten am Standort Straubing jedoch zu einer großflächigen Verschlämmung des Saatbetts (vgl. Abbildung 7). Nach dem Abtrocknen zeigte sich eine betonartige Verkrustung, die von den auflaufenden Jungpflanzen nicht durchbrochen werden konnte. Durch eine Oberflächenbearbeitung mittels Prismenwalze sowie erneute Niederschläge konnten in den Gerste- und Triticalevarianten letztlich noch befriedigende Auflaufquoten von rund 80 % erzielt werden. Deutlich schwächer war der Feldaufgang in den Roggenvarianten. Dieser lag bei nur 40 % der angestrebten Bestandsdichte. Die Ergebnisse der 1. Wiederholung mussten sogar vollständig verworfen werden, da das Saatgut in den zugehörigen Parzellen, welche am Fußende der leicht hängigen Fläche lagen, teilweise ausgespült worden war. Obwohl Roggen bekanntermaßen empfindlicher auf nicht optimale Aussaatbedingungen reagiert als andere Getreidearten, ist zu vermuten, dass im vorliegenden Fall zudem eine mangelhafte Triebkraft der verwendeten Saatgutpartie den schlechten Auflauf bedingt hat. Diesen Schluss lässt zumindest die im Vergleich deutlich bessere Auflaufquote des aus anderer Herkunft stammenden Roggens in der GPS-Mischung „Wickroggen plus“ zu.



Abbildung 7: Verkrustetes Saatbett (links) und lückiger Auflauf der Roggenvarianten (rechts) am Standort Straubing, Versuchsjahr 2014/2015

Dank der milden Witterung im weiteren Verlauf verblieb auch für die verzögert aufgelaufenen Varianten am Standort Straubing noch ausreichend Vegetationszeit, um Ende November angemessen entwickelt in die Winterruhe einzutreten. Eine erste Bestandskontrolle zu Vegetationsbeginn Mitte März 2015 zeigte an beiden Standorten gut entwickelte Jungpflanzen ohne Anzeichen für Auswinterungsschäden oder einen Krankheits- und Schädlingsbefall.

Begleitet von optimalen Wachstumsbedingungen war im weiteren Verlauf ein gleichmäßiges Voranschreiten der Entwicklungsstadien zu beobachten. Die Versuchsanlage in Aholting wies ein ausgesprochen homogenes Bestandsbild auf, während die Bestände in Straubing infolge der Auflaufprobleme noch immer unruhig wirkten. In den Roggenvarianten war darüber hinaus eine erwartungsgemäß starke Bestockung zu verzeichnen, welche das Defizit an Pflanzen jedoch nicht vollständig zu kompensieren vermochte (vgl. Abbildung 7, rechts).

Der Blühbeginn der Leguminosen war in Abhängigkeit von Art und Standort ab Ende der zweiten Maidekade zu datieren. Im Vergleich der Arten setzte die Blüte bei Erbse und Pannonischer Wicke wie im ersten Versuchsjahr als Erstes und nahezu zeitgleich ein, die Zottelwicke folgte erneut etwa eine Woche später. Zum Erntetermin der Gersten-Erbsen-Gemenge waren die Erbsen im Abblühen, hatten im Vergleich zum Vorjahr aber noch keine Hülsen ausgebildet. Der priorisierte Blühaspekt kam damit vollständig zum Tragen, bei einer Verwendung der Ganzpflanzensilage in der Wiederkäuerfütterung wäre jedoch eine fortgeschrittene Abreife der Erbsen, verbunden mit einer Aufwertung des Eiweißgehalts durch die proteinreichen Fruchtstände, wünschenswert gewesen. Generell konnten im Mischanbau von Gerste und Erbsen jedoch ausgewogene Gemenge etabliert werden, die sich standfest und ohne wahrnehmbare Krankheitssymptomatik präsentierten und problemlos beerntet werden konnten.

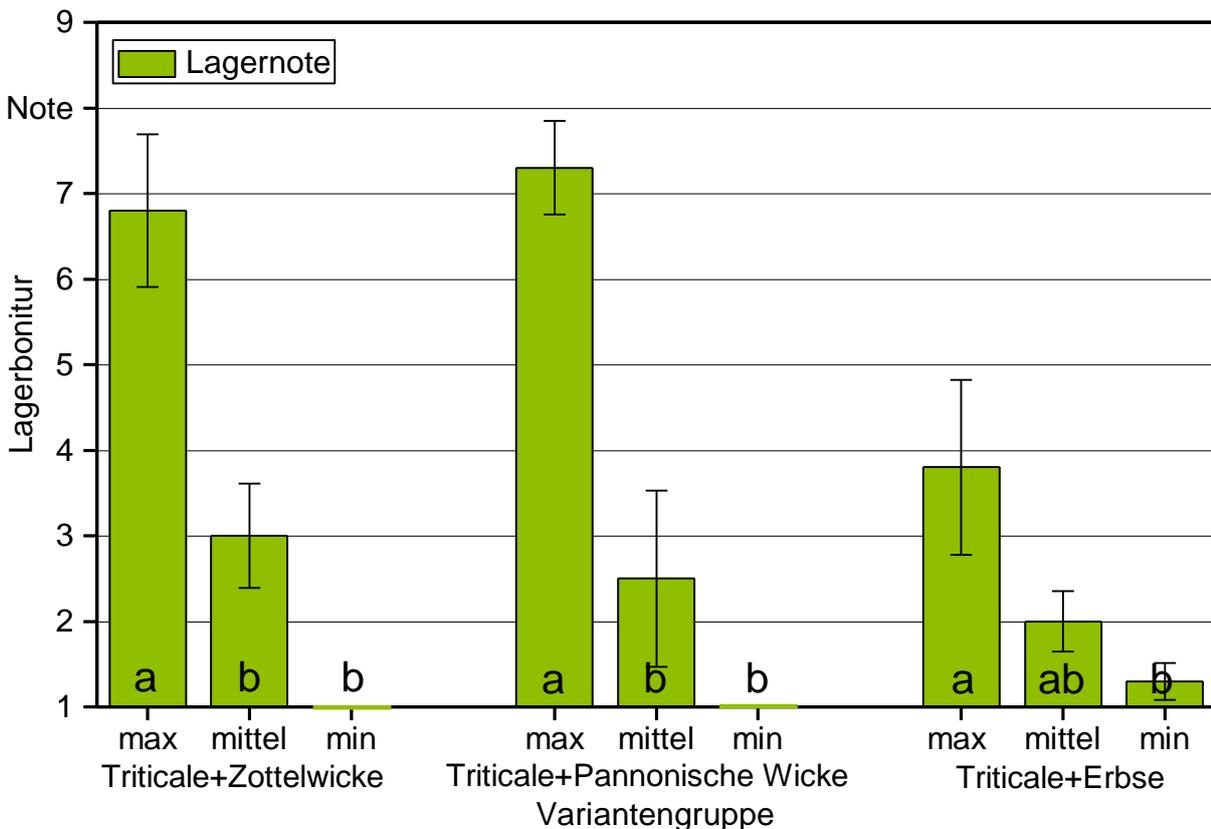
Deutlich schwieriger gestaltete sich die Situation bei den später abreifenden Triticale- und Roggenvarianten. Im letzten Abschnitt des Vegetationszeitraums kam es hier zu einer ausgeprägten Lagerbildung in den Beständen, welche den Erntevorgang erheblich erschwerte. Auslöser waren mehrere Unwetter im Tagesverlauf des 08.06.2015 mit sint-

flutartigen Regenfällen (30 l/m²), deren Last die Bestände nicht standhalten konnten. Unerwartet stark waren auch die Triticale-Leguminosen-Gemenge betroffen, welche sich im ersten Versuchsjahr noch äußerst standfest präsentiert hatten. Die nach den Richtlinien des Bundessortenamts für Getreide (Unterkapitel 5.6) [48] parzellengenau ermittelten Boniturnoten können Tabelle 19 im Anhang entnommen werden.

Klaren Einfluss auf die Ausprägung des Lagers nahmen der Standort bzw. dessen Bodengüte sowie der Leguminosenanteil im Gemenge. Unterschiede in Abhängigkeit der Düngestufe waren im Gegensatz zum ersten Versuchsjahr nicht nachweisbar, sodass auf eine differenzierte Betrachtung der normal- und reduziert gedüngten Varianten verzichtet werden konnte.

Der Einfluss des Standorts konnte unmittelbar auf die unterschiedliche Bestandsdichte zurückgeführt werden. Dementsprechend waren die dünneren Bestände in Straubing weit weniger vom Lager betroffen als die wüchsigeren Bestände in Aholfing. Besonders deutlich kam dieser Effekt bei den Roggenvarianten zum Tragen.

Mit zunehmendem Leguminosenanteil stieg die Lageranfälligkeit überproportional stark an. Die Betrachtung der Triticalevarianten am Standort Aholfing veranschaulicht diesen Zusammenhang auf besondere Weise (vgl. Abbildung 8).



Fehlerbalken = Standardfehler

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb eines Gemenges stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test).

Abbildung 8: Lagerneigung der Triticale-Leguminosen-Gemenge am Standort Aholfing in Abhängigkeit des Leguminosenanteils, N-Düngestufe normal, Versuchsjahr 2014/2015

Die Gemenge mit Pannonischer Wicke und Zottelwicke waren gleichermaßen stark vom Lager betroffen, wobei Letztere deutlich tiefer zu Boden gedrückt lagen. Dieser Aspekt kommt bei alleiniger Betrachtung der in der Lagerbonitur erzielten Note nicht zum Ausdruck, hatte aber wesentlichen Einfluss auf die Beerntbarkeit der Bestände. Die geringste Lageranfälligkeit zeigten die Triticale-Erbesen-Gemenge am Standort Aholting. Das Zusammenbrechen dieser Gemengevarianten am Standort Straubing muss vor dem Hintergrund des massiven Pilzbefalls der Erbsen durch *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* gesondert betrachtet werden (vgl. Abbildung 34 im Anhang).

Der bodenbürtige Welkeerregger wurde durch eine phytopathologische Untersuchung des Pflanzenmaterials am Institut für Pflanzenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Freising nachgewiesen. Das verursachte Schadbild wird als Tracheomykose bezeichnet. Dabei wächst der Pilz in das wasserleitende Gefäßsystem (Xylem) der Pflanzen ein und verstopft dieses. Die Pflanzen beginnen zu welken, um letztlich an der von Fäulniserregern zersetzten Stängelbasis abzubrechen und vollständig zu nekrotisieren [47]. Die Symptomatik ist häufig massiv und schreitet rasch voran. Im vorliegenden Fall deutete sich der Befall Mitte Juni mit ersten Welkesymptomen an, Ende Juni waren die Erbsenbestände bereits vollkommen zusammengebrochen und hatten in den Varianten mit höchstem Leguminosenanteil auch den Gemengepartner Triticale mit zu Boden gedrückt.

Die in den befallenen Pflanzen gebildeten Dauersporen können mehrere Jahre im Boden überdauern, bis sie durch die Ausscheidung von Wirtspflanzen zur Keimung angeregt werden. Damit handelt es sich bei *Fusarium oxysporum* um eine klassische Fruchtfolgekrankheit, deren Infektionszyklus allein durch das Einhalten genügend langer Anbaupausen unterbrochen werden kann (vgl. Abschnitt 2.3.2) [47].

5.2.3 Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2015/2016

Die Bestandsentwicklung der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016 verlief durchweg positiv und brachte im Vergleich der drei Versuchsjahre die ausgewogensten Bestände hervor.

Trotz des vorangegangenen trockenen Sommers war im Herbst ausreichend Bodenfeuchtigkeit für ein sicheres Auflaufen der Winterungen vorhanden. Im Verlauf des feucht-milden Winters füllten sich die Bodenwasservorräte auf, zu Vegetationsbeginn zeigten sich an beiden Standorten gut entwickelte Jungpflanzen ohne Anzeichen für Auswinterungsschäden oder einen Krankheits- und Schädlingsbefall. Die anhaltend feucht-kühle Witterung im Frühjahr begünstigte jedoch den Befall der Triticale-Gemenge mit der Rhynchosporium-Blattfleckenkrankheit (*Rhynchosporium secalis*), einem pilzlichen Erreger, dessen Konidien durch Regenspritzer verbreitet werden [31] (vgl. Abbildung 35 im Anhang). Generell wird Triticale eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber pilzlichen Erkrankungen zugeschrieben, doch auch Weigand [64] wies im Sommer 2016 aus aktuellem Anlass darauf hin, dass selbst als robust geltende Triticalesorten inzwischen nicht mehr ungefährdet sind und insbesondere bei der Sorte Agostino ein erhöhtes Risiko für einen Rhynchosporiumbefall besteht.

Da die Schadschwelle deutlich überschritten wurde und massive Ertragseinbußen zu befürchten waren, entschied man sich zu einer Fungizidbehandlung (Input Classic, 1,0 l/ha) in sämtlichen Triticale-Gemengen und -Reinbeständen. Vor der Anwendung in den Gemengevarianten wurde die dafür notwendige Einzelfallgenehmigung nach § 22 Abs. 2 Pflanzenschutzgesetz eingeholt.

Im weiteren Verlauf war, von optimalen Wachstumsbedingungen begleitet, ein gleichmäßiges Voranschreiten der Entwicklungsstadien zu beobachten. Selbst die Triticalebestände erholten sich nach erfolgter Fungizidapplikation gut, die *Rhynchosporium*-Symptomatik wurde durch die neu gebildete Blattmasse weitestgehend überwachsen.

Der Blühbeginn der Leguminosen war, ebenso wie im Versuchsjahr 2014/2015, ab Ende der zweiten Maidekade zu datieren. Blühverlauf und Blühdauer gestalteten sich in Abhängigkeit der Leguminosenart weitestgehend identisch zu den Vorjahren. Bereits zum Erntetermin der Gersten-Erbсен-Gemenge erreichten die Futtererbsen das Stadium der Grünreife, welches bei einer Verwendung der Ganzpflanzensilage in der Wiederkäuerfütterung hinsichtlich einer Aufwertung des Proteingehalts gewünscht wird. Darüber hinaus präsentierten sich die Gerstenvarianten standfest und konnten problemlos beerntet werden.

Die Standfestigkeit der Roggen- und Triticale-Gemenge war, auch dank der modifizierten N-Sollwerte (vgl. Abschnitt 4.2.1), deutlich besser als in den ersten beiden Versuchsjahren. Eine leichte bis mäßige Lagerbildung in den Beständen konnte dennoch nicht vollständig verhindert werden (vgl. Tabelle 20 im Anhang).

Im Vergleich der Standorte waren die Bestände in Straubing stärker betroffen als am leichteren Standort Aholfing. In Abhängigkeit des Getreidemischungspartners zeigten die hochgewachsenen Roggenvarianten wiederholt die höchste Lageranfälligkeit. Auch ein Einfluss der Leguminosenart und des Leguminosenanteils im Gemenge war erneut nachzuweisen. So bestätigte sich im Vergleich der Leguminosenarten der dominante Wuchs der Zottelwicke als ein die Lagerbildung begünstigender Faktor, der mit zunehmendem Leguminosenanteil verstärkt zum Tragen kam. Auch bei den Gemengen mit Pannonischer Wicke zeigte sich dieser Effekt, wenn auch weniger ausgeprägt. In Abhängigkeit der N-Düngestufe konnte lediglich für die reduziert gedüngten Varianten am Standort Aholfing eine verbesserte Standfestigkeit nachgewiesen werden, für die Bestände am Standort Straubing war kein Einfluss der N-Düngestufe nachweisbar.

5.2.4 Einflussfaktoren auf die Bestandsentwicklung und Optimierungsmöglichkeiten

Wie vorausgehend deutlich wurde, waren die einzelnen Versuchsjahre von unterschiedlichen Rahmenbedingungen geprägt, die sich in ebenso differenzierten Aussagen zur Bestandsentwicklung der Leguminosen-Getreide-Gemenge niederschlugen. Zusammenfassend lassen sich daraus einige Grundsätze ableiten, die zu berücksichtigen sind, um ertragreiche Bestände mit möglichst geringem Lagerrisiko und unter bestmöglicher Ausnutzung des Blühaspekts etablieren zu können.

5.2.4.1 Ausgewogene Bestandszusammensetzung

Die im Versuch betrachteten Getreide- und Leguminosenarten sind durch eine unterschiedliche Wüchsigkeit charakterisiert. Voraussetzung für eine ausgewogene Bestandszusammensetzung ist daher sowohl die passende Kombination der Gemengepartner als auch die Wahl eines angemessenen Leguminosenanteils im Gemenge.

Ziel muss es sein, dass sich der Leguminosenmischungspartner insbesondere in den frühen Entwicklungsstadien ausreichend stark entwickelt, um auflaufende Unkräuter zu unterdrücken, ohne dass in späteren Entwicklungsstadien eine Konkurrenzsituation zu Lasten des ertragsbildenden Getreidemischungspartners entsteht. Im Idealfall ergibt sich ein Zusammenspiel der Kulturen, welches im Ökolandbau seit jeher geschätzt wird und neben der bekannten Stickstofffixierung der Leguminosen als weiterer symbiotischer Effekt von Leguminosen-Getreide-Gemengen beschrieben werden kann.

Als exemplarisches Beispiel ist die dichte Entwicklung der Wicken in den lückigen Roggenbeständen am Standort Straubing im Versuchsjahr 2014/2015 anzuführen (vgl. Abbildung 9).



Abbildung 9: Starke Bestockung des Getreides (links) und üppiges Leguminosenwachstum (rechts) bei Wickroggen am Standort Straubing, Versuchsjahr 2014/2015

Während die Hülsenfrüchte in gut entwickelten Getreidebeständen bis zum Zeitpunkt des Ährenschiebens und dem damit verbundenen Abschluss des Längenwachstums des Getreides nur hintergründig wahrnehmbar waren, entwickelten sie sich in schwächeren Beständen bereits vorher ausreichend dominant, um auflaufende Unkräuter zu unterdrücken.

Wurde der Leguminosenanteil jedoch zu hoch gewählt oder zeigte die Leguminosenart im Vergleich zum Getreidemischungspartner einen zu dominanten Wuchs, verkehrte sich der Effekt ins Negative.

Im Vergleich der im Versuch stehenden Leguminosenarten erwiesen sich Zottelwicke und – unter der Voraussetzung von ausreichend Bodenfeuchte und tendenziell schwerem Boden – die Wintererbse als besonders wüchsig. Insbesondere bei zu hoher Saatkraft formierten sich diese beiden Kulturarten in Form eines Teppichs, der auf den Getreidebeständen auflag und eine Lagerbildung begünstigte. Ferner wurde der in den Leguminosen-Getreide-Gemengen klar als Hauptertragsbildner fungierende Getreidemischungspartner in seiner Entwicklung gehemmt und auf diese Weise der Gesamtertrag gemindert. Die Pannonische Wicke hingegen zeigte einen vergleichsweise zurückhaltenden Wuchs und stand überwiegend zwischen den Getreidebeständen (vgl. Abbildung 36 im Anhang).

Die nachfolgende Tabelle 9 gibt einen Überblick, wie die einzelnen im Versuch betrachteten Leguminosen-Getreide-Gemenge hinsichtlich der Ausgewogenheit ihrer Bestandszusammensetzung zu beurteilen waren. Als Grundlage wurden der optische Eindruck der Bestände bei den Deckungsgradbonituren sowie das Lagerrisiko herangezogen. Die Skala ist fünfstufig und umfasst folgende Bewertungsstufen: ++ sehr ausgewogen, + ausgewogen, 0 neutral, – unausgewogen, -- sehr unausgewogen.

Tabelle 9: Bewertung der im Versuch betrachteten Leguminosen-Getreide-Gemenge im Hinblick auf die Ausgewogenheit ihrer Bestandszusammensetzung

	Zottelwicke			Pannonische Wicke			Wintererbse		
	min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max
Winterroggen	++	-	--	+	+	-			
Wintertriticale	++	0	--	+	++	-	-	++	0
Wintergerste							-	++	0

Grau hinterlegte Varianten waren nicht Bestandteil des Versuchs.

Bewertungsstufen: ++ sehr ausgewogen, + ausgewogen, 0 neutral, – unausgewogen, -- sehr unausgewogen.

Klar zum Ausdruck kam, dass weniger die Wüchsigkeit und Konkurrenzkraft des Getreidemischungspartners als vielmehr die Dominanz des Leguminosenmischungspartners über das optimale Mischungsverhältnis von Getreide und Leguminosen entscheidet.

Abgeleitet aus oben stehender Tabelle 9 werden für den Praxisanbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen folgende Anteile an Leguminosen in kg/ha empfohlen:

Bei Wickroggen sollte der Leguminosenanteil sehr zurückhaltend angesetzt werden. So wird im Gemengeanbau von Winterroggen mit Zottelwicke ein Leguminosenanteil von rund 3 kg/ha, der im Versuch der geringsten Anteilstufe entspricht, als völlig ausreichend erachtet. Wird die weniger wüchsige Pannonische Wicke als Leguminosenmischungspartner gewählt, ist für ein ausgewogenes Bestandsbild, in dem auch die Wicke noch ausreichend zur Geltung kommt, ein Anteil von 6 kg Wicken/ha zu empfehlen. Dieser Leguminosenanteil entspricht knapp der mittleren Anteilstufe im Versuch.

Für den Gemengeanbau von Zottelwicke bzw. Pannonischer Wicke mit Wintertriticale dürfen die Empfehlungen aus dem Gemengeanbau mit Roggen unmittelbar übertragen werden. Geringfügig höhere Leguminosenanteile sind beim Getreidemischungspartner Triticale tolerierbar, da diese durch den vergleichsweise niedrigeren und gleichzeitig stabileren Wuchs ein geringeres Lagerrisiko aufweist als Roggen.

Bei den Getreide-Erbсен-Gemengen ergaben sich sowohl im Misanbau mit Triticale als auch im Misanbau mit Roggen mit einem Erbsenanteil von rund 8 kg/ha besonders ausgewogene Bestände.

Die empfohlenen Leguminosenanteile sind jeweils als Höchstwert anzusetzen und sollten auch mit Fokus auf eine maximale N-Fixierungsleistung der Leguminosen nicht überschritten werden. Anderenfalls ist mit einem erhöhten Lagerrisiko und einer erschwerten Beerntbarkeit der Bestände zu rechnen. Dient der Misanbau vorwiegend dem Blühaspekt, so kann der Leguminosenanteil je nach gewünschtem Bestandsbild weiter reduziert werden.

5.2.4.2 Optimierung des Blühaspekts von Leguminosen-Getreide-Gemengen

Blühende Feldfrüchte bereichern das Landschaftsbild und stellen eine wichtige Nahrungsquelle für bestäubende Insekten dar, die zunehmend unter der Verarmung unserer Agrarlandschaft leiden.

Die der Unterfamilie der Schmetterlingsblütler (*Faboideae*) zugehörigen Erbsen und Wicken dienen mit ihrer speziellen Blütenform vor allem langrüsseligen Hummelarten als Pollen- und Nektarspender. Bienen reichen mit ihren vergleichsweise kurzen Mundwerkzeugen häufig nicht an den Blütengrund heran. Im Versuch wurde jedoch beobachtet, wie Bienen insbesondere die Blüten der Zottelwicken unmittelbar am Blütengrund öffneten, um an den Nektar zu gelangen (vgl. Abbildung 37 im Anhang).

Welche große Bedeutung auch Hummeln für die heimische Landwirtschaft haben, erläuterte Kerstin Kellerer vom LBV Ingolstadt im Rahmen ihres Gastvortrags auf dem Feldtag in Straubing [35]: „Hummeln reagieren deutlich weniger empfindlich auf Kälte als Bienen und verhindern in Jahren mit ungünstigen Witterungsbedingungen größere Ernteauffälle. Zudem verlassen Hummeln bereits zum Tagesanbruch ihr Nest und fliegen bis in die Dämmerung. Im Verlauf der längeren Flugzeit arbeiten sie noch rascher als Honigbienen

und bestäuben in der Summe eine deutlich höhere Anzahl an Pflanzen. Dabei leisten Hummeln besonders akribische Arbeit, denn ihr dichtes Haarkleid nimmt den Pollen in großen Mengen auf und verteilt ihn gleichmäßig auf den Blütennarben, sodass die Pflanzen zuverlässig bestäubt werden.“ Diese herausragende Leistung der Hummeln und auch ihre besondere Schutzbedürftigkeit sind in Fachkreisen bekannt. Im Bundesnaturschutzgesetz zählen sie zu den besonders geschützten Arten, viele davon stehen auf der Roten Liste. Trotz dieser Brisanz findet man in der Praxis bisher nur selten konkrete Maßnahmen zum Schutz und zur Förderung der Hummeln. Der Anbau spezieller Futterpflanzen, wie z. B. von Erbsen und Wicken in Leguminosen-Getreide-Gemengen, kann deshalb in besonderer Weise zur Unterstützung der Hummeln beitragen.

Damit der Blühaspekt der Leguminosen möglichst vollständig zum Tragen kommt, ist eine weitgehend übereinstimmende Abreife mit dem Getreidemischungspartner wichtig. Während der Blühbeginn der Leguminosen in Abhängigkeit der Jahreswitterung Schwankungen von wenigen Tagen aufwies, zeigte sich der Blühverlauf der einzelnen Leguminosenarten über die gesamte Versuchslaufzeit hinweg ähnlich und mit charakteristischem Verlauf. Abbildung 10 stellt den Blühverlauf und den Blühzeitraum von Erbse, Pannonischer Wicke und Zottelwicke exemplarisch für die gesamte Versuchslaufzeit dar und verdeutlicht die Unterschiede zwischen den Leguminosenarten.

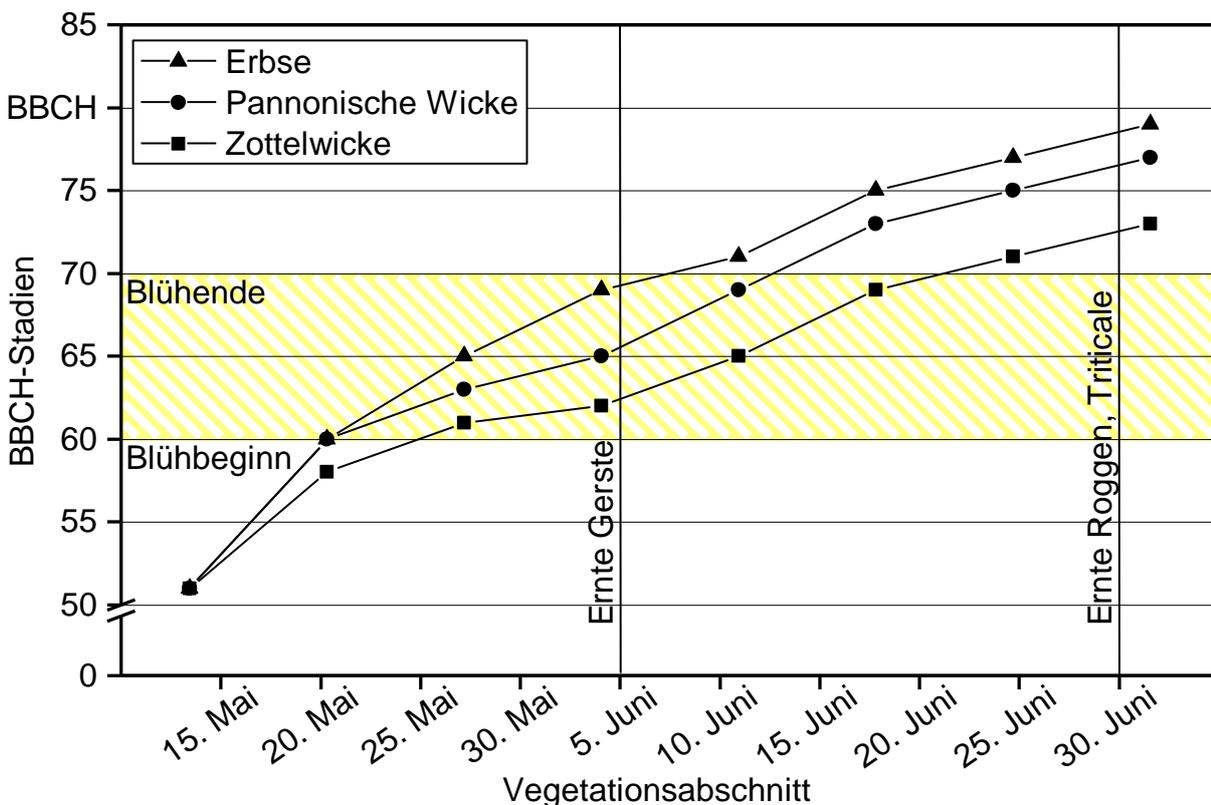


Abbildung 10: Exemplarische Darstellung von Blühverlauf und Blühzeitraum der im Versuch betrachteten Leguminosenarten

Unter der Voraussetzung eines normalen Vegetationsbeginns im Frühjahr ist der Blühbeginn von Körnerleguminosen, die als Winterung zum Anbau gebracht werden, ab Mitte Mai zu erwarten. Wie Abbildung 10 verdeutlicht, setzt im Vergleich der Arten die Blüte bei Erbse und Pannonischer Wicke als Erstes und nahezu zeitgleich ein, die Zottelwicke folgt mit einem deutlichen Abstand von rund einer Woche. Durch die fortwährende Ausbildung neuer Blüten erstreckt sich die Blühdauer der Wicken über einen längeren Zeitraum als bei der Erbse, die nach nur kurzer Blühdauer rasch Hülsen ausbildet.

Zum Erntetermin der Gersten-Erbсен-Gemenge in der ersten Junidekade wurde bei den Erbsen in Abhängigkeit der Jahreswitterung nicht in allen Versuchsjahren das Stadium der Hülsenbildung erreicht. Der priorisierte Blühaspekt kam damit vollständig zum Tragen, bei einer Verwendung der Ganzpflanzensilage in der Wiederkäuerfütterung wäre jedoch eine fortgeschrittene Abreife der Erbsen, verbunden mit einer Aufwertung des Eiweißgehaltes durch die proteinreichen Fruchtstände, wünschenswert gewesen. Mit der vergleichsweise schnellsten Abreife erwies sich die Erbse dennoch als der geeignetste Leguminosenmischungspartner für Gerste.

5.3 Bestandsentwicklung der Nachfrucht

5.3.1 Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2013/2014

Der Entwicklungsverlauf der Nachfrucht Sorghum gestaltete sich zunächst positiv. Sowohl die nach Ernte der Gerstenvarianten gesäten Bestände (Saattermin 1) als auch die nach Ernte der Roggen- und Triticalevarianten gesäten Bestände (Saattermin 2) liefen zügig auf. Wiederkehrende mäßige Niederschläge im Juni und Juli glichen die aus der Frühsommertrockenheit resultierenden Bodenwasserdefizite weitestgehend aus, die warme Witterung unterstützte eine gleichmäßige vegetative Entwicklung der Bestände.

Auf eine regenreiche Witterungsperiode in der letzten Augustdekade reagierten die Bestände des 2. Saattermins mit einem massiven Längen- und Massezuwachs. Wiederholt schweren Gewitterregen mit Sturmböen im Zeitraum vom 20. bis 22. September 2014 hielten die dünnen und weichen Halme unter dem nasseschweren Blattapparat jedoch nicht stand, die Bestände fielen irreversibel ins Lager. Im Gegensatz zum 2. Saattermin reagierten die Varianten des 1. Saattermins nur wenig wahrnehmbar auf die niederschlagsreiche Periode Ende August. Durch den aussaatbedingten Entwicklungsvorsprung von rund drei Wochen traten die Pflanzen zu diesem Zeitpunkt bereits in die Blüte ein. Mit Beginn der generativen Entwicklungsphase war auch das Längenwachstum der Pflanzen weitestgehend abgeschlossen und die Halme waren ausreichend gefestigt, um Wind und Regen standzuhalten.

Im Ergebnis mussten sämtliche Varianten des 2. Saattermins an beiden Standorten mit der Lagernote 9 beurteilt werden, in den Varianten des 1. Saattermins hingegen war keine relevante Lagerbildung feststellbar. Abbildung 11 spiegelt das Ergebnis der durchgeführten Lagerbonitur auf plakative Weise wider.



Abbildung 11: Lagerbildung in den Beständen der Nachfrucht Sorghum im Vergleich von 1. Saattermin (stehend, im Hintergrund) und 2. Saattermin (lagernd, im Vordergrund), Versuchsjahr 2013/2014

Unter den gegebenen Voraussetzungen war eine Beerntung der Nachfrucht lediglich für den ersten Saattermin und damit für einen äußerst geringen Anteil der Varianten zu bewerkstelligen. Trotz des Einsatzes moderner Erntetechnik konnten die in mehreren Schichten übereinanderliegenden Pflanzen in den Beständen des zweiten Saattermins nicht mehr aufgenommen werden, die Abgrenzung der einzelnen Versuchspartellen war nicht mehr erkennbar.

Eine repräsentative Auswertung der Ertragsleistung der Nachfrucht und damit verbunden eine Einschätzung der Leguminosen-Getreide-Gemenge hinsichtlich ihrer Vorfruchtwirkung waren im Versuchsjahr 2013/2014 nicht möglich.

5.3.2 Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2014/2015

Das Bestandsbild der Nachfrucht Mais war geradezu exemplarisch für die Entwicklung der Sommerungen im Jahr 2015, die unter den extrem trockenen und heißen Witterungsbedingungen litten (vgl. Unterkapitel 5.1). Während die Bestände des 1. Saattermins (Anfang Juni) noch von Niederschlägen zum Zeitpunkt des Auflaufens profitieren konnten, waren die Bestände des 2. Saattermins (Anfang Juli) von Beginn an extremer Hitze und Trockenheit ausgesetzt. In der Folge kam es bereits in den frühen und für den weiteren Entwicklungsverlauf sehr entscheidenden Vegetationsphasen wiederholt zum Wachstumsstillstand, sodass eine ausreichende Ertragsbildung der Bestände bereits zu diesem Zeitpunkt nicht mehr zu erwarten war.

Ab Mitte Juli entwickelten auch die Varianten des 1. Saattermins eine ausgeprägte Trockenstresssymptomatik mit starrem Habitus und eingerollten, teils verbrannten Blättern (vgl. Abbildung 12). Im Vergleich der Standorte waren die Bestände in Aholting erwartungsgemäß stärker betroffen als in Straubing. Infolge des massiven Wassermangels

war dort auch eine verfrühte Kolbenbildung zu beobachten, die als Ausdruck der Notreife zu werten ist.



Abbildung 12: *Trockenstresssymptomatik an der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015 mit kleinem Wuchs, starrem Habitus und eingerollten Blättern*

In den darauffolgenden Wochen verschärfte sich die Situation zusehends, erst die Mitte August einsetzenden Regenfälle führten zu einer Erholung der Bestände. Kennzeichnend dafür war das deutliche Wiederergrünen der Pflanzen, verbunden mit der Wiederaufnahme der vegetativen Entwicklung. Diese verlief jedoch weiterhin zögerlich, der erwünschte Zuwachs an Masse und auch an Höhe blieb aus. Insbesondere im Bereich der unteren Internodien war nur noch eine marginale Streckung zu beobachten, bevor die Pflanzen mit Blühbeginn in die generative Entwicklung eintraten und das Längenwachstum abschlossen. Die zum Zeitpunkt der Ernte erhobenen Bestandshöhen waren entsprechend gering und lagen in Abhängigkeit des Standorts und des Saattermins in einer Spanne zwischen 150 und 210 cm (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: *Bestandshöhe der Nachfrucht Mais zum Zeitpunkt der Ernte 2015*

	Aholting		Straubing	
	minimale Höhe in cm	maximale Höhe in cm	minimale Höhe in cm	maximale Höhe in cm
Saattermin 1	170	180	200	210
Saattermin 2	150	160	180	190

Für die Fruchtausbildung war die Wasserversorgung dank der vorangegangenen Niederschläge gerade ausreichend, allerdings blieben die Spitzen der Kolben infolge der Trockenheit häufig unbesetzt. Eine weitere Besonderheit zeigte sich in der Anordnung der Kolben, die in regelrechten Gruppen den dicht beieinanderliegenden Stängelknoten entwachsen (vgl. Abbildung 13).

Ebenfalls zum Zeitpunkt der Kolbenbildung war an beiden Standorten der vereinzelt Befall von Pflanzen mit Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*) zu verzeichnen. Kennzeichnendes Merkmal des Erregers ist die gänzliche oder teilweise Umwandlung der Kolben zu Brandbeulen, die anfangs von einer silbrig-glänzenden Haut überzogen sind und nach Aufbrechen eine schwarzbraune Sporenmasse freigeben (vgl. Abbildung 13). Die Infektion der Pflanze ist nur im Bereich von Geweben möglich, die noch im Wachstum und damit teilungsfähig sind. Der erstmalige Befall wird deshalb überwiegend an Jungpflanzen bis zu einer Pflanzenhöhe von 40 cm festgestellt. Ein gehäuftes Auftreten wird nach Literaturangaben jedoch auch beobachtet, wenn – wie im vorliegenden Fall – nach längerer Trockenheit plötzlich reichlich Niederschläge fallen. Hintergrund ist die Reaktivierung von Nebenaugen, deren junges Gewebe eine Eintrittspforte für den Erreger bildet [9]. Ferner befällt der Pilz bevorzugt nicht vollständig befruchtete Kolben, die im vorliegenden Fall als Reaktion auf den Trockenstress bekanntermaßen vermehrt auftraten [40].



Abbildung 13: Auffälligkeiten in der Bestandsentwicklung der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015: ungenügende Streckung der Internodien (links), von Maisbeulenbrand befallener Kolben (Mitte), Frostschäden am Standort Aholting zum Zeitpunkt der Ernte (rechts)

Von einer signifikanten Ertragsminderung durch den Pilzbefall war im vorliegenden Fall nicht auszugehen. Hinsichtlich einer möglichen Verwendung des Maises in der Wieder-

käuerfütterung ist anzumerken, dass ein starker Befall mit *Ustilago maydis* zwar zu einer Verminderung der Futterqualität führt, eine gesundheitliche Beeinträchtigung der Tiere aber ausgeschlossen werden kann [9].

Im Ergebnis blieben die Bestände bis zum Zeitpunkt der Ernte äußerst spärlich entwickelt und bildeten, in Abhängigkeit von Saattermin und Standort leicht variierend, nur etwa die Hälfte des Aufwuchses eines durchschnittlichen Jahrs aus.

Die Bestände des 1. Saattermins kamen dabei sicher zur Abreife. Für die Varianten des 2. Saattermins hingegen reichten auch die überdurchschnittlich warmen Temperaturen des Sommers nicht aus, um einen Trockensubstanzgehalt von mindestens 28 % zu erzielen. Durch die zeitlich verschobene und weit in den Herbst hineinreichende Vegetationsperiode ergab sich für die Bestände des 2. Saattermins, trotz einer annähernd gleichen Anzahl an Vegetationstagen wie für den 1. Saattermin, lediglich eine Temperatursumme von 1213 °C für Straubing bzw. 1236 °C für Aholting. Diese reichten nicht an den für die Reifegruppe S 190 ausgewiesenen Zielwert in Höhe von 1350 °C heran [21].

Da sich die Restpflanzen beider Saattermine gleichermaßen vertrocknet zeigten, sind die Unterschiede im Trockensubstanzgehalt überwiegend auf die unterschiedliche Abreife der Kolben zum Zeitpunkt der Ernte zurückzuführen. Bei einem Entwicklungsstadium von BBCH 79 hatten die Kolben an den Pflanzen des 2. Saattermins nur knapp ihre volle Korngröße ausgebildet und enthielten noch deutlich mehr Restfeuchte als die Kolben an den Pflanzen des 1. Saattermins, die mit BBCH 83–85 bereits in die Teigreife eingetreten waren. Neben den deutlich geringeren Temperatursummen ist diese Differenz auch auf eine verspätete weibliche Blüte des 2. Saattermins zurückzuführen. Diese Entwicklungsverzögerung wird bei Mais häufig als Reaktion auf starken Trockenstress beobachtet und führt durch die verzögerte Befruchtung letztlich zu einer verkürzten Reifezeit für die Kolben [40].

Ein Hinauszögern des Erntetermins wäre an dieser Stelle nicht zielführend gewesen, da mit dem Einsetzen herbstlicher Witterungsbedingungen kein weiteres Abreifen der Bestände mehr zu erwarten war. Die dafür notwendige Wasserabgabe aus dem Korn geht nur bei niedriger relativer Luftfeuchte vonstatten, wie sie bei morgendlicher Nebelbildung nicht mehr gegeben ist. Ferner wiesen die Bestände am Standort Aholting bereits leichte Frostschäden auf, die keinen Aufschub der Ernte mehr duldeten (vgl. Abbildung 13).

5.3.3 Bestandsentwicklung im Versuchsjahr 2015/2016

Der Witterungsverlauf im Sommer 2016 bot deutlich bessere Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Nachfrucht Mais als im Vorjahr.

Mit Bestandshöhen von bis zu drei Metern waren die Pflanzen deutlich höher und auch üppiger gewachsen als im Versuchsjahr 2014/2015. Der Gesamteindruck entsprach den Erwartungen, die unter Berücksichtigung einer Zweikulturnutzung an die Bestandsentwicklung gestellt worden waren.

Eine Ausnahme bildeten die Bestände des 1. Saattermins am Standort Straubing, welche die erschwerten Auflaufbedingungen auch im weiteren Vegetationsverlauf nicht mehr vollständig zu kompensieren vermochten (vgl. Unterkapitel 5.1). Ein Starkregenerereignis unmittelbar nach der Aussaat hatte in diesem Fall zu einer Verschlämmung und anschließenden Verkrustung des Saatbetts geführt. Ein Teil der Pflanzen kam nicht zum Auflaufen und musste per Hand nachgesät werden.

Der schwache Wuchs der Pflanzen, gepaart mit einer gelblichen Verfärbung der Blätter (vgl. Abbildung 38 im Anhang), ließ zudem vermuten, dass die bei Aussaat applizierte Unterfußdüngung ausgeschwemmt und in tiefere Bodenschichten verlagert worden war, wo sie von den Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden konnte. Eine deutlich erkennbare Staunässe in den Versuchspartellen ließ zudem auf Strukturschäden und Bodenverdichtungen schließen, in deren Folge eine schlechte Sauerstoffversorgung sowie eine generell schwache Entwicklung der Maiswurzeln angenommen werden mussten.

Auch die nachfolgende Vegetationszeit wurde von wiederkehrenden, lokal begrenzten Gewitterschauern geprägt, welche sich am Ende in stark differenzierenden Niederschlagssummen in Abhängigkeit des Standorts widerspiegeln (vgl. Tabelle 7, Abschnitt 4.2.2). Darüber hinaus boten die warmen Temperaturen im Verlauf des Sommers und insbesondere des Septembers aber optimale Voraussetzungen für die Entwicklung der Zweitfrucht. Die anzustrebende Silierreife mit Trockensubstanzgehalten von über 28 % konnte dennoch nur von den Beständen am Standort Aholting erreicht werden, während die Varianten am Standort Straubing, wohl auch vor dem Hintergrund einer deutlich besseren Wasserversorgung, diesem Zielwert nicht immer entsprachen.

Der sehr vereinzelte Befall von Pflanzen mit Maiszünslern (*Ostrinia nubilalis*), der ab Mitte September in den Beständen am Standort Aholting aufgetreten war, breitete sich bis zum Zeitpunkt der Ernte nicht weiter aus. Ertragseinbußen waren dahingehend nicht zu befürchten. Auch Sekundärschäden, die bei einem Maiszünslerbefall in Form von Kolbenfusarien oder Beulenbrand auftreten können und zu erheblichen qualitativen Einbußen führen, waren nicht zu beobachten [21].

5.4 Trockenmasseertragspotenzial von Leguminosen-Getreide-Gemengen

5.4.1 Allgemeines Ertragsniveau

Das Trockenmasseertragspotenzial einer Kulturart stellt ein wesentliches Kriterium bei der Beurteilung ihrer Eignung als Energiepflanze dar. Die realisierten Hektarerträge wirken sich unmittelbar auf die Flächenproduktivität aus und spiegeln über den Deckungsbeitrag die Rentabilität des Produktionsverfahrens wider.

Die von den Versuchsvarianten gezeigten Trockenmasseertragsleistungen wiesen eine hohe Abhängigkeit vom Standort auf. Darüber hinaus schlugen sich die unterschiedlichen Witterungsbedingungen der Versuchsjahre in den Ergebnissen nieder, sodass die Betrachtung der Ertragsleistung stets in Abhängigkeit dieser beiden bestimmenden Faktoren erfolgte. Eine zusammenfassende Darstellung über beide Standorte oder mehrere Jahre hinweg wäre nicht zielführend gewesen, da weitere relevante Einflussfaktoren, welche sich von Jahr zu Jahr unterschieden, auf diese Weise überdeckt werden würden.

Als Vergleichswert für eine generelle Einschätzung der im Versuch erzielten Trockenmasseerträge wurden Durchschnittswerte für die Ganzpflanzennutzung (GPS) von Reingetreidebeständen bei mittlerer bis guter Standortgüte herangezogen (vgl. Tabelle 11). Da Versuchserträge nicht unmittelbar mit Praxiserträgen gleichzusetzen sind, sind diese primär als Orientierungswert zu verstehen und dienen dazu, das unterschiedliche Ertragspotenzial verschiedener Getreidearten zu verdeutlichen. Für den Gemengeanbau von Getreide mit Leguminosen wurde ein Abschlag in einer Größenordnung von 10 % angesetzt. Grundlage dieses Erfahrungswerts bildeten die Ertragsdaten aus einem mehrjährigen Versuchsanbau von Wickroggen am Standort Straubing [16]. Mit dem Abschlag wurde berücksichtigt, dass im Gemengeanbau mit einer Konkurrenzsituation zwischen den Kulturarten zu rechnen ist, in deren Folge beim Hauptertragsbildner Getreide in der Regel eine Ertragsminderung im Vergleich zum Reinanbau hingenommen werden muss. Dieser Wert ist jedoch stets in Abhängigkeit der gegebenen Wasser- und Nährstoffversorgung der Bestände anzusetzen und kann geringfügig höher, unter günstigen Bedingungen aber auch deutlich niedriger ausgeprägt sein.

Tabelle 11: Richtwerte zum Ertragspotenzial von Reingetreide-GPS bzw. Leguminosen-Getreide-GPS bei mittlerer Standortgüte, modifiziert nach [7]

	Ertragsspanne in dt TM/ha	
	Reingetreide-GPS	Gemenge-GPS
Winterroggen	120–140	110–130
Wintertriticale	140–160	130–150
Wintergerste	110–130	100–120

Einen ersten Eindruck vom realisierten Ertragsniveau der Leguminosen-Getreide-Gemenge vermittelt die zusammenfassende Darstellung der Trockenmasseerträge in

Abhängigkeit des Getreidemischungspartners in Abbildung 14 und Abbildung 15. Die zugrunde liegenden Ertragswerte sind in Abhängigkeit von Standort und Versuchsjahr Tabelle 21 bis Tabelle 26 im Anhang zu entnehmen.

Bereits auf den ersten Blick lassen sich der beschriebene Standort- und Jahreseinfluss auf die Trockenmasseertragsleistung der Leguminosen-Getreide-Gemenge erkennen. Dank der vergleichsweise besseren Bodenqualität am Standort Straubing konnten dort im Mittel rund 10 % höhere Trockenmasseerträge erzielt werden als am Standort Aholting. Besonders deutlich waren die Unterschiede bei den Triticale- und Roggenvarianten ausgeprägt, da diese mit ihrer artspezifisch längeren Vegetationszeit und dem gleichzeitig steigenden Trockenheitsrisiko in den Frühsommermonaten besonders vom höheren Wasserhaltevermögen des Standorts profitierten. Im Vergleich der Versuchsjahre stellte das Jahr 2013/2014 mit überdurchschnittlich hohen Erträgen auf beiden Standorten ein Ausnahmejahr dar. Besonders hervorzuheben waren die Spitzenerträge am Standort Straubing, welche durch die Lage der Versuchsfäche auf einem äußerst tiefgründigen, humosen Boden mit hoher Stickstoffnachlieferung zu erklären waren. Die Ergebnisse in den Versuchsjahren 2014/2015 und 2015/2016 waren als vergleichsweise durchschnittlich zu bewerten.

Zunehmende Erträge waren darüber hinaus in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners in der Reihenfolge Gerste, Roggen und Triticale erkennbar. Dieser Trend bestätigt die allgemeinen Erfahrungen aus der Praxis und verdeutlicht, insbesondere im Vergleich der früher abreifenden Gerste mit Roggen und Triticale, die Gesetzmäßigkeit des steigenden Ertragspotenzials mit gleichzeitig zunehmendem Vegetationszeitbedarf. Die Ertragsdifferenzen in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners waren im Vergleich der Standorte unterschiedlich stark ausgeprägt. Während am tiefgründigen Standort Straubing das individuelle Ertragspotenzial der einzelnen Getreidearten voll ausgeschöpft werden konnte und sich arttypische Unterschiede in der Trockenmasseertragsleistung deutlich abbildeten, wirkten die ungünstigeren Standortbedingungen in Aholting als limitierender Faktor. Insbesondere die Triticale- und Roggenvarianten konnten ihr Ertragspotenzial dort nicht mehr vollständig ausschöpfen und verloren ihre Vorrangstellung gegenüber den Gerstenvarianten. Im Ergebnis streute das Ertragsniveau der Leguminosen-Getreide-Gemenge in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners am Standort Aholting deshalb weit weniger als am Standort Straubing.

Im Vergleich der Gemenge- mit den Reingetreidevarianten mussten bei den Gemengen nur geringe Ertragseinbußen hingenommen werden, welche in den meisten Fällen deutlich unter zehn Prozent lagen. Im Ausnahmefall, wie am Standort Straubing im Versuchsjahr 2013/2014 gegeben, lag die Ertragsleistung der Gemengevarianten sogar über jener der Reingetreidevarianten. Neben den gegebenen Standortbedingungen nahmen aber auch die Art des Leguminosenmischungspartners sowie dessen Anteil im Gemenge Einfluss auf die absolute und relative Ertragsleistung im Vergleich zur Reingetreidereferenz. Eine weiterführende Betrachtung wird deshalb unter Einbezug dieser beiden Parameter in Abschnitt 5.4.2 vorgenommen.

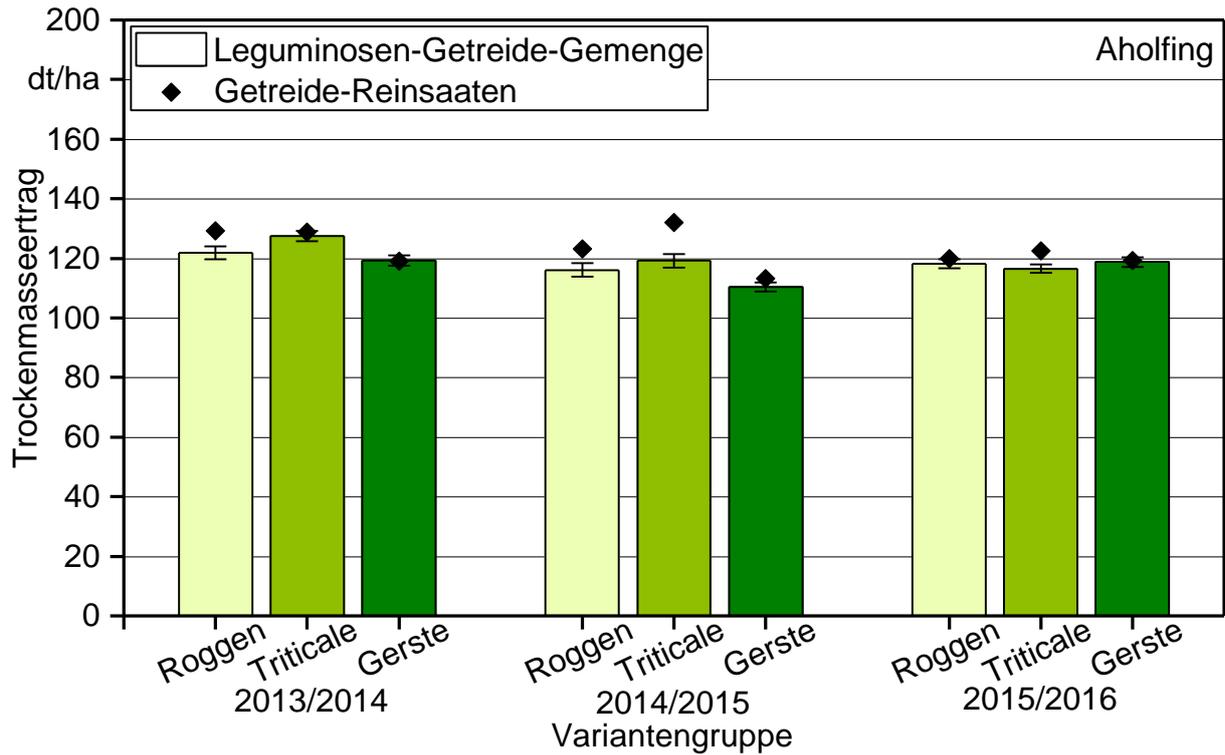


Abbildung 14: Ertragsleistung der Leguminosen-Getreide-Gemenge am Standort Aholting im Vergleich der Versuchsjahre, Darstellung gruppiert nach Getreidemischungspartner, N-Düngestufe normal

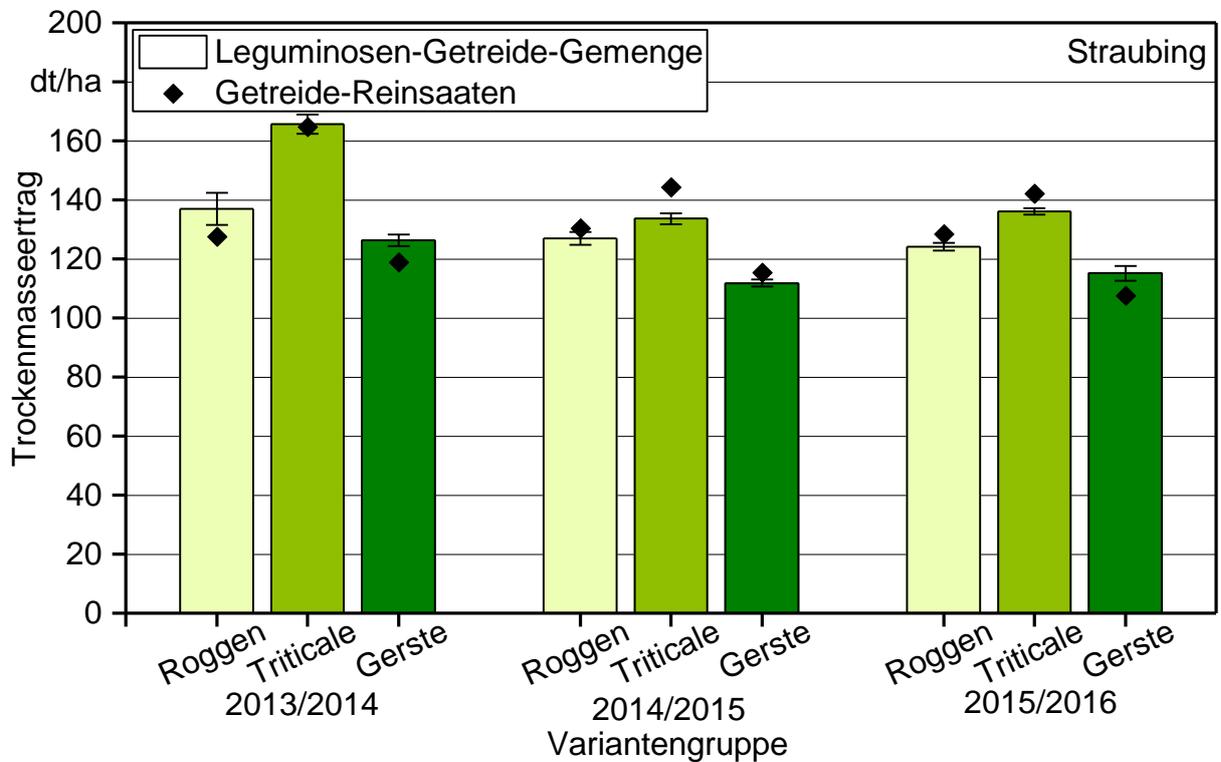


Abbildung 15: Ertragsleistung der Leguminosen-Getreide-Gemenge am Standort Straubing im Vergleich der Versuchsjahre, Darstellung gruppiert nach Getreidemischungspartner, N-Düngestufe normal

5.4.2 Detailbetrachtung der gezeigten Ertragsleistung in Abhängigkeit des Versuchsjahrs

Die nachfolgenden Abschnitte stellen die in der Gesamtlaufzeit erzielten Ertragsleistungen in Abhängigkeit von Standort und Versuchsjahr jeweils im Detail dar. Der Einfluss des Standorts und des Getreidemischungspartners auf das Trockenmasseertragspotenzial der Leguminosen-Getreide-Gemenge konnte in der zusammenfassenden Darstellung bereits hinreichend beleuchtet werden. Dementgegen zeigte sich der Einfluss der Leguminosenart und des Leguminosenanteils stark jahresabhängig und bedarf deshalb einer differenzierteren Betrachtung.

Die Abbildungen umfassen sämtliche Versuchsvarianten, Reingetreidereferenzen und reduziert gedüngte Varianten wurden jeweils gesondert gekennzeichnet. Grau hinterlegt ist der anzustrebende TS-Gehalt von 28 % bis 35 %, der die Voraussetzung für eine verlustarme Silierung darstellt [58]. Die zugrunde liegenden Mittelwerte der Varianten wurden aus den vier Anbauwiederholungen errechnet und können Tabelle 21 bis Tabelle 26 im Anhang entnommen werden.

5.4.2.1 Ertragsleistung im Versuchsjahr 2013/2014

Die Detailbetrachtung der Ertragsleistung im Versuchsjahr 2013/2014 zeigt lediglich Tendenzen auf. Neben den Faktoren Standort und Getreidemischungspartner konnte keinem weiteren Parameter ein nachweislicher Einfluss auf die Trockenmasseertragsleistung zugeschrieben werden.

Damit bleibt das außergewöhnlich hohe Ertragsniveau am Standort Straubing das kennzeichnende Merkmal des ersten Versuchsjahrs. Die optimale Wasser- und Nährstoffversorgung der Bestände war nicht nur Grundlage der erzielten Spitzenerträge, sondern bewirkte darüber hinaus, dass von den Gemengevarianten tendenziell höhere Erträge erzielt werden konnten als von den jeweiligen Reingetreidereferenzen. Dieser Trend verläuft entgegen den Erfahrungen aus der Praxis, bestätigt aber die These, dass die tatsächliche Ertragsdifferenz zwischen Reingetreide- und Mischbeständen stark jahresabhängig und im Vorfeld nur schwierig zu beziffern ist. Während es in Mangeljahren zu einer ertragsmindernden Konkurrenzsituation kommt, können sich bei einem Überschuss an Assimilaten beide Gemengepartner ausreichend stark entwickeln, um in der Summe einen höheren Gesamtertrag zu erzielen als die Reingetreidevarianten (vgl. Abbildung 16).

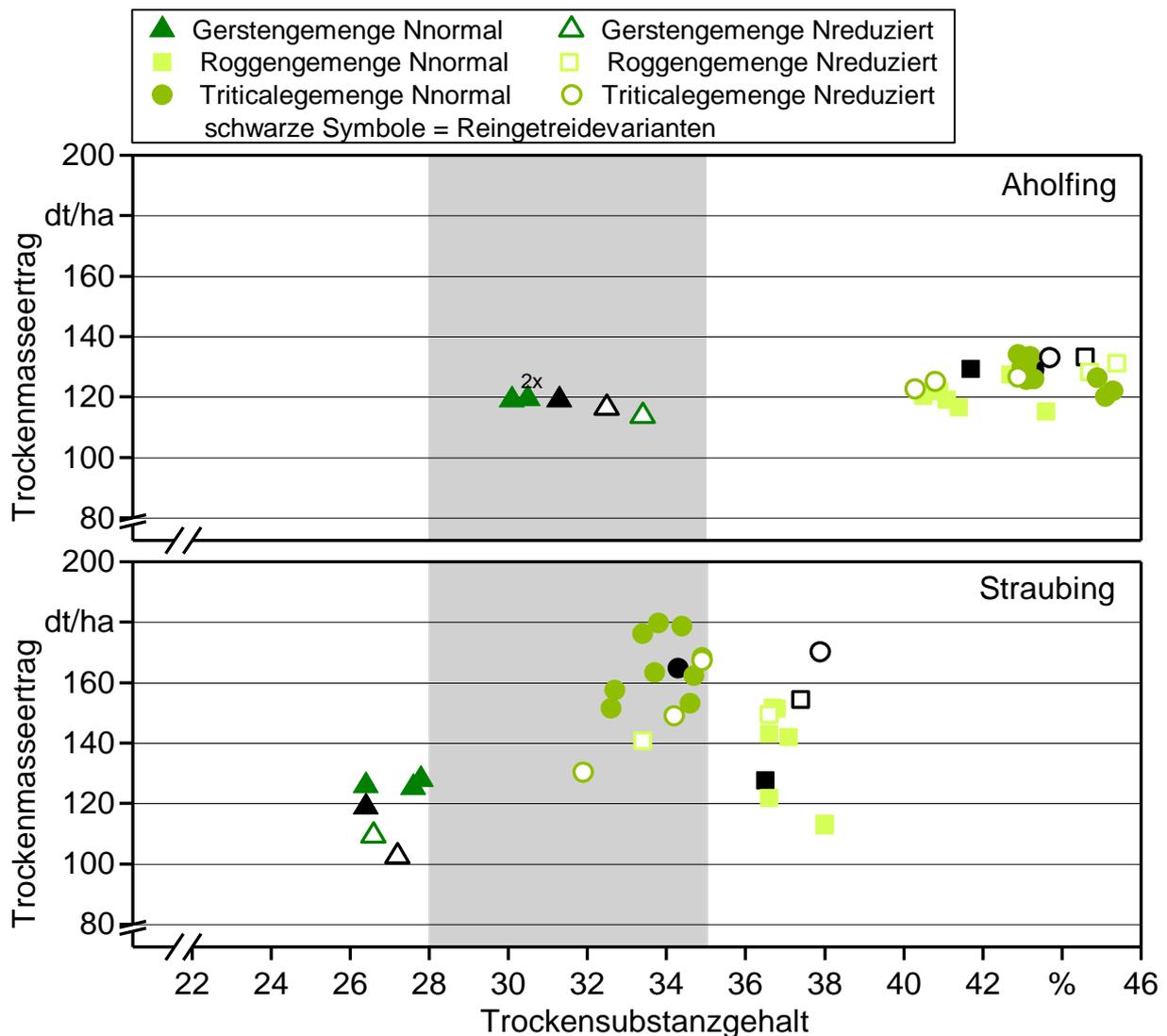


Abbildung 16: Detailbetrachtung der Ertragsleistung im Versuchsjahr 2013/2014, Darstellung getrennt nach Getreidemischungspartner und N-Düngestufe

Im Versuchswesen birgt ein Überschuss an Assimilaten aber auch das Risiko, dass weitere wichtige Einflussfaktoren auf die Versuchsfrage überdeckt werden. Die hohe Stickstoffnachlieferung im vorliegenden Fall war vermutlich Ursache dafür, dass weitere Einflüsse auf die Ertragsleistung, die in Abhängigkeit der Leguminosenart und des Leguminosenanteils zu erwarten gewesen wären, nicht mehr nachgewiesen werden konnten.

Es zeigten sich lediglich Tendenzen, wonach im Gemengeanbau mit Pannonischer Wicke im Vergleich zum Gemengeanbau mit Zottelwicke oder Erbse die höchsten Erträge erzielt werden konnten. Auf die Trockensubstanzgehalte hatten die Leguminosen als Mischungspartner im Versuchsjahr 2013/2014 einen leicht mäßigenden Einfluss. Dieser war insbesondere bei den Triticale- und Roggenvarianten am Standort Straubing zu beobachten, wohingegen sich am Standort Aholting kaum mehr ein Effekt zeigte. Mit Ausnahme der Gerstenvarianten, die der Vegetationszeit entsprechend bereits zu einem früheren Zeitpunkt beerntet wurden, lagen die Trockensubstanzgehalte der Bestände am Standort Aholting deutlich über 40 %. Der hohe Wert war auf den augenscheinlichen

Trockenstress der Bestände zum Zeitpunkt der Ernte zurückzuführen und führte vermutlich auch dazu, dass weitere mögliche Einflussfaktoren auf den Trockensubstanzgehalt überdeckt wurden.

Ein Einfluss der Düngestufe auf die Ertragsleistung konnte im Versuchsjahr 2013/2014 selbst bei den Reingetreidereferenzen nicht nachgewiesen werden. Mit Blick auf die Gerstenvarianten am Standort Straubing (vgl. Abbildung 16) ließ sich zwar eine Abhängigkeit von der applizierten Stickstoffmenge vermuten, die bei expliziter Betrachtung jedoch nicht bestätigt werden konnte. Vor dem Hintergrund der hohen N_{\min} -Gehalte im Boden darf vermutet werden, dass die Kulturen ihren Stickstoffbedarf auch unter der Voraussetzung einer reduzierten mineralischen Düngung noch vollständig decken konnten. Der Einfluss der Düngestufe wurde auf diese Weise von den Stickstoffvorräten im Boden überdeckt.

5.4.2.2 Ertragsleistung im Versuchsjahr 2014/2015

Die Ertragsleistung der Versuchsbestände im Jahr 2014/2015 lag auf einem zufriedenstellenden, durchschnittlichen Niveau. Spitzenwerte von bis zu 180 dt TM/ha, wie sie im Jahr 2013/2014 von den Triticale-Gemengen am Standort Straubing realisiert worden waren, konnten vor dem Hintergrund weniger wüchsiger Witterungsbedingungen im zweiten Versuchsjahr nicht erreicht werden. Die zum Zeitpunkt der Ernte ermittelten Trockensubstanzgehalte wiesen eine relativ breite Streuung auf, lagen aber durchweg im akzeptablen Bereich. Lediglich bei den Gerste-Varianten wäre eine weiter fortgeschrittene Abreife der Bestände zu wünschen gewesen (vgl. Abbildung 17).

Die Triticale-Erbсен-Gemenge am Standort Straubing blieben bei der Betrachtung außen vor. Die überdurchschnittlich hohen Trockensubstanzgehalte dieser Varianten waren auf den Pilzbefall der Erbsen mit dem bodenbürtigen Welkeerreger *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* zurückzuführen (vgl. Abschnitt 5.2.2), der wie beschrieben zu einer vollständigen Nekrotisierung der Erbsenbestände geführt hatte.

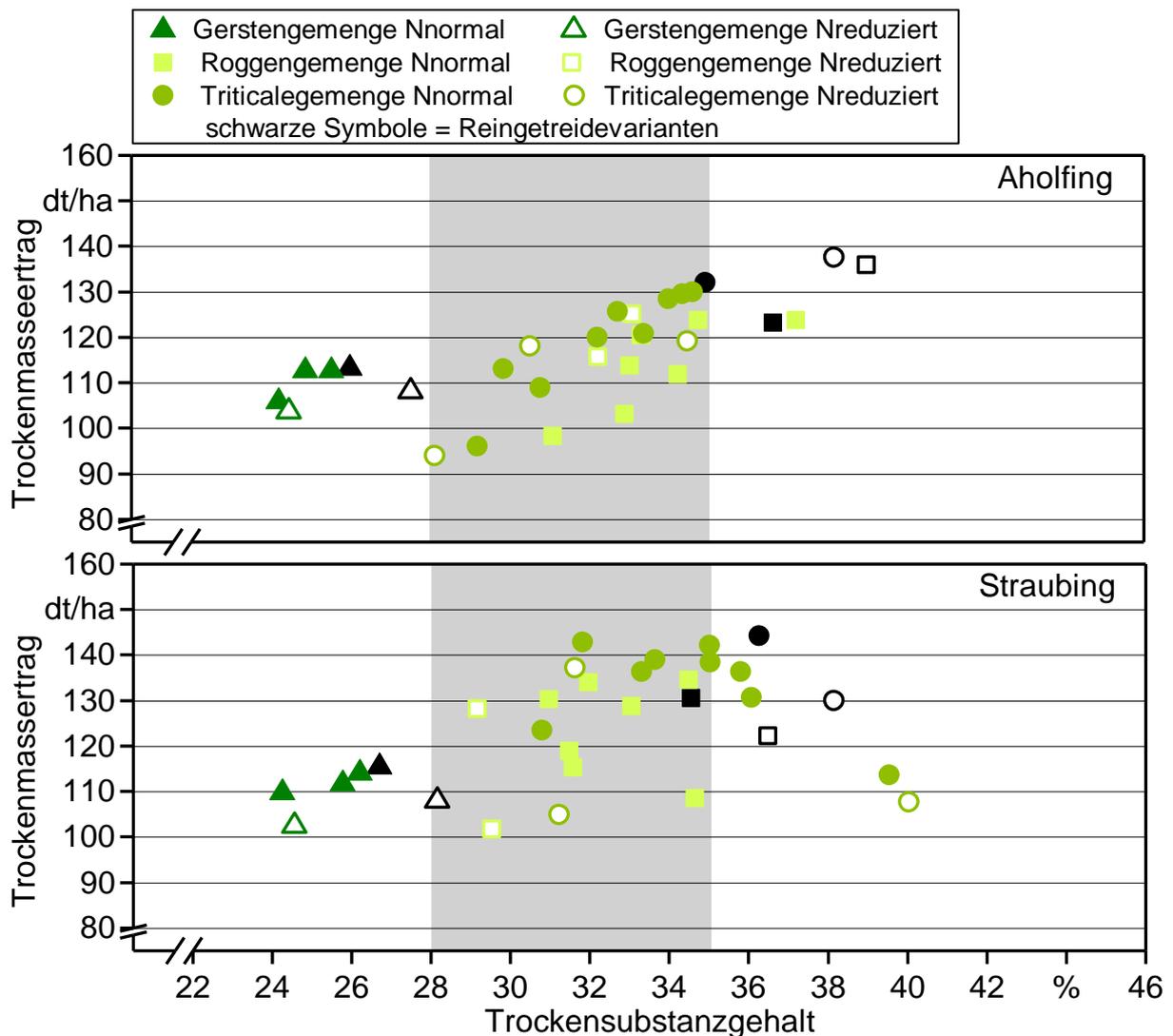


Abbildung 17: Detailbetrachtung der Ertragsleistung im Versuchsjahr 2014/2015, Darstellung getrennt nach Getreidemischungspartner und N-Düngestufe

Erstmalig in der Versuchslaufzeit war ein deutlicher Einfluss der Leguminosenart auf die Ertragsleistung zu beobachten. Wie Tabelle 12 zeigt, konnten die Ergebnisse in vielen Fällen statistisch abgesichert werden, ein Trend war in jedem Fall zu erkennen. Um tatsächlich den Effekt der Leguminosenart abzubilden und eine Überlagerung durch weitere Versuchsfaktoren auszuschließen, wurde die Betrachtung jeweils innerhalb der Gruppen mit identischem Getreidemischungspartner vorgenommen. Die Gersten-Gemenge blieben bei der Betrachtung außen vor, da diese lediglich mit dem Mischungspartner Erbse in Anbau gebracht wurden. Ferner mussten die Triticale-Erbsen-Gemenge am Standort Straubing infolge des geschilderten Krankheitsbefalls von der Betrachtung ausgeschlossen werden.

Tabelle 12: Einfluss der Leguminosenart auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015

Getreide	Leguminose	Aholting		Straubing	
		Mittelwert ¹⁾ in dt TM/ha	Mittelwert in % TS	Mittelwert in dt TM/ha	Mittelwert in % TS
Roggen-Reinsaat		123,2	36,7	130,5	34,6
Roggen	Zottelwicke	111,7	a 33,5	a 122,7	a 31,7
Roggen	Pan. Wicke	120,4	b 35,0	b 131,2	b 32,8
Triticale-Reinsaat		132,0	35,0	144,2	36,3
Triticale	Zottelwicke	108,4	a 30,8	a 133,6	a 33,2
Triticale	Pan. Wicke	122,9	b 32,4	a 140,4	a 33,4
Triticale	Erbse	126,3	b 33,9	c – ²⁾	– ²⁾

¹⁾ Unterschiedliche Buchstaben innerhalb der Gruppierung „gleiche Getreideart“ stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test) in Abhängigkeit der Leguminosenart.

²⁾ keine Bewertung wg. Krankheitsbefall

Auf der beschriebenen Konkurrenzsituation zwischen den Gemengepartnern gründete auch die Ertragsdifferenz in Abhängigkeit des Leguminosenanteils im Gemenge (vgl. Tabelle 13). Die deutlichsten Unterschiede zeigten sich dabei im Vergleich der Reinsaaten mit den Gemengen mit jeweils höchstem Leguminosenanteil. Auch wenn mit steigenden Leguminosenanteilen nicht ausnahmslos abnehmende Erträge nachzuweisen waren, blieben die Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015 im Mittel ertragsschwächer als die jeweilige Reinsaat. Der beobachtete Effekt entspricht damit den Erfahrungen aus der Praxis (vgl. Abschnitt 5.4.1), ohne diese mit Blick auf das erste Versuchsjahr (vgl. Abschnitt 5.4.2.1) aber verallgemeinern zu wollen.

Auch bei den Trockensubstanzgehalten war ein unmittelbarer Zusammenhang zum Leguminosenanteil im Gemenge nachweisbar (vgl. Tabelle 13). Die Unterschiede waren deutlich genug ausgeprägt, um neben der Differenz zwischen Gemenge- und Reingetreidevarianten auch einen direkten Zusammenhang zwischen abnehmenden TS-Gehalten und zunehmendem Leguminosenanteil herstellen zu können.

Tabelle 13: Einfluss des Leguminosenanteils auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015

Getreide	Leguminose	Aholting		Straubing	
		Mittelwert ¹⁾ in dt TM/ha	Mittelwert in % TS	Mittelwert in dt TM/ha	Mittelwert in % TS
Roggen-Reinsaat		123,2	36,7	130,5	34,6
Roggen	Zottelwicke max	103,0	a 32,9	a 115,3	a 31,6

Getreide	Leguminose		Aholting			Straubing				
			Mittelwert ¹⁾ in dt TM/ha		Mittelwert in % TS		Mittelwert in dt TM/ha		Mittelwert in % TS	
Roggen	Zottelwicke	mittel	120,4	a	33,3	a	118,8	ab	31,5	a
Roggen	Zottelwicke	min	111,8	a	34,3	a	133,9	b	32,0	a
Roggen	Pan. Wicke	max	113,7	a	33,0	a	130,3	a	31,0	a
Roggen	Zottelwicke	mittel	123,8	b	34,8	a	128,8	a	33,1	b
Roggen	Pan. Wicke	min	123,7	b	37,2	b	134,5	a	34,5	c
Triticale-Reinsaat			132,0		35,0		144,2		36,3	
Triticale	Zottelwicke	max	96,1	a	29,2	a	123,4	a	30,8	a
Triticale	Zottelwicke	mittel	109,0	ab	30,8	ab	139,0	b	33,6	b
Triticale	Zottelwicke	min	120,0	b	32,2	b	138,4	b	35,0	c
Triticale	Pan. Wicke	max	113,1	a	29,9	a	142,8	a	31,8	a
Triticale	Pan. Wicke	mittel	125,7	ab	32,8	b	136,3	b	33,3	b
Triticale	Pan. Wicke	min	129,9	b	34,6	c	142,1	ab	35,0	c
Triticale	Erbse	max	120,9	a	33,4	a	— ²⁾		— ²⁾	
Triticale	Erbse	mittel	128,4	b	34,0	a	— ²⁾		— ²⁾	
Triticale	Erbse	min	129,5	b	34,4	a	— ²⁾		— ²⁾	
Gerste-Reinsaat			113,2		26,0		115,5		26,7	
Gerste	Erbse	max	105,9	a	24,2	a	109,8	a	24,3	a
Gerste	Erbse	mittel	112,7	b	24,9	ab	111,6	ab	25,8	ab
Gerste	Erbse	min	112,7	b	25,5	b	114,1	b	26,2	b

¹⁾ Unterschiedliche Buchstaben innerhalb der Gruppierung „gleiche Getreideart“ stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test) in Abhängigkeit der Leguminosenart.

²⁾ keine Bewertung wg. Krankheitsbefall

Ein Vergleich der Ertragsleistung in Abhängigkeit der Dünge­stufe führte im Versuchsjahr 2014/2015 zu keinen Erkenntnissen. Im Ergebnis konnten zwar Ertragsdifferenzen nachgewiesen werden, diese verhielten sich im Vergleich der Standorte jedoch völlig konträr. Während am Standort Aholting sowohl die reduziert gedüngten Gemengevarian­ten als auch die Reingetreidereferenzen für Roggen und Triticale tendenziell höhere Er­tragsleistungen erzielten, zeigte sich am Standort Straubing das exakt entgegengesetzte Bild. Die Hintergründe dieser Beobachtung erschließen sich nicht. Die Vermutung, dass die normal gedüngten Bestände am Standort Aholting stärker vom Lager betroffen und in der Folge tendenziell schlechter zu beernten waren als die reduziert gedüngten Bestän­de, konnte lediglich für die Roggenvarianten bestätigt werden. Beim Vergleich der Dün­gestufen verdeutlicht wurde hingegen nochmals der Einfluss des Leguminosenmi­schungspartners auf die Trockensubstanzgehalte zum Zeitpunkt der Ernte. Während die Trockensubstanzgehalte bei den Reingetreidereferenzen durch die vermehrte Reduktion an Blattmasse infolge der reduzierten Stickstoffdüngung deutlich anstiegen, konnte die-

ser Effekt in den Gemengen durch den Leguminosenmischungspartner deutlich gedämpft werden.

5.4.2.3 Ertragsleistung im Versuchsjahr 2015/2016

Die Ertragsleistung im Versuchsjahr 2015/2016 lag auf ähnlichem Niveau wie im Versuchsjahr 2014/2015 und zeigte darüber hinaus ein ähnliches Verteilungsmuster. Die Trockensubstanzgehalte zum Zeitpunkt der Ernte streuten weit weniger als in den Vorjahren und lagen überwiegend im anzustrebenden Bereich. Auffallend war, dass die Versuchsvarianten am Standort Aholting in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners im Mittel nahezu identische Ertragsleistungen erzielten (vgl. Abbildung 18).

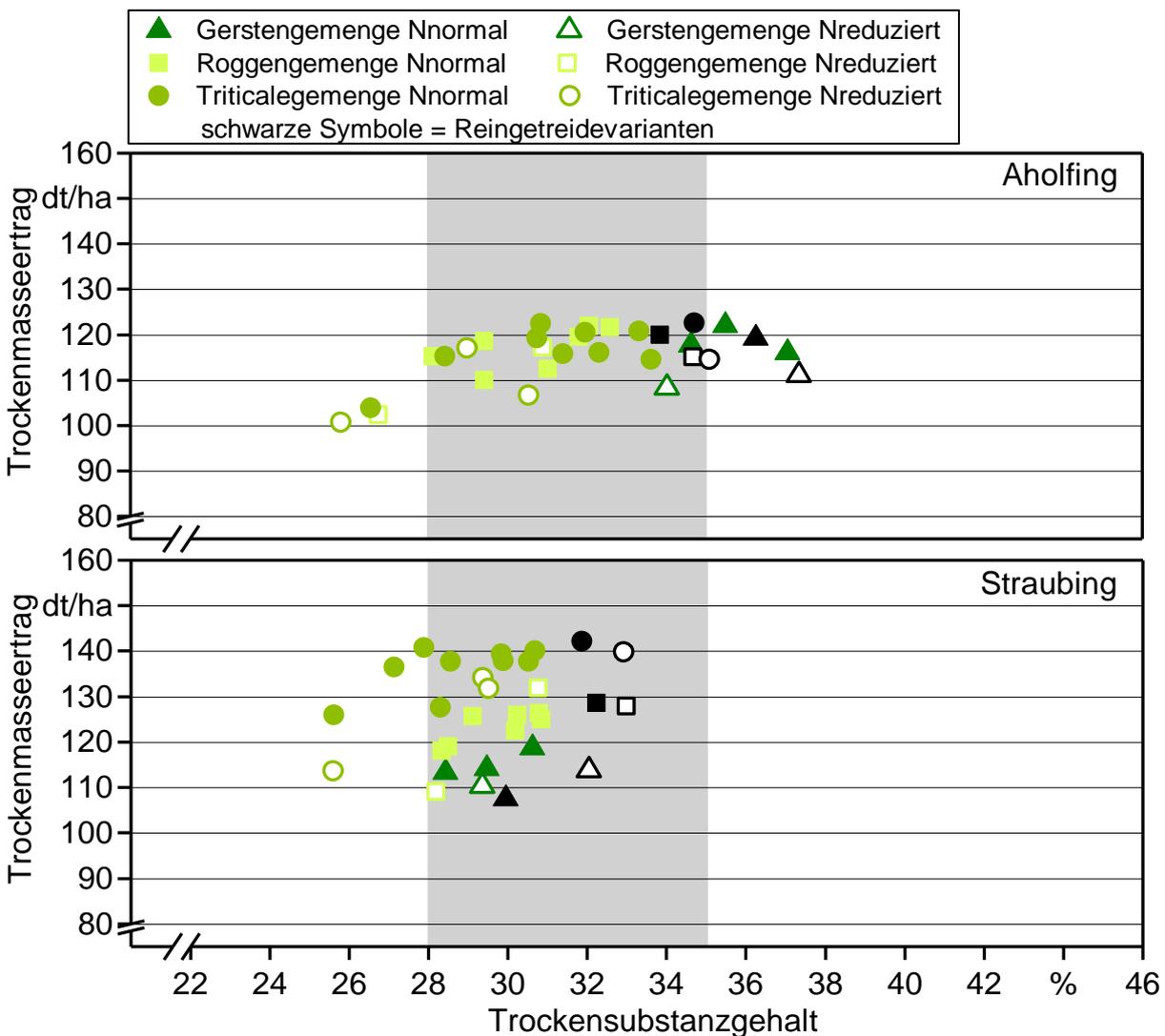


Abbildung 18: Detailbetrachtung der Ertragsleistung im Versuchsjahr 2015/2016, Darstellung getrennt nach Getreidemischungspartner und N-Düngestufe

Wie bereits unter Bezugnahme auf das allgemeine Ertragspotenzial der Leguminosen-Getreide-Gemenge erläutert wurde, verringert sich die Vorrangstellung der artspezifisch ertragsstärkeren, aber gleichzeitig auch anspruchsvolleren Getreidearten unter nicht optimalen Standortbedingungen. Im Versuchsjahr 2015/2016 wurde darüber hinaus die mineralische Stickstoffdüngung als Reaktion auf die massiven Lagerereignisse in den ersten beiden Versuchsjahren reduziert (vgl. Abschnitt 4.2.1), was das Ertragspotenzial der Roggen- und Triticale-Gemengen nochmals gesenkt und letztendlich auf das Niveau der Gersten-Gemenge gebracht haben könnte.

Betrachtet man den Einfluss der Leguminosenart auf die Ertragsleistung, so ließen sich die Ergebnisse des Vorjahrs weitestgehend bestätigen (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Einfluss der Leguminosenart auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016

Getreide	Leguminose	Aholting		Straubing	
		Mittelwert ¹⁾ in dt TM/ha	Mittelwert in % TS	Mittelwert in dt TM/ha	Mittelwert in % TS
Roggen-Reinsaat		120,0	33,9	128,5	32,2
Roggen	Zottelwicke	118,6 a	29,9 a	122,4 a	29,3 a
Roggen	Pan. Wicke	117,8 a	31,8 b	125,8 a	30,6 b
Triticale-Reinsaat		122,5	34,7	142,2	31,9
Triticale	Zottelwicke	113,8 a	28,6 a	134,6 a	26,9 a
Triticale	Pan. Wicke	120,2 b	32,0 b	138,6 a	29,7 b
Triticale	Erbse	115,5 ab	32,5 b	134,9 a	29,6 b

¹⁾ Unterschiedliche Buchstaben innerhalb der Gruppierung „gleiche Getreideart“ stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test) in Abhängigkeit der Leguminosenart.

Auch wenn nicht immer eine Signifikanz nachzuweisen war, sprachen die Ergebnisse doch wiederholt dafür, dass im Mischanbau mit Pannonischer Wicke – insbesondere bei höheren Leguminosenanteilen – die höchsten Gesamterträge zu realisieren waren. Im Gegenzug hatte der Mischanbau mit Zottelwicke erneut einen mäßigenden Einfluss auf die Trockensubstanzgehalte zum Zeitpunkt der Ernte. Die Erbsengemenge reihten sich – zumindest in der für den unmittelbaren Vergleich heranzuziehenden Gruppe der Triticale-Leguminosen-Gemenge – im Mittelfeld ein. Die erzielten Ertragsleistungen lagen leicht über den Gemengen mit Zottelwicke, bezüglich des Trockensubstanzgehalts konnten im Mischanbau mit Erbsen ähnliche Effekte erzielt werden wie im Mischanbau mit Pannonischer Wicke.

Auch der Leguminosenanteil im Gemenge erwies sich erneut als wichtiger Einflussfaktor auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Einfluss des Leguminosenanteils auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016

Getreide	Leguminose		Aholfing			Straubing				
			Mittelwert ¹⁾ in dt TM/ha		Mittelwert in % TS	Mittelwert in dt TM/ha		Mittelwert in % TS		
Roggen-Reinsaat			120,0		33,9		128,5		32,2	
Roggen	Zottelwicke	max	115,2	a	28,1	a	119,0	a	28,5	a
Roggen	Zottelwicke	mittel	118,6	ab	29,4	a	125,7	a	29,1	a
Roggen	Zottelwicke	min	121,9	b	32,1	b	122,5	a	30,2	a
Roggen	Pan. Wicke	max	112,4	a	31,0	a	126,0	a	30,2	a
Roggen	Zottelwicke	mittel	119,6	ab	31,8	ab	125,0	a	30,8	a
Roggen	Pan. Wicke	min	121,5	b	32,6	b	126,4	a	30,8	a
Triticale-Reinsaat			122,5		34,7		142,2		31,9	
Triticale	Zottelwicke	max	103,9	a	26,6	a	126,0	a	25,6	a
Triticale	Zottelwicke	mittel	115,2	b	28,4	b	136,5	ab	27,1	b
Triticale	Zottelwicke	min	122,4	c	30,8	c	140,8	b	27,9	c
Triticale	Pan. Wicke	max	119,3	a	30,7	a	137,7	a	28,6	a
Triticale	Pan. Wicke	mittel	120,5	a	32,0	ab	137,9	a	29,9	b
Triticale	Pan. Wicke	min	120,8	a	33,3	b	140,1	a	30,7	b
Triticale	Erbse	max	115,7	a	31,4	a	127,5	a	28,3	a
Triticale	Erbse	mittel	116,1	a	32,3	ab	139,3	b	29,8	b
Triticale	Erbse	min	114,6	a	33,6	b	137,7	b	30,5	b
Gerste-Reinsaat			119,2		36,3		107,6		30,0	
Gerste	Erbse	max	117,7	a	34,6	a	114,2	a	29,5	ab
Gerste	Erbse	mittel	122,0	a	35,5	ab	113,3	a	28,4	a
Gerste	Erbse	min	116,0	a	37,1	b	118,8	a	30,6	b

¹⁾ Unterschiedliche Buchstaben innerhalb der Gruppierung „gleiche Getreideart“ stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test) in Abhängigkeit der Leguminosenart.

Obwohl im Gegensatz zum Versuchsjahr 2014/2015 nicht für alle Leguminosen-Getreide-Gemenge ein proportionaler Zusammenhang zwischen steigenden Leguminosenanteilen und sinkenden Trockenmasseerträgen nachgewiesen werden konnte, wirkten hohe Leguminosenanteile ohne Zweifel als ertragsmindernder Faktor. Ebenso hatten hohe Leguminosenanteile einen klar mäßigenden Einfluss auf die Trockensubstanzgehalte zum Zeitpunkt der Ernte. Dieser Effekt war am Standort Aholfing, bedingt durch das insgesamt höhere TS-Niveau, besonders deutlich ausgeprägt.

Ein Einfluss der Düngestufe auf die Ertragsleistung war auch im Versuchsjahr 2015/2016 nur bedingt wahrnehmbar. Am Standort Aholfing führte die reduzierte Stickstoffapplikati-

on zu leichten Einbußen im Trockenmasseertrag, klare Unterschiede zwischen Gemeengevarianten und Reingetreidereferenzen konnten dabei nicht ausgemacht werden. Am Standort Straubing war die Differenz zwischen normal und reduziert gedüngten Varianten wohl auch infolge der vergleichsweise höheren Stickstoffnachlieferung aus dem Boden noch geringer ausgeprägt als am Standort Aholting. Bezüglich der Trockensubstanzgehalte ergab sich ein ähnliches Bild wie im Vorjahr. Während die Trockensubstanzgehalte bei den Reingetreidereferenzen unter der Voraussetzung einer reduzierten Stickstoffapplikation erneut anstiegen, zeigte sich in den Gemengen wiederholt der mä- ßigende Einfluss des Leguminosenmischungspartners.

5.4.3 Einfluss der Leguminosenart und des Leguminosenanteils auf die Ertragsleistung von Leguminosen-Getreide-Gemengen

Fasst man die Ergebnisse der beiden letzten für die Beantwortung der Versuchsfragen maßgeblichen Jahre zusammen, so kann daraus abgeleitet werden, dass der Ertragsaufbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen gewissen Gesetzmäßigkeiten unterliegt. Neben der Getreideart stellen die Leguminosenart und der Leguminosenanteil zwei Faktoren dar, die im Versuch hinsichtlich ihres Einflusses auf die Ertragsleistung von Leguminosen-Getreide-Gemengen beleuchtet wurden (vgl. Abbildung 19).

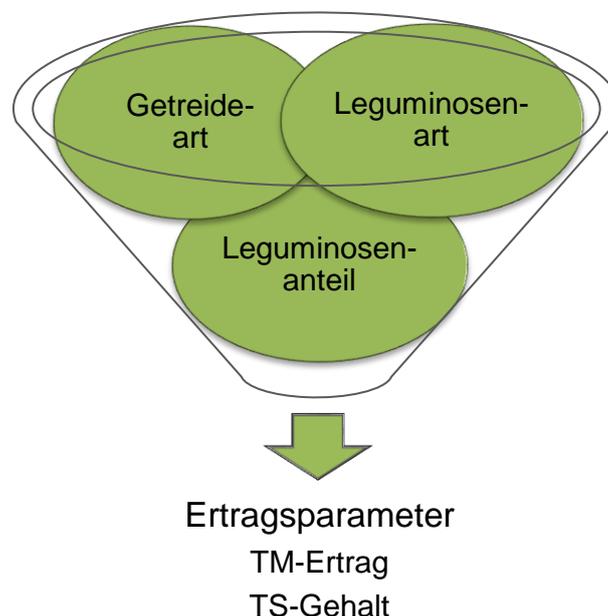


Abbildung 19: Wesentliche Einflussfaktoren auf die Ertragsleistung von Leguminosen-Getreide-Gemengen

Der Getreidemischungspartner ist im Rahmen der Fruchtfolge eines Betriebs häufig bereits gesetzt. Durch die gezielte Auswahl von Leguminosenart und Leguminosenanteil eröffnet sich für den Landwirt die Möglichkeit, die Gemenge passgenau an die individuellen Standortbedingungen abzustimmen, um auf diese Weise das Ertragspotenzial bestmöglich auszuschöpfen und optimale TS-Gehalte zu erzielen.

5.4.3.1 Einflussfaktoren auf den Trockensubstanzgehalt und Optimierungsmöglichkeiten

Die Abreife von Reingetreidebeständen verläuft oft sprunghaft. Um die Ganzpflanzen zu optimalen Trockensubstanzgehalten beernten zu können, bleibt häufig nur ein enges Zeitfenster. Wie Abbildung 20 verdeutlicht, kann durch die gezielte Auswahl der Leguminosenart und des Leguminosenanteils mäßigend auf die Trockensubstanzgehalte der Gemenge zum Zeitpunkt der Ernte eingewirkt werden. Diese Eigenschaft von Leguminosen-Getreide-Gemengen wird in der Praxis sehr geschätzt, da sie in der Zeit von Arbeitsspitzen eine wertvolle Flexibilisierung des Erntefensters ermöglicht. Sollte sich der Erntezeitpunkt der Leguminosen-Getreide-Gemenge über den optimalen Reifegrad des Getreides hinaus verzögern, können die erhöhten Trockensubstanzgehalte des Getreides durch die ausgleichende Wirkung der Leguminosen reguliert und die Silierfähigkeit des Substrats erhalten werden. Nicht zu beeinflussen ist jedoch die Verdaulichkeit des Getreides, die mit zunehmender Abreife und gleichzeitiger Lignifizierung des Materials sinkt.

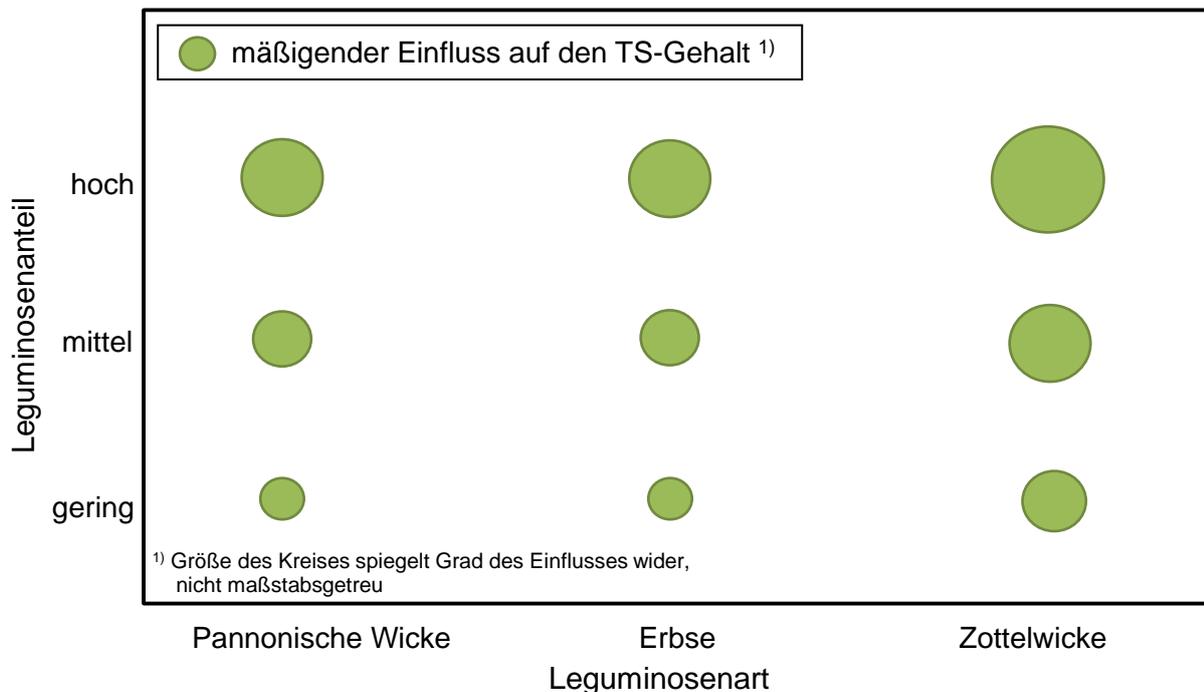


Abbildung 20: Einfluss von Leguminosenart und Leguminosenanteil auf den Trockensubstanzgehalt zum Zeitpunkt der Ernte

Die Steigerung des Leguminosenanteils erscheint als einfachste Maßnahme, um mäßigend auf zu hohe Trockensubstanzgehalte einzuwirken. Allerdings sollte dieser sowohl im Hinblick auf eine erschwerte Beerntbarkeit der Bestände (vgl. Abschnitt 5.2.4.1) als auch im Hinblick auf die zunehmenden Saatgutkosten nicht beliebig erhöht werden. Wie die oben stehende Abbildung 20 verdeutlicht, kann durch die Kombination einer wüchsigen Leguminosenart, wie z. B. der Zottelwicke, ein ähnlicher oder sogar deutlicherer Effekt erzielt werden als durch eine Steigerung des Leguminosenanteils. Durch den üppi-

gen Aufwuchs an Grünmasse erwies sich beim Mischungspartner Zottelwicke zudem ein sehr geringer Anteil als ausreichend, um den Trockensubstanzgehalt im Vergleich zum jeweiligen Reingetreidebestand merklich zu senken (vgl. Tabelle 13 und Tabelle 15). Unter Berücksichtigung einer ausgewogenen Bestandszusammensetzung (vgl. Abschnitt 5.2.4.1) wird für die Praxis, unabhängig vom Getreidemischungspartner, ein Anteil von 3 kg Zottelwicke/ha im Gemenge empfohlen. Dieser Wert entsprach im Versuchsaufbau der geringsten Anteilstufe bei Roggen und einem Mittelwert zwischen geringster und mittlerer Anteilstufe bei Triticale.

Wie der Vergleich der Versuchsstandorte verdeutlichte, wird insbesondere auf leichteren Standorten vom mäßigenden Einfluss der Zottelwicke auf die zum Überschießen neigenden Trockensubstanzgehalte profitiert (vgl. Tabelle 13 und Tabelle 15). Werden die Empfehlungen bezüglich des maximalen Leguminosenanteils im Gemenge berücksichtigt, ist auf leichten Standorten auch kein erhöhtes Lagerrisiko zu befürchten.

Auf tiefgründigen Standorten mit hoher Stickstoffnachlieferung hingegen ist weniger wüchsigen Leguminosenarten wie der Pannonischen Wicke der Vorzug zu geben. Durch die vergleichsweise gute Wasserversorgung reifen auch Reingetreidebestände in der Regel kontinuierlicher ab als auf leichten Standorten. Die Trockensubstanzgehalte liegen naturgemäß auf einem niedrigeren Niveau, sodass ein stark mäßigender Einfluss einer massewüchsigen Leguminosenart, wie z. B. der Zottelwicke, nicht unmittelbar von Bedarf ist und Nachteile, wie ein erhöhtes Lagerrisiko, überwiegen würden. Wie aus dem Versuchsverlauf deutlich wurde, ist das erhöhte Lagerrisiko der Bestände nicht allein dem üppigen Wachstum der Zottelwicke zuzuschreiben, sondern gründet auch in der verminderten Standfestigkeit des Getreidemischungspartners infolge einer erhöhten Stickstoffnachlieferung aus dem Boden (vgl. Unterkapitel 5.2). Der vergleichsweise zurückhaltende Wuchs der Pannonischen Wicke beeinträchtigt in diesem Fall die Standfestigkeit des Getreidemischungspartners weit weniger als der dominante Wuchs der Zottelwicke, da sie diesen nur wenig überwächst und nicht zusätzlich zu Boden drückt. Für den Anbau auf tiefgründigen Standorten mit hoher Stickstoffnachlieferung wird aus dieser Erfahrung heraus die Pannonische Wicke als Mischungspartner empfohlen. Der Anteil der Leguminosen im Gemenge orientiert sich wiederum an den Empfehlungen, die mit Blick auf eine ausgewogene Bestandszusammensetzung ausgesprochen wurden (vgl. Abschnitt 5.2.4.1), und wird unabhängig vom Getreidemischungspartner auf 6 kg Pannonische Wicke/ha festgesetzt. Mit dieser Menge, die sowohl bei Roggen als auch bei Triticale in etwa der mittleren Anteilstufe im Versuch entsprach, konnte darüber hinaus noch eine leichte bis mäßig starke Absenkung der Trockensubstanzgehalte bewirkt werden (vgl. Tabelle 13 und Tabelle 15).

In der Kombination mit Erbse konnten im Versuch häufig ähnliche Effekte erzielt werden wie in der Kombination mit Pannonischer Wicke. Allerdings zeigten die Ergebnisse nicht die gewünschte Kontinuität. Dies mag zum einen dem Umstand geschuldet sein, dass der Anteil an Erbsen in Pflanzen/m² deutlich geringer lag als bei den Wickeln, sodass bereits geringe Ausfälle bei Auflauf und Entwicklung zu Verschiebungen zwischen den Versuchsvarianten führten. Zum anderen spiegeln die Ergebnisse aber auch die stark jahresabhängige Entwicklung der Erbsenbestände und deren vergleichsweise hohe

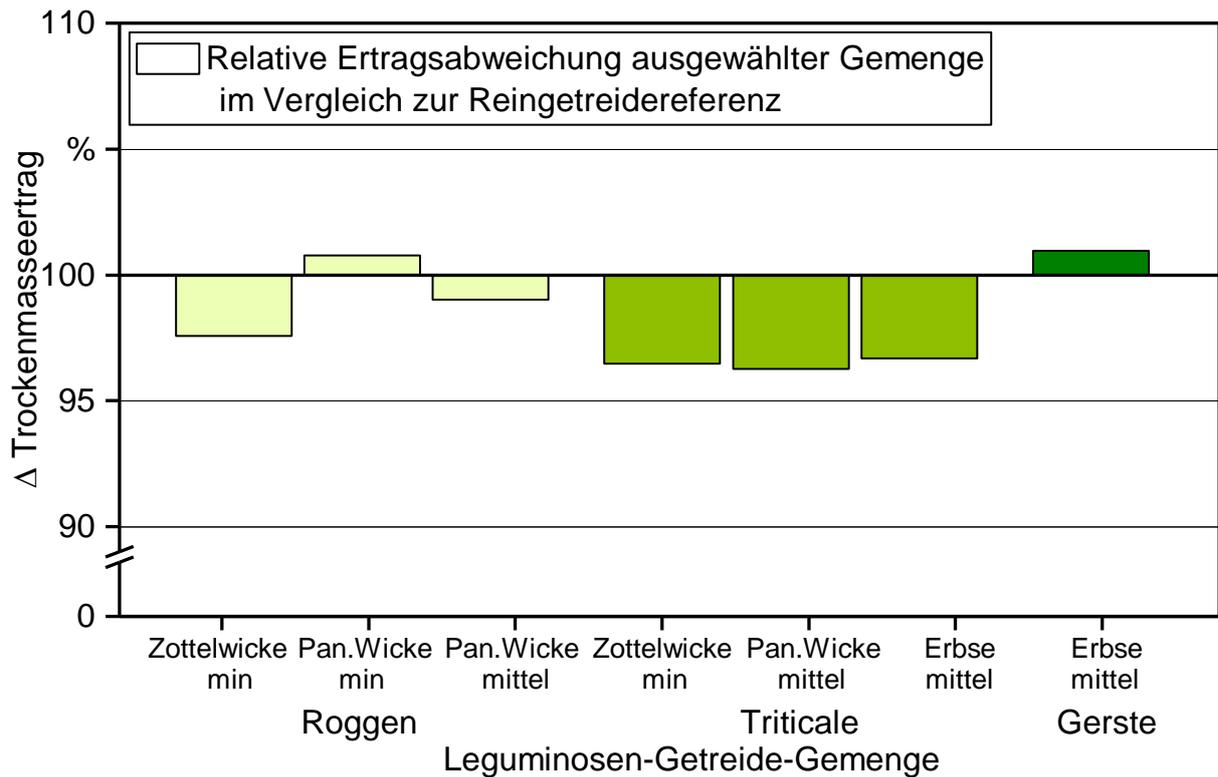
Krankheitsanfälligkeit wider. Der Gemengeanbau mit Erbsen ist dahingehend nur auf Standorten mit einem geringen Krankheitsdruck durch bodenbürtige Pilzerreger anzuraten. Als Mischungsverhältnis werden in Anlehnung an die mittlere Anteilstufe im Versuch 8 kg Erbsen/ha empfohlen. Bei guter Bestandsentwicklung reicht dieser Anteil aus, um neben einem ausgewogenen Bestandsbild (vgl. Abschnitt 5.2.4.1) auch einen mäßigen Einfluss auf die Trockensubstanzgehalte zu erzielen.

5.4.3.2 Einflussfaktoren auf den Trockenmasseertrag und Optimierungsmöglichkeiten

Wie aus den oben angeführten Erläuterungen deutlich wurde, kann bereits mit einem geringen Anteil an Leguminosen im Gemenge eine Flexibilisierung des Erntefensters erreicht werden. Ungeachtet dessen wird man sich in der Praxis die Frage stellen, ob Leguminosen-Getreide-Gemenge neben diesem und weiteren positiven Aspekten auch einem Ertragsvergleich mit den jeweiligen Reingetreidevarianten standhalten können.

Vor diesem Hintergrund soll nachfolgend beleuchtet werden, welche Ertragsdifferenzen sich im Versuch im Vergleich der Gemenge- mit den jeweiligen Reingetreidevarianten tatsächlich ergaben. Herausgegriffen werden dabei jene Varianten, die vorausgehend im Hinblick auf eine ausgewogene Bestandszusammensetzung in besonderem Maße für den Anbau in der Praxis empfohlen worden sind (vgl. Tabelle 9, Abschnitt 5.2.4.1).

Die in Abbildung 21 ausgewiesenen Werte stellen die relative Ertragsleistung der ausgewählten Gemenge im Vergleich zur jeweiligen Reingetreidevariante dar. Grundlage bildete jeweils ein Mittelwert, der über beide Standorte und die Versuchsjahre 2014/2015 und 2015/2016 gebildet wurde. Die zugrunde liegenden Einzelwerte können Tabelle 27 im Anhang entnommen werden. Das erste Versuchsjahr bleibt auch an dieser Stelle in der Betrachtung außen vor, da die damaligen Standortbedingungen wie bereits erläutert einen Einfluss von Leguminosenart und Leguminosenanteil überlagerten.



Pan. Wicke: Pannonische Wicke

Abbildung 21: Relative Ertragsabweichung ausgewählter Leguminosen-Getreide-Gemenge im Vergleich zur Reingetreidereferenz

Wie Abbildung 21 verdeutlicht, sind bei Gemengen mit geringen bis mittleren Anteilen an Leguminosen keine bedeutenden Ertragseinbußen im Vergleich zur Reingetreidereferenz zu befürchten. Auch wenn im Misanbau mit Zottelwicke im Einzelfall noch Ertragseinbußen bis zu 10 % hingenommen werden mussten, relativierte sich dieser Wert im Mittel. Unterschiede in der Ertragsleistung, die sich bei höheren Anteilen insbesondere im direkten Vergleich der beiden Leguminosenarten Zottelwicke und Pannonische Wicke ergaben, kamen bei geringeren Anteilen kaum mehr zum Tragen.

Liegt die oberste Priorität des Landwirts dennoch in der Maximierung des Gesamtertrags, so ist der Pannonischen Wicke gegenüber der Zottelwicke der Vorzug zu geben. Der vergleichsweise zurückhaltende Wuchs dieser Leguminosenart lässt dem Getreidemischungspartner ausreichend Raum, um sich optimal zu entwickeln und als Hauptertragsbildner wesentlich zum Gesamtertrag der Gemenge beizutragen.

5.4.4 Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Ertragsleistung von Leguminosen-Getreide-Gemengen

Die symbiotische Stickstofffixierungsleistung von Leguminosen hängt in hohem Maße vom Vorhandensein externer Stickstoffquellen ab, wie sie durch die N-Mineralisierung des Bodens oder eine Stickstoffdüngung geschaffen werden. Je mehr Stickstoff der Pflanze aus dritten Quellen zur Verfügung steht, desto geringer ist ihre eigene Stickstofffixierungsleistung. Dies gilt auf Basis zahlreicher Studien als erwiesen (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Um den positiven Aspekt der symbiotischen Stickstofffixierung auch im Gemengeanbau effektiv nutzen zu können, sollte die Stickstoffdüngung – aus diesem Blickwinkel betrachtet – auch dort so gering wie möglich angesetzt werden. Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit auch der Getreidemischungspartner von der symbiotischen Stickstofffixierung profitiert und in welchem Maße die mineralische Stickstoffdüngung tatsächlich reduziert werden kann, ohne Ertragseinbußen befürchten zu müssen.

Voraussetzung für die Schlussfolgerung, dass die Leguminosen den durch die reduzierte Düngung implizierten Stickstoffmangel ausgleichen können, wäre gewesen, dass sich eine Ertragsdifferenz, die bei den Reingetreidevarianten im Vergleich der Dünge­stufen auftritt, bei den Gemengevarianten entsprechend verringert oder sogar aufhebt. Eine entsprechende Gegenüberstellung der Ertragsleistungen im Versuch führte jedoch zu keinen eindeutigen Ergebnissen.

Als gesicherte Beobachtung ist hingegen festzuhalten, dass eine reduzierte Düngung durch die vermehrte Reduktion an Blattmasse zu höheren Trockensubstanzgehalten zum Zeitpunkt der Ernte führte. Der mäßigende Einfluss des Leguminosenmischungspartners kam bei den reduziert gedüngten Gemengen deshalb in besonderer Weise zum Tragen.

Zusammenfassend darf gesagt werden, dass unter der Voraussetzung einer reduzierten Stickstoffdüngung keine signifikante Ertragsminderung bei den Leguminosen-Getreide-Gemengen nachgewiesen werden konnte. Im Gegenzug ist bei einer intensiveren Düngung aber mit Sicherheit von einer Beeinträchtigung der Stickstofffixierungsleistung der Leguminosen auszugehen. Für den speziellen Fall der in dieser Fragestellung betrachteten Versuchsvarianten, welche den vergleichsweise höchsten Leguminosenanteil aufwiesen, wäre eine höhere Stickstoffdüngung also nicht zu rechtfertigen gewesen. Aussagen für Gemenge mit geringerem Leguminosenanteil, die auf Basis der gezeigten Bestandsentwicklung und Ertragsleistung vorausgehend für den Anbau empfohlen wurden, können an dieser Stelle jedoch nicht abgeleitet werden. Uneingeschränkt gültig ist hingegen die Aussage, dass das Lagerrisiko von Leguminosen-Getreide-Gemengen durch hohe Stickstoffgaben unnötig gesteigert wird, sodass allein aus diesem Grund eine zurückhaltende Stickstoffdüngung anzuraten ist.

5.5 Substratqualität und Methanertragspotenzial von Leguminosen-Getreide-Gemengen

Die Erhebungen zur inhaltsstofflichen Zusammensetzung sowie zum Methanertragspotenzial der Leguminosen-Getreide-Gemenge wurden auf Basis von Mischproben variantengenau, nicht aber parzellenscharf durchgeführt. Auf diese Weise werden mögliche Differenzen zwischen den Varianten zuverlässig abgebildet, eine statistische Auswertung der Daten ist jedoch nicht möglich.

5.5.1 Substratqualität

Die inhaltsstoffliche Zusammensetzung der Leguminosen-Getreide-Gemenge zeigte sich über die gesamte Versuchslaufzeit hinweg weitestgehend konstant und arttypisch. Als Grundlage für die Beurteilung wurden kulturspezifische Durchschnittswerte aus der „Datenbank Futtermittel“ der DLG herangezogen [17].

Die nachfolgende Betrachtung der Substratqualität wurde in Abhängigkeit des Versuchsjahrs vorgenommen und konzentrierte sich dabei auf jene Aspekte, die im Hinblick auf das Methanbildungspotenzial oder die Futterqualität der Leguminosen-Getreide-Gemenge von Bedeutung sein könnten. Auch ein möglicher Einfluss der Leguminosenart und des Leguminosenanteils im Gemenge wurde beleuchtet.

Die zugrunde liegenden Daten sind in Abhängigkeit von Standort und Versuchsjahr Tabelle 28 bis Tabelle 33 im Anhang zu entnehmen.

Die Substratqualität im Versuchsjahr 2013/2014 entsprach im Wesentlichen der charakteristischen Zusammensetzung von Reingetreide bzw. Leguminosen-Getreide-Gemengen bei einer Ganzpflanzennutzung zum Zeitpunkt der frühen Teigreife.

Als vergleichsweise niedrig waren die Rohproteingehalte am Standort Straubing zu bewerten, zurückzuführen vermutlich auf einen Verdünnungseffekt. Während die hohe Stickstoffmineralisation zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr 2014 zu einer üppigen Bestockung und einem enormen Massezuwachs bei den Beständen führte, reichten die verbliebenen N-Vorräte in den späteren Entwicklungsstadien mutmaßlich nur mehr für eine gerade noch ausreichende Versorgung der Pflanzen aus (vgl. Abschnitt 5.4.2.1).

Im Vergleich der Reingetreide- mit den Gemengevarianten wiesen die Gemenge etwas höhere Rohproteingehalte auf. Der üppigeren Entwicklung der Leguminosen entsprechend waren die Differenzen am Standort Straubing deutlicher ausgeprägt als am Standort Aholting. Eine Zunahme des Rohproteingehalts mit steigendem Leguminosenanteil konnte jedoch auch dort nicht nachgewiesen werden.

In Abhängigkeit der Leguminosenart enthielten die Gemenge mit Zottelwicke tendenziell mehr Rohprotein als jene mit Pannonischer Wicke. Der Rohproteingehalt der Erbsengemenge war in hohem Maße davon abhängig, ob die Pflanzen zum jeweiligen Erntezeit-

punkt, welcher in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners angesetzt worden war, bereits Fruchtstände ausgebildet hatten oder sich noch in der Blüte befanden.

Auffällig erschienen zudem die überdurchschnittlich hohen Rohasche- und Rohfasergehalte bei den Gerstenvarianten, mit denen einhergehend die Anteile stickstofffreier Extraktstoffe (NfE) entsprechend niedrig lagen. Die Abweichungen lassen sich auf die starke Lagerbildung der Bestände zum Zeitpunkt der Ernte zurückführen. Am Erntegut anhaftendes Bodenmaterial erhöhte die Rohaschegehalte, zudem liegt die Vermutung nahe, dass die Pflanzen infolge der starken Lagerbildung in eine Art Notreife eintraten, was die Rohfasergehalte übermäßig ansteigen ließ. Im Ergebnis einer differenzierteren Betrachtung der Rohfaser-Fraktion nach van Soest lag der Anteil hochverdaulicher Hemicellulosen am Gesamtrohfasergehalt überdurchschnittlich hoch. Dies erklärt auch, warum die von den Gerstenvarianten realisierten Methanausbeuten trotz der überdurchschnittlich hohen Rohfasergehalte nicht auffällig vom Mittelwert abwichen (vgl. Abschnitt 5.5.2).

Vergleichsweise trockenere Witterungsbedingungen sowie Standorte mit einem geringeren Maß an Stickstoffmineralisation prägten neben dem Ertragsniveau auch die Substratqualität im Versuchsjahr 2014/2015.

Zusammenfassend betrachtet lagen die Rohproteingehalte im Vergleich zum Vorjahr etwas höher und damit auf einem guten, leicht überdurchschnittlichen Niveau. Die Gemenge hoben sich dabei deutlich von den Reingetreidevarianten ab, was insbesondere bei einer Nutzung als proteinreiches Grundfutter für Wiederkäuer als positiv zu bewerten ist. Trotz einer Beerntung der Bestände bei nahezu optimalen Trockensubstanzgehalten lagen auch die Gehalte an Rohasche und Rohfaser überdurchschnittlich hoch. Insbesondere der erhöhte Anteil schwer verdaulicher Rohfaserfraktionen wie Lignin verschlechterte dabei die Substratqualität im Hinblick auf die Vergärbarkeit im Fermenter und dürfte zusammen mit dem geringen Anteil stickstofffreier Extraktstoffe die realisierten Methanausbeuten negativ beeinflusst haben (vgl. Abschnitt 5.5.2).

Neben den beiden Faktoren Standort und Getreidemischungspartner konnte im Jahr 2015 auch ein deutlicher Einfluss der Leguminosenart und des Leguminosenanteils auf die Substratqualität der Gemenge beobachtet werden.

So wiesen die Gemenge mit Zottelwicke, unabhängig von Getreidemischungspartner und Standort, die höchsten Rohproteingehalte auf. Auch die Rohfasergehalte lagen im Misanbau mit der äußerst wüchsigen Leguminosenart vergleichsweise hoch. Die Gemenge mit Pannonischer Wicke und Erbse blieben diesbezüglich hinter den Gemengen mit Zottelwicke zurück, wiesen im Gegenzug aber einen erhöhten Anteil leicht verdaulicher, stickstofffreier Extraktstoffe auf.

In Abhängigkeit des Leguminosenanteils waren die Unterschiede im Vergleich der Reingetreide- mit den Gemengevarianten besonders deutlich ausgeprägt. Die Rohprotein- und auch die Rohfasergehalte lagen bei den Gemengen deutlich höher, der Anteil stickstofffreier Extraktstoffe ging entsprechend zurück. Der Einfluss des Leguminosenanteils

in den Gemengen reichte sogar so weit, dass mit zunehmendem Leguminosenanteil ausnahmslos steigende Rohproteingehalte nachgewiesen werden konnten.

Bei den Gerste-Erbse-Gemengen waren infolge des zeitigen Erntetermins nur geringe Unterschiede zur Reingetreidereferenz auszumachen.

Die inhaltsstoffliche Zusammensetzung der Versuchsvarianten im Jahr 2015/2016 gestaltete sich ähnlich wie im Versuchsjahr 2014/2015. Der auffälligste Unterschied zeigte sich im Vergleich der Rohproteingehalte, die infolge der reduzierten Stickstoffdüngung (vgl. Abschnitt 4.2.1) merklich niedriger lagen als im Vorjahr. Überdurchschnittlich hoch waren zudem die Rohfasergehalte der Roggenvarianten am Standort Straubing, was als Ausdruck der Notreife infolge der ausgeprägten Lagerbildung zu werten war.

Sämtliche Einflüsse auf die Substratqualität, die in Abhängigkeit der Leguminosenart und des Leguminosenanteils im Gemenge bereits im Vorjahr zu beobachten waren, konnten mit den Ergebnissen des Versuchsjahrs 2015/2016 bestätigt werden.

Ebenso wie bei der Betrachtung des Trockenmasseertragspotenzials gaben auch hinsichtlich der Substratqualität vor allem die letzten beiden Versuchsjahre Aufschluss über den Einfluss der Leguminosenart und des Leguminosenanteils. Gleichzeitig bestätigte sich der Ausnahmecharakter des ersten Versuchsjahrs, dessen Rahmenbedingungen nur eine geringe Einflussnahme von Leguminosenart und Leguminosenanteil zuließen und kaum einen Vergleich der verschiedenen Leguminosen-Getreide-Gemenge ermöglichen.

5.5.2 Biogas- und Methanertragspotenzial

Grundlage für die Beurteilung des Biogas- und Methanertragspotenzials der Leguminosen-Getreide-Gemenge bildeten die Ergebnisse des Hohenheimer Biogasertragstests, der wie bereits erläutert für jeweils einen Standort pro Jahr durchgeführt wurde (vgl. Unterkapitel 4.4). Die Ergebnisse stellen den Mittelwert der dreifachen Laborwiederholung dar und sind Tabelle 34 bis Tabelle 36 im Anhang zu entnehmen.

Der Hohenheimer Biogasertragstest stellt eine Form des Mikro-Gärttests dar und ist deutlich kostengünstiger als vergleichbare Gäruntersuchungen im Batchtest. Die Ergebnisse werden im Allgemeinen als hinreichend genau bewertet, was in vergangenen Versuchen auch bestätigt werden konnte. Im vorliegenden Fall fielen jedoch die außergewöhnlich niedrigen Methanausbeuten der Versuchsvarianten auf, welche auch bei den Reingetreidereferenzen nicht an den vom KTBL [43] für Wintergetreide-GPS ausgewiesenen Richtwert in Höhe von 330 NI CH₄/kg oTS heranreichten.

Ein Abgleich mit Ergebnissen aus vergleichbarem Probenmaterial, das dem ATB Potsdam und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft für hauseigene Gärttests (vgl. Unterkapitel 4.4) überlassen worden war, ergab deutliche Differenzen. Da die Untersuchungen nicht das gesamte Variantenspektrum des Versuchs umfassten und die Ergebnisse teilweise auf verschiedenen Standorten erhoben wurden, ist ein direkter Vergleich nicht möglich. Abweichungen, die deutlich über dem für einen Laborfehler tolerierbaren Grenzwert von 10 % lagen, stützen jedoch die Annahme, dass der Hohenheimer Biogasertragstest im vorliegenden Fall das tatsächliche Potenzial der Versuchsvarianten unterschätzte. Die mittels Batchtest erhobenen Werte sind, gestützt auf die Ergebnisse der Reingetreidereferenzen und deren Abgleich mit Richtwerten nach KTBL [43], als deutlich plausibler zu bewerten (vgl. Tabelle 37 und Tabelle 38 im Anhang). Selbst unter vorsichtigen Annahmen ist davon auszugehen, dass das tatsächliche Methanertragspotenzial der Versuchsvarianten etwa 10 % über den mittels Hohenheimer Biogasertragstest erhobenen Werten liegt.

Ein relativer Vergleich der Versuchsvarianten ist ungeachtet dessen möglich. Mit Vorsicht zu betrachten sind aus oben genannten Gründen aber die Absolutwerte der erzielten Methanausbeuten und Methanerträge.

Im Mittel aller Versuchsvarianten konnten in den Jahren 2013/2014 und 2015/2016 etwas höhere Methanausbeuten erzielt werden als im Jahr 2014/2015 (vgl. Abbildung 22). Das höhere Ertragspotenzial im ersten und letzten Versuchsjahr war nach Abgleich mit den Analyseergebnissen zur Substratqualität vermutlich auf die höheren Gehalte stickstofffreier Extraktstoffe bei gleichzeitig niedrigerem Ligninanteil zurückzuführen. Die Gruppe der stickstofffreien Extraktstoffe umfasst unter anderem leicht verdauliche Kohlenhydrate wie Zucker und Stärke und trägt damit wesentlich zum Methanbildungspotenzial eines Substrats bei. Lignin hingegen stellt die vollständig unverdauliche Fraktion der Gerüstsubstanzen dar und kann von den methanbildenden Mikroorganismen nicht verstoffwechselt werden.

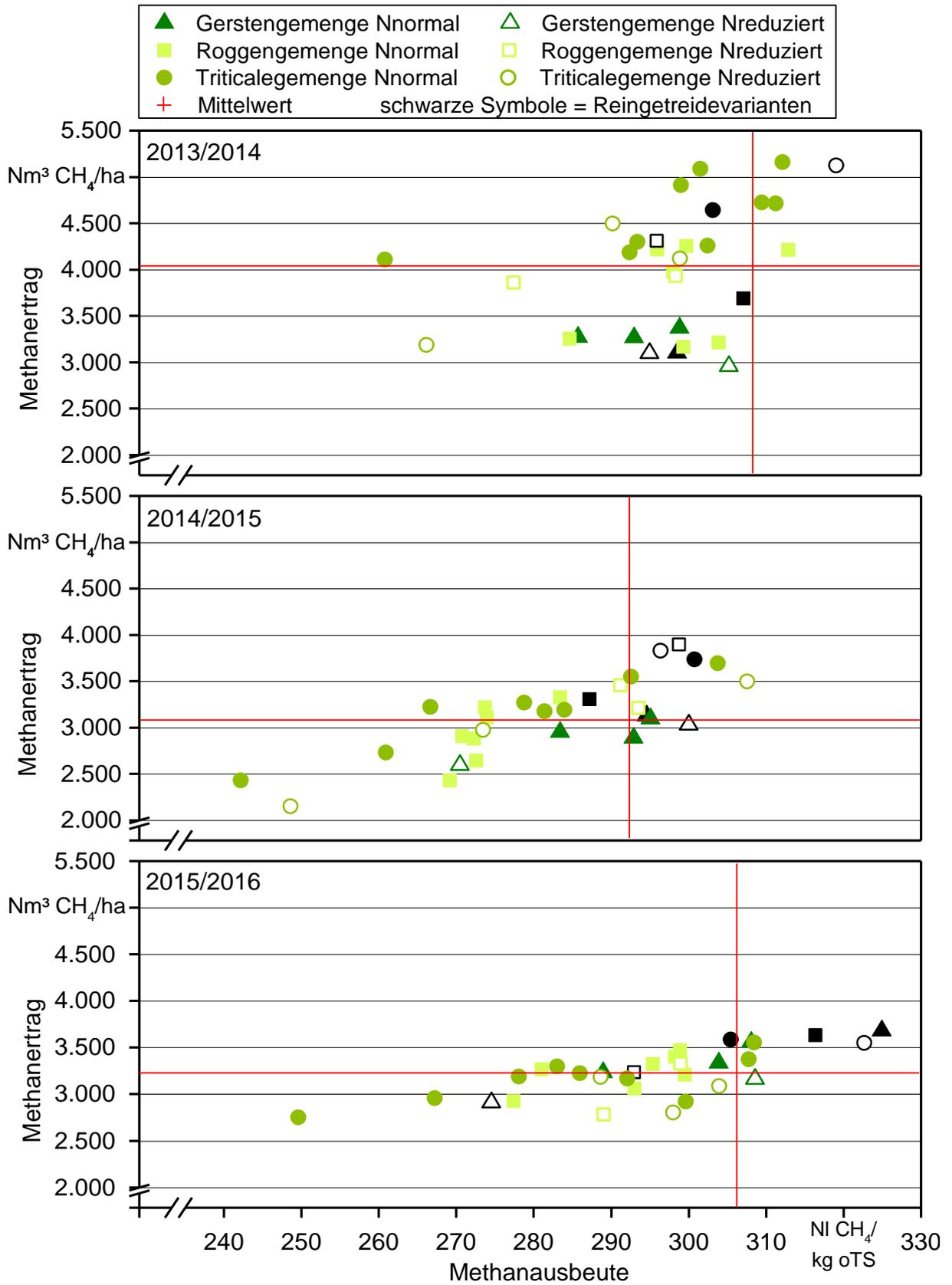


Abbildung 22: Methanerausbeuten und Methanerträge der Versuchsvarianten im Vergleich aller Versuchsjahre

Bei Betrachtung der Methanausbeuten in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners lagen die errechneten Mittelwerte nahezu gleichauf (vgl. Abbildung 23). Die minimalen Abweichungen von weniger als 10 NI CH₄/kg oTS sind angesichts der insgesamt sehr breiten Streuung der Werte (vgl. Abbildung 22) zu vernachlässigen. Die Abweichungen im Vergleich der Methanerträge sind folglich überwiegend auf das unterschiedliche Trockenmasseertragspotenzial zurückzuführen, welches als Faktor der Gleichung

$$\text{Methanertrag} = \text{Methanausbeute} \cdot \text{TM-Ertrag} \quad (5.1)$$

unmittelbar Einfluss nimmt. Die Abweichungen im Methanertrag, die sich in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners zeigten, waren demnach im Versuchsjahr 2013/2014 weit deutlicher ausgeprägt als in den Jahren 2014/2015 und 2015/2016. Da sich das Trockenmasseertragspotenzial der Versuchsvarianten in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners in diesen Jahren kaum unterschied, wichen auch die auf den Hektarertrag bezogenen Methanerträge nur geringfügig voneinander ab (vgl. Abschnitt 5.4.1).

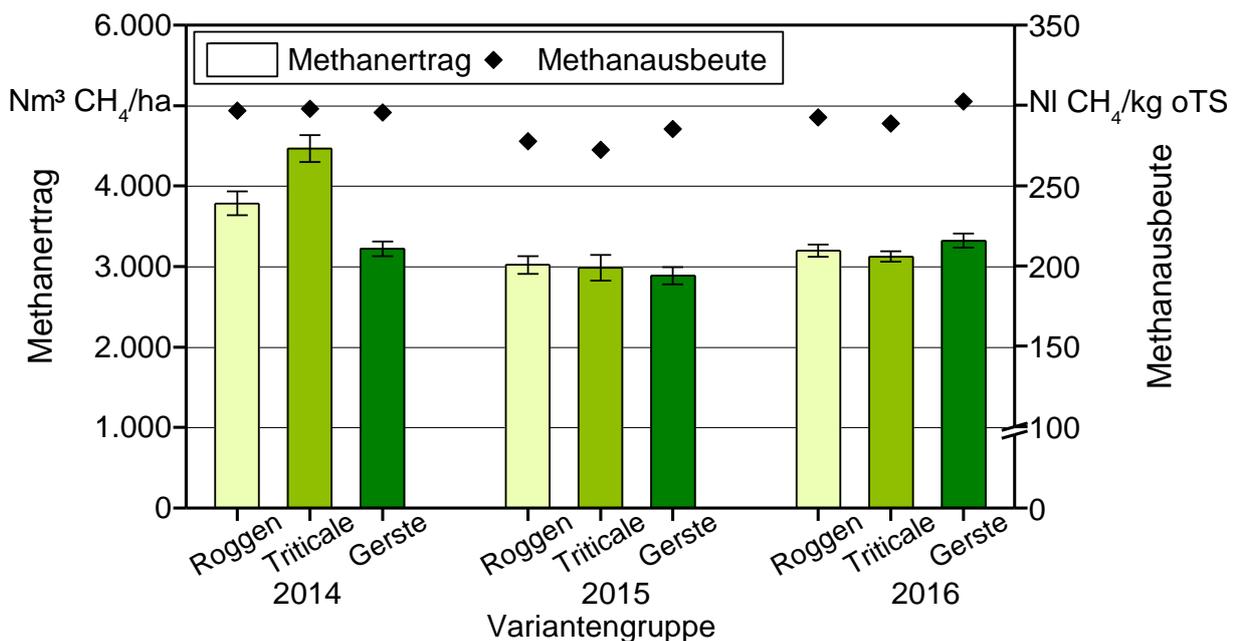


Abbildung 23: Mittlere Methanausbeuten und Methanerträge der Leguminosen-Getreide-Gemenge in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners, alle Versuchsjahre

Im Vergleich der Methanausbeuten der Gemenge mit den Methanausbeuten der jeweiligen Reingetreidereferenz zeigten sich teils konträre Ergebnisse. Im Mittel konnten von den Reingetreidevarianten aber leicht höhere Werte erzielt werden als von den Gemengen. Auch in Abhängigkeit der Leguminosenart und des Leguminosenanteils im Gemenge konnten keine gesicherten Aussagen getroffen werden. Tendenziell wurden von Gemengen mit Pannonischer Wicke oder Erbse aber vergleichsweise höhere Methanaus-

beuten erzielt als von Gemengen mit Zottelwicke. Ebenso schien sich der Leguminosenanteil über die spezifische Zusammensetzung des Substrats auf dessen Vergärbarkeit auszuwirken. Dieser Effekt war vor allem im Vergleich der Triticalevarianten zu beobachten. Steigende Leguminosenanteile verringerten bei diesen Gemengen die Methanausbeuten und waren häufig mit überdurchschnittlich hohen Rohproteingehalten und geringeren Anteilen stickstofffreier Extraktstoffe verbunden.

Ein Zusammenhang zwischen den Methanausbeuten und der Substratqualität konnte jedoch nicht immer hergestellt werden. Während im zusammenfassenden Vergleich der Methanausbeuten in Abhängigkeit des Versuchsjahrs noch Rückschlüsse auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung der Substrate gezogen werden konnten, verlor sich dieser Zusammenhang im Vergleich der einzelnen Versuchsvarianten. Anzunehmen ist, dass weitere Faktoren, die bei einigen Versuchsvarianten den Einfluss der inhaltsstofflichen Zusammensetzung überdeckten, erst bei der Mittelwertbildung aus einer größeren Stichprobenanzahl so weit abgeschwächt wurden, dass der zweifelsfrei vorhandene Zusammenhang zwischen Methanausbeute und Substratqualität hergestellt werden konnte. Welche Faktoren die Methanausbeuten der entsprechenden Versuchsvarianten derart beeinflussten, konnte aus den Ergebnissen und auch im Vergleich der einzelnen Varianten nicht abgeleitet werden.

5.6 Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Leguminosen-Getreide-Gemengen

Die Nährstoffgehalte pflanzlicher Substrate sind kulturspezifisch und spiegeln den Nährstoffbedarf und das Nährstoffaneignungsvermögen einer Kulturart wider. Abweichungen von der Norm lassen Rückschlüsse auf die gegebenen Standortbedingungen und die Versorgung der Bestände zu.

Mit der Trockenmasseertragsleistung verrechnet ergeben sich die Nährstoffentzüge je Hektar. Diese dienen als Bemessungsgrundlage für eine bedarfsgerechte Düngung. Der Stickstoffentzug stellt zudem eine wichtige Größe in der N-Bilanzierung dar.

Nachfolgend werden in einem ersten Schritt die Nährstoffgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge in Abhängigkeit des Versuchsjahrs beleuchtet und aufgetretene Besonderheiten erläutert. Die zugrunde liegenden Werte wurden auf Basis variantengenaue Mischproben ermittelt und sind in Abhängigkeit des Standorts und des Versuchsjahrs Tabelle 39 bis Tabelle 44 im Anhang zu entnehmen. Als Vergleichswert wurden die vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie für Reingetreide und Leguminosen-Getreide-Gemenge (grobkörnig) ausgewiesenen Richtwerte zu Nährstoffgehalten herangezogen [37] (vgl. Tabelle 16).

Tabelle 16: Nährstoffgehalte von Getreide und Leguminosen-Getreide-Gemengen, grobkörnig, Mischungsverhältnis 30:70, bei Ganzpflanzennutzung, modifiziert nach [37]

Kulturart	TS in %	N	P ₂ O ₅ in kg/dt Frischmasse	K ₂ O	MgO
Getreide-GPS	30	0,39	0,16	0,63	0,07
	35	0,46	0,19	0,73	0,08
Leguminosen-Getreide-Gemenge	30	0,44	0,16	0,60	0,08
	35	0,51	0,19	0,70	0,09

5.6.1 Detailbetrachtung der Nährstoffgehalte in Abhängigkeit des Versuchsjahrs

Die Ergebnisse der Nährstoffanalysen im Versuchsjahr 2013/2014 wiesen wie alle anderen Versuchsergebnisse eine deutliche Abhängigkeit vom Standort auf. Während die Nährstoffgehalte in Aholting unter Berücksichtigung der überdurchschnittlich hohen Trockensubstanzgehalte durchweg auf normalem Niveau lagen, zeigten sich am Standort Straubing unverkennbar geringere Konzentrationen. Diese waren auch absolut betrachtet als niedrig zu bewerten. Ebenso wie bei den Stickstoffgehalten und den unmittelbar daraus abgeleiteten Rohproteingehalten (vgl. Abschnitt 5.5.1) war die geringe Konzentration der Nährstoffe auf einen Verdünnungseffekt infolge der außergewöhnlich hohen Trockenmasseerträge zurückzuführen (vgl. Abschnitt 5.4.2.1).

Während aus den Ergebnissen am Standort Straubing kein Bezug zu weiteren Versuchsfaktoren hergestellt werden konnte, war am Standort Aholting eine etwas tiefer gehende Betrachtung möglich. Dort wiesen die Leguminosen-Getreide-Gemenge neben höheren Stickstoffgehalten im Mittel auch höhere Mineralstoffgehalte auf als die Reingetreidevarianten. Die Gehalte an Phosphor, Kalium und Magnesium variierten darüber hinaus in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners. Während die höheren Magnesiumgehalte der Triticalevarianten eine artspezifische Eigenheit widerspiegelten, ließen sich die erhöhten Phosphor- und Kaliumgehalte der Gerstenvarianten, ebenso wie die erhöhten Rohaschegehalte (vgl. Abschnitt 5.5.1), auf die starke Lagerbildung der Bestände und das an den Pflanzen anhaftende Bodenmaterial zurückführen.

Das Versuchsjahr 2014/2015 erlaubte, ebenso wie bei der Betrachtung der Substratqualität, eine weitaus deutlichere Differenzierung als im Vorjahr. Neben dem Einfluss des Getreidemischungspartners war auch ein gewisser Einfluss der Leguminosenart und des Leguminosenanteils auf den Nährstoffgehalt im Substrat wahrnehmbar. Die Gemenge mit Zottelwicke wiesen demnach die höchsten Nährstoffgehalte auf, was insbesondere bei den Kaliumgehalten deutlich wahrnehmbar war. Ferner stiegen die Nährstoffkonzentrationen mit steigenden Leguminosenanteilen.

Im speziellen Fall der Kaliumgehalte könnte das Entwicklungsstadium der Leguminosen bei Ernte die Werte beeinflusst haben. Die Varianten mit Zottelwicke befanden sich zu diesem Zeitpunkt noch im Abblühen. Wie allgemein bekannt ist, erfüllt Kalium wichtige Funktionen im pflanzlichen Stoffwechselprozess und findet sich daher vermehrt in jüngerem, noch nicht in der Abreife befindlichem Pflanzenmaterial wieder.

Aus dem Vergleich der Gerste-Erbсен-Gemenge mit den Triticale-Erbсен-Gemengen wurde darüber hinaus deutlich, dass der Nährstoffbedarf der Leguminosen-Getreide-Gemenge zum Zeitpunkt der Kornbildung der Leguminosen nochmals zunimmt und dahingehend auch die Nährstoffkonzentrationen im Substrat zu diesem Zeitpunkt anstiegen.

Auffälligstes Merkmal im Versuchsjahr 2015/2016 waren die geringen Stickstoffgehalte im Substrat, die deutlich unter den Werten der beiden ersten Versuchsjahre lagen. Nicht zu erklären waren hingegen die vergleichsweise geringen Kaliumgehalte am Standort Aholting, welcher in der Gehaltsstufe D eine grundsätzlich gute Versorgung aufwies. Eine Kaliumfixierung könnte mit Blick auf die Standortlage – einem Auenboden im Flusstal der Donau – angenommen werden. Widersprüchlich wären in diesem Fall jedoch die normal hohen Werte des Vorjahrs, die beim Anbau auf einer unmittelbar benachbarten Fläche erzielt wurden.

Wiederholt zeigte sich auch ein Einfluss der Leguminosenart und des Leguminosenanteils auf den Nährstoffgehalt der Substrate. Im Ergebnis konnten die Erkenntnisse des Vorjahrs bestätigt werden, wonach sich die Gemenge mit Zottelwicke als besonders nährstoffreich erwiesen und steigende Leguminosenanteile zu tendenziell höheren Nährstoffgehalten geführt hatten.

5.6.2 Nährstoffentzüge und Nährstoffbedarf von Leguminosen-Getreide-Gemengen

Werden die Nährstoffgehalte im Substrat auf die realisierten TM-Erträge/ha bezogen, ergeben sich die Nährstoffentzüge einer Kulturart. Diese sind den Pflanzen über eine entsprechende Applikation zuzuführen oder im Rahmen der Fruchtfolge auszugleichen.

Im Versuch lagen die Nährstoffentzüge der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Mittel über den Nährstoffentzügen der Reingetreidevarianten. Während die höheren Stickstoffentzüge die naturgemäß höheren Rohproteingehalte der Hülsenfrüchte widerspiegeln, wäre auf Basis der Literaturangaben mit vergleichbaren bzw. leicht niedrigeren Nährstoffentzügen der Gemenge zu rechnen gewesen, die im Ergebnis jedoch über den Reingetreidevarianten lagen (vgl. Tabelle 16) [37]. Wohl auch infolge der absolut höheren Gehalte waren die Differenzen bei Kalium besonders ausgeprägt (vgl. Tabelle 39 bis Tabelle 44 im Anhang).

Da die Standorte auf Basis der Gehaltsstufen sehr gut mit Nährstoffen versorgt waren, ist anzunehmen, dass die Leguminosen die verfügbaren Nährstoffe wesentlich intensiver nutzten als das Getreide und diese über den tatsächlichen Bedarf hinaus aufnahmen und einlagerten. Für diese These sprechen die Ergebnisse einer Untersuchung von

Othmar Horak [34] zum Thema „Nickelaufnahme und Nickelbedarf von *Pisum sativum* L.“, wonach Erbsen deutlich mehr Nickel aufnehmen als z. B. Mais. Demnach wäre es denkbar, dass neben Spurenelementen auch Nährstoffe vermehrt aufgenommen werden und neben Erbsen auch Wicken bzw. Leguminosen im Allgemeinen über ein erhöhtes Absorptionsvermögen verfügen.

Im Ergebnis sollte die Nährstoffversorgung der Leguminosen-Getreide-Gemenge, wie in der Literatur empfohlen, auf ein Mindestmaß im Bereich der Bodengehaltsstufe B beschränkt werden (Ausnahme: Phosphorbedarf der Erbse in Gehaltsstufe C [54], vgl. Abschnitt 2.3.1). Sofern die Standorte eine Aufdüngung innerhalb der Fruchtfolge erfordern, empfiehlt es sich, diese nicht unmittelbar zum Anbau der Leguminosen-Getreide-Gemenge durchzuführen. Von einer über den Bedarf hinausgehenden Versorgung profitieren die Pflanzen nicht. Die Nährstoffe werden lediglich im Pflanzenmaterial eingelagert und erhöhen in der Summe den unverdaulichen Anteil an Rohasche im Substrat, der bei einem Einsatz in der Biogaserzeugung – wenn auch nur marginal – den Methanertrag mindert.

5.6.3 Stickstoffbilanz und Stickstoffbindungsvermögen von Leguminosen-Getreide-Gemengen

Mit Blick auf die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) [23], die sich auch in der Novellierung der Düngeverordnung niederschlägt, wird der bedarfsgerechten Stickstoffdüngung eine immer größere Bedeutung zugemessen. Ziel ist es, Stickstoffüberhänge zu vermeiden, da diese als Nitrat ins Grundwasser eingetragen werden können.

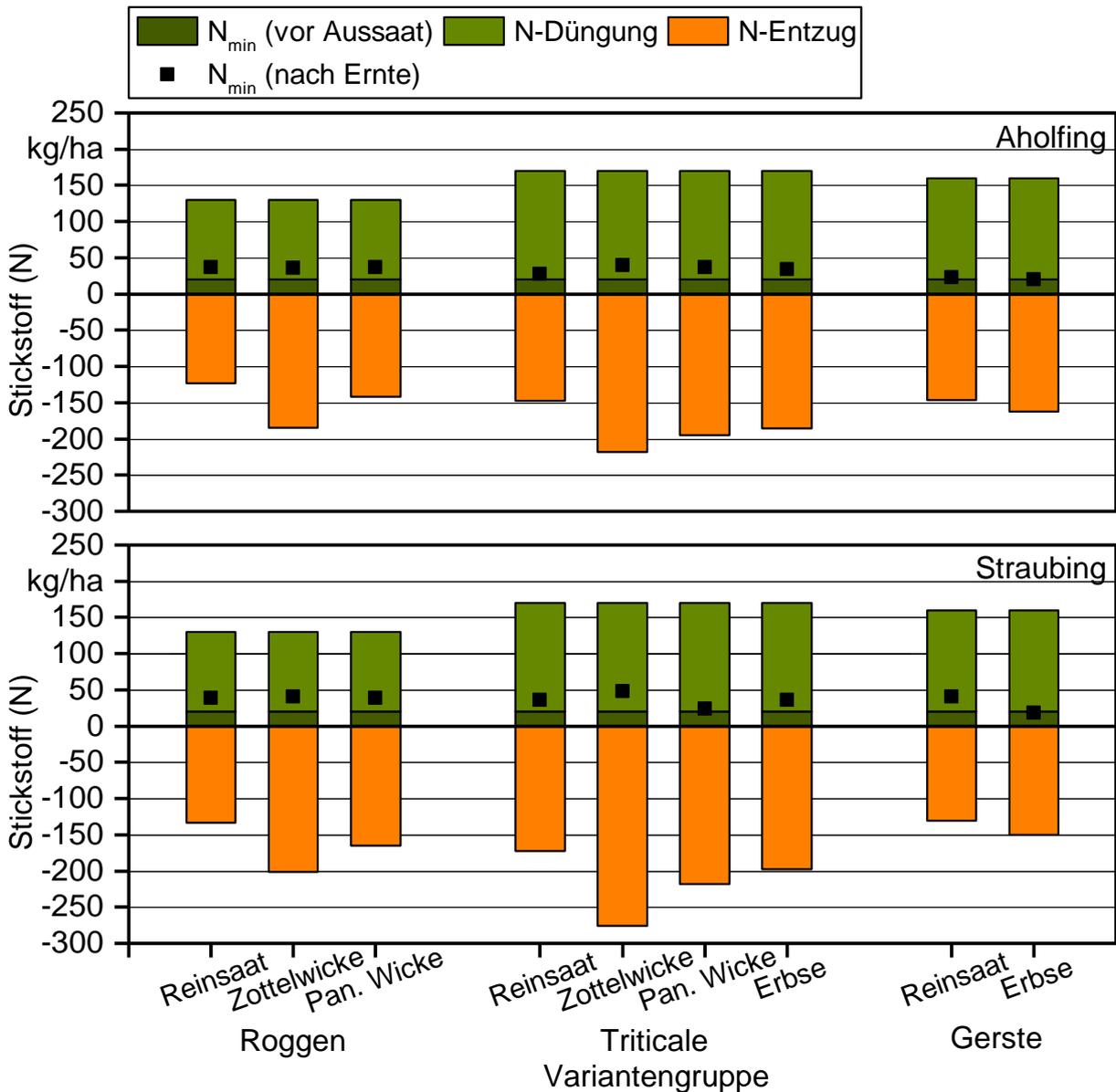
Aufschluss über die Bodenstickstoffgehalte nach Ernte gaben im vorliegenden Versuch die Ergebnisse der N_{\min} -Bodenuntersuchung.

Wie beschrieben (vgl. Abschnitt 4.2.1) wurde die Stickstoffversorgung der Bestände zunächst relativ großzügig kalkuliert, um das tatsächliche Ertragspotenzial der Gemenge nicht durch eine Unterversorgung des Getreidemischungspartners zu gefährden. Letztlich bot die verhaltene Stickstoffdüngung im letzten Versuchsjahr aber doch die besten Voraussetzungen für eine optimale Bestandsentwicklung, sodass diese Werte für die nachfolgende Betrachtung herangezogen wurden (vgl. Tabelle 51 und Tabelle 52 im Anhang).

Die Ergebnisse in Aholting bilden die Bodenstickstoffgehalte bis zu einer Tiefe von 60 cm ab, da eine Entnahme des kiesig-sandigen Untergrunds darüber hinaus nicht mehr möglich war. Mit relevanten N_{\min} -gehalten wäre in der stark kiesigen Bodenschicht aber ohnehin nicht zu rechnen gewesen. Am Standort Straubing war eine Beprobung bis zur üblichen Probtiefe von 90 cm möglich.

Im Ergebnis zeigte die Bodenuntersuchung niedrige N_{\min} -Werte, die ausnahmslos dem nach der Novellierung der Düngeverordnung künftig gültigen Grenzwert von 50 kg N/ha entsprachen. Von besonderer Relevanz ist dabei, dass selbst von den Leguminosen-Getreide-Gemengen mit höchstem Leguminosenanteil und unter der Voraussetzung einer ortsüblichen Düngegabe keine kritisch hohen N_{\min} -Gehalte im Boden hinterlassen

wurden. Auch im direkten Vergleich mit den Reingetreidereferenzen waren keine größeren Abweichungen festzustellen (vgl. Abbildung 24).



Pan. Wicke = Pannonische Wicke

Gruppierung: Reingetreide bzw. Gemenge mit höchstem Leguminosenanteil unter der Voraussetzung einer ortsüblichen N-Düngung

Abbildung 24: Kennzahlen zu Stickstoffentzug und Bodenstickstoffgehalten der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Vergleich zu den Reingetreidereferenzen, Versuchsjahr 2015/2016

Eine N_{min}-Bodenuntersuchung nach Ernte, wie sie im Versuchswesen durchgeführt wird, erfolgt in der Praxis in der Regel nicht. Als Kontrollinstrument dient stattdessen die sogenannte Stickstoffbilanzierung (N-Bilanzierung). Die klassische N-Bilanzierung für Kulturarten ohne symbiotische Stickstofffixierung muss bei Leguminosen um den Faktor der N-Bindung erweitert werden. In Anlehnung an die „Schlagbilanz nach der Kurzfassung“, die von der BEFU [37] für einfache Szenarienrechnungen vorgeschlagen wird, stellt sich die N-Bilanzierung von Leguminosen-Getreide-Gemengen wie folgt dar:

N-Bilanz Leguminosen-Getreide-Gemenge

$$= (N_{min} + N\text{-Düngung} + N\text{-Bindung}) - N\text{-Entzug} [37] \quad (5.2)$$

Voraussetzung für eine aussagekräftige N-Bilanzierung ist der korrekte Ansatz der N-Bindung. Dies stellt in der Praxis eine große Herausforderung dar, denn die Richtwerte in der Literatur weisen eine breite Spannweite auf und sind durch differenzierende Leguminosenarten und Leguminosenanteile nur selten auf andere Gemenge übertragbar (vgl. Abschnitt 2.2.3).

Einen möglichen Ansatz für die Ermittlung der N-Bindung von Leguminosen-Getreide-Gemengen bietet die Formel der BEFU [37], die in Abschnitt 2.2.3 zum Stand des Wissens ausführlich erläutert wurde. Die Formel wurde für den ökologischen Anbau konzipiert und bietet unter diesen Voraussetzungen eine gute Möglichkeit, das N-Bindungsvermögen von Gemengen mit grobkörnigen Leguminosen in unterschiedlichen Anteilen näherungsweise zu ermitteln. Im vorliegenden Versuch führte die Berechnung jedoch zu keinen plausiblen Ergebnissen. Anzunehmen ist, dass eine Anwendung der Formel nur bei Vorliegen eines vergleichbaren Ertragsniveaus, wie von der BEFU angenommen, anzuraten ist. Als Richtwert wurden, einer mittleren Ertragsleistung im Ökolandbau entsprechend, 220 dt FM/ha festgesetzt. Die Ergebnisse im Versuch lagen hingegen beinahe doppelt so hoch.

Doch nicht nur als notwendiger Parameter in der N-Bilanzierung stellt die N-Bindung eine wichtige Größe dar. Für den Landwirt kann das N-Bindungsvermögen einer Kulturart auch ein Entscheidungskriterium für oder gegen deren Anbau darstellen, sodass für die Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuch zumindest ein Näherungswert bekannt sein sollte, der den relativen Vergleich der Gemenge ermöglicht.

Da im Versuch sowohl die Bodenstickstoffgehalte vor der Aussaat und nach der Ernte als auch die Stickstoffentzüge der einzelnen Varianten per Analyse ermittelt wurden, konnte das N-Bindungsvermögen der Leguminosen-Getreide-Gemenge über die Auflösung der nachfolgend schematisch dargestellten Gleichung (vgl. Abbildung 25) näherungsweise ermittelt werden.

Die Stickstoffnachlieferung aus dem Boden wurde mithilfe der Reingetreidereferenzen abgeschätzt, indem der rechnerische N-Saldo dem tatsächlichen N_{min} -Gehalt nach Ernte gegenübergestellt wurde.

$$N\text{-Nachlieferung Boden} = N_{min}\text{-Gehalt nach Ernte} - \text{rechnerischer N-Saldo} \quad (5.3)$$

Für den Standort Aholting ergab sich auf diese Weise ein Näherungswert in Höhe von 20 kg N/ha, am Standort Straubing belief sich dieser, dem schwereren Boden entsprechend, auf rund 40 kg N/ha.

Die für die einzelnen Varianten ermittelten Werte sind in Abhängigkeit des Standorts Tabelle 45 und Tabelle 46 im Anhang zu entnehmen. Bezüglich der Interpretation ist anzumerken, dass die ausgewiesenen Werte infolge der nicht exakt quantifizierbaren Stickstoffnachlieferung aus dem Boden nicht als absolut angenommen werden dürfen. Vielmehr sollen sie einen relativen Vergleich des N-Bindungsvermögens der Gemenge in Abhängigkeit der Leguminosenart, des Leguminosenanteils und der Düngestufe ermöglichen.

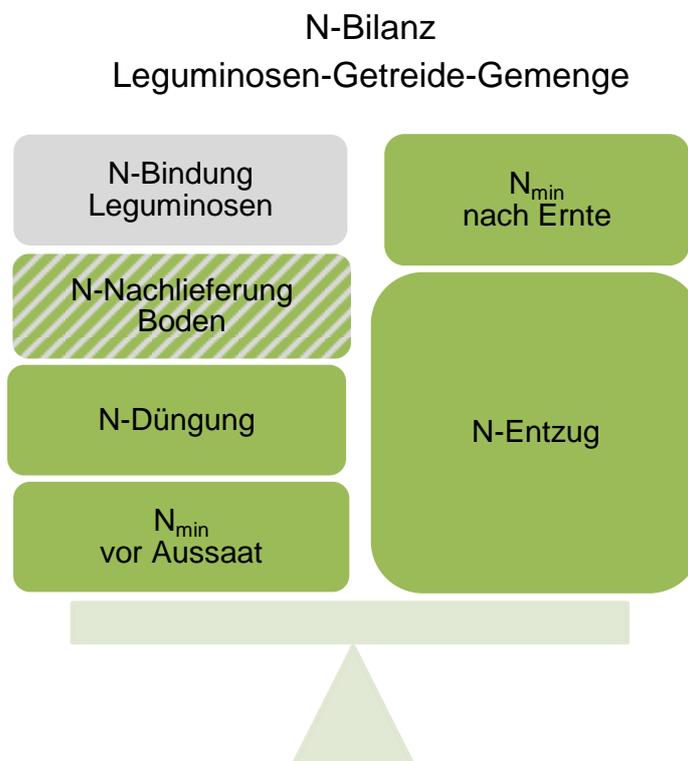


Abbildung 25: Schema zur Ermittlung des N-Bindungsvermögens der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuch

Im Ergebnis hatten die Gemenge mit Zottelwicke das höchste N-Bindungsvermögen vorzuweisen. Es folgten die Gemenge mit Pannonischer Wicke mit etwa halb so hohen Werten und die Gemenge mit Erbse, die nochmals deutlich darunterlagen. Auch mit steigenden Leguminosenanteilen war auf Basis der rechnerisch ermittelten Werte ein zunehmendes N-Bindungsvermögen festzustellen.

Im Vergleich der Düngestufen wiesen die reduziert gedüngten Varianten eine deutlich höhere N-Bindung auf als die normal gedüngten Varianten. Diese Beobachtung folgt dem pflanzenbaulichen Grundsatz, wonach Stickstoff aus externen Quellen das Stickstoffbindungsvermögen der Leguminosen selbst beeinträchtigt (vgl. Abschnitt 2.2.2).

5.7 Vorfruchtwert der Leguminosen-Getreide-Gemenge

Die Beurteilung der Leguminosen-Getreide-Gemenge hinsichtlich ihrer Vorfruchtwirkung erfolgte auf Basis der unmittelbar nach Ernte gezogenen Bodenproben sowie der Entwicklung und der Ertragsleistung der Nachfrucht Mais. Neben der Trockenmasseertragsleistung wurde die inhaltsstoffliche Zusammensetzung des Maissubstrats in Abhängigkeit der Vorfrucht betrachtet.

5.7.1 Bodenstickstoffgehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge

Die Bestimmung der Bodenstickstoffgehalte nach Ernte dient nicht nur der Beurteilung der Auswaschungsgefährdung. Die Ergebnisse zeigen auch, welche Stickstoffreserven eine Kulturart ihrer Nachfrucht hinterlässt. Die alleinige Betrachtung des N-Bindungsvermögens der Vorfrucht (vgl. Abschnitt 5.6.3) wäre für diesen Zweck nicht ausreichend gewesen, da nicht hätte quantifiziert werden können, welcher Anteil des gebundenen Luftstickstoffs von der Vorfrucht selbst aufgenommen wird und welcher Anteil für die Nachfrucht verbleibt.

Die Bodenproben wurden als Mischprobe aus den vier Wiederholungen einer Variante gezogen. Eine statistische Absicherung der erhobenen Werte, die in Abhängigkeit von Versuchsjahr und Standort Tabelle 47 bis Tabelle 52 im Anhang zu entnehmen sind, war daher nicht möglich, sie stellen vielmehr eine Tendenz dar. Ferner bleibt zu berücksichtigen, dass die Beprobung am Standort Aholting infolge des kiesigen Untergrunds lediglich bis zu einer Tiefe von 60 cm und nicht wie üblich bis 90 cm vorgenommen werden konnte (vgl. Abschnitt 5.6.3).

Im Versuchsjahr 2013/2014 brachte die Auswertung der Bodenanalysen keine versuchsrelevanten Ergebnisse hervor. Die Werte wurden zu sehr von den naturgegebenen Bodenunterschieden der Flächen und der hohen Stickstoffnachlieferung dominiert, als dass ein Einfluss der Varianten hätte wahrgenommen werden können.

Vergleichsweise klare Tendenzen zeigten die Ergebnisse der Bodenuntersuchung im Versuchsjahr 2014/2015. Demnach lagen nach dem Anbau der Gemengevarianten tendenziell höhere N_{\min} -Gehalte vor als nach dem Anbau der Reingetreidevarianten. Zunehmende N_{\min} -Gehalte mit steigendem Leguminosenanteil waren jedoch nicht nachzuweisen. Im Vergleich der Leguminosenarten schien die wüchsige Zottelwicke höhere Stickstoffreserven zu hinterlassen als die Pannonische Wicke. Die Differenzen kamen am Standort Straubing besonders deutlich zum Tragen (vgl. Tabelle 50 im Anhang). Ein interessanter Aspekt ergab sich auch im Vergleich der Gersten-Erbсен-Gemenge mit den Triticale-Erbсен-Gemengen am Standort Aholting (Ausschluss Standort Straubing wegen Krankheitsbefalls der Erbсенbestände, vgl. Abschnitt 5.3.2). Während nach Ernte der Gersten-Erbсен-Gemenge im Vergleich zu den Reingetreidevarianten keine erhöhten Stickstoffgehalte im Boden nachzuweisen waren, war dies bei den Triticale-Erbсен-Gemengen durchweg der Fall (vgl. Tabelle 51 im Anhang). Offensichtlich konnten die Erbсен im Verlauf der längeren Vegetationszeit deutlich mehr Stickstoff fixieren, sodass

trotz der höheren N-Entzugswerte mehr Reststickstoff für die Nachfrucht verblieb als im Mischanbau mit Gerste.

Im Versuchsjahr 2015/2016 waren ausschließlich in der Gruppe der reduziert gedüngten Varianten relevante Unterschiede in den Bodenstickstoffgehalten nach Ernte wahrnehmbar (vgl. Tabelle 51 und Tabelle 52 im Anhang). Mutmaßlich kam die Stickstofffixierungsleistung der Leguminosen unter der Voraussetzung einer reduzierten Stickstoffdüngung verstärkt zum Tragen, sodass die Gemenge eindeutig höhere Bodenstickstoffgehalte hinterließen als die Reingetreidevarianten. Eine Ausnahme bildeten wiederum die Gersten-Erbсен-Gemenge, die im Vergleich zur Reingetreidereferenz keine erhöhten Stickstoffreserven für die Nachfrucht hinterlassen hatten. In Abhängigkeit der Leguminosenart im Gemenge waren keine eindeutigen Unterschiede zu erkennen.

Bemessen am hinterlassenen Stickstoffgehalt im Boden, darf zusammenfassend festgehalten werden, dass nicht allein die Art des Gemenges über dessen Vorfruchtwert entscheidet. Wie die Ergebnisse zeigen, bestimmen neben dem Potenzial der Leguminosenart selbst auch Rahmenbedingungen, wie die verfügbare Vegetationszeit oder die Stickstoffversorgung aus externen Quellen, die tatsächliche Stickstofffixierungsleistung.

5.7.2 Ertragsleistung und Substratqualität der Nachfrucht Mais

Wie geschildert (vgl. Unterkapitel 5.3) war eine Bewertung der Nachfrucht Sorghum im ersten Versuchsjahr aufgrund einer massiven Lagerbildung in den Beständen nicht möglich. Die Ertragsleistung der wenigen noch beerntbaren Varianten des 1. Saattermins wird aus Gründen der Vollständigkeit in Tabelle 53 und Tabelle 54 im Anhang dargestellt. Antworten zu versuchsrelevanten Fragestellungen konnten daraus jedoch nicht abgeleitet werden. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich deshalb auf die Versuchsjahre 2014/2015 und 2015/2016, in denen Mais als Nachfrucht gewählt wurde.

5.7.2.1 Versuchsjahr 2014/2015

Als unmittelbare Folge der extremen Witterungsbedingungen im Sommer 2015 lagen die Trockenmasseerträge der Nachfrucht Mais weit unter dem Ertragsniveau, das in einem durchschnittlichen Vegetationsjahr zu realisieren ist (vgl. Tabelle 55 und Tabelle 56 im Anhang). Entsprechend schwierig gestaltete es sich, anhand der gezeigten Ertragsleistung noch Aussagen zum Vorfruchtwert der Leguminosen-Getreide-Gemenge zu treffen.

Wesentliche Unterschiede zeigten sich lediglich in Abhängigkeit von Standort und Saattermin, welche überwiegend auf die unterschiedlichen Mengen an verfügbarem Wasser zurückzuführen waren (vgl. Abbildung 26).

Die vergleichsweise höchsten Erträge wurden von den Varianten des 1. Saattermins in Straubing mit durchschnittlich 115 dt TM/ha erzielt. Am Standort Aholfing belief sich der Durchschnittsertrag der Varianten des 1. Saattermins auf knapp 80 dt TM/ha. Das tatsächliche Ertragspotenzial der Sorte Monty liegt deutlich höher. Im Rahmen des Landessortenversuchs 2014 konnte bei vergleichbarer Aussaat, wenn auch mit der Vorfrucht

Grünroggen und bei wesentlich intensiverer Bestandsführung, ein Durchschnittsertrag von 180 dt TM/ha erzielt werden [20].

Zum jeweils 2. Saattermin sank das Ertragsniveau weiter ab. Wesentliche Ursache dürfte die von Beginn an vorherrschende Trockenheit gewesen sein (vgl. Abschnitt 5.3.2), die nicht nur den Ertragseinbruch verstärkte, sondern auch ein weiteres Abreifen der Bestände beeinträchtigte. Die Trockensubstanzgehalte zum Zeitpunkt der Ernte lagen bei den Maisvarianten des 2. Saattermins deutlich unter dem anzustrebenden Wert von 28 %. Selbst von den Beständen des 1. Saattermins wurde dieser nicht immer erreicht (vgl. Tabelle 55 und Tabelle 56 im Anhang).

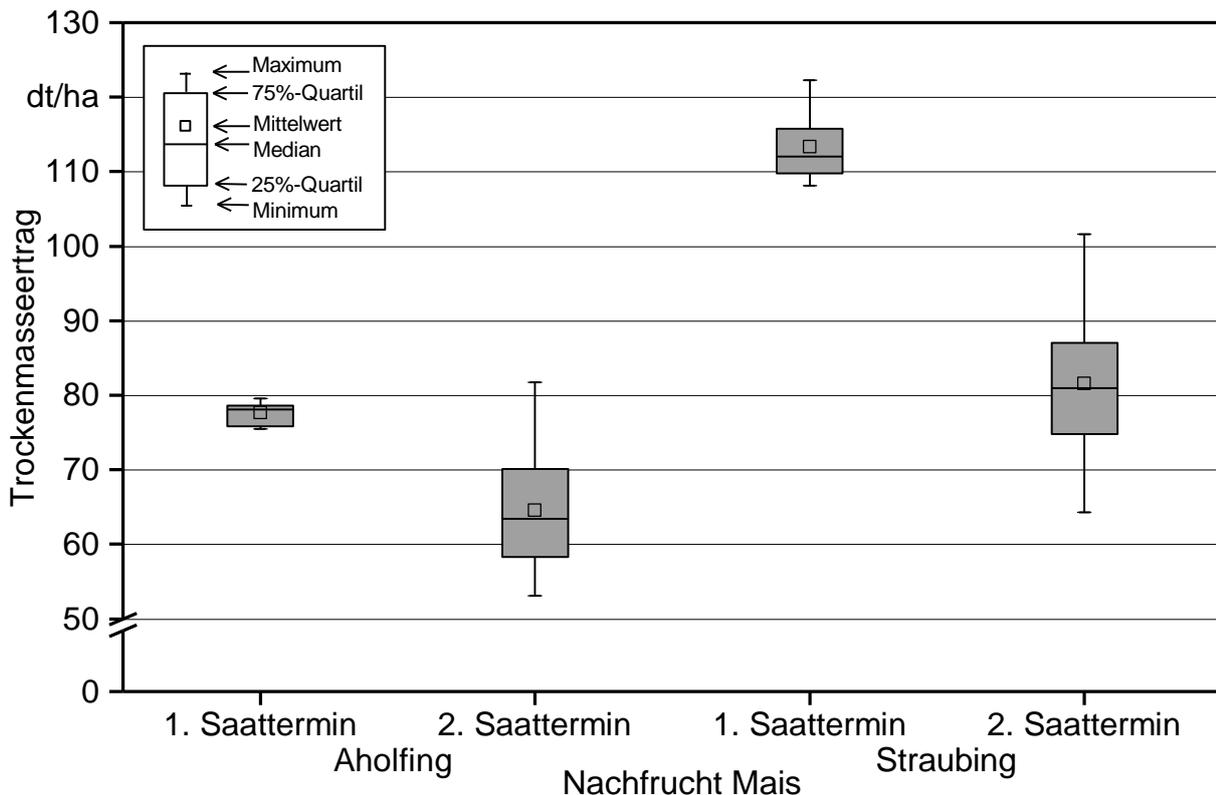
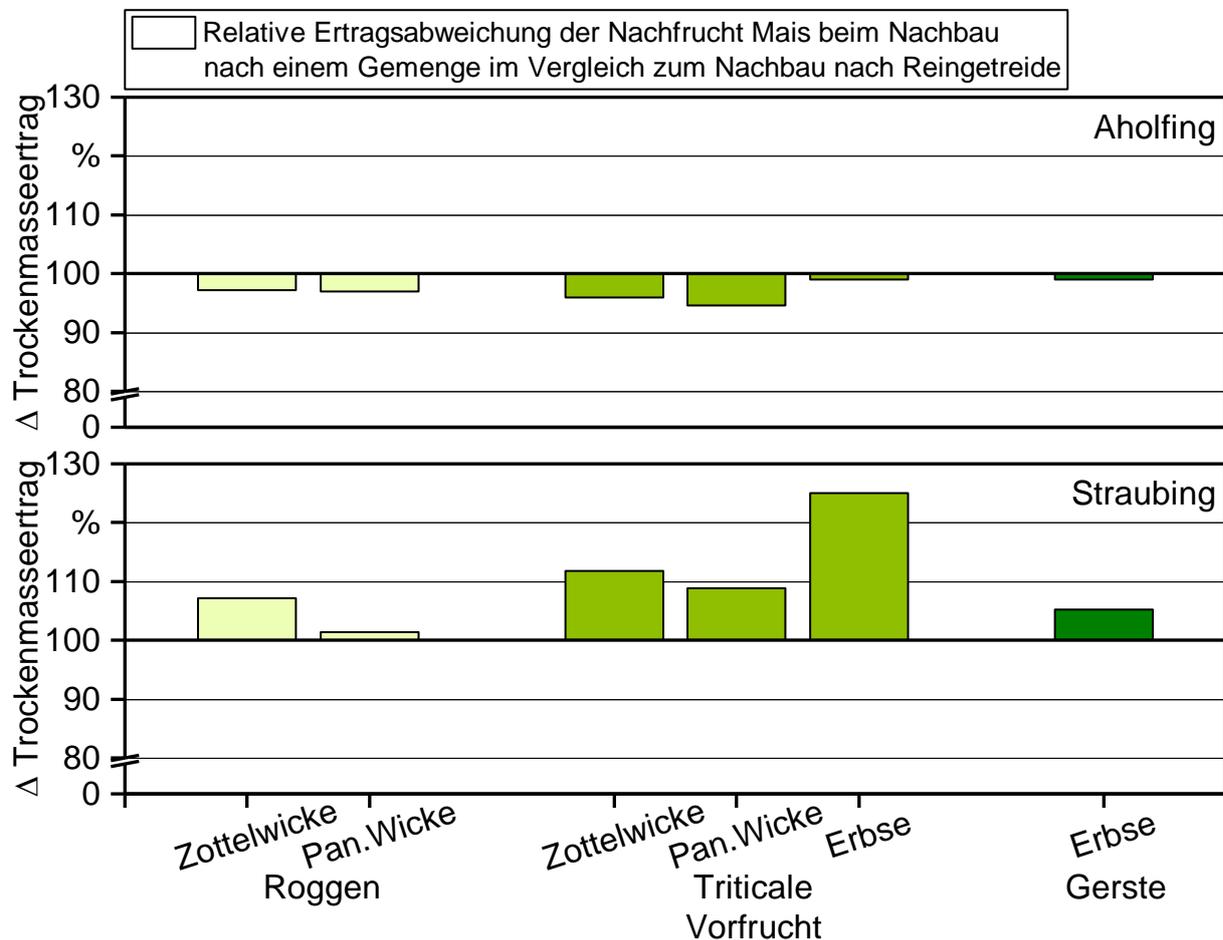


Abbildung 26: Trockenmasseertragsleistung der Nachfrucht Mais in Abhängigkeit von Standort und Saattermin, Versuchsjahr 2014/2015

Im Vergleich der Standorte fiel auf, dass in Aholfing jene Maisvarianten, die im Nachbau auf ein Gemenge folgten, niedrigere Trockenmasseerträge erzielten als im Nachbau nach einer Reingetreidevariante. Am Standort Straubing hingegen konnte von den auf ein Gemenge folgenden Maisvarianten im Mittel eine leicht höhere Ertragsleistung erzielt werden (vgl. Abbildung 27). Anzunehmen ist, dass durch den zusätzlichen Wasserbedarf der Leguminosen nicht nur eine unmittelbare Konkurrenzsituation zum Getreidemischungspartner im Gemenge besteht, sondern sich diese bei mangelndem Niederschlag auch auf die Nachfrucht auswirkt. Im konkreten Fall schlug sie sich in einer Ertragsminderung nieder.

Neben dieser grundsätzlichen Beobachtung waren in Abhängigkeit der Leguminosenart und des Leguminosenanteils im Gemenge nur marginale Unterschiede in der Ertragsleistung der Nachfrucht erkennbar (vgl. Abbildung 27). Klare Differenzen im Vorfruchtwert der verschiedenen Gemenge ließen sich daraus nicht ableiten.



Gruppierung nach Leguminosenart: Zottelwicke, Pannonische Wicke (Pan. Wicke), Erbse

Abbildung 27: Relative Ertragsabweichung der Nachfrucht Mais beim Nachbau nach einem Gemenge im Vergleich zum Nachbau nach Reingetreide, Versuchsjahr 2014/2015

Auffällig waren allein die überdurchschnittlich hohen Erträgen der Maisvarianten, die nach den Triticale-Erbsen-Gemengen am Standort Straubing zum Anbau gebracht wurden (vgl. Abbildung 27). Das Bestandsbild dieser Vorfrucht war vom Befall der Erbsen mit dem bodenbürtigen Welkeerreger *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* geprägt, der zu einem vorzeitigen Absterben der Pflanzen geführt hatte (vgl. Abschnitt 5.2.2). Denkbar ist, dass der in den Knöllchen gebundene Stickstoff durch das verfrühte Absterben der Pflanzen zu einem optimalen Zeitpunkt mineralisiert wurde und die Nachfrucht Mais höhere Erträge erzielen konnte. Aus der Bodenprobenahme ergaben sich diesbezüglich jedoch keine Hinweise. Auch bei den anderen Versuchsvarianten konnte kein linearer Zusammenhang zwischen der Ertragsleistung der Nachfrucht Mais und den N_{\min} -Gehalten des Bodens nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge nachgewiesen

werden. Größere Unterschiede, die sich im zusammenfassenden Vergleich der N_{\min} -Gehalte in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners bzw. der Leguminosenart in der Vorfrucht gezeigt hatten, spiegelten sich bei entsprechender Gruppierung aber auch in der Ertragsleistung der Nachfrucht Mais wider.

Trotz der außergewöhnlich trockenen Witterungsbedingungen im Sommer 2015 (vgl. Unterkapitel 5.1) war die Substratqualität der Nachfrucht Mais weitestgehend arttypisch. Wie Tabelle 59 und Tabelle 60 im Anhang zeigen, entsprach die inhaltsstoffliche Zusammensetzung im Wesentlichen den Referenzwerten für Maissilage nach der Gruber-Tabelle bei einer Ernte zum Zeitpunkt der Milchreife bzw. frühen Teigreife [8].

Ein Einfluss der Vorfrucht war nur bedingt wahrnehmbar und ließ sich unmittelbar auf die zwei verschiedenen Erntetermine und die damit verbliebene Vegetationszeit für die Nachfrucht zurückführen. Weder in Abhängigkeit der Leguminosenart und des Leguminosenanteils, noch im direkten Vergleich von Gemengevarianten und Reingetreidevarianten konnte ein Effekt der Vorfrucht auf die Substratqualität der Nachfrucht Mais nachgewiesen werden.

Im Ergebnis waren für die Maisbestände des 1. Saattermins höhere Gehalte schwer verdaulicher Gerüstsubstanzen sowie niedrigere Zuckergehalte nachzuweisen als für die Maisbestände des 2. Saattermins. Unter der Voraussetzung normaler Witterungsbedingungen wären mit zunehmender Abreife auch steigende Stärkegehalte zu erwarten gewesen. Dass diese Reaktion im Vergleich der Bestände des 1. Saattermins mit den Beständen des 2. Saattermins nicht zu beobachten war, war vermutlich auf den geringen Kolbenansatz der Pflanzen zurückzuführen (vgl. Abschnitt 5.3.2), in dessen Folge die in der grünen Pflanze gebildeten Zucker nicht vollständig in Stärke umgewandelt werden konnten (vgl. Tabelle 59 und Tabelle 60 im Anhang). Ein unterschiedlicher Grad der Abreife spiegelte sich auch im Vergleich der Standorte wider. So lagen die Rohprotein- und Rohfasergehalte der Bestände in Aholting wegen der geringeren Abreife etwas höher. Hingegen konnten für die Bestände in Straubing höhere Gehalte enzymatisch löslicher Substanz, einschließlich des darin enthaltenen Anteils an Stärke, nachgewiesen werden.

Für einen Einsatz der Ganzpflanzen in der Wiederkäuerfütterung wäre für beide Standorte eine höhere Energiedichte je kg Trockenmasse wünschenswert gewesen. Um die anzustrebenden Energiegehalte von 11 MJ ME/kg TM bzw. 6,6 MJ NEL/kg TM [8] sicher zu erreichen, bedarf es eines ausreichend hohen Kolbenanteils an der Gesamtpflanze bzw. einer ausreichenden Abreife der Kolben mit entsprechender Stärkeeinlagerung in den Körnern. Diese Voraussetzungen waren, gründend auf den Witterungsbedingungen im Sommer 2015 (vgl. Abschnitt 5.3.2), nicht gegeben.

Im Hinblick auf eine mögliche Verwendung der Ganzpflanzen als Biogassubstrat wurde die potenzielle Methanausbeute des Substrats auf Grundlage des rechnerischen Modells nach Weißbach [66] ermittelt. Unter Zugrundelegung der durchschnittlichen Substratqualität im Jahr 2015 ergab sich auf diese Weise eine kalkulatorische Methanausbeute von 350 NI CH_4 /kg oTS. Dieser Wert entspricht exakt der mittleren Methanausbeute von Maissilage nach KTBL [43]. An einen für Mais in Zweitfruchtstellung anzustrebenden

Methanhektarertrag konnten die Versuchsbestände infolge der geringen Trockenmasseeerträge (vgl. Abschnitt 5.7.2.1) jedoch nicht heranreichen.

5.7.2.2 Versuchsjahr 2015/2016

Die Ertragsleistung der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016 lag über der des Vorjahrs. Dank weitaus günstigerer Witterungsbedingungen konnten die Trockenmasseeerträge an beiden Standorten um rund 30 dt TM/ha gesteigert werden (vgl. Tabelle 57 und Tabelle 58 im Anhang). Eine Ausnahme bildeten die Bestände des 1. Saattermins am Standort Straubing, die infolge der erschwerten Auflaufbedingungen (vgl. Abschnitt 5.3.3) deutlich unter dem Durchschnitt blieben (vgl. Abbildung 28).

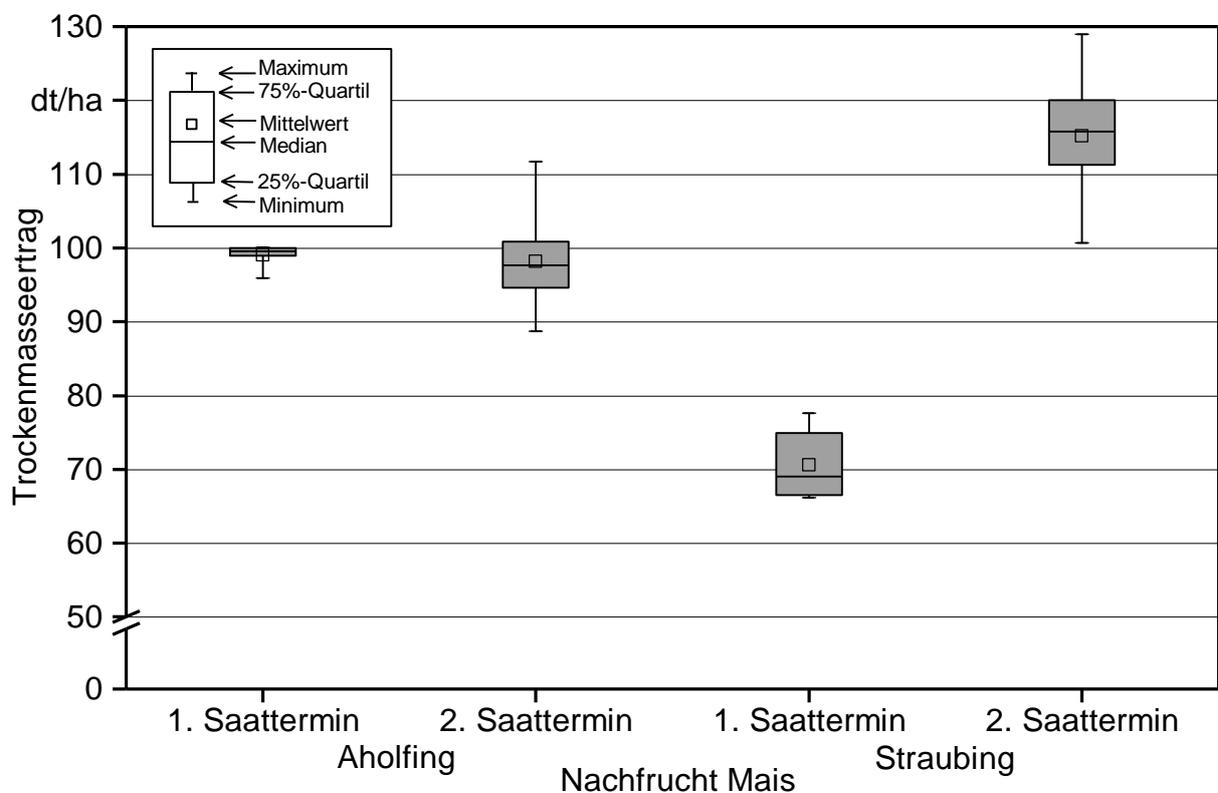


Abbildung 28: Trockenmasseeertragsleistung der Nachfrucht Mais in Abhängigkeit von Standort und Saattermin, Versuchsjahr 2015/2016

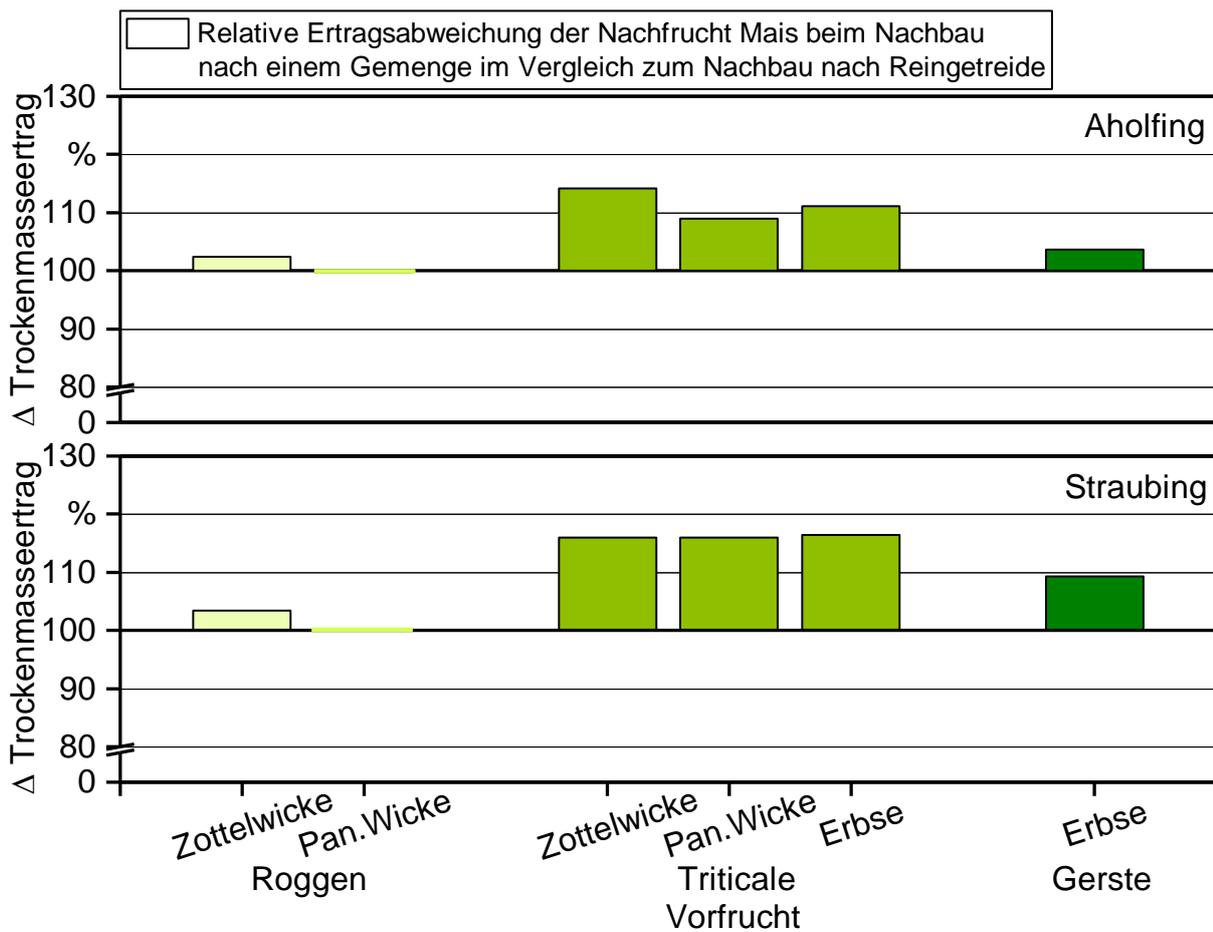
Unter der Voraussetzung normaler Entwicklungsbedingungen, wie am Standort Aholfing gegeben, hatte der Saattermin im Gegensatz zum Vorjahr keinen wesentlichen Einfluss auf das Ertragsniveau. Die kürzere Vegetationszeit der Bestände im 2. Saattermin schlug sich jedoch merklich in den niedrigeren Trockensubstanzgehalten zum Zeitpunkt der Ernte nieder. Am Standort Straubing wurde der anzustrebende Wert von 28 % TS nicht und am Standort Aholfing nur knapp erreicht.

In Abhängigkeit der Vorfrucht wurde von den Maisbeständen im Nachbau nach einem Leguminosen-Getreide-Gemenge im Mittel eine höhere Ertragsleistung erzielt als im Nachbau nach einer Reingetreidevariante. Diese Beobachtung galt für beide Standorte,

war in Straubing aber etwas stärker ausgeprägt als in Aholting. Die Leguminosenart im Gemenge zeigte dabei nur einen geringen Einfluss auf die Ertragsleistung der Nachfrucht. Tendenziell wiesen die Gemenge mit Zottelwicke einen etwas höheren Vorfruchtwert auf als die Gemenge mit Pannonischer Wicke. Erbsen zeigten unter der Voraussetzung einer längeren Vegetationszeit im Mischanbau mit Triticale einen höheren Vorfruchtwert als im Mischanbau mit Gerste und konnten im Vergleich zur jeweiligen Reingetreidevariante ähnliche Ertragssteigerungen erzielen wie die Zottelwicke.

Wie Abbildung 29 verdeutlicht, reichten die Differenzen im Vergleich zur Vorfrucht Reingetreide von wenigen Prozent bei den Roggenvarianten bis zu einer deutlich wahrnehmbaren Steigerung bei den Triticalevarianten. Ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Ertragsleistung der Nachfrucht Mais und dem Leguminosenanteil in der Vorfrucht konnte nicht hergestellt werden. Die Gemenge mit dem geringsten Leguminosenanteil im Versuch wiesen jedoch tendenziell den geringsten Vorfruchtwert auf.

Ein Zusammenhang zwischen der Ertragsleistung der Nachfrucht und den nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge ermittelten N_{min} -Gehalten des Bodens ließ sich, ebenso wie im Versuchsjahr 2014/2015, nur bedingt herstellen.



Gruppierung nach Leguminosenart: Zottelwicke, Pannonische Wicke (Pan. Wicke), Erbse

Abbildung 29: Relative Ertragsabweichung der Nachfrucht Mais beim Nachbau nach einem Gemenge im Vergleich zum Nachbau nach Reingetreide, Versuchsjahr 2015/2016

Im Versuchsjahr 2015/2016 war eine Bestimmung der Substratqualität mittels NIRS-Analytik aus technischen Gründen nicht möglich (vgl. Unterkapitel 4.5). Alternativ erfolgte ein nasschemischer Aufschluss der Proben, in dessen Folge man sich auf die Analyse der Hauptparameter XP, XL, XF, XA sowie der Strukturkennzahlen NDF, ADF und ADL beschränken musste (vgl. Unterkapitel 4.5). Ein möglicher Vorfruchteffekt der Leguminosen-Getreide-Gemenge konnte anhand der ermittelten Größen sicher beurteilt werden, Aussagen zum Futterwert ließen sich daraus jedoch nicht ableiten.

Auffälligstes Merkmal der inhaltsstofflichen Zusammensetzung der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016 waren die außergewöhnlich niedrigen Rohproteingehalte. Die durchschnittliche Konzentration von rund 50 g Rohprotein/kg TM lag deutlich unter dem in der Gruber-Tabelle für Maissilagen zum Zeitpunkt der Teigreife veranschlagten Richtwert in Höhe von 85 g Rohprotein/kg TM [8]. Die geringen Konzentrationen ließen sich als unmittelbare Folge der stark reduzierten Stickstoffdüngung zur Vorfrucht werten, die nur noch geringe Stickstoffreserven für die Nachfrucht hinterlassen hatte. Zudem führte die vergleichsweise hohe Ertragsleistung zu einem Verdünnungseffekt, welcher insbesondere die Differenz zu den Werten des Vorjahrs erklärt.

Wird eine Verwendung in der Wiederkäuerfütterung angestrebt, so wirken sich niedrige Rohproteingehalte deutlich mindernd auf die Futterqualität aus. Im vorliegenden Fall schufen die geringen Konzentrationen jedoch die besten Voraussetzungen, um einen Einfluss der Vorfrucht auf die Substratqualität der Nachfrucht Mais erkennen zu können.

Im Ergebnis wiesen die im Nachbau auf ein Gemenge folgenden Maisbestände erkennbar höhere Rohproteingehalte auf als die auf einen Reingetreidebestand folgenden Varianten. Neben einem tendenziellen Einfluss des Leguminosenanteils war auch eine Abhängigkeit der Substratqualität von der Leguminosenart in der Vorfrucht erkennbar. Demnach enthielten die Maisvarianten, die im Nachbau auf ein Gemenge mit Zottelwicke folgten, im Mittel mehr Rohprotein als jene, die auf ein Gemenge mit Pannonischer Wicke folgten. Den Gemengen mit Erbsen konnte ein vergleichbarer Effekt wie den Gemengen mit Pannonischer Wicke zugeschrieben werden, wobei sich im Mischbau mit Triticale erneut ein deutlicherer Einfluss zeigte als im Mischbau mit Gerste. Auch an dieser Stelle wird diese Beobachtung der vergleichsweise längeren Vegetationszeit und einer dahingehend höheren Stickstofffixierungsleistung der Erbsen zugeschrieben.

Allgemein bestätigten sich mit den Auswertungen zur Substratqualität der Nachfrucht Mais auch die Angaben aus der Literatur, wonach sich ein steigendes Stickstoffangebot bei Mais nicht nur auf die Ertragsleistung, sondern auch auf die Rohproteingehalte im pflanzlichen Substrat auswirkt und selbst organisch gebundener Stickstoff gut genutzt werden kann [4].

Zusammenfassung

Die Integration von Leguminosen-Getreide-Gemengen in Energiepflanzenfruchtfolgen eröffnet die Möglichkeit, dem Streben nach Ertragssicherheit und dem Anspruch an eine nachhaltige Landbewirtschaftung gleichermaßen gerecht zu werden. Dieser Grundgedanke war Motivation für den insgesamt dreijährigen Anbauversuch, in dessen Verlauf verschiedene Kombinationen von Wintergetreide und Winterleguminosen hinsichtlich ihrer Eignung als Biogassubstrat untersucht wurden. Mit dem Anbau einer einheitlichen Nachfrucht wurde ergänzend der Vorfruchtwert der Gemenge beleuchtet.

Unter pflanzenbaulichen Aspekten erwiesen sich die Leguminosen-Getreide-Gemenge als Kulturart mit geringen Ansprüchen an die Bestandsführung. Mit Zottelwicke, Pannonischer Wicke und Wintererbse konnten sämtliche im Versuch betrachteten Leguminosenarten als Mischungspartner in Leguminosen-Getreide-Gemengen empfohlen werden. Durch ihren raschen Eintritt in die Blüte empfiehlt sich für Erbsen vor allem eine Kombination mit der schnell abreifenden Gerste. Für Pannonische Wicke und Zottelwicke stellen Roggen und Triticale geeignete Mischungspartner dar.

Leguminosen-Getreide-Gemenge weisen ein erhöhtes Lagerrisiko auf. Um dieses zu senken und eine Beerntbarkeit der Bestände zu gewährleisten, ist der Leguminosenanteil im Gemenge auf die Wüchsigkeit des Leguminosenpartners abzustimmen und entsprechend zurückhaltend anzusetzen. Ausgewogene Bestände konnten im Versuch mit folgenden Leguminosenanteilen erzielt werden: Zottelwicke 3 kg/ha, Pannonische Wicke 6 kg/ha, Erbse 8 kg/ha.

Die Trockenmasseertragsleistung der Leguminosen-Getreide-Gemenge reichte nahezu an das Ertragsniveau der entsprechenden Reingetreidevarianten heran. Bei geringen bis mittleren Leguminosenanteilen betrug die Ertragsdifferenz der Gemenge zur Reingetreidereferenz selbst unter der Voraussetzung einer nur mäßigen Wasser- und Nährstoffversorgung der Bestände maximal fünf Prozent. Den größten Einfluss auf das Trockenmasseertragspotenzial der Gemenge wies der Getreidemischungspartner auf. Die zunehmende Ertragsleistung in der Reihenfolge Gerste, Roggen und Triticale spiegelte das artspezifische Ertragspotenzial des Getreides wider. In Abhängigkeit der Leguminosenart waren im Mischanbau mit weniger wüchsigen Leguminosenarten, wie Pannonische Wicke und Wintererbse, höhere Erträge zu erzielen als im Mischanbau mit Zottelwicke. Die Unterschiede in Abhängigkeit der Leguminosenart relativierten sich jedoch mit sinkendem Leguminosenanteil. Auf die Trockensubstanzgehalte der Gemenge hatten die Leguminosen einen mäßigenden Einfluss. Dabei konnten im Mischanbau mit der vergleichsweise wüchsigen Zottelwicke die deutlichsten Effekte erzielt werden. Insbesondere auf leichten Standorten mit rascher Abreife kann der Erntezeitpunkt der Gemenge damit etwas flexibler gestaltet werden als bei Reingetreidebeständen und dabei helfen, Arbeitsspitzen zu entzerren.

Auch die Methanausbeuten der Gemenge wiesen lediglich marginale Abweichungen von den Ergebnissen der entsprechenden Reingetreidevarianten auf. Unterschiede, die sich im Vergleich der auf den Hektar bezogenen Methanertragsleistungen zeigten, waren

überwiegend auf das unterschiedliche Trockenmasseertragspotenzial der Gemenge in Abhängigkeit des Getreidemischungspartners zurückzuführen.

Von den nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge hinterlassenen Stickstoffreserven im Boden profitierte auch die Nachfrucht. Diese konnte im Nachbau nach einem Gemenge tendenziell höhere Ertragsleistungen erzielen als im Nachbau nach Reingetreide. Der Mischungspartner Zottelwicke wies im Vergleich der Leguminosenarten diesbezüglich den höchsten Vorfruchtwert auf.

Wie die Ergebnisse zeigen, sind mit dem Anbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen als Biogassubstrat nur marginale Ertragseinbußen im Vergleich zum Anbau von Reingetreidebeständen zu erwarten. Der ökologische Zusatznutzen des Gemengeanbaus sollte daher als weitaus gewichtigeres Argument gewertet werden und zum Anbau der Leguminosen-Getreide-Gemenge motivieren. Als zusätzlicher Anreiz für die Praxis wäre es dennoch wünschenswert, wenn auch Leguminosen-Getreide-Gemenge ohne Untersaat in agrarökologische Förderprogramme aufgenommen werden könnten. Denn auch wenn die Ergebnisse für sich sprechen, ist es häufig doch der finanzielle Aspekt, der die endgültige Entscheidung für oder gegen den Anbau einer Kulturart beeinflusst.

Abstract

The integration of legume-grain mixtures into energy crop rotations can equally maintain yield stability and a sustainable land management. This idea was motivation for a three-year field trial with various combinations of winter cereals and winter legumes. The combinations were tested for their suitability as biogas substrate. A consistent subsequent crop allowed for insights into preceding crop value of the mixtures.

Agriculturally, legume-grain mixtures proved to be low in demand. All legume species (hairy vetch, Pannonian vetch and pea) considered in the trial can be recommended as mixture partner in legume-grain mixtures. Due to its early bloom, peas are particularly recommended for combination with the fast maturing barley. Rye and triticale are suitable mixing partners for Pannonian vetch and hairy vetch.

Legume-grain mixtures have an increased risk of lodging. It can be reduced by adjusting the legume amount to the cereal growth. Balanced stocks in trial were achieved with legume amounts of: hairy vetch 3 kg/ha, Pannonian vetch 6 kg/ha, pea 8 kg/ha.

Dry mass yield of legume-grain mixtures was nearly equivalent to corresponding pure cereal varieties. Low to medium legume amounts equaled yield depression of five percent compared to pure cereal, even in case of low water and nutrient supply. Grain yield had the highest influence on the total dry mass yield of the mixture. Increasing yield of in order barley, rye and triticale reflects the crop-specific yield potential. Higher yields were achieved with less vigorous legume varieties, such as Pannonian vetch and winter pea, than with hairy vetch. Influence of legume type decreased by legume amount. Legumes had a depressing influence on the dry substance contents of the mixtures allowing temporal. The most pronounced effects could be achieved in the mixed cultivation with the comparatively vigorous zot bead growth. The harvesting time of the mixture can thus be made more flexible, especially in light locations with rapid maturation, than in the case of pure cereal stocks and help to equalize work peaks.

Methane yields of mixtures showed marginal deviations compared to the corresponding pure cereal varieties. The methane yield per hectare is determined by the grain mixing partner.

Nitrogen reserves remain in the soil after the harvest of legume-crop mixtures. Crops in sequence of a mixture achieved higher yields than after pure cereal stocks. In reference to the leguminous species, hairy vetch showed the highest pre-crop value.

As shown in the results, only marginal yield losses compared to cultivation of pure cereal stocks are to be expected with cultivation of legume-grain mixtures as biogas substrate. The ecological added value of mixtures should therefore be regarded as far more important and promote the cultivation. As an additional incentive for the farmers, it would be desirable to include legume-grain mixtures without sub-sowing in agrarian ecology programs. Even if results speak for itself, it is often the financial aspect that affects the final decision for or against the cultivation of a culture.

Quellenverzeichnis

- [1] AIGNER, A. (2015): Produktionstechnik Leguminosen. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Jg. 205, Nr. 7, S. 43
- [2] AIGNER, A.; WENDLAND, M. (2014): Körnerleguminosenbau. In: DOLESCHEL, P.; FRAHM, J. (Hrsg.): Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. Die Landwirtschaft, Band 1. 13. Aufl. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, S. 667–688, ISBN 978-3-8354-0716-9
- [3] AUFHAMMER, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfruchtarten. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 560 Seiten, ISBN 3-8252-8156-6
- [4] BAUMGÄRTEL, G.; EILER, T. (2012): Mais bedarfsgerecht düngen. Mais, Jg. 39, Nr. 1, S. 8–13
- [5] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (2013): Erbse – heimischer Stärke- und Eiweißlieferant. LfL-Information. URL: <http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/erbsen.pdf> (Stand: 11.02.2015)
- [6] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (2015): Agrarmeteorologie Bayern. Frei verfügbare Daten des agrarmeteorologischen Messnetzes der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) URL: <http://www.lfl.bayern.de/service/agrarwetter/> (Stand: 12.07.2016)
- [7] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (2015): Getreide-Ganzpflanzensilage als Biogassubstrat. Institut für Pflanzenbau, Abteilung Biogas, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. URL: <http://www.lfl.bayern.de/ipz/biogas/026654/index.php> (Stand: 28.08.2015)
- [8] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (2015): Gruber-Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen. LfL-Information. URL: <http://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040183/> (Stand: 26.01.2016)
- [9] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (2015): Maisbeulenbrand. Institut für Pflanzenschutz und Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. URL: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/merkblaetter/p_23062.pdf (Stand: 27.10.2015)
- [10] BÖHM, H. (2009): Körnerleguminosen – Stand des Wissens sowie zukünftiger Forschungsbedarf aus Sicht des Ökologischen Landbaus. Journal für Kulturpflanzen, Themenheft Leguminosen, Jg. 61, Nr. 9, S. 324–333
- [11] BRUNS, C. (2013): Wie kann die Pflanzengesundheit von Erbsen und Ackerbohnen beeinflusst werden? In: BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (Hrsg.): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit. Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Praxisbroschüre. URL: http://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/erzeuger/Broschuere_Koernerleguminosen_Bodenfruchtbarkeit.pdf (Stand: 20.02.2015), S. 24–33
- [12] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) (2013): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit. Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Praxisbroschüre. URL: http://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/erzeuger/Broschuere_Koernerleguminosen_Bodenfruchtbarkeit.pdf (Stand: 20.02.2015), 60 Seiten

- [13] BUNDESSORTENAMT (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Hannover: Landbuch-Verlagsgesellschaft mbH, 348 Seiten
- [14] BUNDESSORTENAMT (2016): Beschreibende Sortenliste 2016 – Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Hannover: Bundessortenamt, 315 Seiten
- [15] DANDIKAS, V.; HEUWINKEL, H.; LICHTI, F.; DREWES, J. E.; KOCH, K. (2015): Correlation between Biogas Yield and Chemical Composition of Grassland Plant Species. *Energy & Fuels*, Jg. 29, Nr. 11, S. 7221–7229
- [16] DEIGLMAYR, K.; FRITZ, M. (2015): Wickroggen als Biogassubstrat. Fachinformation Nr. I – 14/2011 des Biogasforums Bayern. URL: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms/07/ipz/dateien/leitfaden_2011-14_biogasforum.pdf. (Stand: 09.12.2014)
- [17] DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT E. V. (DLG) (2016): Datenbank Futtermittel. URL: <http://datenbank.futtermittel.net/> (Stand: 29.11.2016)
- [18] DEUTSCHER BUNDESTAG (2011): Gesetz zur Neuregelung des Rechtsrahmens für die Förderung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien vom 28.07.2011. *Bundesgesetzblatt*, Teil I, Nr. 42, S. 1634–1678
- [19] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (1985): DIN 38414-8:1985-06, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Schlamm und Sedimente (Gruppe S), Bestimmung des Faulverhaltens (S8), Juni 1985, Berlin: Beuth, 12 Seiten
- [20] EDER, J. (2015): Sorten für die verspäteten Maisflächen. Bei verzögerter Saat ist die Reifezahl das wichtigste Kriterium für die Maissorte. *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt*, Jg. 205, Nr. 15, S. 37–38
- [21] EDER, J.; BRANDHUBER, R. (2014): Getreide- und Maisbau. Mais. In: DOLESCHEL, P.; FRAHM, J. (Hrsg.): *Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. Die Landwirtschaft*, Band 1. 13. Aufl. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, S. 501–538, ISBN 978-3-8354-0716-9
- [22] EDER, J.; ZIEGLTRUM, A.; EIBLMEIER, A. (2013): Das Mais-Reifeprognosemodell nach AGPM. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. URL: <http://www.lfl-design3.bayern.de/ipz/mais/08506/hinweise.php> (Stand: 15.10.2015)
- [23] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*, Jg. 43, Nr. L 327, S. 1–73
- [24] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2016): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2016. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). URL: http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Basisdaten_Bioenergie_20162.pdf (Stand: 10.11.2016)
- [25] FIALA, J.; SASS, O.; SIELING, K. (2014): Vergleich von Winter- und Körnererbsensorten. Wachstumsverlauf und Ertragsaufbau. *Raps: die Fachzeitschrift für Spezialisten, Special Körnerleguminosen*, Jg. 31, Nr. 3, S. 13–15

- [26] FORMAYER, H.; HAAS, P.; HOFSTÄTTER, M.; RADANOVICS, S.; KROMP-KOLB, H. (2007): Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Temperaturszenarien für Wien und ausgewählte Analysen bezüglich Adaptionsstrategien, BOKU-Met Bericht, Wien: Universität für Bodenkultur, 82 Seiten
- [27] FREYER, B.; PIETSCH, G.; HRBEK, R.; WINTER, S. (2005): Futter- und Körnerleguminosen im Biologischen Landbau. Leopoldsdorf: Österreichischer Agrarverlag, 160 Seiten, ISBN 978-3-7040-2032-1
- [28] GERIK, T.; BEAN, B.; VANDERLIP, R. (2003): Sorghum growth and development. Temple, TX; Amarillo, TX, USA: The Texas A & M University System; Texas Cooperative Extension, Nr. B-6137 7-03, 8 Seiten
- [29] HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C. (2011): Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. *Bioresource Technology* 102, S. 5153–5161, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.012> (Stand: 01.02.2017)
- [30] HERRMANN, C.; PLOGSTIES, V.; WILLMS, M.; HENGELHAUPT, F.; EBERL, V.; ECKNER, J.; STRAUß, C.; IDLER, C.; HEIERMANN, M. (2016): Methanbildungspotenziale verschiedener Pflanzenarten aus Energiefruchtfolgen. *Landtechnik*, Jg. 71, Nr. 6, S. 194–209
- [31] HERZ, M.; NICKL, U. (2014): Gerste. In: DOLESCHEL, P.; FRAHM, J. (Hrsg.): *Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. Die Landwirtschaft, Band 1.* 13. Aufl. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, S. 464–485, ISBN 978-3-8354-0716-9
- [32] HESS, D. (2005): *Systematische Botanik.* 1. Aufl. Stuttgart: UTB-Verlag, 239 Seiten, ISBN: 978-3-8252-2673-2
- [33] HEUWINKEL, H. (1999): N₂-Fixierung von Körnerleguminosen: Aussagekraft und Weiterentwicklung vorhandener Meßmethoden am Beispiel *Lupinus albus* L. Dissertation. Forschungsbericht des Forschungsverbunds Agrarökosysteme München (FAM), Nr. 34. München: Technische Universität München, 224 Seiten
- [34] HORAK, O. (1985): Zur Bedeutung des Nickels für *Fabaceae*. II. Nickelaufnahme und Nickelbedarf von *Pisum sativum* L. Forschungszentrum Seibersdorf, Institut für Landwirtschaft. URL: http://www.zobodat.at/pdf/PHY_25_2_0301-0307.pdf (Stand: 15.12.2016)
- [35] KELLER, K. (2016): Hummeln und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft. Mündlicher Vortrag, Feldtag zum Thema „Leguminosen-Gemenge als Bioenergieträger mit Mehrwert“. Straubing, 31.05.2016
- [36] KOLBE, H. (2009): Vergleich von Methoden zur Berechnung der biologischen N₂-Fixierung von Leguminosen zum Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis. *Pflanzenbauwissenschaften*, Jg. 13, Nr. 1, S. 23–26
- [37] KOLBE, H.; KÖHLER, B. (2008): BEFU – Teil ökologischer Landbau. Schriftenreihe des Landeamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nr. 36. Dresden, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 260 Seiten

- [38] KOLBE, H.; SCHUSTER, M.; HÄNSEL, M.; GRÜNBECK, A.; SCHLIEßER, I.; KÖHLER, A.; KARALUS, W.; KRELLIG, B.; POMMER, R.; ARP, B. (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Fachmaterial Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. URL: <http://orgprints.org/15102/2/Zwischenfruechte.pdf> (Stand: 22.01.2015)
- [39] KÖPPL, P. (2010): Anbau- und Kulturanleitung Wicken. Landwirtschaftskammer Oberösterreich. URL: <https://www.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2010.09.28%2F1285690257.pdf&rn=Wicken.pdf> (Stand: 08.04.2015)
- [40] KÜHNE, B. (2016): Trockenstress auf trockenen, sandigen Standorten vermeiden. Praxisnah, Jg. 28, Nr. 4, S. 6–7
- [41] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2013): Körnerleguminosen anbauen und verwerten. KTBL-Heft, Nr. 100. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 36 Seiten, ISBN 978-3-9415-8381-8
- [42] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2014): Betriebsplanung Landwirtschaft 2014/15. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. 24. Aufl. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 832 Seiten, ISBN 978-3-9415-8393-1
- [43] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2015): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL-Heft, Nr. 107. 3. Aufl. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 36 Seiten, ISBN 978-3-9450-8803-6
- [44] MEIER, U.; BLEIHOLDER, H. (2016): BBCH-Skala. Band 1: Phänologische Entwicklungsstadien wichtiger landwirtschaftlicher Kulturen, einschließlich Blattgemüse und Unkräuter. Clenze: Agrimedia, 64 Seiten, ISBN: 978-3-8626-3110-0
- [45] MÜCKE, M.; PFISTER, M.; MEYERCORDT, A. (2014): Was bringt die Schwefeldüngung? Schwefel zu Körnerleguminosen – keine eindeutige Wirkung. URL: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/schwerpunkte/dateien/schwefelduengung_bei_leguminosen.pdf (Stand: 18.12.2014)
- [46] NULTSCH, W. (2012): Allgemeine Botanik. 12. Aufl. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 663 Seiten, ISBN 978-3-1338-3312-7
- [47] PFLUGHÖFT, O.; SCHÄFER, B.; TIEDEMANN, A.; SAUCKE, H.; WOLFF, C. (2010): Pilzkrankheiten und Schädlinge bei Körnerfuttererbsen. 2. erg. Aufl. Berlin: Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen (UFOP), 44 Seiten, ISBN 978-3-9415-8393-1
- [48] PIETSCH, G.; FREYER, B. (2015): Anbaupause für Leguminosen. Department für nachhaltige Agrarsysteme der Universität für Bodenkultur Wien. URL: <http://www.nas.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H93000/H93300/Personen/Pietsch/BiolandAnbaupausenLeguminosen.pdf> (Stand: 10.02.2015)
- [49] ROßBERG, D.; MICHEL, V.; GRAF, R.; NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Bodenklima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland, Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst, Jg. 59, Nr. 7, S. 155–161
- [50] SAATEN-UNION GMBH (2015): Wintererbsen: Alte Kultur neu entdeckt. Saaten Union. URL: <http://archiv.saaten-union.de/index.cfm/article/5191.html> (Stand: 18.02.2015)

- [51] SCHLAGHECKEN, J. (2002): Knöllchenbakterien an Bohnenwurzeln. URL: <http://www.hortipendium.de/Buschbohne> (Stand: 13.02.2015)
- [52] SCHMIDT, H. (2013): Schlagauswahl. In: BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (Hrsg.): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit. Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Praxisbroschüre. URL: http://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/erzeuger/Broschuere_Koernerleguminosen_Bodenfruchtbarkeit.pdf (Stand: 20.02.2015), S. 9–15
- [53] SCHMIDTKE, K. (2013): Aus der Forschung – Sommer- oder Wintererbse? In: BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (Hrsg.): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit. Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Praxisbroschüre. URL: http://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/erzeuger/Broschuere_Koernerleguminosen_Bodenfruchtbarkeit.pdf (Stand: 20.02.2015), S. 47–52
- [54] SCHMIDTKE, K. (2013): Die Nährstoffversorgung von Leguminosenbeständen sichern. In: BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (Hrsg.): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit. Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Praxisbroschüre. URL: http://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/erzeuger/Broschuere_Koernerleguminosen_Bodenfruchtbarkeit.pdf (Stand: 20.02.2015), S. 34–39
- [55] SCHUSTER, W. H. (1998): Leguminosen zur Körnernutzung. Institut für Pflanzenbau der Justus-Liebig-Universität Gießen. URL: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2000/320/original/deckblatt.htm> (Stand: 12.02.2015)
- [56] STALLJOHANN, G. (2012): Heimische Körnerleguminosen statt Sojaextraktionsschrot aus Übersee? URL: <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/fuetterung/leguminosen-statt-soja.htm> (Stand: 26.03.2015)
- [57] STEIN-BACHINGER, K.; BACHINGER, J.; SCHMITT, L. (2004): Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau – Ein Handbuch für Beratung und Praxis. KTBL-Schrift, Nr. 423. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 136 Seiten, ISBN 978-3-9415-8314-6
- [58] THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (TLL) (2014): Ganzpflanzengetreide für die Produktion von Silagen zur Energieerzeugung. Forschungsverbund „EVA“, Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands. URL: <http://www.eva-verbund.de/themen/fruchtarten/ganzpflanzengetreide.html> (Stand: 09.12.2014)
- [59] URBATZKA, P.; GRAß, R.; HAASE, T.; SCHÜLER, C.; TRAUTZ, D.; HEß, J. (2011): The level of N₂-fixation of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea in pure and mixed stands. *Journal für Kulturpflanzen*, Jg. 63, S. 374–386
- [60] VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (2011): VDLUFA-Methodenbuch VII: Umweltanalytik. Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests. 2011. Darmstadt: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, 690 Seiten
- [61] VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (1976): VDLUFA-Methodenbuch III: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 1976. Darmstadt: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, 2190 Seiten

- [62] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E. V. (2006): VDI 4630, Vergärung organischer Stoffe, Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. April 2006. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI), 5 Seiten
- [63] VOGT-KAUTE, W. (2014): Der Stand der Züchtung von Körnerleguminosen in Bayern, Deutschland und angrenzenden Ländern. Naturland Öko-Beratungsgesellschaft mbH. URL: http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Erzeuger/Aktuell/Studie_Koernerleguminosenzuechtung_Bayern.pdf (Stand: 10.03.2015)
- [64] WEIGAND, S. (2016): Robust sein reicht nicht mehr immer. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt. Jg. 206, Nr. 16, S. 50–51
- [65] WEILER, E. W.; NOVER, L. (2008): Allgemeine und molekulare Botanik. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 928 Seiten, ISBN 978-3-1314-7661-6
- [66] WEIßBACH, F. (2009): Neue Methode zur Bewertung von Substraten für die Biogasgewinnung. Wie viel Biogas liefern Nachwachsende Rohstoffe? Neue Landwirtschaft, Jg. 20, Nr. 11, S. 107–112
- [67] WILBOIS, K.-P. (2015): Thema des Monats: Mai 2012 – Knöllchenbakterien. Aktive Knöllchen erkennt man an ihrer tiefroten Färbung im Inneren. URL: <http://www.bodenfruchtbarkeit.org/651.html> (Stand: 13.02.2015)
- [68] WILD, M. (2013): Bodenstruktur und Bestellung. In: BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (Hrsg.): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit. Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Praxisbroschüre. URL: http://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/erzeuger/Broschuere_Koernerleguminosen_Bodenfruchtbarkeit.pdf (Stand: 20.02.2015), S. 16–23
- [69] ZÖLLNER, U. (2014): Ackerbaukunst mit Körnererbsen. Bioland: Fachmagazin für den ökologischen Landbau, Jg. 41, Nr. 10. S. 11–12

Anhang (mit Farbbildern ab S.164)

Tabelle 17: Übersicht aller betrachteten Versuchsvarianten im Projekt „Bioenergieträger mit Blühaspekt: Leguminosen-Getreide-Gemenge“

Var.	Wintergetreide					Leguminosen					N-Düngegabe
	Art	Sorte	Saatstärke in			Art	Sorte	Saatstärke in			
			% der Reinsaat	keimf. Kö/m ²	kg/ha			% der Reinsaat	keimf. Kö/m ²	kg/ha	
1	Winterroggen	Visello	100	250	80,0						normal
2	Winterroggen	Visello	90	225	72,0	Zottelwicke	Dr. B. Ostsaat	25	40	14,0	normal
3	Winterroggen	Visello	90	225	72,0	Zottelwicke	Dr. B. Ostsaat	10	16	5,6	normal
4	Winterroggen	Visello	100	250	80,0	Zottelwicke	Dr. B. Ostsaat	5	8	2,8	normal
5	Winterroggen	Visello	90	225	72,0	Pannonische Wicke	Detenicka	25	45	18,0	normal
6	Winterroggen	Visello	90	225	72,0	Pannonische Wicke	Detenicka	10	18	7,2	normal
7	Winterroggen	Visello	100	250	80,0	Pannonische Wicke	Detenicka	5	9	3,6	normal
8	DSV-Mischung „Wickroggen plus“ ⁽¹⁾										normal
9	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2						normal
10	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Zottelwicke	Dr. B. Ostsaat	20	32	11,2	normal
11	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Zottelwicke	Dr. B. Ostsaat	8	13	4,5	normal
12	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Zottelwicke	Dr. B. Ostsaat	3	5	1,7	normal
13	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Pannonische Wicke	Detenicka	20	36	12,6	normal
14	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Pannonische Wicke	Detenicka	8	14	5,0	normal
15	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Pannonische Wicke	Detenicka	3	5	1,9	normal
16	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Wintererbse	Arkta	20	16	20,8	normal

Var.	Wintergetreide					Leguminosen					N-Düngegabe
	Art	Sorte	Saatstärke in			Art	Sorte	Saatstärke in			
			% der Reinsaat	keimf. Kö/m ²	kg/ha			% der Reinsaat	keimf. Kö/m ²	kg/ha	
17	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Wintererbse	Arkta	8	6	8,3	normal
18	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Wintererbse	Arkta	3	2	3,1	normal
19	Wintergerste	KWS Meridian	100	330	168,3						normal
20	Wintergerste	KWS Meridian	100	330	168,3	Wintererbse	Arkta	20	16	20,8	normal
21	Wintergerste	KWS Meridian	100	330	168,3	Wintererbse	Arkta	8	6	8,3	normal
22	Wintergerste	KWS Meridian	100	330	168,3	Wintererbse	Arkta	3	2	3,1	normal
23	Winterroggen	Visello	100	250	80,0						reduziert
24	Winterroggen	Visello	90	225	72,0	Zottelwicke	Dr. B. Otsaat	25	40	14,0	reduziert
25	Winterroggen	Visello	90	225	72,0	Pannonische Wicke	Detenicka	25	45	18,0	reduziert
26	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2						reduziert
27	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Zottelwicke	Dr. B. Otsaat	20	32	11,2	reduziert
28	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Pannonische Wicke	Detenicka	20	36	12,6	reduziert
29	Wintertriticale	Agostino	100	280	137,2	Wintererbse	Arkta	20	16	20,8	reduziert
30	Wintergerste	KWS Meridian	100	330	168,3						reduziert
31	Wintergerste	KWS Meridian	100	330	168,3	Wintererbse	Arkta	20	16	20,8	reduziert

¹⁾ Wickroggen Plus: 75 % Winterroggen „Conduct“, 10 % Winterwicke „Welta“, 15 % Welsches Weidelgras „Ligrande“, Saatstärke: 250 kg/ha

Tabelle 18: *Ergebnisse der Lagerbonitur in den Leguminosen-Getreide-Gemengen zum Zeitpunkt der Ernte 2014*

N-Düngestufe	Getreide-partner	Var.	Standort Aholting					Standort Straubing				
			Wiederholung				Mittelwert	Wiederholung				Mittelwert
			I	II	III	IV		I	II	III	IV	
normal	Roggen	1	7	1	4	1	3,3	9	8	9	4	7,5
normal	Roggen	2	7	7	4	7	6,3	8	5	9	4	6,5
normal	Roggen	3	7	2	3	3	3,8	9	9	9	8	8,8
normal	Roggen	4	6	8	3	6	5,8	8	9	9	7	8,3
normal	Roggen	5	7	5	4	7	5,8	9	5	9	1	6,0
normal	Roggen	6	7	7	3	2	4,8	7	6	9	5	6,8
normal	Roggen	7	8	4	2	7	5,3	9	7	9	1	6,5
normal	Roggen	8	3	7	1	5	4,0	9	9	9	8	8,8
normal	Triticale	9	1	1	1	1	1,0	2	1	2	1	1,5
normal	Triticale	10	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	11	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	12	1	1	1	1	1,0	1	1	4	1	1,8
normal	Triticale	13	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	14	1	1	1	1	1,0	1	1	2	1	1,3
normal	Triticale	15	1	1	1	1	1,0	1	5	2	1	2,3
normal	Triticale	16	1	1	1	1	1,0	7	1	5	1	3,5
normal	Triticale	17	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	18	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Gerste	19	6	7	1	4	4,5	9	8	9	9	8,8
normal	Gerste	20	7	7	7	2	5,8	9	9	8	9	8,8
normal	Gerste	21	7	5	6	6	6,0	9	9	7	9	8,5
normal	Gerste	22	7	2	7	7	5,8	9	9	9	9	9,0
reduziert	Roggen	23	1	1	1	1	1,0	2	1	8	1	3,0
reduziert	Roggen	24	1	1	1	1	1,0	2	1	9	3	3,8
reduziert	Roggen	25	1	1	3	2	1,8	4	1	9	2	4,0
reduziert	Triticale	26	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Triticale	27	1	1	1	1	1,0	1	1	5	1	2,0
reduziert	Triticale	28	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Triticale	29	1	1	1	1	1,0	2	1	3	1	1,8
reduziert	Gerste	30	1	2	2	3	2,0	9	1	8	1	4,8
reduziert	Gerste	31	1	3	2	3	2,3	9	1	8	5	5,8

Tabelle 19: Ergebnisse der Lagerbonitur in den Leguminosen-Getreide-Gemengen zum Zeitpunkt der Ernte 2015

N-Düngestufe	Getreide-partner	Var.	Standort Aholting					Standort Straubing				
			Wiederholung				Mittel-wert	Wiederholung				Mittel-wert
			I	II	III	IV		I	II	III	IV	
normal	Roggen	1	9	9	7	7	8,0	1	1	1	1	1,0
normal	Roggen	2	9	9	9	9	9,0	4	9	8	8	7,3
normal	Roggen	3	8	9	8	9	8,5	1	8	6	3	4,5
normal	Roggen	4	9	9	9	8	8,8	1	4	1	3	2,3
normal	Roggen	5	9	9	9	9	9,0	9	9	9	9	9,0
normal	Roggen	6	9	9	9	9	9,0	1	6	4	4	3,8
normal	Roggen	7	9	9	8	9	8,8	1	6	3	1	2,8
normal	Roggen	8	9	9	9	9	9,0	9	9	9	9	9,0
normal	Triticale	9	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	10	8	5	5	9	6,8	3	8	3	3	4,3
normal	Triticale	11	2	3	2	5	3,0	1	4	1	1	1,8
normal	Triticale	12	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	13	7	6	7	9	7,3	1	4	1	3	2,3
normal	Triticale	14	1	1	2	6	2,5	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	15	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	16	7	2	2	4	3,8	9	9	8	6	8,0
normal	Triticale	17	3	2	2	1	2,0	1	6	1	1	2,3
normal	Triticale	18	2	1	1	1	1,3	3	1	1	1	1,5
normal	Gerste	19	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Gerste	20	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Gerste	21	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Gerste	22	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Roggen	23	5	8	6	1	5,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Roggen	24	9	8	9	2	7,0	7	7	8	8	7,5
reduziert	Roggen	25	9	9	8	9	8,8	8	7	8	6	7,3
reduziert	Triticale	26	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Triticale	27	7	8	1	7	5,8	7	8	9	1	6,3
reduziert	Triticale	28	8	8	2	7	6,3	2	4	2	1	2,3
reduziert	Triticale	29	4	3	1	3	2,8	6	9	8	1	6,0
reduziert	Gerste	30	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Gerste	31	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0

Tabelle 20: Ergebnisse der Lagerbonitur in den Leguminosen-Getreide-Gemengen zum Zeitpunkt der Ernte 2016

N-Düngestufe	Getreide-partner	Var.	Standort Aholting					Standort Straubing				
			Wiederholung				Mittelwert	Wiederholung				Mittelwert
			I	II	III	IV		I	II	III	IV	
normal	Roggen	1	1	1	1	1	1,0	1	3	3	4	2,8
normal	Roggen	2	3	7	8	6	6,0	7	8	9	9	8,3
normal	Roggen	3	3	7	3	5	4,5	7	6	8	9	7,5
normal	Roggen	4	1	2	1	1	1,3	5	5	5	7	5,5
normal	Roggen	5	3	3	1	5	3,0	3	6	9	7	6,3
normal	Roggen	6	1	1	1	1	1,0	1	3	4	6	3,5
normal	Roggen	7	1	2	1	1	1,3	1	1	2	1	1,3
normal	Roggen	8	4	8	7	7	6,5	9	8	8	9	8,5
normal	Triticale	9	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	10	1	1	1	1	1,0	8	7	1	7	5,8
normal	Triticale	11	1	1	1	1	1,0	2	1	4	3	2,5
normal	Triticale	12	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	13	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	14	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	15	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	16	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	17	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Triticale	18	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Gerste	19	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Gerste	20	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Gerste	21	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
normal	Gerste	22	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Roggen	23	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Roggen	24	5	1	6	3	3,8	9	9	9	9	9,0
reduziert	Roggen	25	4	3	1	1	2,3	8	1	7	7	5,8
reduziert	Triticale	26	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Triticale	27	1	1	1	1	1,0	6	8	9	8	7,8
reduziert	Triticale	28	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Triticale	29	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Gerste	30	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0
reduziert	Gerste	31	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1	1,0

Tabelle 21: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholting

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	TM in dt/ha		TS in %	
			Mittelwert	Standard-fehler	Mittelwert	Standard-fehler
normal	Roggen	1	129,3	6,0	41,7	1,4
normal	Roggen	2	116,6	7,8	41,4	0,9
normal	Roggen	3	127,4	5,5	42,7	1,6
normal	Roggen	4	119,0	6,0	41,1	1,9
normal	Roggen	5	120,2	1,8	40,5	1,4
normal	Roggen	6	126,7	4,3	43,2	1,7
normal	Roggen	7	121,7	6,1	40,9	2,2
normal	Roggen	8	115,0	2,7	43,6	1,9
normal	Triticale	9	128,8	9,1	43,3	1,1
normal	Triticale	10	129,9	4,0	43,0	2,5
normal	Triticale	11	125,9	4,9	43,3	2,9
normal	Triticale	12	126,2	5,7	44,9	0,9
normal	Triticale	13	125,6	6,5	43,1	3,1
normal	Triticale	14	121,9	7,4	45,3	0,8
normal	Triticale	15	130,3	1,3	43,1	2,2
normal	Triticale	16	120,0	2,9	45,1	0,8
normal	Triticale	17	133,4	6,8	43,2	2,5
normal	Triticale	18	134,0	6,6	42,9	2,6
normal	Gerste	19	119,0	1,1	31,3	2,5
normal	Gerste	20	119,3	3,6	30,5	1,7
normal	Gerste	21	119,1	2,9	30,1	1,6
normal	Gerste	22	119,4	4,3	30,5	1,6
reduziert	Roggen	23	133,2	2,2	44,6	1,0
reduziert	Roggen	24	131,1	3,9	45,4	0,4
reduziert	Roggen	25	128,2	2,4	44,7	0,6
reduziert	Triticale	26	133,0	3,8	43,7	1,4
reduziert	Triticale	27	125,1	3,9	40,8	3,4
reduziert	Triticale	28	126,5	3,4	42,9	2,3
reduziert	Triticale	29	122,5	7,2	40,3	2,6
reduziert	Gerste	30	116,4	2,9	32,5	0,3
reduziert	Gerste	31	113,7	4,7	33,4	1,3

Tabelle 22: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing*

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	TM in dt/ha		TS in %	
			Mittelwert	Standard-fehler	Mittelwert	Standard-fehler
normal	Roggen	1	127,6	10,0	36,5	0,6
normal	Roggen	2	151,3	16,0	36,8	0,4
normal	Roggen	3	121,7	10,2	36,6	0,4
normal	Roggen	4	112,6	16,2	38,0	0,4
normal	Roggen	5	151,7	17,1	36,7	0,6
normal	Roggen	6	141,8	4,2	37,1	0,7
normal	Roggen	7	142,9	8,7	36,6	0,4
normal	Roggen	8	113,3	8,0	38,0	0,7
normal	Triticale	9	164,7	10,8	34,3	1,2
normal	Triticale	10	157,4	10,2	32,7	1,5
normal	Triticale	11	178,6	5,2	34,4	1,0
normal	Triticale	12	153,0	9,4	34,6	1,2
normal	Triticale	13	163,2	14,6	33,7	0,8
normal	Triticale	14	179,7	1,6	33,8	0,8
normal	Triticale	15	168,3	11,0	34,9	1,0
normal	Triticale	16	151,5	11,9	32,6	0,7
normal	Triticale	17	176,2	4,0	33,4	1,2
normal	Triticale	18	162,3	10,6	34,7	0,8
normal	Gerste	19	118,9	6,5	26,4	1,3
normal	Gerste	20	125,8	3,4	26,4	0,4
normal	Gerste	21	125,3	1,5	27,6	1,2
normal	Gerste	22	128,0	5,5	27,8	0,6
reduziert	Roggen	23	154,4	12,9	37,4	0,6
reduziert	Roggen	24	140,6	17,1	33,4	1,6
reduziert	Roggen	25	149,3	14,9	36,6	1,1
reduziert	Triticale	26	170,1	4,9	37,9	1,0
reduziert	Triticale	27	130,2	16,1	31,9	0,2
reduziert	Triticale	28	167,2	3,1	34,9	0,4
reduziert	Triticale	29	148,9	11,7	34,2	1,5
reduziert	Gerste	30	102,5	9,9	27,2	1,2
reduziert	Gerste	31	109,3	13,5	26,6	1,4

Tabelle 23: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting*

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	TM in dt/ha		TS in %	
			Mittelwert	Standard-fehler	Mittelwert	Standard-fehler
normal	Roggen	1	123,2	2,1	36,7	0,8
normal	Roggen	2	103,0	7,6	32,9	0,8
normal	Roggen	3	120,4	4,6	33,3	0,1
normal	Roggen	4	111,8	4,4	34,3	0,6
normal	Roggen	5	113,7	4,2	33,0	1,0
normal	Roggen	6	123,8	2,3	34,8	0,4
normal	Roggen	7	123,7	4,4	37,2	0,5
normal	Roggen	8	98,2	5,3	31,1	1,5
normal	Triticale	9	132,0	5,7	35,0	0,5
normal	Triticale	10	96,1	7,0	29,2	1,3
normal	Triticale	11	109,0	9,0	30,8	1,0
normal	Triticale	12	120,0	5,4	32,2	0,9
normal	Triticale	13	113,1	1,4	29,9	0,9
normal	Triticale	14	125,7	1,9	32,8	0,9
normal	Triticale	15	129,9	6,8	34,6	1,1
normal	Triticale	16	120,9	1,8	33,4	0,9
normal	Triticale	17	128,4	4,2	34,0	0,7
normal	Triticale	18	129,5	1,7	34,4	0,7
normal	Gerste	19	113,2	1,9	26,0	0,8
normal	Gerste	20	105,9	2,2	24,2	0,6
normal	Gerste	21	112,7	1,7	24,9	0,6
normal	Gerste	22	112,7	3,5	25,5	0,9
reduziert	Roggen	23	135,9	7,6	39,0	0,6
reduziert	Roggen	24	115,7	9,1	32,2	1,3
reduziert	Roggen	25	125,1	4,1	33,1	0,8
reduziert	Triticale	26	137,5	1,7	38,2	0,5
reduziert	Triticale	27	93,9	5,9	28,1	1,2
reduziert	Triticale	28	118,1	2,1	30,5	0,4
reduziert	Triticale	29	119,2	3,8	34,5	1,3
reduziert	Gerste	30	108,0	3,3	27,5	0,7
reduziert	Gerste	31	103,6	2,7	24,5	0,4

Tabelle 24: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing*

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	TM in dt/ha		TS in %	
			Mittelwert	Standard-fehler	Mittelwert	Standard-fehler
normal	Roggen	1	130,5	4,0	34,6	1,0
normal	Roggen	2	115,3	2,9	31,6	0,5
normal	Roggen	3	118,8	5,7	31,5	0,2
normal	Roggen	4	133,9	3,0	32,0	0,2
normal	Roggen	5	130,3	5,1	31,0	0,5
normal	Roggen	6	128,8	1,6	33,1	0,4
normal	Roggen	7	134,5	3,6	34,5	0,0
normal	Roggen	8	108,5	5,6	34,6	0,5
normal	Triticale	9	144,2	2,4	36,3	0,1
normal	Triticale	10	123,4	6,9	30,8	0,5
normal	Triticale	11	139,0	3,1	33,6	0,6
normal	Triticale	12	138,4	4,2	35,0	0,8
normal	Triticale	13	142,8	1,1	31,8	0,1
normal	Triticale	14	136,3	3,1	33,3	0,7
normal	Triticale	15	142,1	1,0	35,0	0,2
normal	Triticale	16	113,6	4,2	39,5	1,5
normal	Triticale	17	130,6	3,8	36,1	0,8
normal	Triticale	18	136,4	4,0	35,8	0,6
normal	Gerste	19	115,5	3,0	26,7	0,5
normal	Gerste	20	109,8	1,3	24,3	1,0
normal	Gerste	21	111,6	2,2	25,8	0,3
normal	Gerste	22	114,1	3,2	26,2	0,4
reduziert	Roggen	23	122,2	3,1	36,5	0,4
reduziert	Roggen	24	101,7	4,3	29,5	0,8
reduziert	Roggen	25	128,2	3,9	29,2	0,3
reduziert	Triticale	26	130,0	1,3	38,1	0,3
reduziert	Triticale	27	104,9	11,3	31,2	2,4
reduziert	Triticale	28	137,2	5,8	31,6	1,3
reduziert	Triticale	29	107,7	7,4	40,0	1,6
reduziert	Gerste	30	108,0	2,6	28,2	0,2
reduziert	Gerste	31	102,5	2,2	24,6	0,5

Tabelle 25: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting*

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	TM in dt/ha		TS in %	
			Mittelwert	Standard-fehler	Mittelwert	Standard-fehler
normal	Roggen	1	120,0	3,3	33,9	0,5
normal	Roggen	2	115,2	4,8	28,1	0,9
normal	Roggen	3	118,6	4,5	29,4	0,4
normal	Roggen	4	121,9	4,8	32,1	0,9
normal	Roggen	5	112,4	4,1	31,0	0,4
normal	Roggen	6	119,6	3,0	31,8	0,3
normal	Roggen	7	121,5	1,3	32,6	0,4
normal	Roggen	8	110,0	3,7	29,4	0,4
normal	Triticale	9	122,5	2,0	34,7	0,3
normal	Triticale	10	103,9	1,8	26,6	0,4
normal	Triticale	11	115,2	2,0	28,4	0,7
normal	Triticale	12	122,4	2,0	30,8	0,5
normal	Triticale	13	119,3	1,1	30,7	0,1
normal	Triticale	14	120,5	2,4	32,0	1,2
normal	Triticale	15	120,8	5,2	33,3	0,5
normal	Triticale	16	115,7	6,9	31,4	0,7
normal	Triticale	17	116,1	3,2	32,3	0,8
normal	Triticale	18	114,6	4,6	33,6	0,7
normal	Gerste	19	119,2	3,0	36,3	0,9
normal	Gerste	20	117,7	2,3	34,6	1,1
normal	Gerste	21	122,0	3,9	35,5	0,6
normal	Gerste	22	116,0	0,8	37,1	1,2
reduziert	Roggen	23	115,1	1,9	34,7	0,5
reduziert	Roggen	24	102,3	3,3	26,7	0,5
reduziert	Roggen	25	117,2	4,8	30,9	0,3
reduziert	Triticale	26	114,5	4,4	35,1	0,6
reduziert	Triticale	27	100,6	3,2	25,8	0,5
reduziert	Triticale	28	117,0	1,0	29,0	1,2
reduziert	Triticale	29	106,6	2,9	30,5	1,4
reduziert	Gerste	30	111,0	4,3	37,4	0,8
reduziert	Gerste	31	108,3	3,3	34,0	1,0

Tabelle 26: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing*

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	TM in dt/ha		TS in %	
			Mittelwert	Standard-fehler	Mittelwert	Standard-fehler
normal	Roggen	1	128,5	4,0	32,2	0,4
normal	Roggen	2	119,0	4,9	28,5	0,8
normal	Roggen	3	125,7	2,8	29,1	0,5
normal	Roggen	4	122,5	2,5	30,2	0,1
normal	Roggen	5	126,0	3,8	30,2	0,7
normal	Roggen	6	125,0	2,6	30,8	0,2
normal	Roggen	7	126,4	2,6	30,8	0,7
normal	Roggen	8	118,1	3,3	28,3	1,1
normal	Triticale	9	142,2	2,6	31,9	0,5
normal	Triticale	10	126,0	3,8	25,6	0,7
normal	Triticale	11	136,5	3,2	27,1	0,5
normal	Triticale	12	140,8	2,4	27,9	0,5
normal	Triticale	13	137,7	3,3	28,6	0,4
normal	Triticale	14	137,9	2,8	29,9	0,4
normal	Triticale	15	140,1	1,8	30,7	0,4
normal	Triticale	16	127,5	2,7	28,3	0,3
normal	Triticale	17	139,3	1,7	29,8	0,8
normal	Triticale	18	137,7	2,5	30,5	0,5
normal	Gerste	19	107,6	5,1	30,0	1,1
normal	Gerste	20	114,2	4,3	29,5	1,4
normal	Gerste	21	113,3	4,0	28,4	1,0
normal	Gerste	22	118,8	6,7	30,6	1,4
reduziert	Roggen	23	127,9	2,8	33,0	0,4
reduziert	Roggen	24	109,0	7,0	28,2	0,6
reduziert	Roggen	25	131,8	5,5	30,8	0,2
reduziert	Triticale	26	139,8	3,4	32,9	0,4
reduziert	Triticale	27	113,6	3,6	25,6	0,9
reduziert	Triticale	28	134,1	1,3	29,4	0,4
reduziert	Triticale	29	131,7	2,4	29,5	0,5
reduziert	Gerste	30	113,8	6,9	32,0	0,9
reduziert	Gerste	31	110,3	4,6	29,4	0,8

Tabelle 27: Relative Ertragsleistung ausgewählter Leguminosen-Getreide-Gemenge im Vergleich zur Reingetreidereferenz

	Aholting				Straubing				Mittelwert TM in %
	2015		2016		2015		2016		
	TM in dt/ha	TM in %	TM in dt/ha	TM in %	TM in dt/ha	TM in %	TM in dt/ha	TM in %	
Roggen-Reinsaat	123,2	100,0	120,0	100,0	130,5	100,0	128,5	100,0	100,0
Roggen + Zottelwicke min	111,8	90,7	121,9	101,6	133,9	102,6	122,5	95,3	97,6
Roggen + Pan. Wicke min	123,7	100,4	121,5	101,3	134,5	103,1	126,4	98,3	100,8
Roggen + Pan. Wicke mittel	123,8	100,5	119,6	99,7	128,8	98,7	125,0	97,3	99,0
Triticale-Reinsaat	132,0	100,0	122,5	100,0	144,2	100,0	142,2	100,0	100,0
Triticale + Zottelwicke min	120,0	90,9	122,4	100,0	138,4	96,0	140,8	99,0	96,5
Triticale + Pan. Wicke mittel	125,7	95,2	120,5	98,4	136,3	94,5	137,9	97,0	96,3
Triticale + Erbse mittel	128,4	97,3	116,1	94,8	_ ²⁾	_ ²⁾	139,3	98,0	96,7
Gerste-Reinsaat	113,2	100,0	119,2	100,0	115,5	100,0	107,6	100,0	100,0
Gerste + Erbse mittel	112,7	99,5	122,0	102,4	111,6	96,7	113,3	105,3	101,0

¹⁾ Pan. Wicke: Pannonische Wicke

²⁾ keine Bewertung wg. Krankheitsbefall

Tabelle 28: Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholting

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
			in g/kg Trockenmasse							
normal	Roggen	1	48	78	23	256	595	522	290	33
normal	Roggen	2	57	95	17	256	576	531	306	37
normal	Roggen	3	58	87	16	289	549	590	341	39
normal	Roggen	4	59	96	22	286	536	521	308	41
normal	Roggen	5	54	84	17	245	599	531	309	38
normal	Roggen	6	57	93	20	283	548	572	331	47
normal	Roggen	7	57	94	18	274	558	563	328	42
normal	Roggen	8	59	87	15	312	526	576	339	47
normal	Triticale	9	48	87	21	226	618	476	259	33
normal	Triticale	10	57	97	18	244	584	500	278	37
normal	Triticale	11	52	95	18	237	598	478	255	42
normal	Triticale	12	48	88	20	212	632	477	246	39
normal	Triticale	13	59	100	20	236	585	505	264	40
normal	Triticale	14	49	83	19	222	626	503	254	39
normal	Triticale	15	48	90	20	212	630	478	263	35
normal	Triticale	16	53	96	20	224	608	482	252	40
normal	Triticale	17	58	97	19	224	601	507	260	38
normal	Triticale	18	53	92	22	221	611	483	257	40
normal	Gerste	19	71	94	21	303	512	601	355	54
normal	Gerste	20	70	93	16	316	505	620	401	56
normal	Gerste	21	72	93	18	322	495	626	355	62
normal	Gerste	22	72	95	19	321	492	615	365	56
normal	Roggen	23	48	73	20	263	595	539	297	35
reduziert	Roggen	24	51	72	21	265	591	563	314	42
reduziert	Roggen	25	49	76	17	256	603	532	283	38
reduziert	Triticale	26	50	82	19	230	619	489	260	28
reduziert	Triticale	27	67	116	15	274	528	517	290	37
reduziert	Triticale	28	54	89	19	226	612	475	262	31
reduziert	Triticale	29	59	97	18	248	577	501	281	39
reduziert	Gerste	30	67	81	19	309	525	619	358	45
reduziert	Gerste	31	64	96	18	288	533	583	325	42
Mittelwert			57	90	19	261	573	535	299	41

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NfE: Stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser, ⁷⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser, ⁸⁾ ADL: Säure-Detergenz-Lignin

Tabelle 29: Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
			in g/kg Trockenmasse							
normal	Roggen	1	45	79	17	275	584	551	340	40
normal	Roggen	2	53	82	16	284	565	562	330	46
normal	Roggen	3	59	94	17	289	542	592	357	49
normal	Roggen	4	50	84	16	274	577	539	309	44
normal	Roggen	5	54	84	15	283	564	567	320	42
normal	Roggen	6	51	79	13	254	603	530	326	37
normal	Roggen	7	53	83	13	274	577	557	318	44
normal	Roggen	8	58	73	12	337	520	609	361	44
normal	Triticale	9	61	75	14	254	596	510	280	37
normal	Triticale	10	65	92	14	285	544	563	317	39
normal	Triticale	11	60	80	15	262	582	546	311	32
normal	Triticale	12	61	76	14	283	566	523	302	35
normal	Triticale	13	56	76	14	263	591	514	298	34
normal	Triticale	14	57	83	16	246	598	484	276	32
normal	Triticale	15	58	76	17	250	599	484	285	31
normal	Triticale	16	67	99	16	277	542	535	310	35
normal	Triticale	17	65	85	16	285	549	529	325	35
normal	Triticale	18	59	75	14	244	608	482	286	30
normal	Gerste	19	78	71	14	384	453	688	438	50
normal	Gerste	20	78	91	16	384	432	650	408	58
normal	Gerste	21	77	82	10	374	458	666	440	46
normal	Gerste	22	75	85	14	354	471	648	389	32
normal	Roggen	23	48	61	12	281	598	531	298	38
reduziert	Roggen	24	55	86	15	277	568	523	312	45
reduziert	Roggen	25	59	74	12	283	571	544	326	40
reduziert	Triticale	26	53	61	13	252	622	485	272	28
reduziert	Triticale	27	68	104	13	277	537	517	315	40
reduziert	Triticale	28	57	78	13	254	598	490	301	45
reduziert	Triticale	29	62	90	13	270	564	502	313	34
reduziert	Gerste	30	80	67	10	385	457	682	436	66
reduziert	Gerste	31	79	86	17	359	460	640	435	46
Mittelwert			61	81	14	292	552	556	61	40

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NfE: Stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser, ⁷⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser, ⁸⁾ ADL: Säure-Detergenz-Lignin

Tabelle 30: Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
			in g/kg Trockenmasse							
normal	Roggen	1	47	80	15	294	564	585	346	49
normal	Roggen	2	61	114	20	316	489	623	388	60
normal	Roggen	3	61	114	20	334	471	627	382	62
normal	Roggen	4	57	112	19	301	511	612	367	63
normal	Roggen	5	58	108	17	328	489	604	392	69
normal	Roggen	6	55	96	17	329	503	628	372	59
normal	Roggen	7	51	92	18	305	534	598	350	58
normal	Roggen	8	75	110	10	328	477	617	376	67
normal	Triticale	9	55	96	15	264	570	547	309	41
normal	Triticale	10	107	150	16	325	402	563	365	75
normal	Triticale	11	65	132	10	319	474	574	346	62
normal	Triticale	12	61	120	13	292	514	535	321	47
normal	Triticale	13	68	130	16	326	460	607	370	61
normal	Triticale	14	63	113	13	295	516	540	332	54
normal	Triticale	15	55	103	15	277	550	539	317	50
normal	Triticale	16	59	131	15	284	511	528	323	51
normal	Triticale	17	58	117	15	280	530	535	310	41
normal	Triticale	18	57	100	15	285	543	534	304	47
normal	Gerste	19	66	111	13	290	520	580	333	41
normal	Gerste	20	73	126	18	285	498	542	317	40
normal	Gerste	21	69	112	15	271	533	521	295	32
normal	Gerste	22	66	109	16	272	537	549	305	41
normal	Roggen	23	43	73	14	266	604	523	300	46
reduziert	Roggen	24	58	111	15	317	499	583	370	75
reduziert	Roggen	25	53	97	13	295	542	560	351	62
reduziert	Triticale	26	48	78	18	259	597	523	289	39
reduziert	Triticale	27	62	125	18	299	496	552	335	64
reduziert	Triticale	28	70	127	14	282	507	556	354	60
reduziert	Triticale	29	50	98	18	249	585	528	297	40
reduziert	Gerste	30	65	93	15	269	558	526	307	37
reduziert	Gerste	31	66	108	14	284	528	552	322	44
Mittelwert			61	109	15	294	520	564	337	53

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NfE: Stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser, ⁷⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser, ⁸⁾ ADL: Säure-Detergenz-Lignin

Tabelle 31: *Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing*

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
			in g/kg Trockenmasse							
normal	Roggen	1	49	74	15	273	589	540	303	39
normal	Roggen	2	69	132	13	319	467	580	379	69
normal	Roggen	3	65	114	14	333	474	615	396	56
normal	Roggen	4	57	108	15	295	525	543	328	51
normal	Roggen	5	64	123	15	293	505	563	358	53
normal	Roggen	6	54	107	15	288	536	551	356	56
normal	Roggen	7	52	95	15	276	562	535	334	46
normal	Roggen	8	78	84	14	316	508	603	371	57
normal	Triticale	9	61	81	15	239	604	485	265	34
normal	Triticale	10	79	147	16	331	427	595	386	65
normal	Triticale	11	69	119	17	278	517	560	321	45
normal	Triticale	12	64	99	16	260	561	528	312	43
normal	Triticale	13	70	118	14	286	512	589	355	51
normal	Triticale	14	66	105	16	272	541	544	338	46
normal	Triticale	15	61	94	17	247	581	496	301	42
normal	Triticale	16	66	129	16	273	516	546	336	49
normal	Triticale	17	58	95	11	236	600	476	289	39
normal	Triticale	18	62	94	14	250	580	533	299	42
normal	Gerste	19	74	109	17	249	551	517	282	33
normal	Gerste	20	87	142	17	278	476	551	318	52
normal	Gerste	21	76	119	16	258	531	524	295	43
normal	Gerste	22	71	108	15	267	539	547	287	38
normal	Roggen	23	47	68	15	257	613	517	309	38
reduziert	Roggen	24	62	131	14	333	460	589	398	68
reduziert	Roggen	25	62	116	13	324	485	571	390	65
reduziert	Triticale	26	60	76	14	255	595	551	291	33
reduziert	Triticale	27	77	146	14	327	436	588	382	67
reduziert	Triticale	28	66	110	13	271	540	519	306	42
reduziert	Triticale	29	69	110	13	297	511	578	334	41
reduziert	Gerste	30	73	96	18	255	558	501	277	46
reduziert	Gerste	31	95	120	17	275	493	527	296	40
Mittelwert			67	109	15	281	529	547	329	48

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NfE: Stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser, ⁷⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser, ⁸⁾ ADL: Säure-Detergenz-Lignin

Tabelle 32: Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
			in g/kg Trockenmasse							
normal	Roggen	1	45	64	14	312	565	600	343	41
normal	Roggen	2	84	100	12	344	460	614	382	48
normal	Roggen	3	60	95	13	342	490	636	395	53
normal	Roggen	4	52	83	7	321	537	626	379	54
normal	Roggen	5	52	79	13	317	539	606	374	46
normal	Roggen	6	49	76	15	307	553	557	367	50
normal	Roggen	7	47	67	16	301	569	619	356	49
normal	Roggen	8	58	71	14	338	519	647	386	55
normal	Triticale	9	62	75	16	208	639	481	258	32
normal	Triticale	10	66	131	21	292	490	556	331	63
normal	Triticale	11	61	115	17	265	542	533	313	59
normal	Triticale	12	53	99	20	239	589	501	280	38
normal	Triticale	13	56	102	19	246	577	490	280	41
normal	Triticale	14	48	88	14	241	609	497	264	38
normal	Triticale	15	48	83	14	234	621	480	251	34
normal	Triticale	16	53	100	20	238	589	498	265	35
normal	Triticale	17	49	86	13	232	620	517	270	46
normal	Triticale	18	44	80	14	217	645	482	236	35
normal	Gerste	19	51	77	20	258	594	512	283	37
normal	Gerste	20	52	86	20	236	606	515	270	30
normal	Gerste	21	56	85	23	243	593	509	268	28
normal	Gerste	22	49	78	21	236	616	501	250	25
normal	Roggen	23	44	54	14	312	576	620	339	43
reduziert	Roggen	24	65	113	18	342	462	632	383	59
reduziert	Roggen	25	54	84	17	313	532	595	382	49
reduziert	Triticale	26	43	62	16	247	632	517	263	32
reduziert	Triticale	27	71	139	20	298	472	561	377	50
reduziert	Triticale	28	64	105	19	258	554	515	298	40
reduziert	Triticale	29	51	89	17	250	593	522	301	34
reduziert	Gerste	30	49	64	21	256	610	522	281	29
reduziert	Gerste	31	55	86	18	246	595	508	298	30
Mittelwert			55	88	17	274	567	547	314	42

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NfE: Stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser, ⁷⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser, ⁸⁾ ADL: Säure-Detergenz-Lignin

Tabelle 33: Inhaltsstoffgehalte der Versuchsvarianten nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
			in g/kg Trockenmasse							
normal	Roggen	1	53	65	14	320	548	600	339	46
normal	Roggen	2	65	106	13	383	433	664	447	56
normal	Roggen	3	62	91	13	350	484	646	390	48
normal	Roggen	4	58	84	14	344	500	633	392	48
normal	Roggen	5	55	82	13	331	519	595	371	49
normal	Roggen	6	56	73	12	319	540	624	380	42
normal	Roggen	7	54	66	14	311	555	602	357	44
normal	Roggen	8	69	91	14	363	463	696	448	64
normal	Triticale	9	66	76	14	240	604	504	279	33
normal	Triticale	10	83	137	15	309	456	623	393	54
normal	Triticale	11	79	119	15	304	483	598	360	47
normal	Triticale	12	73	99	11	280	537	581	352	39
normal	Triticale	13	72	99	15	277	537	534	347	45
normal	Triticale	14	70	93	17	256	564	517	312	42
normal	Triticale	15	69	80	15	251	585	527	309	37
normal	Triticale	16	69	97	14	265	555	541	315	41
normal	Triticale	17	69	93	15	251	572	512	291	41
normal	Triticale	18	69	78	12	253	588	530	317	40
normal	Gerste	19	67	76	17	278	562	574	336	34
normal	Gerste	20	69	82	15	267	567	556	332	35
normal	Gerste	21	72	81	15	314	518	583	350	37
normal	Gerste	22	65	79	16	273	567	546	321	34
normal	Roggen	23	52	57	12	299	580	585	353	42
reduziert	Roggen	24	72	113	13	352	450	666	416	59
reduziert	Roggen	25	57	80	15	310	538	571	380	47
reduziert	Triticale	26	65	67	13	246	609	500	284	28
reduziert	Triticale	27	91	147	16	357	389	614	416	65
reduziert	Triticale	28	72	95	17	260	556	535	326	37
reduziert	Triticale	29	71	97	16	263	553	558	331	38
reduziert	Gerste	30	68	71	17	294	550	558	329	35
reduziert	Gerste	31	74	73	16	305	532	597	350	43
Mittelwert			67	89	14	298	532	580	352	44

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NfE: Stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser, ⁷⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser, ⁸⁾ ADL: Säure-Detergenz-Lignin

Tabelle 34: Methanausbeuten und Methanerträge der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	Methangehalt in %	Methanausbeute ¹⁾ in NI CH ₄ /kg oTS	TM-Ertrag in dt/ha	Methanertrag in Nm ³ CH ₄ /ha
normal	Roggen	1	52,4	307,1	127,6	3687
normal	Roggen	2	52,6	296,0	151,3	4217
normal	Roggen	3	52,4	284,7	121,7	3252
normal	Roggen	4	52,2	299,3	112,6	3166
normal	Roggen	5	52,1	299,7	151,7	4254
normal	Roggen	6	52,8	298,1	141,8	3972
normal	Roggen	7	52,6	312,9	142,9	4208
normal	Roggen	8	52,5	303,9	113,3	3213
normal	Triticale	9	51,5	303,2	164,7	4638
normal	Triticale	10	51,8	293,4	157,4	4300
normal	Triticale	11	52,0	312,2	178,6	5156
normal	Triticale	12	51,3	292,4	153,0	4187
normal	Triticale	13	51,5	309,4	163,2	4722
normal	Triticale	14	50,1	301,5	179,7	5087
normal	Triticale	15	44,6	260,8	168,3	4105
normal	Triticale	16	51,2	302,5	151,5	4258
normal	Triticale	17	51,6	299,0	176,2	4910
normal	Triticale	18	51,5	311,3	162,3	4715
normal	Gerste	19	52,1	298,5	113,5	3103
normal	Gerste	20	51,7	292,9	124,0	3271
normal	Gerste	21	51,9	285,7	126,1	3276
normal	Gerste	22	52,7	298,8	125,4	3372
reduziert	Roggen	23	52,7	295,9	154,4	4307
reduziert	Roggen	24	52,6	298,4	140,6	3930
reduziert	Roggen	25	52,7	277,4	149,3	3860
reduziert	Triticale	26	51,0	319,0	170,1	5122
reduziert	Triticale	27	52,9	266,2	130,2	3185
reduziert	Triticale	28	51,6	290,2	167,2	4497
reduziert	Triticale	29	51,6	298,9	148,9	4116
reduziert	Gerste	30	52,0	295,0	117,1	3095
reduziert	Gerste	31	52,4	305,2	106,5	2959
Mittelwert			51,8	297,1	144,9	4004

¹⁾ Methanausbeute nach Hohenheimer Biogasertragstests

Tabelle 35: Methanausbeuten und Methanerträge der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting

N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	Methangehalt in %	Methanausbeute ¹⁾ in NI CH ₄ /kg oTS	TM-Ertrag in dt/ha	Methanertrag in Nm ³ CH ₄ /ha
normal	Roggen	1	51,4	287,2	123,2	3305
normal	Roggen	2	52,1	272,6	103,0	2644
normal	Roggen	3	52,4	274,0	120,4	3109
normal	Roggen	4	52,0	272,3	111,8	2882
normal	Roggen	5	52,4	270,8	113,7	2907
normal	Roggen	6	52,3	283,4	123,8	3326
normal	Roggen	7	52,0	273,7	123,7	3217
normal	Roggen	8	52,8	269,2	98,2	2428
normal	Triticale	9	51,6	300,8	132,0	3732
normal	Triticale	10	53,9	227,4	96,1	1953
normal	Triticale	11	52,6	242,2	109,0	2430
normal	Triticale	12	52,2	284,0	120,0	3190
normal	Triticale	13	52,1	260,9	113,1	2729
normal	Triticale	14	52,0	278,8	125,7	3269
normal	Triticale	15	52,1	303,8	129,9	3694
normal	Triticale	16	52,1	281,4	120,9	3177
normal	Triticale	17	51,4	266,7	128,4	3223
normal	Triticale	18	51,9	292,6	129,5	3547
normal	Gerste	19	51,8	294,6	113,2	3126
normal	Gerste	20	52,5	292,9	105,9	2890
normal	Gerste	21	52,2	283,4	112,7	2954
normal	Gerste	22	52,0	295,1	112,7	3096
reduziert	Roggen	23	51,6	298,8	135,9	3893
reduziert	Roggen	24	52,3	293,5	115,7	3209
reduziert	Roggen	25	52,8	291,2	125,1	3454
reduziert	Triticale	26	52,3	296,4	137,5	3828
reduziert	Triticale	27	54,1	248,6	93,9	2148
reduziert	Triticale	28	53,7	273,5	118,1	2975
reduziert	Triticale	29	52,6	307,6	119,2	3495
reduziert	Gerste	30	51,9	300,0	108,0	3031
reduziert	Gerste	31	52,5	270,5	103,6	2592
Mittelwert			52,3	280,3	116,9	3079,1

¹⁾ Methanausbeute nach Hohenheimer Biogasertragstests

Tabelle 36: Methanausbeuten und Methanerträge der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	Methangehalt in %	Methanausbeute ¹⁾ in NI CH ₄ /kg oTS	TM-Ertrag in dt/ha	Methanertrag in Nm ³ CH ₄ /ha
normal	Roggen	1	51,3	316,4	120,0	3632
normal	Roggen	2	51,7	277,4	115,2	2927
normal	Roggen	3	52,0	295,4	118,6	3321
normal	Roggen	4	52,3	281,0	121,9	3265
normal	Roggen	5	51,9	299,5	112,4	3209
normal	Roggen	6	52,3	298,3	119,6	3399
normal	Roggen	7	51,7	298,9	121,5	3469
normal	Roggen	8	51,5	293,0	110,0	3058
normal	Triticale	9	49,7	305,4	122,5	3584
normal	Triticale	10	52,7	299,6	103,9	2920
normal	Triticale	11	52,4	292,1	115,2	3169
normal	Triticale	12	52,1	283,0	122,4	3295
normal	Triticale	13	52,2	285,9	119,3	3224
normal	Triticale	14	51,1	278,1	120,5	3188
normal	Triticale	15	50,6	308,5	120,8	3554
normal	Triticale	16	50,6	249,6	115,7	2751
normal	Triticale	17	51,0	267,3	116,1	2957
normal	Triticale	18	50,7	307,7	114,6	3375
normal	Gerste	19	51,1	324,9	119,2	3683
normal	Gerste	20	51,3	289,0	117,7	3233
normal	Gerste	21	51,8	308,1	122,0	3556
normal	Gerste	22	51,9	303,9	116,0	3335
reduziert	Roggen	23	51,5	292,9	115,1	3233
reduziert	Roggen	24	52,6	289,0	102,3	2779
reduziert	Roggen	25	52,2	299,0	117,2	3325
reduziert	Triticale	26	51,6	322,7	114,5	3548
reduziert	Triticale	27	52,8	298,0	100,6	2803
reduziert	Triticale	28	51,9	288,7	117,0	3182
reduziert	Triticale	29	51,7	304,0	106,6	3082
reduziert	Gerste	30	51,6	274,5	111,0	2911
reduziert	Gerste	31	52,3	308,6	108,3	3162
Mittelwert			51,7	294,9	115,4	3230,0

¹⁾ Methanausbeute nach Hohenheimer Biogasertragstests

Tabelle 37: Abweichungen im Methanertragspotenzial der Versuchsvarianten in Abhängigkeit der Methodik, Versuchsjahr 2013/2014

Var.	Methanausbeute in NI CH ₄ /kg oTS			Abweichungen Methanausbeute in %	
	HBT ¹⁾ Straubing	Batchtest LfL Straubing	Batchtest ATB Straubing	HBT ¹⁾ vs. Batchtest LfL	HBT ¹⁾ vs. Batchtest ATB
1	307	316	— ²⁾	-2,74	— ²⁾
2	296	324	303	-8,63	-2,26
3	285	335	— ²⁾	-14,93	— ²⁾
4	299	341	— ²⁾	-12,14	— ²⁾
5	300	319	310	-6,05	-3,29
6	298	320	— ²⁾	-6,86	— ²⁾
7	313	330	— ²⁾	-5,13	— ²⁾
8	304	331	276	-8,16	10,23
9	303	347	— ²⁾	-12,74	— ²⁾
10	293	336	323	-12,74	-9,15
11	312	354	— ²⁾	-11,87	— ²⁾
12	292	301	— ²⁾	-2,93	— ²⁾
13	309	316	330	-2,06	-6,25
14	302	342	— ²⁾	-11,90	— ²⁾
15	261	347	— ²⁾	-24,94	— ²⁾
16	302	347	321	-12,86	-5,72
17	299	316	— ²⁾	-5,48	— ²⁾
18	311	335	— ²⁾	-6,99	— ²⁾
19	298	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾
20	293	— ²⁾	312	— ²⁾	-6,21
21	286	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾
22	299	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾
23	296	326	— ²⁾	-9,11	— ²⁾
24	298	308	— ²⁾	-3,19	— ²⁾
25	277	317	— ²⁾	-12,37	— ²⁾
26	319	344	— ²⁾	-7,19	— ²⁾
27	266	303	— ²⁾	-12,21	— ²⁾
28	290	334	— ²⁾	-13,16	— ²⁾
29	299	318	— ²⁾	-5,88	— ²⁾
30	295	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾
31	305	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾

¹⁾ HBT: Hohenheimer Biogasertagstest

²⁾ keine Daten erhoben

Tabelle 38: Abweichungen im Methanertragspotenzial der Versuchsvarianten in Abhängigkeit der Methodik, Versuchsjahr 2014/2015

Var.	Methanausbeute in NI CH ₄ /kg oTS			Abweichungen Methanausbeute in %	
	HBT ¹⁾ Aholting	Batchtest LfL Straubing	Batchtest ATB Aholting	HBT ¹⁾ vs. Batchtest LfL	HBT ¹⁾ vs. Batchtest ATB
1	287	328	₂₎	-12,55	₂₎
2	273	295	298	-7,72	-8,56
3	274	306	₂₎	-10,46	₂₎
4	272	345	₂₎	-21,00	₂₎
5	271	292	305	-7,21	-11,29
6	283	317	₂₎	-10,72	₂₎
7	274	302	₂₎	-9,46	₂₎
8	269	302	292	-10,76	-7,71
9	301	354	₂₎	-15,11	₂₎
10	227	320	327	-28,97	-30,52
11	242	327	₂₎	-25,90	₂₎
12	284	329	₂₎	-13,65	₂₎
13	261	315	319	-17,08	-18,08
14	279	340	₂₎	-18,00	₂₎
15	304	339	₂₎	-10,41	₂₎
16	281	317	320	-11,26	-11,98
17	267	311	₂₎	-14,23	₂₎
18	293	323	₂₎	-9,34	₂₎
19	295	314	₂₎	-6,15	₂₎
20	293	334	296	-12,44	-0,91
21	283	330	₂₎	-14,07	₂₎
22	295	337	₂₎	-12,48	₂₎
23	299	311	₂₎	-3,85	₂₎
24	293	308	₂₎	-4,75	₂₎
25	291	292	₂₎	-0,26	₂₎
26	296	332	₂₎	-10,84	₂₎
27	249	312	₂₎	-20,37	₂₎
28	274	330	₂₎	-17,21	₂₎
29	308	289	₂₎	6,39	₂₎
30	300	321	₂₎	-6,50	₂₎
31	270	323	₂₎	-16,35	₂₎

¹⁾ HBT: Hohenheimer Biogasertragstest

²⁾ keine Daten erhoben

Tabelle 39: Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholting

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	TS in %	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium
				in kg/dt Frischmasse			
normal	Roggen	1	41,7	0,52	0,24	0,73	0,06
normal	Roggen	2	41,4	0,63	0,26	0,86	0,07
normal	Roggen	3	42,7	0,60	0,24	0,89	0,06
normal	Roggen	4	41,1	0,63	0,24	0,88	0,06
normal	Roggen	5	40,5	0,55	0,25	0,85	0,06
normal	Roggen	6	43,2	0,64	0,26	0,92	0,06
normal	Roggen	7	40,9	0,61	0,25	0,85	0,06
normal	Roggen	8	43,6	0,61	0,25	0,99	0,07
normal	Triticale	9	43,3	0,60	0,22	0,63	0,07
normal	Triticale	10	43,0	0,67	0,25	0,85	0,08
normal	Triticale	11	43,3	0,66	0,25	0,79	0,08
normal	Triticale	12	44,9	0,63	0,25	0,66	0,09
normal	Triticale	13	43,1	0,69	0,26	0,83	0,09
normal	Triticale	14	45,3	0,60	0,25	0,72	0,08
normal	Triticale	15	43,1	0,62	0,24	0,70	0,08
normal	Triticale	16	45,1	0,69	0,27	0,72	0,08
normal	Triticale	17	43,2	0,67	0,23	0,80	0,08
normal	Triticale	18	42,9	0,63	0,24	0,71	0,08
normal	Gerste	19	31,3	0,47	0,20	0,80	0,04
normal	Gerste	20	30,5	0,46	0,22	0,85	0,05
normal	Gerste	21	30,1	0,45	0,21	0,87	0,05
normal	Gerste	22	30,5	0,47	0,21	0,82	0,05
normal	Roggen	23	44,6	0,52	0,26	0,79	0,06
reduziert	Roggen	24	45,4	0,52	0,28	0,83	0,06
reduziert	Roggen	25	44,7	0,54	0,28	0,78	0,07
reduziert	Triticale	26	43,7	0,58	0,23	0,77	0,08
reduziert	Triticale	27	40,8	0,76	0,24	0,93	0,08
reduziert	Triticale	28	42,9	0,61	0,23	0,77	0,09
reduziert	Triticale	29	40,3	0,62	0,24	0,81	0,08
reduziert	Gerste	30	32,5	0,42	0,22	0,82	0,05
reduziert	Gerste	31	33,4	0,52	0,24	0,82	0,05
Mittelwert				0,59	0,24	0,81	0,07

Tabelle 40: Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	TS in %	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium
				in kg/dt Frischmasse			
normal	Roggen	1	36,5	0,46	0,17	0,64	0,06
normal	Roggen	2	36,8	0,48	0,16	0,61	0,07
normal	Roggen	3	36,6	0,55	0,19	0,70	0,06
normal	Roggen	4	38,0	0,51	0,19	0,67	0,06
normal	Roggen	5	36,7	0,49	0,18	0,65	0,06
normal	Roggen	6	37,1	0,47	0,18	0,65	0,06
normal	Roggen	7	36,6	0,49	0,18	0,66	0,06
normal	Roggen	8	38,0	0,44	0,18	0,73	0,07
normal	Triticale	9	34,3	0,41	0,15	0,55	0,07
normal	Triticale	10	32,7	0,48	0,14	0,59	0,08
normal	Triticale	11	34,4	0,44	0,14	0,56	0,08
normal	Triticale	12	34,6	0,42	0,15	0,58	0,09
normal	Triticale	13	33,7	0,41	0,16	0,54	0,09
normal	Triticale	14	33,8	0,45	0,14	0,51	0,08
normal	Triticale	15	34,9	0,42	0,15	0,56	0,08
normal	Triticale	16	32,6	0,51	0,14	0,58	0,08
normal	Triticale	17	33,4	0,45	0,14	0,58	0,08
normal	Triticale	18	34,7	0,42	0,14	0,54	0,08
normal	Gerste	19	26,4	0,30	0,10	0,68	0,04
normal	Gerste	20	26,4	0,38	0,10	0,72	0,05
normal	Gerste	21	27,6	0,36	0,11	0,71	0,05
normal	Gerste	22	27,8	0,38	0,12	0,70	0,05
normal	Roggen	23	37,4	0,37	0,16	0,56	0,06
reduziert	Roggen	24	33,4	0,46	0,14	0,55	0,06
reduziert	Roggen	25	36,6	0,43	0,17	0,59	0,07
reduziert	Triticale	26	37,9	0,37	0,15	0,50	0,08
reduziert	Triticale	27	31,9	0,53	0,15	0,60	0,08
reduziert	Triticale	28	34,9	0,44	0,14	0,50	0,09
reduziert	Triticale	29	34,2	0,49	0,15	0,57	0,08
reduziert	Gerste	30	27,2	0,29	0,10	0,71	0,05
reduziert	Gerste	31	26,6	0,37	0,11	0,66	0,05
Mittelwert				0,44	0,15	0,61	0,07

Tabelle 41: Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	TS in %	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium
				in kg/dt Frischmasse			
normal	Roggen	1	36,7	0,47	0,21	0,61	0,05
normal	Roggen	2	32,9	0,60	0,22	0,72	0,06
normal	Roggen	3	33,3	0,61	0,22	0,71	0,06
normal	Roggen	4	34,3	0,61	0,23	0,72	0,05
normal	Roggen	5	33,0	0,57	0,21	0,74	0,06
normal	Roggen	6	34,8	0,53	0,20	0,68	0,05
normal	Roggen	7	37,2	0,55	0,22	0,67	0,06
normal	Roggen	8	31,1	0,55	0,20	0,66	0,05
normal	Triticale	9	35,0	0,54	0,10	0,33	0,03
normal	Triticale	10	29,2	0,70	0,22	0,77	0,08
normal	Triticale	11	30,8	0,65	0,20	0,71	0,06
normal	Triticale	12	32,2	0,62	0,21	0,67	0,06
normal	Triticale	13	29,9	0,62	0,20	0,71	0,07
normal	Triticale	14	32,8	0,59	0,21	0,69	0,07
normal	Triticale	15	34,6	0,57	0,22	0,64	0,07
normal	Triticale	16	33,4	0,70	0,24	0,72	0,08
normal	Triticale	17	34,0	0,64	0,24	0,67	0,07
normal	Triticale	18	34,4	0,55	0,21	0,62	0,06
normal	Gerste	19	26,0	0,46	0,20	0,66	0,04
normal	Gerste	20	24,2	0,49	0,19	0,63	0,05
normal	Gerste	21	24,9	0,45	0,19	0,63	0,04
normal	Gerste	22	25,5	0,45	0,20	0,65	0,04
normal	Roggen	23	39,0	0,46	0,23	0,56	0,05
reduziert	Roggen	24	32,2	0,57	0,22	0,66	0,06
reduziert	Roggen	25	33,1	0,51	0,23	0,68	0,06
reduziert	Triticale	26	38,2	0,48	0,20	0,51	0,06
reduziert	Triticale	27	28,1	0,56	0,20	0,59	0,06
reduziert	Triticale	28	30,5	0,62	0,21	0,69	0,08
reduziert	Triticale	29	34,5	0,54	0,20	0,56	0,06
reduziert	Gerste	30	27,5	0,41	0,20	0,61	0,04
reduziert	Gerste	31	24,5	0,42	0,18	0,60	0,04
Mittelwert				0,55	0,21	0,65	0,06

Tabelle 42: Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	TS in %	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium
				in kg/dt Frischmasse			
normal	Roggen	1	34,6	0,41	0,16	0,55	0,05
normal	Roggen	2	31,6	0,67	0,18	0,68	0,06
normal	Roggen	3	31,5	0,57	0,19	0,72	0,06
normal	Roggen	4	32,0	0,55	0,18	0,60	0,06
normal	Roggen	5	31,0	0,61	0,18	0,65	0,07
normal	Roggen	6	33,1	0,57	0,18	0,64	0,07
normal	Roggen	7	34,5	0,52	0,16	0,58	0,05
normal	Roggen	8	34,6	0,47	0,17	0,72	0,06
normal	Triticale	9	36,3	0,47	0,18	0,55	0,06
normal	Triticale	10	30,8	0,72	0,20	0,73	0,07
normal	Triticale	11	33,6	0,64	0,19	0,70	0,07
normal	Triticale	12	35,0	0,55	0,19	0,59	0,06
normal	Triticale	13	31,8	0,60	0,17	0,67	0,07
normal	Triticale	14	33,3	0,56	0,16	0,61	0,07
normal	Triticale	15	35,0	0,53	0,18	0,57	0,06
normal	Triticale	16	39,5	0,82	0,23	0,77	0,08
normal	Triticale	17	36,1	0,55	0,19	0,61	0,06
normal	Triticale	18	35,8	0,54	0,18	0,64	0,06
normal	Gerste	19	26,7	0,47	0,17	0,57	0,05
normal	Gerste	20	24,3	0,55	0,17	0,63	0,05
normal	Gerste	21	25,8	0,49	0,17	0,61	0,05
normal	Gerste	22	26,2	0,45	0,17	0,59	0,05
normal	Roggen	23	36,5	0,40	0,18	0,53	0,04
reduziert	Roggen	24	29,5	0,62	0,19	0,65	0,07
reduziert	Roggen	25	29,2	0,54	0,17	0,60	0,07
reduziert	Triticale	26	38,1	0,46	0,16	0,56	0,06
reduziert	Triticale	27	31,2	0,73	0,19	0,71	0,07
reduziert	Triticale	28	31,6	0,56	0,17	0,58	0,07
reduziert	Triticale	29	40,0	0,70	0,23	0,73	0,08
reduziert	Gerste	30	28,2	0,43	0,17	0,59	0,05
reduziert	Gerste	31	24,6	0,47	0,16	0,61	0,05
Mittelwert				0,56	0,18	0,63	0,06

Tabelle 43: Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	TS in %	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium
				in kg/dt Frischmasse			
normal	Roggen	1	33,9	0,35	0,18	0,48	0,05
normal	Roggen	2	28,1	0,45	0,16	0,55	0,05
normal	Roggen	3	29,4	0,45	0,17	0,55	0,05
normal	Roggen	4	32,1	0,43	0,18	0,53	0,05
normal	Roggen	5	31,0	0,39	0,16	0,54	0,05
normal	Roggen	6	31,8	0,39	0,17	0,52	0,05
normal	Roggen	7	32,6	0,35	0,17	0,51	0,07
normal	Roggen	8	29,4	0,33	0,15	0,57	0,04
normal	Triticale	9	34,7	0,42	0,16	0,40	0,06
normal	Triticale	10	26,6	0,56	0,16	0,55	0,06
normal	Triticale	11	28,4	0,52	0,16	0,51	0,06
normal	Triticale	12	30,8	0,49	0,15	0,45	0,06
normal	Triticale	13	30,7	0,50	0,17	0,51	0,07
normal	Triticale	14	32,0	0,45	0,16	0,43	0,06
normal	Triticale	15	33,3	0,44	0,16	0,44	0,06
normal	Triticale	16	31,4	0,50	0,16	0,48	0,06
normal	Triticale	17	32,3	0,44	0,15	0,42	0,06
normal	Triticale	18	33,6	0,43	0,16	0,40	0,06
normal	Gerste	19	36,3	0,45	0,21	0,58	0,06
normal	Gerste	20	34,6	0,48	0,21	0,57	0,06
normal	Gerste	21	35,5	0,48	0,22	0,59	0,06
normal	Gerste	22	37,1	0,46	0,23	0,59	0,06
normal	Roggen	23	34,7	0,30	0,17	0,46	0,04
reduziert	Roggen	24	26,7	0,48	0,16	0,56	0,05
reduziert	Roggen	25	30,9	0,42	0,16	0,54	0,05
reduziert	Triticale	26	35,1	0,35	0,15	0,38	0,06
reduziert	Triticale	27	25,8	0,57	0,16	0,57	0,06
reduziert	Triticale	28	29,0	0,49	0,16	0,54	0,07
reduziert	Triticale	29	30,5	0,43	0,15	0,43	0,06
reduziert	Gerste	30	37,4	0,38	0,22	0,57	0,06
reduziert	Gerste	31	34,0	0,47	0,22	0,55	0,06
Mittelwert				0,44	0,17	0,51	0,06

Tabelle 44: Nährstoffgehalte der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing

N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	TS in %	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium
				in kg/dt Frischmasse			
normal	Roggen	1	32,2	0,34	0,16	0,55	0,04
normal	Roggen	2	28,5	0,48	0,17	0,61	0,05
normal	Roggen	3	29,1	0,42	0,17	0,62	0,05
normal	Roggen	4	30,2	0,41	0,16	0,60	0,04
normal	Roggen	5	30,2	0,40	0,16	0,57	0,05
normal	Roggen	6	30,8	0,36	0,16	0,58	0,04
normal	Roggen	7	30,8	0,33	0,15	0,53	0,04
normal	Roggen	8	28,3	0,41	0,16	0,67	0,05
normal	Triticale	9	31,9	0,39	0,16	0,49	0,05
normal	Triticale	10	25,6	0,56	0,17	0,62	0,06
normal	Triticale	11	27,1	0,52	0,16	0,59	0,06
normal	Triticale	12	27,9	0,44	0,16	0,56	0,05
normal	Triticale	13	28,6	0,45	0,16	0,55	0,06
normal	Triticale	14	29,9	0,44	0,16	0,54	0,06
normal	Triticale	15	30,7	0,39	0,15	0,51	0,05
normal	Triticale	16	28,3	0,44	0,16	0,55	0,05
normal	Triticale	17	29,8	0,44	0,16	0,53	0,06
normal	Triticale	18	30,5	0,38	0,15	0,51	0,05
normal	Gerste	19	30,0	0,36	0,16	0,60	0,05
normal	Gerste	20	29,5	0,39	0,17	0,59	0,05
normal	Gerste	21	28,4	0,37	0,16	0,59	0,04
normal	Gerste	22	30,6	0,39	0,17	0,58	0,05
normal	Roggen	23	33,0	0,30	0,16	0,55	0,04
reduziert	Roggen	24	28,2	0,51	0,18	0,65	0,06
reduziert	Roggen	25	30,8	0,39	0,17	0,60	0,05
reduziert	Triticale	26	32,9	0,35	0,15	0,45	0,05
reduziert	Triticale	27	25,6	0,60	0,19	0,67	0,06
reduziert	Triticale	28	29,4	0,45	0,15	0,53	0,06
reduziert	Triticale	29	29,5	0,46	0,17	0,52	0,06
reduziert	Gerste	30	32,0	0,36	0,18	0,61	0,05
reduziert	Gerste	31	29,4	0,34	0,15	0,61	0,05
Mittelwert				0,42	0,16	0,57	0,05

Tabelle 45: N-Bindung der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuch, Standort Aholfing, Versuchsjahr 2015/2016

N-Dünge- stufe	Legumi- nose ¹⁾	Var.	N- Entzug	N _{min} nach Ernte ²⁾	N _{min} vor Ernte ²⁾	N- Düngung	Ø N-Nachlie- ferung Boden	N-Bindung Leguminosen ³⁾
normal	ZoWi	2	184	36	20	110	20	70
normal	ZoWi	3	180	23	20	110	20	53
normal	ZoWi	4	162	35	20	110	20	47
normal	PanWi	5	142	37	20	110	20	29
normal	PanWi	6	145	33	20	110	20	28
normal	PanWi	7	130	33	20	110	20	13
normal	ZoWi	10	218	40	20	150	20	68
normal	ZoWi	11	212	32	20	150	20	54
normal	ZoWi	12	194	39	20	150	20	43
normal	PanWi	13	195	37	20	150	20	42
normal	PanWi	14	170	25	20	150	20	5
normal	PanWi	15	160	23	20	150	20	-7
normal	Erbse	16	185	34	20	150	20	29
normal	Erbse	17	160	21	20	150	20	-9
normal	Erbse	18	147	25	20	150	20	-18
normal	Erbse	20	162	20	20	140	20	2
normal	Erbse	21	166	25	20	140	20	11
normal	Erbse	22	145	24	20	140	20	-11
reduziert	ZoWi	24	185	37	20	70	20	112
reduziert	PanWi	25	157	28	20	70	20	75
reduziert	ZoWi	27	224	41	20	100	20	125
reduziert	PanWi	28	197	26	20	100	20	83
reduziert	Erbse	29	152	30	20	100	20	42
reduziert	Erbse	31	149	12	20	90	20	31
Mittelwert								38

¹⁾ ZoWi: Zottelwicke, PanWi: Pannonische Wicke

²⁾ N_{min} in der Bodentiefe von 0 bis 60 cm

³⁾ rechnerischer Wert zum relativen Vergleich der Gemenge, negative N-Bindung praktisch nicht möglich

Tabelle 46: N-Bindung der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuch, Standort Straubing, Versuchsjahr 2015/2016

N-Dünge- stufe	Legumi- nose ¹⁾	Var.	N- Entzug	N _{min} nach Ernte	N _{min} vor Ernte	N-Düngung	Ø N-Nachlie- ferung Boden	N-Bindung Leguminosen ²⁾
normal	ZoWi	2	202	41	20	110	40	73
normal	ZoWi	3	183	38	20	110	40	51
normal	ZoWi	4	165	35	20	110	40	30
normal	PanWi	5	165	39	20	110	40	34
normal	PanWi	6	146	49	20	110	40	25
normal	PanWi	7	133	36	20	110	40	-1
normal	ZoWi	10	276	48	20	150	40	114
normal	ZoWi	11	260	27	20	150	40	77
normal	ZoWi	12	223	29	20	150	40	42
normal	PanWi	13	218	24	20	150	40	32
normal	PanWi	14	205	34	20	150	40	29
normal	PanWi	15	179	27	20	150	40	-4
normal	Erbse	16	198	36	20	150	40	24
normal	Erbse	17	207	31	20	150	40	28
normal	Erbse	18	172	38	20	150	40	0
normal	Erbse	20	150	18	20	140	40	-32
normal	Erbse	21	147	25	20	140	40	-28
normal	Erbse	22	150	26	20	140	40	-24
reduziert	ZoWi	24	197	38	20	70	40	105
reduziert	PanWi	25	169	30	20	70	40	69
reduziert	ZoWi	27	267	42	20	100	40	149
reduziert	PanWi	28	204	50	20	100	40	94
reduziert	Erbse	29	204	47	20	100	40	91
reduziert	Erbse	31	129	21	20	90	40	0
Mittelwert								41

¹⁾ ZoWi: Zottelwicke, PanWi: Pannonische Wicke

²⁾ rechnerischer Wert zum relativen Vergleich der Gemenge, negative N-Bindung praktisch nicht möglich

Tabelle 47: N_{min} -Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholfing

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²)	$N_{min}^{1)}$ in kg/ha je Bodenschicht	$N_{min}^{1)}$ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Roggen	–	–	normal	1	0–30	26	42
					31–60	16	
Roggen	Zottelwicke	max	normal	2	0–30	21	34
					31–60	13	
Roggen	Zottelwicke	mittel	normal	3	0–30	33	53
					31–60	20	
Roggen	Zottelwicke	min	normal	4	0–30	44	68
					31–60	24	
Roggen	Pannonische Wicke	max	normal	5	0–30	19	28
					31–60	9	
Roggen	Pannonische Wicke	mittel	normal	6	0–30	22	32
					31–60	10	
Roggen	Pannonische Wicke	min	normal	7	0–30	28	42
					31–60	14	
Roggen	Zottelwicke und Weidelgras		normal	8	0–30	20	30
					31–60	10	
Triticale	–	–	normal	9	0–30	13	24
					31–60	11	
Triticale	Zottelwicke	max	normal	10	0–30	26	39
					31–60	13	
Triticale	Zottelwicke	mittel	normal	11	0–30	20	33
					31–60	13	
Triticale	Zottelwicke	min	normal	12	0–30	28	42
					31–60	14	
Triticale	Pannonische Wicke	max	normal	13	0–30	26	49
					31–60	23	
Triticale	Pannonische Wicke	mittel	normal	14	0–30	20	37
					31–60	17	
Triticale	Pannonische Wicke	min	normal	15	0–30	31	47
					31–60	16	
Triticale	Erbse	max	normal	16	0–30	29	48
					31–60	19	
Triticale	Erbse	mittel	normal	17	0–30	35	54
					31–60	19	
Triticale	Erbse	min	normal	18	0–30	31	48
					31–60	17	
Gerste	–	–	normal	19	0–30	32	48
					31–60	16	
Gerste	Erbse	max	normal	20	0–30	39	57
					31–60	18	

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²⁾	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Gerste	Erbse	mittel	normal	21	0–30	39	57
					31–60	18	
Gerste	Erbse	min	normal	22	0–30	35	51
					31–60	16	
Roggen	–	–	reduziert	23	0–30	18	31
					31–60	13	
Roggen	Zottelwicke	Max	reduziert	24	0–30	17	28
					31–60	11	
Roggen	Pannonische Wicke	Max	reduziert	25	0–30	19	33
					31–60	14	
Triticale	–	–	reduziert	26	0–30	17	30
					31–60	13	
Triticale	Zottelwicke	max	reduziert	27	0–30	17	31
					31–60	14	
Triticale	Pannonische Wicke	max	reduziert	28	0–30	20	32
					31–60	12	
Triticale	Erbse	max	reduziert	29	0–30	21	37
					31–60	16	
Gerste	–	–	reduziert	30	0–30	29	42
					31–60	13	
Gerste	Erbse	max	reduziert	31	0–30	30	44
					31–60	14	

¹⁾ N_{min} = NO₃⁻ + NH₄⁺

²⁾ Bodenprobenahme wegen des sandig-kiesigen Untergrunds nur bis zur einer Tiefe von 60 cm möglich

Tabelle 48: N_{min}-Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²⁾	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Roggen	–	–	normal	1	0–30	54	76
					31–60	19	
					61–90	3	
Roggen	Zottelwicke	max	normal	2	0–30	38	52
					31–60	13	
					61–90	1	
Roggen	Zottelwicke	mittel	normal	3	0–30	47	71
					31–60	20	
					61–90	4	
Roggen	Zottelwicke	min	normal	4	0–30	55	90
					31–60	25	
					61–90	10	

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²)	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Roggen	Pannonische Wicke	max	normal	5	0–30	44	75
					31–60	16	
					61–90	15	
Roggen	Pannonische Wicke	mittel	normal	6	0–30	45	75
					31–60	16	
					61–90	14	
Roggen	Pannonische Wicke	min	normal	7	0–30	43	64
					31–60	9	
					61–90	12	
Roggen	Zottelwicke und Weidelgras		normal	8	0–30	38	74
					31–60	22	
					61–90	14	
Triticale	–	–	normal	9	0–30	42	68
					31–60	14	
					61–90	12	
Triticale	Zottelwicke	max	normal	10	0–30	52	79
					31–60	13	
					61–90	14	
Triticale	Zottelwicke	mittel	normal	11	0–30	47	75
					31–60	22	
					61–90	6	
Triticale	Zottelwicke	min	normal	12	0–30	42	71
					31–60	17	
					61–90	12	
Triticale	Pannonische Wicke	max	normal	13	0–30	40	71
					31–60	17	
					61–90	14	
Triticale	Pannonische Wicke	mittel	normal	14	0–30	48	78
					31–60	16	
					61–90	14	
Triticale	Pannonische Wicke	min	normal	15	0–30	45	71
					31–60	15	
					61–90	11	
Triticale	Erbse	max	normal	16	0–30	47	77
					31–60	22	
					61–90	8	
Triticale	Erbse	mittel	normal	17	0–30	48	81
					31–60	19	
					61–90	14	
Triticale	Erbse	min	normal	18	0–30	56	99
					31–60	28	
					61–90	15	

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²)	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Gerste	–	–	normal	19	0–30	47	86
					31–60	20	
					61–90	19	
Gerste	Erbse	max	normal	20	0–30	52	101
					31–60	27	
					61–90	22	
Gerste	Erbse	mittel	normal	21	0–30	56	138
					31–60	33	
					61–90	49	
Gerste	Erbse	min	normal	22	0–30	52	102
					31–60	26	
					61–90	24	
Roggen	–	–	reduziert	23	0–30	39	76
					31–60	20	
					61–90	17	
Roggen	Zottelwicke	max	reduziert	24	0–30	39	67
					31–60	18	
					61–90	10	
Roggen	Pannonische Wicke	max	reduziert	25	0–30	43	86
					31–60	25	
					61–90	18	
Triticale	–	–	reduziert	26	0–30	42	82
					31–60	23	
					61–90	17	
Triticale	Zottelwicke	max	reduziert	27	0–30	45	75
					31–60	20	
					61–90	10	
Triticale	Pannonische Wicke	max	reduziert	28	0–30	44	69
					31–60	17	
					61–90	8	
Triticale	Erbse	max	reduziert	29	0–30	51	71
					31–60	15	
					61–90	5	
Gerste	–	–	reduziert	30	0–30	47	147
					31–60	25	
					61–90	75	
Gerste	Erbse	max	reduziert	31	0–30	56	74
					31–60	11	
					61–90	7	

¹⁾ N_{min} = NO₃⁻ + NH₄⁺

Tabelle 49: N_{min} -Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²⁾	$N_{min}^{1)}$ in kg/ha je Bodenschicht	$N_{min}^{1)}$ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Roggen	–	–	normal	1	0–30	24	39
					31–60	15	
Roggen	Zottelwicke	max	normal	2	0–30	35	55
					31–60	20	
Roggen	Zottelwicke	mittel	normal	3	0–30	33	49
					31–60	16	
Roggen	Zottelwicke	min	normal	4	0–30	32	49
					31–60	17	
Roggen	Pannonische Wicke	max	normal	5	0–30	34	50
					31–60	16	
Roggen	Pannonische Wicke	mittel	normal	6	0–30	27	41
					31–60	14	
Roggen	Pannonische Wicke	min	normal	7	0–30	31	50
					31–60	19	
Roggen	Zottelwicke und Weidelgras		normal	8	0–30	33	51
					31–60	18	
Triticale	–	–	normal	9	0–30	25	38
					31–60	13	
Triticale	Zottelwicke	max	normal	10	0–30	46	74
					31–60	28	
Triticale	Zottelwicke	mittel	normal	11	0–30	37	59
					31–60	22	
Triticale	Zottelwicke	min	normal	12	0–30	47	68
					31–60	21	
Triticale	Pannonische Wicke	max	normal	13	0–30	45	73
					31–60	28	
Triticale	Pannonische Wicke	mittel	normal	14	0–30	51	69
					31–60	18	
Triticale	Pannonische Wicke	min	normal	15	0–30	30	47
					31–60	17	
Triticale	Erbse	max	normal	16	0–30	38	57
					31–60	19	
Triticale	Erbse	mittel	normal	17	0–30	35	49
					31–60	14	
Triticale	Erbse	min	normal	18	0–30	39	61
					31–60	22	
Gerste	–	–	normal	19	0–30	30	54
					31–60	24	

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²)	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Gerste	Erbse	max	normal	20	0–30	21	37
					31–60	16	
Gerste	Erbse	mittel	normal	21	0–30	16	25
					31–60	9	
Gerste	Erbse	min	normal	22	0–30	15	25
					31–60	10	
Roggen	–	–	reduziert	23	0–30	21	34
					31–60	13	
Roggen	Zottelwicke	max	reduziert	24	0–30	28	44
					31–60	16	
Roggen	Pannonische Wicke	max	reduziert	25	0–30	24	35
					31–60	11	
Triticale	–	–	reduziert	26	0–30	20	30
					31–60	10	
Triticale	Zottelwicke	max	reduziert	27	0–30	26	37
					31–60	11	
Triticale	Pannonische Wicke	max	reduziert	28	0–30	31	43
					31–60	12	
Triticale	Erbse	max	reduziert	29	0–30	28	41
					31–60	13	
Gerste	–	–	reduziert	30	0–30	15	24
					31–60	9	
Gerste	Erbse	max	reduziert	31	0–30	18	26
					31–60	8	

¹⁾ N_{min} = NO₃⁻ + NH₄⁺

²⁾ Bodenprobenahme wegen des sandig-kiesigen Untergrunds nur bis zur einer Tiefe von 60 cm möglich

Tabelle 50: N_{min}-Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²)	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Roggen	–	–	normal	1	0–30	13	23
					31–60	5	
					61–90	5	
Roggen	Zottelwicke	max	normal	2	0–30	21	31
					31–60	6	
					61–90	4	
Roggen	Zottelwicke	mittel	normal	3	0–30	27	38
					31–60	3	
					61–90	8	

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²⁾	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Roggen	Zottelwicke	min	normal	4	0–30	20	32
					31–60	7	
					61–90	5	
Roggen	Pannonische Wicke	max	normal	5	0–30	15	23
					31–60	5	
					61–90	3	
Roggen	Pannonische Wicke	mittel	normal	6	0–30	16	26
					31–60	5	
					61–90	5	
Roggen	Pannonische Wicke	min	normal	7	0–30	20	28
					31–60	4	
					61–90	4	
Roggen	Zottelwicke und Weidelgras		normal	8	0–30	24	37
					31–60	9	
					61–90	4	
Triticale	–	–	normal	9	0–30	21	38
					31–60	13	
					61–90	4	
Triticale	Zottelwicke	max	normal	10	0–30	23	36
					31–60	8	
					61–90	5	
Triticale	Zottelwicke	mittel	normal	11	0–30	20	41
					31–60	13	
					61–90	8	
Triticale	Zottelwicke	min	normal	12	0–30	29	45
					31–60	9	
					61–90	7	
Triticale	Pannonische Wicke	max	normal	13	0–30	20	38
					31–60	11	
					61–90	7	
Triticale	Pannonische Wicke	mittel	normal	14	0–30	29	50
					31–60	12	
					61–90	9	
Triticale	Pannonische Wicke	min	normal	15	0–30	20	35
					31–60	8	
					61–90	7	
Triticale	Erbse	max	normal	16	0–30	27	42
					31–60	11	
					61–90	4	
Triticale	Erbse	mittel	normal	17	0–30	26	38
					31–60	7	
					61–90	5	

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²)	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Triticale	Erbse	min	normal	18	0–30	30	51
					31–60	10	
					61–90	11	
Gerste	–	–	normal	19	0–30	35	64
					31–60	21	
					61–90	8	
Gerste	Erbse	max	normal	20	0–30	22	40
					31–60	8	
					61–90	10	
Gerste	Erbse	mittel	normal	21	0–30	21	39
					31–60	11	
					61–90	7	
Gerste	Erbse	min	normal	22	0–30	38	57
					31–60	10	
					61–90	9	
Roggen	–	–	reduziert	23	0–30	16	32
					31–60	10	
					61–90	6	
Roggen	Zottelwicke	max	reduziert	24	0–30	26	41
					31–60	7	
					61–90	8	
Roggen	Pannonische Wicke	max	reduziert	25	0–30	17	28
					31–60	4	
					61–90	7	
Triticale	–	–	reduziert	26	0–30	19	36
					31–60	10	
					61–90	7	
Triticale	Zottelwicke	max	reduziert	27	0–30	40	62
					31–60	13	
					61–90	9	
Triticale	Pannonische Wicke	max	reduziert	28	0–30	22	36
					31–60	8	
					61–90	6	
Triticale	Erbse	max	reduziert	29	0–30	33	53
					31–60	11	
					61–90	9	
Gerste	–	–	reduziert	30	0–30	23	36
					31–60	7	
					61–90	6	
Gerste	Erbse	max	reduziert	31	0–30	23	42
					31–60	11	
					61–90	8	

¹⁾ N_{min} = NO₃⁻ + NH₄⁺

Tabelle 51: N_{min} -Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²⁾	$N_{min}^{1)}$ in kg/ha je Bodenschicht	$N_{min}^{1)}$ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Roggen	–	–	normal	1	0–30	28	37
					31–60	9	
Roggen	Zottelwicke	max	normal	2	0–30	27	36
					31–60	9	
Roggen	Zottelwicke	mittel	normal	3	0–30	23	23
					31–60	0	
Roggen	Zottelwicke	min	normal	4	0–30	27	35
					31–60	8	
Roggen	Pannonische Wicke	max	normal	5	0–30	27	37
					31–60	10	
Roggen	Pannonische Wicke	mittel	normal	6	0–30	23	33
					31–60	10	
Roggen	Pannonische Wicke	min	normal	7	0–30	24	33
					31–60	9	
Roggen	Zottelwicke und Weidelgras		normal	8	0–30	20	10
					31–60	10	
Triticale	–	–	normal	9	0–30	19	28
					31–60	9	
Triticale	Zottelwicke	max	normal	10	0–30	28	40
					31–60	12	
Triticale	Zottelwicke	mittel	normal	11	0–30	23	32
					31–60	9	
Triticale	Zottelwicke	min	normal	12	0–30	29	39
					31–60	10	
Triticale	Pannonische Wicke	max	normal	13	0–30	28	37
					31–60	9	
Triticale	Pannonische Wicke	mittel	normal	14	0–30	16	25
					31–60	9	
Triticale	Pannonische Wicke	min	normal	15	0–30	14	23
					31–60	9	
Triticale	Erbse	max	normal	16	0–30	23	34
					31–60	11	
Triticale	Erbse	mittel	normal	17	0–30	11	21
					31–60	10	
Triticale	Erbse	min	normal	18	0–30	15	25
					31–60	10	
Gerste	–	–	normal	19	0–30	17	23
					31–60	6	

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm ²⁾	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Gerste	Erbse	max	normal	20	0–30	13	20
					31–60	7	
Gerste	Erbse	mittel	normal	21	0–30	17	25
					31–60	8	
Gerste	Erbse	min	normal	22	0–30	15	24
					31–60	9	
Roggen	–	–	reduziert	23	0–30	15	22
					31–60	7	
Roggen	Zottelwicke	max	reduziert	24	0–30	30	37
					31–60	7	
Roggen	Pannonische Wicke	max	reduziert	25	0–30	19	28
					31–60	9	
Triticale	–	–	reduziert	26	0–30	13	18
					31–60	5	
Triticale	Zottelwicke	max	reduziert	27	0–30	27	41
					31–60	14	
Triticale	Pannonische Wicke	max	reduziert	28	0–30	18	26
					31–60	8	
Triticale	Erbse	max	reduziert	29	0–30	21	30
					31–60	9	
Gerste	–	–	reduziert	30	0–30	11	16
					31–60	5	
Gerste	Erbse	max	reduziert	31	0–30	5	12
					31–60	7	

¹⁾ N_{min} = NO₃⁻ + NH₄⁺

²⁾ Bodenprobenahme wegen des sandig-kiesigen Untergrunds nur bis zur einer Tiefe von 60 cm möglich

Tabelle 52: N_{min}-Gehalte nach Ernte der Leguminosen-Getreide-Gemenge im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Roggen	–	–	normal	1	0–30	24	39
					31–60	9	
					61–90	6	
Roggen	Zottelwicke	max	normal	2	0–30	24	41
					31–60	10	
					61–90	7	
Roggen	Zottelwicke	mittel	normal	3	0–30	28	38
					31–60	10	
					61–90	0	

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Roggen	Zottelwicke	min	normal	4	0–30	20	35
					31–60	8	
					61–90	7	
Roggen	Pannonische Wicke	max	normal	5	0–30	22	39
					31–60	11	
					61–90	6	
Roggen	Pannonische Wicke	mittel	normal	6	0–30	31	49
					31–60	10	
					61–90	8	
Roggen	Pannonische Wicke	min	normal	7	0–30	19	36
					31–60	11	
					61–90	6	
Roggen	Zottelwicke und Weidelgras		normal	8	0–30	23	43
					31–60	13	
					61–90	7	
Triticale	–	–	normal	9	0–30	19	36
					31–60	11	
					61–90	6	
Triticale	Zottelwicke	max	normal	10	0–30	37	48
					31–60	11	
					61–90	0	
Triticale	Zottelwicke	mittel	normal	11	0–30	27	27
					31–60	0	
					61–90	0	
Triticale	Zottelwicke	min	normal	12	0–30	22	29
					31–60	7	
					61–90	0	
Triticale	Pannonische Wicke	max	normal	13	0–30	24	24
					31–60	0	
					61–90	0	
Triticale	Pannonische Wicke	mittel	normal	14	0–30	25	34
					31–60	9	
					61–90	0	
Triticale	Pannonische Wicke	min	normal	15	0–30	17	27
					31–60	10	
					61–90	0	
Triticale	Erbse	max	normal	16	0–30	23	36
					31–60	7	
					61–90	6	
Triticale	Erbse	mittel	normal	17	0–30	24	31
					31–60	7	
					61–90	0	

Vorfrucht				Variante	Tiefe in cm	N _{min} ¹⁾ in kg/ha je Bodenschicht	N _{min} ¹⁾ in kg/ha gesamt
Getreide- partner	Leguminosen- partner	Leguminosen- anteil	Dünge- stufe				
Triticale	Erbse	min	normal	18	0–30	21	38
					31–60	10	
					61–90	7	
Gerste	–	–	normal	19	0–30	16	41
					31–60	17	
					61–90	8	
Gerste	Erbse	max	normal	20	0–30	18	18
					31–60	0	
					61–90	0	
Gerste	Erbse	mittel	normal	21	0–30	19	25
					31–60	6	
					61–90	0	
Gerste	Erbse	min	normal	22	0–30	12	26
					31–60	14	
					61–90	0	
Roggen	–	–	reduziert	23	0–30	21	29
					31–60	8	
					61–90	0	
Roggen	Zottelwicke	max	reduziert	24	0–30	23	38
					31–60	9	
					61–90	6	
Roggen	Pannonische Wicke	max	reduziert	25	0–30	23	30
					31–60	0	
					61–90	7	
Triticale	–	–	reduziert	26	0–30	17	29
					31–60	6	
					61–90	6	
Triticale	Zottelwicke	max	reduziert	27	0–30	23	42
					31–60	12	
					61–90	7	
Triticale	Pannonische Wicke	max	reduziert	28	0–30	6	50
					31–60	20	
					61–90	24	
Triticale	Erbse	max	reduziert	29	0–30	30	47
					31–60	11	
					61–90	6	
Gerste	–	–	reduziert	30	0–30	14	34
					31–60	14	
					61–90	6	
Gerste	Erbse	max	reduziert	31	0–30	15	21
					31–60	6	
					61–90	0	

¹⁾ N_{min} = NO₃⁻ + NH₄⁺

Tabelle 53: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Sorghum im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Aholting*

Saattermin ¹⁾	Vorfrucht			TM in dt/ha		TS in %	
	N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
1	normal	Gerste	19	114,34	14,54	30,6	1,3
1	normal	Gerste	20	120,68	5,63	30,1	0,7
1	normal	Gerste	21	134,57	12,94	34,6	2,7
1	normal	Gerste	22	117,71	6,26	30,2	2,4
1	reduziert	Gerste	30	105,41	2,68	28,9	2,2
1	reduziert	Gerste	31	102,40	14,29	28,1	4,6

¹⁾ Bestände des 2. Saattermins wegen Lagerbildung nicht beerntbar

Tabelle 54: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Sorghum im Versuchsjahr 2013/2014, Standort Straubing*

Saattermin ¹⁾	Vorfrucht			TM in dt/ha		TS in %	
	N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
1	normal	Gerste	19	123,08	1,49	31,0	0,4
1	normal	Gerste	20	129,36	4,33	30,9	0,2
1	normal	Gerste	21	133,41	4,15	31,5	0,2
1	normal	Gerste	22	134,79	8,91	31,7	0,4
1	reduziert	Gerste	30	119,17	7,66	30,3	0,2
1	reduziert	Gerste	31	131,04	7,63	31,1	0,2

¹⁾ Bestände des 2. Saattermins wegen Lagerbildung nicht beerntbar

Tabelle 55: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting*

Saattermin	Vorrucht			TM in dt/ha		TS in %	
	N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
2	normal	Roggen	1	72,8	3,4	26,3	0,8
2	normal	Roggen	2	73,7	4,9	26,1	1,0
2	normal	Roggen	3	68,5	3,2	25,9	0,9
2	normal	Roggen	4	70,1	5,2	25,9	1,0
2	normal	Roggen	5	71,0	4,7	26,3	1,1
2	normal	Roggen	6	72,5	3,9	25,9	1,2
2	normal	Roggen	7	68,3	5,0	25,5	1,1
2	normal	Roggen	8	78,2	4,8	27,2	0,9
2	normal	Triticale	9	60,5	2,2	23,6	0,3
2	normal	Triticale	10	63,5	5,5	25,0	1,1
2	normal	Triticale	11	56,2	3,1	23,7	1,0
2	normal	Triticale	12	54,7	1,2	23,6	0,8
2	normal	Triticale	13	59,2	4,8	23,7	0,8
2	normal	Triticale	14	55,3	2,4	23,5	0,6
2	normal	Triticale	15	57,2	5,2	24,9	1,6
2	normal	Triticale	16	63,0	2,6	24,9	0,8
2	normal	Triticale	17	58,3	2,6	23,8	0,7
2	normal	Triticale	18	58,4	1,6	24,3	0,5
1	normal	Gerste	19	78,1	2,9	26,0	0,3
1	normal	Gerste	20	75,5	6,9	26,2	0,9
1	normal	Gerste	21	78,6	7,0	27,2	0,7
1	normal	Gerste	22	78,0	6,2	26,6	0,9
2	reduziert	Roggen	23	68,3	4,8	25,9	1,1
2	reduziert	Roggen	24	81,7	7,4	25,6	1,0
2	reduziert	Roggen	25	64,8	3,1	24,3	0,3
2	reduziert	Triticale	26	53,1	3,7	24,3	0,6
2	reduziert	Triticale	27	67,1	3,6	26,1	1,0
2	reduziert	Triticale	28	56,0	3,5	24,2	1,0
2	reduziert	Triticale	29	60,3	2,6	24,8	1,0
1	reduziert	Gerste	30	75,9	4,2	27,0	1,0
1	reduziert	Gerste	31	79,6	2,0	27,1	0,3
Mittelwert Saattermin 1				77,6	2,1	26,7	0,3
Mittelwert Saattermin 2				64,5	1,1	25,0	0,2

Tabelle 56: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing*

Saattermin	Vorrucht			TM in dt/ha		TS in %	
	N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	Mittelwert	Standard-fehler	Mittelwert	Standard-fehler
2	normal	Roggen	1	75,1	4,3	25,3	0,3
2	normal	Roggen	2	88,7	1,4	25,4	0,2
2	normal	Roggen	3	71,7	3,9	24,3	0,3
2	normal	Roggen	4	80,9	1,6	25,2	0,2
2	normal	Roggen	5	74,6	4,7	24,5	0,4
2	normal	Roggen	6	79,2	3,6	24,5	0,5
2	normal	Roggen	7	74,7	4,5	24,5	0,4
2	normal	Roggen	8	82,4	6,2	25,2	0,7
2	normal	Triticale	9	74,8	5,0	25,8	0,5
2	normal	Triticale	10	84,0	3,3	25,3	0,4
2	normal	Triticale	11	86,0	3,4	26,0	0,2
2	normal	Triticale	12	80,8	2,7	25,4	0,7
2	normal	Triticale	13	75,2	2,8	24,4	0,2
2	normal	Triticale	14	83,8	2,3	25,2	0,3
2	normal	Triticale	15	85,1	1,3	26,0	0,3
2	normal	Triticale	16	101,7	3,9	27,4	0,4
2	normal	Triticale	17	89,9	1,1	26,4	0,3
2	normal	Triticale	18	89,0	2,6	25,8	0,7
1	normal	Gerste	19	109,8	1,4	32,0	0,5
1	normal	Gerste	20	110,2	5,6	31,8	0,6
1	normal	Gerste	21	122,2	7,1	33,4	1,2
1	normal	Gerste	22	113,9	2,2	32,2	0,4
2	reduziert	Roggen	23	79,0	1,7	25,9	0,4
2	reduziert	Roggen	24	87,4	3,6	26,1	0,3
2	reduziert	Roggen	25	64,3	4,3	22,8	0,7
2	reduziert	Triticale	26	74,6	3,8	25,9	0,6
2	reduziert	Triticale	27	87,0	6,2	25,3	0,6
2	reduziert	Triticale	28	68,6	1,4	24,1	0,3
2	reduziert	Triticale	29	100,6	7,0	27,7	0,5
1	reduziert	Gerste	30	108,1	3,5	31,4	0,5
1	reduziert	Gerste	31	115,7	4,1	32,0	0,5
Mittelwert Saattermin 1				113,3	2,3	32,1	0,4
Mittelwert Saattermin 2				81,0	1,1	25,4	0,1

Tabelle 57: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholting

Saattermin	Vorrucht			TM in dt/ha		TS in %	
	N-Düngestufe	Getreidepartner	Variante	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
2	normal	Roggen	1	96,2	0,4	29,2	0,4
2	normal	Roggen	2	100,9	2,4	29,0	0,8
2	normal	Roggen	3	100,7	2,6	29,4	1,2
2	normal	Roggen	4	94,0	0,8	28,6	1,0
2	normal	Roggen	5	97,6	1,0	28,3	0,3
2	normal	Roggen	6	95,2	1,6	28,6	0,7
2	normal	Roggen	7	94,8	1,9	28,6	0,6
2	normal	Roggen	8	89,2	6,7	27,5	1,2
2	normal	Triticale	9	88,7	2,4	28,4	0,7
2	normal	Triticale	10	100,2	0,9	28,3	0,1
2	normal	Triticale	11	107,8	2,0	29,3	0,8
2	normal	Triticale	12	95,8	1,2	29,0	0,6
2	normal	Triticale	13	97,8	0,7	28,7	0,4
2	normal	Triticale	14	99,0	6,0	28,4	1,0
2	normal	Triticale	15	93,3	2,9	28,0	0,5
2	normal	Triticale	16	101,2	3,3	28,1	0,2
2	normal	Triticale	17	99,9	2,1	28,2	0,6
2	normal	Triticale	18	95,3	2,4	28,1	0,2
1	normal	Gerste	19	95,9	3,2	35,8	0,8
1	normal	Gerste	20	98,9	2,4	36,1	0,4
1	normal	Gerste	21	100,1	1,5	36,1	0,3
1	normal	Gerste	22	99,4	2,8	35,6	1,0
2	reduziert	Roggen	23	92,0	6,0	28,2	1,2
2	reduziert	Roggen	24	103,9	2,4	29,9	0,2
2	reduziert	Roggen	25	93,3	4,7	28,0	0,9
2	reduziert	Triticale	26	94,6	1,4	27,7	0,2
2	reduziert	Triticale	27	111,7	3,4	28,1	0,3
2	reduziert	Triticale	28	106,6	3,8	29,0	0,2
2	reduziert	Triticale	29	104,2	2,7	28,1	0,3
1	reduziert	Gerste	30	100,0	2,3	34,3	0,4
1	reduziert	Gerste	31	99,8	2,9	34,9	0,5
Mittelwert Saattermin 1				99,0	0,9	35,5	0,3
Mittelwert Saattermin 2				98,2	0,8	28,5	0,1

Tabelle 58: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing

Saattermin	Vorrucht			TM in dt/ha		TS in %	
	N-Düngestufe	Getreide-partner	Variante	Mittelwert	Standard-fehler	Mittelwert	Standard-fehler
2	normal	Roggen	1	111,5	2,4	25,0	0,2
2	normal	Roggen	2	118,7	2,9	25,8	0,3
2	normal	Roggen	3	111,3	7,1	25,7	0,3
2	normal	Roggen	4	115,8	3,5	25,5	0,3
2	normal	Roggen	5	108,6	6,3	25,0	0,2
2	normal	Roggen	6	113,0	3,0	25,4	0,3
2	normal	Roggen	7	113,4	1,1	25,6	0,1
2	normal	Roggen	8	117,3	4,6	25,6	0,2
2	normal	Triticale	9	103,7	7,6	24,8	0,2
2	normal	Triticale	10	127,7	3,3	25,0	0,0
2	normal	Triticale	11	129,0	3,3	25,8	0,1
2	normal	Triticale	12	104,1	14,7	25,7	0,4
2	normal	Triticale	13	123,4	1,5	25,8	0,2
2	normal	Triticale	14	117,0	4,8	24,8	0,8
2	normal	Triticale	15	120,5	4,8	25,4	0,2
2	normal	Triticale	16	120,0	3,3	25,7	0,0
2	normal	Triticale	17	122,7	2,5	25,5	0,1
2	normal	Triticale	18	119,1	6,3	25,5	0,4
1	normal	Gerste	19	67,9	7,2	27,7	0,5
1	normal	Gerste	20	77,6	9,7	29,3	0,3
1	normal	Gerste	21	74,9	2,1	29,1	0,2
1	normal	Gerste	22	70,2	4,5	28,6	0,2
2	reduziert	Roggen	23	108,2	2,7	25,1	0,3
2	reduziert	Roggen	24	120,9	2,1	25,6	0,2
2	reduziert	Roggen	25	115,8	0,8	25,6	0,1
2	reduziert	Triticale	26	100,7	5,6	25,3	0,2
2	reduziert	Triticale	27	112,1	3,4	25,5	0,3
2	reduziert	Triticale	28	109,4	10,4	25,7	0,4
2	reduziert	Triticale	29	115,2	3,6	25,4	0,3
1	reduziert	Gerste	30	66,5	5,9	28,6	0,8
1	reduziert	Gerste	31	66,2	5,5	28,1	0,6
Mittelwert Saattermin 1				70,4	2,9	28,5	0,2
Mittelwert Saattermin 2				115,0	1,2	25,4	0,1

Tabelle 59: Substratqualität der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Aholting

Variante	TS in %	Inhaltsstoffe in g/kg TM								Energiewerte in MJ/kg TM	
		XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NDF ⁵⁾	ADF ⁶⁾	ELOS ⁷⁾	Stärke	ME ⁸⁾	NEL ⁹⁾
1	26,3	53	84	19	199	453	232	686	117	10,6	6,4
2	26,1	52	89	20	183	444	219	697	123	10,7	6,4
3	25,9	50	87	20	207	425	229	710	232	10,8	6,5
4	25,9	56	91	20	195	459	233	681	196	10,5	6,3
5	26,3	44	91	20	192	461	216	687	111	10,6	6,3
6	25,9	43	78	19	199	463	224	681	228	10,5	6,3
7	25,5	54	91	23	183	417	220	714	137	11,0	6,8
8	27,2	43	87	20	188	428	221	714	236	10,9	6,6
9	23,6	42	97	19	190	442	225	702	126	10,7	6,4
10	25,0	48	86	26	198	497	224	648	161	10,5	6,3
11	23,7	41	91	20	188	428	205	708	230	10,8	6,5
12	23,6	45	97	20	203	486	225	672	99	10,4	6,2
13	23,7	57	98	24	191	437	220	685	105	10,7	6,4
14	23,5	59	97	19	199	431	240	697	101	10,7	6,4
15	24,9	45	84	18	200	471	228	676	193	10,4	6,2
16	24,9	58	94	19	197	457	234	690	70	10,5	6,3
17	23,8	43	93	18	195	461	220	691	186	10,5	6,3
18	24,3	67	91	19	219	509	260	637	76	10,2	6,1
19	26,0	47	88	18	242	506	258	639	150	10,1	6,0
20	26,2	44	99	21	251	505	264	658	151	10,3	6,1
21	27,2	52	86	17	255	559	283	600	132	9,6	5,7
22	26,6	46	89	15	255	522	263	638	160	9,9	5,8
23	25,9	43	84	20	207	453	236	696	224	10,7	6,4
24	25,6	44	84	17	191	460	170	690	209	10,5	6,3
25	24,3	64	88	19	189	441	233	677	214	10,5	6,3
26	24,3	53	86	19	201	462	229	683	204	10,4	6,3
27	26,1	54	89	17	207	463	239	673	185	10,4	6,2
28	24,2	57	90	18	201	452	230	686	197	10,6	6,4
29	24,8	45	83	19	196	469	228	679	204	10,5	6,3
30	27,0	45	84	18	233	488	246	654	173	10,2	6,0
31	27,1	60	101	17	266	533	282	612	55	9,8	5,8

Variante	TS in %	Inhaltsstoffe in g/kg TM								Energiewerte in MJ/kg TM	
		XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NDF ⁵⁾	ADF ⁶⁾	ELOS ⁷⁾	Stärke	ME ⁸⁾	NEL ⁹⁾
Standort Mittelwert	25,3	50	90	19	207	467	233	676	161	10,5	6,3
Soll ^{*)}	30–38	< 40	85		170 –200	< 420	< 250	> 670		11,0	6,6

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser, ⁶⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser,

⁷⁾ ELOS: enzymlösliche organische Substanz, ⁸⁾ ME: metabolische Energie, ⁹⁾ NEL: Netto-Energie-Laktation

^{*)} Orientierungswerte nach Gruber-Tabelle [8] für gute Grobfuttermittel

Tabelle 60: Substratqualität der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2014/2015, Standort Straubing

Variante	TS in %	Inhaltsstoffe in g/kg TM								Energiewerte in MJ/kg TM	
		XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NDF ⁵⁾	ADF ⁶⁾	ELOS ⁷⁾	Stärke	ME ⁸⁾	NEL ⁹⁾
1	25,3	33	81	21	196	373	225	748	262	11,2	6,8
2	25,4	33	83	19	199	401	199	726	243	10,9	6,6
3	24,3	36	84	17	216	397	256	719	215	10,8	6,5
4	25,2	33	83	17	212	400	245	725	225	10,8	6,5
5	24,5	34	86	21	179	381	218	745	271	11,1	6,7
6	24,5	37	77	16	211	431	245	703	232	10,6	6,3
7	24,5	38	75	16	217	445	226	692	221	10,5	6,3
8	25,2	34	83	21	183	378	213	747	263	11,2	6,8
9	25,8	30	83	22	170	363	185	763	311	11,3	6,8
10	25,3	36	80	18	206	427	245	711	228	10,7	6,4
11	26,0	36	79	19	205	420	203	712	242	10,8	6,5
12	25,4	35	77	19	209	430	204	707	232	10,7	6,4
13	24,4	32	84	18	197	397	219	724	234	10,8	6,5
14	25,2	35	83	19	172	399	207	725	223	10,9	6,6
15	26,0	42	78	18	194	382	206	720	277	10,8	6,5
16	27,4	30	76	22	178	372	184	759	300	11,3	6,8
17	26,4	27	79	21	180	360	197	759	296	11,2	6,8
18	25,8	46	82	20	179	356	194	742	286	11,1	6,7
19	32,0	35	58	18	247	473	253	665	236	10,3	6,1
20	31,8	32	66	20	242	473	242	673	219	10,4	6,2
21	33,4	27	71	23	216	420	229	725	271	10,9	6,5
22	32,2	29	69	20	219	428	233	716	241	10,9	6,5
23	25,9	32	77	20	192	394	206	734	249	11,0	6,6

Variante	TS in %	Inhaltsstoffe in g/kg TM								Energiewerte in MJ/kg TM	
		XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NDF ⁵⁾	ADF ⁶⁾	ELOS ⁷⁾	Stärke	ME ⁸⁾	NEL ⁹⁾
24	26,1	37	82	18	212	435	209	700	219	10,6	6,3
25	22,8	46	84	18	200	432	219	729	110	10,8	6,5
26	25,9	28	80	20	176	359	190	758	297	11,1	6,8
27	25,3	34	83	22	193	402	197	723	252	11,0	6,6
28	24,1	39	78	19	231	476	251	673	170	10,4	6,2
29	27,7	26	77	23	163	340	181	784	344	11,6	7,2
30	31,4	36	62	15	270	515	268	638	144	9,9	5,8
31	32,0	34	66	19	253	486	256	660	210	10,2	6,0
Standort Mittelwert	26,7	34	78	20	204	411	220	720	243	10,8	6,5
Soll ^{*)}	30–38	< 40	85		170 –200	< 420	< 250	> 670		11,0	6,6

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser, ⁶⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser,

⁷⁾ ELOS: enzymlösliche organische Substanz, ⁸⁾ ME: metabolische Energie, ⁹⁾ NEL: Netto-Energie-Laktation

^{*)} Orientierungswerte nach Gruber-Tabelle [8] für gute Grobfuttermittel

Tabelle 61: Substratqualität der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Aholfing

Variante	TS in %	Inhaltsstoffe in g/kg TM							
		XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
1	29,2	42	47	21	263	627	543	314	24
2	29,0	44	57	30	246	623	583	331	23
3	29,4	45	55	30	241	629	590	326	21
4	28,6	44	53	31	227	645	562	270	21
5	28,3	44	53	23	258	622	607	305	26
6	28,6	45	54	24	254	623	550	280	27
7	28,6	44	48	25	269	614	573	326	27
8	27,5	47	53	17	270	613	537	318	24
9	28,4	45	49	18	244	644	523	296	26
10	28,3	47	58	31	263	601	550	339	18
11	29,3	46	57	27	226	644	573	298	17
12	29,0	44	52	25	264	615	605	309	31
13	28,7	44	56	28	266	606	572	294	22
14	28,4	45	56	28	261	610	562	301	16

Variante	TS in %	Inhaltsstoffe in g/kg TM							
		XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
15	28,0	46	52	21	256	625	580	327	27
16	28,1	47	55	24	257	617	555	309	16
17	28,2	45	53	24	252	626	587	479	25
18	28,1	45	50	26	248	631	574	343	10
19	35,8	41	42	36	237	644	530	313	16
20	36,1	39	46	36	245	634	572	300	25
21	36,1	39	44	28	239	650	601	288	21
22	35,6	41	43	37	256	623	602	281	31
23	28,2	44	46	17	265	628	541	306	29
24	29,9	43	52	23	252	630	587	328	26
25	28,0	46	50	23	258	623	575	312	16
26	27,7	47	49	33	261	610	513	315	24
27	28,1	43	53	22	270	612	498	290	23
28	29,0	44	54	16	266	620	521	304	27
29	28,1	43	52	24	250	631	564	318	20
30	34,3	41	40	21	224	674	552	271	22
31	34,9	45	42	25	198	690	498	272	20
Standort Mittelwert	29,9	44	51	26	251	629	561	312	23
Soll ^{*)}	30–38	< 40	85		170 –200		< 420	< 250	

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NfE: Stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser,

⁷⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser, ⁸⁾ ADL: Säure-Detergenz-Lignin

^{*)} Orientierungswerte nach Gruber-Tabelle [8] für gute Grobfuttermittel

Tabelle 62: Substratqualität der Nachfrucht Mais im Versuchsjahr 2015/2016, Standort Straubing

Variante	TS in %	Inhaltsstoffe in g/kg TM							
		XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
1	25,0	48	47	13	273	619	531	307	33
2	25,8	48	49	14	257	632	492	289	31
3	25,7	47	49	12	258	634	532	307	37
4	25,5	47	46	14	265	628	526	330	36
5	25,0	49	45	15	235	656	504	323	27

Variante	TS in %	Inhaltsstoffe in g/kg TM							
		XA ¹⁾	XP ²⁾	XL ³⁾	XF ⁴⁾	NfE ⁵⁾	NDF ⁶⁾	ADF ⁷⁾	ADL ⁸⁾
6	25,4	47	48	13	271	621	517	326	32
7	25,6	47	44	13	238	658	492	301	37
8	25,6	46	49	13	273	619	540	335	25
9	24,8	44	47	16	277	616	528	313	21
10	25,0	43	54	13	233	657	523	282	29
11	25,8	44	51	15	245	645	549	307	16
12	25,7	47	47	15	303	588	507	305	28
13	25,8	45	50	20	268	617	517	323	30
14	24,8	47	48	18	248	639	507	310	26
15	25,4	47	49	16	249	639	536	315	27
16	25,7	45	51	16	268	620	497	291	27
17	25,5	49	50	16	260	625	573	328	32
18	25,5	46	48	12	263	631	520	300	28
19	27,7	57	44	24	229	646	573	289	20
20	29,3	51	43	25	225	656	476	263	16
21	29,1	53	44	23	214	666	565	271	18
22	28,6	52	43	22	219	664	464	259	16
23	25,1	49	45	14	252	640	516	331	20
24	25,6	46	48	19	252	635	532	306	21
25	25,6	48	48	19	241	644	528	325	25
26	25,3	49	44	17	259	631	543	309	19
27	25,5	46	50	18	260	626	504	288	24
28	25,7	47	48	11	251	643	515	310	27
29	25,4	49	47	18	261	625	541	302	26
30	28,6	53	43	28	207	669	500	410	16
31	28,1	56	45	24	203	672	450	250	17
Standort Mittelwert	26,0	48	47	17	250	637	519	307	25
Soll ^{*)}	30–38	< 40	85		170 –200		< 420	< 250	

¹⁾ XA: Rohasche, ²⁾ XP: Rohprotein, ³⁾ XL: Rohfett, ⁴⁾ XF: Rohfaser, ⁵⁾ NfE: Stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶⁾ NDF: Neutral-Detergenz-Faser,

⁷⁾ ADF: Säure-Detergenz-Faser, ⁸⁾ ADL: Säure-Detergenz-Lignin

^{*)} Orientierungswerte nach Gruber-Tabelle [8] für gute Grobfuttermittel

Impressionen in Bildern



Abbildung 30: Zottelwicke mit charakteristischer Blattbehaarung (links), Bestand zum Zeitpunkt der Vollblüte (rechts)



Abbildung 31: Pannonische Wicke zum Zeitpunkt der Vollblüte (links), bei beginnender Hülsenbildung (rechts)



Abbildung 32: Entwicklung der Wintererbse Arka im Vegetationsverlauf



Abbildung 33: Rhizobien an Bohnenwurzeln, © Schlaghecken (2002) [51], und Querschnitt aktiver Rhizobien mit charakteristisch tiefroter Färbung im Inneren, © Wilbois (2015) [67]



Abbildung 34: Befall von Triticale-Erbсен-Gemengen mit *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*, Standort Straubing, Versuchsjahr 2014/2015



Abbildung 35: *Rhynchosporium*-Befall in den Triticale-Gemengen im Versuchsjahr 2015/2016



Abbildung 36: Unterschiedliche Dominanz von Wintererbse, Pannonischer Wicke und Zottelwicke (von oben nach unten) gegenüber dem Mischungspartner Triticale



Abbildung 37: Hummeln (links und Mitte) und Biene (rechts) beim Sammelflug



Abbildung 38: Gelblich verfärbte Pflanzen mit unregelmäßigem Wuchs (hinten) in den Maisbeständen des 1. Saattermins am Standort Straubing, Versuchsjahr 2015/2016

Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

1	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
2	Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
3	Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
4	Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
5	Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
6	Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
7	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
8	Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
9	Maize as Energy Crop for Combustion - Agricultural Optimisation of Fuel Supply
10	Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
11	Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
12	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
13	Getreidekörner als Brennstoff für Kleinfeuerungen - Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte –
14	Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotoren betriebenen Traktors
15	Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
16	Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
17	Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell

18	Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse als bayerischen Forschungsarbeiten
19	Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis
20	Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung
21	Kleine Biomassefeuerungen – Markt Betrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit
22	Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
23	Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
24	Charakterisierung von Holzbriketts
25	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
26	Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
27	Entwicklung einer Siloabdeckung aus Nachwachsenden Rohstoffen
28	Sorghumhirse als Nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbau szenarien
29	Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik
30	Ethanol aus Zuckerhirse – Gesamtkonzept zur nachhaltigen Nutzung von Zuckerhirse als Rohstoff für die Ethanolherstellung
31	Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Rapsölkraftstoff in Traktoren der Abgasstufe I und II
32	Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstandsuntersuchungen und Feldeinsatz auf Betrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
33	Betriebs- und Emissionsverhalten eines pflanzenöлтаuglichen Traktors mit Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl
34	Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung
35	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Projektphase 2: Langzeit- und Prüfstandsuntersuchungen
36	Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen
37	Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat

38	Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Elektrofilters für Kleinfeuerungsanlagen
39	Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung
40	Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel
41	Qualitätssicherung bei der dezentralen Herstellung von Rapsölkraftstoff nach DIN 51605
42	Weiterentwicklung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe
43	Brennstoffqualität von Holzpellets
44	Herstellung und Demonstration der Praxistauglichkeit von Traktoren mit Motoren der Abgasstufe IV im Betrieb mit Pflanzenöl
45	ExpRessBio – Methoden
46	Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern
47	Pflanzenöltaugliche Traktoren der Abgasstufen I bis IIIB
48	Sorghum als Biogassubstrat – Präzisierung der Anbauempfehlungen für baye-rische Anbaubedingungen
49	Zünd- und Verbrennungsverhalten alternativer Kraftstoffe
50	Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern – Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpRessBio-Methode
51	Emissions- und Betriebsverhalten eines Biomethantraktors mit Zündstrahlmotor
52	Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln



ISSN 1614-1008