



Fruchtfolgen für Nachwachsende Rohstoffe

Schriftenreihe, Heft 6/2019



Prüfung verschiedener Anbausysteme zur Rohstoffproduktion mit den Schwerpunkten Nachhaltigkeit und Effizienz auf dem Ver- suchsstandort Trossin für die Versuchsjahre 2013 bis 2017

Jana Grunewald, Sebastian Häusler (BioChem agrar GmbH), Dr. Kerstin Jäkel, Annette Schaeff,
Falk Böttcher (DWD), Dr. Christiane Peter

1	Einleitung	12
2	Methodik	13
2.1	Versuchsstandortcharakteristik	13
2.2	Witterungsverlauf	14
2.3	Versuchsdurchführung	19
2.3.1	Versuchsaufbau	19
2.3.2	Anbautechnik.....	22
2.3.3	Datenerhebung.....	23
2.3.4	Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen	24
2.3.5	Statistische Auswertungsverfahren	25
2.4	Methodik THG Bewertung	27
2.5	Methodik ökonomische Auswertung	28
3	Ergebnisse	31
3.1	Frisch- und Trockenmasseerträge	31
3.2	Trockensubstanzgehalte	36
3.3	Erträge und fruchtfolgeabhängige Auswirkungen auf das Abschlussfruchtfolgeglied Winterroggen	37
3.4	Ertragsprüfungsversuch	42
3.5	Zweikulturnutzung	45
3.6	Bonituren	46
3.7	Ökologische Nachhaltigkeitsbewertung	52
3.7.1	Nährstoffhaushalt (N, P, K, Mg)	52
3.7.2	Potentielle Nitratausträge	54
3.7.3	Reduzierte Stickstoff-Düngung.....	58
3.7.4	Humushaushalt	61
3.7.5	Wasserhaushalt.....	63
3.7.6	Bewertung von Treibhausgasen und Energiebilanzen	76
3.8	Ökonomische Bewertung	82
3.8.1	Ergebnisse.....	82
3.8.2	Fazit.....	92
4	Anbauempfehlungen	94
5	Zusammenfassung	96
6	Anhang	98
	Literaturverzeichnis	192

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Versuchsstandortes Trossin in Sachsen und Zuordnung zum Boden-Klima-Raum 104	13
Abbildung 2: Monatliche Mittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe Versuchsstation Spröda, Angaben DWD	16
Abbildung 3: Monatliche Niederschlagssummen, Versuchsstation Spröda, Angaben DWD	17
Abbildung 4: Monatliche Mittel der Globalstrahlung Versuchsstation Spröda, Angaben DWD	18
Abbildung 5: Frischmasseerträge der einzelnen Fruchtfolgen kumulativ über den gesamten Versuchszeitraum von 2013 bis 2017	31
Abbildung 6: Trockenmasseerträge der einzelnen Fruchtfolgen kumulativ über den gesamten Versuchszeitraum von 2013 bis 2017	32
Abbildung 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Fruchtarten über den gesamten Versuchszeitraum für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch	33
Abbildung 8: Trockensubstanzgehalte aller als GPS geernteten Fruchtarten zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung über den gesamten Versuchszeitraum für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch	37
Abbildung 9: Mittelwerte mit Standardabweichungen der Korn- und Stroh-Frischmasseerträge des Winterroggens der Fruchtfolgen 1 - 8 für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuchs	38
Abbildung 10: Parzellenwerte der Korn- und Stroh-Trockenmasseerträge des Winterroggens der Grund- und Spiegelanlage des Grundversuchs	40
Abbildung 11: Vergleich der Trockenmasseerträge zwischen Zweit- und Hauptfruchtnutzung bei den erprobten Anbausystemen	45
Abbildung 12: Nährstoffhaushalt der im Projekt angelegten Fruchtfolgen für die Nährstoffe N, P, K und Mg für Grund- und Spiegelanlage für alle Versuchsjahre	52
Abbildung 13: Durchschnittliche Nährstoffaufnahmen der einzelnen Fruchtarten im Versuchszeitraum	54
Abbildung 14: N _{min} -Gehalte für alle Fruchtfolgen im Grundversuch in der Grundanlage	56
Abbildung 15: N _{min} -Gehalte für alle Fruchtfolgen im Grundversuch in der Spiegelanlage	57
Abbildung 16: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 und 7 im Versuchsjahr 2013	58
Abbildung 17: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 und 7 im Versuchsjahr 2014	58
Abbildung 18: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 und 7 im Versuchsjahr 2015	59
Abbildung 19: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 und 7 im Versuchsjahr 2016	59
Abbildung 20: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 und 7 im Versuchsjahr 2017	59
Abbildung 21: N _{min} -Gehalte nach der Ernte für die Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 (normale N-Düngung) und 7 (um 25 % reduzierte N-Düngung)	60
Abbildung 22: Humushaushalt der erprobten Fruchtfolgen für die Grundanlage im Grundversuch	62
Abbildung 23: Humushaushalt der erprobten Fruchtfolgen für die Spiegelanlage im Grundversuch	62
Abbildung 24: Messergebnisse der gravimetrischen Bodenfeuchtemessungen unter verschiedenen Anbauvarianten von Energiepflanzen am Standort Trossin in den Jahren 2012 bis 2017	64
Abbildung 25: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Futterhirse mit und ohne abfrierende Winterzwischenfrucht im Jahr 2013	65
Abbildung 26: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Sudangrashybride mit und ohne Winterzwischenfrucht im Jahr 2014	66

Abbildung 27: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Sudangrashybride mit und ohne Winterzwischenfrucht im Jahr 2015.....	67
Abbildung 28: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Sudangrashybride mit und ohne Winterzwischenfrucht im Jahr 2016.....	68
Abbildung 29: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Sudangrashybride mit und ohne Winterzwischenfrucht im Jahr 2017 (später Zweitfruchtanbau)	69
Abbildung 30: Trockenstress bei Wintergerste 2017	69
Abbildung 31: Trockenstress bei Silomais in später Zweitfruchtstellung 2017	69
Abbildung 32: Gemessene Bodenfeuchte von Brache-Mais und mehrjährigen Kulturarten im Jahr 2014	70
Abbildung 33: Durchwachsene Silphie am Standort in Trossin am 19.05.2015	71
Abbildung 34: Szarvasigras (Riesenweizengras) am Standort in Trossin am 19.05.2015	71
Abbildung 35: Modellierte Bodenwassergehalte in Vol.-% für alle Tage zwischen dem 01.01.2012 und dem 31.12.2017 am Standort Trossin für die Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)	72
Abbildung 36: Differenz der modellierten Bodenwassergehalte in Vol.-% für alle Tage zwischen dem 01.01.2012 und dem 31.12.2017 am Standort Trossin zwischen der Variante Silomais nach Brache abzüglich Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)	72
Abbildung 37: Modellierte und gemessene Bodenwassergehalte in Volumenprozent an den Messtagen zwischen 2012 und 2017 am Standort Trossin bei den Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)	73
Abbildung 38: Modellierte, Bias-korrigierte und gemessene Bodenwassergehalte in Volumenprozent an den Messtagen zwischen 2012 und 2017 am Standort Trossin bei den Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS).....	73
Abbildung 39: Jahressummen der modellierten aktuellen pflanzenbezogenen Verdunstung in mm in den Jahren 2012 bis 2017 am Standort Trossin bei den Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)	74
Abbildung 40: Tagessummen der modellierten aktuellen pflanzenbezogenen Verdunstung in mm im Jahr 2012 am Standort Trossin bei den Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS).....	75
Abbildung 41: Vergleich der flächenbezogenen THG-Emissionen in kg CO ₂ -Äq/ha der Fruchtfolgen 1 bis 10 und der produktbezogenen THG-Emissionen g CO ₂ -Äq/MJ Substraterzeugnis, gemittelt über die beiden Anlagen (Grundversuch, Spiegelung).....	78
Abbildung 42: Vergleich des kumulierten Energieaufwandes der Fruchtfolgen 1 bis 10 unterteilt nach Kategorien (gemittelt über beide Anlagen Grundversuch und Spiegelung)	79
Abbildung 43: Vergleich des kumulierten Energieaufwandes der Fruchtfolgen 1 bis 10 (gemittelt über beide Anlagen), sowie der berechnete potentielle Energieertrag und die berechnete Energiebilanz (Energieertrag - Energieaufwand) modelliert bis zum Hoftor	79
Abbildung 44: Flächenbezogene THG-Emissionen und produktbezogene THG-Emissionen in g CO ₂ Äq/MJ Substraterzeugnis einzelner Energiepflanzen und Zweikulturnutzungssysteme	80
Abbildung 45: Energieertrag, KEA und Energiebilanz einzelner Energiepflanzen und Zweikulturnutzungssysteme.....	81
Abbildung 46: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis der Kulturen im Hauptfruchtanbau in EUR/ha und Jahr für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches	83
Abbildung 47: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis der Kulturen im Zweikultursystem bzw. Zwischenfruchtanbau in EUR/ha u. Jahr für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches	84
Abbildung 48: Erzeugungskosten je Dezitonne Trockenmasse und je Kubikmeter Methan in der Silage für die einzelnen Fruchtarten in der Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches	85

Abbildung 49: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis von Mais im Hauptfruchtanbau im Vergleich zu Mais als Zweitfrucht nach verschiedenen Vorfrüchten nach Jahren für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches.....	86
Abbildung 50: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis der Anbausysteme mit Sudangrashybride nach Jahren für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches	87
Abbildung 51: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis von Weidelgras als Zwischenfrucht nach Wickroggen 2013 und 2014 sowie nach Triticale-GPS im Vergleich zu Triticale als Hauptfrucht 2015 und 2016 für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches	88
Abbildung 52: Leistung, Anbaukosten, Ergebnis und Ergebnis mit Gärrestrückführung der Fruchtfolgen und Dauerkulturen über den drei- bzw. vierjährigen Anbauzeitraum im Mittel von Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches.....	89
Abbildung 53: Leistung, Anbaukosten, Ergebnis und Ergebnis mit Gärrestrückführung der Fruchtfolgen und Dauerkulturen, bezogen auf ein Anbaujahr, über den drei- bzw. vierjährigen Anbauzeitraum im Mittel von Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches.....	90
Abbildung 54: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2012-2013	187
Abbildung 55: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2014	188
Abbildung 56: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2015	189
Abbildung 57: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2016	190
Abbildung 58: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2017	191

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über die im Grundversuch angebauten Fruchtarten für die Fruchtfolgen 1 bis 8	19
Tabelle 2:	Übersicht über die im Grundversuch angebauten Fruchtarten für die Fruchtfolgen 9 und 10 (Dauerkultur-Fruchtfolgen)	20
Tabelle 3:	Übersicht über die im Ertragsprüfungsversuch angebauten Fruchtarten für die Frucht- folgen 1 bis 3	21
Tabelle 4:	Übersicht über die im Ertragsprüfungsversuch angebauten Fruchtarten für die Fruchtfolge 4*	21
Tabelle 5:	Übersicht über die erhobenen Daten im Energiefruchtfolgeversuch am Standort Trossin	23
Tabelle 6:	Trockenmasseertrag-Mittelwerte der einzelnen Fruchtarten über den gesamten Versuchszeitraum für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch mit verschiedenen statistischen Parametern	34
Tabelle 7:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Trockenmasseerträge der einzelnen Fruchtarten für die einzelnen Versuchsjahre für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch	35
Tabelle 8:	Mittelwerte der Frisch- und Trockenmasseerträge der einzelnen Zuckerrüben-Komponenten	36
Tabelle 9:	Qualitätsparameter des Winterroggens für die Grundanlage	39
Tabelle 10:	Qualitätsparameter des Winterroggens für die Spiegelanlage	39
Tabelle 11:	Kohlenstoff- und Schwefelgehalte des Winterroggens (Korn + Stroh)	39
Tabelle 12:	Korn- und Stroh-Trockenmasseerträge des Abschlussfruchtfolgegliedes Winterroggen aller Fruchtfolgen für die Grundanlage des Grundversuchs	41
Tabelle 13:	Korn- und Stroh-Trockenmasseerträge des Abschlussfruchtfolgegliedes Winterroggen aller Fruchtfolgen für die Spiegelanlage des Grundversuchs	42
Tabelle 14:	Trockenmasseerträge [dt/ha] der Fruchtfolgen 1, 2 und 3 zusammen mit den jeweiligen Mittel- werten, Standardabweichungen, Variationskoeffizienten und Summen über alle Jahre	44
Tabelle 15:	Bestandsaufnahmeprotokoll der angebauten Feldfrüchte	47
Tabelle 16:	Zusammenfassende Bewertung der Wassernutzungseffizienz verschiedener Kulturarten	71
Tabelle 17:	Ergebnisse der Fruchtfolgen im Mittel von Grund- und Spiegelanlage mit Berücksichtigung möglicher Maßnahmen des sächsischen Agrarumweltprogrammes	91
Tabelle 18:	Kalkulative Ergebnisse der Durchwachsenen Silphie bei Aussaat, verschiedener Nutzungsdauer und zwei Ertragsniveaus im Vergleich zum Versuchsergebnis	92
Tabelle 19:	Anbaueignung verschiedener Energiepflanzen auf leichten Böden auf Grundlage der Versuchsergebnisse	95
Tabellen im Anhang:		
Tabelle A 1:	Überblick über die angebauten Sorten sowie die Aussaat-, Aufgangs- und Erntetermine der im Projekt angebauten Fruchtarten	98
Tabelle A 2:	Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2013, Grundversuch (Quelle: LfULG, 2014)	100
Tabelle A 3:	Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2014, Grundversuch (Quelle: LfULG, 2014)	102
Tabelle A 4:	Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2015, Grundversuch (Quelle: LfULG, 2014)	104
Tabelle A 5:	Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2016, Grundversuch	106
Tabelle A 6:	Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2014, Spiegelung	107
Tabelle A 7:	Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2015, Spiegelung	109
Tabelle A 8:	Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2016, Spiegelung	111
Tabelle A 9:	Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2017	113
Tabelle A 10:	Bewirtschaftungsdaten für Szarvasigras	114
Tabelle A 11:	Bewirtschaftungsdaten für Durchwachsene Silphie	115
Tabelle A 12:	Unkrautdeckungsgrad des Winterroggens im Grundversuch am 5.10.2015 (mit Herbizid)	116
Tabelle A 13:	Unkrautdeckungsgrad des Winterroggens in der Spiegelanlage im Grundversuch am 2.11.2016 (ohne Herbizidanwendung)	117

Tabelle A 14: Braunrost-Bonitur des Winterroggens in der Grund- und Spiegelanlage im Grundversuch	118
Tabelle A 15: N _{min} -, S _{min} -, K-, P- und Mg-Bodengehalte für die Fruchtfolgen 9 und 10.....	119
Tabelle A 16: Ct-, Humus- und pH-Bodenwerte für die Fruchtfolgen 9 und 10	119
Tabelle A 17: S _{min} -, K-, P-, Mg-, Ct-, Humus- und pH-Bodenwerte nach der Ernte in der Spiegelanlage 2016 .	120
Tabelle A 18: pH-Bodenwerte für Winterroggen nach der Ernte	120
Tabelle A 19: pH-Bodenwerte für Winterroggen zu Vegetationsende.....	121
Tabelle A 20: Ct-Bodenwerte für Winterroggen nach der Ernte	121
Tabelle A 21: Ct-Bodenwerte für Winterroggen zu Vegetationsende.....	121
Tabelle A 22: Humus-Bodenwerte für Winterroggen nach der Ernte	122
Tabelle A 23: Humus-Bodenwerte für Winterroggen zu Vegetationsende	122
Tabelle A 24: S _{min} - [kg/ha], K-, P- und Mg- [mg/100 g Boden] Bodenwerte des Winterroggens (Korn + Stroh) nach der Ernte und zu Vegetationsende für die Grundanlage im Grundversuch.....	123
Tabelle A 25: S _{min} - [kg/ha], K-, P- und Mg- [mg/100 g Boden] Bodengehalte des Winterroggens nach der Ernte und zu Vegetationsende für die Spiegelanlage im Grundversuch	124
Tabelle A 26: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Grundanlage	125
Tabelle A 27: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Spiegelanlage	127
Tabelle A 28: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Ertragsprüfungsversuch in der Grundanlage	129
Tabelle A 29: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Ertragsprüfungsversuch in der Spiegelanlage	130
Tabelle A 30: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Grundanlage	131
Tabelle A 31: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Spiegelanlage	133
Tabelle A 32: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Ertragsprüfungsversuch in der Grundanlage	135
Tabelle A 33: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Ertragsprüfungsversuch in der Spiegelanlage	136
Tabelle A 34: Anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte nach VDLUFA beim Anbau der erprobten Fruchtfolgen für die Grund- und Spiegelanlage	137
Tabelle A 35: N-Zufuhren für die Grundanlage im Grundversuch	141
Tabelle A 36: P-Zufuhren für die Grundanlage im Grundversuch	142
Tabelle A 37: K-Zufuhren für die Grundanlage im Grundversuch	143
Tabelle A 38: Mg-Zufuhren für die Grundanlage im Grundversuch.....	144
Tabelle A 39: N-Entzüge für die Grundanlage im Grundversuch	145
Tabelle A 40: P-Entzüge für die Grundanlage im Grundversuch	146
Tabelle A 41: K-Entzüge für die Grundanlage im Grundversuch	147
Tabelle A 42: Mg-Entzüge für die Grundanlage im Grundversuch.....	148
Tabelle A 43: N-Zufuhren für die Spiegelanlage im Grundversuch	149
Tabelle A 44: P-Zufuhren für die Spiegelanlage im Grundversuch	150
Tabelle A 45: K-Zufuhren für die Spiegelanlage im Grundversuch	151
Tabelle A 46: N-Entzüge für die Spiegelanlage im Grundversuch	152
Tabelle A 47: P-Entzüge für die Spiegelanlage im Grundversuch	153
Tabelle A 48: K-Entzüge für die Spiegelanlage im Grundversuch	154
Tabelle A 49: Mg-Entzüge für die Spiegelanlage im Grundversuch.....	155

Tabelle A 50: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Kornerträge in der Grundanlage.....	156
Tabelle A 51: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Stroherträge in der Grundanlage.....	157
Tabelle A 52: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Kornerträge in der Spiegelanlage.....	158
Tabelle A 53: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Stroherträge in der Spiegelanlage.....	159
Tabelle A 54: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Kornerträge.....	160
Tabelle A 55: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Stroherträge.....	161
Tabelle A 56: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Braunrost im Winterroggen in der Grundanlage im Grundversuch.....	162
Tabelle A 57: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Braunrost im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch.....	163
Tabelle A 58: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Ehrenpreis-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundersuch	164
Tabelle A 59: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Kamille-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch	165
Tabelle A 60: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Stiefmütterchen-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch.....	166
Tabelle A 61: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Storchschnabel-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch.....	167
Tabelle A 62: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Hirtentäschel-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch....	168
Tabelle A 63: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Vogelmiere-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch.....	169
Tabelle A 64: Versuchspläne für den Grundversuch (GV) und Ertragsprüfungsversuch jeweils für die Grund- und Spiegelanlage der Versuchsjahre 2013-2017	170
Tabelle A 65: Ökonomische Einzeldaten für die Grundanlage des Grundversuches	178
Tabelle A 66: Ökonomische Einzeldaten für die Spiegelanlage des Grundversuches	181
Tabelle A 67: Ökonomische Einzeldaten der Marktfrucht Winterroggen in der Grundanlage des Grundversuches 2016	183
Tabelle A 68: Ökonomische Einzeldaten der Marktfrucht Winterroggen in der Spiegelanlage des Grundversuches 2017	183
Tabelle A 69: Ökonomische Einzeldaten für die Fruchtarten im Hauptfruchtanbau – Mittelwerte aus Grund- und Spiegelanlage.....	184
Tabelle A 70: Ökonomische Einzeldaten für die Fruchtarten im Zweit- und Zwischenfruchtanbau – Mittelwerte aus Grund- und Spiegelanlage	184
Tabelle A 71: Ökonomische Einzeldaten für die Anbausysteme im Vergleich zum Hauptfruchtanbau, Werte aus Grund- und Spiegelanlage	185
Tabelle A 72: Ökonomische Einzeldaten für die Fruchtfolgen im Mittel von Grund- und Spiegelanlage – Summe der Fruchtfolgejahre	186
Tabelle A 73: Ökonomische Einzeldaten für die Fruchtfolgen im Mittel von Grund- und Spiegelanlage bezogen auf ein Erntejahr	186

Abkürzungsverzeichnis

A	Anlagen
AMI	Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH
Äq	Äquivalent
Äq/MJ	Äquivalent/Megajoule
ArEr	Arbeitserledigung
AZ	Ackerwertzahl
BBCH	Code des Entwicklungsstadiums einer Pflanze namentlich nach Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie
BEFU	Düngungsempfehlungs- und Bilanzierungsprogramm (Bestandsführung)
BfUL	Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BSA	Bundessortenamt
C	Kohlenstoff
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
D	Diluvial
DON	Deoxynivalenol (Mykotoxin) der Gattung Fusarium auf Getreide
DAfL	Direkt- und Arbeitskosten freie Leistung
DAP	Diammonphosphat
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DWD	Deutscher Wetterdienst
EC	Code für Planzen – Entwicklungsstadien nach Eucarpia (Europäische Gesellschaft für Züchtungsforschung) – wird vorrangig bei Getreide verwendet
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EVA	„Entwicklung und Vergleich von Anbausystemen für Energiepflanzen zur Biogasproduktion“
FF	Fruchtfolge
FM	Frischmasse
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
GD	Gründüngung
GPS	Ganzpflanzensilage
HF	Hauptfrucht
HNJ	Hauptnutzungsjahr
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
K	Kalium
KAS	Kalkammonsalpeter
KEA	kumulativer Energieaufwand
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
MF	Marktfrucht
Mg	Magnesium
MiLA	Model for integrated Life Cycle Assessment for Agriculture (N-Modell)
MW	Mittelwert
N	Stickstoff
NH ₄ ⁺	Ammoniumstickstoff
N _{min}	mineralisierter Stickstoff (Nitrat und Ammonium)

NO ₃ ⁻	Nitratstickstoff
NS	Niederschlag
oTM	organische Trockenmasse
oTS	organische Trockensubstanz
P	Phosphor
PSM	Pflanzenschutzmaßnahmen
S. b. x s.	<i>Sorghum bicolor x sudanense</i> (Sudangrashybride)
SF	Standardfehler
SGH	Sudangrashybride
Stabw	Standardabweichung
SZF	Sommerzwischenfrucht
T	Temperatur
TDR	Time Domain Reflectometry, Messverfahren
THG	Treibhausgas
TKG	Tausendkorngewicht
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanzgehalt
vA	vor dem Aufgang
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VK	Variationskoeffizient (Statistische Kenngröße)
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WZF	Winterzwischenfrucht
ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg
ZwF	Zwischenfrucht
ZF	Zweitfrucht

1 Einleitung

Eine effiziente und umweltfreundliche Rohstoff- und Energiegewinnung unter Beachtung des Klimaschutzes und der Klimaanpassung ist eine der größten Herausforderungen unserer Zeit. Pflanzliche Rohstoffe werden sowohl für die Ernährung, die stoffliche Verwertung als auch zur Energieerzeugung in immer größeren Mengen benötigt. Hier gilt es, unter Beachtung ökologischer Gesichtspunkte Stoff- und Rohstoffströme in regionalen Kreisläufen effizient zu erzeugen. Für eine Abschätzung und wissenschaftliche Bewertung von Anbausystemen werden Untersuchungen zu Pflanzenproduktionssystemen über mehrere Jahre benötigt. Die wichtigste Zielsetzung des hier beschriebenen Projektes war es, durch vielfältige Anbausysteme zu einer Diversifizierung landwirtschaftlicher Produktionsmuster und der Erweiterung von Fruchtfolgen beizutragen. Anbausysteme, die mit einer guten Ausnutzung der Vegetationszeit und hohen Bodenbedeckungsgraden verbunden sind, können nicht nur in ertraglicher Hinsicht interessant sein. Sie bieten auch Ansätze für den vorbeugenden Boden- und Gewässerschutz. Eine möglichst gute Faktoreffizienz ist daher neben den erzielbaren Energieerträgen je Flächeneinheit ein entscheidendes Kriterium für eine ökonomische und ökologische Bewertung von Fruchtfolgen zur Gewinnung energetisch und stofflich nutzbarer Substrate. Zur Gestaltung von nachhaltigen und produktiven Anbausystemen wird neben der Nutzung von Hauptfrüchten auch auf den Anbau von Zwischenfrüchten, mehrjährigen Ackerfuttermischungen und Zweikultursystemen, in welchen sowohl Sommer- als auch Winterkulturen vergleichbare Ertragsmengen zum Jahresertrag beisteuern sollen, Wert gelegt.

Folgende Fragestellungen wurden als Arbeitsschwerpunkte formuliert:

- Welches Anbausystem liefert am Trockenstandort hohe und stabile Erträge?
- Welches System hat eine gute Nährstoffnachlieferung bzw. -effizienz?
- Welches Anbausystem hat Einfluss auf den Humusgehalt?
- Welches Anbausystem hinterlässt hohe bzw. niedrige N-Gehalte nach der Ernte?
- Welche Wirkung haben die Anbausysteme auf den Wasserhaushalt bzw. welche Produktionssysteme weisen eine hohe Wassereffizienz auf?
- Gibt es phytosanitäre Unterschiede in den Anbausystemen und wie wirken sich diese aus?
- Erfordern die Erkenntnisse spezielle Handlungen in der landwirtschaftlichen Praxis?
- Welche wirtschaftlichen Auswirkungen hat der Anbau?

Das Referat Pflanzenbau des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) begleitet seit 2005 die Forschungen zu Fruchtfolgen (ehemals EVA und Förderung durch die FNR). Zu den Forschungsschwerpunkten gehören der Grundversuch mit der Erprobung von acht Fruchtfolgen in zwei zeitlich versetzten Anlagen und der im Jahr 2013 neu angelegte Ertragsprüfungsversuch mit dem Ziel Ertragsdaten zu den drei ertragreichsten Fruchtfolgen aus Vorprojekten für jedes Versuchsjahr zu erhalten.

Der Versuchsstandort des LfULG Trossin ist ein in Bezug auf den Wasserhaushalt benachteiligter Standort in Nordsachsen (warm-trocken, sandiger leichter Boden mit geringer Wasserhaltekapazität und stark ausgeprägter Frühjahrstrockenheit). Diese Bedingungen werden unter dem Aspekt des Klimawandels in naher Zukunft verstärkt Bedeutung gewinnen. Deshalb ist es besonders wichtig, Kenntnisse über an Trockenstress adaptierte Pflanzen mit hohem Biomassebildungspotenzial zu erlangen. In diesem Abschlussbericht werden Ergebnisse aus dem Energiefruchtfolgeversuch (unter Einbeziehung von Ertragsdaten des Ertragsprüfungsversuchs) des Versuchsstandortes Trossin der Vegetationsjahre 2013-2017 vorgestellt.

2 Methodik

2.1 Versuchsstandortcharakteristik

Ziel des Projektes war es, verschiedene Anbausysteme auch für benachteiligte Gebiete zu testen. Daher wurde für den Versuch der Standort Trossin (Dübener Heide – Landkreis Nordsachsen; Bänderparabraunerde mit der Ackerwertzahl 31) als Versuchsstandort gewählt. Der Standort ist geprägt durch einen mittelschluffigen Sandboden (Su3 – Ap-Horizont: 67 % Sand, 27 % Schluff, 6 % Ton), einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,1° C sowie einem 30-jährigen Niederschlagsmittel von 642 mm (DWD, 1961-1990).

An der nächstgelegenen Wetterstation des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Spröda wurden mit 10,1 °C zunehmende Temperaturen und mit 576 mm deutlich geringere Niederschlagsmengen im Mittel der Jahre 1994 bis 2017 gemessen. Trossin ist nicht nur durch relativ geringe Niederschläge, sondern auch durch eine geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens geprägt. Die Nährstoffversorgung der Grundnährstoffe P, K und Mg ist gut bis sehr gut, der pH-Wert liegt bei 6,0. Trossin gilt als repräsentativ für die südlichen Gebiete der Fahlerde-Bodengesellschaften der Moränengebiete im mitteldeutschen Trockengebiet. Die Produktionsschwerpunkte liegen im Anbau von Winterroggen, Kartoffeln und Mais sowie in der Tierproduktion und Forstwirtschaft (Winterroggen-Kartoffel-Region). Trossin wird dem Boden-Klima-Raum 104 - trocken-warme diluviale Böden des ostdeutschen Tieflandes - zugeordnet. Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Boden-Klima-Räume in Sachsen (LfULG, 2015).

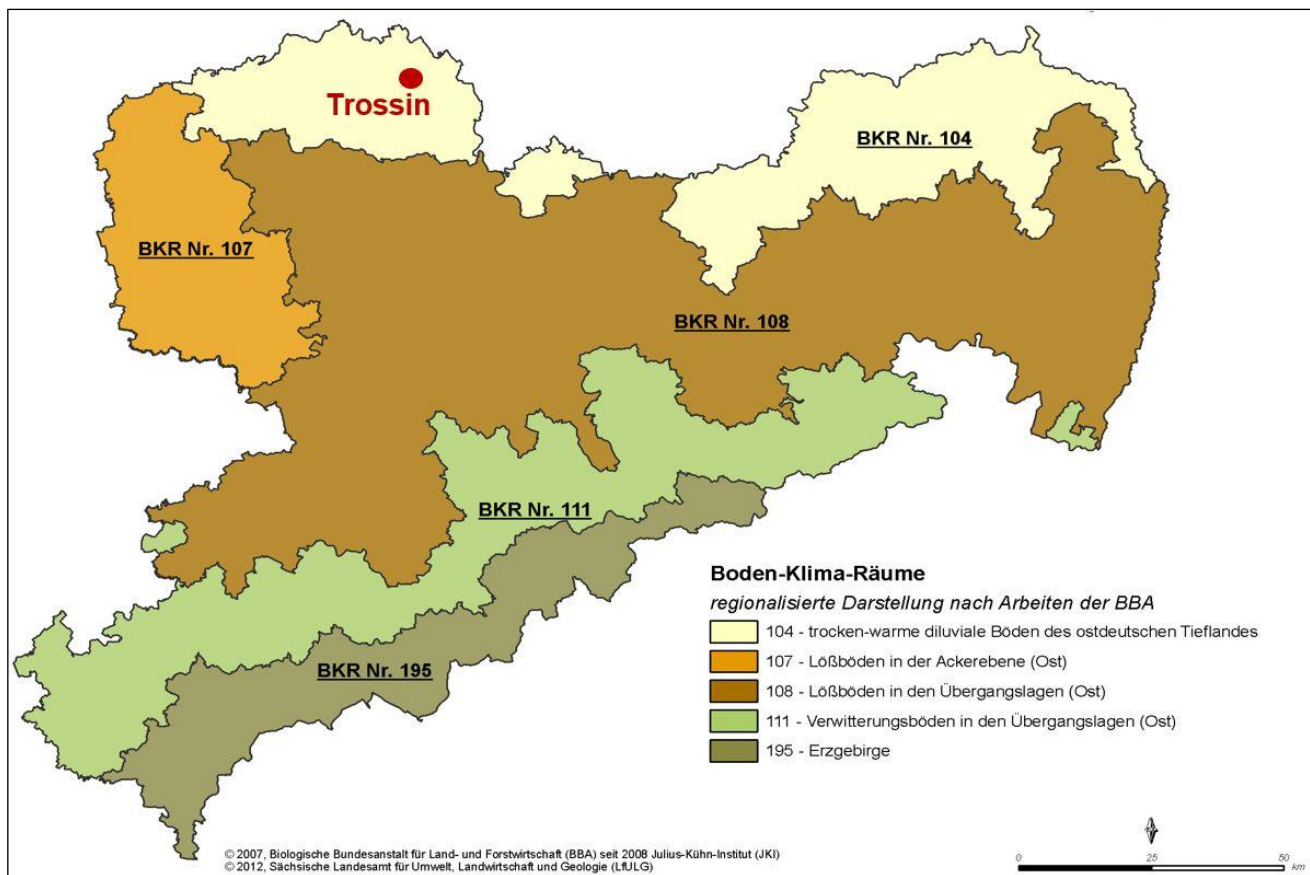


Abbildung 1: Lage des Versuchsstandortes Trossin in Sachsen und Zuordnung zum Boden-Klima-Raum 104 (hellgelb; Kartenquelle: LfULG 2014)

2.2 Witterungsverlauf

Der Verlauf der Witterungsparameter Lufttemperatur, Niederschlagsmenge und Globalstrahlung der Wetterstation Spröda des LfULG ist für den Versuchsstandort Trossin für die Vegetationsjahre 2012/2013 bis 2016/2017 in Abbildung 2 bis Abbildung 4 zusammen mit dem langjährigen Mittel des Deutschen Wetterdienstes von 1961-1990 (Mittelwerte der Stationen Torgau und Oschatz) und dem langjährigen Mittel von Spröda (gleicher Boden-Klima-Raum wie Trossin, Klima-Boden-Raum 104) von 1994-2017 dargestellt (LfULG, 2015).

Ein Vegetationsjahr kennzeichnet im Folgenden den Zeitraum vom 1. September des Vorjahres bis 30. September des jeweiligen Versuchsjahres. Das Vegetationsjahr 2012/2013 schließt beispielsweise den Zeitraum vom 1. September 2012 bis zum 30. September 2013 ein.

Vegetationsjahr 2012/2013

Im Herbst 2012 wechselten sich wärmere, trockenere, sonnenscheinreiche und kühlere, feuchtere Abschnitte ab. Mit Ausnahme einer kalten mit Schneefall geprägten Periode von Ende November bis Mitte Dezember, begann der Winter sehr mild und regenreich. Der milde Winter setzte sich auch im Jahr 2013 fort, wurde jedoch von einigen Frostperioden, größtenteils ohne schützende Schneedecke, unterbrochen. Die von Mitte März bis Mitte April andauernde Kälte brachte einen Vegetationsrückstand der Winterkulturen von etwa zwei Wochen. Nach ein paar sonnenscheinreichen Sommertagen Ende April blieb das Frühjahr 2013 insgesamt im durchschnittlichen Temperaturbereich. Extreme Dauerniederschläge bis hin zu Starkregenereignissen prägten den Vorsommer. Vom „Hochwasser Sachsens“ waren jedoch nur wenige Parzellen der Versuchsfläche betroffen. Auf die Nässe folgten Hitze und Trockenheit verbunden mit Blattschäden an den Feldfrüchten. Die wenigen Niederschläge im Juli (\emptyset 30 mm) traten in der letzten Monatswoche in Form von Gewittern auf. Die warmen Sommertemperaturen reichten bis in den September hinein, aber es gab auch schon die ersten frischen Nächte mit Temperaturen < 5 °C. Niederschläge traten im August 2013 ebenfalls nur an wenigen Tagen und dann meist unwetterartig auf. Ab Mitte September unterbrachen Tiefausläufer den „goldenen“ Herbstbeginn mit stark bewölkten Tagen und Nieselregen. Zum Monatsende hin setzte sich wieder wärmeres, sonniges Wetter durch, welches die Durchschnitts-Sonnenscheinbilanz im September 2013 deutlich verbesserte (LfULG, 2015).

Vegetationsjahr 2013/2014

Das Vegetationsjahr 2013/2014 verlief mit \emptyset 11,0 °C und 575 mm Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel des Deutschen Wetterdienstes (1961-1990) deutlich zu warm. Schon bei den Aufzeichnungen der LfULG-Wetterstation Spröda ab dem Jahre 1994 zeichneten sich ein Temperaturanstieg und ein Rückgang der jährlichen Niederschlagsmenge ab. Die Aussaat der Winterungen wurde im Herbst 2013 von wechselnden Wetterlagen begleitet - Anfang September 2013 spätsommerlich schön, ab Mitte des Monats ein abrupter Temperatursturz mit Nachtfrösten sowie überwiegend nasser und neblig-trüber Witterung, aber ab der zweiten Oktoberhälfte wieder milder und trockener. Bis auf wenige kalte Tage unter dem Nullpunkt Ende November 2013 war der Winter extrem mild, grau, windig und zu niederschlagsarm. Die warme Westströmung setzte sich fort und führte zu einem überdurchschnittlich warmen und sonnenscheinreichen Frühling. Während der März und April 2014 zu wasserarm waren, sorgten vor allem heftige Gewitter für einen nassen Mai. Der Sommer 2014 zeigte sich bei insgesamt leicht überdurchschnittlicher Temperatur und Sonnenstrahlung anfangs sehr trocken (Juni). Im Juli und August gelangte Trossin häufiger in den Einflussbereich von Tiefdruckgebieten, die schwül-warme Luft mit Starkniederschlägen brachten. Die Erntezeit war in Bezug auf das Wetter sehr abwechslungsreich: Teils herrschten noch hochsommerliche Temperaturen mit viel Sonnenschein, teils zeigte sich schon der deutlich frischere Herbst mit Regen, Nebel und ersten Nachtfrösten (LfULG, 2015).

Vegetationsjahr 2014/2015

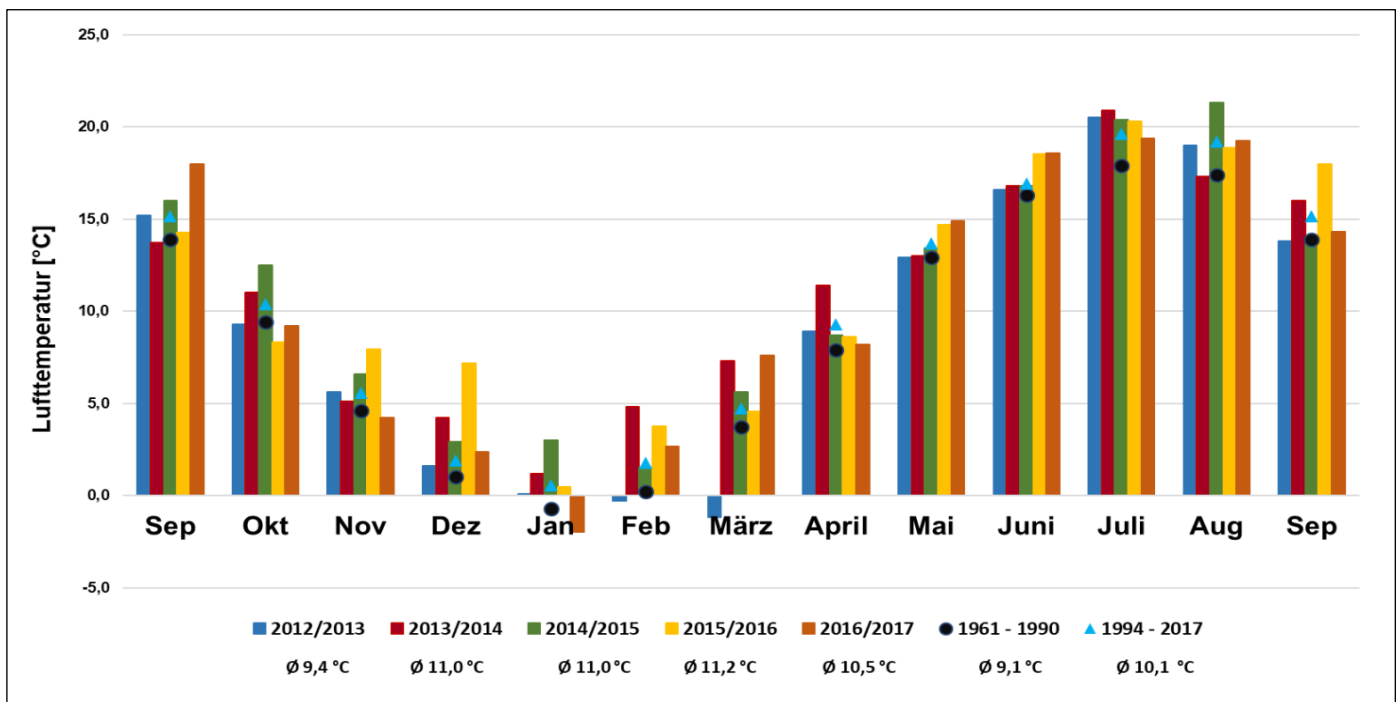
Im Herbst 2014 dominierte warme Luft, Nachtfroste blieben aus. Der Herbst 2014 war rund 2 °C wärmer als das Mittel der letzten 20 Jahre (1994-2013). Bis auf den Oktober war das Wasserangebot ausreichend. Auch der Winter war bis auf ein paar wenige Frostphasen sehr mild verlaufen. Auf einen sehr trüben, windigen und nassen Januar folgten ein trockener, sonnenscheinreicherer Februar und März 2015. Im Frühjahr verschärfte sich die Wasserlage deutlich. Extreme Dürreperioden ab Ende April führten zu erheblichen Schwierigkeiten beim Aufgang der Sommerfrüchte, insbesondere der Zweitkulturen. Durchschnittliche Frühjahrstemperaturen gingen in sehr heiße Sommermonate über. Hohe Sonneneinstrahlung und Hitze verursachten Trockenstress und -schäden an den Pflanzen. Kurze Starkregenereignisse Mitte Juni und Juli 2015 konnten die entleerten Bodenwasservorräte zwar nicht auffüllen, führten aber zur Verbesserung der Etablierungssituation bei den Zweitfrüchten. „Bestandesrettende“ Niederschläge kamen erst Mitte August bis Anfang September. In Kombination mit der sehr warmen, sonnenscheinreichen Witterung konnten die Sommerkulturen noch deutlich an Biomasse zulegen. Trockenstress induzierte Abreife, verbunden mit einem starken Anstieg des TS-Gehaltes, führte dennoch zu einer vorzeitigen Ernte, so dass die Vegetationszeit von den meisten Kulturen nicht ausgenutzt werden konnte (LfULG, 2015).

Vegetationsjahr 2015/2016

Das Vegetationsjahr 2015/2016 verlief mit Ø 11,2 °C sowohl im Vergleich zum langjährigen Mittel des Deutschen Wetterdienstes (1961-1990) als auch zum langjährigen Mittel in Spröda (1994-2017) deutlich wärmer (Abbildung 2). Es war geprägt von einem milden Winter und regenreichem Frühjahr und Sommeranfang (Abbildung 3). Mit einer Summe von 622 mm Niederschlag fiel von allen untersuchten Vegetationsjahren am meisten Niederschlag, welcher jedoch nicht von allen Kulturarten optimal ausgenutzt werden konnte. Von den warmen Temperaturen mit reichlichem Niederschlag im Juni profitierten v. a. das Marktfrucht-Getreide (Wintertriticale und Winterroggen). Wintertriticale als GPS konnte durch die frühere Ernte (19.5.2016) davon nicht mehr profitieren. Bei den wärmeliebenden C4-Pflanzen erfolgte die Ernte bedingt durch eine zeitige Abreife bereits Anfang September, wodurch diese nicht von den warmen Temperaturen im September profitieren konnten. Ebenso wie die C4-Pflanzen lieferte auch die Zuckerrübe niedrige Erträge (Ø 63 dt TM/ha). Dies war vor allem den niedrigen Niederschlägen in den Monaten Juli, August und September geschuldet (Abbildung 3).

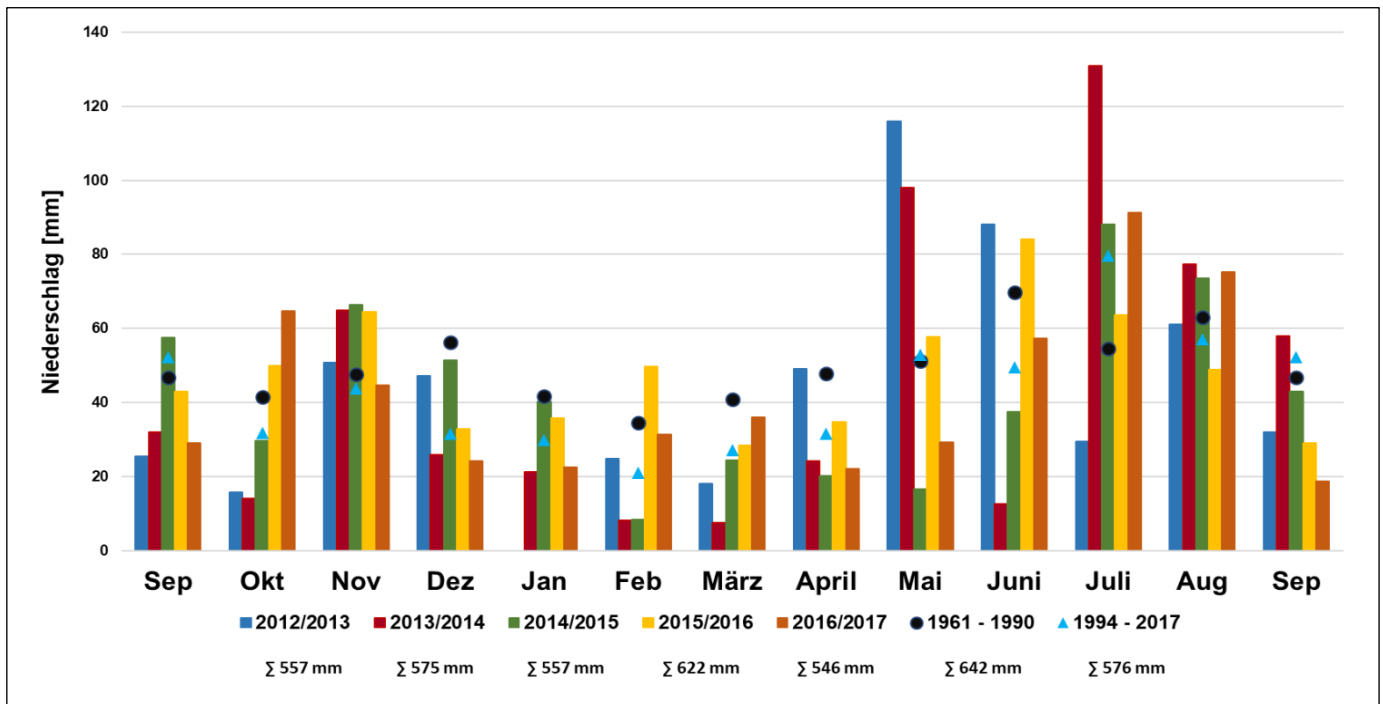
Vegetationsjahr 2016/2017

Das Vegetationsjahr 2016/2017 verlief mit Ø 10,5 °C etwas wärmer als das langjährige Mittel in Spröda (1994-2017) und deutlich wärmer als das langjährige Mittel des Deutschen Wetterdienstes (1961-1990). Mit einer Niederschlagssumme von 546 mm war es das niederschlagsärmste von allen Vegetationsjahren und lag damit deutlich unter dem langjährigen Mittel von Spröda (1994-2017). Der Winterroggenbestand konnte sich durch die kühlen Temperaturen und den niederschlagsarmen Frühling und Sommeranfang nur schlecht entwickeln, was sich auch in den Erträgen widerspiegelte.



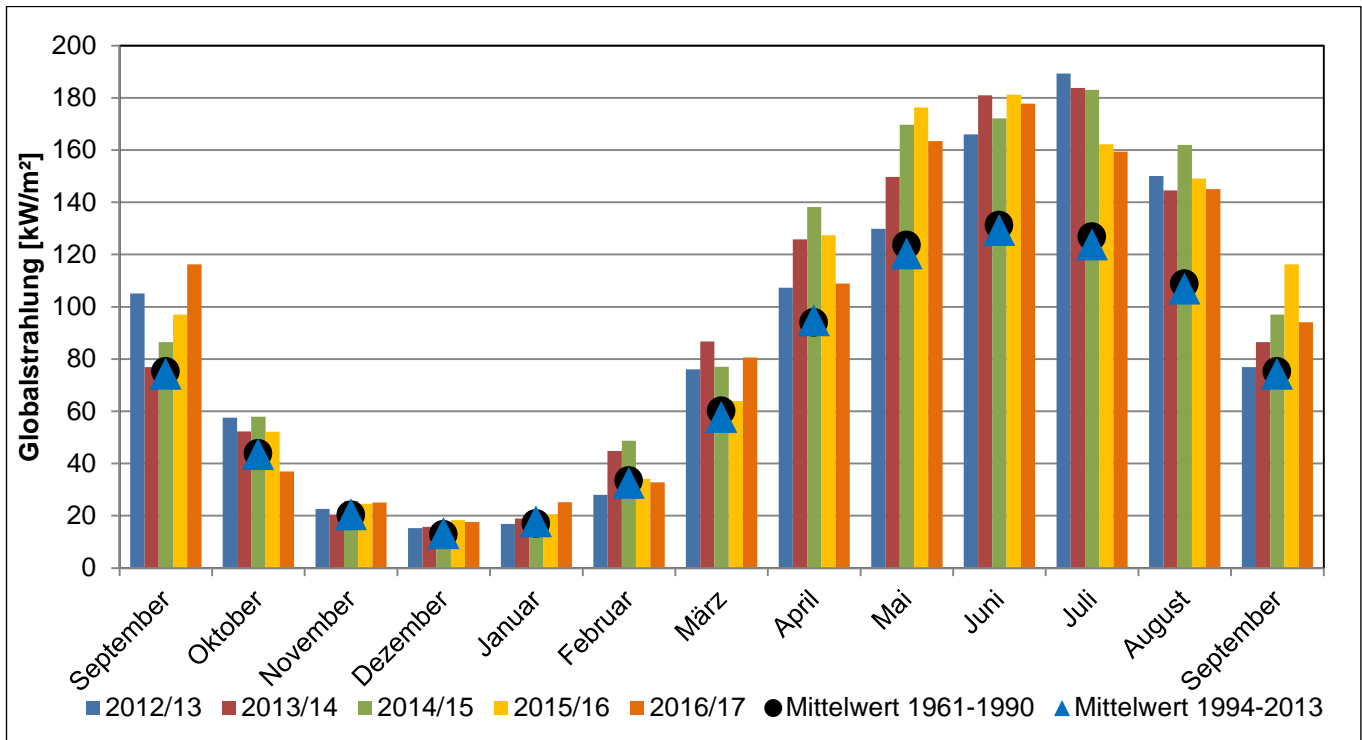
Vegetations-jahr	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep
2012/ 2013	15,2	9,3	5,6	1,6	0,1	-0,3	-1,2	8,8	12,9	16,6	20,5	19,0	13,8
2013/ 2014	13,7	11,0	5,1	4,2	1,2	4,8	7,3	11,4	13,0	16,8	20,9	17,3	16,0
2014/ 2015	16,0	12,5	6,6	2,9	3,0	1,5	5,6	8,7	13,4	16,8	20,4	21,3	13,9
2015/ 2016	14,3	8,3	7,9	7,2	0,5	3,8	4,5	8,6	14,7	18,5	20,3	18,9	18,0
2016/ 2017	18,0	9,2	4,2	2,4	-2,0	2,6	7,6	8,2	14,9	18,6	19,4	19,2	14,3
1961 bis 1990	13,9	9,4	4,6	1,0	-0,7	0,2	3,7	7,9	12,9	16,3	17,9	17,4	13,9
1994 bis 2017	15,1	10,4	5,6	1,9	0,5	1,8	4,7	9,3	13,7	16,9	19,6	19,2	15,1

Abbildung 2: Monatliche Mittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe Versuchsstation Spröda, Angaben DWD



Vegetations-jahr	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep
2012/2013	25	16	51	47	0	25	18	49	116	88	30	61	32
2013/2014	32	14	65	26	21	8	8	24	98	13	131	77	58
2014/2015	58	30	66	51	40	8	25	20	17	38	88	74	43
2015/2016	43	50	64	33	36	50	29	35	58	84	64	49	29
2016/2017	29	65	45	24	23	31	36	22	29	57	91	75	19
1961 bis 1990	47	42	48	56	42	35	41	48	51	70	55	63	47
1994 bis 2017	52	32	44	32	30	21	27	32	53	50	80	57	52

Abbildung 3: Monatliche Niederschlagssummen, Versuchsstation Spröda, Angaben DWD



Ø 88 Ø 91 Ø 96 Ø 94 Ø 91 Ø 70 Ø 71
 Σ 1141 Σ 1187 Σ 1246 Σ 1223 Σ 1183 Σ 909 Σ 922

Vegetationsjahr	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep
2012/ 2013	105	58	23	15	17	28	76	107	130	166	189	150	77
2013/ 2014	77	52	20	16	19	45	87	126	150	181	184	145	86
2014/ 2015	86	58	26	12	16	49	77	138	170	172	183	162	97
2015/ 2016	97	52	25	18	20	34	64	127	176	181	162	149	116
2016/ 2017	116	37	25	18	25	33	81	109	163	178	159	145	94
1961 bis 1990	75	44	20	13	17	33	60	94	124	131	127	109	75
1994 bis 2013	74	43	21	13	18	33	58	95	120	129	124	107	74

Abbildung 4: Monatliche Mittel der Globalstrahlung Versuchsstation Spröda, Angaben DWD

2.3 Versuchsdurchführung

2.3.1 Versuchsaufbau

Die Versuchsfläche befindet sich auf der Versuchsstation der BioChem agrar GmbH in Trossin. Es wurden zwei Versuche angelegt. Der erste Versuch, im Folgenden Grundversuch (GV) genannt, baut auf Vorversuche des Projektes EVA der Jahre 2005 bis 2009 bzw. EVA II der Jahre 2009 bis 2013 auf. Der zweite Versuch, im Folgenden Ertragsprüfungsversuch (EPV) genannt, wurde zur Datensicherung des Ertragsniveaus angelegt und dient dazu, die jeweiligen Jahreseinflüsse statistisch aus dem Anbauversuch herauszurechnen. Zu jedem der beiden Versuche (Grundversuch und Ertragsprüfungsversuch) wurden jeweils eine Grundanlage (GA) und eine Spiegelanlage (SA), in welcher alle Fruchtfolgen aus dem jeweiligen Versuch um ein Jahr versetzt angebaut wurden, angelegt. Im Grundversuch wurden in der Grundanlage 10 Prüfglieder/Fruchtfolgen in 4-facher Wiederholung untersucht, wozu 40 Parzellen angelegt wurden. Unter diesen 10 Fruchtfolgen befanden sich zwei Fruchtfolgen mit Dauerkulturen (Fruchtfolge 9 und 10), welche nicht in der Spiegelanlage angebaut wurden. In der Spiegelanlage wurden demnach acht Fruchtfolgen in 4-facher Wiederholung angebaut, wozu 32 Parzellen angelegt werden mussten. Eine Übersicht über die im Grundversuch angebauten Fruchtarten ist für die Fruchtfolgen 1 bis 8 in Tabelle 1 und für die Fruchtfolgen 9 und 10 (Dauerkultur-Fruchtfolgen) in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht über die im Grundversuch angebauten Fruchtarten für die Fruchtfolgen 1 bis 8 (FF = Fruchtfolge, z. B. 2013/2014 = Grundanlage im Jahr 2013 und Spiegelanlage im Jahr 2014)

FF	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017
1	WiGerste (GPS, HF) S. b. x s. (GPS, SZF)	Mais (GPS, HF)	WiTriticale (GPS, HF) Phacelia (GD, SZF)	WiRoggen (Korn, HF)
2	Senf (GD, SZF) S. bicolor (GPS, HF)	Grünroggen (GPS, WZF) Mais (GPS, ZF)	WiTriticale (Korn, HF)	WiRoggen (Korn, HF)
3	Senf (GD, SZF) Mais (GPS, HF)	Grünroggen (GPS, WZF) S. b. x s. (GPS, ZF)	WiTriticale (GPS, HF) Einj. Weidelgras (GPS, SZF)	WiRoggen (Korn, HF)
4 Ackerfutter-FF	Luzernegras (GPS, HF)	Luzernegras (GPS, HF)	Mais (GPS, HF)	WiRoggen (Korn, HF)
5 Rüben-FF	Wickroggen (GPS, HF)	W. Weidelgras (GPS, WZF) Mais (GPS, ZF)	Zuckerrübe (GPS, HF)	WiRoggen (Korn, HF)
6 ökonom. FF	Mais (GPS, HF)	Mais (GPS, HF)	Mais (GPS, HF)	WiRoggen (Korn, HF)
7 Klimagas-FF -25 % N zu FF 3	Senf (GD, SZF) Mais (GPS, HF)	Grünroggen (GPS, WZF) S. b. x s. (GPS, ZF)	WiTriticale (GPS, HF) Einj. Weidelgras (GPS, SZF)	WiRoggen (Korn, HF)
8 Biodiversitäts-FF	Wickroggen (GPS, WZF) Mais (GPS, ZF)	Hybridroggen (GPS, HF)	Blühmischung (GPS, HF)	WiRoggen (Korn, HF)

Tabelle 2: Übersicht über die im Grundversuch angebauten Fruchtarten für die Fruchtfolgen 9 und 10 (Dauerkultur-Fruchtfolgen)

FF	2014	2015	2016	2017
9	Szarvasigras (GPS, HF)	Szarvasigras (GPS, HF)	Szarvasigras (GPS, HF)	Szarvasigras (GPS, HF)
10	Durchwachsene Silphie (GPS, HF)	Durchwachsene Silphie (GPS, HF)	Durchwachsene Silphie (GPS, HF)	Durchwachsene Silphie (GPS, HF)

Die im Grundversuch angebauten Fruchtfolgen berücksichtigten sowohl traditionelle Kulturpflanzen (Mais, Getreidepflanzen) als auch neuere Arten, wie Sorghumhirsen. Weiterhin wurde die Kombination von Energiepflanzen und Marktfrüchten geprüft. Zur Erhöhung der Biodiversität sind mit Zuckerrüben, Gemenge (z. B. Wickroggen) und Blümmischungen weitere für die Rohstoffpflanzenproduktion interessante Kulturen in die Fruchtfolgen aufgenommen worden. Zur optimalen Ausnutzung der gesamten Vegetationszeit kam den Zwischenfrüchten (Sommer- als auch Winterkulturen) und dem Zweikultur-Nutzungssystem eine große Bedeutung zu. Das Ziel der ganzjährigen Bodenbedeckung zur Vermeidung von Erosionen und Nährstoffverlagerungen im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie konnte auch durch Ackergras-(Leguminosen)-Mischungen erzielt werden (LfULG, 2015).

Die ertragsstärksten Fruchtfolgen aus Vorprojekten, bestehend aus einer Kombination von C₃-Pflanzen (Getreideganzpflanzen) und C₄-Pflanzen (Mais, Futterhirse, Sudangrashybride) wurden zur Ertrags- und Datensicherung weiterhin geprüft. Da Wintergetreide im Vergleich zu den Sommergetreidekulturen einen bedeutenden Mehrertrag von 20-25 % realisierte (LfULG, 2009; GRUNEWALD & JÄKEL, 2014), wurde auf Sommerarten in den Anbausystemen verzichtet. Versuche mit Futterhirsen und Sudangrashybriden zeigten ein höheres Ertragspotenzial der Futterhirsen (*Sorghum bicolor*), dagegen eine bessere und schnellere Abreife bei den Sudangrashybriden (*Sorghum bicolor* x *sudanense*, THEIß & JÄKEL, 2012, 2014). Demzufolge wurden Futterhirsen als Hauptfrüchte und die Sudangrashybriden als Zweit- bzw. Sommerzwischenfrüchte in die Fruchtfolgen aufgenommen. In der Versuchsperiode 2013-2017 wurde Luzerne-Klee gras mit dem trocken toleranteren Luzernegras, einem Gemenge aus Luzerne, Knautgras und Glatthafer, ausgetauscht, da Rotklee in den meisten Versuchsjahren aufgrund von Wassermangel verdrängt wurde. Das Ziel der Gewinnung und Darstellung von Zuckerrüben als nachhaltigen nachwachsenden Rohstoff und eines vermehrten Anbaus in der Praxis verfolgte Fruchtfolge 5. Des Weiteren wurden themenspezifische Anbausysteme konzipiert (Fruchtfolgen 6, 7, 8):

- die ökonomisch optimierte Fruchtfolge 6 (Mais-Referenz-Fruchtfolge)
- die Klimagas-optimierte Fruchtfolge 7, die analog der Fruchtfolge 3 aufgebaut ist, allerdings mit 25 % weniger Stickstoff gedüngt wurde
- die Biodiversitäts-Fruchtfolge 8 als Anziehungspunkt für Brutvögel und Blütenbesucher

Bei der Versuchsplanung des Projektes wurden standortbedingt sowohl Roggen-Reinbestände als auch Gemenge, wie Wickroggen – ein winterhartes Gemenge aus Winterwicke und Winterroggen, zum Teil erhältlich mit Grasmischungspartnern, wie Wiesenschwingel oder Welschem Weidelgras – in den Fruchtfolgen 5 und 8 erprobt (LfULG, 2015).

Bis auf die Dauerkultur-Fruchtfolgen schlossen alle Fruchtfolgen des Grundversuchs einheitlich mit dem Anbau von Winterroggen zur Kornnutzung ab.

Im Ertragsprüfungsversuch wurden für die Fruchtfolgen 1 bis 3 aus dem Grundversuch alle Fruchtarten angebaut, welche in dem entsprechenden Jahr nicht im Grundversuch vorhanden waren, so dass in jedem Jahr jede

Fruchtart der Fruchtfolgen 1 bis 3 entweder im Grundversuch in der Grund- oder Spiegelanlage oder im Ertragsprüfungsversuch in der Grund- oder Spiegelanlage (1*, 2* und 3*) stand. Des Weiteren wurden im Ertragsprüfungsversuch eine reine Mais-Fruchtfolge integriert (FF 4*) und die Fruchtfolge 1* des Ertragsprüfungsversuchs nochmals im gleichen Jahr gespiegelt (FF 1**). Die Fruchtfolgen 1*, 2*, 3* und 1** wurden jeweils in 4-facher Wiederholung sowohl in der Grundanlage als auch in der Spiegelanlage angebaut. Die Fruchtfolge 4* wurde in 4-facher Wiederholung nur in der Grundanlage angebaut. Eine Übersicht über die im Ertragsprüfungsversuch angebauten Fruchtarten ist für die Fruchtfolgen 1*, 2*, 3* und 1** in Tabelle 3 und für die Fruchtfolge 4* in Tabelle 4 gegeben.

Tabelle 3: Übersicht über die im Ertragsprüfungsversuch angebauten Fruchtarten für die Fruchtfolgen 1 bis 3

FF	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017
1*	WiTriticale (GPS, HF) <i>Phacelia</i> (GD, SZF)	WiRoggen (Korn, HF)	WiGerste (GPS, HF) <i>S. b. x s.</i> (GPS, SZF)	Mais (GPS, HF)
2*	WiTriticale (Korn, HF)	WiRoggen (Korn, HF)	Senf (GD, SZF) <i>S. bicolor</i> (GPS, HF)	Grünroggen (GPS, WZF) Mais (GPS, ZF)
3*	WiTriticale (GPS, HF) Einj. Weidelgras (GPS, SZF)	WiRoggen (Korn, HF)	Senf (GD, SZF) Mais (GPS, HF)	Grünroggen (GPS, WZF) <i>S. b. x s.</i> (GPS, ZF)
1**	WiTriticale (GPS, HF) <i>Phacelia</i> (GD, SZF)	WiRoggen (Korn, HF)	WiGerste (GPS, HF) <i>S. b. x s.</i> (GPS, SZF)	Mais (GPS, HF)

FF = Fruchtfolge; z. B. 2013/2014 = Grundanlage im Jahr 2013 und Spiegelanlage im Jahr 2014

Tabelle 4: Übersicht über die im Ertragsprüfungsversuch angebauten Fruchtarten für die Fruchtfolge 4*.

FF	2013	2014	2015	2016
4*	Mais (GPS, HF)	Mais (GPS, HF)	Mais (GPS, HF)	Mais (GPS, HF)

Die Versuchspläne für die einzelnen Versuchsjahre des Grund- und Ertragsprüfungsversuchs sind jeweils für die Grund- und Spiegelanlage in Tabelle A 64 wiedergegeben.

2.3.2 Anbautechnik

Für eine hohe Rohstoff- und Energiegewinnung aus Pflanzen ist der Trockenmasseertrag ein bedeutendes Kriterium. Dieser korreliert bei den meisten Kulturarten mit dem Biogas/Methangas- bzw. Bruttoenergieertrag (RÖHRICHT et al., 2008). Weiterhin werden für die stoffliche Verwertung spezielle Qualitäten bestimmter Pflanzenteile und Inhaltsstoffe benötigt. Geeignete Biogaspflanzen müssen sich weiterhin durch eine gute Silier- und Vergärbarkeit auszeichnen, wobei der TS-Gehalt des Erntegutes eine große Rolle spielt. Aus diesem Grund wurden an den Standort (leichte Böden, geringe Wasserspeicherkapazität des Oberbodens, geringe Niederschläge) angepasste Sorten gewählt, die hohe Mengen an Bio-Trockenmasse für die Biogasproduktion bereitstellen, sowie eine möglichst rasche Jugendentwicklung und ein günstiges Abreifeverhalten aufweisen. Da der mittelspäte Mais „Atletico“ (S 280) im Vorgängerprojekt in kühleren Versuchsjahren und als Zweitfrucht nicht zufriedenstellend abreifte, wurde auf frühere Mais-Sorten (Hauptfrucht: S 240-S 270 „Ronaldinio“/„Grosso“/„Agro Vitallo“, Zweitfrucht: S 230-S 240 „Padrino“/„Claudio“) gesetzt. Die Sorghum bicolor-Sorte „Herkules“ wurde 2013 nach den aktuellen Anbauempfehlungen ausgewählt (THEIß & JÄKEL, 2012 sowie mündliche Mitteilung 2013). Da die Sorte „Palazzo“ bereits in Versuchen zur Ertragsprüfung von Hybridroggen an drei sächsischen Standorten zum Einsatz kam, wurde sie zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse auch hier verwendet (GRUNEWALD & JÄKEL, 2014 b). Für Wickroggen, ein winterhartes Gemenge aus Roggen und Wicke, wurde die aussaatfertige Variante mit Untersaat (Welsches Weidelgras) ausgesucht (Wickroggen Plus), um in Fruchtfolge 5 kostengünstig zu verfahren. Das Welsche Weidelgras wurde nach der Wickroggen-Ernte als Winterzwischenfrucht vor Mais weiter genutzt. Die Luzernegras-Mischung QA7 (4 kg/ha Knautgras, 3 kg/ha Glatthafer und 13 kg/ha Luzerne) für wechsellückige bis trockene Standorte entspricht den Normen einer Sächsischen Qualitätsmischung. Als Blümmischung zur Biomasseerzeugung wurde die ökonomisch ausgerichtete „BG 90“ empfohlen. Diese ist noch zur Aussaat nach Aberntung von GPS-Getreide geeignet. Von einer einjährigen Biogas-Wildpflanzenmischung, wie die „BG 80“, wurde aufgrund des relativ späten Aussaattermins nach Hybridroggen abgeraten (SAATENZELLER, 2014 mündliche Mitteilung; LfULG, 2015). Die anbautechnischen Maßnahmen erfolgten nach den Prinzipien der guten fachlichen Praxis. Bei allen Fruchtarten wurde ein standortüblicher Aussaattermin gewählt. Die Berechnung der Aufwandmenge an Gesamtstickstoff für die einzelnen Pflanzenarten erfolgte mithilfe des Programms BEFU. Dieses Programm berücksichtigt den mineralischen Nährstoffgehalt des Bodens (N_{\min} -Gehalt) vor der Düngung im Frühjahr und die Ertragserwartung der Fruchtart (Nährstoffentzug bei der Ernte). Die Kulturarten in Fruchtfolge 7 als klimagasioptimierte Variante wurden nur mit 75 % N_{optimal} versorgt. Im Jahr 2013 erfolgte die N-Düngergabe mittels KAS (Kalkammonsalpeter aus 13,5 % Nitratstickstoff, 13,5 % Ammoniumstickstoff und 22 % Calciumcarbonat), 2014 hauptsächlich mittels Alzon 46 (Harnstoff mit Nitrifikationshemmstoff, 46 % N Gesamtstickstoff als Carbamidstickstoff) und 2015 bis 2017 hauptsächlich mit Piamon 33-S (Ammoniumsulfat-Harnstoff aus 22,6 % Carbamidstickstoff, 10,4 % Ammoniumstickstoff und 12 % wasserlöslichem Schwefel). Zu Mais und Sorghum wurde 2014 erstmalig eine Unterfußdüngung von 18 kg N/ha Diammonphosphat (DAP – 18 % Ammonium, 46 % wasserlösliches Phosphat) gegeben. Das Abschlussfruchtfolgeglied Winterroggen wurde jeweils nicht gedüngt. Im Versuchsjahr 2014 fand eine Grunddüngung der Versuchspartellen statt (Triplesuperphosphat mit 46 % Phosphat; Kornkali aus 40 % Kaliumoxid, 6 % Magnesiumoxid, 4 % Natriumoxid und 12,5 % Schwefeltrioxid). Die letzte Grunddüngung der Versuchspartellen erfolgte im März 2011 (LfULG, 2014; LfULG, 2015).

Da Energiepflanzen im Vergleich zu Marktfrüchten nicht vollkommen „rein“ (ohne Unkräuter) geerntet werden müssen, ist der intensive Einsatz von Pflanzenschutzmitteln unnötig. Je nach Pflanzenart und Unkrautwachstum bzw. Schädlingsbefall wurde eine niedrige bis mittlere Behandlungsintensität gewählt. Gegen ein- und zweikeimblättrige Schädgräser bzw. -kräuter kamen jeweils für die Pflanzenart zugelassene und empfohlene Herbizide zum Einsatz (Successor, Maister Power, Kelvin und Certrol B [Mais], Gardo Gold [C_4 -Pflanzen, Rübe], Rebell, Betanal Expert, Fusilade Max und Spectrum [Rübe] sowie Arelon, Fenikan und Herold SC [Getreide]). Zur Bekämpfung von beißenden sowie saugenden Insekten wurde das Insektizid Karate Zeon verwendet. Die schlecht entwickelten Hybridroggen- und Triticalebestände wurden 2013/2014 bzw. 2014/2015 mit Fungiziden gegen Pilzkrankheiten (Amistar, Folicur) und Wachstumsreglern (CCC) zur Halmfestigung und Bestockung behandelt. Auch die Rübe

wurde in der Grundanlage gegen pilzliche Schaderreger gespritzt (Fungizid Juwel). In den Jahren 2016 und 2017 kamen keine Fungizide und Wachstumsregler zum Einsatz. Die Maiszünslerbekämpfung erfolgte auf biologische Weise mithilfe der Schlupfwespenart *Trichogramma brassicae*. Die weniger als 0,5 mm großen Trichogramma-Weibchen parasitieren die Maiszünsler-Eier, indem sie ihre Eier direkt in die des Maisschädling ablegen. Kurze Zeit später schlüpfen aus den Maiszünsler-Eiern neue Schlupfwespen, die weitere Maiszünsler-Eier befallen und somit das Schadpotenzial weiter reduzieren (BIOCARE 2013). Die Nützlinge wurden über Trichosafe®-Kugeln der Firma Biocare manuell ausgebracht. Die Standard-Variante für einen mittleren Maiszünsler-Befall beträgt 100 Kugeln je Hektar. Pro Parzelle wurden zwei Zellstoffkugelchen mit je 1.100 Schlupfwespen auf den unteren Maisblättern verteilt. Die Ausbringung erfolgte zweimalig, zum Flugbeginn des Maiszünslers und nochmals 14 Tage später. In den Trichosafe®-Kugeln befinden sich verschiedene Entwicklungsstadien der von Trichogramma parasitierten Wirtseier und nicht geschädigte Eier, so dass sich der Schlupf zur längeren Wirksamkeit über einen Zeitraum von bis zu 3 Wochen hinzieht. Der richtige Ausbringzeitpunkt wurde vom Referat Pflanzenschutz des LfULG über ein Monitoring mithilfe von Lichtfallen bestimmt (LfULG, 2015). Die angebauten Sorten sowie Aussaat- und Auflauftermine sind im Anhang in Tabelle A 1 zu finden. Eine Übersicht über die erfolgten Bewirtschaftungsmaßnahmen ist in den Tabelle A 2 bis Tabelle A 11 angegeben.

2.3.3 Datenerhebung

Beim Fruchtfolgeversuch wurden umfangreiche Bonituren und Messungen erhoben, z. B. für Studien zu biotischen und abiotischen Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus sowie für ökonomische Bewertungen. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Prüfmerkmale am Standort Trossin.

Tabelle 5: Übersicht über die erhobenen Daten im Energiefruchtfolgeversuch am Standort Trossin

Prüfmerkmal	Beschreibung
Wetterdaten	Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung - LfULG-Wetterstation Spröda
Boden	NO ₃ -N, NH ₄ -N, N _{min} , P, K, Mg, pH, Bodenwassergehalt Bodentiefen: 0-30, 30-60, 60-90 cm Termine: Vegetationsbeginn, Ernte, Vegetationsende
Bestandesstruktur	Aufgang, Bestandeshöhe (nur bei Szarvasigras und Durchwachsene Silphie), Unkrautbesatz, Krankheiten und Schädlinge (nur bei Winterroggen)
Erntegut	FM-Ertrag, TM-Ertrag, TS-Gehalt nach Trocknung bei 105 °C, Makronähstoffe: N, P, K, Mg, Qualitätsparameter MF Winterroggen: Fallzahl, Rohprotein, TKG, Hektolitergewicht, Stärke
Wirtschaftlichkeit	Arbeitsgänge, Betriebsmittel

Die Analyse der Bodenproben und Pflanzeninhaltsstoffe erfolgte prüfgliedweise anhand von Mischproben, die Ertragsdaten wurden parzellenweise erhoben. Nachfolgend wird auf Methoden der Datenerhebung eingegangen, die zur Ergebnisdarstellung in diesem Bericht relevant sind:

Ertragsdatierung:

Für jede Fruchtart der acht untersuchten Fruchtfolgen, teilweise mit Einschränkungen bei den Gründüngungspflanzen, wurde der Frisch- und Trockenmasseertrag (dt/ha) sowie der Trockensubstanzgehalt (Masse-%) zum Zeitpunkt der Ernte erfasst. Der Frischmasseertrag einer Fruchtart wurde bei Beerntung einer Parzelle durch einen Feldhäcksler mit integrierter Waage ermittelt. Aus der Erntemasse wurden parzellenweise repräsentative Proben für die Bestimmung des absoluten Trockenmasseertrages (Trocknung bei 105 °C im Trockenschrank) gezogen. Der Trockensubstanzgehalt (in Masse-%) ist das Verhältnis aus Trockenmasse und Frischmasse. Da jede Kulturart auf vier Parzellen angebaut wurde, wurde zur Diagrammdarstellung der Mittelwert aus vier Proben berechnet (LfULG, 2015).

Pflanzeninhaltsstoffanalytik:

Um die Nährstoffentzüge (in kg/ha) durch die angebauten Energiepflanzen aus dem Boden in Abhängigkeit vom Trockenmasseertrag berechnen zu können, wurden die Mineralstoffgehalte der wichtigsten Makronährstoffe (in Masse-%, bezogen auf die Trockenmasse) im anorganischen Verbrennungsrückstand, der Rohasche, analysiert (LfULG, 2015).

Bodenanalytik:

Der pflanzenverfügbare, mobile Stickstoff im Boden wurde über die N_{\min} -Methode erfasst. Dafür wurden Bodenproben aus drei Tiefen (0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm) im Frühjahr, nach der Ernte und im Herbst entnommen. Pro Parzelle wurden zwei Einstiche gemacht. Die Mischproben eines Prüfglieds (4 Parzellen) wurden gekühlt ins Labor gegeben. Der mineralische Stickstoffgehalt (Nitrat, Ammonium) wurde photometrisch von der Betriebsgesellschaft für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (BfUL) nach der VDLUFA-Vorschrift I, A 6.1.4.1 2002 analysiert. Phosphor und Kalium [mg/100 g] wurden in einem Calcium-Acetat-Lactat-(CAL-) Auszug (VDLUFA 2002, Methode I, A 6.2.1.1) und Magnesium [mg/100 g] photometrisch in einer Calciumchloridlösung erfasst (VDLUFA 1991, Band 1, A 6.2.4.1). Zur pH-Untersuchung mithilfe eines pH-Meters wurde der Boden mit einer Calciumchloridlösung versetzt (VDLUFA 2016, Band 1, A5.1.1).

2.3.4 Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen

Nährstoffbilanzierung:

Eine Nährstoffbilanz gibt die Zufuhr und den Entzug an Nährstoffen in einer Bezugsebene (Betrieb, Schlag) innerhalb eines Bilanzzeitraumes (Fruchtfolge) an. Sie dient als Instrument zur Überprüfung des Nährstoffeinsatzes und zur Beurteilung der Nährstoffeffizienz eines Landnutzungssystems (KOLBE, 2007).

$$\text{Nährstoffsaldo} = \text{Nährstoffzufuhr} - \text{Nährstoffentzug}$$

Als Zufuhrgrößen gingen die mineralische Düngung und als Entzug die Nährstoffabfuhr durch die Ernteprodukte ein. Um die Nährstoffentzüge zwischen Getreide als GPS und Getreide als Marktfrucht vergleichen zu können, wurden die Nährstoffentzüge durch Korn und Stroh beim Marktfrucht-Getreide berechnet. Zur Darstellung der Salden-Mittelwerte (in kg Nährstoff/ha*a) je Fruchtfolge wurden die Nährstoffsalden der einzelnen Fruchtfolgeglieder der Grund- und Spiegelanlage aufsummiert und durch die Anzahl der Jahre ($n = 8$) geteilt.

Humusbilanzierung:

Die Humusbilanzierung dient dazu, bewirtschaftungsbedingte Veränderungen des Boden-Humusgehaltes abzuschätzen, um mit Zufuhr von organischen Stoffen auf den Erhalt des Humus und zum Schutz der Bodenstruktur bzw. Bodenfruchtbarkeit reagieren zu können. Der Humussaldo (in kg Humus-C/ha) wird bei einem Szenario ohne Gärrest aus der kulturspezifischen Veränderung des Humusvorrates (Humusbedarf) und der Humusreproduktion

durch Erntereste, Gründüngung und humusmehrende Fruchtarten (z. B. Zwischenfrüchte, mehrjährige Leguminosen) ermittelt.

$$\text{Humussaldo} = \text{Humuszufuhr} - \text{Humusbedarf}$$

Die Berechnung der Humusbilanz erfolgte mit Hilfe der unteren Werte der Humusäquivalente (kg Humus-C/ha) aus der VDLUFA-Methode (VDLUFA 2004). Die unteren Werte geben den Bedarf an, der für den Erhalt der Böden in einem guten Kulturzustand und die Aufrechterhaltung der Bodenfunktionen erforderlich ist. Für einige Rohstoffpflanzen, bei denen Koeffizienten fehlten, wurden Humusäquivalente „neuartiger“ Kulturen von „VDLUFA-bekanntem“ Pflanzen per Analogieschluss abgeleitet. Die in die Berechnung eingegangenen Koeffizienten sind im Kapitel 3.7.4 und in der Tabelle A 34 im Anhang zu finden. Für die mehrjährigen Kulturen Szarvasigras und Durchwachsene Silphie sind keine Koeffizienten verfügbar. Diese Kulturen gingen daher nicht in die Berechnung ein. Ganzpflanzengetreide, welches zur Milch- bis Teigreife geerntet wurde, wurde mit Getreide zur Körnernutzung gleichgestellt, da die Trockenmasseproduktion zu diesem Zeitpunkt bereits abgeschlossen ist. Für Zweitfruchtstellungen von Mais und Sorghumhirsen wurden Werte analog der Hauptfruchtstellung einbezogen. Stroh ging mit einem Koeffizienten von 100 kg Humus-C je Tonne Frischmasse, Zuckerrübenblätter mit einem Koeffizienten von 8 kg Humus-C je Tonne Frischmasse und Phacelia und Senf mit einem ertragsabhängigen Koeffizienten von 16 kg Humus-C je Tonne Frischmasse in die Berechnungen ein. Da für Phacelia und Senf außer im Jahr 2016 in der Spiegelanlage keine Ertragsdaten vorhanden waren, gingen in der Spiegelanlage nur die kulturspezifischen Koeffizienten für Phacelia und Senf in die Bilanzierung ein. Eine genaue Aufstellung der Berechnungen für die Humusbilanz ist in Tabelle A 34 im Anhang zu finden.

2.3.5 Statistische Auswertungsverfahren

Varianzanalyse

Mit einer Varianzanalyse werden Signifikanzen von einzelnen oder mehreren Einflüssen geprüft. Als Varianzanalyse bezeichnet man eine große Gruppe datenanalytischer und strukturprüfender statistischer Verfahren, die zahlreiche unterschiedliche Anwendungen zulassen. Ihnen gemeinsam ist, dass sie Varianzen und Prüfgrößen berechnen, um Aufschlüsse über die hinter den Daten steckenden Gesetzmäßigkeiten zu erlangen. Die Varianz einer oder mehrerer Zielvariablen wird dabei durch den Einfluss einer oder mehrerer Einflussvariablen (Faktoren) erklärt.

Bei einer einfaktoriellen Varianzanalyse untersucht man den Einfluss einer unabhängigen Variablen (Faktor) mit k verschiedenen Stufen (Gruppen) auf die Ausprägungen einer Zufallsvariablen. Dazu werden die k Mittelwerte der Ausprägungen für die Gruppen miteinander verglichen, und zwar vergleicht man die Varianz zwischen den Gruppen mit der Varianz innerhalb der Gruppen. Weil sich die totale Varianz aus den zwei genannten Komponenten zusammensetzt, spricht man von Varianzanalyse. Die einfaktorielle Varianzanalyse ist die Verallgemeinerung des t-Tests im Falle mehr als zwei Gruppen. Für $k=2$ ist sie äquivalent mit dem t-Test.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse berücksichtigt zur Erklärung der Zielvariablen zwei Faktoren (Faktor A und Faktor B).

Die zur Prüfung des Abschlussfruchtfolgegliedens berechnete Varianzanalyse wurde mittels des Programms „Excel 2016“ und des Add-In „Analyse-Funktionen“ durchgeführt.

Deskriptive Statistik

Um Varianzen der Datenquelle zu berücksichtigen, wurden folgende statistische Streuungsmaße der Einzelwerte berechnet:

Spannweite (Maximal-Minimal-Differenz)

Die Spannweite (Werteeinheit) ist die Differenz zwischen dem größten (Maximum) und dem kleinsten Wert (Minimum).

Standardabweichung (Stabw):

Die Standardabweichung (Werteeinheit) zeigt die reale Streubreite der aufgenommenen Werte eines Parameters, d. h. sie gibt an, wie weit die einzelnen Daten voneinander entfernt sind. Wird die Standardabweichung zu beiden Seiten des Mittelwertes abgetragen, so liegen bei normalverteilten Werten ca. 67 % der Werte in diesem Intervall. Eine geringe Standardabweichung bedeutet, dass die gemessenen Werte relativ nahe beieinander liegen, während eine hohe Standardabweichung für verstreute Daten spricht. Die Standardabweichung ist somit ein Maß für die Aussagekraft des Mittelwerts.

(Gleichung 1) Standardabweichung $STABW = \sqrt{(\sum[(x-\bar{x})^2]/(n-1))}$

- n = Stichprobenumfang
- x = erhobener Wert
- \bar{x} = Mittelwert

Die Standardabweichung wird berechnet, indem die Summe der Abweichungen der erhobenen Werte eines Parameters vom Gruppenmittelwert gebildet und durch die Anzahl der Einzelwerte (Stichprobenumfang) geteilt wird. Die Abweichungen werden zum Quadrat erhoben, so dass große Varianzen mehr Gewicht erhalten (KOSCHACK 2008).

Für die Auswertungen im Rahmen des Fruchtfolgeversuchs wurde die Stabw-Berechnungsfunktion des Programms Microsoft Excel 2010 genutzt.

Variationskoeffizient U

Der Variationskoeffizient (%) ist im Vergleich zur Standardabweichung kein reales, sondern ein relatives Streuungsmaß und eignet sich für übergreifende Auswertungen zentraler Daten. Die Motivation für diesen statistischen Kennwert ist, dass ein Parameter mit großem Mittelwert im Allgemeinen eine größere Varianz aufweist als einer mit einem kleinen Mittel- bzw. Erwartungswert. Da die Standardabweichung nicht normiert ist, kann nicht beurteilt werden, ob eine Varianz groß oder klein ist. Der Variationskoeffizient ist somit eine Normierung der Streubreite bzw. deren mathematischer Größe, wodurch eine gewisse Unabhängigkeit von der Maßeinheit gewonnen wird (BROSIUS 1998).

(Gleichung 2) Variationskoeffizient $U = 100 * STABW / \bar{x}$

- STABW = Standardabweichung
- \bar{x} = Mittelwert

Fehlerbalken sind eine graphische Repräsentation der Variabilität von Daten. Sie geben an, in welchem Bereich sich der tatsächliche Wert (ohne Messfehler) befinden könnte. Bei den Auswertungen dieses Berichts geben die Fehlerbalken den Standardfehler des Mittelwerts an.

Standardfehler (SF)

Der Standardfehler gibt eine Aussage über die „Genauigkeit“ des Mittelwerts in einer Stichprobe. Wird der Standardfehler zu beiden Seiten des Mittelwerts abgetragen, so liegt mit 67 %-iger Wahrscheinlichkeit der Mittelwert der Grundgesamtheit in diesem Intervall. Je geringer der Standardfehler des Mittelwerts ist, desto präziser und zuverlässiger sind die Rückschlüsse, die aufgrund der Stichprobenergebnisse auf die Grundgesamtheit gezogen werden können. Er nimmt mit zunehmender Stichprobengröße ab. Der Berechnung des Standardfehlers geht die

Berechnung der Standardabweichung voraus, d. h. je geringer die Varianz bzw. Streubreite der einzelnen Messwerte ist, desto kleiner fällt auch der Standardfehler des Mittelwerts aus (BROSIUS 1998).

(Gleichung 3) Standardfehler $SF = \text{Stabw} / (\sqrt{n})$

- STABW = Standardabweichung
- n = Stichprobenumfang

Ausreißer-Test (nach MUDRA 1958)

Nicht repräsentative Parzellenwerte wurden als Ausreißer gekennzeichnet, eliminiert und nicht in die nachfolgenden Berechnungen einbezogen.

(Gleichung 4) untere Ausreißergrenze $\alpha = 5 \% = \bar{x} - 1,96 * \text{Stabw}$

(Gleichung 5) obere Ausreißergrenze $\alpha = 5 \% = \bar{x} + 1,96 * \text{Stabw}$

- STABW = Standardabweichung
- \bar{x} = Mittelwert

Wenn ein Einzelwert nicht im Bereich von (Gleichung 5) liegt, ist dieser bei einem Überschreitungsniveau von 5 % als nicht zur Grundgesamtheit gehörend zu betrachten (MUDRA 1958).

2.4 Methodik THG Bewertung

Für die Berechnungen der THG-Emissionen und des KEA wurde das im EVA-Projekt entwickelte Tool MiLA (Model for integrated Life Cycle Assessment) verwendet (PETER et al. 2017). MiLA ist ein multivariates empirisches Modell, Microsoft Excel® 2010 Tool, welches auf dem Life Cycle Assessment (Ökobilanzansatz) entwickelt wurde, basierend auf ISO 14044 (2006) und ISO 14040 (2009). Dabei werden die betriebsspezifischen Boden- und Klimaeigenschaften, das Anbaumanagement und die Fruchtfolgeeffekte bei der Bilanzierung der THG-Emissionen und des KEAs jeder einzelnen Frucht berücksichtigt. Für die Berechnung jeder Frucht werden eine Feldgröße von 10 Hektar (ha) und eine Feld-Hof-Distanz von 5 Kilometern angenommen. Als Systemgrenze wurde eine Wiege (Ursprung) bis zum Hoftor (cradle to farm gate) Analyse gewählt. Dementsprechend werden alle Prozesse des Anbaus von der Herstellung der eingesetzten Produktionsmittel z. B. Dünger, Pflanzenschutzmittel (PSM), Saatgut, Diesel und Maschinen bis hin zur Ernte oder Silierung der Biomasse inklusive aller indirekten und direkten entstehenden THG-Emissionen und des KEA mit in die Berechnung einbezogen. Der Bilanzierungszeitraum für jede einzelne Frucht in der Fruchtfolge startet mit dem ersten Tag nach der Ernte der Vorfrucht und geht bis zur Ernte der bilanzierten Frucht. Die Biogasanlage inklusive der Produktion des Biogases liegt außerhalb der Systemgrenze, da dieser Aspekt nicht im Fokus des Tools ist.

Der Treibhauseffekt beschreibt den Beitrag anthropogener THG-Emissionen an der Erwärmung der Erdatmosphäre. Kohlendioxid (CO₂) wird als Referenzgas für die Berechnung des Global Warming Potential (GWP) oder Treibhausgaspotenzials verwendet. Für die Berechnung der THG-Emissionen werden CO₂, N₂O (Lachgas), NO_x (Stickstoffoxide) und NH₃ (Ammoniak) als indirekte Emissionen einbezogen. Diese werden mithilfe des GWP, dessen Wert die Erwärmungswirkung über eine Zeit von 100 Jahren eines bestimmten Treibhausgases im Vergleich zur Wirkung von CO₂ beschreibt, nach MYHRE et al. (2013), umgewandelt und in der Einheit kg CO₂-Äquivalent (Äq) dargestellt. Bei diesem Indikator gilt, je kleiner der errechnete Wert, desto geringer ist die Umweltbelastung.

Bei der Ermittlung des KEAs wird die Gesamtheit des Verbrauchs an Primärenergieträgern berechnet, der während der Herstellung, der Nutzung und der Entsorgung des ökonomischen Gutes entsteht (VDI 4600, 1997). Der KEA wird nach VDI 4600 (1997) berechnet und liefert die Basis, um die Prioritäten von Energieeinsparpotenzialen in ihrem komplexen Zusammenhang, zwischen Konstruktion, Herstellung, Nutzung und Entsorgung des Produktes aufzuzeigen. Ziel dieses Indikators ist die Erstellung einer Energiebilanz zur Beantwortung der Fragestellung, ob

zur Produktion und Aufbereitung der nachwachsenden Rohstoffe mehr Energie erforderlich war, als letztlich durch den Rohstoff geliefert wird.

2.5 Methodik ökonomische Auswertung

Datenquelle für die ökonomische Versuchsbewertung bilden die Grund- und Spiegelanlage des Fruchtfolgeversuches. Die ökonomische Bewertung erfolgt auf Basis einer Vollkostenkalkulation. Damit lassen sich die Ergebnisse bezogen auf die Fläche (EUR/ha) sowie auch als Stückkosten bezogen auf die Erzeugungsmenge (EUR/dt Trockenmasse bzw. EUR/m³ Methan) vergleichend darstellen. Bewertet werden die einzelnen Fruchtarten, die Anbausysteme mit Haupt- plus Zwischen- bzw. Zweitfrucht sowie die Fruchtfolgen insgesamt.

Die ökonomische Bewertung basiert auf den im Versuch ermittelten Parzellenerträgen, die nicht mit dem Ertragsniveau in Praxisbetrieben gleichzusetzen sind. Alle Preise und Kosten verstehen sich ohne Mehrwertsteuer.

Folgende Positionen sind in die Ergebnisermittlung eingeflossen:

+ Leistung

- Anbaukosten:

- Saatgut / Pflanzgut / Bestandsetablierung Dauerkulturen
- Düngemittel (Stickstoff, Kali, Phosphat)
- Pflanzenschutzmittel
- Arbeiterledigung (Maschinen- und Personalkosten aller durchgeführten Feldarbeitsgänge)
- Silolagerkosten
- Flächenkosten
- Gemeinkosten

= Ergebnis

- + Wert der Gärrestrückführung (= Ergebnis mit Gärrestwert)
- + EU-Direktzahlung (ca. 280 EUR/ha u. Jahr)
- + optional: mögliche Ausgleichszahlungen über AUK/AUNaP-Programm

Beim Anbau von Energiepflanzen für die Nutzung in der Biogasanlage ist das entscheidende Kriterium für die Leistungsbestimmung der aus dem Trockenmasseertrag resultierende Methan-Hektarertrag. Dabei wird davon ausgegangen, dass sämtliches Erntegut zu silieren ist – mit Ausnahme der zum Verkauf bestimmten Marktfrüchte (Triticale- und Roggenkorn). Dementsprechend bildet bei den Energiepflanzen das Silolager die Schnittstelle zum Abnehmer und fließt kostenmäßig in die Berechnung ein. Durch den Ernte- und Silierprozess entstehen Verluste an Trockenmasse und analog an Methanertrag, die hier mit insgesamt 12 % für Häckselgut und 20 % für Anwelkgut (Luzernegras, Weidelgras) in Ansatz gebracht sind. Ausgehend von den gemessenen Trockenmasseerträgen der einzelnen Prüfglieder und daraus rechnerisch ermittelten Methan-Bruttoerträgen bestimmt sich so der für die Leistung relevante Nettoertrag an Trockenmasse bzw. Methan. Das Methan wird mit 0,36 EUR/m³ bewertet. Dieser Wert leitet sich aus dem Marktpreis für Maissilage (30 % TS, mehrjähriges Mittel laut Erfassung durch die AMI 3,50 EUR/dt) bezogen auf den Methangehalt der Silage bei unterstellten 95 % oTS-Anteil und 340 l CH₄/kg oTS Methan-Ausbeute ab. Die Leistung der Verkaufsfrüchte berechnet sich aus dem Kornertrag bei 86 % TS und dem Marktpreis als fünfjähriges Mittel für Futterroggen (13,10 EUR/dt) bzw. Triticale (14,60 EUR/dt). Der Strohertrag bleibt unberücksichtigt.

Die Saatgutkosten beruhen auf der Aussaatmenge im Versuch und den Richtwerten für Saatgutpreise (100 % Zukauf) gemäß der sächsischen Planungs- und Bewertungsdaten (LfULG), im Einzelfall ergänzt durch recherchierte Kosten. Bei den beiden Dauerkulturen werden die Bestandsetablierungskosten im Ansaat- und Anpflanzjahr, also

für Saat- bzw. Pflanzgut, Düngung, Pflanzenschutzmittel sowie Feldarbeitsgänge inklusive Maschinenhacke, auf eine Nutzungsdauer von 10 Jahren verteilt.

Zur Ermittlung der Düngemittelkosten werden zum einen die tatsächlich ausgebrachten Stickstoffmengen und zum anderen die laut Pflanzeninhaltsstoff-Analyse mit dem Erntegut abefahrenen Nährstoffmengen an Phosphat und Kali (entspricht einer Düngung nach Entzug) herangezogen. Die Bewertung erfolgt mit den Prognosepreisen aus der Planungsdatenbank (Stand Februar 2018): 0,75 EUR/kg N; 0,80 EUR/kg P₂O₅ und 0,55 EUR/kg K₂O.

Für die im Versuch eingesetzten Pflanzenschutzmittel werden Kosten auf Basis mehrjähriger Listenpreise unter Berücksichtigung eines praxisüblichen Rabattes von 15 % veranschlagt. Eine Anwendung von Trichogramma-Rähmchen (Handausbringung) im Mais schlägt mit 38 EUR/ha und Anwendung recht teuer zu Buche.

Bei der Ermittlung der Arbeiterledigungskosten für die Feldarbeiten werden praxisnahe Verhältnisse unterstellt, d. h. eine Schlaggröße von 20 ha mit entsprechender Mechanisierung, abgestimmt auf 6 m Grund-Arbeitsbreite. Die Erntekosten inklusive Transport und Einlagerung in das Silo errechnen sich in Abhängigkeit vom Frischmasseertrag. Variable und fixe Maschinenkosten sowie der Arbeitszeitbedarf für die durchgeführten Arbeitsgänge (Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, Hacken, Mulchen/Mähen, Ernten/Einlagern) stammen aus dem KTBL-Feldarbeitsrechner (Abfrage Stand Februar 2018). Der Dieselpreis liegt inklusive Gasölbeihilfe bei 0,70 EUR/l, für die Personalkosten wird der Ansatz aus den Planungsdaten von 13,10 EUR/Akh genutzt.

Für die Lagerung im Silo werden für das Siliergut pauschal 0,28 EUR/dt Frischmasse veranschlagt.

Die Flächenkosten für den Standort belaufen sich auf insgesamt 232 EUR/ha und Jahr und enthalten die Pacht (162 EUR/ha), Grundsteuer und Berufsgenossenschaft (40 EUR/ha) sowie die Kalkung zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in Höhe von 30 EUR/ha.

Alle anderen betrieblichen Kosten wie Leitung/Verwaltung, Buchführung/Beratung, Betriebsversicherungen, Beiträge/Gebühren, Sachkosten und sonstige Aufwendungen sind in der Position Gemeinkosten als Richtwert von 150 EUR/ha zusammengefasst.

Als Ergebnis wird die Differenz zwischen der Leistung und den Anbaukosten in EUR je Hektar ausgewiesen. Zusätzlich dazu sind die Stückkosten (Herstellungskosten) in der Diskussion interessant. Sie errechnen sich aus den Anbaukosten bezogen auf den Silage-Trockenmasse- bzw. Methanertrag je Hektar. EU-Direktzahlungen und Zuwendungen aus dem sächsischen Agrarumweltprogramm könnten hier noch kostenmindernd angesetzt werden.

Wenn die Energiepflanzen als Silage in einer Biogasanlage (betriebseigen oder extern) eingesetzt werden, ist in der Regel davon auszugehen, dass eine Gärrestrückführung ganz oder teilweise stattfindet. Sofern der Gärrest wieder auf den betriebseigenen Anbauflächen ausgebracht wird, ist dessen Wert dem Verfahren als Leistung gutzuschreiben. Der Wert der Gärrestrückführung bemisst sich an der Nährstoffrücklieferung (N, P₂O₅, K₂O) abzüglich der Ausbringkosten – letztere veranschlagt mit 4,00 EUR/m³. Phosphat und Kali gelangen zu 100 % zurück in den Kreislauf, ihr Wert ist gleich dem kostenmäßigen PK-Entzug. Für Stickstoff werden 60 % des N-Gehaltes der Ernte-Trockenmasse angerechnet (40 % N-Verluste unterstellt) und mit 0,75 EUR/kg N bewertet. Die Höhe des Gärrestanfalls beläuft sich bei Rüben auf 80 % der Frischmasse, bei allen anderen Kulturen auf 75 %. Das entspricht einem Masseverlust bei der Vergärung von 20 bzw. 25 %.

Bei einer Vollkostenkalkulation sind dem Ergebnis je Hektar zuletzt auch die EU-Direktzahlungen hinzu zu rechnen. Je nach betriebsindividuellen Verhältnissen differenziert die Höhe der Betriebsprämie. Ausgehend von einer

mittleren Betriebsgröße (ca. 500 ha LF) und der Erfüllung der Greening-Voraussetzungen sind in der Auswertung EU-Direktzahlungen mit einem Schätzwert von 280 EUR/ha und Jahr veranschlagt.

In Praxisbetrieben, insbesondere solche mit umfangreicherem Futterbau, ist eine Beteiligung am Sächsischen Agrarumwelt- und Naturschutzprogramm (AUNaP) naheliegend, sofern für sie eine Antragstellung möglich ist. Daher kämen auch für die Versuchsbewertung zumindest optional Ausgleichszahlungen aus AUNaP in Frage, die das Ergebnis positiv verändern würden. Die Kosten für entsprechende Maßnahmen sind ohnehin in der Berechnung enthalten. Demnach könnten alle Fruchtfolgen außer FF 6 (Silomais) und den Dauerkulturen wenigstens einmal die Zuwendung für Zwischenfruchtanbau (Vorhaben AL.4, 78 EUR/ha) erhalten, sofern keine Pflanzenschutzmittel im Sperrzeitraum gespritzt wurden und die sonstigen Zuwendungsvoraussetzungen erfüllt sind. Interessant wäre AUNaP auch für die Fruchtfolgen 4 und 5 im Hinblick auf das Vorhaben AL.3 „Umweltschonende Produktionsverfahren des Ackerfutter- und Leguminosenanbaus“ (244 EUR/ha). Fruchtfolge 4 könnte sogar zweimal von der Zuwendung profitieren. Außerdem besteht für die Fruchtfolge 8 (Biodiversität) eventuell die Möglichkeit, Zuwendung für die einjährige Blütmischung (Vorhaben AL.5d, 831 EUR/ha) zu erhalten – dafür müssten allerdings die Voraussetzungen v. a. bezüglich Bewirtschaftungspause, Düngung und Pflanzenschutz erfüllt sein, was im Trossiner Versuch nicht gegeben ist.

3 Ergebnisse

3.1 Frisch- und Trockenmasseerträge

Die Frischmasseerträge der einzelnen Fruchtfolgen sind für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch kumulativ über den gesamten Versuchszeitraum von 2013 bis 2017 in Abbildung 5 dargestellt. Der Ertragsprüfungsversuch ist jeweils durch ein „*“ und die Spiegelanlage durch ein „s“ hinter der Fruchtfolge-Nummer gekennzeichnet. Da die Fruchtfolge 1 im Ertragsprüfungsversuch wiederholt und gespiegelt wurde, sind die Bezeichnungen 1** und 1**s in der Abbildung 5 und Abbildung 6 vorhanden (siehe auch Tabelle 3). Die Zeiträume, in denen die einzelnen Kulturen angebaut wurden, sind in Tabelle 1 bis Tabelle 4 angegeben.

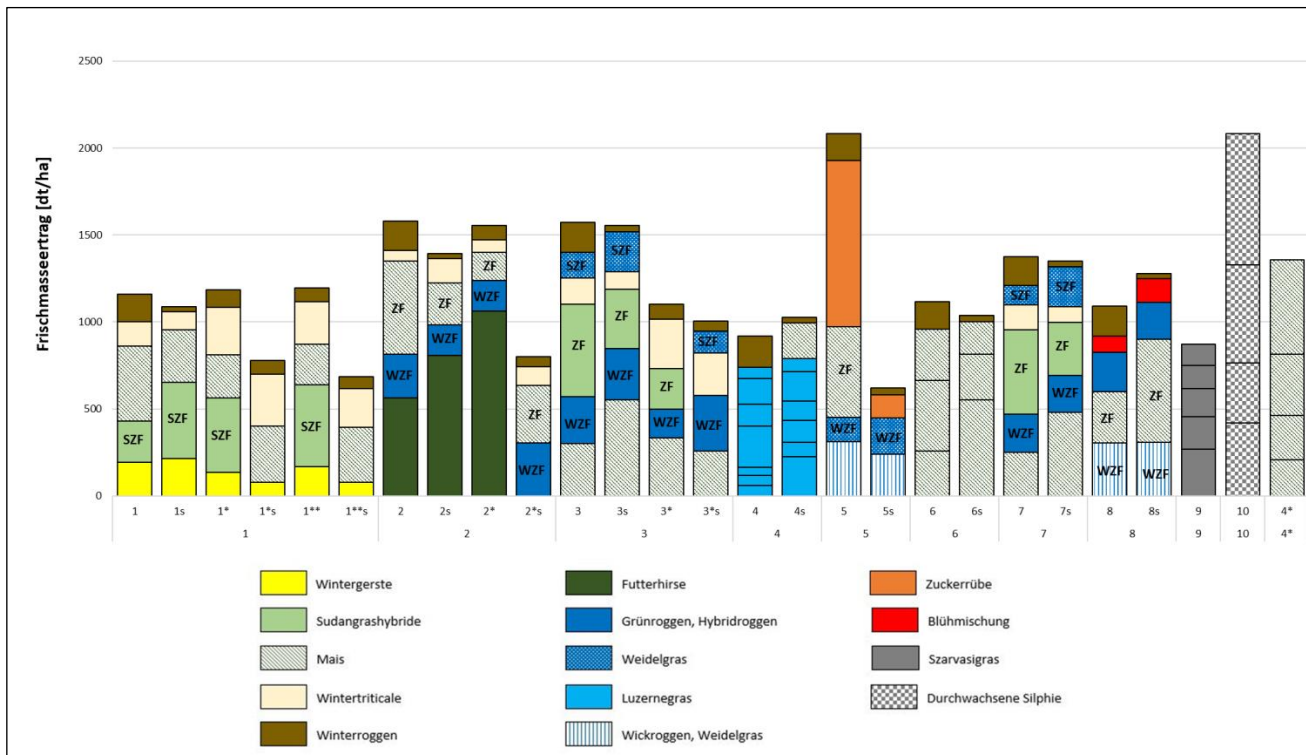


Abbildung 5: Frischmasseerträge der einzelnen Fruchtfolgen kumulativ über den gesamten Versuchszeitraum von 2013 bis 2017

Die höchsten kumulativen Frischmasseerträge wurden mit Fruchtfolgen aus Mais und Sorghum (Fruchtfolgen 1, 2, 3, 7) erzielt, wobei vor allem Futterhirse als Hauptfrucht konstant hohe Frischmasseerträge lieferte. Durchwachsene Silphie als Dauerkultur (Fruchtfolge 10) überzeugte ebenfalls mit überdurchschnittlichen Erträgen.

Da vor allem der Trockenmasseertrag einer Fruchtart ein entscheidendes Kriterium für die Auswahl als Biomassesubstrat ist, wird nachfolgend nur auf diesen eingegangen. Die Trockenmasseerträge der einzelnen Fruchtfolgen sind für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch kumulativ über den gesamten Versuchszeitraum von 2013 bis 2017 in Abbildung 6 dargestellt.

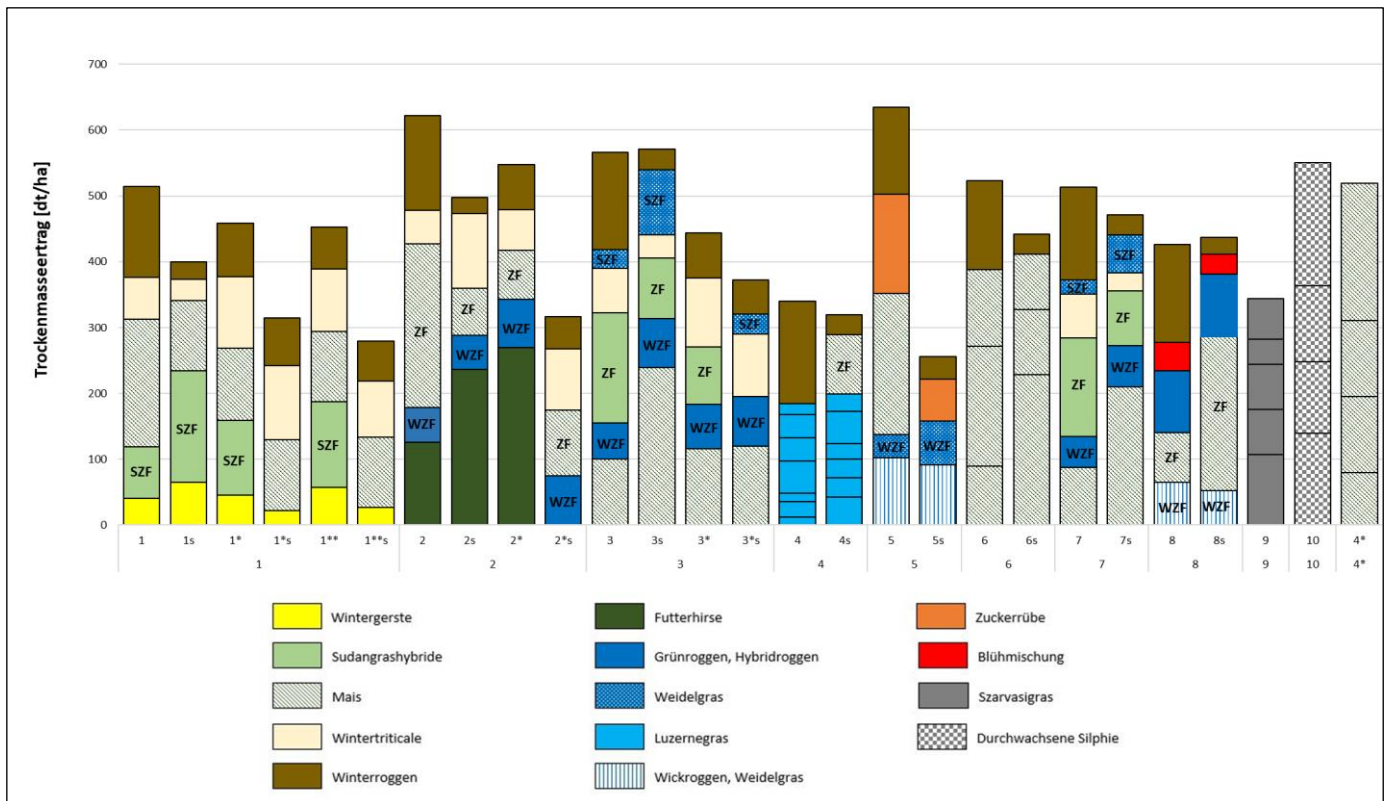


Abbildung 6: Trockenmasseerträge der einzelnen Fruchtfolgen kumulativ über den gesamten Versuchszeitraum von 2013 bis 2017

Die höchsten kumulativen Trockenmasseerträge lieferten ebenfalls Fruchtfolgen aus Mais und Sorghumhirsen sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung (Fruchtfolgen 1, 2, 3, 7). Ebenso konnten die reinen Maisfruchtfolgen (Fruchtfolgen 6, 4*) und Durchwachsene Silphie als Dauerkultur (Fruchtfolge 10) mit guten Trockenmasseerträgen überzeugen. Konstant hohe Erträge in allen Wiederholungen lieferte die Fruchtfolge 2 mit Futterhirse als Hauptfrucht. Insgesamt den höchsten Trockenmasseertrag lieferte im Versuchszeitraum die Rübenfruchtfolge (Fruchtfolge 5) in der Grundanlage (640 dt/ha). In der Spiegelanlage konnte diese jedoch nicht überzeugen. Das ist zum Teil mit dem fehlenden Maisertrag in der Spiegelanlage begründet. Auch in Fruchtfolge 2, in welcher Mais ebenfalls als Zweitfrucht stand, erzielte Mais nur geringe Erträge (Jahr 2015, 71 dt TM/ha). In der Grundanlage (Jahr 2014) der Fruchtfolge 2 erzielte der Zweitfruchtmais jedoch einen sehr guten Ertrag (249 dt TM/ha). Hier zeigten sich wieder der enorm große Einfluss der Jahreswitterung und die Bedeutung eines vielfältigen Anbaus zur Minimierung von Ertragsrisiken. Von den angebauten Zwischenfrüchten brachten Grünroggen ($\bar{\varnothing}$ 63 dt TM/ha) und Weidelgras ($\bar{\varnothing}$ 51 dt TM/ha) als Winterzwischenfrucht die höchsten Erträge.

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Trockenmasseerträge der einzelnen Fruchtarten über den gesamten Versuchszeitraum für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch sind in Abbildung 7 und zusammen mit den statistischen Parametern Variationskoeffizient, Minimum- und Maximum-Wert in Tabelle 6 dargestellt.

Bei Luzerne erfolgten in der Grundanlage 2013 drei Schnitte und 2014 vier. In der Spiegelanlage erfolgten 2014 vier Schnitte und 2015 zwei. Die Trockenmasseerträge des als Marktfrucht geernteten Winterroggens und der Wintertriticale sind jeweils als Summe aus Korn- und Strohertrag dargestellt.

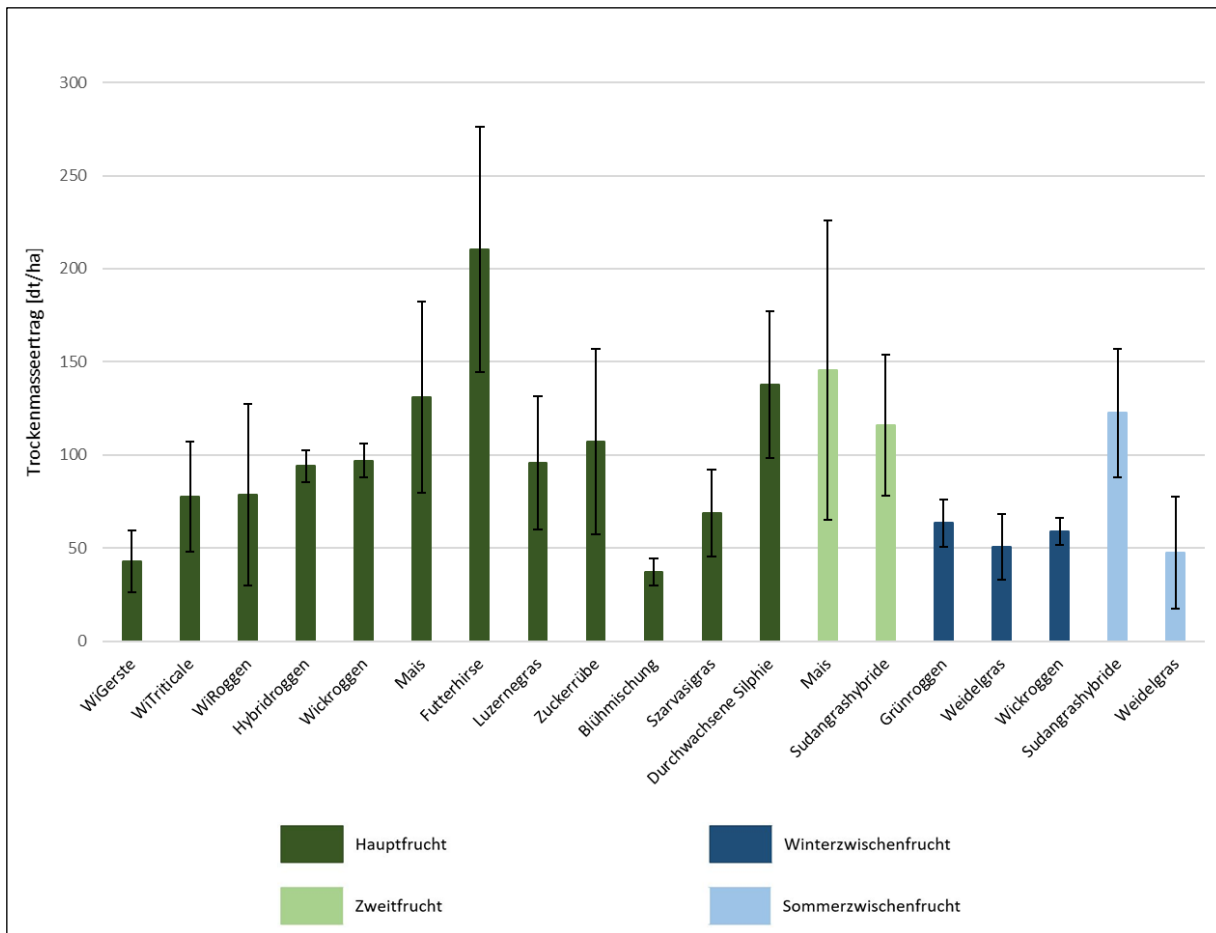


Abbildung 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Fruchtarten über den gesamten Versuchszeitraum für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch

Es ist zu erkennen, dass die Futterhirse den höchsten Trockenmasseertrag lieferte. Mais, Sudangrashybride und Durchwachsene Silphie konnten ebenfalls hohe Erträge erzielen. Anhand der Standardabweichungen wird deutlich, dass die Trockenmasseerträge der einzelnen Fruchtarten zwischen den Jahren stark schwankten. Hybrid-, Grün- und Wickroggen zeigten zwar nur ein mittleres Ertragsniveau, jedoch konstante Erträge über den gesamten Versuchszeitraum. Die im Vergleich zum Hybrid-, Grün- und Wickroggen hohe Standardabweichung beim Winterroggen ist durch den hohen Unterschied beim Winterroggen zwischen Grund- und Spiegelanlage zu erklären. Dieser liegt hauptsächlich darin begründet, dass sich der Winterroggenbestand im Jahr 2017 durch relativ kühle Temperaturen und wenig Niederschlag im Frühling und Sommeranfang nur schlecht entwickeln konnte (siehe Kapitel 2.2). Sehr hohe Schwankungen sind beim Mais sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung zu beobachten. Etwas weniger Schwankungen zeigen die Sorghumhirsen, was sich vor allem anhand der niedrigeren Variationskoeffizienten erkennen lässt. Sehr niedrige Variationskoeffizienten ergeben sich vor allem beim Hybrid-, Grünroggen und Wickroggen, was nochmals die gute Ertragssicherheit des Roggens für die Ganzpflanzennutzung unterstreicht. Ein Ausreißertest nach MUDRA, (1958) ergab bei den Trockenmasseerträgen weder zwischen den einzelnen Wiederholungen noch innerhalb der Fruchtarten Ausreißer.

Tabelle 6: Trockenmasseertrag-Mittelwerte [dt/ha] der einzelnen Fruchtarten über den gesamten Versuchszeitraum für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch mit verschiedenen statistischen Parametern

Fruchtart	Fruchtart-Mittelwert	Stabw	VK [%]	SF	Min-Wert	Max-Wert
<u>Hauptfrüchte</u>						
WiGerste	42,8	16,8	39,1	3,4	19,4	70,7
WiTriticale	77,4	29,6	38,2	3,8	22,8	129,1
WiRoggen	78,8	48,8	61,8	5,0	21,0	169,2
Hybridroggen	93,9	8,5	9,0	3,0	82,0	105,5
Wickroggen	97,0	9,2	9,5	3,3	85,8	112,5
Mais	131,1	51,3	39,1	5,3	64,1	271,8
Futterhirse	210,4	65,9	31,3	19,0	106,7	285,3
Luzernegras	95,9	35,8	37,3	5,0	9,2	56,2
Zuckerrübe	107,1	49,9	46,6	17,6	53,8	172,5
Blühmischung	37,1	7,4	19,9	2,6	27,6	49,8
Szarvasigras	68,8	23,5	34,1	5,3	34,4	111,2
Durchwachsene Silphie	137,7	39,3	28,5	9,8	89,1	227,1
<u>Zweitfrüchte</u>						
Mais	145,6	80,3	55,1	15,2	49,6	313,2
Sudangrashybride	116,0	37,9	32,6	8,5	80,6	172,3
<u>Winterzwischenfrüchte</u>						
Grünroggen	63,3	12,7	20,1	2,0	44,5	94,5
Weidelgras	50,6	17,8	35,2	6,3	32,7	80,5
Wickroggen	58,8	7,2	12,2	2,5	50,9	66,3
<u>Sommerzwischenfrüchte</u>						
Sudangrashybride	122,5	34,6	28,3	8,7	60,4	176,3
Weidelgras	47,6	30	63	6,7	17,9	111,2

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Trockenmasseerträge der einzelnen Fruchtarten für die einzelnen Versuchsjahre für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch sind in Tabelle 7 dargestellt.

Es wird nochmals die hohe Variabilität der Trockenmasseerträge zwischen den Jahren deutlich. So konnte beispielsweise Mais im Versuchsjahr 2014 sowohl in Hauptfruchtstellung (Ø 210 dt TM/ha) als auch in Zweitfruchtstellung (Ø 233 dt TM/ha) hohe Erträge erzielen, in den Jahren 2015 und 2016 jedoch nicht, da eine frühzeitige Abreife eine optimale Ausnutzung der kompletten Vegetationszeit verhinderte. Auffällig war, dass im sehr guten „Mais-Jahr“ 2014 Mais in Zweitfruchtstellung höhere Erträge erzielte als Mais in Hauptfruchtstellung und in den Jahren 2013, 2015 und 2016, in denen das Ertragspotential für Mais allgemein niedriger lag, Mais in Hauptfruchtstellung höhere Erträge lieferte. Futterhirse konnte in allen Jahren höhere Trockenmasseerträge erzielen als Mais, vor allem im Jahr 2015, in welchem mehr als das Doppelte an Ertrag erzielt wurde. In Zweitfruchtstellung konnte Mais im Jahr 2014 einen deutlich höheren Trockenmasseertrag als die Sudangrashybride verzeichnen, 2015 und 2016 lieferte die Sudangrashybride etwas höhere Trockenmasseerträge. Die Blühmischung lieferte in beiden Anbaujahren sehr niedrige Trockenmasseerträge von 43 und 31 dt TM/ha. Ihr ist somit vor allem aufgrund von ökologischen Gesichtspunkten Vorrang beim Anbau zu gewähren.

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) der einzelnen Fruchtarten für die einzelnen Versuchsjahre für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch

Fruchtart	2013	2014	2015	2016	2017
<u>Hauptfrüchte</u>					
WiGerste	40 ± 3	66 ± 4	51 ± 10	24 ± 6	
WiTriticale	92 ± 20	96 ± 16	66 ± 4	52 ± 37	
WiRoggen		71 ± 9	59 ± 12	143 ± 11	29 ± 6
Hybridroggen		94 ± 9	94 ± 9		
Wickroggen	102 ± 7	92 ± 9			
Mais	101 ± 16	210 ± 28	104 ± 17	105 ± 18	
Futterhirse	125 ± 23	237 ± 8	269 ± 15		
Luzernegras	16 ± 6	33 ± 10	37 ± 13		
Zuckerrübe			151 ± 26	63 ± 9	
Blühhmischung			43 ± 5	31 ± 3	
Szarvasigras		88 ± 21	69 ± 8	38 ± 3	61 ± 9
Durchwachsene Silphie		140 ± 23	109 ± 13	115 ± 7	188 ± 43
<u>Zweitfrüchte</u>					
Mais	87 ± 18	233 ± 30	71 ± 20	75 ± 6	
Sudangrasyhybride		159 ± 18	87 ± 6	88 ± 6	
<u>Winterzwischenfrüchte</u>					
Grünroggen	75 ± 3	51 ± 5	63 ± 10	70 ± 15	
Weidelgras		35 ± 2	66 ± 10		
Wickroggen	65 ± 1	52 ± 2			
<u>Sommerzwischenfrüchte</u>					
Sudangrasyhybride	78 ± 12	169 ± 7	121 ± 11		
Weidelgras		31 ± 4	25 ± 4	78 ± 24	

Bei den Zuckerrüben wurde jeweils der Ertrag der entblätterten und der geköpften Rübe bestimmt. Die Mittelwerte der Frisch- und Trockenmasseerträge der entblätterten Rübe, der Rübenblätter, der geköpften Rüben und der Rübenköpfe ist für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuchs in Tabelle 8 dargestellt. Eine Trockenmassebestimmung wurde nur bei der entblätterten Rübe und den Rübenblättern vorgenommen. Zwischen der entblätterten und der geköpften Rübe ergab sich bei der Grundanlage ein Ertragsunterschied bei der Frischmasse von 8,2 % und in der Spiegelanlage von 8,6 %. Da in der Praxis der Rübenkopf als wertvolles Biogassubstrat gilt und nur die Blätter aufgrund der Verschmutzung nicht mit geerntet werden, wurde in diesem Bericht die Zuckerrübe als entblätterte Rübe ausgewertet.

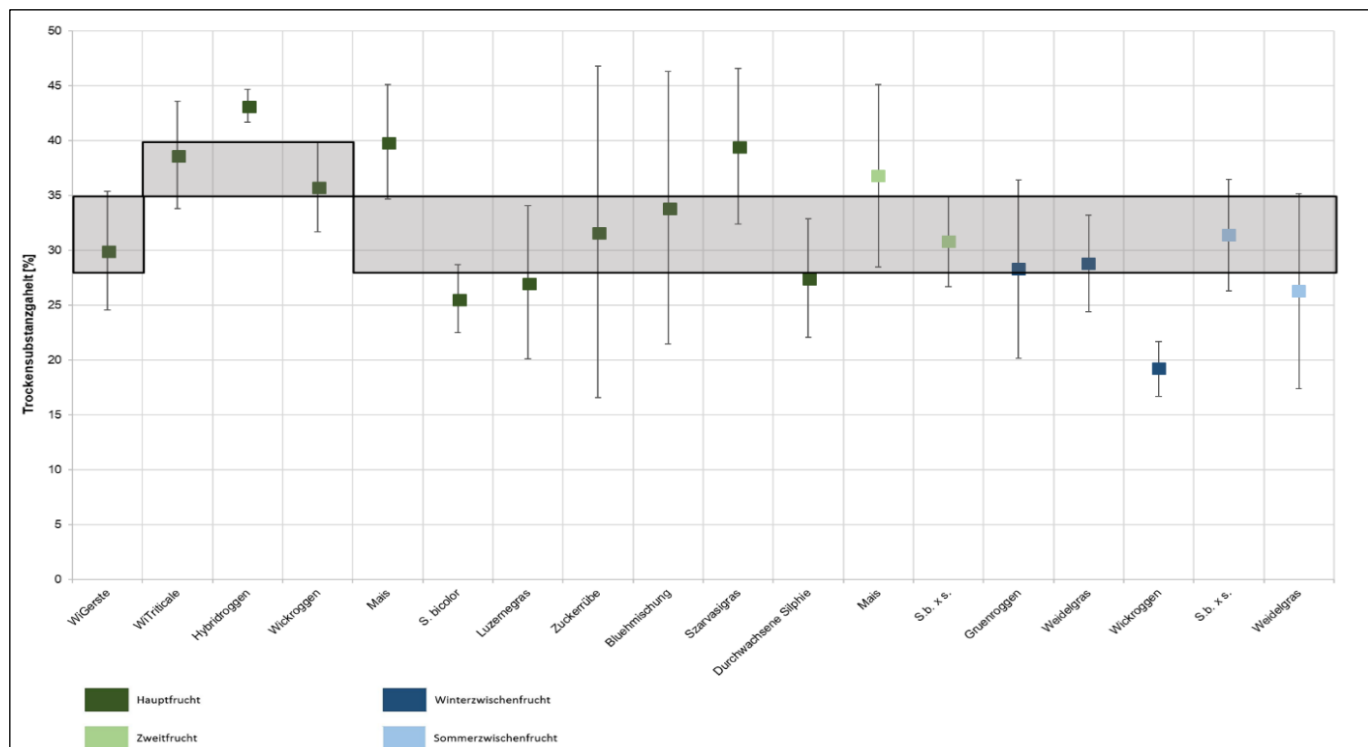
Tabelle 8: Mittelwerte der Frisch- und Trockenmasseerträge der einzelnen Zuckerrüben-Komponenten

		FM (dt/ha)	TM (dt/ha)	TS-Gehalt
GA 2015	Rübe entblättert	958	150,7	15,7
	Rübenblätter	312,5	41,2	13,1
	Rübe geköpft	879,2		
	Rübenköpfe mit Blättern	386,2		
SA 2016	Rübe entblättert	132,5	63,5	47,8
	Rübenblätter	43,5	9,3	21,3
	Rübe geköpft	121,0		
	Rübenköpfe mit Blättern	55,0		

3.2 Trockensubstanzgehalte

Qualitativ hochwertige Silagen lassen sich nur mit TS-Gehalten des Erntegutes zwischen 28 und 35 % bzw. 35 und 40 % bei den meisten Getreidearten (Ausnahme: Gerste < 35 %) erzeugen (PAULUS & STARK, 2008; HERRMANN et al., 2009). Die durchschnittlichen TS-Gehalte der als Ganzpflanzensilage verwendeten Fruchtarten sind zusammen mit dem jeweiligem optimalen TS-Gehalt in Abbildung 8 dargestellt.

Von den Hauptfrüchten erzielten Wintergerste, Wintertriticale und Wickroggen einen optimalen Trockensubstanzgehalt. Bei der Zuckerrübe und der Blühhmischung war zwischen den Jahren eine hohe Differenz zwischen den Trockensubstanzgehalten zu verzeichnen, was bei der Zuckerrübe witterungsbedingt und bei der Blühhmischung an einer späteren Ernte im Vegetationsjahr 2015 lag. Hybridroggen und Szarvasigras sowie Mais in Haupt- und Zweitfruchtstellung zeigten einen zu hohen Trockensubstanzgehalt, was vorrangig auf eine verspätete Ernte zurückzuführen ist. Allgemein sollte besonders bei Mais, den Sorghumhirsen und den Zuckerrüben auf die Sortenwahl geachtet werden. Bei Mais gilt, je wärmer der Standort und demnach auch je länger die Vegetationszeit ist, desto später abreifende Sorten können gewählt werden. In Trossin wurden Sorten mit Siloreifezahlen zwischen 240 und 250 (HF) angebaut, da der in Vorprojekten erprobte „Atletico“ (S 280) in vielen Versuchsjahren die Aussaat der Folgefrucht verzögerte. Für die Versuchsjahre 2014 bis 2016 mit sehr warmen und zum Teil trockenen Sommern waren diese mittelfrühen Sorten allerdings nur bedingt geeignet, da Wachstumszeit und Biomassebildungspotenzial verschenkt wurden. Für leichte, trockenere Standorte sind demnach Sorten mit Siloreifezahlen zwischen 260 und 270 in Hauptfruchtstellung zu empfehlen. Die neueren Sorghum-Sorten (in diesem Projekt „Hercules“) können problemlos die TS-Grenze von 28 % erreichen, vorausgesetzt werden optimale Aussaatbedingungen und ein nicht zu kühler Sommer (THEIß & JÄKEL, 2014; LfULG, 2015). In Zweitfruchtstellung erlangten die Sudangrashybriden, Grünroggen und Weidelgras die für die Silierung erforderlichen TS-Gehalte. Wickroggen und Weidelgras erlangten einen TS-Gehalt leicht unter dem optimalen Bereich. Der TS-Gehalt von Ackerfuttermischungen ist stark vom Schnitzeitpunkt und den dominierenden Komponenten abhängig. Bei den Gräsern ist das Erntefenster sehr gering, so dass innerhalb weniger Tage hohe Mengen an Lignin in die Cellulosefibrillen inkrustiert werden können (LfULG, 2015).



Der optimale Trockensubstanzgehalt-Bereich für die einzelnen Fruchtarten ist grau markiert.

Abbildung 8: Trockensubstanzgehalte aller als GPS geernteten Fruchtarten zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung über den gesamten Versuchszeitraum für den Grund- und Ertragsprüfungsversuch

3.3 Erträge und fruchtfolgeabhängige Auswirkungen auf das Abschlussfruchtfolgeglied Winterroggen

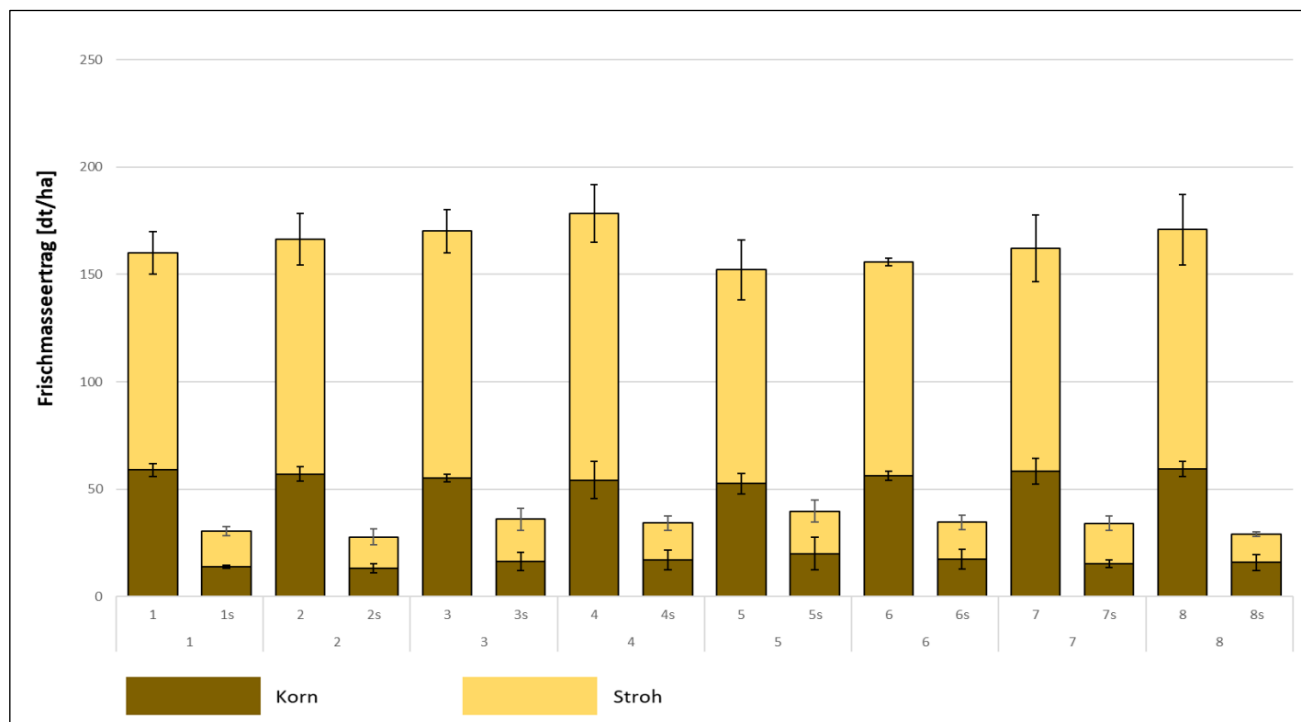
Um Fruchtfolgeeffekte bewerten zu können, schlossen alle Fruchtfolgen einheitlich mit dem Fruchtfolgeglied Winterroggen ab. Die Korn- und Strohfrischmasseerträge des Winterroggens sind zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung sowohl für die Grund- als auch für die Spiegelanlage in Abbildung 9 dargestellt.

Die Stroh-Frischmasseerträge wurden per Hand durch Wiegen des auf der Parzelle verbliebenen Strohs bestimmt (Stoppellänge = 10 cm). Das Stroh wurde im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet und danach durch Wiegen die Trockenmasse ermittelt. Die Korn-Frischmasseerträge wurden direkt durch einen Parzellenmährescher bestimmt. Anschließend wurde das Korn im Labor auf DON, Fallzahl, Rohprotein, TKM, Hektolitergewicht und Stärke untersucht. Bei dem Parameter DON ergaben alle Proben einen Wert unter der Bestimmungsgrenze von 134 µg/kg.

Die Ergebnisse der Fallzahl-, Rohprotein-, TKM-, Hektolitergewicht- und Stärkeuntersuchungen sind für die Grundanlage in Tabelle 9 und für die Spiegelanlage in Tabelle 10 dargestellt. Bei diesen Parametern ergaben sich nur geringe Schwankungen zwischen den Fruchtfolgen. Des Weiteren ist keine Systematik in den Schwankungen bezüglich der Grund- und Spiegelanlage erkennbar, wodurch anzunehmen ist, dass die Schwankungen zufallsbedingt sind.

Die Kohlenstoff- und Schwefelgehalte für den Winterroggen (jeweils Korn und Stroh zusammengefasst) sind in Tabelle 11 angegeben. Es lassen sich ebenfalls nur geringe Schwankungen zwischen den Fruchtfolgen und keine

systematischen Schwankungen zwischen der Grund- und Spiegelanlage erkennen, wodurch ebenfalls auf eine zufallsbedingt Variation geschlossen werden kann.



Fruchtfolge	GA - Korn	GA - Stroh	SA - Korn	SA - Stroh
1	59 ± 3	101 ± 10	14 ± 1	17 ± 2
2	57 ± 3	109 ± 12	13 ± 2	15 ± 4
3	55 ± 2	115 ± 10	16 ± 4	20 ± 5
4	54 ± 9	124 ± 13	17 ± 5	17 ± 3
5	52 ± 5	100 ± 14	20 ± 8	20 ± 5
6	56 ± 2	100 ± 2	17 ± 5	17 ± 3
7	58 ± 6	104 ± 15	15 ± 2	19 ± 3
8	59 ± 3	111 ± 16	16 ± 4	13 ± 1

Abbildung 9: Mittelwerte mit Standardabweichungen der Korn- und Stroh-Frischmasseerträge des Winterroggens der Fruchtfolgen 1 bis 8 für die Grund- und Spiegelanlage (GA und SA) des Grundversuchs

Tabelle 9: Qualitätsparameter des Winterroggens für die Grundanlage

	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Fallzahl [s]	304	299	290	261	283	296	292	264
Rohprotein [%]	10,3	9,8	11,0	10,3	10,1	10,4	10,1	10,6
TKM [g]	35,1	36,2	34,6	35,2	36,1	35,9	36,3	35,7
Hektoliter-Gewicht [kg/hl]	75,2	76,3	75,6	73,7	74,5	74,9	73,1	76,0
Stärke [g/kg]	556	563	558	548	547	555	542	564

Tabelle 10: Qualitätsparameter des Winterroggens für die Spiegelanlage

	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Fallzahl [s]	221	215	214	215	236	215	209	223
Rohprotein [%]	10,0	9,7	10,1	9,8	9,6	9,6	9,8	10,4
TKM [g]	34,0	35,0	33,8	33,1	34,4	34,5	34,3	34,1
Hektoliter-Gewicht [kg/hl]	73,5	73,3	73,5	72,9	73,7	73,3	73,3	73,1
Stärke [g/kg]	542	547	546	570	567	584	552	549

Tabelle 11: Kohlenstoff- und Schwefelgehalte des Winterroggens (Korn + Stroh)

		FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
C [dt/ha]	GA	58,5	61,2	60,3	64,8	55,6	56,3	58,9	62,6
	SA	11,2	10,2	13,0	12,4	14,4	12,6	12,3	10,5
S [kg/ha]	GA	13,5	14,9	13,8	14,9	12,8	13,2	13,2	13,5
	SA	2,8	2,4	3,1	3,0	3,3	3,0	2,8	2,4

Die Korn- und Stroh-Trockenmasseerträge des Winterroggens der Fruchtfolgen 1 bis 8 sind graphisch für die Grund- und Spiegelanlage in Abbildung 10 dargestellt. In dieser kennzeichnet

- ein blauer Punkt den Korn-Frischmasseertrag der Grundanlage,
- ▲ ein blaues Dreieck den Stroh-Frischmasseertrag der Grundanlage,
- ein grüner Punkt den Korn-Frischmasseertrag der Spiegelanlage,
- ▲ ein grünes Dreieck den Stroh-Frischmasseertrag der Spiegelanlage,
- ein roter Punkt einen Ausreißer nach MUDRA, (1958) beim Korn-Frischmasseertrag der Grund-bzw. Spiegelanlage und
- ▲ ein rotes Dreieck einen Ausreißer nach MUDRA, (1958) beim Stroh-Frischmasseertrag der Grund- bzw. Spiegelanlage.

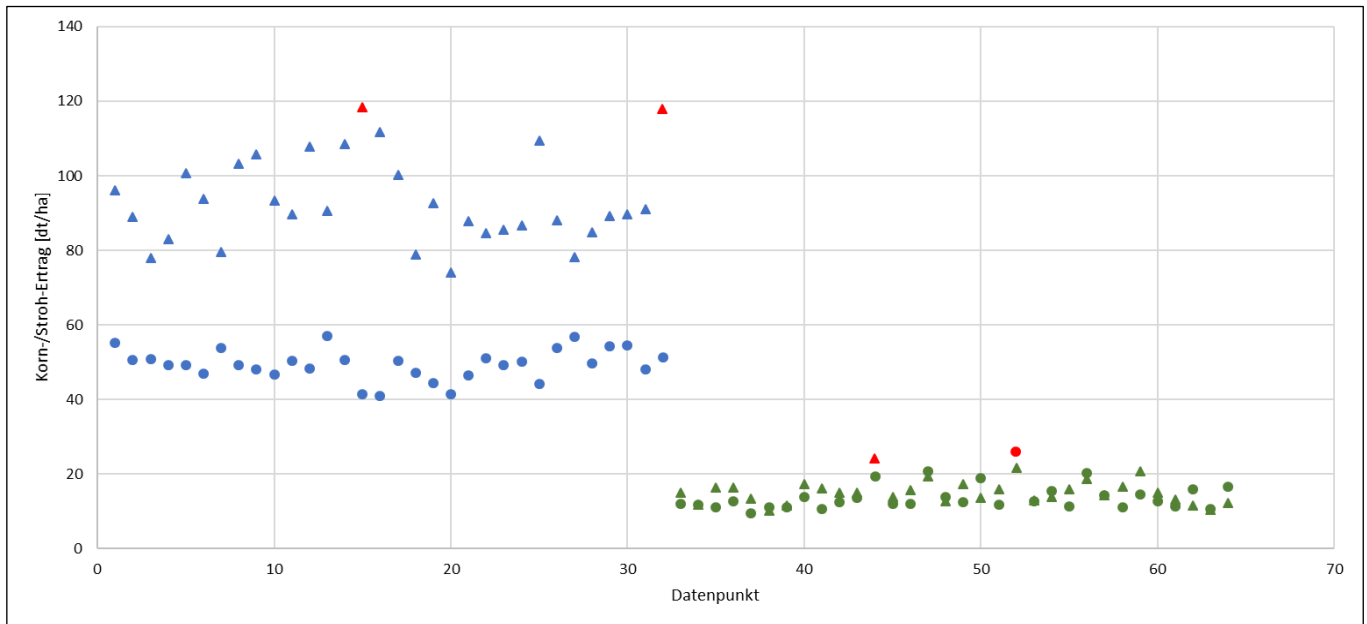


Abbildung 10: Parzellenwerte der Korn- und Stroh-Trockenmasseerträge des Winterroggens der Grund- und Spiegelanlage des Grundversuchs

Um etwaige signifikante Unterschiede zwischen den Trockenmasseerträgen der Fruchtfolgen untersuchen zu können, wurde jeweils, unter Ausschluss der Ausreißer, eine einfaktorielles Varianzanalyse mit den Korn- und Stroh-Trockenmasseerträgen aller Fruchtfolgen für die Grund- und Spiegelanlage durchgeführt. Die Korn- und Stroh-Trockenmasseerträge zusammen mit den jeweiligen Korn-Stroh-Verhältnissen und den statistischen Parametern Standardabweichung und Variationskoeffizient sind für alle Fruchtfolgen für die Grundanlage in Tabelle 12

und für die Spiegelanlage Tabelle 13 dargestellt. Mittelwerte ohne signifikante Unterschiede wurden mit dem gleichen Buchstaben „a“ und Ausreißer mit einem „A“ gekennzeichnet. Anhand der Varianzanalyse ergeben sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % keine signifikanten Unterschiede zwischen den Trockenmasseerträgen der einzelnen Fruchtfolgen, weder bei der Grund- noch bei der Spiegelanlage. Des Weiteren wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse durchgeführt, wobei der erste Faktor der Einfluss des Jahres („Grundanlage vs. Spiegelanlage“) und der zweite Faktor der Einfluss der Fruchtfolge auf den Trockenmasseertrag war. Hierbei kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ein signifikanter Einfluss des Jahres auf den Trockenmasseertrag, jedoch kein signifikanter Unterschied der Fruchtfolge auf den Trockenmasseertrag festgestellt werden. Eine Interaktion zwischen den Faktoren Jahr und Fruchtfolge konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Die Ergebnisse der Varianzanalysen sind in Tabelle A 50 bis Tabelle A 63 im Anhang einzusehen.

Tabelle 12: Korn- und Stroh-Trockenmasseerträge des Abschlussfruchtfolgliedes Winterroggen aller Fruchtfolgen für die Grundanlage des Grundversuchs

Fruchtfolge	1	2	3	4	5	6	7	8
Kornertrag [dt TM/ha]								
A	55,3	49,2	48,0	57,1	50,4	46,4	44,2	54,3
B	50,5	47,0	46,8	50,5	47,1	51,0	53,8	54,6
C	50,8	53,8	50,4	41,5	44,3	49,3	56,8	48,1
D	49,3	49,3	48,4	40,9	41,4	50,1	49,7	51,3
Mittelwert Prüfglied	51,5 ^a	49,8 ^a	48,4 ^a	47,5 ^a	45,8 ^a	49,2 ^a	51,1 ^a	52,1 ^a
<i>Standardabweichung</i>	2,3	2,5	1,3	6,7	3,3	1,7	4,7	2,6
<i>Variationskoeffizient [%]</i>	4,4	5,0	2,7	14,2	7,3	3,5	9,2	5,1
Strohertrag [dt TM/ha]								
A	96,9	100,7	105,7	90,6	100,3	87,9	109,5	89,1
B	89,0	93,9	93,3	108,6	78,8	84,7	88,1	89,6
C	78,0	79,5	89,7	118,2 ^A	92,7	85,5	78,1	91,1
D	83,1	103,2	107,8	111,6	74,1	86,6	84,9	117,9 ^A
Mittelwert Prüfglied	86,5 ^a	94,3 ^a	99,1 ^a	103,6 ^a	86,5 ^a	86,2 ^a	90,2 ^a	89,9 ^a
<i>Standardabweichung</i>	6,7	9,2	7,8	9,3	10,5	1,2	11,7	0,8
<i>Variationskoeffizient [%]</i>	7,8	9,8	7,8	9,0	12,2	1,4	13,0	0,9
Korn : Stroh-Verhältnis	1 : 1,7	1 : 1,9	1 : 2,0	1 : 2,2	1 : 1,9	1 : 1,8	1 : 1,8	1 : 1,7

Im Versuchsjahr 2016 wurde ein durchschnittlicher Kornertrag von 49,4 dt TM/ha erzielt. Im Vergleich wurde im Versuchsjahr 2017 nur ein durchschnittlicher Kornertrag von 15,0 dt TM/ha erreicht. Dies ist v. a. auf den deutlich geringeren Niederschlag in der Hauptwachstumsphase im April, Mai und Juli des Jahres 2017 zurückzuführen, wodurch sich der Bestand nur schlecht entwickeln konnte. Ein weiterer Grund ist der deutlich höhere Unkrautdruck in der Spiegelanlage gegenüber der Grundanlage, wodurch der bereits schwache Winterroggenbestand um Nährstoffe, Licht und Wasser konkurrieren musste (siehe Tabelle A 12 Tabelle A 12: und Tabelle A 13 im Anhang sowie Kapitel 3.6). Fruchtartentypische Literaturwerte für Korn:Stroh-Verhältnisse liegen bei 1:0,9 (TLL, 1999) bis 1:1 (BÖSE, 2009). In der Grundanlage wurden Korn:Stroh-Verhältnisse zwischen 1:1,7 bis 1:2,2 und in der Spiegelanlage zwischen 1:0,9 bis 1:1,3 festgestellt. Bei der Spiegelanlage wurden annähernd die Literaturwerte erzielt. Bei der Grundanlage förderten das reichliche Wasserangebot im April, Mai und Juni 2016 vor allem die vegetative Entwicklung, wodurch ein hoher Strohertrag generiert wurde.

Tabelle 13: Korn- und Stroh-Trockenmasseerträge des Abschlussfruchtfolgeglied Winterroggen aller Fruchtfolgen für die Spiegelanlage des Grundversuchs

Fruchtfolge	1	2	3	4	5	6	7	8
Kornertrag [dt TM/ha]								
A	12,0	9,5	10,7	12,1	12,4	12,8	14,3	11,3
B	11,7	11,0	12,4	12,1	19,0	15,4	11,2	15,9
C	11,1	11,0	13,7	20,7	11,7	11,3	14,5	10,6
D	12,7	13,8	19,4	13,8	26,0 ^A	20,4	12,7	16,6
Mittelwert Prüfglied	11,9^a	11,3^a	14,1^a	14,7^a	14,4^a	15,0^a	13,2^a	13,6^a
Standardabweichung	0,6	1,6	3,3	3,5	3,3	3,5	1,3	2,7
Variationskoeffizient	4,9	13,7	23,3	24,2	22,9	23,1	10,1	19,7
[%]								
Strohertrag [dt TM/ha]								
A	14,9	13,3	16,2	13,8	17,4	13,0	14,3	13,2
B	11,7	10,2	15,1	15,7	13,7	13,8	16,7	11,6
C	16,4	11,6	15,1	19,3	15,9	16,0	20,8	10,4
D	16,4	17,4	24,0 ^A	12,7	21,7	18,8	14,9	12,3
Mittelwert Prüfglied	14,9^a	13,1^a	15,5^a	15,4^a	17,2^a	15,4^a	16,7^a	11,9^a
Standardabweichung	1,9	2,7	0,5	2,5	2,9	2,2	2,5	1,0
Variationskoeffizient	12,9	20,6	3,4	16,3	17,0	14,6	15,2	8,6
[%]								
Korn : Stroh-Verhältnis	1 : 1,3	1 : 1,2	1 : 1,1	1 : 1,0	1 : 1,2	1 : 1,0	1 : 1,3	1 : 0,9

Insgesamt kann festgestellt werden, dass für das Abschlussfruchtfolgeglied Winterroggen weder bei den Erträgen noch bei den Qualitätsparametern systematische Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen erkennbar sind.

3.4 Ertragsprüfungsversuch

Um eine durchgehende Ertragserfassung über mehrere Jahre hinweg möglich zu machen, wurde im Jahr 2013 ergänzend zum Grundversuch der Ertragsprüfungsversuch angelegt. Dieser ermöglicht für die Kulturen der Fruchtfolgen 1, 2 und 3 eine durchgehende jährliche Ertragserfassung jeder Kultur. Jahreseffekte auf die Ertragsbildung können somit deutlicher werden und die Einschätzung von Ertragsstabilität sowie die Einordnung von Kulturen bezüglich des Risikos von Ertragsausfällen genauer beschrieben werden (FLEISCHER, 2015).

Die Trockenmasseerträge der Kulturen für die Fruchtfolgen 1 bis 3 und die Jahre 2013-2017 sind in Tabelle 14 zusammen mit dem Mittelwert, der Standardabweichung, dem Variationskoeffizienten und der Summe über alle Jahre dargestellt.

Den höchsten Trockenmasseertrag über alle Jahre lieferte trotz eines Ertragsausfalls (Herbizidschaden) im Jahr 2016 Sorghum bicolor (Futterhirse) in der Fruchtfolge 2 mit einer Gesamtsumme von 631 dt TM/ha (in nur drei Ertragsjahren). Sorghum bicolor hatte im Vergleich einzig im witterungsbedingt sehr durchwachsenen Jahr 2013 (siehe Kapitel 2.2) einen geringeren Ertrag und allgemein eine gute Ertragsstabilität (Variationskoeffizient = 29,2 %).

Des Weiteren konnte Mais in der Fruchtfolge 1 (518 dt TM/ha) und Fruchtfolge 3 (576 dt TM/ha) als Hauptfrucht und in der Fruchtfolge 2 (495 dt TM/ha) als Zweitfrucht aufsummiert über alle vier Ertragsjahre gute Trockenmasseerträge erzielen. Der hohe Trockenmasseertrag über alle vier Jahre von Mais ist vor allem auf das gute „Maisjahr“ 2014 zurückzuführen, in welchem Mais in allen drei Fruchtfolgen überdurchschnittliche Erträge erzielte. Dies wird vor allem in der Fruchtfolge 2 deutlich, in welcher Mais als Zweitfrucht stand. Hier ergab sich ein Variationskoeffizient über alle vier Jahre von 59 %, was auf hohe Schwankungen zwischen den Jahren hindeutet.

Sudangrashybride hatte über alle vier Jahre die drittbesten Erträge mit 360 dt TM/ha in der Fruchtfolge 1 und 347 dt TM/ha in der Fruchtfolge 2 sowie eine gute Ertragsstabilität über alle vier Jahre (VK = 31 %). Die Sudangrashybriden erreichten nicht die Erträge von Mais und Futterhirse, sind aber für den späten Zweitfruchtanbau sehr gut geeignet und dann konkurrenzfähig gegenüber Mais in später Zweitfruchtstellung.

Auffällig sind die hohen Variationskoeffizienten von 50, 62 und 59 % bei Winterroggen als Marktfruchtgetreide. Dies zeigt, dass auf sandigen Böden der Winterroggen-Ertrag stark vom Witterungsverlauf abhängig ist und dementsprechend verhältnismäßig stark variiert. Zu beachten ist allerdings auch, dass der Winterroggen als Abschlussfruchtfolgeglied nicht gedüngt wurde und kein Pflanzenschutz durchgeführt wurde, um die Fruchtfolgewardung besser nachweisen zu können.

Wie bereits in Kapitel 3.1 erwähnt, ist auch anhand des Ertragsprüfungsversuchs festzustellen, dass Grünroggen zwar ein mittleres Ertragsniveau, jedoch eine hohe Ertragsstabilität aufweist. Als Winterzwischenfrucht, beispielsweise vor Mais, ist dieser daher gut zu etablieren.

Als Fazit bescheinigt auch der Ertragsprüfungsversuch, dass Futterhirse über alle Jahre hinweg gute Trockenmasseerträge erzielte. Mais konnte aufsummiert über alle vier Jahre ebenfalls gute Erträge erzielen, jedoch mit höheren witterungsbedingten Schwankungen zwischen den Jahren. Als gute Winterzwischenfrucht zeigte sich Grünroggen mit einem mittleren Ertragsniveau und konstanten Erträgen über alle vier Jahre. Winterroggen als Marktfrucht schwankte stark zwischen den Jahren und ist somit auf sandigen Böden stark vom Witterungseinfluss abhängig.

Tabelle 14: Trockenmasseerträge [dt/ha] der Fruchtfolgen 1, 2 und 3 zusammen mit den jeweiligen Mittelwerten (MW), Standardabweichungen (Stabw), Variationskoeffizienten (VK) und Summen über alle Jahre

FF	Fruchtart	Fruchtfolgestellung	2013	2014	2015	2016	2017	Summe über alle Anbaujahre	MW	Stabw	VK
1	WiGerste	HF	40,5	65,5	45,4	21,7	*	173,0	43,4	15,6	36,1
	S.b. x s.	SZF	78,2	169,0	113,4	**	*	360,5	120,2	37,4	31,1
	Mais	HF	108,0	193,7	106,5	110,1	*	518,3	129,6	37,0	28,6
	WiTriticale	HF	108,8	112,3	64,0	32,4	*	317,5	79,4	33,1	41,7
	Phacelia	SZF	11,5	53,0	25,9	22,6	*	112,9	28,2	15,3	54,1
	WiRoggen	HF	*	80,5	72,9	138,0	26,7	291,4	79,5	39,5	49,7
2	Senf	SZF	20,2	**	**	**	*	20,2	20,2		
	S. bicolor	HF	125,5	236,5	269,2	**	*	631,2	210,4	61,5	29,2
	Grünroggen	WZF	75,1	52,6	52,1	73,9	*	253,7	63,4	11,1	17,4
	Mais	ZF	99,8	249,2	71,2	74,8	*	495,1	123,8	73,7	59,2
	WiTriticale	HF	60,8	93,2	**	113,7	*	267,7	89,2	21,8	24,4
	WiRoggen	HF	*	69,3	48,9	144,2	24,5	262,3	71,7	44,7	62,4
3	Senf	SZF	21,5	**	**	**	*	21,5	21,5		
	Mais	HF	100,6	239,4	116,4	120,1	*	576,5	144,1	55,5	38,5
	Grünroggen	WZF	74,9	54,5	74,0	66,8	*	270,2	67,6	8,2	12,1
	S.b. x s.	ZF	**	167,5	91,8	87,6	*	346,9	115,6	36,7	31,8
	WiTriticale	HF	104,6	94,8	76,4	35,5	*	302,3	75,6	26,8	35,5
	Weidelgras	SZF	**	31,1	28,3	99,3	*	158,7	52,9	32,8	62,1
	WiRoggen	HF	*	68,7	51,8	147,5	31,7	268,0	74,9	43,9	58,6

* = regulär kein Anbau; ** = keine Daten vorhanden/Ertragsausfall

3.5 Zweikulturnutzung

Bei den stetig steigenden Flächenkosten, dem zunehmenden Flächenbedarf und der steigenden Nachfrage nach Biomasse könnten Zweikultursysteme wieder an Bedeutung gewinnen. Unter Zweikulturnutzung versteht man den Anbau von zwei aufeinanderfolgenden, ertragsrelevanten Kulturen innerhalb eines Jahres. Der Erntetermin der Erstkultur liegt vor der maximalen Biomassebildung im Zeitraum von Anfang bis Mitte Mai (z. B. bei Grünroggen), manchmal bis Anfang Juni (z. B. Getreide-GPS), damit für die Zweitfrucht noch ausreichend Wachstumszeit verbleibt. Bei der Zweitfrucht erfolgt die Aussaat in der Regel zwei bis vier Wochen später im Vergleich zum Hauptfruchtanbau. Folgt auf eine „späte“ Getreide-GPS eine Sommerung, z. B. Sudangrashybride, spricht man von einer Sommerzwischenfrucht (SZF), bei einer Winterung von einer Winterzwischenfrucht. Der Zweitfrucht steht immer vergleichsweise weniger Vegetationszeit zur Verfügung (LfULG, 2014) als einer Hauptfrucht.

Die Trockenmasseertragsunterschiede der Zweikulturnutzung im Vergleich zum Hauptfruchtanbau sind für die erprobten Kulturarten in Abbildung 11 dargestellt. Es wurden diejenigen Fruchtarten dargestellt, welche in dem jeweiligen Jahr sowohl alleine als Hauptfrucht, als auch zusammen mit einer anderen Fruchtart in Zweitfruchtstellung standen.

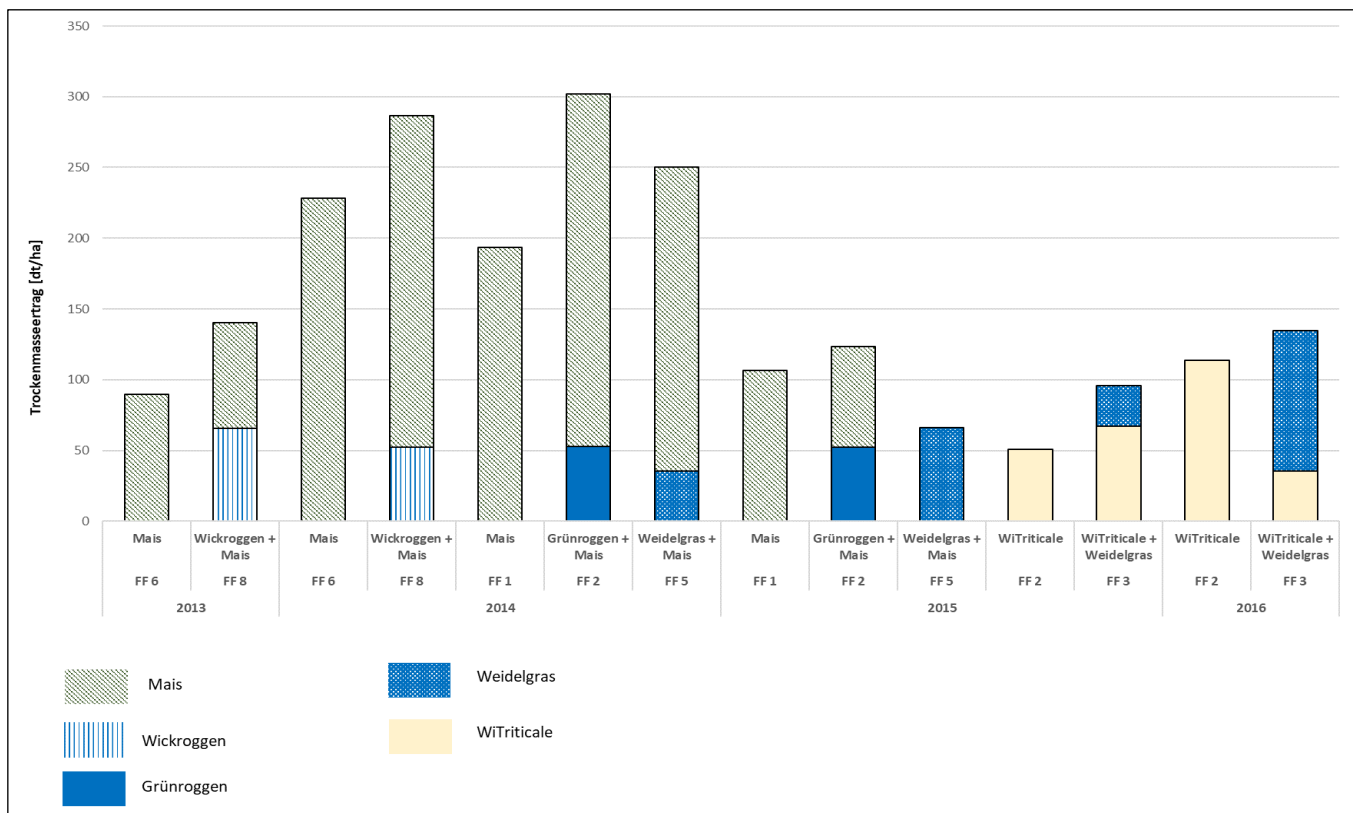


Abbildung 11: Vergleich der Trockenmasseerträge zwischen Zweit- und Hauptfruchtnutzung bei den erprobten Anbausystemen

Im Vergleich zum Hauptfruchtanbau konnten bei der Zweikulturnutzung fast immer höhere Trockenmasseerträge erzielt werden. In der Fruchtfolge 5 im Jahr 2015 fehlt der Maiseertrag, da auf Grund eines vollständigen Ausfalls des Maises wegen Trockenheit, dieser nicht geerntet werden konnte. Nimmt man jedoch einen ähnlichen Trockenmasseertrag wie in Fruchtfolge 2 an, so ist auch hier ein höherer Trockenmasseertrag der Zweikulturnutzung gegenüber dem Hauptfruchtanbau erkennbar. Im Jahr 2013, in welchem ein schlechter Maiseertrag im Hauptfruchtanbau zu verzeichnen war, konnte die Kombination aus Wickroggen und Mais deutlich höhere Erträge erzielen.

len. Ebenso erzielte Mais im „Mais-Jahr“ 2014 in der Kombination mit Wickroggen/Grünroggen/Weidelgras den gleichen, zum Teil sogar einen höheren Ertrag als Mais alleine in Hauptfruchtstellung. Dies wurde ebenso bei Wintertriticale im Jahr 2015 beobachtet. In diesem Jahr erzielte Wintertriticale in Kombination mit Weidelgras einen höheren Ertrag als Wintertriticale alleine in Hauptfruchtstellung. Im Jahr 2016 zeigte Wintertriticale in Zweitfruchtstellung einen deutlich niedrigeren Ertrag als in Hauptfruchtstellung, jedoch wurde in Kombination mit Weidelgras ein höherer Gesamtertrag erzielt.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass durch den Anbau zweier Kulturarten innerhalb eines Vegetationsjahres höhere Erträge erzielt werden können als im Hauptfruchtbau alleine. In witterungsbedingt günstigen Jahren kann der Ertrag einer Kultur in Zweitfruchtstellung den Ertrag der Kultur in Hauptfruchtstellung sogar übertreffen. Ob ein Zweikultursystem auch ökonomisch sinnvoll ist, zeigt Kapitel 3.8.

3.6 Bonituren

Die Ergebnisse der Bestandsaufnahmen in den einzelnen Versuchsjahren fasst Tabelle 15 zusammen. Während der gesamten Versuchslaufzeit ergaben sich in den einzelnen Jahren deutliche Entwicklungsunterschiede der Kulturarten durch die jeweilige Witterung.

Beim Wintergetreide führten v. a. Starkregenfälle im Mai zu Lager. Im Herbst kam es zeitweilig zu Bodenverschlümmungen, was einen schlechten Aufgang der Saat bewirkte. An Krankheiten des Wintergetreides wurden nachgewiesen: Fusarium, Braun- und Gelbrost, Blattfleckenkrankheit und Typhula. Braun- und Gelbrost ist im Jahr 2014 bis zur BSA Notenskala von 5 aufgetreten. Der Unkrautdruck in der Spiegelanlage des Grundversuches beim Fruchtfolgeabschlussglied Winterroggen war ohne Herbizidbehandlung deutlich erhöht gegenüber der Grundanlage. Unterschiede innerhalb der Fruchtfolgen sind jedoch nicht zu erkennen (siehe Tabelle A 12 und Tabelle A 13).

Beim Mais konnten speziell im Jahr 2015 deutliche Trockenschäden festgestellt werden. Durch Bodenvernässung konnte teilweise nicht termingerecht geerntet werden, was die Qualität der Silage stark beeinträchtigte. Nach Luzerne- und Weidelgras ließ sich der Mais 2015 auf Grund zu geringer Bodenbearbeitung und hoher Frühsommertrockenheit kaum etablieren. Nach Luzernegras war so wenig Maisaufwuchs zu verzeichnen, dass dieser nicht geerntet wurde. Der Einsatz von Trichogramma-Schlupfwespen verringerte den Maiszünslerbefall deutlich. Durch Kolkraaben mussten Kolbenverluste in Kauf genommen werden.

Bei den Sorghumarten waren kaum Trockenschäden zu verzeichnen. Sorghum bicolor brachte mit Aufgangsraten von 85 und 96 % in beiden Jahren gute Ergebnisse. Die Sudangrasybriden reagierten auf die Frühsommertrockenheit des Jahres 2015 mit einem verzögerten Auflauf erst nach fünf Wochen. Auffällig sind die schlechten Auflaufsraten zwischen 73 und 78 %.

Im Luzernegras und in der Blümmischung trat Mäusebefall auf.

Eine unterschiedliche Wirkung der einzelnen Fruchtfolgen konnte an Hand der durchgeführten Bonituren nicht nachgewiesen werden.

Tabelle 15: Bestandsaufnahmeprotokoll der angebauten Feldfrüchte

Fruchtarten	2013	2014	2015	2016	2017
Wintergetreide/ Winterzwischenfrüchte	<p><u>Wickroggen, Wintergerste:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat Mitte September - Aufgang nach 8 Tagen - normale Vorwinterentwicklung - Biomasseverluste (abgefrorene Blätter), Vegetationsrückstand im Frühjahr (winterliche Frostperioden ohne Schneedecke) - Wickroggen bessere Frosthärte als Wintergerste - hohe Fusariumbelastung kurz vor Ernte, da nasser Mai (WiGerste) - gutes Wachstum (durchschnittliche Temperaturen, feuchter Frühling) - Ernte des Wickroggens problematisch, manuelle Aufrichtung (Wicke rangte um Roggenhalme, Lager durch Starkregenfälle Ende Mai) 	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung in Abhängigkeit vom Aussaatzeitpunkt unterschiedlich. <p><u>Wickroggen, Wigerste:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - standortübliche Ausbringung Mitte September - Aufgang nach 8-9 Tagen - normale Vorwinterentwicklung - Wickroggen: starke Dominanz der Wicken und Gräser (feuchte Witterung), Lager im mittleren Ausmaß im V nach Starkregen, Ernteprobleme - WiGerste: Fraßschäden durch Hasen, Braun- und Gelbrost (BSA = 5*), Blatfleckenkrankheit (<i>Rhynchosporium secalis</i>, BSA = 2*) <p><u>Grün-, Hybridroggen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat sehr spät, Ende X (Bodenverschlammung) - trotz erhöhter Aussaatmengen und eines feuchten, milden Herbstes spärlicher Aufgang, lückige Bestände → 'Vitallo' (Grünroggen) eigentlich spätsaatverträglich, 'Palazzo' (Hybridroggen) sollte bis Mitte X im Boden sein - Pilzbefall (milder Winter) - Untersuchungsbericht der mykologischen Diagnostik (BfUL): <i>Typhula</i> sp. - Blatfleckenkrankheit (<i>Rhynchosporium secalis</i>, BSA = 2*) - Verdacht auf Nematoden (verdrehte, nach unten gekrümmte Blätter), durch Labor nicht bestätigt - 3 Wochen früherer Vegetationsbeginn positiv für Getreidewachstum - weitere Verdichtung der Bestände durch Düngemenge über Bedarf, Pflanzenschutz, Wachstumsregler 	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung je nach Getreideart unterschiedlich: <p><u>Grünroggen, Hybridroggen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat je nach Vorfrucht (25.09./20.10.) - standortüblich - Aufgang nach 6-8 Tagen - gute Vorwinterentwicklung - Hybridroggen am Parzellenrand etwas lückig - keine sichtbaren Schäden durch Frühjahrstrockenheit <p><u>Wintertriticale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - zeitige Aussaat Ende September - nur 1/3 des Saatguts aufgegangen, Folge: Nachsaat Anfang November mit schlechter Bestandesetablierung in den Winter gegangen - zum Vegetationsbeginn Bestand weiterhin lückig - keine weiteren Schäden durch Frühjahrstrockenheit 	<p><u>Winterroggen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat je nach Vorfrucht standortüblich 2.10.2015, 28.10.2015) - Aufgang nach 13 Tagen - Bestand gut etabliert - keine Segetalflora (Herbizidanwendung) - keine Schädlinge zu beobachten - geringer bis mittlerer Befall mit Braunrost ab Mitte Juni, Fruchtfolgeunabhängig (BSA = 3*), siehe auch Tabelle A 14 im Anhang <p><u>Wintertriticale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat standortüblich (2.10. bzw. 8.10.2015) - Aufgang nach 13 bzw. 16 Tagen - vereinzelt geringer <i>Rhynchosporium</i>-Befall - gute Bestandesentwicklung aufgrund warmer Temperaturen und reichlichem Niederschlag im Frühsommer 	<p><u>Winterroggen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestand luftig mit geringen Wuchshöhen, dadurch unattraktiv für Schädlinge und Pilze - Wachstumsrückstand durch trockenen Frühling und Sommeranfang - geringer Druck durch Segetalflora; am zweiten Boniturtermin konnte im Vergleich zum ersten eine höhere Variation des Deckungsgrades bei den einzelnen Unkräutern in allen Fruchtfolgen verzeichnet werden. Ein Trend bezüglich eines unterschiedlichen Unkrautbesatzes konnte zwischen den Fruchtfolgen nicht beobachtet werden. Eine Unkrautartenliste zusammen mit den jeweiligen Unkrautdeckungsgraden ist in Tabelle A 12 und Tabelle A 13 im Anhang zu finden. - ab Mitte Juli vereinzelt geringer Braunrostbefall, jedoch keine Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen zu beobachten (siehe Tabelle A 14 im Anhang)

Fortsetzung Tabelle 15: Bestandsaufnahmeprotokoll der angebauten Feldfrüchte

Fruchtarten	2013	2014	2015	2016	2017
C ₄ -Pflanzen Hauptfrüchte	<p><u>Mais:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - standortübliche Aussaat Ende April - Aufgang nach 11 Tagen (gute Aufgangsdichte: 8 Pfl./m²) - erhebliche Beeinträchtigung Jugendentwicklung und Wachstum (kühles Frühjahr, heftige Niederschläge im Mai/Juni, Trocken-/Hitzeperiode im Sommer) - Bonitur Längenwachstum (27.06.): Pflanzenhöhen von 75-95 cm - Aufholung Wachstumsdefizit im Spätsommer (Niederschläge Ende Juli + August, warme Temperaturen) - Ernte am 2.9. mit Pflanzenhöhen von Ø 185 cm - starker Unkrautdruck (feuchte Witterung), bis zu 30 % vor Pflanzenschutzinsatz - Maiszünsler Ende der Blüte mit mittlerem bis starkem Befall (2013 noch keine Trichogramma-Behandlung) - Kolbenverluste durch Kolkraben 	<p><u>Mais:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat 2 Wochen früher als standortüblich (vorzeitiger Vegetationsbeginn) - verzögerter Aufgang nach 14 Tagen (ausbleibende NS bis Mitte Mai) - starke Trockenheit im Juni - Bonitur Längenwachstum (13.6.): Pflanzenhöhen von 65-80 cm - keine sichtbaren Pflanzenschädigungen - Aufholung Wachstumsdefizit ab Juli (schwül-warm) - Behandlung mit Trichogramma-Schlupfwespen, deutliche Verringerung Maiszünslerbefall - Mehrkolbigkeit - genetisch bedingt, Begünstigung durch hohe Sonneneinstrahlung, gute Nährstoffversorgung - Rotfärbung von Stängel und Blatt zum Schutz vor Sonneneinstrahlung (Anthocyane, sortenabhängig), durch Wassermangel induzierte P-Unterversorgung und Zink-/Molybdänmangel (Anzeichen: hoher Nacherntes-N_{min} – Reduktion, NO₃⁻ in Pflanze zu NH₄⁺ + Einbau in Aminosäuren, dazu wird Energie benötigt, die über Photosynthese und die dabei gebildeten Zucker gewonnen wird – reduzierendes Enzym Nitratreduktase - als Hauptbestandteile Zink und Molybdän → bei Mangel dieser Spurenelemente werden Zuckerstoffe nicht verwertet, sondern mit Transpirationssog in Blattspitzen/-ränder verlagert) - Ernte Mitte September bei Pflanzenhöhen von 1,90-2,20 m - optimaler Erntetermin: Anfang September, Befahrbarkeit nicht gegeben 	<p><u>Mais:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat standortüblich Ende April - Aufgang nach 11 Tagen (trockener April, aber Ende April 12 mm NS + Bodenfeuchtereserven vorhanden) - gute Bestandesetablierung (Anfang Mai 11 mm NS) - wochenlange Vorsommertrockenheit (Mai/Juni), unterdurchschnittliche Entwicklung, aber „Wasser hat gereicht für dichten Bestand“ - Pflanzenhöhen zu BBCH 31 (30.06.): 60-80 cm - deutliche Trockenheitsschäden (braune Blattspitzen) - Notreife ohne abschließende Kornfüllung - gute Wasserversorgung ab Juli - Pflanzenhöhen zwischen 160 und 190 cm am 21. Juli (BBCH 61) - Behandlung mit Trichogramma-Schlupfwespen, deutliche Verringerung Maiszünslerbefall - optimaler Erntetermin: Ende August – Bodenvernässung, Ernte erst Mitte September mit Folge eines zu hohen TS-Gehaltes 	<p><u>Mais</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat je nach Vorfrucht standortüblich (25.5. in FF 4 und 29.4 in FF 6) - Aufgang nach 9 Tagen (FF 4) bzw. 13 Tagen FF 6 - Behandlung mit Trichogramma-Schlupfwespen, deutliche Verringerung Maiszünslerbefall - Ernte Anfang September aufgrund zeitiger Abreife, dadurch kein Profit von warmen Septembertemperaturen - keine weiteren Auffälligkeiten zu beobachten 	----

* = BSA Notenskala für Bonituren des Bundessortenamtes (BSA 2000): Note 1 (sehr geringer Schädlingsbefall) bis Note 9 (sehr starker Befall)

** = keine Boniturdaten vorhanden

---- = kein Anbau in dem jeweiligen Jahr

Fortsetzung Tabelle 15: Bestandsaufnahmeprotokoll der angebauten Feldfrüchte

Fruchtarten	2013	2014	2015	2016	2017
C₄-Pflanzen Hauptfrüchte	<p><u>Sorghum bicolor:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat wie Zweitfrucht-Mais - zügiger Aufgang nach 7 Tagen - 85 %ige Aufgangsrate - Vorsommer Starkniederschläge, Sommer Trockenheit (Wachstumsstagnation) - ab Juli gutes Wachstum (warm-schwül) - profitierte von warmen Septemberwochen - Ernte Anfang Oktober (Beginn Rispschieben) mit Pflanzhöhen von Ø 233 cm 	<p><u>Sorghum bicolor:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat zeitgleich mit ZF-Mais (Mitte Mai) - Aufgang mit Rate von 96 % nach 10 Tagen - Wachstumsstagnation im Juni (Trockenphase, BBCH 30 am 15.7. Pflanzhöhen von 50-70 cm) - beste Wachstumsbedingungen während warmfeuchten Sommers - überragte bereits Ende August Mais in Bestandeshöhe - Ernte Mitte Oktober mit Pflanzhöhen > 3 m 			----
C₄-Pflanzen Zweitfrüchte	<p><u>Mais:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat relativ spät - Anfang Juni (Bodenverschlammung) - erschwelter Aufgang nach 7 Tagen (Starkregen), 7 Pfl. / m² - lückige Bestände - ähnlicher Entwicklungsverlauf wie HF-Mais - Kolbenverbiss ausgeprägter als bei HF-Mais - Ernte ebenfalls Anfang September (BBCH 75) 	<p><u>Mais:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat Mitte Mai - deutliche Vorteile gegenüber HF (Bodenwasservorräte gefüllt, warmes Frühjahr) - rascher Aufgang nach 9 Tagen - ZF-Mais überholte HF in Bezug auf Bestandeshöhe + Ertrag, Pflanzhöhen zur Ernte: 2,30 - 2,50 m <p><u>Sorghum bicolor x sudanense:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat eine Woche später als HF-Sorghum - Aufgang mit Rate von 73 % nach 13 Tagen - Wachstumsbedingungen analog HF - Ernte Mitte September (frühe Teigreife) 	<p><u>Mais:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat Ende Mai, 4 Wochen nach HF - aufgrund Trockenheit Aufgang erst nach 4 Wochen (22 mm NS) - sehr schlechte Bestandesetablierung nach Luzernegrass und Weidelgras – Ursache: schlechte Bodenbearbeitung (nur gegrubbert) - bessere Bestandesetablierung nach Grünroggen, aber auch lückig und unterdurchschnittlich - Pflanzhöhen am 21.07.: 70-80 cm <p><u>Sorghum bicolor x sudanense:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat Ende Mai zeitgleich mit Mais-ZF - Aufgang nach 5 Wochen (Anfang Juli 20 mm NS) - lückige Bestände - Pflanzhöhen am 21.07.: 40-60 cm - ab Mitte August (schwülwarm) gutes Wachstum, keine sichtbaren Trockenheitsschäden 	----	----

* = BSA Notenskala für Bonituren des Bundessortenamtes (BSA 2000): Note 1 (sehr geringer Schädlingsbefall) bis Note 9 (sehr starker Befall)

** = keine Boniturdaten vorhanden

---- = kein Anbau in dem jeweiligen Jahr

Fortsetzung Tabelle 15: Bestandsaufnahmeprotokoll der angebauten Feldfrüchte

Fruchtarten	2013	2014	2015	2016	2017
Sommerzwischenfrüchte	<p><u>Sorghum bicolor x sudanense:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat wie Zweitfrucht-Mais und HF-Sorghum Anfang Juni - zügiger Aufgang nach 7 Tagen - 78 %ige Aufgangsrate - Ausfallgetreide, Schadhirschen - Vorsommer Starkniederschläge, Sommertrockenheit (Wachstumstagnation) - ab Juli gutes Wachstum (schwülwarm) - profitierte von warmen Septemberwochen - Ernte Anfang September 	<p><u>Sorghum bicolor x sudanense:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat eine Woche später als HF-Sorghum - Aufgang mit Rate von 73 % nach 13 Tagen - Wachstumsbedingungen analog HF - Ernte zu spät Mitte Oktober (TS = Ø 39 %), Defekt am Häcksler 	<p><u>Einjähriges Weidelgras:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat Anfang Juli (22 mm NS nach wochenlanger Trockenheit am 23. Juni) - rascher Aufgang nach 8 Tagen (erneut 20 mm NS während Aufgangsphase) - Juli/August zu trocken für gutes Wachstum des Grases – Folge: lückiger, unterentwickelter Bestand - ab Mitte August NS, Förderung Unkraut druck <p><u>Sorghum bicolor x sudanense:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat Ende Mai zeitgleich mit Mais-ZF und Sorghum-ZF - Aufgang nach 5 Wochen (Anfang Juli 20 mm NS) - lückige Bestände - Pflanzhöhen am 21.07: 40-50 cm - ab Mitte August (schwülwarm) gutes Wachstum, keine sichtbaren Trockenschäden 	<p><u>Einjähriges Weidelgras:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - zeitige Aussaat Ende Mai - gute Entwicklung durch reichlich Niederschläge im Frühling und Sommeranfang - zeitige Ernte Mitte August mit guten Erträgen (Ø 78 dt TM/ha) 	----
über- bzw. mehrjährige Gräser- und Grasmenge (Luzernegras, Welsches Weidelgras)	<p><u>Luzernegras:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - zu späte Aussaat (Ende September, Projektpause) → laut SAATEN UNION (2013) Aussaat bis Ende August bei Temperaturen > 8,5°C - schlecht entwickelte Bestände vor Wintereintritt (zu kurze Jugendentwicklungsphase, kalte Tage im Spätherbst, starker Unkrautdruck) - Bestockungsschnitt im Frühjahr: Verringerung Segetalflora auf 20-25% - Verschiebung Luzerne-Gras-Verhältnis (2:1) in Richtung Gräser (zunehmende Feuchte) 	<ul style="list-style-type: none"> - profitierten von Niederschlägen im Spätherbst und Frühjahr - starker Unkrautdruck - verstärkter Durchwuchs von Weidelgras in anderen Kulturen (FF 3, 5, 8) - Mäusebefall - Luzerne-Gras-Verhältnis (2:1) verschob sich nach jedem Schnitt in Richtung Gräser 	<ul style="list-style-type: none"> - zu Vegetationsbeginn üppige Bestände, wenig Segetalflora - Gräserdominanz (90 % Gras im Luzernegras) - Mäusebefall - deutliche Schäden durch Frühjahrs- und Vorsommertrockenheit - nur geringfügiger Wiederaufwuchs nach 1. Schnitt beim Luzernegras 		----

* = BSA Notenskala für Bonituren des Bundessortenamtes (BSA 2000): Note 1 (sehr geringer Schädlingsbefall) bis Note 9 (sehr starker Befall)

** = keine Boniturdaten vorhanden

---- = kein Anbau in dem jeweiligen Jahr

Fortsetzung Tabelle 15: Bestandsaufnahmeprotokoll der angebauten Feldfrüchte

Fruchtarten	2013	2014	2015	2016	2017
Sonstige Kulturen (Rübe, Blütmischung)	----	----	<p><u>Blütmischung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Mäusebefall - starker Weidelgras-Durchwuchs, Weidelgras ist keine Komponente der Mischung, 2013 - W. Weidelgras in Wickroggen-Gemenge -> nur gegrubbert <p><u>Rübe:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat standortüblich Anfang April (Trockenheitsphase) - Aufgang nach 13 Tagen - gute Entwicklung trotz wochenlanger Trockenheit - „verbrannte“ Blätter, Blattschäden gut verwachsen 	<p><u>Blütmischung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussaat Anfang Juli - Aufgang nach 14 Tagen - Herbizidanwendung Ende August 2015 - zeitige Ernte Mitte August <p><u>Rübe</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - späte Aussaat Ende April - Aufgang nach 11 Tagen - Ernte Anfang Oktober - schlechte Entwicklung ab Juli aufgrund fehlender Niederschläge 	----
Dauerkulturen	**	**	**	<p><u>Szarvasigras:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestandeshöhen zwischen 40 und 53 cm am 4.4. (BBCH 30) - Bestandeshöhen zwischen 81 und 101 cm am 15.5. (BBCH 46) - Bestandeshöhen zwischen 160 und 178 cm am 17.6. (BBCH 61) <p><u>Durchwachsene Silphie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestandeshöhen zwischen 47 und 76 cm am 4.4. (BBCH 16-18) - Bestandeshöhen zwischen 99 und 138 cm am 15.5. (BBCH 34) - Bestandeshöhen zwischen 181 und 201 cm am 15.7. (BBCH 61) 	<p><u>Szarvasigras:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestandeshöhen zwischen 43 und 62 cm am 6.4. (BBCH 33) - Bestandeshöhen zwischen 90 und 112 cm am 18.5. (BBCH 49) - Bestandeshöhen zwischen 183 und 201 cm am 22.6. (BBCH 69) - besserer Ertrag als 2016 aufgrund höherer Niederschläge im Juli und August <p><u>Durchwachsene Silphie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestandeshöhen zwischen 63 und 95 cm am 6.4. (BBCH 21) - Bestandeshöhen zwischen 94 und 135 cm am 18.5. (BBCH 35) - Bestandeshöhen zwischen 199 und 223 cm am 4.7. (BBCH 62) - gute Erträge; konnte warme Temperaturen im Juli und August gut ausnutzen

* = BSA Notenskala für Bonituren des Bundessortenamtes (BSA 2000): Note 1 (sehr geringer Schädlingsbefall) bis Note 9 (sehr starker Befall)

** = keine Boniturdaten vorhanden

---- = kein Anbau in dem jeweiligen Jahr

3.7 Ökologische Nachhaltigkeitsbewertung

3.7.1 Nährstoffhaushalt (N, P, K, Mg)

Nährstoffbilanzen bewerten das Verhältnis der von den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffe zu den zugeführten Nährstoffen. Im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft ist eine ausgeglichene Nährstoffbilanz anzustreben, um einerseits eine Auswaschung der zugeführten Nährstoffe und andererseits eine Unterversorgung der Pflanzen und den damit einhergehenden Ertragseinbußen zu vermeiden.

Die Nährstoffsalden (Jahresmittel in $\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$) sind für die Nährstoffe Stickstoff, Kalium, Phosphor und Magnesium in Abbildung 12 dargestellt. Die Stickstoffzufuhr durch die in Fruchtfolge 4 integrierten Leguminosen wurde nicht berücksichtigt. Eine genaue Zusammenstellung der Nährstoffzufuhren und -entzüge sind in den Tabelle A 35 bis Tabelle A 49 im Anhang dargestellt.

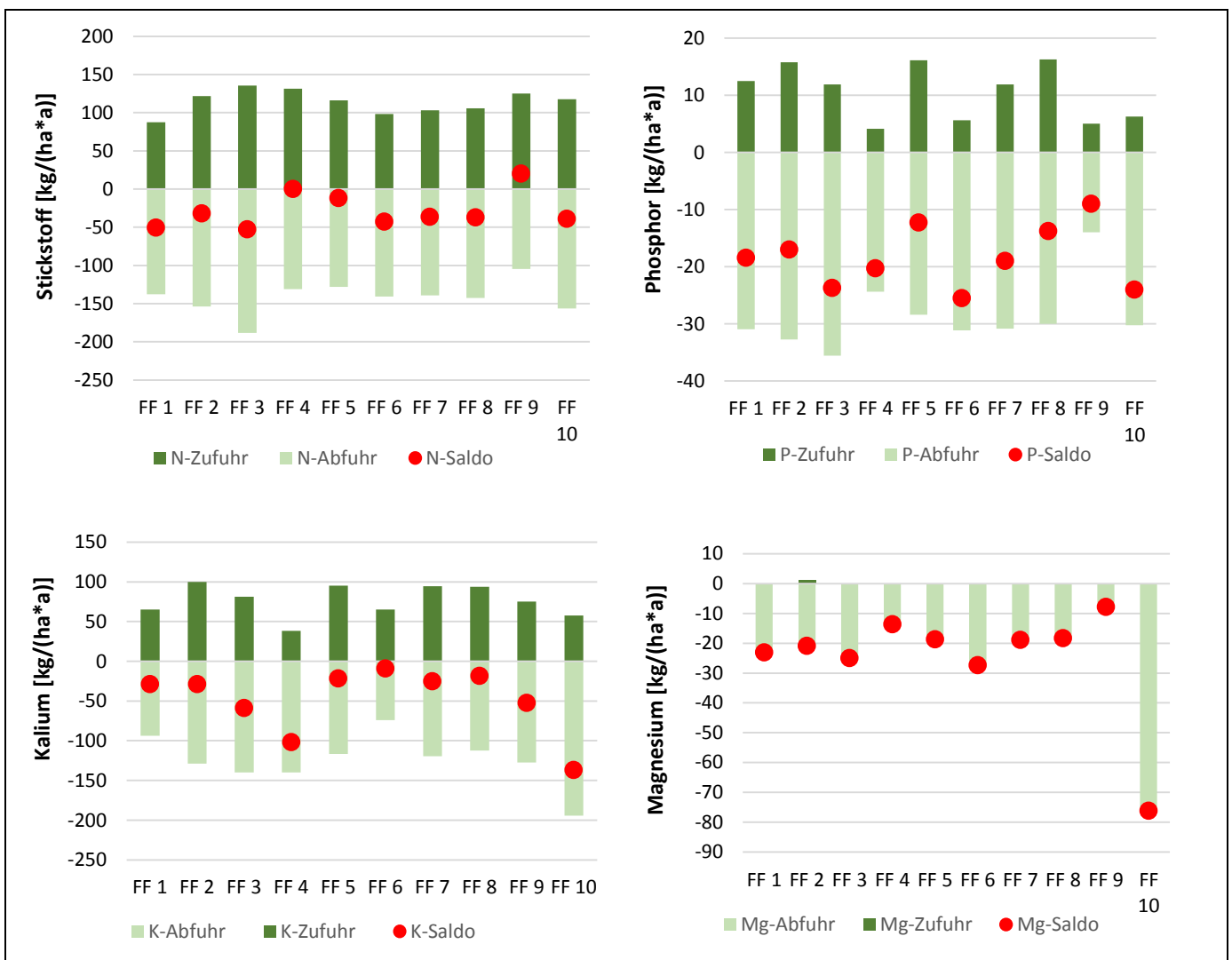


Abbildung 12: Nährstoffhaushalt der im Projekt angelegten Fruchtfolgen für die Nährstoffe N, P, K und Mg für Grund- und Spiegelanlage für alle Versuchsjahre

Durch eine standortangepasste Düngung wird versucht, die anhand der Ertragserwartung optimalen Mengen an Nährstoffen zuzuführen. Je nach Witterungsbedingungen, Bewirtschaftungsform und Pflanzenwachstum können die Gehalte an Pflanzennährstoffen im Boden jedoch suboptimal ausfallen, was letztendlich zu unausgeglichenen Nährstoffsalden führt.

Stickstoff

Stickstoff ist Voraussetzung für ein optimales Pflanzenwachstum und somit Hauptkriterium für hohe Quantität und Qualität des Erntegutes. Bei der Betrachtung der Fruchtfolgen ist darauf hinzuweisen, dass das Abschlussfruchtfolgeglied Winterroggen sowohl in der Grundanlage als auch in der Spiegelanlage keine N-Düngung erhalten hat. Bei den erprobten Fruchtfolgen fallen bis auf Fruchtfolge 9 (Szarvasigras) alle Stickstoffbilanzen negativ aus. Bei der Luzernefruchtfolge kann man von einer ausgeglichenen Bilanz sprechen. Die Salden variieren zwischen $-53 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ (Fruchtfolge 3) und $20 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ (Fruchtfolge 9).

Über den gesamten Versuchszeitraum gesehen wurde nur in den Fruchtfolgen 4, 5 und 9 ein Gleichgewicht zwischen Düngung und Nährstoffentzug erzielt. In den restlichen Fruchtfolgen hätte im Durchschnitt $28 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ mehr gedüngt werden müssen, um einen ausgeglichenen N-Haushalt zu erreichen. Dieser wurde jedoch nicht erreicht, da die Kulturen in Abhängigkeit von der Witterung im Jahresertrag und damit auch im Nährstoffentzug stark schwanken. Der N-Entzug korreliert in hohem Maße mit dem Ertrag und somit weisen vor allem Mais, Futterhirse, Sudangrashybride und Durchwachsene Silphie einen hohen N-Entzug auf (Abbildung 12).

Phosphor

Die Nährstoffbilanz von Phosphor ist leicht negativ und variiert zwischen -9 und $-25 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$. Durchschnittlich wurden $11 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ gedüngt. Für einen ausgeglichenen P-Haushalt wäre im Durchschnitt eine um $29 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ höhere Düngung empfehlenswert gewesen. Einen hohen Phosphorverbrauch zeigten vor allem Mais und Durchwachsene Silphie (Abbildung 13).

Kalium, Magnesium

Die Nährstoffbilanzen der Nährstoffe Kalium und Magnesium fielen ebenfalls negativ aus, mit Werten zwischen -9 und $-137 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ bei Kalium und -8 und $76 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ bei Magnesium. Sowohl bei Kalium als auch bei Magnesium ist der hohe Verbrauch von Durchwachsener Silphie (Abbildung 13) und die damit einhergehende negative Bilanz in Fruchtfolge 10 auffällig. Hier ist beim Anbau auf eine ausreichende Zufuhr dieser Nährstoffe zu achten. Im Projekt fand in der Spiegelanlage keine Magnesium-Düngung statt und in der Grundanlage nur in Fruchtfolge 2.

Durch den Anbau von Pflanzen für die Ganzpflanzennutzung werden dem System hohe Nährstoffmengen entzogen. Vor allem beim Anbau von zwei Kulturen innerhalb eines Vegetationsjahres zur Ganzpflanzennutzung sind hohe Nährstoffentzüge zu verzeichnen. Eine optimale Düngung ist in jedem Fall anzustreben, jedoch weisen vor allem sandige Böden geringe Speicherkapazitäten von Wasser und Nährstoffen auf, wodurch eine zu hohe Düngung in Abhängigkeit der auftretenden Niederschläge eine hohe Auswaschung, vor allem von Stickstoff, Kalium und Magnesium zur Folge hat.

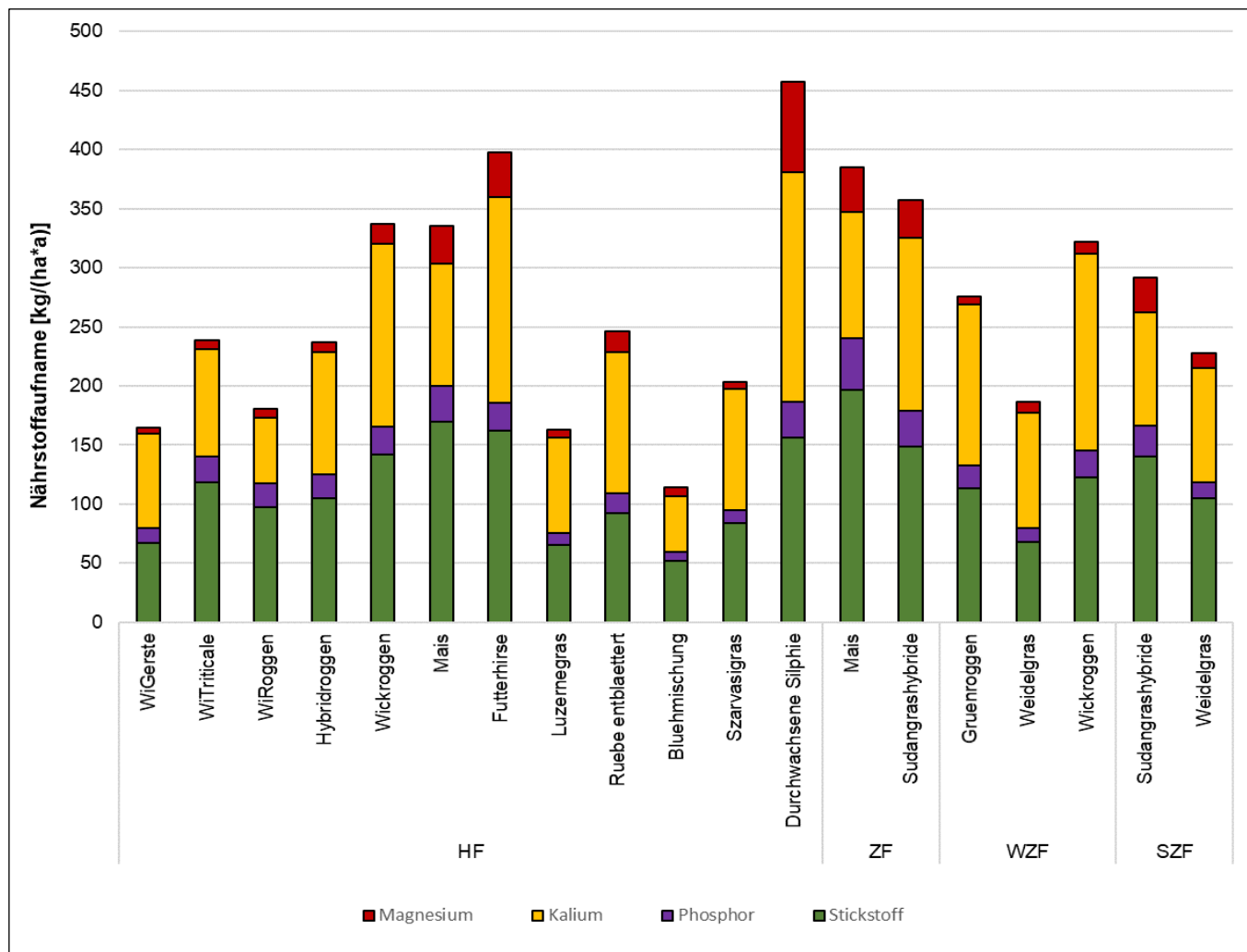


Abbildung 13: Durchschnittliche Nährstoffaufnahmen der einzelnen Fruchtarten im Versuchszeitraum

Die Smin-, K-, P-, Mg-, Ct-, Humus- und pH-Bodenwerte sind für die Fruchtfolgen 9 und 10 erst ab dem Jahr 2016 vorhanden und in Tabelle A 15: und Tabelle A 16: zu finden. Des Weiteren sind die Smin-, K-, P-, Mg-, Ct-, Humus- und pH-Bodenwerte für die Spiegelanlage 2016 und für Winterroggen in der Grund- und Spiegelanlage in den Tabelle A 17 bis Tabelle A 25 im Anhang zu finden.

3.7.2 Potentielle Nitratausträge

Nitrat wird allgemein als Motor des Pflanzenwachstums bezeichnet und ist der wichtigste Nährstoff für gute qualitativ hochwertige Ernteprodukte. Jedoch kommt es auf Grund hoher Frühsommertrockenheit und wenigen Niederschlägen in der ersten Vegetationsperiode (zu geringe Grundwasserneubildung für solche Standorte), zeitweilig zur Anreicherung von Stickstoff im Boden. Bei dann auftretenden Starkregenereignissen, kann der Stickstoff als Nitrat ausgewaschen werden und das Grundwasser verunreinigen. Somit trägt die zu geringe Grundwasserneubildung am Standort Trossin zu einem Anstieg des Nitratgehalts im Grundwasser bei. Um die Zielvorgabe der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) „Schaffung eines guten ökologischen und chemischen Zustands von Gewässern“ erfüllen zu können, müssen die Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser reduziert werden. Dies ist in Trockengebieten vor allem durch eine dem Nährstoffbedarf der Kulturpflanzen angepasste Düngung in Verbindung mit einer Bewässerung zu erreichen. Da eine Sickerwasserbewegung im Boden langsam stattfindet und Nitratausträge anhand des Sickerwassers erst nach Jahren bewertet werden können, bietet sich die Messung des N_{min} -Bodengehalts nach der Ernte an, um Austräge abschätzen zu können. Der N_{min} -Gehalt gibt den Gehalt an leicht verfügbarem mineralischem Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium an. Je höher der N_{min} -Gehalt nach der Ernte ist, desto höher ist

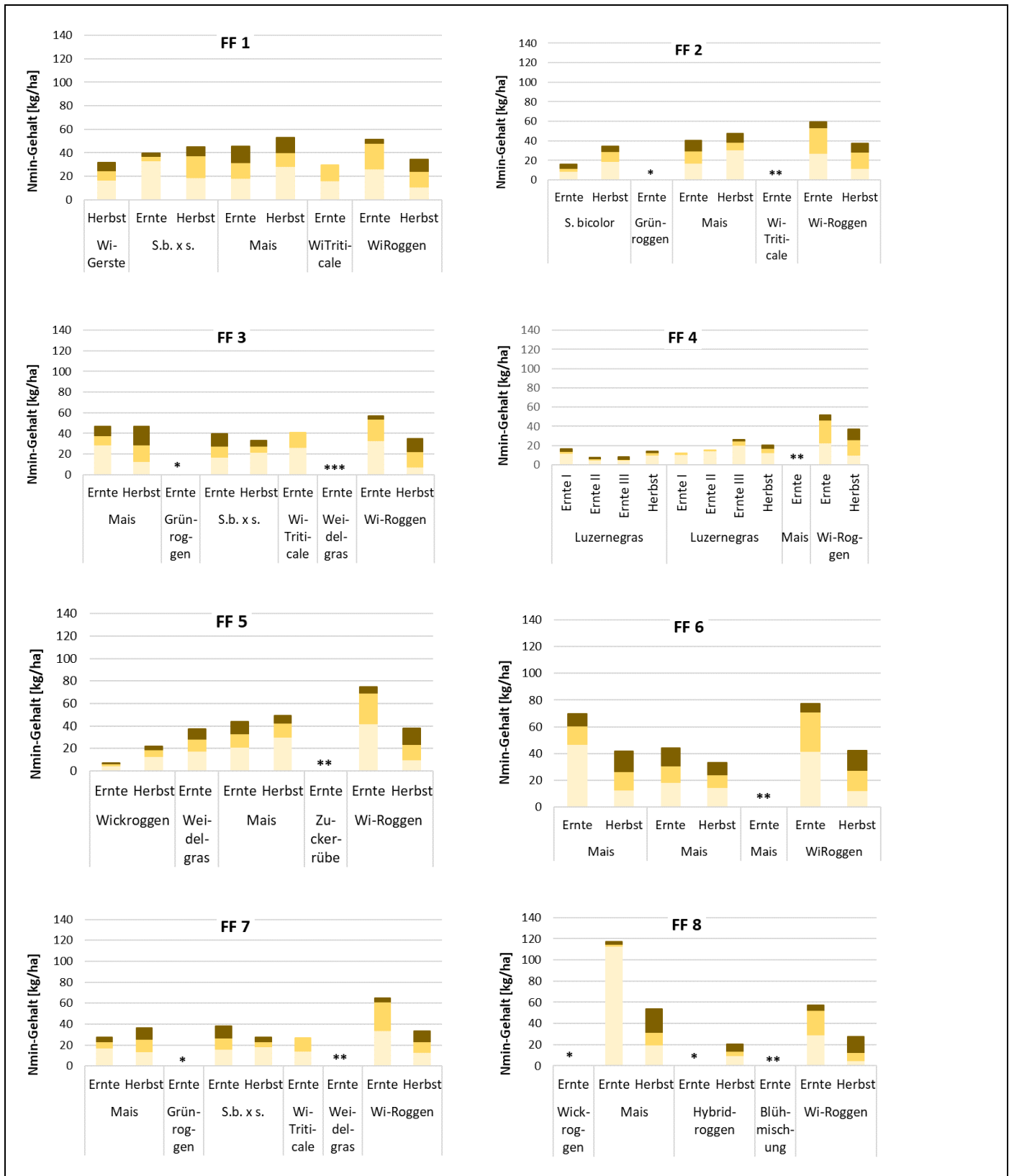
auch das Risiko, dass Stickstoff ausgewaschen wird. Dies ist besonders der Fall, wenn Flächen im Winter brach liegen und Stickstoff daher nicht durch Pflanzen fixiert werden kann.

Die N_{\min} -Gehalte nach der Ernte für die erprobten Fruchtfolgen sind für die Grundanlage in Abbildung 14 und für die Spiegelanlage in Abbildung 15 dargestellt. Die N_{\min} -Gehalte nach der Ernte liegen in 0 bis 60 cm Tiefe zwischen 5 und 71 kg/ha (Ausreißer nach oben sind zusätzlich vorhanden) und sind damit im geringen bis hohen Gefährdungsbereich einzustufen, in den meisten Fällen jedoch im mittleren Bereich (BEISECKER, 2012). Ausreißer nach oben in der Grundanlage ist mehrfach Winterroggen-Marktfuchtanbau im Jahr 2016. In Fruchtfolge 8 ließ Mais 2013 fast 120 kg N/ha nach der Ernte im Acker zurück. In der Spiegelanlage hinterließen Wintertriticale und Zuckerrüben hohe N_{\min} -Gehalte. Hauptgrund für die Nichtausschöpfung gedüngter Stickstoffmengen war fehlender Niederschlag in den entsprechenden Entwicklungsphasen der Pflanze (unterschiedliches Nährstoff- und Wasseraufnahmepotential). Dadurch konnten gedüngte Stickstoffmengen nicht zum richtigen Zeitpunkt optimal genutzt werden. Der Nachernte- N_{\min} -Gehalt in 0 bis 60 cm Tiefe liegt bei Mais zwischen 23 und 61 kg/ha und bei den Sorghumhirsen zwischen 12 und 37 kg/ha. Dies bestätigt erneut das bessere Nährstoffaneignungsvermögen von Sorghumhirsen gegenüber Mais (THEIß & JÄKEL 2012, 2014; ZANDER & JÄKEL 2012). Getreide-GPS mit spätem Erntezeitpunkt weist erfahrungsgemäß den geringsten N_{\min} -Gehalt nach der Ernte im Boden auf (BUTTLAR 2012). Dies ist in diesem Projekt vor allem beim Grün- und Hybridroggen festzustellen. Wintertriticale lieferte im Vergleich höhere Nachernte- N_{\min} -Gehalte in 0 bis 60 cm Tiefe.

Auffällig sind die hohen N_{\min} -Gehalte vor allem beim mit N-ungedüngten Winterroggen-Abschlussfruchtfolgeglied. Die hohen N_{\min} -Gehalte bis 75 kg/ha, bei dem auch guten Kornertrag (49 dt/ha) des Jahres 2016, lassen sich nur schwer interpretieren. Offensichtlich muss es durch hohe Temperaturen auch zu großer Mineralisierung von Stickstoff gekommen sein. Auch im Jahr 2017 hinterließ der Winterroggen vergleichsweise höhere N_{\min} -Gehalte. Jedoch liegt der N_{\min} -Gehalt bei allen Kulturen gegenüber dem Jahr 2016 auf geringerem Niveau.

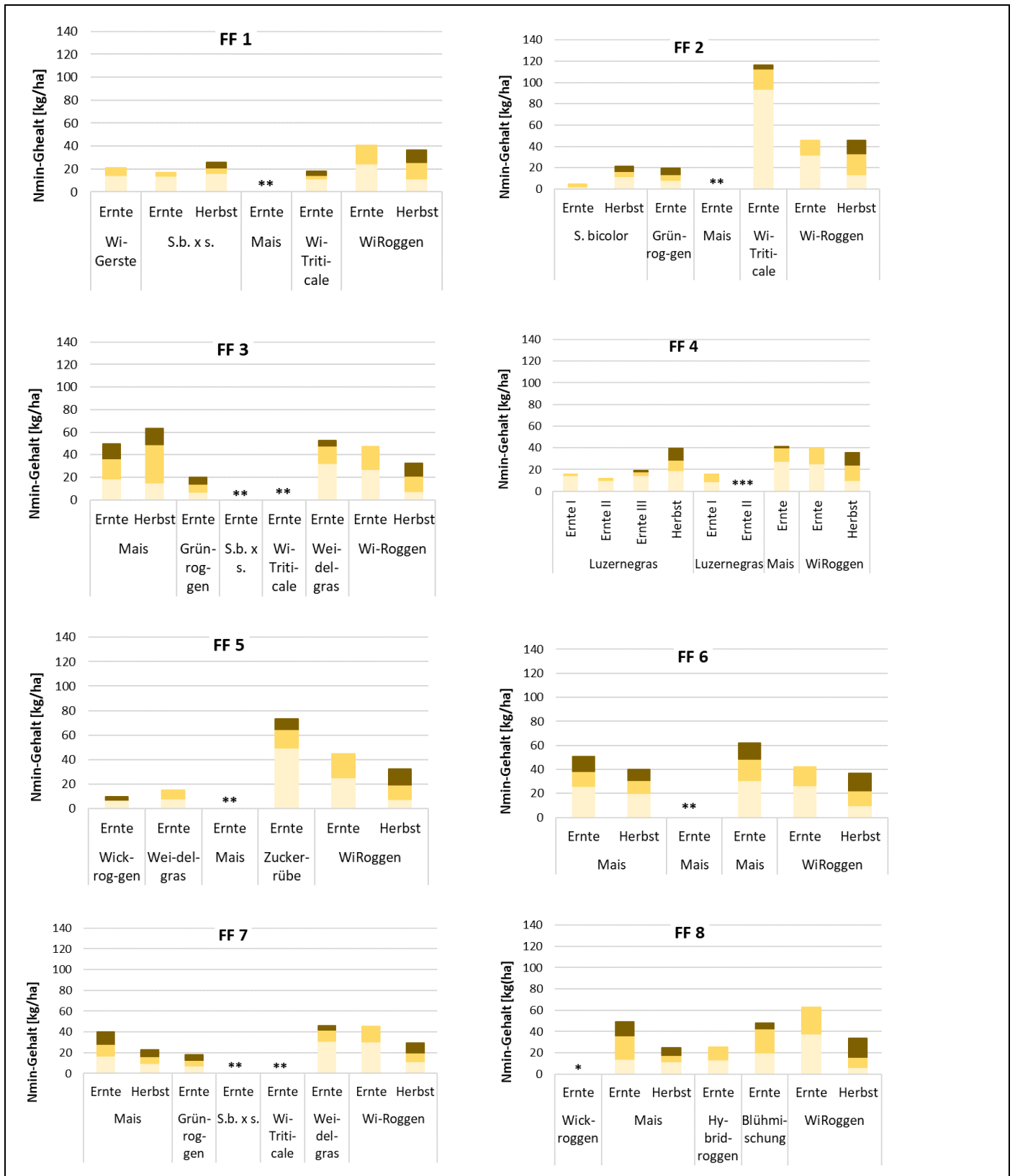
Hohe N_{\min} -Gehalte traten in der Grundanlage vor allem in der Fruchtfolge 5 und 6 nach der Ernte auf. Die höchsten N_{\min} -Gehalte waren in der Grundanlage bei Fruchtfolge 8 nach der Ernte festzustellen. In der Spiegelanlage konnte dies jedoch nicht bestätigt werden. Hier zeigten Wintertriticale in Fruchtfolge 2 und Zuckerrübe in Fruchtfolge 5 hohe Nachernte- N_{\min} -Gehalte. Dies weist auf die unterschiedlichen Witterungsverhältnisse, vor allem der Niederschläge, der einzelnen Jahre hin.

Szarvasigras hinterließ vergleichsweise mittlere N_{\min} -Gehalte im Boden, Durchwachsene Silphie auf Grund des hohen Ertrages nur geringe (siehe Tabelle A 15 im Anhang).



* Probenahmegerät defekt, ** keine Probe genommen, *** Probenahme nicht möglich
 ocker = 0-30 cm, gelb = 30-60 cm, braun = 60-90 cm

Abbildung 14: N_{min}-Gehalte für alle Fruchtfolgen im Grundversuch in der Grundanlage



* Probenahmegerät defekt, ** keine Probe genommen, *** Probenahme nicht möglich
 ocker = 0-30 cm, gelb = 30-60 cm, braun = 60-90 cm

Abbildung 15: N_{min}-Gehalte für alle Fruchtfolgen im Grundversuch in der Spiegelanlage

3.7.3 Reduzierte Stickstoff-Düngung

Die Nitratgehalte im Boden und im Grundwasser werden oft als Maßstab für eine gute landwirtschaftliche Praxis herangezogen. In diesem Projekt wurde daher das Ertragsverhalten bei einer reduzierten Stickstoffdüngung (Fruchtfolge 7) im Vergleich zur standortangepassten Stickstoffdüngung (Fruchtfolge 3) untersucht. Die Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte für die Fruchtfolgeglieder der Fruchtfolgen 3 und 7 sind für die Versuchsjahre 2013 bis 2017 in der Abbildung 16 bis Abbildung 20 dargestellt

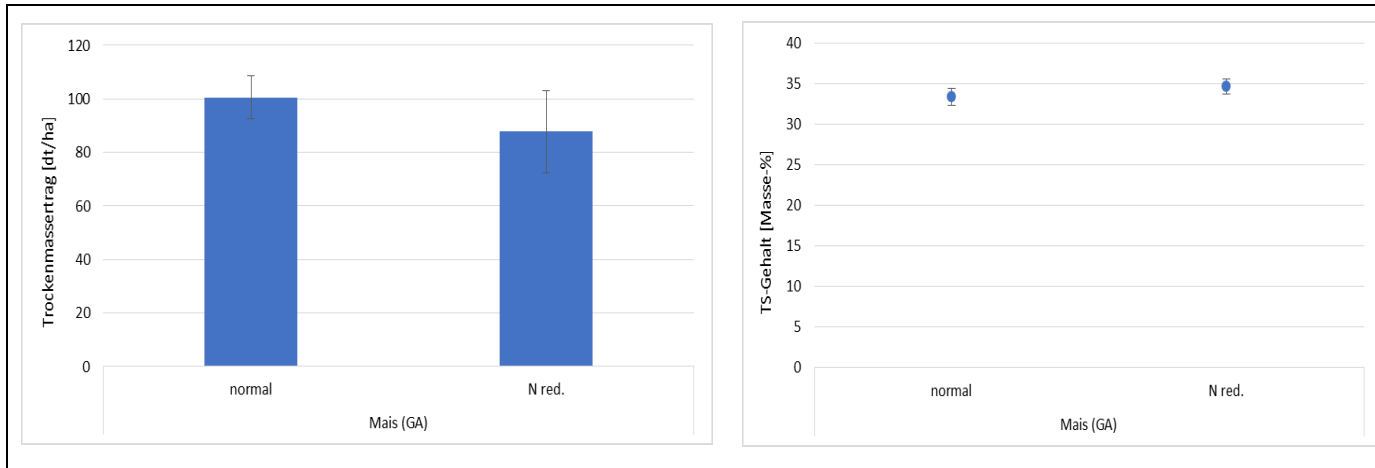


Abbildung 16: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 (normale N-Düngung) und 7 (um 25 % reduzierte N-Düngung) im Versuchsjahr 2013

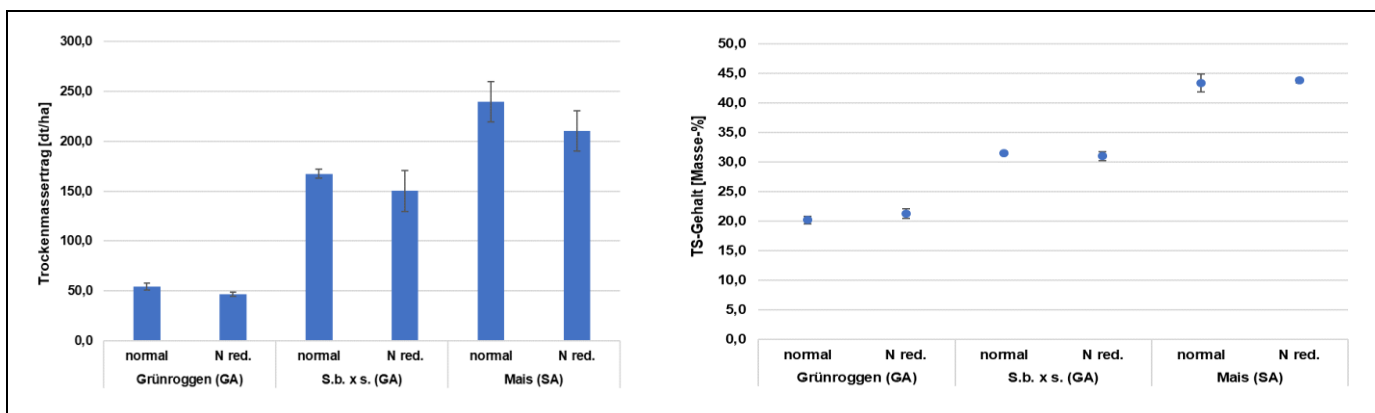


Abbildung 17: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 (normale N-Düngung) und 7 (um 25 % reduzierte N-Düngung) im Versuchsjahr 2014

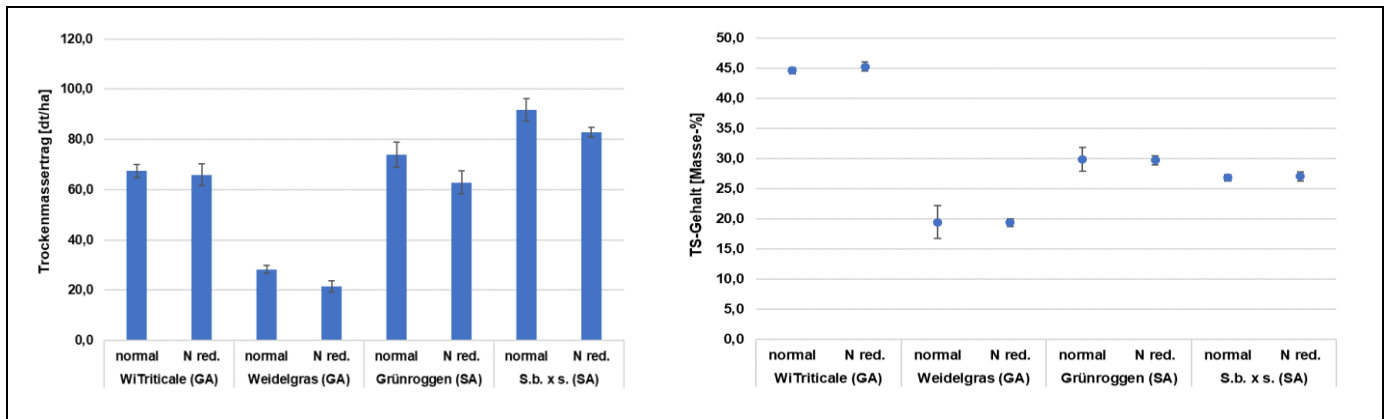


Abbildung 18: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 (normale N-Düngung) und 7 (um 25 % reduzierte N-Düngung) im Versuchsjahr 2015

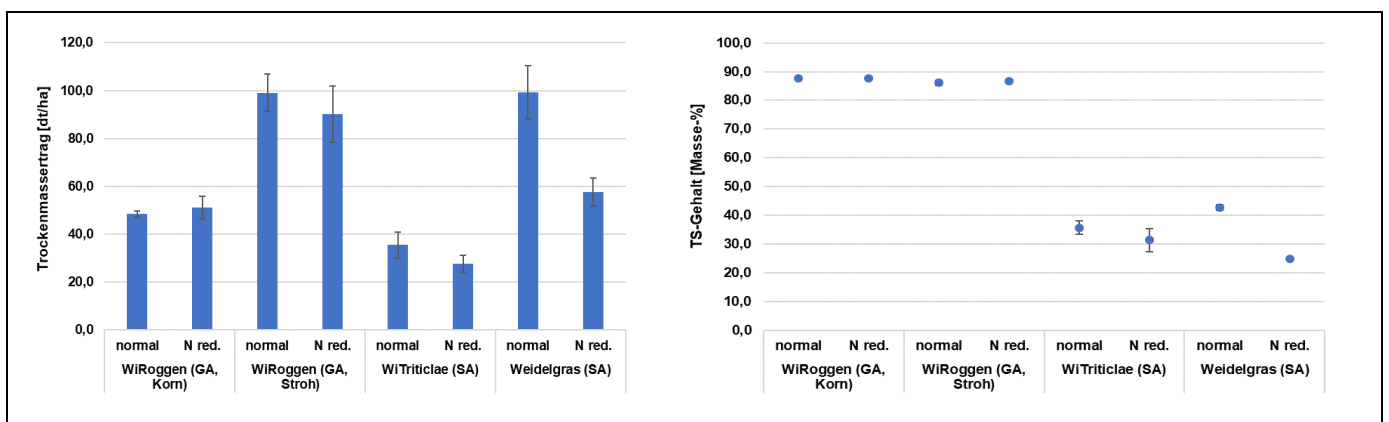


Abbildung 19: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 (normale N-Düngung) und 7 (um 25 % reduzierte N-Düngung) im Versuchsjahr 2016

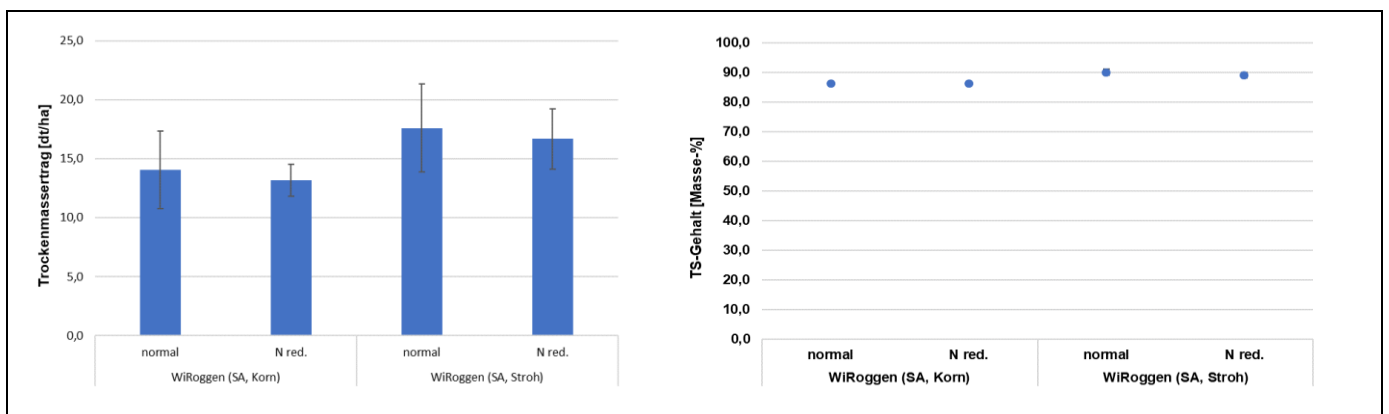


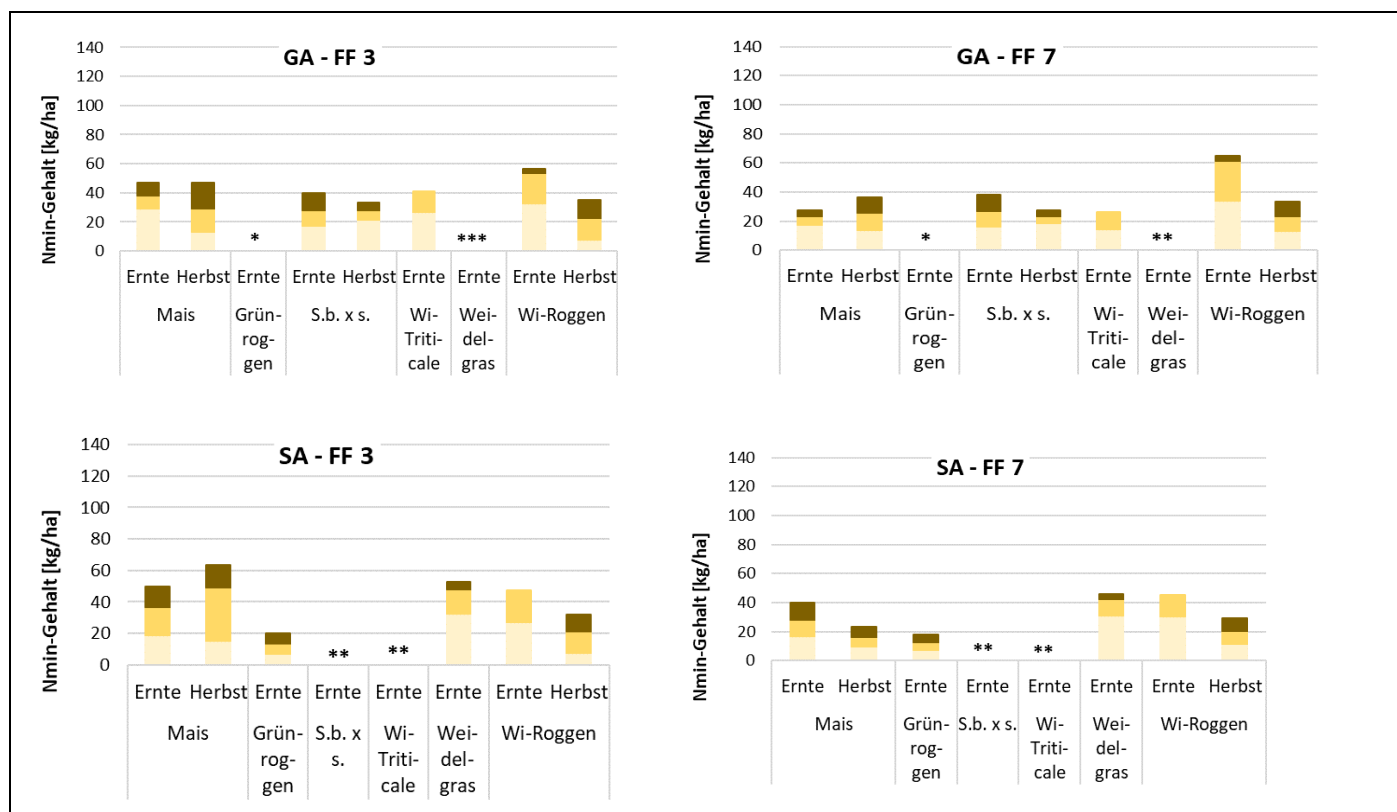
Abbildung 20: Trockenmasseerträge und TS-Gehalte zusammen mit der jeweiligen Standardabweichung der Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 (normale N-Düngung) und 7 (um 25 % reduzierte N-Düngung) im Versuchsjahr 2017

Bis auf Winterroggen im Versuchsjahr 2016 wurde bei allen Fruchtarten ein Minderertrag zwischen zwei Prozent (Wintertriticale im Versuchsjahr 2015) und 42 Prozent (Weidelgras im Versuchsjahr 2016) festgestellt. Bei Winter-

roggen (2016) wurde bei der stickstoffreduzierten Variante ein Mehrertrag von fünf Prozent erzielt. Anhand der Standardabweichung ist erkennbar, dass sich eine reduzierte Stickstoffdüngung nicht auf die Ertragsstabilität auswirkt. Auf das Abreifeverhalten hatte die reduzierte Stickstoffdüngung ebenfalls keinen Einfluss.

Die Auswirkung einer reduzierten Stickstoffdüngung auf den N_{min} -Gehalt nach der Ernte ist in Abbildung 21 dargestellt. Bei fast allen Fruchtfolgegliedern, welche reduziert gedüngt wurden, war ein niedrigerer Nachernte- N_{min} -Gehalt feststellbar als bei den normal gedüngten Fruchtfolgegliedern. Einzig Winterroggen in der Grundanlage zeigte nach der Ernte in Fruchtfolge 7 etwas höhere N_{min} -Gehalte als in Fruchtfolge 3. Die größte Reduzierung lag bei 40 %. Jedoch erfolgte in einem Fruchtfolgeglied auch eine Erhöhung um 12 %. Im Durchschnitt wurden die N_{min} -Gehalte um rund 20 % reduziert.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine reduzierte Stickstoffdüngung einen etwas geringeren Ertrag zur Folge hat, jedoch auch ein geringeres Auswaschungspotential von Stickstoff mit dem Sickerwasser.



* Probenahmegerät defekt; ** Projektwechsel; *** Probenahme nicht möglich

Abbildung 21: N_{min} -Gehalte nach der Ernte für die Fruchtfolgeglieder in den Fruchtfolgen 3 (normale N-Düngung) und 7 (um 25 % reduzierte N-Düngung)

3.7.4 Humushaushalt

Humus (lat. „feuchter, fruchtbarer Erdboden“) bezeichnet die Gesamtheit der toten organischen Substanz eines Bodens. Er unterliegt vor allem den Bodenorganismen, die durch ihre Stoffwechselaktivitäten zum Auf-, Um- und Abbau des Humus beitragen. Humus ist ein wesentlicher Faktor für die Fruchtbarkeit bzw. Ertragsfähigkeit von Böden. Einflussfaktoren, welche den Humushaushalt beeinflussen, sind vor allem Bodentemperatur, Bodenwassergehalt, Bodenart, Fruchtfolgegestaltung und die landwirtschaftliche Nutzung (LfULG, 2014).

Das Ergebnis der Humusbilanzierung für die erprobten Fruchtarten ist für die Grundanlage in Abbildung 22 und für die Spiegelanlage in Abbildung 23 dargestellt. Die Balken oberhalb der Null-Linie zeigen jeweils die Humuszufuhr, die Balken unterhalb der Null-Linie die Humusabfuhr. Die Zahlen unterhalb der Balken zeigen die Summe über den gesamten Versuchszeitraum für die jeweilige Fruchtfolge.

Zu den Humuszehrnern gehören Fruchtarten, die zur Ganzpflanzennutzung komplett vom Feld gefahren wurden, wie Mais (-140 kg Humus-C/ha) und Getreideganzpflanzen (-280 kg Humus-C/ha). Den höchsten Verbrauch hatte die Zuckerrübe (-760 kg Humus-C/ha), wobei dieser durch Verbleiben der Blätter auf dem Feld etwas gesenkt werden konnte. Ebenso konnte durch Verbleiben des Getreide-Strohs beim Marktfrucht-Getreide der Humushaushalt positiv beeinflusst werden. Humusmehrende Eigenschaften werden dem Luzernegras (+600 kg Humus-C/ha), der Sudangrashybride (+260 kg Humus-C/ha), der Futterhirse (+140 kg Humus-C/ha), der Blümmischung (+700 kg Humus-C/ha) und dem Weidelgras (+100 kg Humus-C/ha) zugeschrieben. Weiterhin haben Gründüngungspflanzen wie Phacelia und Senf, welche auch in den Fruchtfolgen integriert wurden, einen positiven Einfluss auf die Humusbilanz.

In der Grundanlage zeigten bis auf Fruchtfolge 5 alle Fruchtfolgen eine positive Humusbilanz, in der Spiegelanlage nur die Fruchtfolgen 2, 4 und 8. Dies ist vor allem durch den hohen Strohertrag des Winterroggens im Jahr 2016 begründet, welcher im Jahr 2017 deutlich geringer ausfiel. Fruchtfolge 4 zeigte sowohl in der Grund- als auch in der Spiegelanlage die am meisten humusmehrenden Eigenschaften aufgrund des hohen Leguminosen-Anteils in Form von Luzernegras. Ebenso zeigte Fruchtfolge 8 in der Grund- und Spiegelanlage gute humusmehrende Eigenschaften, was vor allem auf die in die Fruchtfolge integrierte Blümmischung zurückzuführen ist (Abbildung 22 und Abbildung 23). Die schlechteste Humusbilanz zeigte die Fruchtfolge 5 aufgrund der in die Fruchtfolge integrierten stark humuszehrenden Zuckerrübe, trotz der positiven Wirkung der auf dem Feld verbliebenen Blätter.

Als Fazit lässt sich feststellen, dass vor allem die Integration von Leguminosen und Blümmischungen den Humushaushalt positiv beeinflussen. Weidelgras und Zwischenfrüchte wie Phacelia und Senf zeigen ebenfalls humusmehrende Eigenschaften, jedoch in geringerem Maße. Die humusmehrenden Eigenschaften von Stroh und Zuckerrübenblättern variieren jährlich mit dem Ertrag. Die Integration von Sudangrashybride und Futterhirse in die Fruchtfolge zeigt gegenüber Mais eine positive Wirkung auf die Humusbilanz.

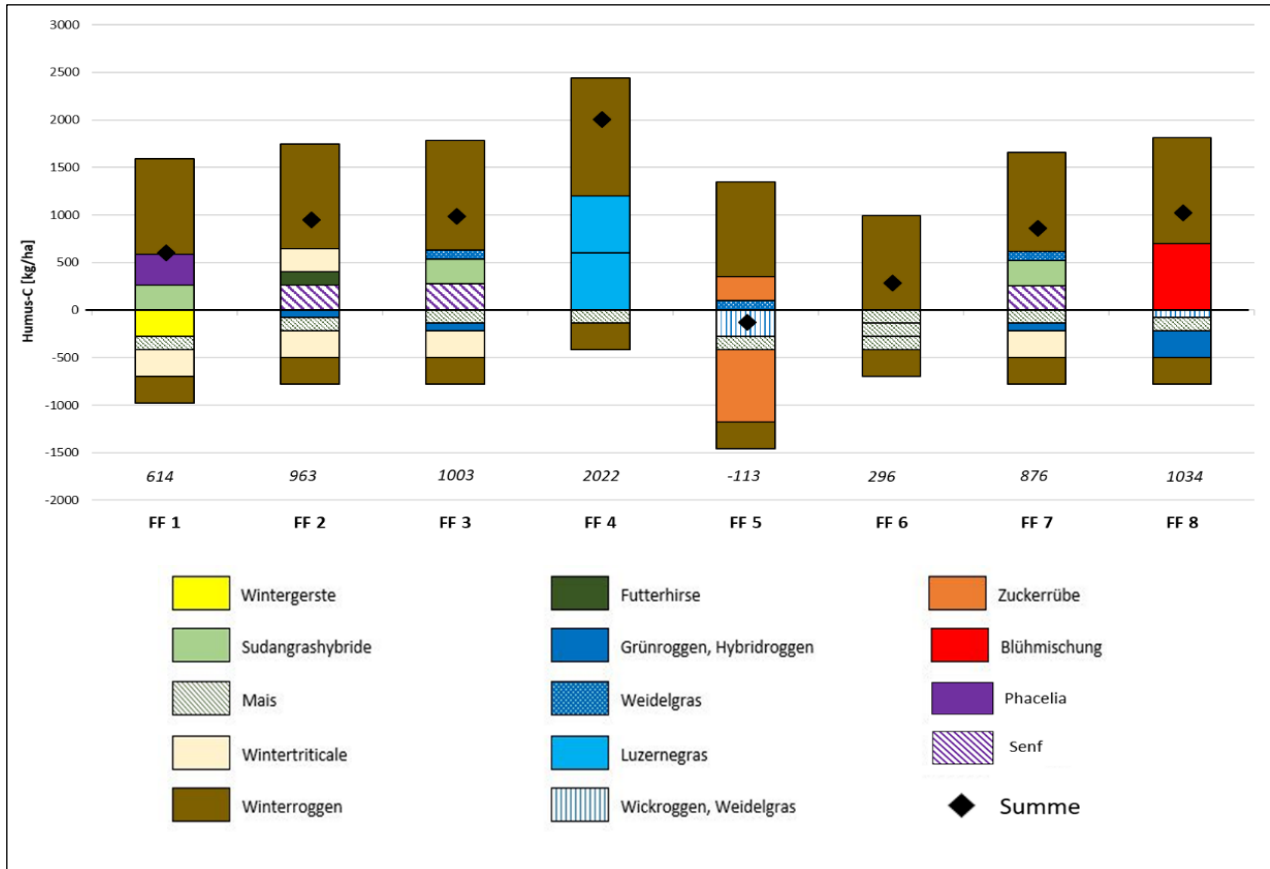


Abbildung 22: Humushaushalt der erprobten Fruchtfolgen für die Grundanlage im Grundversuch

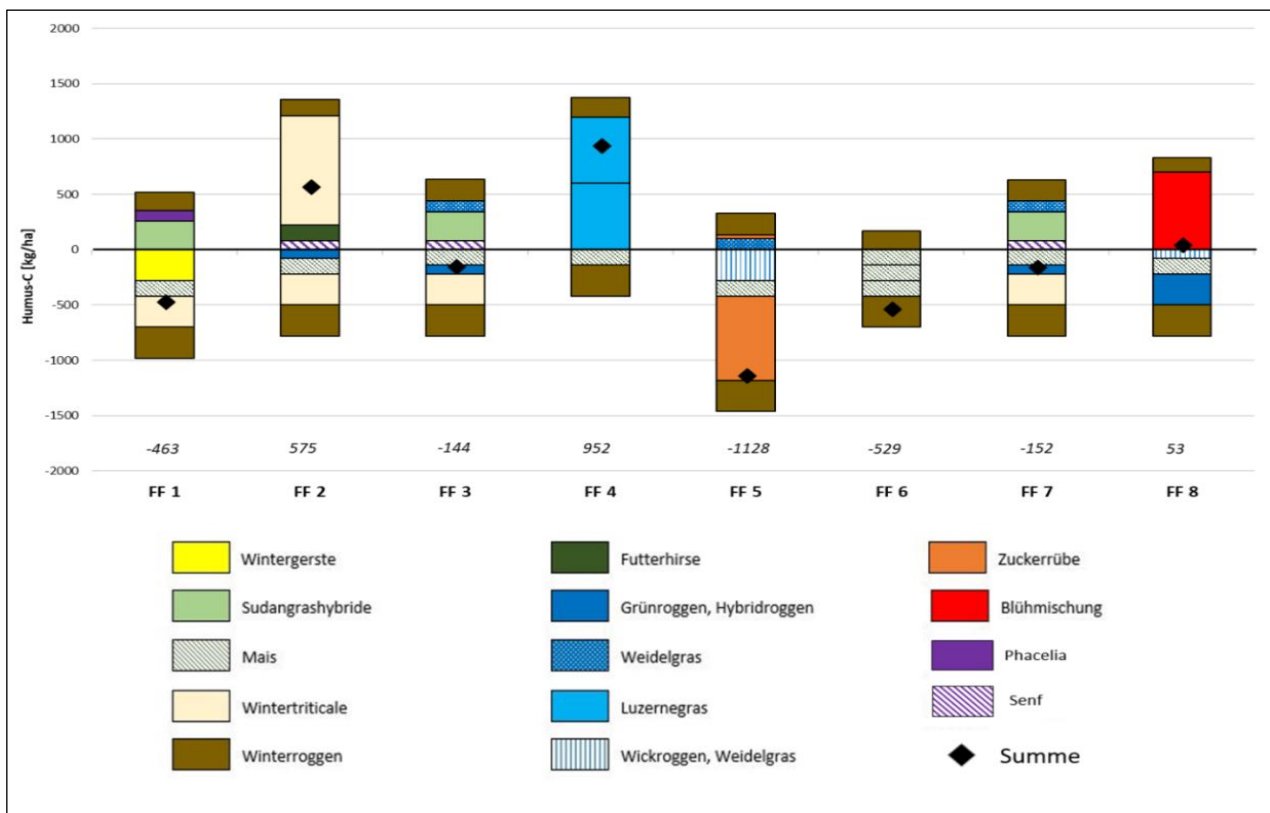


Abbildung 23: Humushaushalt der erprobten Fruchtfolgen für die Spiegelanlage im Grundversuch

3.7.5 Wasserhaushalt

Im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie (LfULG) führt der DWD regelmäßige Bodenwassergehaltsmessungen mittels Bohrstockmethode in den Fruchtfolgeversuchen in Trossin durch. Es handelt sich dabei um Messungen in Versuchen, die sich in unterschiedlichen Projekten und Fragestellungen mit dem Energie- und Rohstoffpflanzenanbau befassen. Für den DWD besteht durch die messtechnische Begleitung dieser Versuche die Möglichkeit, mit dem gewonnenen Datenmaterial Wasserhaushaltsmodelle für die Anwendung im Bereich des Energiepflanzenanbaus zu qualifizieren. Weiterhin können mit den Messungen Fragen der Wasserverfügbarkeit für den Zweitfruchtanbau auf einem Standort bearbeitet werden, dessen Bodenwasserspeicherfähigkeit einen limitierenden Faktor für den Pflanzenbau darstellt (JÄCKEL et al. 2015). Am Standort ebenso durchgeführte kontinuierliche Bodenwassergehaltsmessungen mittels TDR-Sonden werden in dieser Auswertung nicht betrachtet. Bei diesen Messungen sind die notwendigen Kalibrierarbeiten noch nicht abgeschlossen.

Die Messungen des Bodenwassergehaltes wurden durch regelmäßige, meist wöchentlichen Probenahmen mittels Bohrstock realisiert. Dabei wurden die unterschiedlichen Fruchtarten aus Gründen der statistischen Sicherheit überwiegend mehrfach (1 bis 3 Proben je Fruchtart je Termin) beprobt. Die Aufarbeitung der Proben und die Gewinnung der Messwerte erfolgten nach DWD 1993. Dabei wurde eine Tiefe bis 60 cm bearbeitet, die dann in 10-cm-Abschnitte aufgelöst wurde. Im Ergebnis sind die schichtweisen Daten wieder für die Gesamtschicht 0-60 cm zusammengeführt worden und in Volumenprozent dargestellt. Insgesamt liegen Messungen an 136 Tagen in den betrachteten sechs Jahren vor. In die Gesamtauswertung wurden die Ergebnisse der Varianten

- Brache/Silomais,
- Luzernegras,
- Wickroggen,
- Gelbsenf bzw. Phacelia gefolgt von Sorghum bicolor,
- Grünroggen (GPS) gefolgt von Sorghum bicolor in Zweitfruchtstellung,
- Grünroggen (GPS) gefolgt von Silomais in Zweitfruchtstellung,
- Riesenweizengras (Szarvasi) und
- Durchwachsene Silphie verwendet,

weil diese Fruchtarten bzw. Kombinationen in vielen Jahren beprobt werden konnten. Die Einzelergebnisse aller Messungen mit allen in den Jahren beprobten Varianten, sind im Anhang abgebildet.

Der permanente Welkepunkt am Standort in Trossin liegt bei etwa 8 mm. Die nutzbare Feldkapazität beträgt etwa 20 mm, so dass bei voller Auffüllung des Bodenkörpers etwa 123 mm Wasser zum Wachstum der Pflanzen zur Verfügung stehen. Weitere Standorteigenschaften sind im Kapitel 2.1 einsehbar.

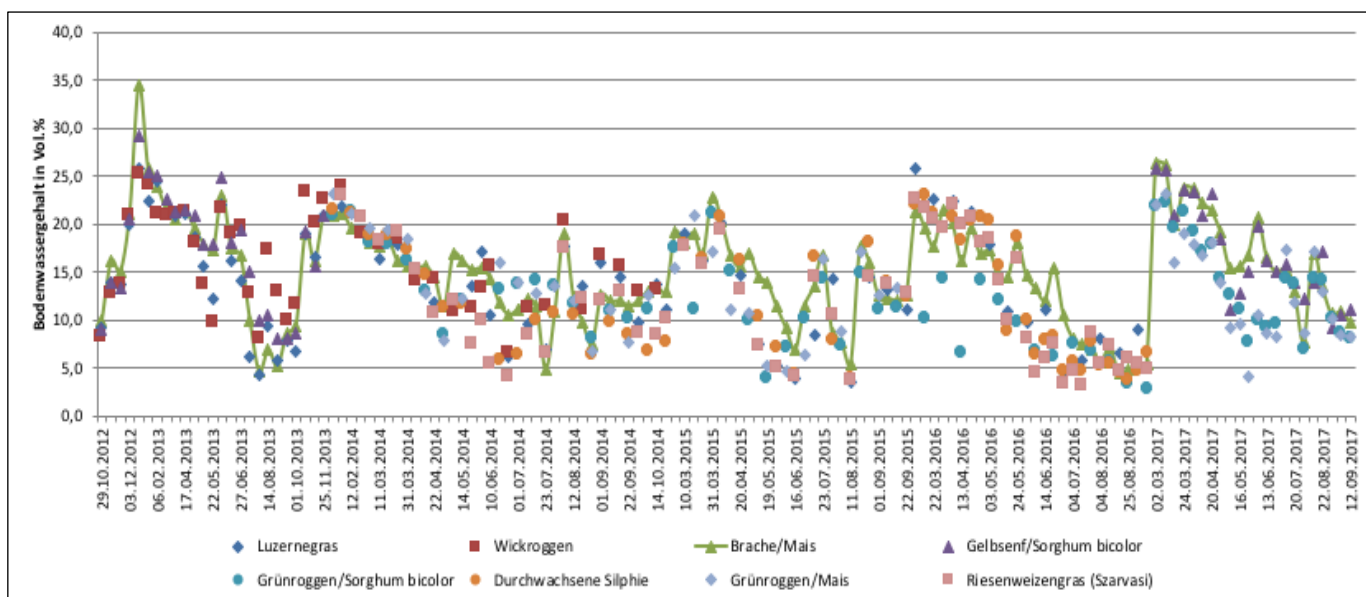
Neben den Messungen erfolgten parallele Modellierungen des Bodenwasserhaushaltes für den Standort mittels des Wasserhaushaltsmodells METVER (MÜLLER, 1987). Dieses Modell wurde in der zitierten Literatur erstmals beschrieben und seitdem kontinuierlich fortentwickelt. Die eingesetzte Version 2.1.0 datiert aus dem Jahr 2015 und ist eine Weiterentwicklung von BACH, 2011. Da am Standort keine eigene Wetterstation vorhanden ist, wurden die notwendigen meteorologischen Inputdaten von der in der Nähe befindlichen, auf einer Freifläche liegenden Waldklimastation Roitzsch verwendet. Der bodenphysikalische Input entstammt einer Information des LfULG, die auf einer bodenkundlichen Ansprache des Standortes beruht, die im Rahmen der EVA-Projekte durch den Projektpartner Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Müncheberg durchgeführt wurde.

Da die Messungen insbesondere der in jüngerer Zeit in den Fokus genommenen Energiepflanzen der Modellkalibrierung und -parametrisierung dienen sollen, werden bei den Ergebnissen zunächst nur die schon vorher parametrisierte Modellierung für Silomais nach Brache und die Variante Grünroggen (GPS) gefolgt von Silomais in Zweit-

fruchtstellung verwendet, die auf der Basis der Messungen entwickelt wurde. Die Auswahl dieser beiden Varianten erfolgte, weil Silomais nach Brache als die praxisübliche Variante in der Auswertung als Referenz betrachtet wird und die zweite genannte Variante als die von der Referenz zeitweilig am stärksten hinsichtlich des Bodenwassergehaltes abweichende Variante auffiel. Als Ergebnisse der Modellierung wurden der Bodenwassergehalt in der Schicht von 0-60 cm Tiefe in Volumenprozent und die aktuelle/reale Verdunstung der Varianten in Millimetern jeweils in Tagesschritten ausgewertet.

Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen

Wie in Abbildung 24 erkennbar ist, folgt die Bodenfeuchte bzw. der Bodenwassergehalt am Standort Trossin einem charakteristischen Jahresgang mit einem Maximum am Beginn der Vegetationszeit. Die Messungen zeigen, dass der Standort in jedem der sechs betrachteten Jahre über den Winter eine nahezu vollständige Auffüllung des Bodenwasservorrates in der beprobten Schicht 0-60 cm erfuhr. Durch den dann einsetzenden Wasserverbrauch der unterschiedlichen Varianten kam es zu einem zügigen Absinken der Bodenwassergehalte aller Varianten. Dies geschah in unterschiedlich starkem Maße. Die Variante Silomais nach Brache zeigte dabei vom Vegetationsbeginn bis in den Juni hinein den geringsten Rückgang, während die anderen Varianten der Dauerkulturen und der Varianten der Zweitfruchtnutzung mit den überwinterten Erstfrüchten eine stärkere Wasserzehrung aufwiesen. Die Jahreswitterung variierte den Unterschiedsbetrag zwar von Jahr zu Jahr etwas, aber bei mehrjähriger Betrachtung kann am Standort ein Unterschied von etwa zwei bis fünf Volumenprozent ermittelt werden, der sich negativ auf das Keimungs- und Auflaufverhalten der Zweitfrüchte auswirkt. In den betrachteten Jahren (Absinken der Bodenwassergehalte bis nahe an den permanenten Welkepunkt im Juni oder Juli) konnte, oft durch konvektive Niederschläge, eine gewisse Erholung der Bodenwassergehalte nach der Vorsommertrockenheit bis in den Bereich von 60 oder 70 Prozent der nutzbaren Feldkapazität festgestellt werden. Dieses Wasser stand für die weitere Entwicklung der Dauerkulturen, der Zweitfrüchte und der in Hauptfruchtstellung stehenden Fruchtarten zur Verfügung.



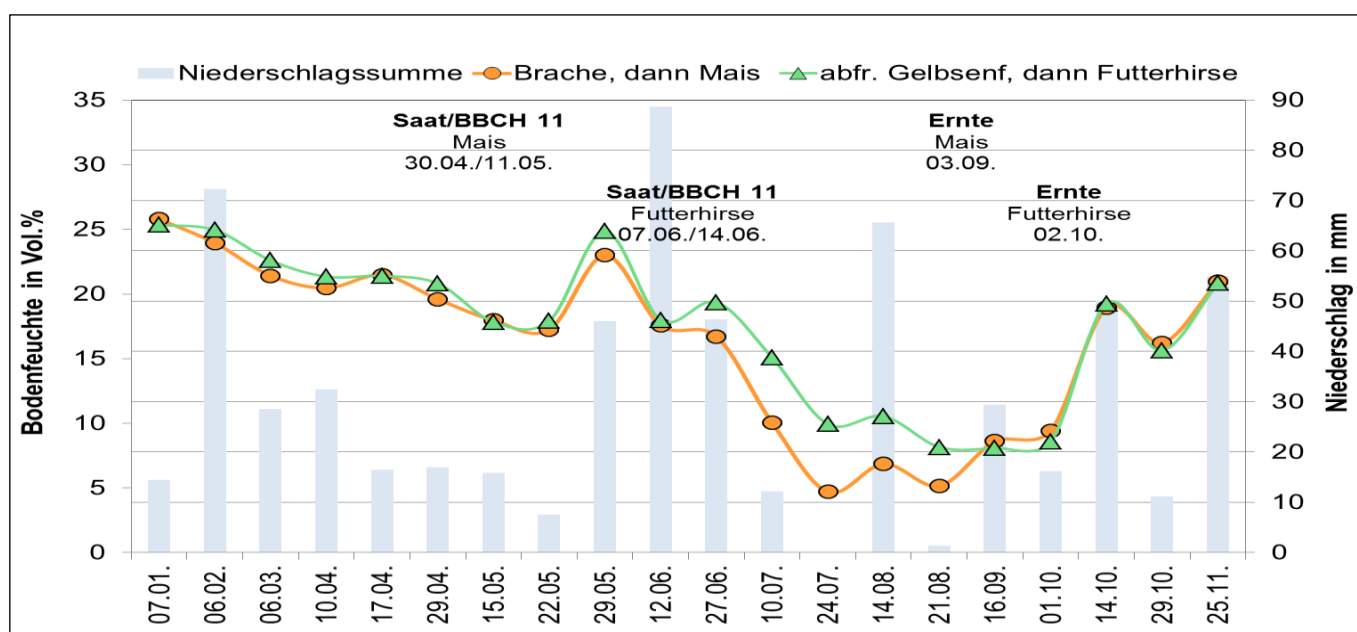
Zur Beachtung: Die hier dargestellten Messungen sind diskontinuierlich erfolgt.

Abbildung 24: Messergebnisse der gravimetrischen Bodenfeuchtemessungen (Bodenwassergehalt in Vol.-%) unter verschiedenen Anbauvarianten von Energiepflanzen am Standort Trossin in den Jahren 2012 bis 2017

In der zweiten Hälfte der Vegetationszeit variierten die Bodenwassergehalte nicht mehr so stark wie in der ersten Hälfte. Insbesondere in Jahren, die sehr trockene Spätsommervhältnisse zeigten (bspw. 2013 und 2016), bündeln sich die Bodenwassergehalte aller Varianten sehr eng beieinander in der Nähe des Welkepunktes. Die Mess-

werte zeigen, dass sich der im Vor- und Frühsommer aufbauende Wassergehaltsunterschied durch die Niederschläge, die in der zweiten Hälfte der Vegetationszeit fallen, egalisiert wird. In den bisher betrachteten Messjahren war allerdings kein Jahr vertreten, bei dem die Niederschläge der zweiten Vegetationshälfte gering ausfielen oder nahezu gänzlich ausblieben. Auf die Ertragsbildung haben jedoch die geringen Vorsommerniederschläge bereits Auswirkungen gezeigt. Bei geringen Niederschlägen ab Juli bzw. August würden sowohl die Haupt- als auch die Zweitfrüchte unter lebensbedrohlichem Trockenstress stehen.

Im Jahr 2013 erfolgte der Vergleich Brache – Mais mit der abfrierenden Zwischenfrucht Gelbsenf. Diesem folgte die Futterhirse als Hauptfrucht (siehe Abbildung 25). In der Vegetationszeit fielen 364 mm Niederschlag, wobei der Großteil auf die erste Vegetationsperiode (239 mm) entfiel. Bis Anfang Juni hatten beide Fruchtarten einen ähnlichen Bodenfeuchteverlauf. Ab Ende Juni verbrauchte der Mais aber deutlich mehr Wasser, da er in seiner Entwicklung bereits fortgeschritten war. Die Hirse verbrauchte ab August auch Wasser, durch Niederschläge wurden die Wasserdefizite aber bei beiden Kulturen ausgeglichen. Die abfrierende Vorfrucht hatte demzufolge keine negativen Auswirkungen auf die Bodenwasser Verfügbarkeit.

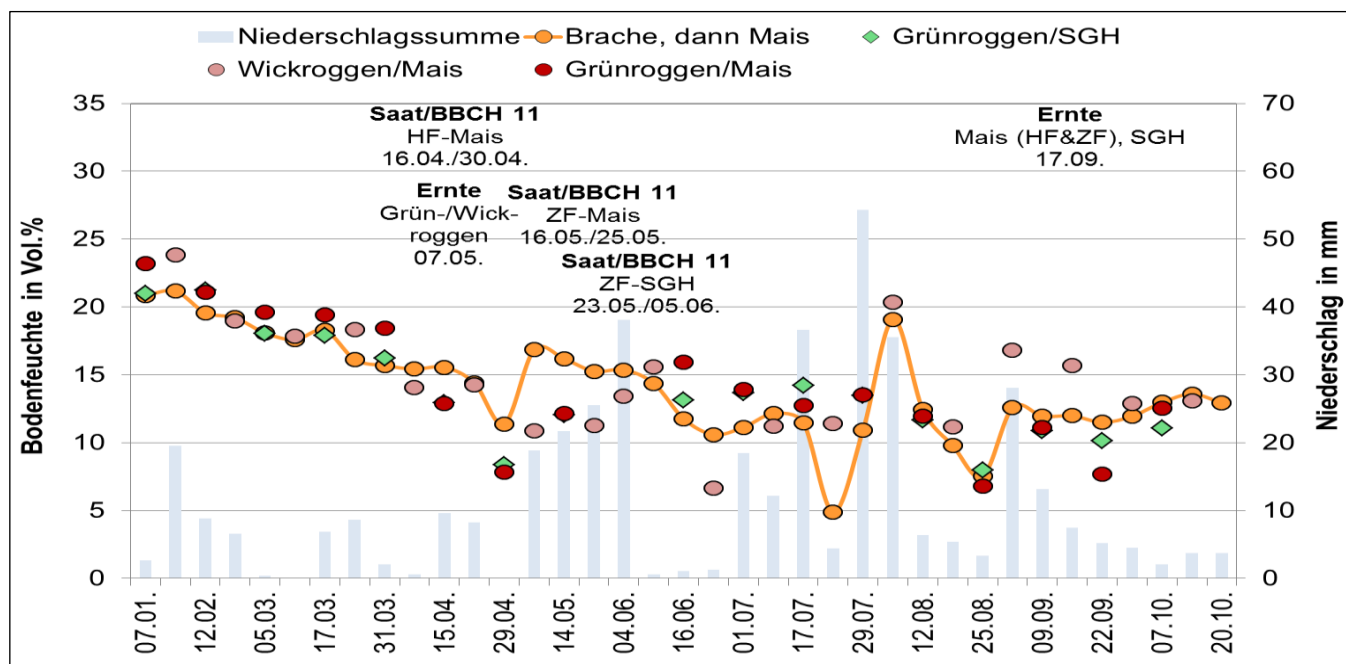


BBCH 11 entspricht dem Aufgang der Kultur

Abbildung 25: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Futterhirse mit und ohne abfrierende Winterzwischenfrucht im Jahr 2013

Brache – Mais wurde im Jahr 2014 mit den Fruchtartenkombinationen Grünroggen/Sudangrashybride, Wickroggen/Mais und Grünroggen/Mais verglichen. Bereits vor der Ernte der Zwischenfrüchte stellte sich ein Wasserdefizit ein, das bei den Zwischenfrüchten bis zum permanenten Welkepunkt reicht. Durch Niederschläge im Juni konnte das Defizit ausgeglichen werden. Im Juli war der Hauptfruchtmais so weit entwickelt, dass er viel Wasser gezogen hatte und die Bodenfeuchte unter dem permanenten Welkepunkt lag. Die Zweitfrüchte Mais und Sudangrashybride benötigten jedoch noch nicht so viel Wasser. Ab Anfang September glichen sich die Bodenfeuchtwerte bei allen Kulturen wieder an (siehe Abbildung 26). Trotz zum Teil sehr niedriger Bodenfeuchtegehalte, konnten keine Ertragsdepressionen festgestellt werden. Der Hauptfruchtmais lieferte mit 194 dt TM/ha für diesen Standort einen guten Ertrag. Der Ertrag wurde jedoch vom Zweitfruchtmais deutlich übertroffen (durchschnittlich 245 dt TM/ha). Die Winterzwischenfrüchte trugen mit durchschnittlich 53 dt TM/ha ebenfalls zum sehr guten Gesamtertrag bei. Der

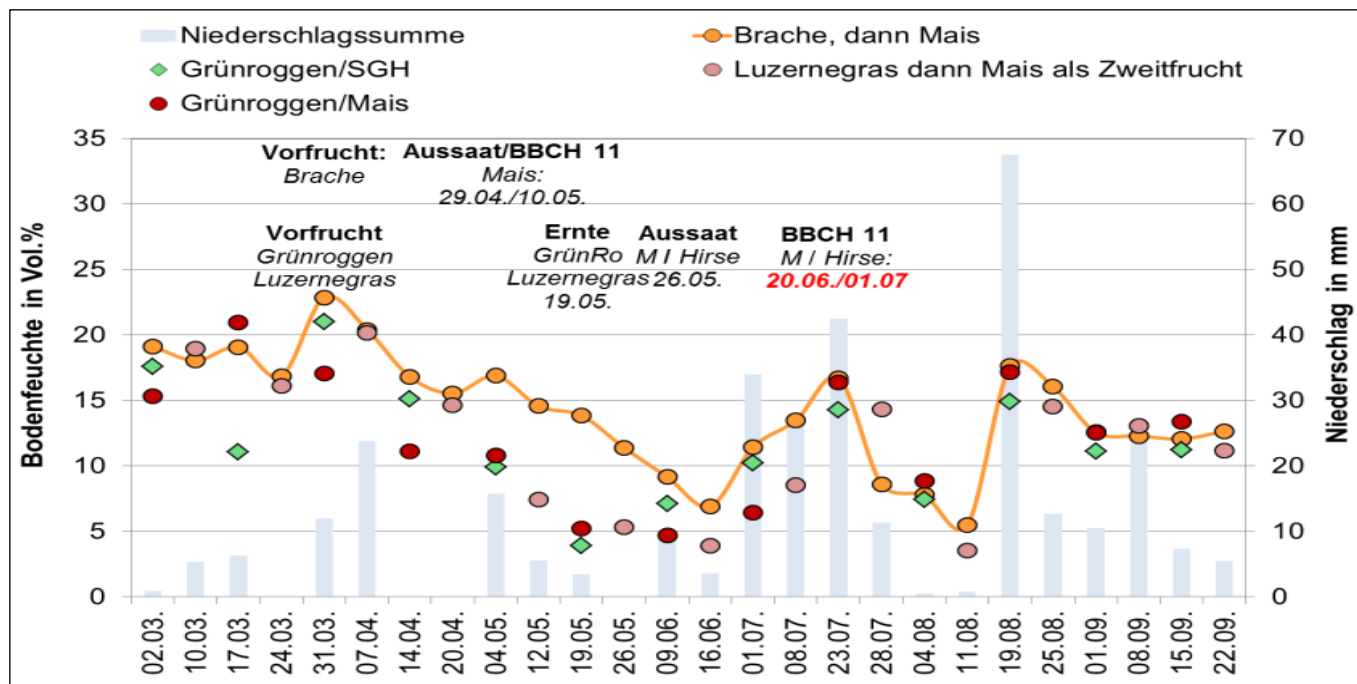
Ertrag der Sudangrashybride (168 dt TM/ha) war geringer als der des Mais. Das Gesamtsystem der Zweikulturnutzung lieferte aber auch hier einen höheren Ertrag gegenüber dem Hauptfruchtmais.



BBCH 11 entspricht dem Aufgang der Kultur

Abbildung 26: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Sudangrashybride mit und ohne Winterzwischenfrucht im Jahr 2014

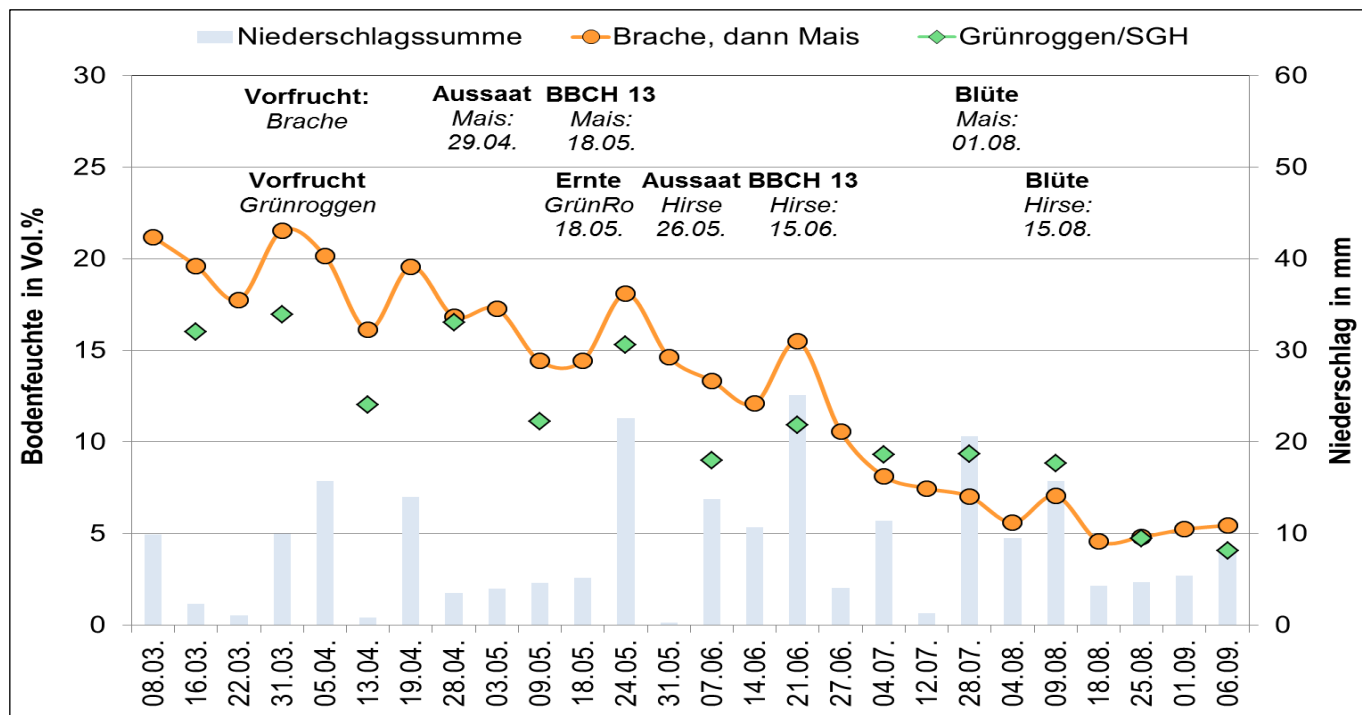
Das Jahr 2015 hatte die geringsten Niederschläge in der Vegetationsperiode I (April bis einschließlich Juni) der untersuchten fünf Jahre. Entsprechend schwierig war die Situation beim Zweitfruchtanbau. Wie Abbildung 27 zeigt, verbrauchten die Winterzwischenfrüchte Grünroggen und Luzernegras ab Mitte April bis zur Ernte am 19.05.2015 deutlich mehr Wasser, als der am 29.04. ausgesäte Mais. Die Bodenfeuchten liegen dabei unter dem Welkepunkt. Die Zweitfrüchte (Mais und Sudangrashybride (SGH)) wurden am 26.05. gedrillt. Die geringen Bodenfeuchten führten erst am 20.06. (Mais) und 01.07. (SGH) zum Aufgang. Doch auch beim Hauptfruchtmais fielen die Bodenfeuchten Mitte Juni unter den Welkepunkt. Anfang August entstand ebenfalls eine kritische Phase für alle Früchte, die sich aber nach Niederschlägen wieder entspannte. In diesem Jahr lagen die Erträge deutlich unter der Hälfte des Vorjahres. Während der Mais nach Luzernegras vertrocknete und gar nicht geerntet wurde, hatten trotzdem die anderen beiden Zweifruchtssysteme einen höheren Ertrag. Ob die Zweifruchtssysteme aber auch ökonomisch günstiger sind, zeigt Kapitel 3.8.



BBCH 11 entspricht dem Aufgang der Kultur

Abbildung 27: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Sudangrashybride mit und ohne Winterzwischenfrucht im Jahr 2015

In der Vegetationsperiode (I und II) 2016 fielen während des gesamten 5-jährigen Versuchszeitraums die geringsten Niederschläge. Sie betragen nur $\frac{2}{3}$ des 30-jährigen Mittels. Neben der Referenz Brache – Mais wurde das Zweikultursystem Grünroggen – Sudangrashybride untersucht. Die Bodenfeuchten des Zweikultursystems lagen bis Anfang Juli unter dem der Hauptfrucht Mais (siehe Abbildung 28). Da die wenigen Niederschläge aber relativ gleichmäßig verteilt waren, wurde der permanente Welkepunkt nicht unterschritten. Kritisch v. a. für die Hauptfrucht Mais wurde die Bodenfeuchte ab Anfang Juli. Die Sudangrashybride hatte erst ab Mitte August den Welkepunkt erreicht. Die Niederschläge in der zweiten Vegetationsperiode betragen nur $\frac{1}{2}$ des langjährigen Mittels. Die Sudangrashybride in Zweitfruchtstellung (Aussaat am 26.05.2016) kam mit den trockenen Bedingungen besser zurecht als der Mais in Hauptfruchtstellung. Trotz weniger Vegetationstage erreichte das Sudangras den gleichen Ertrag wie der Mais. Durch den vorgeschalteten Grünroggen erreichte das Gesamtsystem gegenüber dem Hauptfruchtmais einen Ertrag von 182 %.



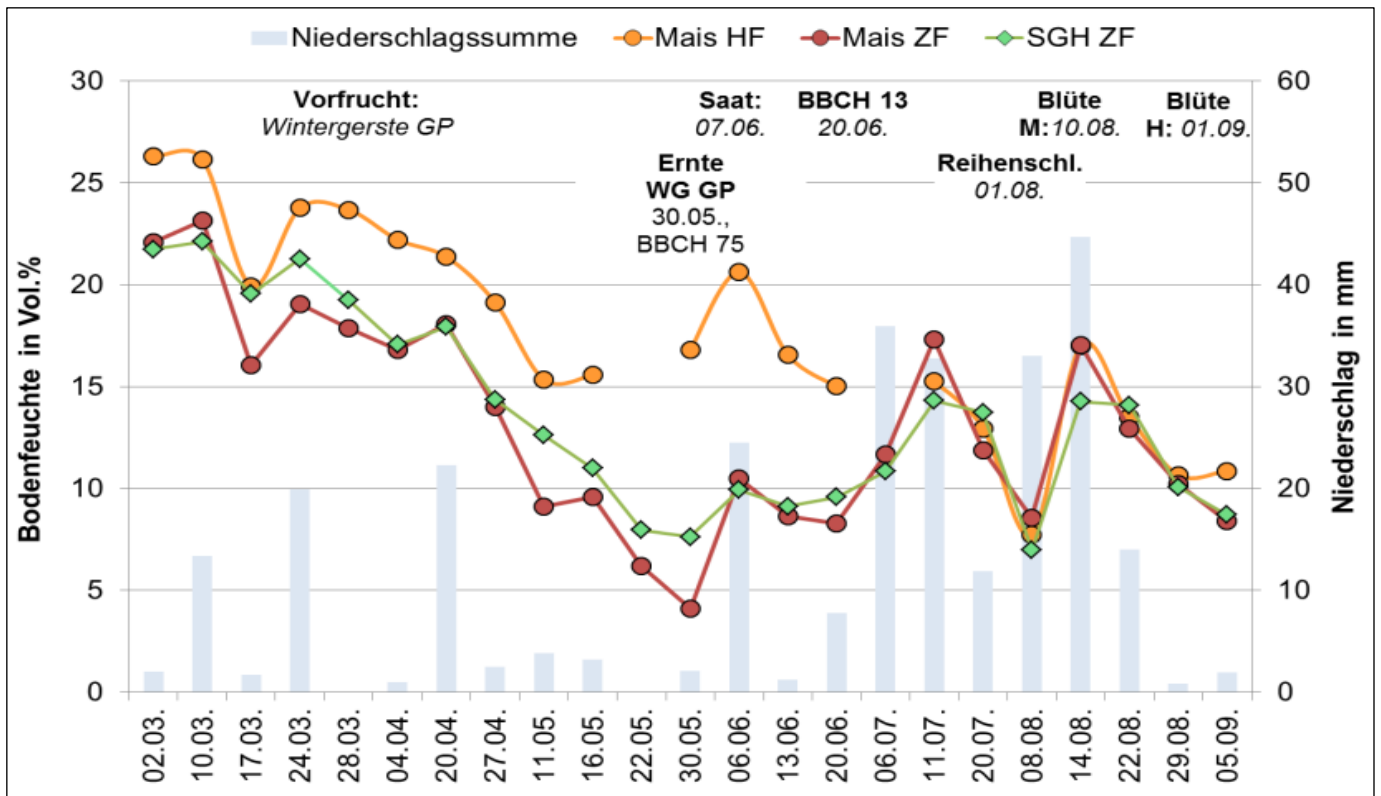
BBCH 11 entspricht dem Aufgang der Kultur

Abbildung 28: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Sudangrashybride mit und ohne Winterzwischenfrucht im Jahr 2016

2017 wurden Mais und Sudangrashybride nach später Wintergerste angebaut, die am 30.05. geerntet wurde. Die Aussaat der Zweitfrüchte erfolgte erst am 07.06. Die Wintergerste zieht ab März deutlich mehr Wasser als das Brache–Mais–System und kommt schon ab Mitte Mai unter den permanenten Welkepunkt (Abbildung 29 und Abbildung 30). Der Hauptfruchtmais hat dagegen bis Ende Juli ausreichend Wasser zur Verfügung. Ende Mai, zur Ernte der Wintergerste, ist ein enormer Unterschied in der Bodenfeuchte zwischen der späten Zweitfrucht und dem Hauptfruchtmais von 12 bis 15 Vol.-% feststellbar. Die Zweikultursysteme erreichen in diesem Jahr nur 88 % der Erträge des Hauptfrucht-Maises, trotz starkem Maiszünslerbefall (siehe Abbildung 31).

Aus den Erfahrungen aller Untersuchungen zur Bodenfeuchte lässt sich feststellen, dass die Sorghumhirsen (Futterhirse und Sudangrashybriden) von den untersuchten Pflanzen am besten mit den trockenen Verhältnissen zu recht kommen und hohe Erträge liefern. Gleich darauf folgt der Mais. Beide Pflanzen haben eine hohe Wassernutzungseffizienz. Trotz tiefem Wurzelsystem ist die Luzerne nur bedingt geeignet, da sie am schlechtesten mit den trockenen Verhältnissen zu Recht kommt und nur geringe Erträge liefert.

Wie aus den vorherigen Darstellungen hervorgeht, entscheidet die Jahreswitterung über die Vorzüglichkeit der beiden Anbausysteme Hauptfrucht (ohne Winterzwischenfrucht) und Zweitfruchtanbau. Vor allem die Gleichmäßigkeit der Niederschläge (Verteilung), nicht die absolute Höhe, ist entscheidend für einen hohen Ertrag. Die Verteilung der Niederschläge entscheidet darüber, welches der beiden Systeme im jeweiligen Jahr bessere Gesamtergebnisse liefert. Der späte Zweitfruchtanbau scheint aber nach ersten Ergebnissen, auf Grund einer sich immer stärker ausbildenden Frühsommertrockenheit, für den Standort in Trossin weniger geeignet zu sein.



BBCH 11 entspricht dem Aufgang der Kultur

Abbildung 29: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Mais und Sudangrashybride mit und ohne Winterzwischenfrucht im Jahr 2017 (später Zweitfruchtanbau)



Abbildung 30: Trockenstress bei Wintergerste 2017



Abbildung 31: Trockenstress bei Silomais in später Zweitfruchtstellung 2017

Stellvertretend zur Darstellung der mehrjährigen Kulturarten im Vergleich zu Brache-Mais wird nachfolgend das Jahr 2014 vorgestellt. Wie für alle mehrjährigen Kulturarten erkennbar ist, benötigen diese bereits deutlich vor dem Hauptfruchtmais größere Mengen an Wasser, da sie zu diesem Zeitpunkt bereits etabliert sind und schneller wachsen können (Abbildung 32). Durch fehlende Niederschläge im Juni geraten die Bodenfeuchten unter den mehrjährigen Kulturen unter den permanenten Welkepunkt. Auffällig bei den mehrjährigen Kulturen ist die Änderung der Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Schnitthäufigkeit.

Luzernegras wurde 2014 viermal und Szarvasigras zweimal geschnitten. Die Durchwachsene Silphie wird nur einmal im Jahr geerntet. Im Durchschnitt von vier Jahren verbraucht das Szarvasigras in der ersten Vegetationshälfte etwas mehr Wasser als die Durchwachsene Silphie. In der zweiten Vegetationsperiode kehrt sich das Verhältnis um, da das Szarvasigras für den zweiten Schnitt erst wieder Biomasse aufbauen muss, während die Durchwachsene Silphie noch die komplette Biomasse bzw. Ernte mit Wasser versorgen muss. Bei den Erträgen erreichte der Mais 2014 mit 194 dt TM/ha den höchsten Ertrag. Es folgt mit einem Ertrag von 176 dt TM/ha das zweimal geschnittene Szarvasigras. Im Jahr 2017 erreichte allerdings auch die Durchwachsene Silphie einen Ertrag von 188 dt TM/ha. Von der Ertragsstabilität lieferte die Silphie ab dem zweiten Anbaujahr mit jährlich über 100 dt TM/ha die besten Ergebnisse. Luzernegras konnte ertraglich nicht mit den anderen Kulturen mithalten. Auch das Szarvasigras erreicht in drei von vier Jahren nur unterdurchschnittliche Erträge.

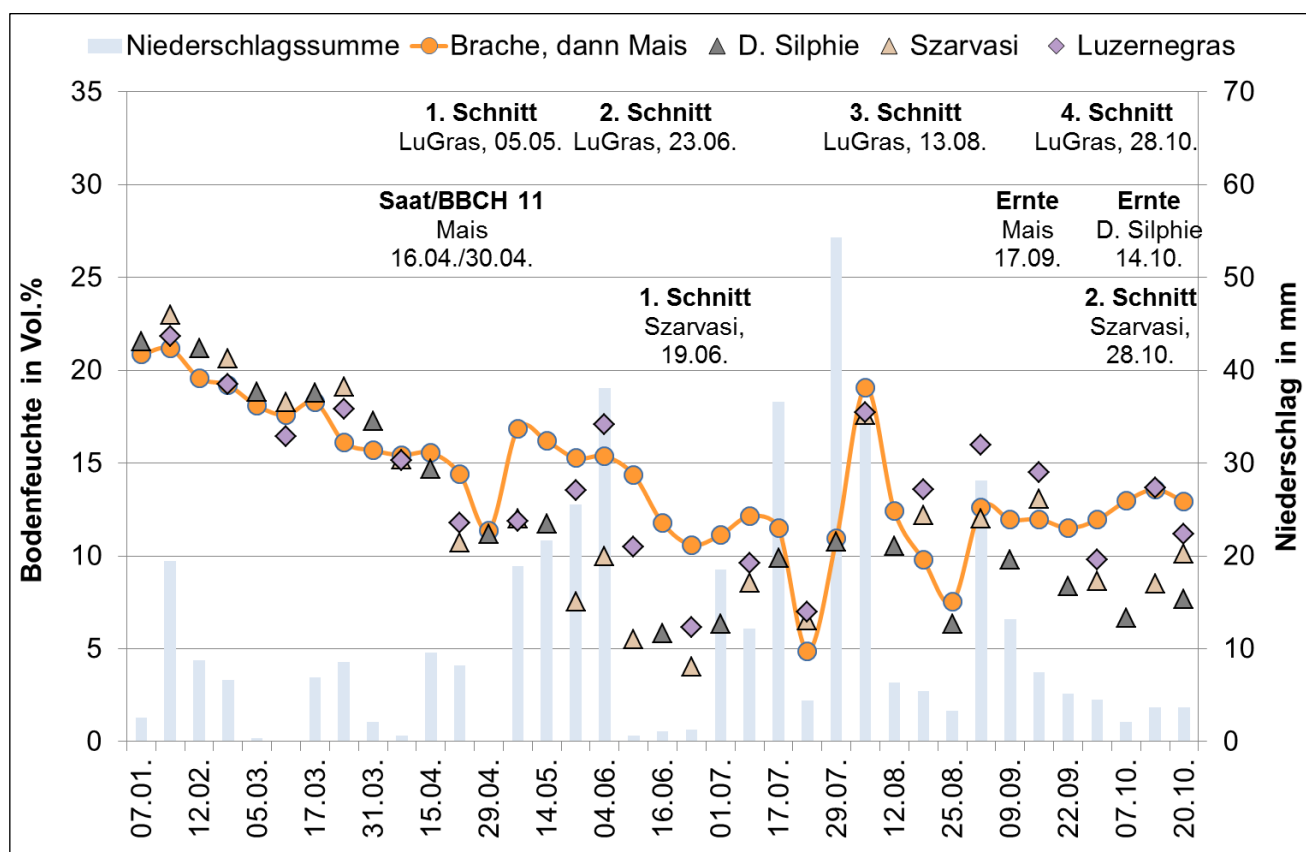


Abbildung 32: Gemessene Bodenfeuchte (Vol.-% in 0-60 cm) von Brache-Mais und mehrjährigen Kulturarten im Jahr 2014



Abbildung 33: Durchwachsene Silphie am Standort in Trossin am 19.05.2015



Abbildung 34: Szarvasigras (Riesenweizengras) am Standort in Trossin am 19.05.2015

Insgesamt ist festzustellen, dass die Bodenfeuchte in Verbindung mit dem Gesamtwasserverbrauch und dem Ertrag Anhaltspunkte zur Anbauwürdigkeit einer Kultur hinsichtlich Wassereffizienz auf verschiedenen Standorten liefert. Genaue Aussagen dazu würden die Wassernutzungseffizienz und deren Reziproke, der Transpirationskoeffizient wiedergeben. Beide Kennwerte lassen sich jedoch nur mit sehr hohem Aufwand im Lysimeter bestimmen. Nachfolgende Tabelle 16 zeigt noch einmal zusammenfassend die Erkenntnisse aus der Bodenfeuchtemessung in Bezug zur jeweiligen Kulturart und im Vergleich der Kulturarten untereinander. Bei den mehrjährigen Kulturen sind für umfassende Ergebnisse noch weitere Untersuchungen notwendig.

Tabelle 16: Zusammenfassende Bewertung der Wassernutzungseffizienz verschiedener Kulturarten

Kultur	Ertrag	TK	Gesamt H ₂ O -verbrauch	WNE
Mais HF	hoch	niedrig	sehr hoch	+++
Futterhirse HF	hoch	niedrig	sehr hoch	+++
Mais ZF	schwankend	niedrig	hoch	+++
Sudangrashybride ZF	mittel - hoch	niedrig	mittel – hoch	+++
WZFr, GR, WR, LuzG	niedrig	mittel	niedrig	++
WGer GPS spät	(niedrig)	mittel	niedrig	++
Luz	niedrig	hoch	mittel	+
Durchw. Silphie	mittel - hoch	?	mittel	++?
Riesenweizengras	niedrig - hoch	?	mittel	+?

HF Hauptfrucht, ZF Zweitfrucht, WZFr. Winterzwischenfrucht, GR Grünroggen, WR Wickroggen, LuzG Luzernegras, WGer Wintergerste, GPS Ganzpflanze, TK Transpirationskoeffizient, WNE Wassernutzungseffizienz

Ergebnisse der Bodenfeuchtemodellierungen

Die Bodenfeuchtemodellierungen lieferten tägliche Werte des Bodenwassergehaltes in Volumenprozent. Dabei wurde das Modell so eingestellt, dass es an jedem Tag -unabhängig von der realen Durchwurzelung der Fruchtarten- eine Modelltiefe von 60 cm betrachtet, damit die Werte mit den Messwerten unmittelbar vergleichbar sind.

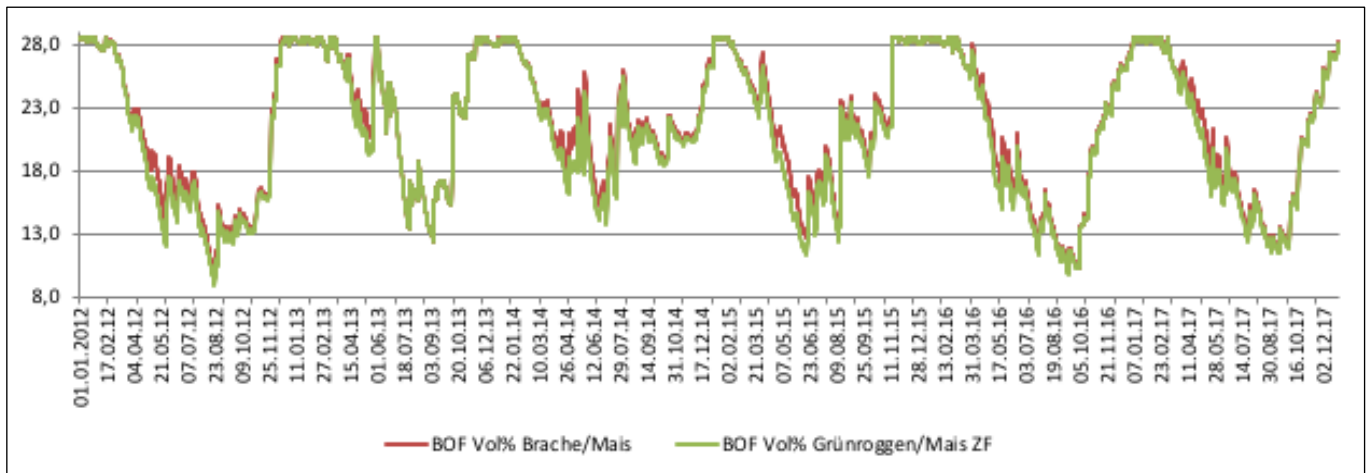


Abbildung 35: Modellierte Bodenwassergehalte in Volumenprozent für alle Tage zwischen dem 01.01.2012 und dem 31.12.2017 am Standort Trossin für die Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)

In Abbildung 35 ist erkennbar, dass die beiden Modellierungen Mais nach Brache und Mais nach Grünroggen, ebenso wie die tatsächlichen Messungen, die winterliche Auffüllung der betrachteten Schicht von 0 bis 60 cm zeigen und ebenso ein unterschiedlich starkes Absinken zwischen der Referenz (Mais nach Brache) und der Zweitfruchtvariante in der fröhsommerlichen Zeit. Die Abbildung 36 zeigt, wie weit sich die Unterschiede ausprägen. Es sind verglichen mit denen der Messung Werte bis etwas über 2,5 Vol.-%. Die Ausprägungen sind damit bei der Modellierung etwas geringer als bei der Messung. Prinzipiell bestätigen jedoch die Modellwerte die Messwerte und umgekehrt. Das Modell ist also prinzipiell für eine Verwendung bei unterschiedlichen Energiepflanzenvarianten geeignet, wenn auch noch einige Parameteranpassungen vorgenommen werden müssen, um Modell und Messwert nach Möglichkeit noch besser in Übereinstimmung zu bringen.

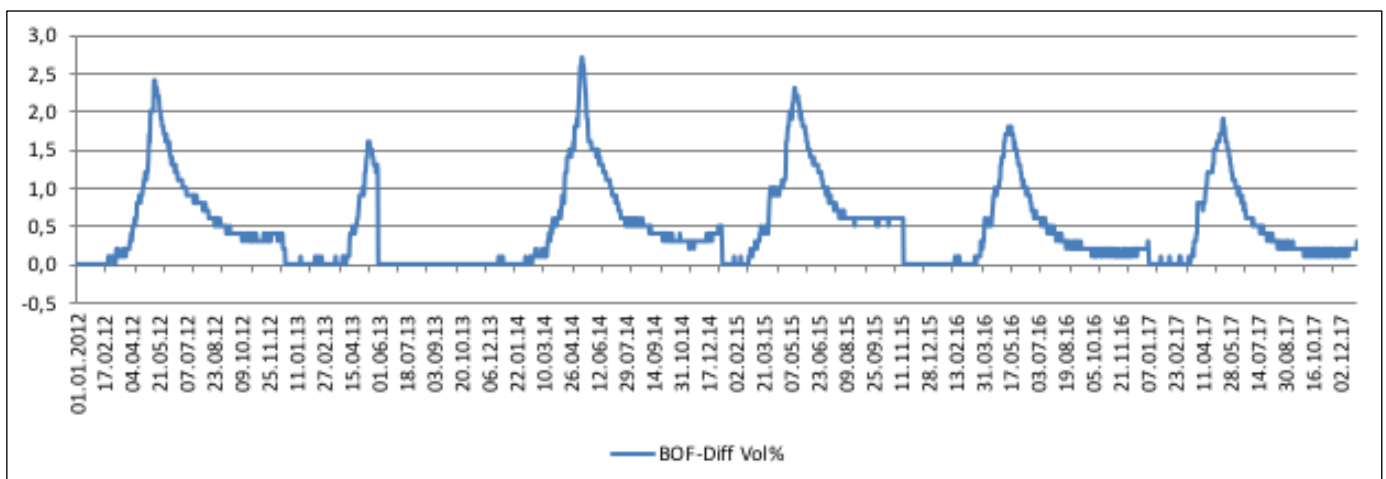


Abbildung 36: Differenz der modellierten Bodenwassergehalte in Volumenprozent für alle Tage zwischen dem 01.01.2012 und dem 31.12.2017 am Standort Trossin zwischen der Variante Silomais nach Brache abzüglich Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)

Vergleich der Bodenfeuchtemessungen und Bodenfeuchtemodellierungen

Betrachtet man die Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen und der Bodenfeuchtemodellierungen an den 136 Terminen der Messungen (siehe Abbildung 37), fällt auf, dass die Linien grundsätzlich gleich verlaufen, wenn sie sich auch vom Niveau her unterscheiden. So ist der Verlauf der modellierten Werte sowohl im Sättigungsbe- reich wie auch im Welkepunktbereich um durchschnittlich 3 bis 8 Vol.-% höher als die der gemessenen Werte. Die Konstanz dieser Abweichung deutet auf eine Problematik bei den verwendeten bodenphysikalischen Eckwerten hin. Um diese zu lösen, wären neue Untersuchungen der Bodeneigenschaften notwendig.

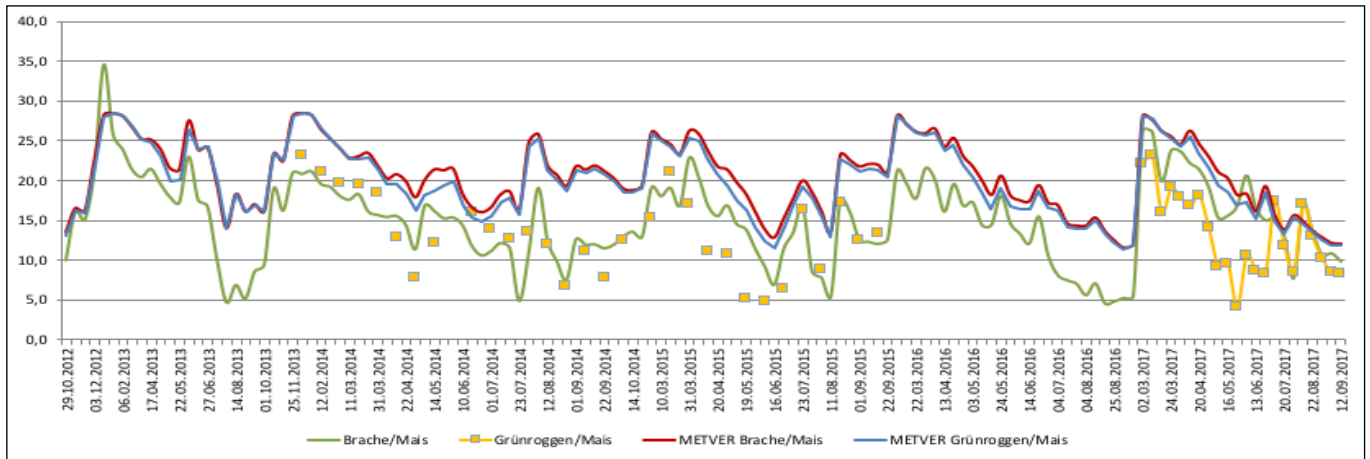


Abbildung 37: Modellerte und gemessene Bodenwassergehalte in Volumenprozent an den Messtagen zwischen 2012 und 2017 am Standort Trossin bei den Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)

Um diesen Unterschied zunächst auch ohne die Bodenlaboruntersuchung zu minimieren, wurden die modellierten Werte einer Bias-Korrektur unterzogen. Dabei wurde für die Gesamtheit der Messwerte der Variante Silomais nach Brache eine mittlere Abweichung von 5,6 Volumenprozent und für die Variante Silomais nach Grünroggen eine Abweichung von 6,4 Volumenprozent festgestellt. Die Abweichungen wurden dann auf die modellierten Werte übertragen. Das Ergebnis ist in Abbildung 38 dargestellt.

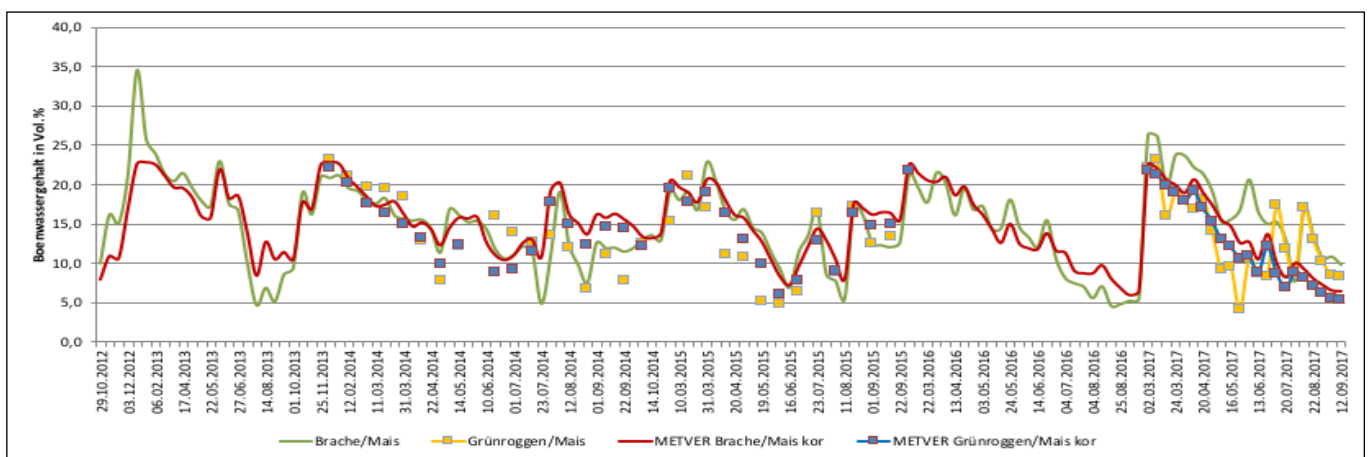


Abbildung 38: Modellerte, Bias-korrigierte und gemessene Bodenwassergehalte in Volumenprozent an den Messtagen zwischen 2012 und 2017 am Standort Trossin bei den Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)

Es zeigt sich eine sehr große Übereinstimmung zwischen Modell- und Messwerten. Im Jahr 2017 treten die Abwei- chungen etwas stärker zu Tage. Hier war es aus Kapazitätsgründen nicht möglich, mehrfache Wiederholungen der

Bohrstockbeprobungen durchzuführen und so unterliegen diese Messungen einem stärkeren „Rauschen“, das durch mehrfache Wiederholungen minimiert worden wäre. Die in den anderen Jahren auftretenden Unterschiede sind verschwindend gering und zeigen, dass die zur Modellierung des Bodenwassergehaltes verwendeten meteorologischen Daten der Freiflächenkomponente der Sachsenforst-Waldklimastation Roitzsch repräsentativ für den Versuchsstandort Trossin sind.

Insgesamt zeigt sich, dass mittels Bodenwasserhaushaltsmodell für den Standort bei Vorhandensein der phänologischen, der meteorologischen und der bodenphysikalischen Daten ein sehr wertvoller Datensatz zum Bodenwassergehalt unterschiedlicher Anbauvarianten bzw. unterschiedlicher Kulturpflanzenarten bereitgestellt werden kann.

Ergebnisse der Modellierungen der realen/aktuellen Verdunstung

Messwerte der aktuellen pflanzenbezogenen Verdunstung können in aller Regel nur über aufwändige Lysimetermessungen realisiert werden, die am Standort Trossin jedoch nicht durchgeführt werden können. Die übereinstimmenden Ergebnisse des Vergleichs der modellierten und gemessenen Bodenwassergehalte erlauben aber die Annahme, dass die parallel zu den Bodenwassergehalten modellierten aktuellen Verdunstungswerte genauso glaubwürdig sind.

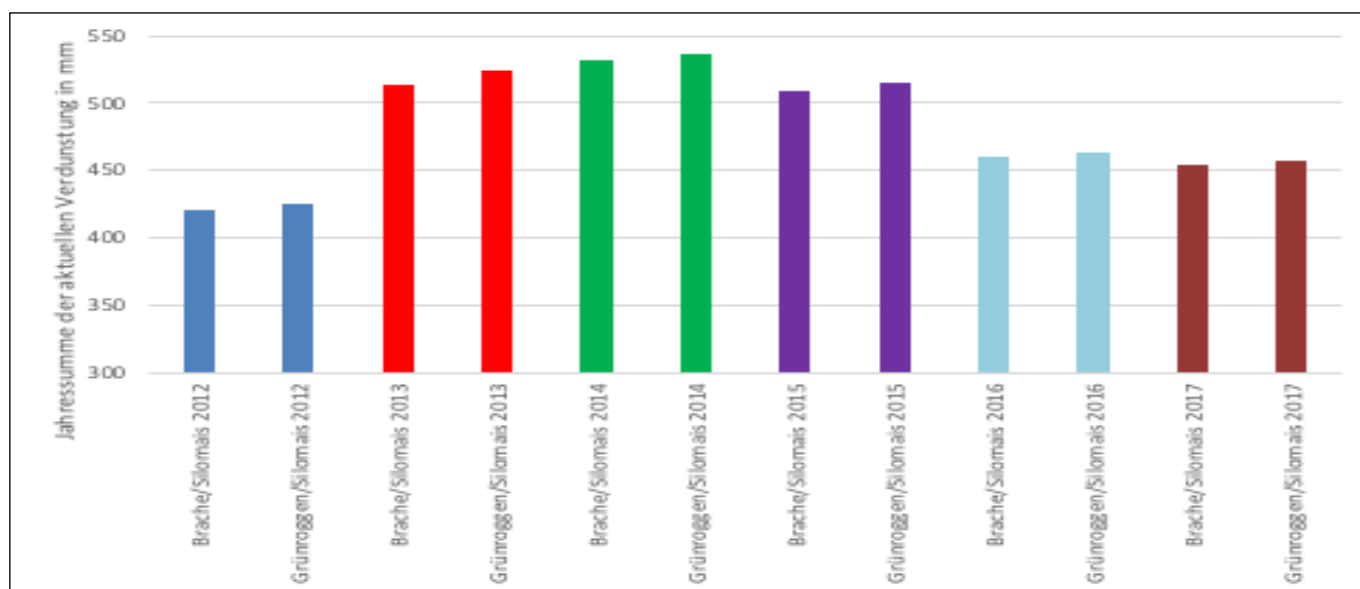


Abbildung 39: Jahressummen der modellierten aktuellen pflanzenbezogenen Verdunstung in mm in den Jahren 2012 bis 2017 am Standort Trossin bei den Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)

Die Abbildung 39 zeigt, dass die Jahreseffekte die Variantenunterschiede in den einzelnen Jahren deutlich überwiegen. So sind in den sechs betrachteten Jahren Unterschiede in der aktuellen Verdunstung bei der Jahressumme in der Größenordnung von über 100 mm ersichtlich, während der innerjährliche Unterschied zwischen etwa 4 und 11 mm schwankt. Es zeigt sich, dass die Variante Silomais nach Grünroggen in der Zweitfruchtstellung in jedem Jahr die etwas höhere Verdunstungsjahressumme gegenüber der Referenz erzielte.

Betrachtet man die innerjährliche Verteilung der Tagessummen der aktuellen Verdunstung, dann zeigte sich, dass in der Zeit zwischen Vegetationsbeginn und der Ernte des Grünroggens leicht höhere Verdunstungswerte vorhanden sind. Wenn der Grünroggen aber geerntet ist und der Hauptfruchtmais etabliert ist, hat der Hauptfruchtmais für etwa vier Wochen leicht höhere Verdunstungswerte. Nach diesen vier Wochen gleichen sich die Werte an und die

dann noch auftretenden Unterschiede sind marginal. Für das Jahr 2012 ist das in Abbildung 40 exemplarisch dargestellt.

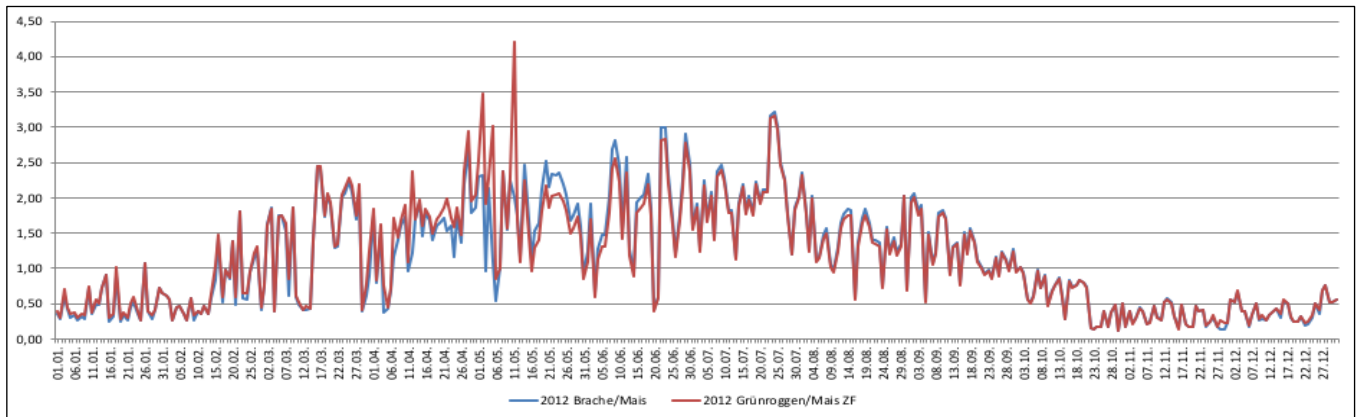


Abbildung 40: Tagessummen der modellierten aktuellen pflanzenbezogenen Verdunstung in mm im Jahr 2012 am Standort Trossin bei den Varianten Silomais nach Brache und Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS)

Zusammenfassung

Die vorliegende Auswertung bereitet gemessenes und modelliertes Datenmaterial zum Bodenwasserhaushalt im Energiepflanzenanbau aus den Jahren 2012 bis 2017 vom Versuchsstandort Trossin auf. Dabei wurde der Fokus der Auswertungen auf Varianten gelegt, die möglichst mehrjährig im betrachteten Zeitraum beprobt werden konnten. Das sind als Referenz die Varianten Silomais nach Brache und dazu Silomais in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen (GPS). Die Ergebnisse der anderen beprobten Varianten sind im Anhang zu finden und ordnen sich im Laufe der Vegetationsperiode der einzelnen Jahre in aller Regel zwischen diesen beiden Varianten ein.

Die Vegetationszeit startete in jedem der betrachteten Jahre mit der Auffüllung des Bodenwasservorrates in der bearbeiteten Schicht vom Erdboden bis in 60 cm Tiefe. Im Frühjahr/Frühsummer schloss sich dann ein von Jahresunterschieden geprägtes Absinken der Bodenwassergehalte an, das bei der Referenz (Brache/Mais) schwächer war, als bei der verglichenen Zweitfruchtvariante. Das lässt sich darauf zurückführen, dass der Wasserverbrauch des Grünroggens in der Zweitfruchtvariante in dieser Zeit höher ist, als der des Silomaises in Hauptfruchtstellung. Mit der Etablierung der Zweitfrucht setzten in den betrachteten Jahren am Standort immer Niederschläge ein, die einen Wiederanstieg der zuvor meist bis zum permanenten Welkepunkt abgesunkenen Bodenwasservorräte ermöglichten. In dieser Phase glichen sich die Bodenwassergehalte zwischen den Varianten an, weil nun der Wasserverbrauch des Hauptfruchtsilomaises etwa vier Wochen lang höher war als der des zu dem Zeitpunkt im Wachstum kleineren Zweitfruchtmaises. Etwa im Laufe des Monats Juli glichen sich die Unterschiede im Wasserverbrauch in der übrigen Vegetationszeit des Jahres an.

C4-Pflanzen, wie Mais, Futterhirsen und Sudangrashybride, haben, ob als Hauptfrucht oder als Zweitfrucht, die beste Wassernutzungseffizienz. Durch sehr hohe Erträge wird aber viel Wasser verbraucht. Auch die mehrjährigen Pflanzen verbrauchen auf Grund hoher Erträge viel Wasser, es wird jedoch dabei nicht so viel Trockenmasse gebildet wie bei den C4-Pflanzen. Luzerne und Luzernegras können bei Trockenheit sehr schlecht stabile Erträge aufbauen. Abfrierende Zwischenfrüchte haben auf die Wasserversorgung der Folgefrucht keinen Einfluss. Bei Zwischenfrüchten, die ertraglich genutzt werden, sind die Verteilung und die Höhe der Niederschläge entscheidend für den Gesamtertrag des Jahres.

Diese Erkenntnisse können nur für Standorte ähnlich limitierter Wasserspeicherfähigkeit verallgemeinert werden und es ist zu erwarten, dass Standorte mit einer besseren Wasserverfügbarkeit ein deutlich anderes Bild liefern. Auch für den Standort Trossin muss festgestellt werden, dass die Entwicklungsbedingungen für den Zweitfruchtmais nur dadurch in allen betrachteten Jahren vergleichsweise günstig waren, weil der in der zweiten Hälfte der Vegetationszeit einsetzende Niederschlag für die noch kleinen Pflanzen ausreichend war.

Um das Risiko zu reduzieren, ist es für den Landwirt wichtig, beim Anbau auf möglichst viele Fruchtarten, die Wasser zu unterschiedlichen Zeiten benötigen, als auch auf unterschiedliche Anbausysteme zu setzen.

3.7.6 Bewertung von Treibhausgasen und Energiebilanzen

Die Ziele der Bioenergieerzeugung sind die Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) und eine hohe Energieeffizienz im Vergleich zu fossilen Brennstoffen. Der Biomasseanbau ist ein sehr dynamisches System. Wie frühere Auswertungen gezeigt haben, ist die Höhe der THG-Emissionen und der Energieeffizienz abhängig von vielen Faktoren: Standorteigenschaften, Fruchtart, Anbaumanagement und Fruchtfolgegestaltung. Demzufolge kann die Verminderung von landwirtschaftlichen THG-Ausstößen nur durch regional angepasste Bewirtschaftungspraktiken und nachhaltige Landnutzungskonzepte erzielt werden (SMITH et al., 2014 (IPCC)). Die Untersuchungen von ERCOLI et al. (1999) und NEMECEK et al. (2015) zeigten, dass der Biomassertrag, die Höhe der THG-Emissionen und der kumulierte Energieaufwand (KEA) abhängig sind von der Nährstoffzufuhr aus Düngemitteln, besonders vom Stickstoffdünger (N-Dünger). Des Weiteren können diese Indikatoren beeinflusst werden durch eine regionale Anpassung der Fruchtfolgegestaltung und des Anbaumanagements (ALLUVIONE et al., 2011).

Ziel der folgenden Untersuchung war es, die angebauten Fruchtfolgen für den Standort Trossin für die Indikatoren THG-Emissionen und KEA zu analysieren, um die Einflussfaktoren zu identifizieren und Optimierungsmöglichkeiten ableiten zu können.

In Abbildung 41 und Abbildung 44 (jeweils die linke Abbildung) sind die flächenbezogenen THG-Emissionsbelastungen der erprobten Fruchtfolgen und einiger Kulturarten in $\text{kg CO}_2 \text{ \AA q/ha}$ dargestellt. Die produktbezogenen THG-Emissionen beim Energiepflanzenanbau in $\text{g CO}_2 \text{ \AA q/MJ}$ Substraterzeugnis geben die Abbildung 41 und Abbildung 44 (jeweils rechte Abbildung) wieder. Die THG-Emissionen wurden hierbei auf die Leistung der jeweiligen Fruchtfolge bzw. Fruchtart, speziell auf den Energiegehalt des produzierten Methans bei der Vergärung der Substrate, bezogen (siehe Methodik).

Wie die Abbildung 41 (links) verdeutlicht, bilden die Herstellung und der Einsatz von Düngemitteln die größten THG-Emissionsquellen. An zweiter Stelle verursachen die Herstellung sowie der Einsatz der landwirtschaftlichen Maschinen und des Diesels die meisten THG-Emissionen. Weiterhin wird deutlich, dass das Anbaumanagement einen enormen Einfluss auf die Höhe der verursachten THG-Emissionen (bzw. auf den Energieaufwand) und auf den gesamten Bioenergieherstellungspfad hat (Studien von BLENGINI et al., 2011 und DAVIS et al., 2013).

Das Gleiche gilt auch für den kumulierten Energieaufwand. Hierbei sind die Düngemittelherstellung und die Herstellung und der Einsatz von Maschinen und Diesel am energieintensivsten (Abbildung 42).

Beim Vergleich der Fruchtfolgen am warm-trockenen Standort Trossin (Abbildung 41, links) zeigte sich, dass die mehrjährigen Kulturen Durchwachsene Silphie und Szarvasigras sowie die ökonomische Fruchtfolge mit dreimaliger Mais-Selbstfolge die geringsten THG-Emissionen pro Hektar Anbaufläche und auch den kleinsten KEA aufweisen. Die intensiven Fruchtfolgen 1 bis 3 sowie die Rüben-Fruchtfolge, bestehen aus einer Kombination von C_3 - und C_4 -Pflanzen, sind aufgrund ihres hohen Betriebsmitteleinsatzes durch höhere THG-Emissionen und einen hohen KEA charakterisiert. Die Anzahl der Fruchtfolgeglieder innerhalb einer Fruchtfolge beeinflusst stark den Betriebs-

mitteleinsatz, im Besonderen den Einsatz von Maschinen, was sich direkt auf die Höhe des Energieaufwandes und die THG-Emissionen auswirkt. Diese Tatsache spiegelt sich auch in der positiven Umweltwirkung (THG-Emissionen und KEA) der Dauerkulturen Durchwachsene Silphie und Szarvasigras sowie der ökonomischen Fruchtfolge wieder. Im Gegensatz dazu werden bei der intensiven Fruchtfolge 3 mit bis zu sieben Fruchtfolgegliedern hohe THG-Emissionen und ein hohes KEA erreicht.

Mehrjährige Kulturen wie die Durchwachsene Silphie, das Szarvasigras und das mehrjährige Ackerfutter haben hierin einen Vorteil, da diese im Vergleich zu den einjährigen Kulturen nur einmalig für mehrere Jahre etabliert werden und somit nur einmalig Bodenbearbeitung und Aussaat anfallen. Dieser Vorteil kann jedoch bei einigen mehrjährigen Kulturen durch eine zu hohe Stickstoffdüngung reduziert werden. Im Mittel über beide Versuchsanlagen wurde in Fruchtfolge 4 (Luzernegras) gleichviel Stickstoffdünger appliziert wie in Fruchtfolge 9 (Szarvasigras) und 50 kg N/ha mehr als in Fruchtfolge 10 (Durchwachsene Silphie). Obwohl die Höhe der Stickstoffdüngergabe in allen drei Fruchtfolgen ähnlich hoch lag, wurden unterschiedlich hohe THG-Emissionen (und KEA) durch unterschiedlich hohe Düngemittelgaben verursacht. In den mehrjährigen Kulturen wurde nur einmal Stickstoff gedüngt. In der Ackerfutterfruchtfolge wurde nach jedem Ernteschnitt eine Stickstoffdüngung durchgeführt, was zu höheren Emissionen (und KEA) aufgrund des zusätzlichen Maschinen- und Dieseleinsatzes führte. Ein weiterer Nachteil der Ackerfutterfruchtfolge im Vergleich zu den mehrjährigen Kulturarten ist die Anzahl der Ernten im Erntejahr. Diese variiert zwischen 1-4 Schnitten für das Luzernegras und meist nur einer Ernte pro Jahr beim Szarvasigras und der Durchwachsenen Silphie und führt zu einer Erhöhung der THG-Emissionen beim Maschinen- und Dieseleinsatz für die Ernte. Die Ackerfutterfruchtfolge verursachte somit im Mittel über beide Anlagen gegenüber dem Szarvasigras 33 % und gegenüber der Durchwachsenen Silphie 21 % mehr flächenbezogene THG-Emissionen sowie rund 15 % mehr Energieaufwand. Der erhöhte Maschineneinsatz konnte ertraglich und wirtschaftlich (siehe Kapitel 3.1 und 3.8) nicht durch einen erhöhten Biomasse- bzw. Biogasertrag ausgeglichen werden.

Bei der Auswertung der produktbezogenen THG-Emissionen (Abbildung 41, rechts) fällt auf, dass sich das Ranking der einzelnen Fruchtfolgen im Vergleich zu den flächenbezogenen THG-Emissionen verschiebt. Die ökonomische dreimalige Maisselbstfolge verursacht produktbezogen die geringsten THG-Emissionen gefolgt von der Durchwachsenen Silphie und der klimagasreduzierten Fruchtfolge (N-25 %-reduziert). Die Ackerfutterfruchtfolge 4 gefolgt von der Biodiversitätsfruchtfolge 8 verursachten die höchsten produktbezogenen THG-Emissionen.

Alle Fruchtfolgen haben eine positive Energiebilanz, das heißt, es wird mehr Energie produziert als für die Herstellung benötigt wurde. Wie die in Abbildung 43 dargestellten Energiebilanzen zeigen, erzielte die intensive Fruchtfolge 3 (intensiv, C₄- und C₃-Pflanzen Kombination) den höchsten Energieertrag, gefolgt von Fruchtfolge 6 (ökonomisch – dreimalige Maisselbstfolge) und 2 (intensiv, C₄- und C₃-Pflanzen Kombination). Die geringsten Energieerträge wurden von der Ackerfutterfruchtfolge, dem Szarvasigras und der Biodiversitätsfruchtfolge mit einer Blühmischung erzielt. Energetisch betrachtet, stellen die mehrjährigen Fruchtfolgen Luzerne- und Szarvasigras keine vergleichbare Option zu den Fruchtfolgen mit einer Kombination aus einjährigen hoch ertragreichen Energiepflanzen wie Mais und Sorghum, am Standort Trossin dar.

Für die Vorzüglichkeit einer Fruchtfolge ist nicht nur die Energiebilanz das entscheidende Kriterium, sondern die Kombination aus THG-Emission (produkt- und flächenbezogen) und einer hohen Energieausbeute.

Die klimagasreduzierte Fruchtfolge 7 verursachte trotz 25 % reduzierter Stickstoffdüngung im Vergleich zur Fruchtfolge 3 mit Düngung nach Düngeverordnung nur 15 % weniger flächenbezogene THG-Emissionen, nur 2 % weniger produktbezogene THG-Emissionen und benötigte 8 % weniger Energie für den Anbau. Aufgrund eines um 8 % verringerten Biomasseertrages (15 % geringerer Energieertrag) fällt aber die Energiebilanz deutlich schlechter aus als bei Fruchtfolge 3. Die Auswertung der klimagasoptimierten Fruchtfolge an anderen Standorten in Deutschland im EVA-Projekt zeigte, dass die Reduktion des N-Düngers nur dann aus Sicht der THG-Emissionen und der Ener-

gieeffizienz sinnvoll ist, wenn der Energieertrag (durch eine Reduktion des Biomasseertrages) nicht mehr als 10 % reduziert wird. Aus den Ergebnissen muss also geschlussfolgert werden, dass N-reduzierte Fruchtfolgen gegenüber einer Düngung nach Düngeverordnung auf dem Standort Trossin nicht langfristig (Witterungseinfluss) nachhaltiger sind.

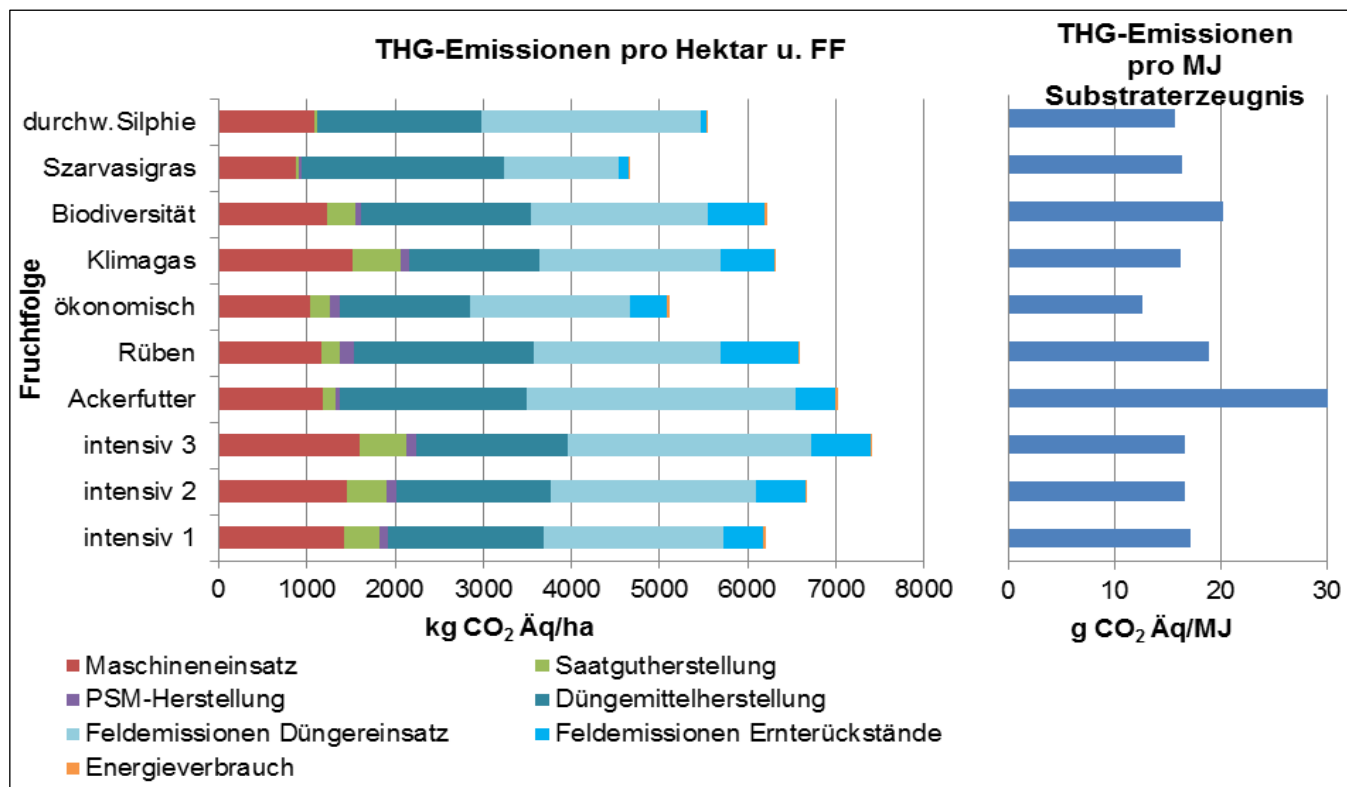


Abbildung 41: Vergleich der flächenbezogenen THG-Emissionen in kg CO₂-Äq/ha (links, unterteilt nach Emissionskategorien) der Fruchtfolgen 1 bis 10 und der produktbezogenen THG-Emissionen g CO₂-Äq/MJ Substraterzeugnis (rechts), gemittelt über die beiden Anlagen (Grundversuch, Spiegelung).

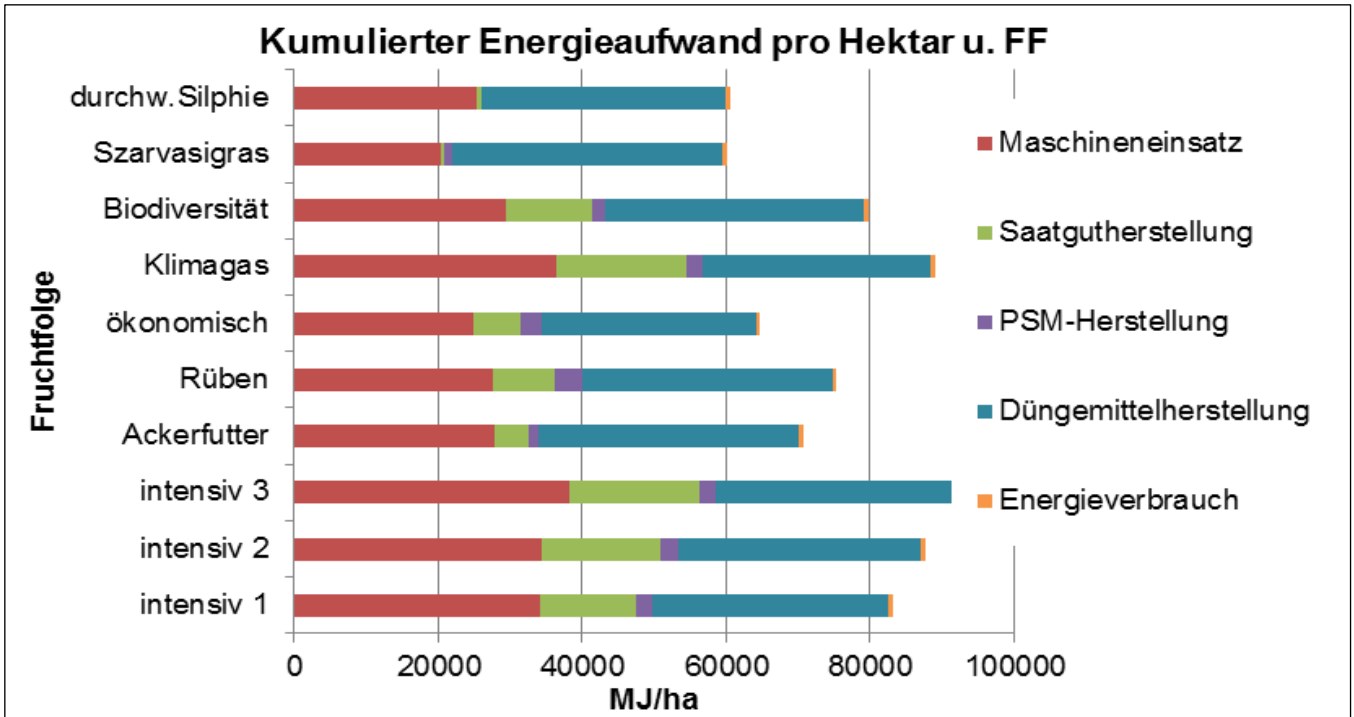


Abbildung 42: Vergleich des kumulierten Energieaufwandes der Fruchtfolgen 1 bis 10 unterteilt nach Kategorien (gemittelt über beide Anlagen Grundversuch und Spiegelung)

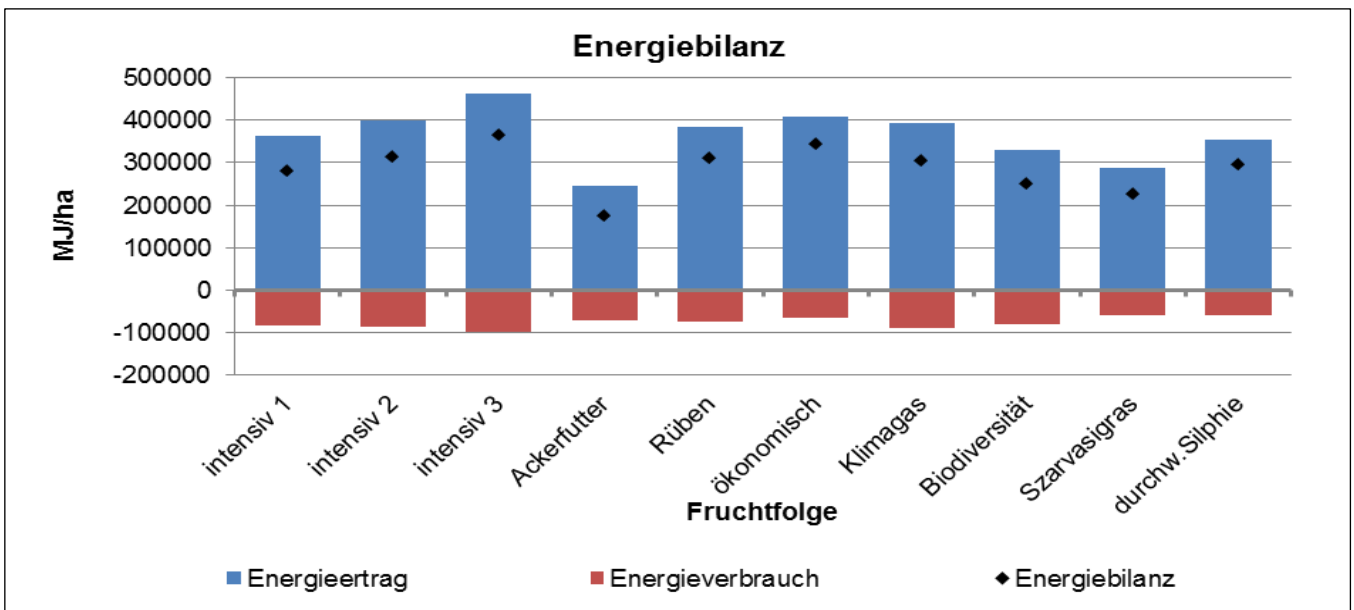


Abbildung 43: Vergleich des kumulierten Energieaufwandes der Fruchtfolgen 1 bis 10 (gemittelt über beide Anlagen), sowie der berechnete potentielle Energieertrag und die berechnete Energiebilanz (Energieertrag - Energieaufwand) modelliert bis zum Hoftor

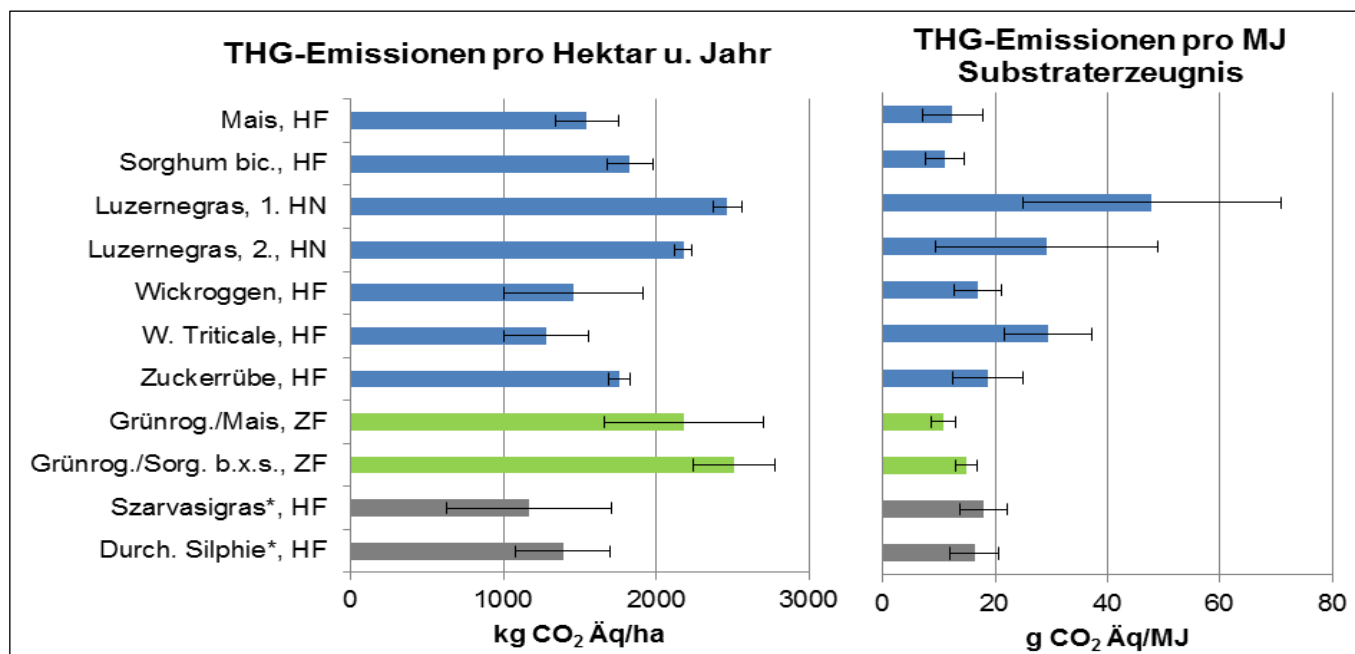
Im Folgenden wird die ökologische Vorzüglichkeit einzelner Energiepflanzen an Hand der Indikatoren THG-Emissionen und Energiebilanz vergleichend dargestellt. Hierbei werden nicht nur Energiepflanzen in Hauptfruchtstellung verglichen, sondern auch Zweikulturnutzungssysteme in den Vergleich mit einbezogen.

Die Analyse der THG-Emissionen verdeutlicht (Abbildung 44), dass die Zweikulturnutzungssysteme flächenbezogen aufgrund des teilweise doppelten Aufwandes für den Anbau von zwei Kulturen (z. B. Bodenbearbeitung, Dün-

gemittleinsatz, Ernte) zunächst höhere THG-Emissionen verursachen als Hauptfruchtssysteme. Ein Vorteil des Zweikulturnutzungssystems ist hingegen der zweifache, oft höhere Gesamtenergieertrag. So zeigt sich bei der Auswertung der produktbezogenen THG-Emissionen, dass Zweikulturnutzungssysteme produktbezogen mit die geringsten THG-Emissionen aufweisen. Die produktbezogenen THG-Emissionen der untersuchten Zweikulturnutzungssysteme mit Mais und Sorghum waren somit annähernd vergleichbar mit dem Anbau dieser Kulturen in Hauptfruchtstellung. Ein Zweikulturnutzungssystem kann allerdings viele zusätzliche ökologische Vorteile, z. B. Erosionsschutz im Winter, verringerter Nitrataustrag, erhöhten Ertrag, bewirken.

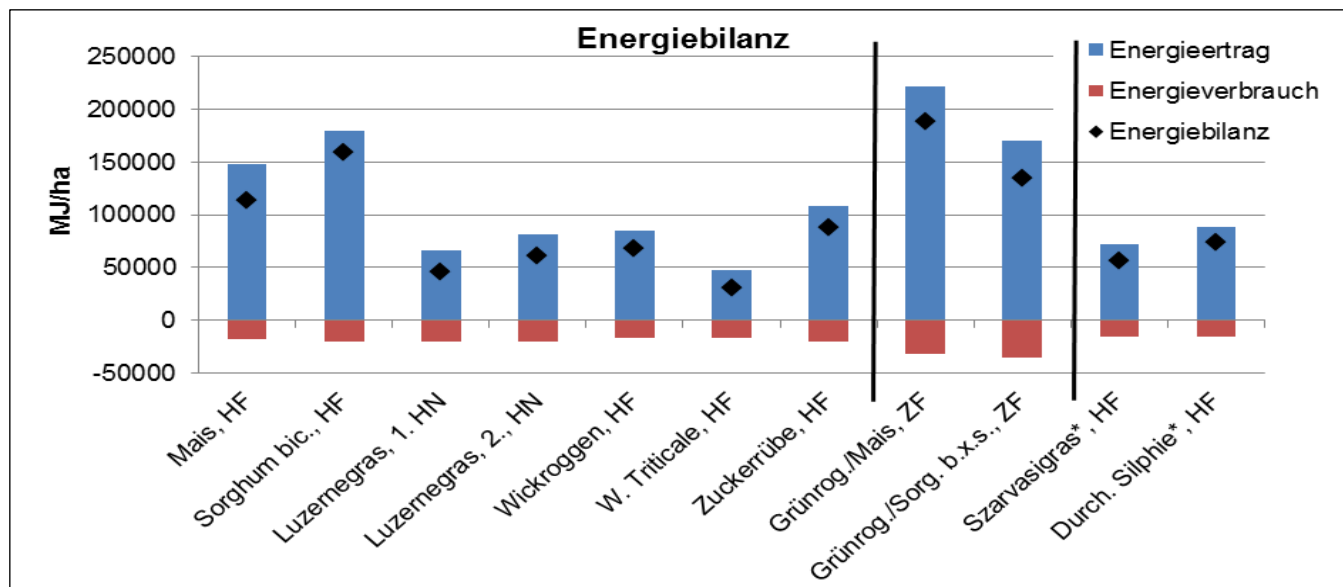
Im Hauptfruchtanbau verursachte das Szarvasigras, gefolgt von Wintertriticale (GPS) und Durchwachsener Silphie die geringsten flächenbezogenen THG-Emissionen. In einer vergleichbaren ungarischen Studie von SZABÓ et al. (2014) wurden flächenbezogene THG-Emissionen von Szarvasi-1 (von der Wiege bis zum Hoftor) von 650,7 kg CO₂-Äq/ha berechnet. Ergebnisse des LfULG zeigten im Durchschnitt über alle Jahre und Anlagen einen Wert von 1168 kg CO₂-Äq/ha, jedoch wurde in der ungarischen Studie das Szarvasi-1 nicht gedüngt. Hätte man in Trossin nicht gedüngt, würde sich ein theoretischer flächenbezogener THG-Emissionswert von 265 kg CO₂-Äq/ha ergeben. Dieser läge somit noch weit unter dem Wert der ungarischen Studie.

Produktbezogen hat die Biogasproduktion aus Sorghum bicolor in Hauptfruchtstellung und das Zweikulturnutzungssystem Grünschnittroggen/Mais am Standort Trossin die geringsten THG-Emissionen. Mais in Hauptfruchtstellung, das Zweikulturnutzungssystem Grünschnittroggen/Sudangrashybride und die Durchwachsene Silphie sind ebenfalls THG-effizient. Am ineffizientesten bezogen auf die produktbezogenen THG-Emissionen ist der Anbau von mehrjährigem Luzernegras.



(Grünrog./Mais, ZF = Grünschnittroggen und Mais; Grünrog./Sorgh. b.x.s. = Grünschnittroggen und *Sorghum b.x.s.*) von der Aussaat bis zur Ernte/Silage unter Beachtung der Fruchtfolgestellung (HF = Hauptfrucht, ZF = Zweitfrucht), die im Projekt am Standort Trossin erprobt wurden, Versuchsjahre 2013-2017, Mittelwerte aus zwei Anlagen (Grundversuch, Spiegelung) und Standardabweichung. *=gemittelt über vier Anbaujahre, HN = Hauptnutzungsjahr

Abbildung 44: Flächenbezogene THG-Emissionen in kg CO₂ Äq/ha (links) und produktbezogene THG-Emissionen in g CO₂ Äq/MJ Substraterzeugnis einzelner Energiepflanzen und Zweikulturnutzungssysteme



(Grünrog./Mais, ZF = Grünschnittroggen und Mais; Grünrog./Sorgh. b.x.s. = Grünschnittroggen und Sorghum b.x.s.) von der Aussaat bis zur Ernte/Silage unter Beachtung der Fruchtfolgestellung (HF = Hauptfrucht, ZF = Zweitfrucht), die im Projekt am Standort Trossin erprobt wurden, Versuchsjahre 2013-2017, Mittelwerte aus zwei Anlagen (Grundversuch, Spiegelung) und Standardabweichung. *=gemittelt über 4 Anbaujahre, HN = Hauptnutzungsjahr

Abbildung 45: Energieertrag, KEA und Energiebilanz einzelner Energiepflanzen und Zweikulturnutzungssysteme

Alle überprüften Anbausysteme weisen eine positive Energiebilanz auf, wobei das Zweikulturnutzungssystem mit Grünschnittroggen und Mais im Vergleich zu den anderen Systemen die beste Energiebilanz besitzt. Sorghum bicolor und Grünschnittroggen/Sudangrashybride liegen in geringem Abstand dahinter. Die Energiebilanz der Zweifruchtsysteme ist im Vergleich zu Sorghum und Mais in Hauptfruchtstellung höher. Die Dauerkulturen Durchwachsene Silphie und Szarvasigras zeigen eine ähnliche Energiebilanz wie der Wickroggen und das Luzernegras.

Schlussfolgerung

In Übereinstimmung mit den Studien von ERCOLI et al. (1999) und NEMECEK et al. (2015) zeigten die Ergebnisse, dass die Vorzüglichkeit der einzelnen Fruchtfolgen in Bezug auf THG-Emissionen und Energiebilanzen von vielen Kriterien, z. B. dem Anbaumanagement, der Fruchtart, dem Biomasseertrag, der Biogasausbeute, der Fruchtfolgestaltung und im Besonderen vom Stickstoffdüngemittleinsatz, abhängig ist.

Nach der ökonomischen Fruchtfolge (Mais-Selbstfolge) verursachten die Dauerkulturen Durchwachsene Silphie und Szarvasigras die geringsten produktbezogenen THG-Emissionen.

Die Fruchtfolge mit einer 25 %-igen Stickstoffdüngereduzierung weist im Vergleich zur Fruchtfolge 3 mit Düngung nach Düngeverordnung nur geringfügig reduzierte produktbezogene THG-Emissionen auf. Die Reduktion des N-Düngers ist aus Sicht der THG-Emissionen und der Energieeffizienz nur sinnvoll, wenn der Energieertrag (durch eine Reduktion des Biomasseertrages) nicht mehr als 10 % reduziert wird. Am Standort in Trossin reduzierte sich der Energieertrag um 15 %. Demzufolge ist diese Form der Optimierung für den Standort Trossin nicht nachhaltig. Allerdings spielt auch die Jahreswitterung bei der Ertragsbildung eine große Rolle, so dass der Vergleich der beiden Fruchtfolgen langfristiger geprüft werden müsste.

Die Mais-Selbstfolge-Fruchtfolge ist bezogen auf die THG-Emissionen und die Energiebilanz eine gute Wahl. Mais ist die Energiepflanze mit der in Deutschland höchsten Biogasausbeute pro ha (Methanbildungspotential und Ertrag pro ha) und, im Vergleich zu anderen Fruchtarten, mit relativ geringen anbaubedingten THG-Emissionen. Zur

Verbesserung der ackerbaulichen Vielfalt der Fruchtfolgen könnte jedoch der Anbau von Mais im Zweikulturnutzungssystem mit Grünschnittroggen, das Szarvasigras, die Durchwachsene Silphie oder auch Sorghum in Haupt- oder in Zweifruchtstellung, aus Sicht der produktbezogenen THG-Emissionen, gute Alternativen darstellen.

Durch den Einsatz von Gärresten (im Versuch nicht geprüft) können viele Fruchtfolgen aufgewertet werden, da die Herstellungsemissionen im Vergleich zu mineralisch hergestellten Stickstoffdüngemitteln stark reduziert werden können. Studien aus dem EVA-Projekt (GLEMNITZ et al., 2017) konnten dies belegen.

3.8 Ökonomische Bewertung

3.8.1 Ergebnisse

Zunächst soll der Blick in Abbildung 46 auf die ökonomische Darstellung der einzelnen Kulturen im alleinigen Hauptfruchtanbau bezogen auf die Fläche gerichtet werden. Sie sind unterteilt nach Energiepflanzen im Hauptfruchtanbau, Dauerkulturen und Marktfrüchten und über die Säulen für Leistung, Anbaukosten, Ergebnis sowie Ergebnis mit Berücksichtigung des Gärrestwertes charakterisiert und vergleichbar. Die eingezeichnete Linie der Direktzahlung von 280 EUR/ha markiert das Level, oberhalb dessen das Verfahren ökonomisch im Plus liegt.

Bei den Kulturen im Hauptfruchtanbau überzeugten in erster Linie die Futterhirse und der Mais mit hohen Leistungen und einem positiven Ergebnis auch ohne Hinzurechnung von Gärrestwert und Direktzahlungen. Das schafften alle anderen Kulturen nicht. Wickroggen benötigte die Flächenprämie um ins Plus zu kommen, die Getreide-GPS verfehlte dies noch knapp, erreichte es aber mit dem Gärrestwert. Aufgrund zu geringer Erträge bei vergleichsweise hohen Anbaukosten landeten Luzernegras, Zuckerrüben und die Blümmischung weit abgeschlagen. Im Vergleich der beiden Zuckerrübenvarianten zeigte sich, dass die entblätterten Rüben gegenüber den geköpften Rüben durch mehr Ertrag eine höhere Leistung und ein besseres Ergebnis erzielten. Der starke Einbruch des Rübenenertrages in 2016 verhinderte ein günstigeres Abschneiden der Rüben und eine gesicherte Aussage. Das Lagerungs- und Aufbereitungsverfahren für Rüben und dessen Kosten sollten diskutiert werden.

Obwohl die Durchwachsene Silphie in Ertrag und Leistung dem Szarvasigras überlegen war, ging der Vergleich der beiden Dauerkulturen zugunsten von Szarvasigras aus. Dieses hatte offensichtlich deutliche Kostenvorteile und erreichte dadurch ein wesentlich besseres Ergebnis. Erklären lässt sich der Kostenunterschied durch die sehr teure Bestandsetablierung der Durchwachsenen Silphie über Pflanzung (v. a. Pflanzgut und Arbeitserledigung), während das Szarvasigras gedrillt wird. Durch eine Aussaat der Durchwachsenen Silphie ließen sich schätzungsweise 200 bis 300 EUR/ha und Jahr Anlagekosten einsparen, der Ertragseffekt bliebe jedoch abzuwarten. Ein Ansatz zur Kostensenkung besteht in einer längeren Nutzungsdauer, sofern das am Prüfstandort realisierbar wäre. Eine Kalkulation zu dieser Problematik wird später unter dem Absatz „Betrachtung der Fruchtfolgen“ diskutiert.

Zum Vergleich sind in der Abbildung 46 noch die Ergebnisse der beiden Marktfrüchte Wintertriticale und Winterroggen zu finden. Diese repräsentieren allerdings nur bedingt einen üblichen Marktfruchtanbau am Standort und sind mit dem Energiepflanzenanbau kaum vergleichbar. Winterroggen als Abschlussprüfglied jeder Fruchtfolge wurde nicht gedüngt und nur in der Grundanlage einmalig mit einem Herbizid behandelt. Das Ertragsniveau war vor allem in der Spiegelanlage entsprechend schwach. Selbst mit Direktzahlung kam der Roggen nicht ins Plus. Die praxisnah angebaute Triticale schaffte das aufgrund zu geringer Erträge bei relativ hohen Kosten noch weniger.

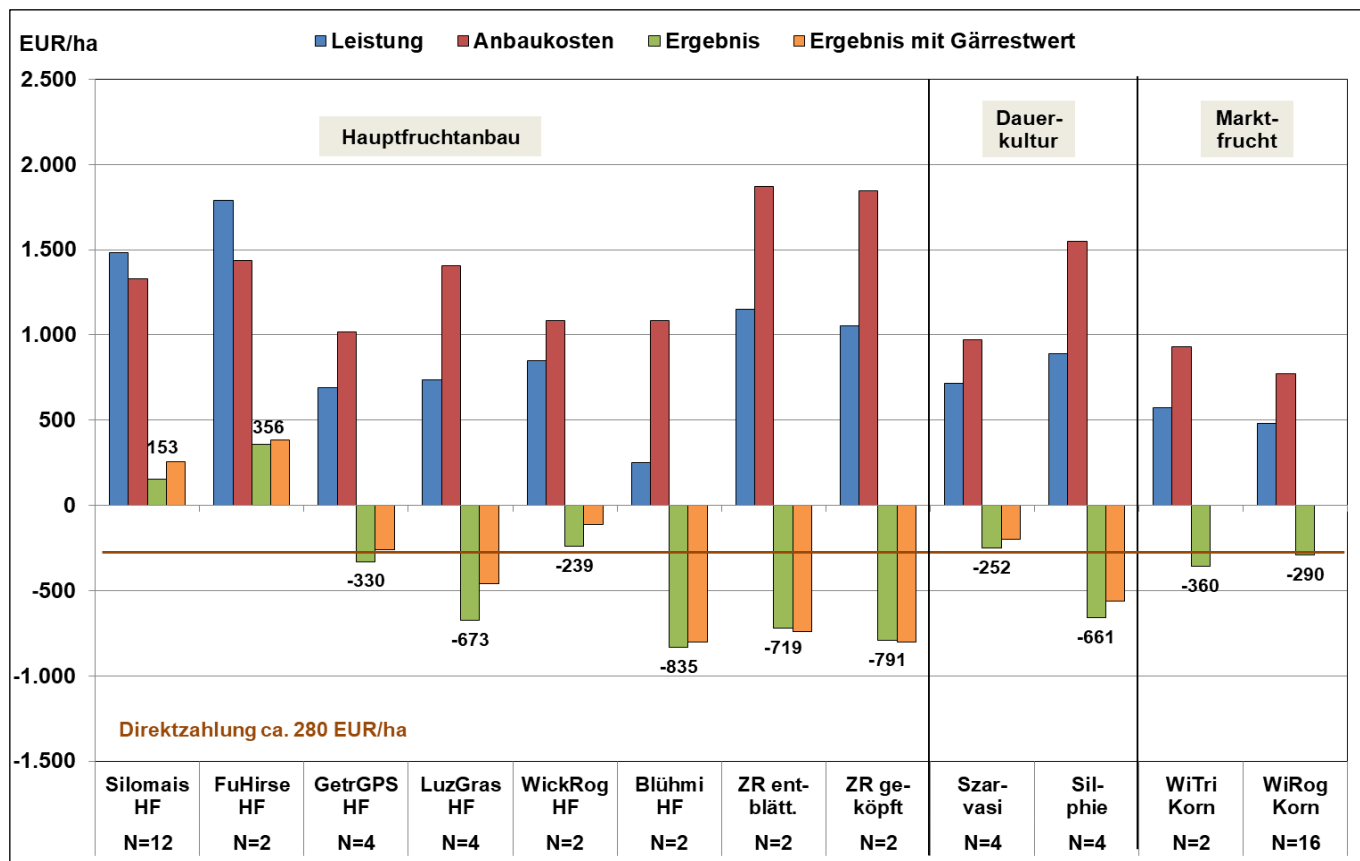


Abbildung 46: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis der Kulturen im Hauptfruchtanbau in EUR/ha und Jahr für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches

Kulturen in Zweikulturnutzung bzw. Zwischenfruchtstellung sollten prinzipiell als System zusammen mit der Erst- bzw. Hauptfrucht ausgewertet und nicht allein betrachtet werden. Um Rückschlüsse auf das Potential der Kulturen auch im Vergleich untereinander und zum Hauptfruchtanbau zu ziehen, sind sie in Abbildung 47 separat dargestellt. Den Zweitfrüchten nach Winterzwischenfrucht und der Wintergersten-GPS als Hauptfrucht vor einer Sommerzwischenfrucht sind die Flächen- und Gemeinkosten sowie Direktzahlungen zuzuordnen, während diese bei den Zwischenfrüchten fehlen.

Wie die Grafik erkennen lässt, kam Silomais als Zweitfrucht nicht an das Ergebnis des Hauptfruchtanbaus (siehe Abbildung 46 und Abbildung 47) heran. Hauptursache war der komplette Ertragsausfall bei zwei von acht Prüfgliedern, wobei in nicht geringem Umfang Kosten angefallen sind. Das Risiko für den Mais in Zweitfruchtstellung scheint am Standort Trossin hoch zu sein. Die Sudangrashybride, grundsätzlich nur als Zweitfrucht angebaut, kamen fast an das Niveau von Silomais heran, konnten sich aber mit den Hauptfrucht-Varianten von Mais und Futterhirse nicht messen. Die Wintergerste-GPS wurde ihrem Hauptfruchtstatus zumindest aus Sicht des Ertrages nicht gerecht. Hier leistete dann die als Sommerzwischenfrucht nachfolgende Sudangrashybride einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung. Daneben zeigten sich insbesondere Luzerngras und Weidelgras als Winterzwischenfrucht recht stark. Sie profitierten von niedrigen Kosten durch eine Weiternutzung nach der Hauptnutzung bzw. nach Deckfruchternte. Grünroggen, Wickroggen und das Weidelgras als Sommerzwischenfrucht brachten dem gegenüber zwar vergleichbare Leistungen, waren aber teurer im Anbau und konnten somit die Hauptkultur nicht unterstützen. Um das zu erreichen, sollte mindestens das Ergebnis mit Gärrestwert positiv ausfallen. Im Versuch hatte das Luzerngras (als WZF) mit seinem Frühjahrsschnitt vor Mais die besten Chancen, das Ergebnis der Hauptfrucht zu verbessern.

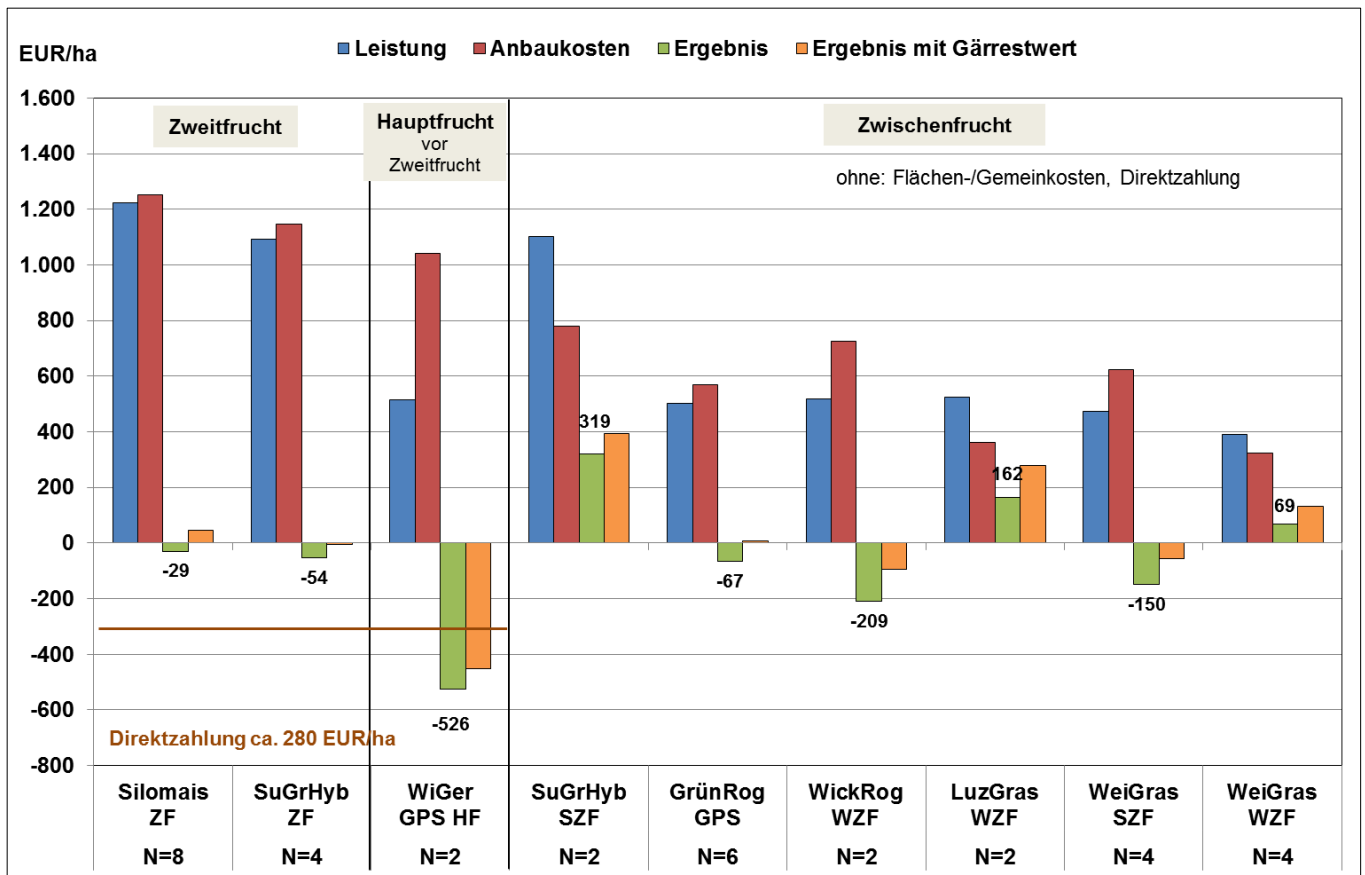


Abbildung 47: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis der Kulturen im Zweikultursystem bzw. Zwischenfruchtanbau in EUR/ha u. Jahr für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches

Neben dem Ergebnis je Hektar interessiert beim Fruchtartenvergleich auch, wieviel die Erzeugung einer Dezitonne Trockenmasse bzw. eines Kubikmeters Methan kostet. Dazu wurden die Anbaukosten der Kultur auf den Netto-Trockenmasseertrag (nach Abzug der Silierverluste entspricht das der Trockenmasse der Silage) bzw. den Netto-Methanertrag umgelegt. Abbildung 48 verdeutlicht die Situation bei den Einzelkulturen.

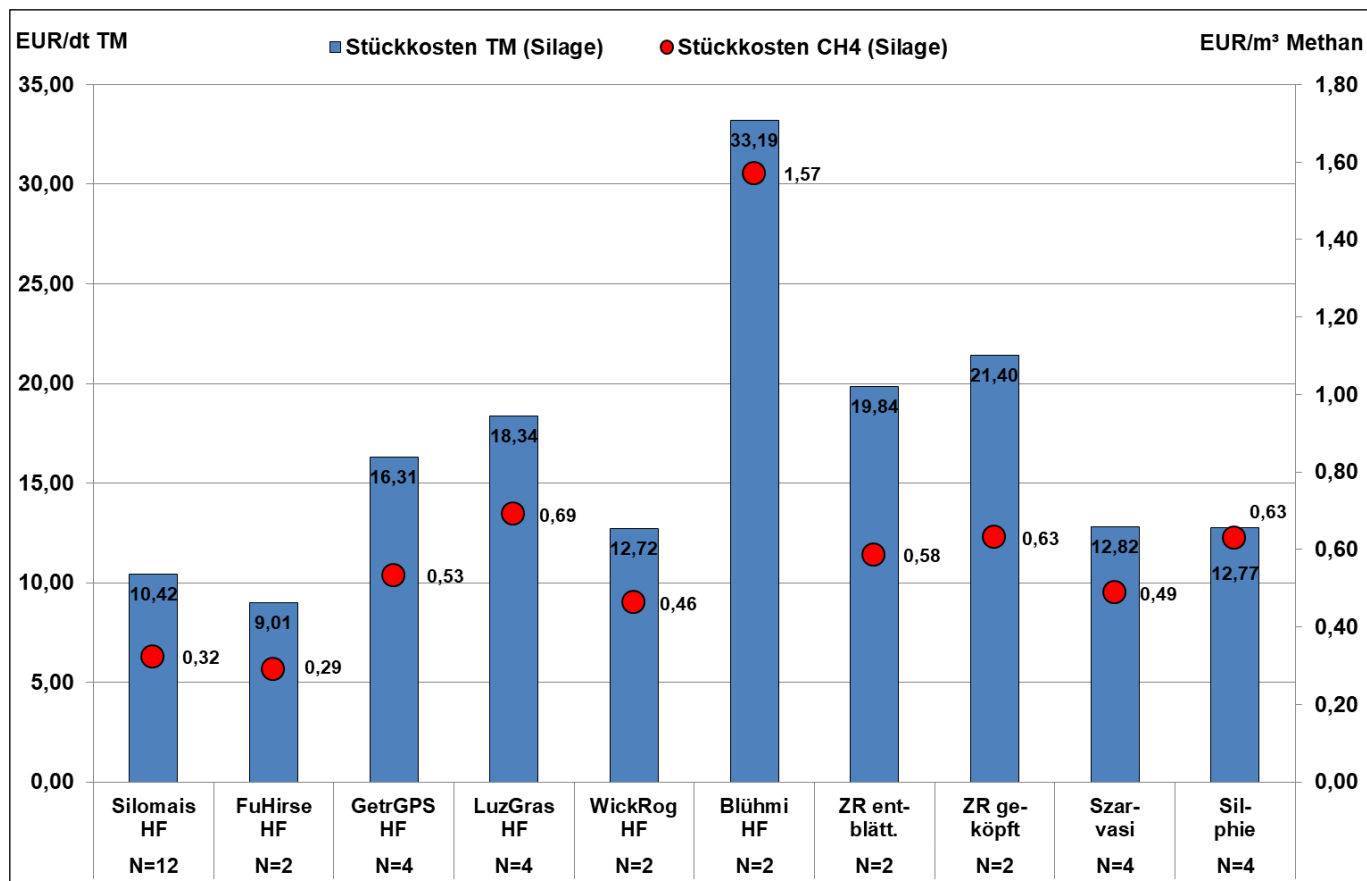


Abbildung 48: Erzeugungskosten (Stückkosten) je Dezitonne Trockenmasse und je Kubikmeter Methan in der Silage für die einzelnen Fruchtarten in der Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches

Am günstigsten kann die Trockenmasse mit Futterhirse und Mais bereitgestellt werden. Danach folgen der Wickroggen und die Dauerkulturen. Mit etwas Abstand reihen sich dann Getreide-GPS, Luzernegras und die Rüben ein. Extrem teuer ist die Trockenmasseproduktion bei der Blühmischung. Am aussagefähigsten für den Nutzer ist jedoch die Kennzahl „Stückkosten Methan“, da hier noch der oTS-Anteil und die Methanausbeute einfließen, die sich zwischen den Fruchtarten teilweise deutlich unterscheiden. Wie in Abbildung 48 zu erkennen ist, bleiben Futterhirse und Silomais auch hinsichtlich der Stückkosten für Methan vorzüglich. Es folgen Wickroggen und Szarvasigras. Die Getreide-GPS (Triticale und Hybridroggen) schiebt sich auch auf dieses Niveau nach vorn. Bei der Durchgewachsenen Silphie steigen die Kosten aufgrund der vergleichsweise geringen Methanausbeute spürbar an. Darüber hinaus behalten die Fruchtarten ihre Position im Ranking.

In der Praxis spielen die kostengünstige Rohstoffbereitstellung und die Flächeneffizienz eine wesentliche Rolle bei der Anbauentscheidung, die dadurch oft zugunsten von Mais ausfällt. Aus ökonomischer Sicht zeichnen sich dennoch einige Alternativen ab, die standortbezogen das Spektrum an Energiepflanzen ergänzen können.

Betrachtung der Anbausysteme (Zweit- und Zwischenfruchtanbau)

Folgende Fruchtartenkombinationen werden nachfolgend diskutiert:

- Silomais als Zweitfrucht nach verschiedenen Vorrüchten im Vergleich zu Hauptfrucht-Mais
- Wintergersten- bzw. Grünroggen-GPS mit Sudangrashybride als Zweitfrucht
- Weidelgras als Zwischenfrucht nach GPS-Vorrucht im Vergleich zu Triticale-GPS als Hauptfrucht

Für die Verbindung von ökonomischem Erfolg und umweltgerechter, nachhaltiger Produktion (Diversifizierung, Aufweitung von Fruchtfolgen) spielen Anbausysteme mit Silomais eine wichtige Rolle. Die in Trossin getesteten

Varianten sind mit ihren ökonomischen Kennzahlen in Abbildung 49 dargestellt. In den einzelnen Jahren wird jeweils der Hauptfruchtanbau von Mais den Zweikulturnutzungen mit verschiedenen Vorfrüchten gegenüber gestellt. Stapelsäulen für Leistung und Anbaukosten verdeutlichen dabei den jeweiligen Anteil der beiden Kulturen, während das Ergebnis als Summe des Anbausystems dargestellt ist.

Erwartungsgemäß realisieren alle Zweikulturnutzungen insgesamt eine höhere Leistung als der Hauptfruchtmais allein. Eine Ausnahme bildet das Jahr 2015, in dem der Mais als Zweitfrucht zweimal komplett ausgefallen ist. Trotz der höheren Leistung des Anbausystems mit Wickroggen, schneidet der Hauptfruchtmais 2013 im Ergebnis deutlich besser ab, weil sich hier die Anbaukosten gegenüber der Fruchtartenkombination in Grenzen halten. Der Erfolg der Anbausysteme 2014 – alle liegen im Ergebnis vor dem Hauptfruchtmais – begründet sich auf der Leistungsstärke des Zweitfruchtmaises bei vergleichbaren Kosten. Dieser kann sogar die Lücke zwischen Leistung und Kosten der Vorfrüchte Wickroggen und Grünroggen kompensieren, während das Weidelgras selbst noch einen positiven Beitrag zum Gesamtergebnis leistet. Das Jahr 2015 zeichnet ein ähnliches Bild wie 2013, nur mit Grünroggen statt Wickroggen als Vorfrucht. Die Anbausysteme sind im Vergleich zum Hauptfruchtmais zu schwach bzw. der Mais als Zweitfrucht zu risikobehaftet. 2016 wiederum kann die Kombination von Luzernegras (ein Schnitt im Frühjahr nach zwei Hauptnutzungsjahren) plus Mais gegenüber dem Hauptfruchtmais punkten. Diesem gelingt es auch mit Direktzahlung nicht, schwarze Zahlen zu schreiben. Der Hauptfruchtmais 2013 und 2015 sowie das Anbausystem Luzernegras und Mais 2016 gelangen durch die Direktzahlungen ins Plus. Die Berücksichtigung der Gärrestrückführung verbessert zwar die Ergebnisse in ihrer Höhe, verändert aber die getroffenen Aussagen nicht.

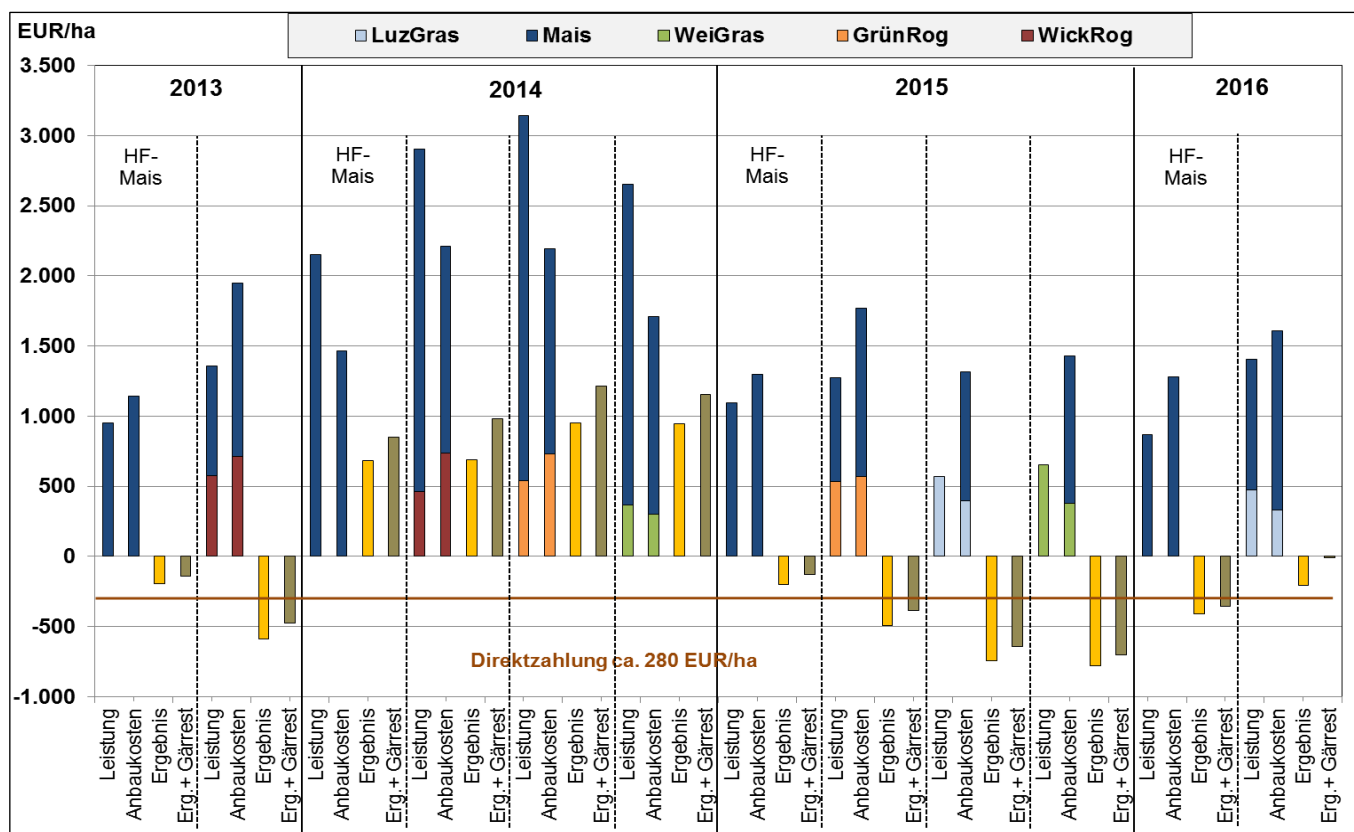


Abbildung 49: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis von Mais im Hauptfruchtanbau im Vergleich zu Mais als Zweitfrucht nach verschiedenen Vorfrüchten nach Jahren für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches

Abbildung 50 zeigt die Ergebnisse der Zweikulturnutzung mit Sudangrashybride in drei verschiedenen Jahren. Flächen- und Direktkosten sind hierbei jeweils der Hauptfrucht zugeordnet, d. h. einmal der Wintergerste-GPS und zum anderen der Sudangrashybride. Die ausgewiesene Direktzahlung kann dem Ergebnis noch hinzugerechnet werden. Bei der Kombination von Sudangras mit Wintergerste in den Jahren 2013 und 2014 ist zu erkennen, dass Leistung und Anteile der beiden Partner bei ähnlichen Kosten je nach Jahreswitterung differenziert ausfallen. 2013 ist die Sudangrashybride ertraglich stark eingebrochen, die GPS kann das im Vorfeld nicht kompensieren. In der Summe führt das zu einem starken Minus im Ergebnis, was auch nicht durch die Berücksichtigung von Gärrest-rückführung und Direktzahlung aufgefangen werden kann. Dagegen kann das System im leistungsstarken Jahr 2014 ein Plus von knapp 300 EUR/ha realisieren. Die Kombination Sudangrashybride mit Grünroggen (je Auswertungsjahr zweimal vertreten) präsentiert sich über die zwei Jahre ausgeglichener, schreibt mit Direktzahlung schwarze Zahlen, bleibt allerdings 2014 im Ergebnis hinter dem anderen System zurück. Aus Sicht der Risikoeingrenzung (Wasserproblematik Wintergerste-GPS) ist eher für die Kombination Grünroggen plus Sudangrashybride zu plädieren. Das Leistungsvermögen in Jahren mit günstiger Witterung spricht dagegen für die Kombination mit Wintergerste. Für ein klares Votum reichen die wenigen Untersuchungsjahre nicht aus. Sinnvoll kann es sein, mit beiden Varianten im Praxisanbau zu arbeiten und weitere standortbezogene Beobachtungen vorzunehmen.

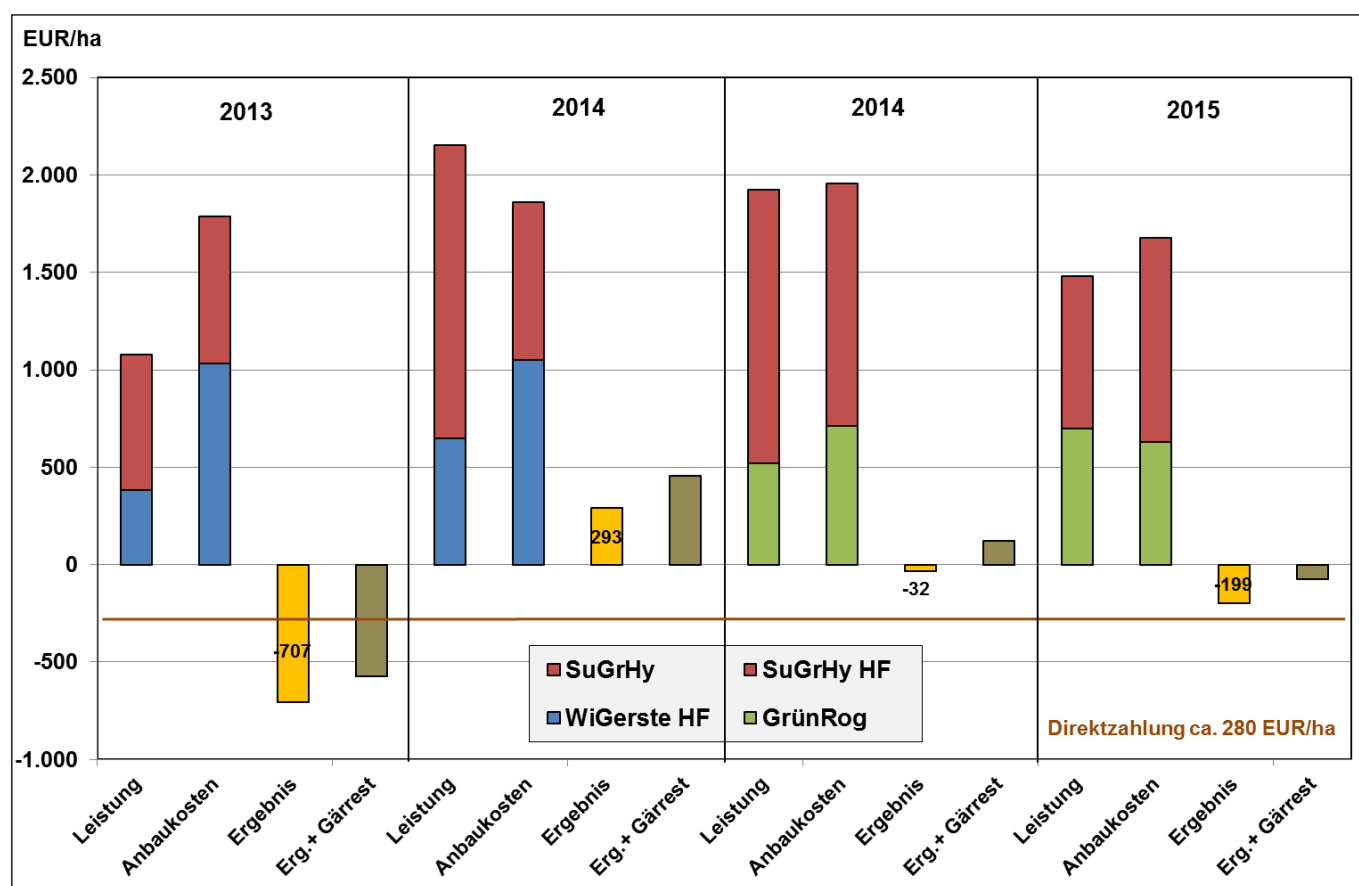


Abbildung 50: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis der Anbausysteme mit Sudangrashybride nach Jahren für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches

Auch Anbausysteme ohne Mais bzw. Sorghum sind zu betrachten. Abbildung 51 fasst die Kombinationen mit Weidelgras als Sommerzwischenfrucht (1 Schnitt) nach Triticale-GPS bzw. als Winterzwischenfrucht (2 bis 3 Schnitte) nach Wickroggen zusammen. In den beiden Anbaujahren 2013 und 2014 zeigt sich Wickroggen recht leistungsstark. Das nachfolgende Weidelgras bringt 2013 kaum einen Zuwachs. Dieser fällt 2014 deutlich größer aus, ist aber auch mit höheren Kosten verbunden. Im Ergebnis schneidet das System 2013 besser ab, im Mittel beider

Anlagen liegt es mit Direktzahlungen knapp im Plus. Die Kombination Weidelgras nach Triticale-GPS bleibt 2015 im Ergebnis deutlich hinter dem Hauptfruchtanbau von Triticale-GPS zurück. 2016 erreicht sie zumindest das gleiche Niveau, wobei Leistung aber auch Kosten weitaus höhere Dimensionen erreichen. Erst mit der Hinzurechnung der Gärrestrückführung und der Direktzahlungen kommen die Systeme mit Wickroggen 2013 und 2014 sowie der Triticale-Hauptfruchtanbau 2015 ins Plus.

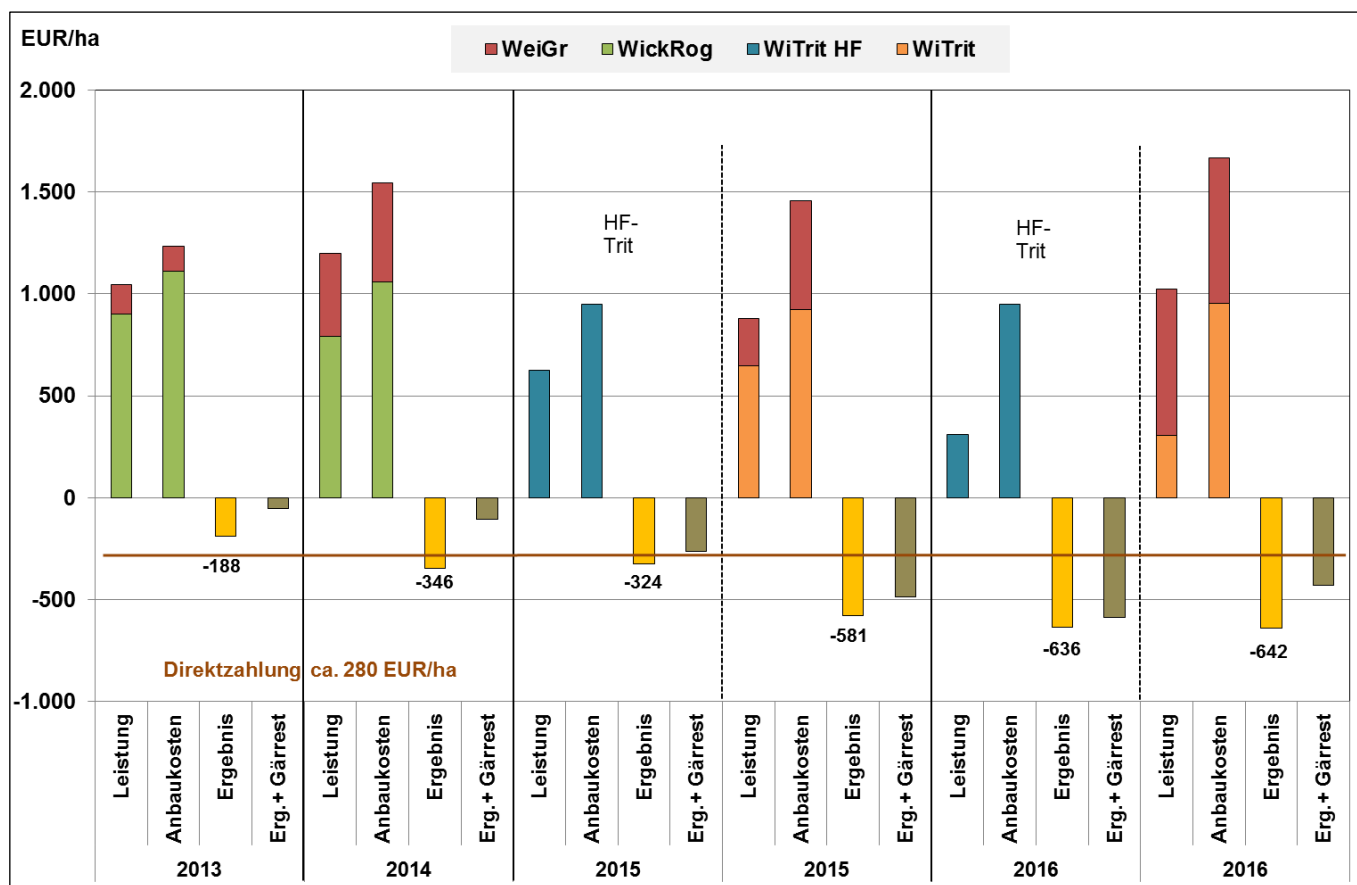


Abbildung 51: Leistung, Anbaukosten und Ergebnis von Weidelgras als Zwischenfrucht nach Wickroggen 2013 und 2014 sowie nach Triticale-GPS im Vergleich zu Triticale als Hauptfrucht 2015 und 2016 für die Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches

Betrachtung der Fruchtfolgen

Gerade Zielsetzungen wie Umweltfreundlichkeit, Nachhaltigkeit und Diversifizierung für den Anbau auf Ackerland erfordern den Blick auf die gesamte Fruchtfolge und nicht nur die Orientierung auf lukrative Einzelkulturen. Das gilt speziell auch für die Anbausysteme zur Rohstoffproduktion und Energiegewinnung.

Die im Grundversuch am Standort Trossin geprüften Fruchtfolgen sind mit ihren ökonomischen Kennzahlen in Abbildung 52 und Abbildung 53 dargestellt. Abbildung 52 zeigt die über drei bzw. vier Jahre aufsummierten Kennzahlen, Abbildung 53 bildet die Ergebnisse bezogen auf ein Jahr ab. Auf Jahresbasis ist so eine Vergleichbarkeit untereinander gewährleistet. Neben Leistung, Anbaukosten und Ergebnis wird hier auch wieder der Gärrestwert als Säule „Ergebnis mit Gärrestwert“ rechnerisch und grafisch berücksichtigt.

In die Ergebnisse der Fruchtfolgen gehen kostenmäßig auch die bisher noch nicht angesprochenen Fruchtarten zur Gründüngung ein. Das betrifft Phacelia in Fruchtfolge 1 und Senf in den Fruchtfolgen 2, 3 und 7.

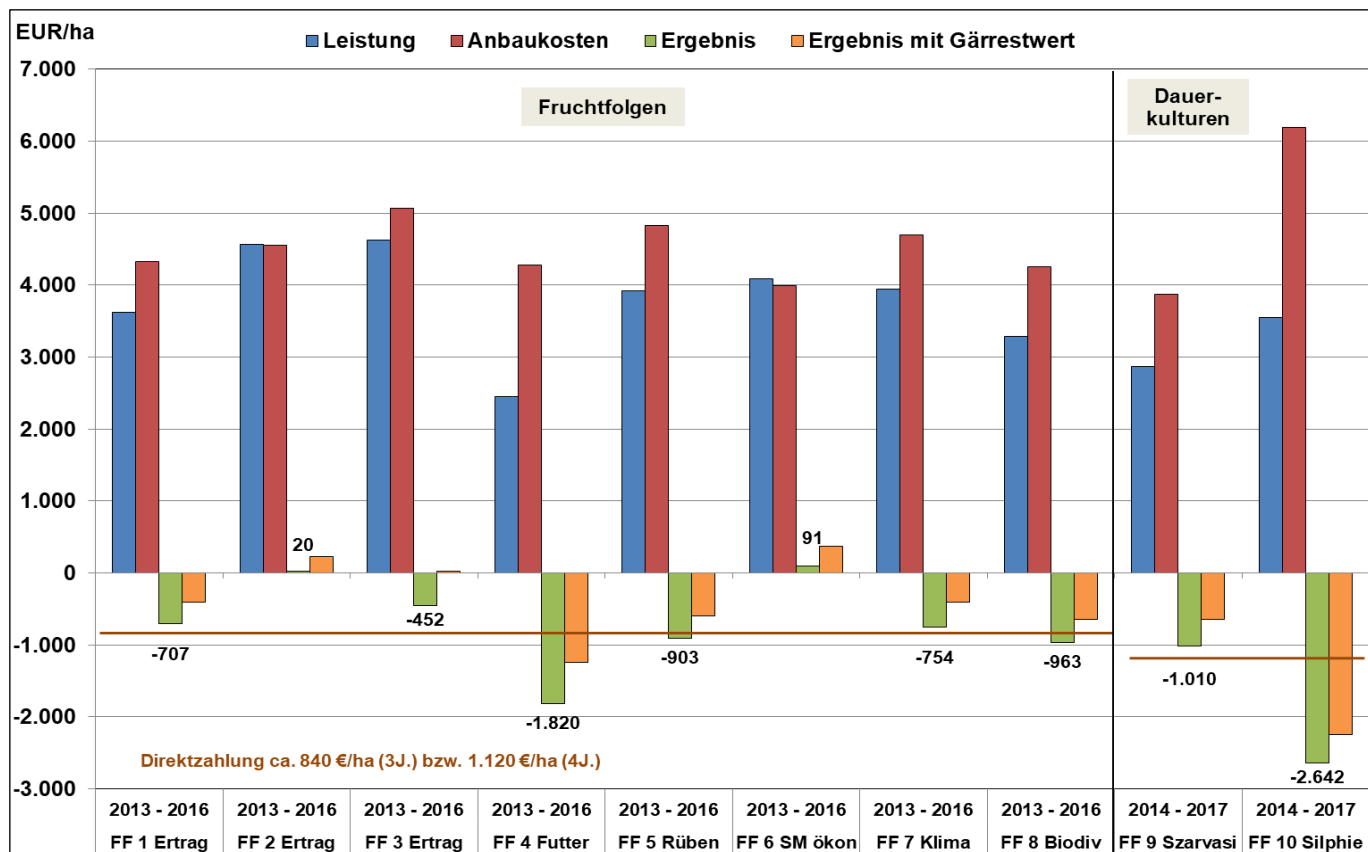


Abbildung 52: Leistung, Anbaukosten, Ergebnis und Ergebnis mit Gärrestrückführung der Fruchtfolgen und Dauerkulturen über den drei- bzw. vierjährigen Anbauzeitraum im Mittel von Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches

Die Ergebnis-Betrachtung erfolgt anhand der Abbildung 53, welche die Kennzahlen im Durchschnitt eines Anbaujahres zeigt. Erwartungsgemäß liegen bei der Leistung mit Fruchtfolge 2 und 3 zwei der auf Ertrag ausgerichteten Produktionssysteme an der Spitze. Es folgen die Mais-Referenz-Fruchtfolge 6, die klimagasoptimierte Fruchtfolge 7 und die Rübenfruchtfolge 5 – alle auf ähnlichem Niveau. Im Leistungs-Mittelfeld bewegen sich Fruchtfolge 1 und die Biodiversitätsfruchtfolge 8. Deutlich zurückgefallen präsentiert sich das Ackerfutter in Fruchtfolge 4. Im Vergleich der beiden Dauerkulturen bringt die Durchwachsene Silphie im Mittel über 4 Jahre gegenüber dem Szarvasigras die bessere Leistung.

Der Leistung – basierend auf dem Netto-Methanertrag – sind die dafür notwendigen Kosten gegenübergestellt. Wie zu erkennen ist, ist die leistungsstärkste Fruchtfolge auch die kostenintensivste (FF 3). Hohe Anbaukosten verursacht auch die Fruchtfolge 5 (v. a. durch Saatgut, Arbeitserledigung, Lagerung der Zuckerrüben), gefolgt von den Fruchtfolgen 7 und 2 (mit Zwischenfruchtanbau Senf). Kostenmäßig im mittleren Bereich bewegen sich die Fruchtfolgen 1, 4 und 8. Die niedrigsten Kosten beansprucht die Mais-Fruchtfolge 6, was bei einer guten Leistung für hohe Anbau-effizienz spricht. Bei den Dauerkulturen kann nur das Szarvasigras kostenseitig überzeugen. Die Anlage der Durchwachsenen Silphie erfolgte durch Pflanzung, was die Bestandsetablierungskosten enorm in die Höhe treibt (Pflanzgut angesetzt mit 3.600 EUR/ha, Arbeitserledigung 738 EUR/ha, Düngung 75 EUR/ha). Eine Bestandsetablierung durch Aussaat, wie sie häufig praktiziert wird, ist weniger teuer, birgt aber standortabhängig größere Risiken.

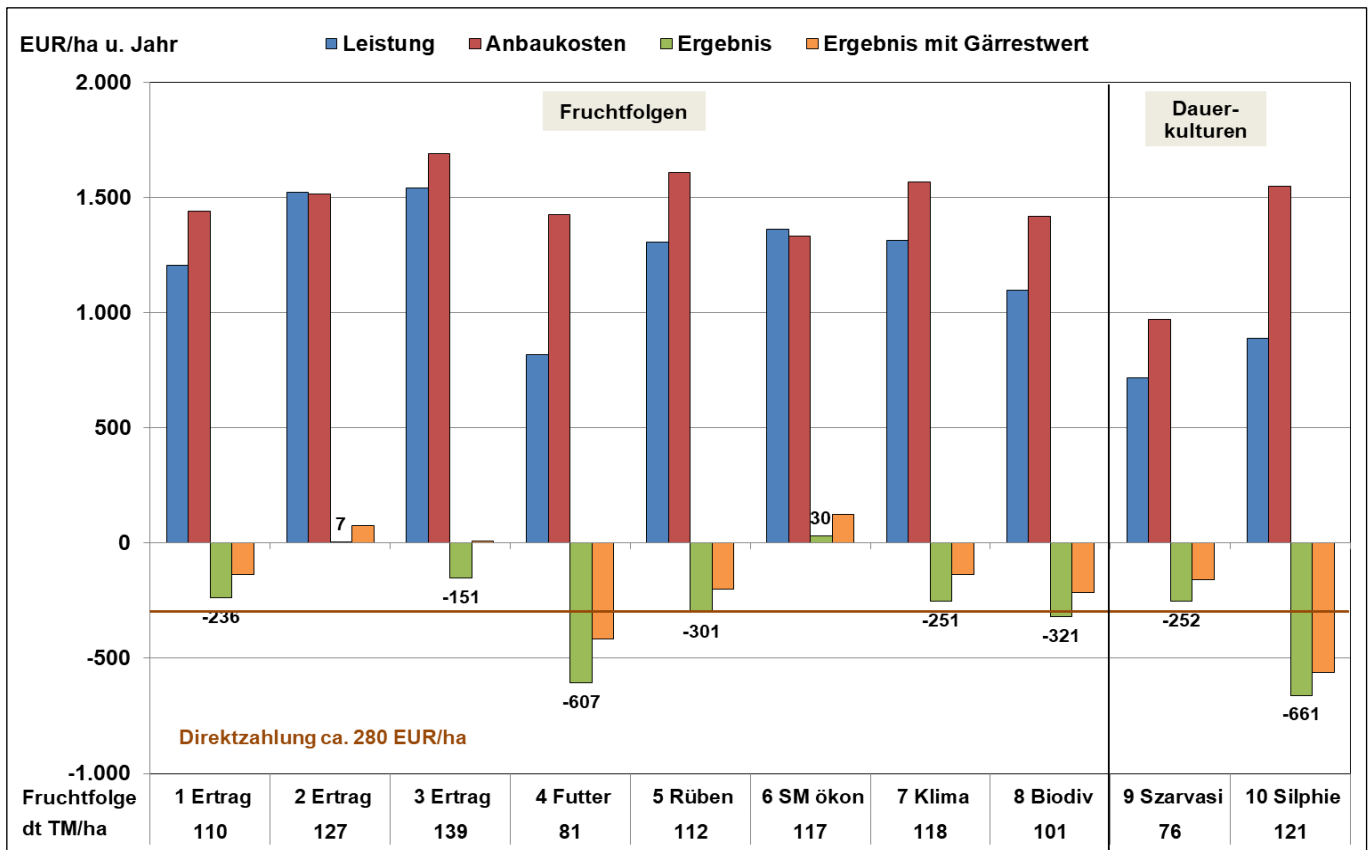


Abbildung 53: Leistung, Anbaukosten, Ergebnis und Ergebnis mit Gärrestrückführung der Fruchtfolgen und Dauerkulturen, bezogen auf ein Anbaujahr, über den drei- bzw. vierjährigen Anbauzeitraum im Mittel von Grund- und Spiegelanlage des Grundversuches

Ausschlaggebend für die ökonomische Einordnung der Fruchtfolgen ist das Hektar-Ergebnis als Differenz zwischen Leistung und Kosten im Mittel über den gesamten Anbauzeitraum. Dieses verdeutlichen zunächst die grünen Säulen in Abbildung 53. Demnach schaffen es sogar zwei Fruchtfolgen (FF 6 und FF 2) knapp ins Plus. Unter Hinzurechnung des Gärrestwertes schreibt auch Fruchtfolge 3 eine schwarze Null. Die Fruchtfolgen 1, 5, 7 und 8 sowie das Szarvasigras benötigen dafür zusätzlich die EU-Direktzahlungen. Luzernegrass (FF 4) bringt bei hohem Aufwand zu wenig Ertrag. Um diese Fruchtfolge wirtschaftlicher zu gestalten, bietet sich in der Praxis die Teilnahme am sächsischen Agrarumweltprogramm an. Über die Programmpunkte AL.3 (Umweltschonender Ackerfutter- und Leguminosenanbau) und AL.4 (Zwischenfruchtanbau) lassen sich Zuwendungen in Höhe von knapp 570 EUR über die drei Jahre generieren, sofern die Möglichkeit der Antragstellung besteht und die Vorhaben mindestens 10 % bzw. 5 % der Ackerfläche des Betriebes umfassen. Außerdem muss das Bestandsmanagement im Hinblick auf Ertrag und Kosten optimiert werden. Wie die Fruchtfolgen bei voller Nutzung des AUK-Programms abschneiden würden, zeigt Tabelle 17. Die Programmteilnahme ist derzeit allerdings nicht mehr für alle Betriebe möglich bzw. stark eingeschränkt.

Tabelle 17: Ergebnisse der Fruchtfolgen im Mittel von Grund- und Spiegelanlage mit Berücksichtigung möglicher Maßnahmen des sächsischen Agrarumweltprogrammes

Summe der Erntejahre	TM Silage	Methan-ertrag	Leistung	Anbau-kosten	Ergeb-nis	Ergeb-nis mit Gär-restwert	Ergeb-nis mit Gärrest und Direkt-zahlung	AL.3 Acker-futter (244 €/ha)	AL.4 Zwi.fru-cht (78 €/ha)	AL.5d Einj. Blühflä. (831 €/ha)	Ergeb-nis mit Gärrest/ Direkt-zahlung/ AUK
	d/ha	m³/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	
FF 1 Ertrag (3 Jahre)	330	10.058	3.621	4.328	-707	-405	435		78		513
FF 2 Ertrag (3 Jahre)	380	11.109	4.571	4.551	20	231	1.071		78		1.149
FF 3 Ertrag (3 Jahre)	417	12.841	4.623	5.075	-452	30	870		156		1.026
FF 4 Futter (3 Jahre)	243	6.824	2.457	4.276	-1.820	-1.246	-406	488	78		160
FF 5 Rüben (3 Jahre)	336	10.903	3.925	4.828	-903	-595	245	244	78		567
FF 6 SM ökon (3 Jahre)	352	11.350	4.086	3.995	91	369	1.209				1.209
FF 7 Klima (3 Jahre)	355	10.955	3.944	4.698	-754	-406	434		156		590
FF 8 Biodiv (3 Jahre)	303	9.147	3.293	4.256	-963	-639	201		78	831	1.110
FF 9 Szarvasi (4 Jahre)	303	7.968	2.868	3.878	-1.010	-641	479				479
FF 10 Silphie (4 Jahre)	485	9.862	3.550	6.193	-2.642	-2.250	-1.130				-1.130

Der Anbau von Durchwachsene Silphie – in dieser Form (Pflanzung) – verspricht am Standort Trossin kaum wirtschaftlichen Erfolg. Die Bestandsetablierung durch Pflanzung ist so kostenintensiv, dass es über den Ertrag und die Anbaujahre (nur vier Jahre) nicht ausgeglichen werden kann. Dem gegenüber hat das Szarvasigras kostenseitig deutliche Vorteile. Wenn hier noch ein hoher Ertrag hinzukommt, kann der Anbau durchaus wirtschaftlich gestaltet werden. 2014 zum Beispiel wurden von der Anlage zwei Ernten eingefahren und damit auch ohne Gärrestrückführung und Direktzahlung ein positives Ergebnis erzielt.

Ansatzpunkte zur Verbesserung des Anbaus von Durchwachsene Silphie sind in einer anderen Bestandsetablierung, einer längeren Nutzungsdauer (mind. 10 Jahre) sowie einer optimalen Ausschöpfung des Ertragspotentials zu sehen. Eine Kalkulation in Tabelle 18 basiert auf einer Aussaat der Durchwachsene Silphie und variiert die Nutzungsdauer zwischen 10, 12 und 15 Jahren sowie den Ertrag in zwei Stufen. In der ersten Zeile sind im Vergleich dazu die Daten aus dem Versuch zu finden. Alle kalkulierten Varianten schneiden besser ab als der Versuch, brauchen aber ausnahmslos den Wert der Gärrestrückführung und die Direktzahlung, um ein positives Ergebnis zu realisieren. Den größten Vorteil bringt eine Umstellung des Anlageverfahrens von Pflanzung auf Ansaat (etwa 280-300 €/ha). Kleinere Beiträge zur Ergebnisverbesserung leisten ein höherer Ertrag und eine längere Nutzungsdauer.

Tabelle 18: Kalkulative Ergebnisse der Durchwachsenen Silphie bei Aussaat, verschiedener Nutzungsdauer (ND) und zwei Ertragsniveaus im Vergleich zum Versuchsergebnis

Werte pro Erntejahr	ND	Anlagekosten	TM zur Ernte	TM Silage	Methan-ertrag	Lei-stung	Anbau-kosten	Ergeb-nis	Ergebnis mit Gär-restwert	Ergebnis mit Gär-rest +DZ
	Jahre	€/ha	dt/ha	dt/ha	m ³ /ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha
Anpflanzung, Versuch	10	480	138	121	2.466	888	1.548	-661	-562	-282
Saat, mittlerer Ertrag	10	194	140	123	2.506	902	1.258	-356	-256	24
Saat, hoher Ertrag	10	194	160	141	2.864	1.031	1.327	-296	-181	99
Saat, mittlerer Ertrag	12	162	140	123	2.506	902	1.226	-324	-223	57
Saat, hoher Ertrag	12	162	160	141	2.864	1.031	1.295	-264	-149	131
Saat mittlerer Ertrag	15	129	140	123	2.506	902	1.194	-292	-191	89
Saat, hoher Ertrag	15	129	160	141	2.864	1.031	1.263	-232	-117	163

3.8.2 Fazit

Einzelkulturen

Der Silomais bildet als Träger der Wirtschaftlichkeit nach wie vor die wichtigste Grundlage in Fruchtfolgen zur Milchviehfütterung sowie Rohstoff- bzw. Energiegewinnung. Er sorgt grundsätzlich für Stabilität im Trockenmasse- und Methanertrag und begrenzt dadurch das Risiko für den Betrieb.

Um auch den ökologischen Gesichtspunkten wie Diversifizierung und Nachhaltigkeit im Anbau sowie Boden- und Gewässerschutz Rechnung zu tragen, bieten sich weitere Fruchtarten in Ergänzung zum Mais an. Im Versuch hinterlässt zum Beispiel die Futterhirse durch Ertragsstärke, -sicherheit sowie ökonomische und ökologische Vorteile gegenüber Mais einen sehr guten Eindruck. Zudem ist sie ein Faktor bezüglich der Senkung des Anbaurisikos. Auch Getreide-GPS bzw. Wickroggen bieten sich in bestimmtem Umfang zur Integrierung an.

Futterpflanzen wie das Luzernegras und Blümmischungen bieten vor allem ökologisch eine Bereicherung. Ackerfutter, ist dabei kostenintensiv und liefert u. a. durch Verluste bei der Ernte (Anwelken) einen niedrigen Methanertrag. Blümmischungen sind als Energiepflanzen zu schwach im Ertrag und aus ökonomischer Sicht nicht interessant. Für beide Varianten sollte ein Anbau unter Nutzung des Agrarumweltprogrammes erwogen werden, um wirtschaftliche Verluste in Grenzen zu halten.

Zuckerrüben zur Energienutzung können das Ertragsniveau von Mais erreichen, bringen dabei aber sehr viel Masse in Form von Wasser mit, was sich bei den Kosten für Ernte, Lagerung, Aufbereitung und der Gärrestaubsbringung sehr deutlich bemerkbar macht. Hier müssen kostengünstige Verfahrenslösungen gefunden werden, um die Zuckerrübe attraktiv zu machen.

Dauerkulturen müssen über mindestens zehn Jahre gute Erträge in Kombination mit einer kostengünstigen Bestandsetablierung erbringen (Aussaat bei Durchwachsener Silphie).

Anbausysteme

Für die Praxis sind Zweikulturnutzungen wie auch Alternativen zum Mais am ehesten aus arbeitswirtschaftlicher Sicht von Interesse. Durch Staffelung der Aussaat- und Erntezeitpunkte lassen sich Arbeitsspitzen im Betrieb entzerren. Außerdem leisten sie auf trockenheitsgefährdeten Standorten einen Beitrag zur Risikosenkung.

Der Erfolg der Anbausysteme ist stark witterungsabhängig. Auch in der Zweikulturnutzung spielt Mais eine tragende Rolle. Allerdings besteht bei Mais als Zweitfrucht ein höheres Ausfallrisiko, wie das Versuchsjahr 2015 zeigt. Am vielversprechendsten zeigen sich die Kombinationen von Mais nach Wickroggen bzw. Grünroggen oder die Sudangrashybride nach Grünroggen. Futterhirsen nach Grünroggen (nicht im Versuch) bieten beste wirtschaftliche Erfolge. Zweikultursysteme ohne Mais bzw. Sorghum können wirtschaftlich nur in Einzelfällen mithalten, vor allem bei einer kostengünstigen überwinternden Vorfrucht.

Fruchtfolgen

Aus ökonomischer Sicht spricht viel für eine Silomais-Fruchtfolge. Sie realisiert die drittbeste Leistung bei geringsten Kosten und zeichnet sich damit durch höchste Effizienz aus. Ertragsbetonte Fruchtfolgen mit Mais bzw. Futterhirse als Hauptfrucht bzw. Mais oder Sorghum in Zweitfruchtstellung liegen aber nicht weit weg von diesem Niveau. Bei optimierter Ausgestaltung der Systeme zeichnen sich hier durchaus Lösungen ab, die sowohl ökologischen als auch ökonomischen Aspekten Rechnung tragen.

4 Anbauempfehlungen

Auf leichten, diluvialen Böden unter Einfluss des mitteldeutschen Trockengebietes überzeugten Fruchtfolgen mit Mais und Sorghumhirsen. Getreide-GPS erreichte nur mittlere Trockenmasse-Erträge, wies aber über alle Versuchsjahre sehr geringe Ertragsschwankungen auf. Wintertriticale und Winterroggen, auch im Gemenge mit Winterwicke (Wickroggen), tolerierten die auftretenden Stressfaktoren (Frost und Trockenheit) am besten und reagierten mit den geringsten Ertragseinbußen. Im Vergleich zu Mais tolerierten die Sorghumhirsen auftretende Trockenstressperioden besser. Sie können somit vor allem in wasserarmen Jahren und in Regionen mit ausgeprägten Trockenphasen das Ertragsrisiko deutlich senken. Für den Hauptfruchtanbau sind vorrangig die leistungsstärkeren Futterhirsen (*Sorghum bicolor*) einzusetzen. Sehr gute Erträge konnten auch in einem Jahr mit Zuckerrüben erreicht werden, jedoch ist die Ertragsstabilität bei Trockenheit nicht gegeben.

In Regionen mit einem größeren Akzeptanzproblem des Energiepflanzenanbaus bieten sich massenstarke Blühmischungen und blühende Dauerkulturen, wie die Durchwachsene Silphie als Rohstoffpflanzen in Bezug auf die Ökologie an. Blühmischungen können ertraglich und ökonomisch jedoch nicht überzeugen.

Luzerne und Ackergräser konnten auf dem leichten Standort nicht überzeugen. Aus Sicht der Nachhaltigkeit sollte auf deren Anbau verzichtet werden.

Mit Zwischenfrüchten kann das Risiko für N-Verlagerungen nach der Hauptfrucht-Ernte verringert sowie die Bodenfruchtbarkeit durch Aufwertung des Humushaushalts verbessert werden. Für leichte Böden bieten sich Sorghumhirsen mit guter Abreife als Zweit- und Sudangrashybride auch als Sommerzwischenfrucht als Biogassubstrat an. Bei der Zweitfruchtwahl sollte sowohl bei Mais als auch bei den Sorghumhirsen auf frühreife Sorten geachtet werden. Als Zweit- und Sommerzwischenfrucht konnte vor allem die Sudangrashybride überzeugen. Als nutzbare Zwischenfrüchte eignen sich unter trockeneren Bedingungen Grünroggen und Wickroggen. Zweikulturnutzungssysteme sind stärker vom Wasserangebot abhängig als Fruchtarten im Hauptfruchtanbau. In günstigen Jahren können Zweifruchtnutzungssysteme jedoch deutlich bessere Erträge hervorbringen.

Mais und Sorghum als C₄-Pflanzen sind hinsichtlich Trockenheit weniger gefährdet als C₃-Pflanzen. Am trockenolerantesten sind die Sorghumhirsen. Jedoch benötigt jede Kulturpflanze zu unterschiedlichen Zeiten das meiste Wasser, so dass für den Landwirt das geringste Risiko besteht, wenn er möglichst viele Pflanzenarten, -sorten und Anbausysteme im Anbau bereithält. Dauerkulturen, wie Durchwachsene Silphie und Szarvasigras, benötigen im zeitigen Frühjahr viel Wasser für eine gute Ertragsbildung. Danach folgen die nutzbaren Winterzwischenfrüchte wie Grün- und Wickroggen, die von April bis Mitte Mai viel Wasser benötigen. Die Folgefrüchte benötigen weniger Wasser zum Auflaufen. Bei Getreide-GPS, welche erst im Juni geerntet wird, reicht das Wasser für die Folgefrucht allerdings nicht mehr aus. Diese Anbausysteme sollten auf dem Standort unterbleiben. Mais benötigt erst im Juli, Sorghum erst im August sehr große Mengen an Wasser.

Da mit der Nutzung von Ganzpflanzen kaum organische Masse auf dem Feld verbleibt, ist auf eine gute Nährstoff- und Humusversorgung zu achten.

Bei allen Untersuchungen ist festzustellen, dass durch Anbauvielfalt in Form von mehreren Kulturarten und -sorten, Nutzung von Zweikultursystemen (abfrierende und nutzbare Zwischenfrüchte) und Blühstreifen sowie mehrjährigen Pflanzen das Anbaurisiko gesenkt werden kann. Das spiegelt sich auch in den Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit wieder. In Tabelle 19 sind alle Fruchtarten in ihrer Gesamtbewertung dargestellt.

Tabelle 19: Anbaueignung verschiedener Energiepflanzen auf leichten Böden auf Grundlage der Versuchsergebnisse

Fruchtart	TM-Ertrag	TS-Gehalt	Ökologie	Ökonomie	Bemerkung
Mais – HF	++	++	o	++	
Mais – ZF	++	++	o	++	frühreife Sorten
Sorghum bic. – HF	++	+	+	++	Futterhirse-Sorten
Sorghum bic. – ZF	++	+	+	++	Futterhirse-Sorten
Sorghum SGH – SZF, ZF	++	++	+	++	Sudangrashybriden, frühreife Sorten
Getreide-GPS	+	++	+	+	ertragsstabil, bei Wintergerste zu niedriger TS-Gehalt
Wickroggen	+	+	++	+	oft Ernteprobleme (Lager, „Gewirr“)
Luzernegras	-	+	++	--	mehrfährig, ca. 2-3 Schnitte/Jahr
Blümmischung	--	-	++	--	Aufwertung Landschaft
Biogaserübe (Körper)	++	-	o	--	massenbetonte E-Typ-Zuckerrübe mit hohem Zuckergehalt; großer Ertragsunterschied zwischen GA und SA
Weidelgras – SZF	-	++	+	-	hoher Wasserbedarf
Weidelgras – WZF	+	+	+	o	günstig zu etablieren als Untersaat von Wickroggen (Wickroggen Plus)
Grünroggen – WZF	+	+	+	-	
Wickroggen – WZF	+	-	++	-	
Gründungspflanzen	--	--	++		zur Einhaltung der CC-Kriterien
Durchwachsene Silphie	++	++	++	-	hoher Wasserverbrauch, schlechtere Biogasausbeute
Szarvasi	o	++	+	+	hoher Wasserverbrauch, in den meisten Jahren nur ein Schnitt

5 Zusammenfassung

Aufbauend auf Vorgängerprojekte wurden zehn Anbausysteme auf einem leichten, diluvialen Boden in der Winterroggen-Kartoffel-Region Nordsachsens unter Einfluss des mitteldeutschen Trockengebietes untersucht.

Es wurden u. a.

- drei intensive Fruchtfolgen mit hohem Zwischenfruchtanteil,
- eine Ackerfutterfruchtfolge,
- eine Fruchtfolge mit Zuckerrüben,
- eine Mais-Selbstfolge-Fruchtfolge,
- ein Anbausystem mit reduzierter N-Düngung,
- eine Biodiversitätsfruchtfolge mit einer Blümmischung und
- zwei mehrjährige Kulturarten (Durchwachsene Silphie und Szarvasigras) getestet.

Für diese Anbausysteme wurden viele Daten ermittelt, aufbereitet und ausgewertet. Zahlreiche Anbauempfehlungen können nun für trocken-warme D-Standorte hinsichtlich nachhaltiger Kulturarten, Anbausysteme und Fruchtfolgen gegeben werden. Für die Landwirtschaft wurden somit umfangreiche Ergebnisse erzielt, die nun in die Praxis überführt werden können. Neben der Untersuchung von drei intensiven C3-C4-Ganzpflanzen-Fruchtfolgen lag das Augenmerk verstärkt auf der Erprobung von themenspezifischen Anbausystemen. Diese sollen zum nachhaltigeren Energiepflanzenanbau in Bezug auf Biodiversität, Boden- und Gewässerschutz sowie Ökologie beitragen. Es konnte im Projekt nachgewiesen werden, dass ökologische Aspekte und Wirtschaftlichkeit von Kulturarten nicht im Widerspruch stehen müssen, sondern beide Kriterien einen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten. Weiterhin wurden Möglichkeiten zur Optimierung und Effizienzsteigerung beim Anbau auf trocken-warmen Standorten aufgezeigt.

Die besten Trockenmasseerträge werden durch die Kulturarten Mais, Sorghum (Futterhirsen und Sudangrashybride) und Durchwachsene Silphie erzielt. Im mittleren Bereich liegen Zuckerrüben, Luzernegras und Getreide-GPS. Wintergerste (GPS), Szarvasigras und Blümmischungen erzeugten die geringsten Erträge. Die Ertragssicherheit ist bei den Getreide-GPS und –Mischungen am höchsten. Mais und Zuckerrüben streuten von der Ertragsstabilität sehr stark. Gute Trockenmasseerträge spiegeln sich auch in der Wirtschaftlichkeit wider. Mais und Futterhirsen sind die wirtschaftlich stärksten Fruchtarten. Futterhirsen bieten zusätzlich zahlreiche ökologische Vorteile. Die Durchwachsene Silphie erreichte im Versuch v. a. durch die teure Pflanzung noch keine Wirtschaftlichkeit. Zuckerrüben können wirtschaftlich sein, wenn gute Erträge erzielt werden und günstige Lagerungs- und Aufbereitungsbedingungen vorherrschen. Luzernegras erreicht auf dem Standort keine Wirtschaftlichkeit.

Zweikultursysteme lieferten in fast allen Jahren höhere Trockenmasseerträge. Mais und Sorghum sind die wichtigsten Zweitfrüchte. Nach dem Anbau von Getreide-GPS liefert Sudangrashybride als Sommerzwischenfrucht gute und hohe Erträge. Grünroggen ist die wichtigste Winterzwischenfrucht. Wirtschaftlich können nur in witterungsbedingt günstigen Jahren (bei ausreichend Niederschlag, z. B. 2014) positive Ergebnisse mit dem Zwischenfruchtanbau erreicht werden.

Der Anbau von Kulturarten zur Ganzpflanzennutzung bedarf eines sehr guten Nährstoffmanagements, auch in Verbindung mit einer guten Humusversorgung. Standortbedingt werden die Nährstoffe bei hohen Niederschlägen ausgewaschen, während sie bei Trockenheit der Pflanze nicht zur Ertragsbildung zur Verfügung stehen. Effektive Bewässerungssysteme tragen zur optimalen Ernährung der Pflanzen und zum Schutz des Grundwassers bei. Durch eine reduzierte N-Düngung wurden zwar geringere N_{\min} -Gehalte nach der Ernte erzielt (durchschnittlich 20 %), das ökonomische Ergebnis der Fruchtfolge mit N-Düngebedarfsermittlung nach Düngeverordnung konnte aber nicht erreicht werden. Die Treibhausgasemissionen (THG) in g CO₂ pro MJ erzeugtem Substrat lagen bei der Düngung nach Düngeverordnung und bei der N-reduzierten Düngung (-25 %) auf gleichem Niveau.

Für die Humusversorgung ist die Integration von Leguminosen und Blümmischungen zu empfehlen. Auch das Stroh von Marktfrüchten trägt, je nach Ertrag, zu einer guten Humusversorgung bei. Weidelgras und Zwischenfrüchte wie Phacelia und Senf zeigen ebenfalls humusmehrende Eigenschaften, jedoch nur in geringem Maße. Die Integration von Sudangrashybride und Futterhirse in die Fruchtfolge zeigt gegenüber Mais eine positive Wirkung auf die Humusbilanz.

C₄-Pflanzen, wie Mais, Futterhirsen und Sudangrashybride, haben, ob als Hauptfrucht oder als Zweitfrucht, die beste Wassernutzungseffizienz. Durch sehr hohe Erträge wird aber auch viel Wasser verbraucht. Auch die mehrjährigen Pflanzen verbrauchen auf Grund hoher Erträge viel Wasser, es wird jedoch dabei nicht so viel Trockenmasse gebildet wie bei den C₄-Pflanzen. Luzerne und Luzernegrass können bei Trockenheit sehr schlecht stabile Erträge aufbauen. Abfrierende Zwischenfrüchte haben auf die Wasserversorgung der Folgefrucht keinen Einfluss. Bei Zwischenfrüchten, die ertraglich genutzt werden, sind die Verteilung und die Höhe der Niederschläge entscheidend für den Gesamtertrag des Jahres. Auch für den Standort Trossin muss festgestellt werden, dass die Entwicklungsbedingungen für den Zweitfruchtmais nur dadurch in allen betrachteten Jahren vergleichsweise günstig waren, weil der in der zweiten Hälfte der Vegetationszeit einsetzende Niederschlag für die noch kleinen Pflanzen ausreichend war. Um das Risiko zu reduzieren, ist es für den Landwirt wichtig, beim Anbau auf möglichst viele Fruchtarten, die Wasser zu unterschiedlichen Zeiten benötigen, und auf unterschiedliche Anbausysteme zu setzen.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Vorzüglichkeit der einzelnen Fruchtfolgen in Bezug auf THG-Emissionen und Energiebilanz von vielen Kriterien, z. B. dem Anbaumanagement, der Fruchtart, dem Biomasseertrag, der Biogasausbeute, der Fruchtfolgegestaltung und im besonderem vom Stickstoffdüngemiteleinsatz abhängig ist. Nach der Mais-Selbstfolge-Fruchtfolge verursachten die mehrjährigen Dauerkulturen Durchwachsene Silphie und Szarvasigras die geringsten produktbezogenen THG-Emissionen. Die Fruchtfolge mit einer 25%-igen Stickstoffdüngereduzierung weist im Vergleich zur Stickstoffdüngung nach Düngeverordnung nur geringfügig reduzierte produktbezogene THG-Emissionen auf. Die Reduktion des N-Düngers ist aus Sicht der THG-Emissionen und der Energieeffizienz nur sinnvoll, wenn der Energieertrag (durch eine Reduktion des Biomasseertrages) nicht mehr als 10 % reduziert wird. In Trossin reduzierte sich der Energieertrag um 15 %. Demzufolge ist diese Form der Optimierung für den Standort Trossin nicht nachhaltig. Durch den Einsatz von Gärresten können viele Fruchtfolgen aufgewertet werden, da hier die Düngerherstellungsemissionen im Vergleich zu mineralisch hergestellten Stickstoffdüngemitteln stark reduziert werden können. Zur Verbesserung der ackerbaulichen Vielfalt könnte der Anbau von Mais im Zweikulturnutzungssystem mit Grünschnittroggen, das Szarvasigras, die Durchwachsene Silphie oder auch Sorghum in Haupt- oder in Zweitfruchtstellung aus Sicht der produktbezogenen THG-Emissionen gute Alternativen darstellen.

Aus Sicht der Nachhaltigkeit und der Risikominimierung konnte mit den Projektergebnissen nachgewiesen werden, dass Vielfalt auf dem Acker kein Widerspruch zu einer wirtschaftlichen Produktionsweise in der Landwirtschaft ist.

6 Anhang

Tabelle A 1: Überblick über die angebauten Sorten sowie die Aussaat-, Aufgangs- und Erntetermine der im Projekt angebauten Fruchtarten

Jahr	Anlage	FF	Kulturart	Frucht- folgestellung	Sorte	Aussaat	Aufgang	Ernte
2013	GA	1	WiGerste	HF	Highlight	8.9.2012	26.9.2012	23.5.2013
		1	S.b. x s.	SZF	Lussi	7.6.2013	14.6.2013	3.9.2013
		2,	Senf	SZF	Ascot	27.9.2012	12.10.2012	19.11.2013
		3, 7	Senf	SZF	Ascot	18.9.2012	26.9.2012	19.11.2013
		2	S.bicolor	HF	Hercules	7.6.2013	14.6.2013	2.10.2013
		3, 6	Mais	HF	Ronaldinio	30.4.2013	11.5.2013	3.9.2013
		8	Mais	ZF	Padrino	13.6.2013	14.6.2013	3.9.2013
		4	Luzernegras	HF	QA7	27.9.2012	12.10.2012	23.5.2013 18.7.2013 19.9.2013
		5, 8	Wickroggen	HF	WP+	19.8.2012	26.9.2012	1.7.2013
		2014	GA	1, 6	Mais	HF	Ronaldinio	16.4.2014
2, 3, 7	Grünroggen			WZF	Vitallo	22.10.2013	30.10.2013	7.5.2014
2, 5	Mais			ZF	Padrino	16.5.2014	25.5.2014	17.9.2014
3, 7	S.b. x s.			ZF	Lussi	23.5.2014	5.6.2014	17.9.2014
4	Luzernegras			HF	QA7	7.9.2012	12.10.2012	5.5.2014 23.6.2014 13.8.2014 28.10.2014
5	Weidelgras			WZF	WP+	18.9.2012	26.9.2012	5.5.2014
8	Hybridroggen				Palazzo	22.10.2013	30.10.2013	19.6.2014
2014	SA			1	WiGerste	HF	Highlight	19.9.2013
		1	S.b. x s.	SZF	Lussi	23.5.2014	5.6.2014	14.10.2014
		2, 3, 7	Senf	SZF	Ascot	26.8.2013	2.9.2013	
		2	S.bicolor	HF	Hercules	15.5.2014	25.5.2014	14.10.2014
		3, 6,7	Mais	HF	Ronaldinio	16.4.2014	30.4.2014	17.9.2014
		4	Luzernegras	HF	QA7	26.8.2013	2.9.2013	5.5.2014 23.6.2014 13.8.2014 28.10.2014
		5, 8	Wickroggen	HF	WP+	19.9.2013	28.9.2013	19.6.2014
		8	Mais	ZF	Padrino	16.5.2014	25.5.2014	17.9.2014
		5	W. Weidelgras	WZF				13.08.2014 28.10.2014
		9	Szarvasigras	HF		17.05.2013	30.05.2013	19.06.2014 28.10.2014
		10	Silphie	HF		30.05.2013		14.10.2014

Fortsetzung Tabelle A1: Überblick über die angebauten Sorten sowie die Aussaat-, Aufgangs- und Erntetermine der im Projekt angebauten Fruchtarten

Jahr	Anlage	FF	Kulturart	Frucht- folgestellung	Sorte	Aussaat	Aufgang	Ernte
2015	GA	1, 3, 7	WiTriticale	HF	Cosinus	25.9.2014	2.10.2014	17.6.2015
		1	Phacelia	SZF		1.7.2015	15.7.2015	15.9.2015
		2	WiTriticale, Korn	HF	Cosinus	25.9.2014	2.10.2014	5.8.2015
		3, 7	Weidelgras	SZF	Liquatro	1.7.2015	9.7.2015	15.9.2015
		4, 6	Mais	HF	Padrino	27.5.2015	26.6.2015	
		5	Zuckerrübe	HF	Ribambelle	7.4.2015	20.4.2015	13.10.2015
		8	Blütmischung	HF	BG90	23.6.2014	21.7.2014	17.9.2015
2015	SA	1, 6	Mais	HF	Agro Vitallo	29.4.2015	10.5.2015	17.9.2015
		2, 3, 7	Grünroggen	WZF	Protector	20.10.2014	28.10.2014	19.5.2015
		2, 5	Mais	ZF	Claudio	27.5.2015	20.6.2015	20.10.2015
		3, 7	S.b. x s.	ZF	Lussi	27.5.2015	1.6.2015	20.10.2015
		4	Luzernegras	HF	QA7			21.5.2015
								31.8.2015
		5	Weidelgras	WZF	WP+			21.5.2015
		8	Hybridroggen		Progas	25.9.2014	2.10.2014	19.5.2015
		9	Szarvasigras	HF				17.06.2015
		10	Silphie	HF				19.09.2015
2016	GA	1 - 8	WiRoggen, Korn	HF	Nikko	2.10.2015	15.10.2015	16.8.2016
2016	SA	1, 3, 7	WiTriticale	HF	Cosinus	2.10.2015	15.10.2015	19.5.2016
		1	Phacelia	SZF		25.5.2016		
		2	WiTriticale, Korn	HF	Cosinus	28.10.2015	13.11.2015	16.8.2016
		3, 7	Weidelgras	SZF	Liquatro	25.5.2016		17.8.2016
		4, 6	Mais	HF	Padrino	25.5.2016	3.6.2016	1.9.2016
		5	Zuckerrübe	HF	Ribambelle	28.4.2016	9.5.2016	6.10.2016
		8	Blütmischung	HF	BG90	1.7.2015	15.7.2015	19.8.2016
		4	Luzernegras	WZF				20.05.2016
		9	Szarvasigras	HF				01.09.2016
		10	Silphie	HF				01.09.2016
2017	SA	1 – 8	WiRoggen, Korn	HF	Nikko	25.9.2016	5.10.2016	7.8.2017
		9	Szarvasigras	HF				29.08.2017
		10	Silphie	HF				29.08.2017

Tabelle A 2: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2013, Grundversuch (Quelle: LfULG, 2014)

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais- Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Bio- diversitäts-FF)
Vorfrüchte	Wintergerste	Gelbsenf (abfrie- rend)	Gelbsenf (abfrie- rend)	Luzernegras	Wickroggen		Gelbsenf (abfrie- rend)	Wickroggen
Bodenbearbei- tung	23.08.12 gescheibt	23.08.12 gescheibt	23.08.12 gescheibt	23.08.12 gescheibt	23.08.12 gescheibt		23.08.12 gescheibt	23.08.12 gescheibt
	30.08.12 gepflügt	30.08.12 gepflügt	30.08.12 gepflügt	30.08.12 gepflügt	30.08.12 gepflügt		30.08.12 gepflügt	30.08.12 gepflügt
	10.09.12 gegrubbert (2 x)	10.09.12 gegrubbert (2 x)	10.09.12 gegrubbert (2 x)	10.09.12 gegrubbert (2 x)	10.09.12 gegrubbert (2 x)		10.09.12 gegrubbert (2 x)	10.09.12 gegrubbert (2 x)
				2x gegrubbert	2x gegrubbert			2x gegrubbert
Aussaatdatum	18.09.12	18.09.12	18.09.12	27.09.12	18.09.12		18.09.12	18.09.12
Aussaatmenge	320 Kö/m ²	320 Kö/m ²	320 Kö/m ²	20 kg/ha	320 Kö/m ²		320 Kö/m ²	320 Kö/m ²
Düngung	09.04.13, KAS, 90 kg N/ha	----	----	09.04.12 KAS, 60 kg N/ha 28.05.13 KAS, 50 kg N/ha (n 1. Schnitt) 29.07.13 KAS, 40 kg N/ha (n. 2. Schnitt)	09.04.13 KAS, 50 kg N/ha 29.04.13 KAS, 40 kg N/ha		----	09.04.13 KAS, 60 kg N/ha 29.04.13 KAS, 30 kg N/ha
Pflanzen- schutz	02.10.12 Fenikan, 2,0 l/ha	Keine Herbizidanwendung		27.06.13 Karate Zeon, 0,075 l/ha			Keine Herbizidanw.	
Ertrag in dt FM/ha	195			1. Schnitt, 61 2. Schnitt, 57 3. Schnitt, 46	313			304
Erntetermin	23.05.2013			1. Schnitt, 23.05.2013 2. Schnitt, 18.07.2013 3. Schnitt, 19.09.2013	01.07.2013			01.07.2013

Tabelle A 2: Fortsetzung, Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2013, Grundversuch

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais-Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts-FF)
Sommerfrüchte	Sorghum b. x s.	Sorghum bicolor	Mais		W. Weidelgras	Mais	Mais	Mais
Bodenbearbeitung	24.05.13 Kreiselegge (2 x) 06.06.13 Saatbettberei- tung mit Krei- selegge (2 x)	06.06.13 Saatbettberei- tung mit Krei- selegge (2 x)	nach Abfrieren Gelbsenf / im Frühjahr: -			23.08.12 gescheibt 30.08.12 gepflügt 10.09.12 gegrubbert 2 x im Frühjahr:-	nach Abfrieren Gelbsenf/im Frühjahr: ----	24.05.13 Kreiselegge (2 x) 06.06.13 Saatbettbereitung mit Kreiselegge (2 x)
Aussaatdatum	07.06.13	07.06.13	30.04.13			30.04.13	30.04.13	07.06.13
Aussaatmenge, Reihenabstand, Saattiefe	40 Kö/m ² , 25 cm, 4 cm	25 Kö/m ² , 25 cm, 4 cm	9 Kö/m ² – Ablage- abstand: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm			9 Kö/m ² – Ablage- abstand: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm	9 Kö/m ² – Ablage- abstand: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm	9 Kö/m ² – Ablage- abstand: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm
Düngung	24.06.13 KAS, 120 kg N/ha	24.06.13 KAS, 120 kg N/ha	07.05.13 KAS, 120 kg N/ha			07.05.13 KAS, 120 kg N/ha	07.05.13 KAS, 105 kg N/ha	24.06.13 KAS, 120 kg N/ha
Pflanzenschutz	27.06.13 Gardo Gold (H), 3,8 l/ha (EC14/15) 12.07.13 Gardo Gold + Certrol B, 2,0 + 0,5 l/ha	27.06.13 Gardo Gold, 3,8 l/ha	16.05.13 Gardo Gold, 4,0 l/ha			16.05.13 Gardo Gold, 4,0 l/ha	16.05.13 Gardo Gold, 4,0 l/ha	27.06.13 Gardo Gold, 3,8 l/ha
Ertrag in dt FM/ha	236	562	301		35	257	252	297
Erntetermin	03.09.2013	02.10.2013	03.09.2013		19.09.2013	03.09.2013	03.09.2013	03.09.2013

Tabelle A 3: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2014, Grundversuch (Quelle: LfULG, 2014)

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais-Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Bio- diversitäts-FF)
Winterfrüchte		Grünroggen	Grünroggen	Luzernegras	W. Weidelgras		Grünroggen	Hybridroggen
Bodenbearbeitung		07.10.13 3 x Kreiselegge 21.10.13 gegrubbert	07.10.13 3 x Kreiselegge 21.10.13 gegrubbert	----	----		07.10.13 3 x Kreiselegge 21.10.13 gegrubbert	07.10.13 3 x Kreiselegge 21.10.13 gegrubbert
Aussaatdatum		22.10.13	22.10.13		18.09.12		22.10.13	22.10.13
Aussaatmenge		390 Kö/m ²	390 Kö/m ²	20 kg/ha	320 Kö/m ²		390 Kö/m ²	270 Kö/m ²
Düngung		03.03.2014 TSP, 156 kg/ha Kali 40, 1125 kg/ha 07.03.14 Alzon 46, 115 kg N/ha	03.03.2014 TSP, 144 kg/ha Kali 40, 1075 kg/ha 07.03.14 Alzon 46, 115 kg N/ha	03.03.2014 TSP, 33 kg/ha Kali 40, 350 kg/ha 07.03.14 Alzon 46, 70 kg N/ha (EC 23) 27.05.14 Alzon 46, 50 kg N/ha (EC 21) 26.06.14 KAS, 60 kg N/ha 14.08.14 Alzon 46, 30 kg N/ha	03.03.2014 TSP, 56 kg/ha Kali 40, 800 kg/ha 07.03.14 Alzon 46, 70 kg N/ha		03.03.2014 TSP, 144 kg/ha Kali 40, 1425 kg/ha 07.03.14 Alzon 46, 86 kg N/ha	03.03.2014 TSP, 111 kg/ha Kali 40, 875 kg/ha 07.03.14 Alzon 46, 130 kg N/ha
Pflanzenschutz		25.10.13 Herold SC, 0,5 l/ha	25.10.13 Herold SC, 0,5 l/ha	----	----		25.10.13 Herold SC, 0,5 l/ha	25.10.13 Herold SC (H), 0,5 l/ha 28.03.14 Arelon fl., 1,38 l/ha 28.03.14 CCC, 1,3 l/ha
Ertrag in dt FM/ha		254	270	1. Schnitt, 239 2. Schnitt, 125 3. Schnitt, 145 4. Schnitt, 67	139		219	223
Erntetermin		07.05.2014	07.05.2014	1. Schnitt, 05.05.2014 2. Schnitt, 23.06.2014 3. Schnitt, 13.08.2014 4. Schnitt, 28.10.2014	05.05.2014		07.05.2014	19.06.2014

Fortsetzung Tabelle A 3: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2014, Grundversuch

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais-Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Bio- diversitäts-FF)
Sommerfrüchte	Mais	Mais	Sorghum b. x s.		Mais	Mais	Sorghum b. x s.	
Bodenbearbeitung	07.10.13 3 x Kreiselegge 21.10.13 gegrubbert (3 x) 03.04.14 Kreiselegge	15.05.14 Kreiselegge	23.05.14 Kreiselegge		15.05.14 Kreiselegge	07.10.13 3 x Kreiselegge 21.10.13 gegrubbert (3 x) 03.04.14 Kreiselegge	23.05.14 Kreiselegge	
Aussaatdatum	16.04.14	16.05.14	23.05.14		16.05.14	16.04.14	23.05.14	
Aussaatmenge, Reihen-abstand, Saattiefe	9 Kö/m ² , Ablage: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm	9 Kö/m ² , Ablage: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm	40 Kö/m ² , 25 cm, 4 cm		9 Kö/m ² , Ablage: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm	9 Kö/m ² , Ablage: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm	40 Kö/m ² , 25 cm, 4 cm	
Düngung	03.03.2014 TSP, 67 kg/ha Kali 40, 550 kg/ha 30.04.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 112 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß	27.05.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 122 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß	27.05.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 112 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß		27.05.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 122 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß	03.03.2014 TSP, 33 kg/ha Kali 40, 750 kg/ha 30.04.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 112 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß	27.05.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 85 kg N/ha + 13 kg N/ha Unterfuß	
Pflanzenschutz	05.05.14 Successor (H), 4,0 l/ha	08.05.14 Clinic, 3,0 l/ha 02.06.14 Gardo Gold, 2,5 l/ha 02.06.14 Certrol B, 0,5 l/ha	08.05.14 Clinic, 3,0 l/ha 12.06.14 Gardo Gold, 4,0 l/ha		02.06.14 Gardo Gold, 2,5 l/ha 02.06.14 Certrol B, 0,5 l/ha	05.05.14 Successor, 4,0 l/ha	08.05.14 Clinic, 3,0 l/ha 12.06.14 Gardo Gold, 4,0 l/ha	
Ertrag in dt FM/ha	431	535	531		520	407	483	
Erntetermin	17.09.2014	17.09.2014	17.09.2014		17.09.2014	17.09.2014	17.09.2014	

Tabelle A 4: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2015, Grundversuch (Quelle: LfULG, 2014)

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais- Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts-FF)
Winterfrüchte	Wintertriticale	Wintertriticale	Wintertriticale				Wintertriticale	Blühmischung
Bodenbearbeitung	22.09./23.09.14 gescheibt, Krei- selegge	22.09./23.09.14 gescheibt, Krei- selegge	22.09./23.09.14 gescheibt, Krei- selegge				22.09./23.09.14 gescheibt, Krei- selegge	19.06.14 Kreiselegge
Aussaatdatum	25.09.14 / 06.11.14	25.09.14	25.09.14 / 06.11.14				25.09.14 / 06.11.14	23.06.15
Aussaatmenge	350 Kö/m ² /235 Kö/m ²	350 Kö/m ²	350 Kö/m ² /235 Kö/m ²				350 Kö/m ² /235 Kö/m ²	11 kg/ha
Düngung	25.03.15 Piamon33S, 90 kg N/ha	06.11.14 KAS, 50 kg/ha (EC 22/23) 20.11.2014 TSP, 65 kg/ha Kali 40, 250 kg/ha 25.03.15, Piamon33S, 120 kg N/ha	19.03.15 Piamon33S, 50 kg N/ha 09.04.15 Piamon33S, 27 kg N/ha 12.05.15 Piamon33S, 18 kg N/ha				25.03.15 Piamon33S, 67,5 kg N/ha	25.03.15 Piamon33S, 95 kg N/ha
Pflanzenschutz	09.10.14 Herold SC, 0,5 l/ha					09.10.14 Herold SC, 0,5 l/ha	-	
Ertrag in dt FM/ha	140	36 (Korn)	151				146	96
Erntetermin	17.06.2015	05.08.2015	17.06.2015				17.06.2015	17.09.2015

Fortsetzung Tabelle A 4: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2015, Grundversuch

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ - Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ - Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ - Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais- Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts- FF)
Sommerfrüchte	<i>Phacelia</i>		Einj. Weidel- gras	Mais	Biogaserübe	Mais	Einj. Weidelgras	
Bodenbearbeitung vor Aussaat	25.06.15 2 x Kreiselegge		25.06.15 2 x Kreiseleg- ge	21.05. / 26.05.15 gescheibt, ge- kreiselt	03.03. / 20.03.15 gescheibt, gepflügt	27.04.15 gescheibt, ge- kreiselt	25.06.15 2 x Kreiselegge	
Aussaatdatum	01.07.15		01.07.15	27.05.15	07.04.15	29.04.15	01.07.15	
Aussaatmenge	15 kg/ha		50 kg/ha	9 Pfl./m ²	17 / 45 cm	9 Pfl./m ²	50 kg/ha	
Aufgang	15.07.15		09.07.15	26.06.15	20.04.15	10.05.15	09.07.15	
Düngung	25.03.15 Piamon33S, 90 kg N/ha		23.07.15 Piamon33S, 100 kg N/ha	05.06.15 Piamon33S, 100 kg N/ha	25.03.2015 TSP, 68 kg/ha Kali 60, 417 kg/ha 15.04.15 Piamon33S, 100 kg N/ha	07.05.15 Piamon33S, 120 kg N/ha	05.06.15 Piamon33S, 75 kg N/ha	
Pflanzenschutz	----		----	17.06.15: Gardo Gold , 4,0 l/ha + Maister Power, 1,5 l/ha 01.07.15: Mai- ster Power, 1,5 l/ha 07.07.15: Trichogramma- Ausbringung	09.04.15: Goltix Gold, 2,0 l/ha + Rebell, 1,5 l/ha; 06.05.15: Goltix Gold, 2,0 l/ha + Rebell , 1,0 l/ha + Betanal Expert, 1,5 l/ha + Fusilade Max, 1,0 l/ha; 19.05.15: Goltix Gold, 2,0 l/ha + Fusilade Max, 1,0 l/ha + Betanal Expert, 1,25 l/ha; 09.06.15: Goltix Gold, 2,0 l/ha + Rebell, 1,0 l/ha + Betanal Expert, 1,5 l/ha + Fusilade Max, 1,0 l/ha; 17.06.15: Karate Zeon, 0,075 l/ha; 09.07.15, Jewel, 1,0 l/ha	06.05.15: Gardo Gold, 4,0 l/ha + Spectrum, 0,75 l/ha 24.06.15: 1. Tricho- gramma- Ausbringung 07.07.15: 2. Tricho- gramma- Ausbringung	----	-
Ertrag in dt FM/ha			148	0	958	295	111	
Erntetermin			15.09.2015		13.10.2015	15.09.2015	15.09.2015	

Tabelle A 5: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2016, Grundversuch

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais-Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts-FF)
Winterfrüchte	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen
Bodenbearbeitung vor Aussaat	30.9.2015 gescheibt, gepflügt, gegrubbert	30.9.2015 gescheibt, gepflügt, gegrubbert	30.9.2015 gescheibt, gepflügt, gegrubbert	30.9.2015 gescheibt, gepflügt, gegrubbert	28.10.2015 2x gescheibt, 2x gekreiselt	30.9.2015 gescheibt, gepflügt, gegrubbert	30.9.2015 gescheibt, gepflügt, gegrubbert	30.9.2015 gescheibt, gepflügt, gegrubbert
Aussaatdatum	2.10.2015	2.10.2015	2.10.2015	2.10.2015	28.10.2015	2.10.2015	2.10.2015	2.10.2015
Aussaatmenge	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha
Düngung	----	----	----	----	----	----	----	----
Pflanzenschutz	5.10.2015 0,6 l/ha Herold	5.10.2015 0,6 l/ha Herold	5.10.2015 0,6 l/ha Herold	5.10.2015 0,6 l/ha Herold	30.10.2015 0,6 l/ha Herold	5.10.2015 0,6 l/ha Herold	5.10.2015 0,6 l/ha Herold	5.10.2015 0,6 l/ha Herold
Ertrag in dt FM/ha	59	57	55	54	53	56	58	60
Erntetermin	16.08.2016	16.08.2016	16.08.2016	16.08.2016	16.08.2016	16.08.2016	16.08.2016	16.08.2016

Tabelle A 6: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2014, Spiegelung

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais-Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. F [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts-FF)
Vorfrüchte	Wintergerste	Gelbsenf (abfrie- rend)	Gelbsenf (abfrie- rend)	Luzernegras	Wickroggen		Gelbsenf (abfrie- rend)	Wickroggen
Bodenbearbei- tung	19.08.13 gescheibt 20.08.13 gepflügt 20.08.13 gegrubbert (2 x)	19.08.13 gescheibt 20.08.13 gepflügt 20.08.13 gegrubbert (2 x)	19.08.13 gescheibt 20.08.13 gepflügt 20.08.13 gegrubbert (2 x)	19.08.13 gescheibt 20.08.13 gepflügt 20.08.13 gegrubbert (2 x)	19.08.13 gescheibt 20.08.13 gepflügt 20.08.13 gegrubbert (2 x)		19.08.13 gescheibt 20.08.13 gepflügt 20.08.13 gegrubbert (2 x)	19.08.13 gescheibt 20.08.13 gepflügt 20.08.13 gegrubbert (2 x)
Aussaatdatum	19.09.13	26.08.13	26.08.13	26.08.13	19.09.13		26.08.13	19.09.13
Aussaatmenge	330 Kö/m ²	320 Kö/m ²	320 Kö/m ²	20 kg/ha	330 Kö/m ²		320 Kö/m ²	330 Kö/m ²
Düngung	24.02.2014 TSP, 111 kg/ha Kali 40, 750 kg/ha 07.03.14 Alzon 46, 70 kg N/ha	----	----	24.02.2014: Kali 40, 337,5 kg/ha; TSP, 33 kg/ha; 07.03.14: Alzon 46,70 kg N/ha 27.05.14: Alzon 46 50 kg N/ha 26.06.14: KAS, 50 kg N/ha, TSP, 33 kg/ha, Kali 40, 100 kg/ha 14.08.14: Alzon 46, 30 kg N/ha	24.02.2014 Kali 40, 750 kg/ha TSP, 133 kg/ha 07.03.14 Alzon 46, 90 kg N/ha		----	24.02.2014 Kali 40, 1000 kg/ha TSP, 178 kg/ha 07.03.14 Alzon 46, 90 kg N/ha
Pflanzenschutz	01.10.13 Herold SC, 0,5 l/ha	Keine Herbizidanwendung			----	----	Keine Herbizidan- wendung	
Ertrag in dt FM/ha	216			1. Schnitt, 225 2. Schnitt, 84 3. Schnitt, 127 4. Schnitt, 110				310
Erntetermin	20.05.2014			1. Schnitt, 05.05.2014 2. Schnitt, 23.06.2014 3. Schnitt, 13.08.2014 4. Schnitt, 28.10.2014				19.06.2014

Fortsetzung Tabelle A 6: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2014, Spiegelung

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais-Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Bio- diversitäts-FF)
Sommerfrüchte	Sorghum b. x s.	Sorghum bicolor	Mais		W. Weidelgras	Mais	Mais	Mais
Bodenbearbeitung	21.05.14 Kreiselegge	24.03.14 gepflügt 28.03.14 gegrubbert (2 x) 15.05.14 Kreiselegge	24.03.14 gepflügt 28.03.14 gegrubbert (2 x) 15.04.14 gegrubbert (2 x)			24.03.14 gepflügt 28.03.14 gegrubbert (2 x) 15.04.14 Gegrubbert (2 x)	24.03.14 gepflügt 28.03.14 gegrubbert (2 x) 15.04.14 Gegrubbert (2 x)	15.05.14 Kreiselegge
Aussaatdatum	23.05.14	15.05.14	16.04.14			16.04.14	16.04.14	16.05.14
Aussaatmenge, Reihenabstand, Saattiefe	40 Kö/m ² , 25 cm, 4 cm	27 Kö/m ² , 25 cm, 4 cm	9 Kö/m ² – Ablage- abstand: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm			9 Kö/m ² – Ablage- abstand: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm	9 Kö/m ² – Ablage- abstand: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm	9 Kö/m ² – Ablageab- stand: 14,6 cm, 75 cm, 5 cm
Düngung	27.05.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 112 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß	24.02.2014 TSP, 67 kg/ha Kali 40, 750 kg/ha 27.05.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 102 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß	24.02.2014 TSP, 67 kg/ha Kali 40, 550 kg/ha 30.04.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 112 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß	26.06.14 KAS, 60 kg N/ha nach 1. Schnitt WW: 14.08.14 Alzon 46, 30 kg N/ha		24.02.2014 TSP, 67 kg/ha Kali 40, 550 kg/ha 30.04.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 122 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß	24.02.2014 TSP, 67 kg/ha Kali 40, 462,5 kg/ha 30.04.14 Alzon 46 + DAP (Unterfuß), 84 kg N/ha + 13,5 kg N/ha Unterfuß	30.04.14 Alzon 46 + DAP (Unter- fuß), 122 kg N/ha + 18 kg N/ha Unterfuß
Pflanzenschutz	12.06.14 Gardo Gold, 4,0 l/ha	02.06.14 Gardo Gold, 4,0 l/ha	05.05.14 Gardo Gold, 4,0 l/ha			05.05.14 Gardo Gold, 4,0 l/ha	05.05.14 Gardo Gold, 4,0 l/ha	08.05.14 Clinic (TH), 3,0 l/ha 02.06.14 Gardo Gold, 2,5 l/ha 02.06.14 Certrol B, 0,5 l/ha
Ertrag in dt FM/ha	439	809	552		1. Schnitt, 85 2. Schnitt, 83	553	480	590
Erntetermin	14.10.2014	14.10.2014	17.09.2014		1. Schnitt, 18.08.2014 2. Schnitt, 28.10.2014	17.09.2014	17.09.2014	17.09.2014

Tabelle A 7: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2015, Spiegelung

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ - Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais- Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts-FF)
Winterfrüchte		Grünroggen	Grünroggen	Luzernegras	W. Weidelgras		Grünroggen	Hybridroggen
Boden-bearbei- tung vor Aus- saat		15.10.14 gescheibt, Krei- selegge	22.09./23.09.14 gescheibt, Krei- selegge				22.09./23.09.14 gescheibt, Krei- selegge	22.09./23.09.14 gescheibt, Krei- selegge
Aussaatdatum		20.10.14	25.09.15				25.09.15	25.09.14
Aussaatmenge		420 Kö/m ²	400 Kö/m ²				400 Kö/m ²	260 Kö/m ²
Düngung		25.03.15 Piamon33S, 90 kg N/ha	19.03.15 Piamon33S, 50 kg N/ha 25.03.15 Piamon33S, 50 kg N/ha	25.03.15 Piamon33S, 65 kg N/ha 05.06.15 Piamon33S, 65 kg N/ha 02.09.15 Piamon33S, 50 kg N/ha	25.03.15 Piamon33S, 85 kg N/ha		25.03.15 Piamon33S, 75 kg N/ha	25.03.15 Piamon33S, 115 kg N/ha
Pflanzenschutz		05.11.14 Fenikan, 2,5 l/ha	09.10.14 Herold SC, 0,5 l/ha	----	----		09.10.14 Herold SC, 0,5 l/ha	-
Ertrag in dt FM/ha		174	249	1. Schnitt, 170 2. Schnitt, 73	210		212	212
Erntetermin		19.05.2015	19.05.2015	1. Schnitt, 21.05.2015 2. Schnitt, 31.08.2015	21.05.2015		19.05.2015	19.05.2015

Fortsetzung Tabelle A 7, Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2015, Spiegelung

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais- Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts- FF)
Sommerfrüchte	Mais	Mais	Sorghum b. x s.	Luzernegras	Mais	Mais	Sorghum b. x s.	
Bodenbearbeitung vor Aussaat	27.04.14 gegrubbert, Krei- selegge	20./21./26.05.15 2 x gescheibt, Kreiselegge	20./21./26.05.15 2 x gescheibt, Kreiselegge		21./26.05.15 gescheibt, Krei- selegge	27.04.14 gegrubbert, Krei- selegge	20./21./26.05.15 2 x gescheibt, Kreiselegge	
Aussaatdatum	29.04.15	27.05.15	27.05.15		27.05.15	29.04.15	27.05.15	
Aussaatmenge	9 Pfl./m ²	9 Pfl./m ²	27 Kö/m ²		9 Pfl./m ²	9 Pfl./m ²	27 Kö/m ²	
Düngung	07.05.15 Piamon33S, 120 kg N/ha	05.06.15 Piamon33S, 100 kg N/ha	05.06.15 Piamon33S, 100 kg N/ha		05.06.15 Piamon33S, 100 kg N/ha	07.05.15 Piamon33S, 125 kg N/ha	05.06.15 Piamon33S, 75 kg N/ha	
Pflanzenschutz	06.05.15, Gardo Gold, 4,0 l/ha + Spectrum, 0,75 l/ha <u>biologisch:</u> 24.06.15 1. Tricho- gramma- Ausbringung 07.07.15 2. Tricho- gramma- Ausbringung	01.07.15, Maister Power, 1,5 l/ha + Kelvin, 1,0 l/ha <u>biologisch:</u> 07.07.15 Trichogramma- Ausbringung	08.07.15, Gardo Gold, 2,5 l/ha + Certrol B, 0,5 l/ha	----	01.07.15, Maister Power, 1,5 l/ha + Kelvin, 1,0 l/ha 08.07.15, Maister Power, 1,5 l/ha + Kelvin, 1,0 l/ha <u>biologisch:</u> 07.07.15 Trichogramma- Ausbringung	06.05.15, Gardo Gold, 4,0 l/ha + Spectrum, 0,75 l/ha <u>biologisch:</u> 24.06.15 1. Trichogramma- Ausbringung 07.07.15 2. Trichogramma- Ausbringung	08.07.15, Gardo Gold, 2,5 l/ha + Certrol B, 0,5 l/ha	
Ertrag in dt FM/ha	301	242	342		0	263	307	
Erntetermin	17.09.2015	20.10.2015	20.10.2015		20.10.2015	20.10.2015	20.10.2015	

Tabelle A 8: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2016, Spiegelung

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais- Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts-FF)
Winterfrüchte	Wintertriticale	Wintertriticale	Wintertriticale				Wintertriticale	Blühmischung
Boden- bearbeitung vor Aussaat	30.9.2015 gescheibt, ge- pflügt, gegrub- bert	21.10.2015 gegrubbert 28.10.2015 2x gescheibt, 1x gekreiselt	21.10.2015 gegrubbert 28.10.2015 2x gescheibt, 1x gekreiselt				21.10.2015 gegrubbert 28.10.2015 2x gescheibt, 1x gekreiselt	25.6.2016 2x gekreiselt
Aussaatdatum	2.10.2015	28.10.2015	28.10.2015				28.10.2015	1.7.2015
Aussaatmenge	186 kg/ha	186 kg/ha	186 kg/ha				186 kg/ha	12 kg/ha
Düngung	25.4.2016 Piamon 33-S, 80 kg N/ha	25.4.2016 Piamon 33-S, 80 kg N/ha 12.5.2016 Piamon 33-S, 60 kg N/ha	25.4.2016 Piamon 33-S, 80 kg N/ha				25.4.2016 Piamon 33-S, 60 kg N/ha	23.7.2015 Piamon 33-S, 65 kg N/ha 25.4.2016 Piamon 33-S, 65 kg N/ha
Pflanzen- schutz	5.10.2015 0,6 l/ha Herold SC	30.10.2015 0,6 l/ha Herold	30.10.2015 0,6 l/ha Herold				30.10.2015 0,6 l/ha Herold	31.8.2015 1,5 l/ha Agil-S
Ertrag in dt FM/ha	104	42 (Korn)	99	169			88	137
Erntetermin	19.05.2016	18.08.2016	19.05.2016	20.05.2016			19.05.2016	19.08.2016

:Fortsetzung Tabelle A 8: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2016, Spiegelung

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais-Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts-FF)
Sommerfrüchte	Phacelia		Weidelgras	Mais	Zuckerrübe	Mais	Weidelgras	
Bodenbearbeitung vor Aussaat	2x gegrubbert, 1x gekreiselt		24.5.2016 2x gegrubbert, 1x gekreiselt	28.4.2016 2x gegrubbert, 1x gekreiselt	28.4.2016 2x gegrubbert, 1x gekreiselt	28.4.2016 2x gegrubbert, 1x gekreiselt	24.5.2016 2x gegrubbert, 1x gekreiselt	
Aussaatdatum	24.5.2016		25.5.2016	25.5.2016	28.4.2016	29.4.2016	25.5.2016	
Aussaatmenge	15 kg/ha		50 kg/ha	25,02 kg/ha	5,4 kg/ha	25,02 kg/ha	50 kg/ha	
Düngung	----		----	25.5.2016 Piamon 33-S, 150 kg N/ha	12.5.2016 je 15 kg/ha NPK + 90 kg N/ha Piamon 33-S	12.5.2016 Piamon 33-S, 150 kg N/ha	25.5.2016 Piamon 33-S, 75 kg N/ha	
Pflanzenschutz	----		----	17.6.2016 3,5 L/ha Gardo Gold + 1 l/ha Clio Super 20.6.2016 Trichogramma 12.7.2016 Trichogramma	9.5.2016 2 L/ha Goltix Gold + 1,5 l/ha Rebell + 1l/ha Betanal 17.5.2016 2 l/ha Goltix Gold + 1,5 l/ha Rebell + 1 l/ha Betanal	17.5.2016 3,5 L/ha GARdo Gold + 0,5 l/ha Spectrum + 1 l/ha Clio Super 20.6.2016 Trichogramma 12.7.2016 Trichogramma	----	
Ertrag in dt FM/ha		232	205	133	186	231		
Erntetermin		17.08.2016	01.09.2016	06.10.2016	01.09.2016	17.08.2016		

Tabelle A 9: Bewirtschaftungsdaten für das Erntejahr 2017

	Fruchtfolge 1 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 1 aus EVA II)	Fruchtfolge 2 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 2 aus EVA II)	Fruchtfolge 3 (C ₃ -C ₄ -Pflanzen FF 3 aus EVA II)	Fruchtfolge 4 (Ackerfutter-FF)	Fruchtfolge 5 (Rüben-FF)	Fruchtfolge 6 (Ökonomie-FF / Mono-Mais-Anbau)	Fruchtfolge 7 (Klimagas-optim. FF [-25 % N])	Fruchtfolge 8 (Biodiversitäts-FF)
Winterfrüchte	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen
Bodenbearbeitung vor Aussaat	23.9.2016 gegrubbert, ge- kreiselt	23.9.2016 gegrubbert, ge- kreiselt	23.9.2016 gegrubbert, ge- kreiselt	23.9.2016 gegrubbert, ge- kreiselt	23.9.2016 gegrubbert, ge- kreiselt	23.9.2016 gegrubbert, gekrei- selt	23.9.2016 gegrubbert, ge- kreiselt	23.9.2016 gegrubbert, gekrei- selt
Aussaatdatum	25.9.2016	25.9.2016	25.9.2016	25.9.2016	25.9.2016	25.9.2016	25.9.2016	25.9.2016
Aussaatmenge	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha
Düngung	----	----	----	----	----	----	----	----
Pflanzenschutz	----	----	----	----	----	----	----	----
Ertrag in dt FM/ha	14	13	16	17	20	17	15	16
Erntetermin	07.08.2017	07.08.2017	07.08.2017	07.08.2017	07.08.2017	07.08.2017	07.08.2017	07.08.2017

Tabelle A 10: Bewirtschaftungsdaten für Szarvasigras

Szarvasigras	2014	2015	2016	2017
Bodenbearbeitung vor Aussaat	----	----	----	----
Aussaatdatum	17.5.2013	----	----	----
Aussaatmenge	20 kg/ha	----	----	----
Düngung	3.7.2013 KAS, 60 kg N/ha 03.03.2014 Kali 40, 1000 kg/ha TSP, 100 kg/ha 7.3.2014 Alton 46, 70 kg N/ha 26.6.2014 KAS, 60 kg N/ha	25.3.2015 Piamon 33-S, 80 kg N/ha	24.6.2015 Piamon 33-S, 60 kg N/ha 25.4.2016 Piamon 33-S, 90 kg N/ha	16.3.2017 Piamon 33-S, 80 kg N/ha
Pflanzenschutz	----	----	----	----
Ertrag in dt FM/ha	1. Schnitt, 269 2. Schnitt ,186	164	132	123
Erntetermin	1. Schnitt, 19.06.2014 2. Schnitt ,28.10.2014	17.06.2015	01.09.2016	29.08.2017

Tabelle A 11: Bewirtschaftungsdaten für Durchwachsene Silphie

Durchwachsene Silphie	2014	2015	2016	2017
Bodenbearbeitung vor Aussaat	24.5.2013: Kreiselegge 5.7.2013: Handhacke 19.8.2013: Handhacke 20.3.2014: Handhacke	----	----	----
Aussaatdatum	30.5.2013	----	----	----
Aussaatmenge	Reihen- und Pflanzabstand = 50 cm	----	----	----
Düngung	12.7.2013: KAS, 100 kg N/ha 03.03.2014: Kali 40, 1000 kg/ha TSP, 100 kg/ha 7.3.2014: KAS, 70 kg N/ha	25.3.2015 Piamon 33-S, 130 kg N/ha	25.4.2016 Piamon 33-S, 90 kg N/ha	16.3.2017 Piamon 33-S, 80 kg N/ha
Pflanzenschutz	----	----	----	----
Ertrag in dt/ha	420	345	561	755
Erntetermin	14.10.2014	17.09.2015	01.09.2016	29.08.2017

Tabelle A 12: Unkrautdeckungsgrad des Winterroggens im Grundversuch am 5.10.2015 (mit Herbizidanwendung)

Fruchtfolge	Wiederholung	Ehrenpreis	Kamille	Stiefmütterchen	Storchschnabel	Hirtentäschel	Vogelmiere
1	A	1,0	0,5	2,0	0,5	2,0	0,5
	B	1,0	0,5	2,0	0,5	3,0	0,5
	C	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,5
	D	1,0	0,5	2,0	0,5	2,0	0,5
2	A	0,5	0,5	2,0	1,0	3,0	0,5
	B	1,0	0,5	1,0	0,5	3,0	1,0
	C	1,0	1,0	2,0	0,5	2,0	1,0
	D	1,0	0,5	2,0	0,5	2,0	0,5
3	A	1,0	0,5	1,0	0,5	2,0	0,5
	B	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5
	C	0,5	1,0	2,0	0,5	2,0	1,0
	D	1,0	0,5	2,0	1,0	3,0	1,0
4	A	1,0	0,5	2,0	0,5	3,0	1,0
	B	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5
	C	1,0	0,5	2,0	1,0	2,0	0,5
	D	1,0	1,0	2,0	0,5	2,0	0,5
5	A	1,0	1,0	2,0	0,5	2,0	0,5
	B	0,5	0,5	1,0	0,5	2,0	1,0
	C	1,0	0,5	2,0	0,5	3,0	1,0
	D	1,0	0,5	2,0	1,0	2,0	1,0
6	A	0,5	0,5	2,0	1,0	3,0	1,0
	B	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0	0,5
	C	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	0,5
	D	0,5	0,5	1,0	0,5	2,0	0,5
7	A	1,0	0,5	1,0	0,5	2,0	0,5
	B	1,0	0,5	2,0	0,5	3,0	0,5
	C	0,5	0,5	2,0	1,0	3,0	1,0
	D	1,0	0,5	1,0	0,5	2,0	0,5
8	A	1,0	0,5	2,0	0,5	2,0	0,5
	B	1,0	1,0	2,0	1,0	3,0	1,0
	C	0,5	0,5	2,0	1,0	3,0	1,0
	D	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,5

Tabelle A 13: Unkrautdeckungsgrad des Winterroggens in der Spiegelanlage im Grundversuch am 2.11.2016 (ohne Herbizidanwendung)

Fruchtfolge	Wiederholung	Ehrenpreis	Kamille	Stiefmütterchen	Storchschnabel	Hirtentäschel	Vogelmiere
1	A	8,0	9,0	5,0	11,0	12,0	10,0
	B	7,0	10,0	6,0	9,0	12,0	9,0
	C	9,0	8,0	7,0	13,0	13,0	8,0
	D	7,0	6,0	6,0	10,0	12,0	9,0
2	A	7,0	6,0	7,0	8,0	13,0	9,0
	B	6,0	9,0	7,0	11,0	14,0	11,0
	C	8,0	10,0	6,0	11,0	12,0	10,0
	D	5,0	9,0	7,0	10,0	12,0	10,0
3	A	6,0	8,0	9,0	9,0	12,0	8,0
	B	6,0	10,0	6,0	9,0	13,0	9,0
	C	8,0	10,0	8,0	10,0	14,0	11,0
	D	7,0	9,0	7,0	10,0	13,0	9,0
4	A	10,0	9,0	7,0	13,0	13,0	10,0
	B	8,0	8,0	7,0	11,0	14,0	13,0
	C	7,0	8,0	8,0	9,0	9,0	10,0
	D	8,0	9,0	6,0	10,0	12,0	9,0
5	A	7,0	7,0	6,0	10,0	10,0	7,0
	B	7,0	9,0	6,0	10,0	10,0	11,0
	C	8,0	10,0	7,0	9,0	12,0	9,0
	D	7,0	8,0	6,0	10,0	14,0	10,0
6	A	6,0	8,0	8,0	11,0	9,0	10,0
	B	9,0	11,0	9,0	10,0	12,0	10,0
	C	10,0	9,0	7,0	12,0	10,0	9,0
	D	8,0	9,0	7,0	10,0	11,0	10,0
7	A	6,0	9,0	7,0	9,0	11,0	9,0
	B	8,0	11,0	9,0	10,0	13,0	11,0
	C	8,0	9,0	6,0	9,0	13,0	8,0
	D	7,0	10,0	7,0	8,0	13,0	10,0
8	A	7,0	11,0	8,0	8,0	14,0	10,0
	B	9,0	9,0	6,0	11,0	11,0	9,0
	C	6,0	10,0	5,0	9,0	12,0	10,0
	D	8,0	9,0	7,0	10,0	13,0	11,0

Tabelle A 14: Braunrost-Bonitur des Winterroggens nach BSA-Noten in der Grund- und Spiegelanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Wiederholung	Winterroggen 2016 Braunrost (16.6.2016)	Winterroggen 2017 Braunrost (13.7.2017)
1	A	3	1
	B	2	1
	C	3	3
	D	4	1
2	A	5	1
	B	2	2
	C	2	1
	D	3	1
3	A	2	1
	B	4	2
	C	3	1
	D	3	1
4	A	2	2
	B	4	1
	C	3	1
	D	2	1
5	A	3	2
	B	4	3
	C	2	1
	D	4	1
6	A	3	1
	B	3	1
	C	2	1
	D	3	2
7	A	2	1
	B	2	1
	C	4	2
	D	3	1
8	A	3	1
	B	2	1
	C	2	1
	D	5	1

Tabelle A 15: N_{min}-, S_{min}-, K-, P- und Mg-Bodengehalte für die Fruchtfolgen 9 und 10

Jahr	FF	Probe- nahme	Tiefe	Nmin [kg/ha je Schicht]	Smin [kg/ha je Schicht]	K [mg/100 g Boden]	P [mg/100 g Boden]	Mg [mg/100 g Boden]
2016	9	Ernte	0 - 30	12,3	21,0	1,7	5,0	5,9
			30 - 60	29,7	35,6			
			60 - 90	2,1	13,5			
	10	Vegeta- tionsende	0 - 30	*	*	*	*	*
			30 - 60					
			60 - 90					
2017	9	Ernte	0 - 30	18,1	7,4	9,4	5,0	9,7
			30 - 60	10,2	7,7	3,7	2,9	6,8
			60 - 90					
	10	Vegeta- tionsende	0 - 30	24,5	5,7	6,6	5,4	7,3
			30 - 60	8,7	5,2	2,6	5,2	8,6
			60 - 90	0,8	13,0	5,0	1,2	9,8
2017	9	Ernte	0 - 30	0,4	27,2	12,9	5,9	11,0
			30 - 60	0,2	8,3	2,6	1,9	6,4
			60 - 90					
	10	Vegeta- tionsende	0 - 30	1,1,	5,3	7,6	4,4	8,2
			30 - 60	1,2	6,6	4,0	3,1	5,9
			60 - 90	1,2	22,8	6,6	0,9	8,6

* = keine Probenahme

Tabelle A 16: Ct-, Humus- und pH-Bodenwerte für die Fruchtfolgen 9 und 10

		FF9 - Szarvasi			FF 10 Durchwachsene Silphie		
		Ct	Humus	pH	Ct	Humus	pH
2016 Ernte	0 - 30	0,29	0,50	6,1	0,96	1,66	5,2
	30 - 60						
	60 - 90						
2017 Ernte	0 - 30	0,94	1,62	5,7	1,08	1,86	5,9
	30 - 60						
	60 - 90						
2017 Vegetationsende	0 - 30	0,70	1,21	6,0	0,41	0,71	5,5
	30 - 60						
	60 - 90						

Tabelle A 17: S_{min}-, K-, P-, Mg-, Ct-, Humus- und pH-Bodenwerte nach der Ernte in der Spiegelanlage 2016

FF	Tiefe	S _{min} [kg/ha je Schicht]	K [mg/100 g Boden]	P [mg/100 g Boden]	Mg [mg/100 g Boden]	Ct [%]	Humus [%]	pH
1	0 - 30	12,9	4,2	7,9	7,0	1,07	1,85	5,6
	30 - 60	6,5						
	60 - 90	41,4						
2	0 - 30	57,9	4,0	7,6	9,0	1,17	2,02	5,5
	30 - 60	15,6						
	60 - 90	38,0						
3	0 - 30	15,8	3,7	8,5	6,5	0,97	1,68	5,5
	30 - 60	9,3						
	60 - 90	37,8						
4	0 - 30	28,6	3,6	7,8	7,9	0,91	1,57	5,6
	30 - 60	26,6						
	60 - 90	54,9						
5	0 - 30	21,0	4,7	9,5	8,0	0,79	1,37	5,8
	30 - 60	25,7						
	60 - 90	36,3						
6	0 - 30	18,0	2,6	8,4	8,0	0,99	1,71	5,8
	30 - 60	21,5						
	60 - 90	13,9						
7	0 - 30	9,6	5,9	8,5	8,7	0,92	1,59	5,7
	30 - 60	38,8						
	60 - 90	43,3						
8	0 - 30	12,0	3,6	9,6	9,2	1,05	1,81	5,9
	30 - 60	19,6						
	60 - 90	10,7						

Tabelle A 18: pH-Bodenwerte für Winterroggen nach der Ernte

	Tiefe	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
GA	0 - 30	5,7	5,4	5,7	5,5	5,7	6,3	5,6	5,8
	30 - 60								
	60 - 90								
SA	0 - 30	5,9	5,7	5,7	5,8	5,9	5,8	5,7	5,8
	30 - 60	5,8	5,6	6,0	5,8	5,9	5,8	5,7	5,6
	60 - 90								

Tabelle A 19: pH-Bodenwerte für Winterroggen zu Vegetationsende

	Tiefe	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
GA	0 - 30	5,4	5,4	5,5	5,6	5,5	5,3	5,6	5,8
	30 - 60	6,0	5,7	5,6	5,5	5,6	5,9	5,7	5,9
	60 - 90	5,3	5,9	4,8	5,3	4,9	5,8	5,3	5,1
SA	0 - 30	5,5	5,2	5,5	5,7	5,7	5,7	5,7	5,8
	30 - 60	6,0	5,8	5,8	5,9	5,9	6,0	5,8	6,0
	60 - 90	5,2	5,8	4,6	5,0	4,7	5,6	5,5	5,0

Tabelle A 20: Ct-Bodenwerte für Winterroggen nach der Ernte

		FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
GA	0 - 30	0,93	0,98	1,00	1,03	0,95	1,20	1,18	1,06
	30 - 60								
	60 - 90								
SA	0 - 30	0,88	0,67	0,70	0,66	0,86	0,69	0,67	0,69
	30 - 60	0,17	0,17	0,24	0,17	0,22	0,20	0,15	0,25
	60 - 90								

Tabelle A 21: Ct-Bodenwerte für Winterroggen zu Vegetationsende

	Tiefe	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
GA	0 - 30	0,90	0,96	0,81	0,81	0,78	0,91	0,95	0,84
	30 - 60	0,45	0,45	0,39	0,29	0,41	0,43	0,30	0,41
	60 - 90	0,13	0,11	0,15	0,11	0,15	0,10	0,09	0,07
SA	0 - 30	0,93	0,93	0,76	0,77	0,82	0,86	0,93	0,82
	30 - 60	0,42	0,41	0,30	0,32	0,34	0,40	0,29	0,42
	60 - 90	0,12	0,09	0,11	0,09	0,11	0,09	0,08	0,08

Tabelle A 22: Humus-Bodenwerte für Winterroggen nach der Ernte

	Tiefe	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
GA	0 - 30	1,61	1,69	1,73	1,78	1,64	2,07	2,04	1,83
	30 - 60								
	60 - 90								
SA	0 - 30	1,52	1,16	1,20	1,15	1,49	1,19	1,16	1,19
	30 - 60	0,30	0,29	0,41	0,3	0,39	0,35	0,25	0,43
	60 - 90								

Tabelle A 23: Humus-Bodenwerte für Winterroggen zu Vegetationsende

	Tiefe	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
GA	0 - 30	1,55	1,65	1,40	1,39	1,34	1,56	1,63	1,44
	30 - 60	0,77	0,77	0,66	0,35	0,71	0,74	0,52	0,71
	60 - 90	0,22	0,19	0,26	0,19	0,26	0,17	0,15	0,12
SA	0 - 30	1,6	1,6	1,31	1,33	1,41	1,48	1,60	1,41
	30 - 60	0,72	0,71	0,52	0,55	0,59	0,69	0,50	0,72
	60 - 90	0,21	0,16	0,19	0,16	0,19	0,16	0,14	0,14

Tabelle A 24: S_{min}- [kg/ha], K- [mg/100 g Boden], P- [mg/100 g Boden] und Mg- [mg/100 g Boden] Bodenwerte des Winterroggens (Korn + Stroh) nach der Ernte und zu Vegetationsende für die Grundanlage im Grundversuch

	Termin	Tiefe	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
S _{min}	Ernte	0 - 30	18,2	19,5	14,1	11,8	16,2	15,9	15,7	13,5
		30 - 60	33,0	35,6	20,2	17,6	18,1	16,6	19,7	20,8
		60 - 90	26,7	38,4	35,7	31,9	32,0	43,4	32,0	39,5
	Vegetationsende	0 - 30	5,3	6,8	6,1	5,3	4,8	4,9	5,6	5,1
		30 - 60	11,5	10,3	11,5	5,6	14,4	7,1	7,4	14,9
		60 - 90	29,1	13,5	25,3	30,8	19,4	17,3	12,4	15,8
K	Ernte	0 - 30	5,5	4,5	6,1	3,8	6,6	5,4	5,9	3,4
		30 - 60								
		60 - 90								
	Vegetationsende	0 - 30	4,9	3,5	3,5	4,6	2,7	5,1	1,8	4,2
		30 - 60	3,3	2,4	3,2	3,1	3,5	2,5	2,1	3,5
		60 - 90	6,5	3,6	8,1	6,9	9,8	4,5	3,8	4,6
P	Ernte	0 - 30	7,9	6,7	7,1	6,8	6,9	8,9	7,4	6,3
		30 - 60								
		60 - 90								
	Vegetationsende	0 - 30	5,1	5,6	6,1	7,1	6,4	6,1	6,7	8,4
		30 - 60	3,5	3,3	3,5	3,1	3,3	4,7	3,7	6,1
		60 - 90	0,8	0,8	0,6	0,9	0,9	1,0	1,4	1,5
Mg	Ernte	0 - 30	7,9	6,7	8,1	7,6	8,1	9,1	9,3	7,8
		30 - 60								
		60 - 90								
	Vegetationsende	0 - 30	7,1	6,4	6,3	8,5	7,3	8,5	7,9	8,7
		30 - 60	6,7	7,3	5,7	7,2	7,4	6,2	7,2	7,5
		60 - 90	8,3	4,4	12,8	10,9	12,9	6,1	6,7	7,9

Tabelle A 25: S_{min}- [kg/ha], K- [mg/100 g Boden], P- [mg/100 g Boden] und Mg- [mg/100 g Boden] Bodengehalte des Winterroggens (Korn + Stroh) nach der Ernte und zu Vegetationsende für die Spiegelanlage im Grundversuch

	Termin	Tiefe	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
S _{min}	Ernte	0 - 30	9,0	10,0	8,8	10,4	9,6	10,2	11,2	22,9
		30 - 60	19,3	12,7	9,2	11,3	15,8	10,0	8,2	13,4
		60 - 90								
	Vegetationsende	0 - 30	5,4	6,3	5,6	4,5	4,5	4,5	5,3	5,0
		30 - 60	11,1	9,5	11,1	7,9	15,0	6,7	8,0	15,2
		60 - 90	35,9	11,7	28,4	34,6	27,6	16,5	1,7	16,4
K	Ernte	0 - 30	4,1	4,3	4,3	4,0	4,1	5,0	5,1	5,2
		30 - 60	3,7	5,2	3,8	4,8	4,6	5,2	6,0	5,6
		60 - 90								
	Vegetationsende	0 - 30	4,6	3,3	3,4	4,3	2,4	5,1	1,7	5,0
		30 - 60	3,5	2,8	2,8	3,0	3,8	2,7	2,3	4,2
		60 - 90	6,6	3,9	7,7	7,8	10,4	4,	3,9	5,3
P	Ernte	0 - 30	6,3	6,8	7,0	7,0	7,8	7,4	7,2	7,4
		30 - 60	2,8	2,0	3,1	1,8	3,2	2,6	2,5	3,5
		60 - 90								
	Vegetationsende	0 - 30	5,2	5,4	6,3	6,9	6,2	5,9	6,4	8,2
		30 - 60	3,6	3,	3,1	3,4	3,5	4,7	3,5	6,3
		60 - 90	0,7	1,0	0,7	0,7	0,8	1,2	1,5	1,6
Mg	Ernte	0 - 30	9,4	7,3	7,2	7,4	8,3	7,8	7,6	7,5
		30 - 60	6,3	7,8	6,8	8,3	7,5	9,1	7,6	8,5
		60 - 90								
	Vegetationsende	0 - 30	7,2	,2	6,1	8,3	7,8	8,8	8,1	7,4
		30 - 60	6,6	6,8	6,0	7,7	7,6	6,5	7,2	6,9
		60 - 90	8,6	5,3	11,3	11,3	13,5	5,8	6,9	7,4

Tabelle A 26: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Grundanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, Trockenmasse [dt TM/ha]							
1		2013 GPS, HF WiGerste	2013, GPS, SZF S.b. x s.	2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, HF WiTriticale	2015, GPS, HF Phacelia	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen	
	a	44,9	88,8	168,4	68,8	24,4	63,3	96,0	
	b	39,0	60,4	207,0	62,9	22,7	57,9	89,9	
	c	37,5	83,2	194,7	63,5	27,3	58,3	78,0	
	d	40,4	80,3	204,5	60,8	29,3	56,4	83,1	
		40,4	78,2	193,7	64,0	25,9	59,0	86,5	
2		2013, GD, SZF Senf	2013, GPS, HF S. bicolor	2014, GPS, WZF Grünroggen	2014, GPS, ZF Mais	2015, Korn, HF WiTriticale	2015, Stroh, HF WiTriticale	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen
	a	20,7	153,6	57,1	313,2	----	----	56,4	100,7
	b	19,7	107,4	50,3	207,5	----	----	53,7	93,9
	c	19,8	106,7	47,8	233,7	----	----	61,6	79,5
	d	20,5	134,4	55,2	242,5	----	----	56,4	103,2
		20,2	125,5	52,6	249,2	31,1	25,0	57,0	94,3
3		2013, GD, SZF Senf	2013, GPS, HF Mais	2014, GPS, WZF Grünroggen	2014, GPS, ZF S.b. x s.	2015, GPS, HF WiTriticale	2015, GPS, SZF Weidelgras	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen
	a	24,4	107,2	50,6	168,5	71,7	26,2	54,7	105,7
	b	18,7	92	53,1	172,3	65	28,7	53,4	93,3
	c	19,9	93,4	53,7	160,2	67,2	30,3	57,4	89,7
	d	23	109,7	60,5	169,1	65,7	27,9	55,1	107,8
		21,5	100,6	54,5	167,5	67,4	28,3	55,2	99,1
4		2013, GPS, HF Luzernegras I II III	2014, GPS, HF Luzernegras I II III IV	2015, GPS, HF Mais	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen			
	a	12,7 25,1 16,2	47 44,9 56,2 48,3	----	65,0	90,6			
	b	11,2 18,4 9,2	34,1 34,3 36,5 35,1	----	57,5	108,6			
	c	13,7 26,6 14,7	32,5 30,5 40,9 35	----	47,4	118,2			
	d	11,8 23,3 11,2	14,5 17,4 18,6 19,4	----	46,8	111,6			
		12,4 23,4 12,8	49,1 35 34,7 17,5		54,2	107,2			

Fortsetzung Tabelle A 26: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Grundanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, Trockenmasse [dt TM/ha]							
5		2013, GPS, HF Wickroggen	2014, GPS, WZF Weidelgras	2014, GPS, ZF Mais	2015, GPS, HF Zuckerrübe	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen		
	a	112,5	32,7	206,2	169,7	58,0	100,3		
	b	97	34,7	216,1	143,2	54,0	78,8		
	c	101,1	38,7	218,2	117,4	50,7	92,7		
	d	97,7 102,1	34,6 35,2	218,5 214,8	172,5 150,7	47,3 52,5	74,1 86,5		
6		2013, GPS, HF Mais	2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, HF Mais	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen			
	a	113,7	176,9	107	53,3	87,9			
	b	72,9	183,5	103,8	8,4	84,7			
	c	81,0	146,7	134,1	56,3	85,5			
	d	91,1 89,7	220,3 181,9	120,7 116,4	57,4 56,3	86,6 86,2			
7		2013, GD, SZF Senf	2013, GPS, HF Mais	2014, PS, WZF Grünroggen	2014, GPS, ZF S.b. x s.	2015, GPS, HF WiTriticale	2015, GPS, SZF Weidelgras	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen
	a	22,6	92,3	49,8	168,4	71,0	17,9	50,5	109,5
	b	20,4	69,9	44,5	116,8	65,1	22,2	61,3	88,1
	c	20,5	78,5	45,4	149,9	59,5	23,6	64,6	78,1
	d	19,4 20,7	110,6 87,8	46,2 46,5	165,6 150,2	68,1 65,9	22,7 21,6	56,7 58,3	84,9 90,1
8		2013, GPS, WZF Wickroggen	2013, GPS, ZF Mais	2014, GPS, HF Hybridroggen	2015, GPS, HF Blümmischung	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen		
	a	65,4	75,4	104,2	42,5	61,9	89,1		
	b	64	65,5	82	41,6	62,5	89,6		
	c	66,3	74,1	95,9	38,9	54,9	91,1		
	d	65,8 65,4	93,6 74,9	92,4 93,6	49,8 43,2	58,6 59,9	117,9 96,9		
9		2014, GPS, HF Szarvasigras I II	2015, GPS, HF Szarvasigras	2016, GPS, HF Szarvasigras	2017, GPS, HF Szarvasigras				
	a	102,9 71,2	78,6	34,4	59,3				
	b	103,6 58,8	62,7	42,2	49,6				
	c	109,2 68,7	62,1	38,0	63,3				
	d	111,2 77,1 106,7 68,9	72,3 68,9	37,9 38,1	72,4 61,2				
10		2014, GPS, HF Durchwachsene Silphie	2015, GPS, HF Durchwachsene Silphie	2016, GPS, HF Durchwachsene Silphie	2017, GPS, HF Durchwachsene Silphie				
	a	137,2	115,0	106,6	205,3				
	b	172,3	113,2	114,6	190,4				
	c	121,3	89,1	113,9	227,1				
	d	127,3 139,5	117,9 108,8	124,6 114,9	128,1 187,7				

Tabelle A 27: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Spiegelanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, Trockenmasse [dt TM/ha]							
1		2014 GPS, HF WiGerste	2014, GPS, SZF S.b. x s.	2015, GPS, HF Mais	2016, GPS, HF WiTriticale	2016, GPS, HF Phacelia	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen	
	a	61,5	172,7	113,6	32,4	22,1	12,0	14,9	
	b	62,6	159,9	105,2	31,3	20,9	11,7	11,7	
	c	67,3	166,9	109,0	32,8	23,6	11,1	16,4	
	d	70,7	176,3	98,1	33,1	23,6	12,7	16,4	
		65,5	168,9	106,5	32,4	22,6	11,9	14,9	
2		2014, GD, SZF Senf	2014, GPS, HF S. bicolor	2015, GPS, WZF Grünroggen	2015, GPS, ZF Mais	2016, Korn, HF WiTriticale	2016, Stroh, HF WiTriticale	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen
	a	----	240,8	51,1	86,0	36,5	75,8	9,5	13,3
	b	----	227,1	57,0	49,6	35,5	71,5	11	10,2
	c	----	232,4	52,7	58,9	37,4	78,	11	11,6
	d	----	245,7	47,7	90,3	35,9	83,6	13,8	17,4
			236,5	52,1	71,2	36,3	77,4	11,3	13,1
3		2014, GD, SZF Senf	2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, WZF Grünroggen	2015, GPS, ZF S.b. x s.	2016, GPS, HF WiTriticale	2016, GPS, SZF Weidelgras	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen
	a	----	240,7	68,4	87,8	43,8	82,1	10,7	16,2
	b	----	223,9	70,3	88,9	32,9	107,1	12,4	15,1
	c	----	221,3	76,3	91,5	36,1	111,2	13,7	15,1
	d	----	271,8	81,0	99,0	29,3	96,8	19,4	24,0
			239,4	74,0	91,8	35,5	99,3	14,0	17,6
4		2014, GPS, HF Luzerengras I II III IV	2015, GPS, HF Luzerengras I II	2016, GPS, HF Mais	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen			
	a	42,9 24,6 26,5 26,4	52,6 27,4	109,7	12,1	13,8			
	b	43,6 30,7 29,1 24,2	44,5 29,2	78,5	12,1	15,7			
	c	46,7 36,9 32,2 20,4	52,7 24,6	78,1	20,7	19,3			
	d	37,6 23,3 28,0 23,6	44,6 22,5	96,7	13,8	12,7			
		42,7 28,9 28,9 23,7	48,6 25,9	90,8	14,7	15,4			

Fortsetzung Tabelle A 27: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Spiegelanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, Trockenmasse [dt TM/ha]							
5		2014, GPS, HF Wickroggen	2015, GPS, WZF Weidelgras	2015, GPS, ZF Mais	2016, GPS, HF Zuckerrübe	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen		
	a	90,0	64,6	----	68,2	12,4	17,4		
	b	85,8	61,0	----	53,8	19,0	13,7		
	c	86,9	57,7	----	58,4	11,7	15,9		
	d	104,9	80,5	----	73,5	26,0	21,7		
		1,9	66,0		63,5	17,3	17,2		
6		2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, HF Mais	2016, GPS, HF Mais	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen			
	a	251,7	111,9	90,9	12,8	13,0			
	b	234,6	103,2	106,6	15,4	13,8			
	c	201,6	85,6	64,1	11,3	16,0			
	d	225,0	94,4	77,5	20,4	18,8			
		228,2	98,8	84,8	15,0	15,4			
7		2014, GD, SZF Senf	2014, GPS, HF Mais	2015, PS, WZF Grünroggen	2015, GPS, ZF S.b. x s.	2016, GPS, HF WiTriticale	2016, GPS, SZF Weidelgras	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen
	a	----	215,8	70,2	82,8	27,6	57,7	14,3	14,3
	b	----	176,3	61,1	81,8	22,8	48,6	11,2	16,7
	c	----	218,5	62,2	85,9	32,5	59,3	14,5	20,8
	d	----	229,9	58,0	80,6	27,7	64,7	12,7	14,9
			210,1	62,9	82,8	27,6	57,6	13,2	16,7
8		2014, GPS, WZF Wickroggen	2014, GPS, ZF Mais	2015, GPS, HF Hybridroggen	2016, GPS, HF Blühmischung	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen		
	a	50,9	262,3	105,5	31,5	11,3	13,2		
	b	52,5	233,5	92,2	27,6	15,9	11,6		
	c	54,2	223,8	83,5	31,0	10,6	10,4		
	d	51,0	218,2	95,7	34,2	16,6	12,3		
		52,2	234,4	94,2	31,0	13,6	11,9		

Tabelle A 28: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Ertragsprüfungsversuch in der Grundanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, Trockenmasse [dt TM/ha]							
1*		2013 GPS, HF WiTriticale	2013, GD, SZF Phacelia	2014, Korn, HF WiRoggen	2014, Stroh, HF WiRoggen	2015, GPS, HF WiGerste	2015, GPS, SZF S.b. x s.	2016, GPS, HF Mais	
	a	110,4	11,6	45,0	32,2	37,7	117,1	103,4	
	b	101,1	10,8	49,1	30,5	55,8	120,9	113,9	
	c	115,9	11,5	52,8	37,7	52,0	97,4	115,0	
	d	107,9	11,9	41,3	33,3	35,9	118,2	108,2	
		108,8	11,5	47,0	33,4	45,4	113,4	110,1	
2*		2013, Korn, HF WiTriticale	2014, Korn, HF WiRoggen	2014, Stroh, HF WiRoggen	2015, GD, SZF Senf	2015, GPS, HF S. bicolor	2016, GPS, WZF Grünroggen	2016, GPS, ZF Mais	
	a	55,2	36,5	21,6	----	253,3	54,8	69,7	
	b	58,1	44,6	32,6	----	278,2	64,5	78,8	
	c	62,1	45,2	29,0	----	285,3	81,7	69,3	
	d	67,7	39,5	28,2	----	260,0	94,5	81,4	
		60,8	41,5	27,9		269,2	73,9	74,8	
3*		2013, GPS, HF WiTriticale	2013, GPS, SZF Weidelgras	2014, Korn, HF WiRoggen	2014, Stroh, HF WiRoggen	2015, GD, SZF Senf	2015, GPS, HF Mais	2016, GPS, WZF Grünroggen	2016, GPS, ZF S.b. x s.
	a	97,3	----	36,1	34,2	----	108,5	83,8	89,6
	b	100,5	----	37,4	25,5	----	128,1	69,4	94,8
	c	111,5	----	38,6	31,1	----	117,9	60,2	84,0
	d	109,1	----	41,3	30,6	----	111,2	53,9	82,0
		104,6		38,3	30,4		116,4	66,8	87,6
4*		2013, GPS, HF Mais	2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, HF Mais	2016, GPS, HF Mais				
	a	120,7	204,7	84,9	120,3				
	b	112,1	210,3	80,6	111,1				
	c	113,0	203,8	71,0	113,2				
	d	114,8	214,7	80,7	120,3				
		115,2	208,3	79,3	116,2				
1**	a	2013 GPS, HF WiTriticale	2013, GD, SZF Phacelia	2014, Korn, HF WiRoggen	2014, Stroh, HF WiRoggen	2015, GPS, HF WiGerste	2015, GPS, SZF S.b. x s.	2016, GPS, HF Mais	
	b	91,1	----	31,4	22,4	50,1	128,8	100,3	
	c	88,4	----	42,3	26,7	59,6	129,0	106,9	
	d	95,3	----	40,4	28,0	62,4	129,4	105,6	
		103,6	----	33,2	30,9	57,4	131,4	115,3	
		94,6		36,8	27,0	57,4	129,7	107,1	

Tabelle A 29: Parzellen- und Mittelwerte der Trockenmasseerträge (nach Trocknung bei 105 °C) im Ertragsprüfungsversuch in der Spiegelanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, Trockenmasse [dt TM/ha]							
1*		2013, GPS, HF Mais	2014 GPS, HF WiTriticale	2014, GD, SZF Phacelia	2015, Korn, HF WiRoggen	2015, Stroh, HF WiRoggen	2016, GPS, HF WiGerste	2016, GPS, SZF S.b. x s.	
	a	115,1	129,1	54,0	40,5	25,0	24,3	----	
	b	114,6	120,6	48,9	40,2	30,6	21,2	----	
	c	100,5	86,1	56,8	40,6	36,1	19,4	----	
	d	101,9	113,3	52,3	41,3	37,2	21,9	----	
		108,0	112,3	53,0	40,7	32,2	21,7		
2*		2013, GPS, WZF Grünroggen	2013, GPS, ZF Mais	2014, Korn, HF WiTriticale	2015, Korn, HF WiRoggen	2015, Stroh, HF WiRoggen	2016, GD, SZF Senf	2016, GPS, HF S. bicolor	
	a	76,4	111,6	102,2	33,6	15,0	----	----	
	b	75,9	106,3	100,2	32,8	16,6	----	----	
	c	71,8	93,6	83,6	33,1	17,6	----	----	
	d	76,1	87,8	86,8	35,8	10,9	----	----	
		75,1	99,8	93,2	33,8	15,0			
3*		2013, GPS, WZF Grünroggen	2013, GPS, ZF S.b. x s.	2014, GPS, HF WiTriticale	2014, GPS, SZF Weidelgras	2015, Korn, HF WiRoggen	2015, Stroh, HF WiRoggen	2016, GD, SZF Senf	2016, GPS, HF Mais
	a	70,3	----	103,0	27,0	24,6	17,4	----	145,5
	b	75,8	----	106,5	35,2	32,9	24,2	----	113,8
	c	79,0	----	81,0	28,2	22,2	23,6	----	127,3
	d	74,6	----	88,5	34,1	31,5	30,6	----	93,6
		74,9			31,1	27,8	23,9		120,0
1**		2013, GPS, HF Mais	2014 GPS, HF WiTriticale	2014, GD, SZF Phacelia	2014, Korn, HF WiRoggen	2014, Stroh, HF WiRoggen	2015, GPS, HF WiGerste	2015, GPS, SZF S.b. x s.	
	a	130,0	103,9	59,4	30,7	24,0	38,0	----	
	b	111,7	88,1	62,0	39,5	32,9	24,6	----	
	c	87,5	77,4	58,1	31,3	29,3	20,3	----	
	d	98,0	71,9	55,0	33,2	23,2	23,5	----	
		106,8	85,3	58,6	33,7	27,3	26,6		

Tabelle A 30: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Grundanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, TS-Gehalt [%]							
1	a b c d	2013, GPS, HF WiGerste	2013, GPS, SZF S.b. x s.	2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, HF WiTriticale	2015, GPS, HF Phacelia	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen	
		20,3	32,1	44,6	44,4	18,1	87,3	84,3	
		20,9	33,6	45,0	45,9	17,1	87,1	86,6	
		21,3	32,7	45,5	46,9	18,6	87,1	85,6	
		20,7	34,3	44,8	45,5	17,0	87,4	86,5	
		20,8	33,2	45,0	45,7	17,7	87,2	85,8	
2	a b c d	2013, GD, SZF Senf	2013, GPS, HF S. bicolor	2014, GPS, WZF Grünroggen	2014, GPS, ZF Mais	2015, Korn, HF WiTriticale	2015, Stroh, HF WiTriticale	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen
		19,1	23,0	20,2	53,5	----	----	87,3	85,5
		17,6	21,5	21,4	42,6	----	----	87,5	86,7
		18,6	22,0	21,3	45,3	----	----	87,4	85,7
		16,9	22,6	20,1	43,9	----	----	87,4	86,8
		18,1	22,3	20,8	46,3		87,4	86,2	
3	a b c d	2013, GD, SZF Senf	2013, GPS, HF Mais	2014, GPS, WZF Grünroggen	2014, GPS, ZF S.b. x s.	2015, GPS, HF WiTriticale	2015, GPS, SZF Weidelgras	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen
		19,2	35,1	19,6	31,4	45,0	19,2	87,7	85,7
		21,7	32,3	20,4	31,5	45,0	16,7	87,5	87,0
		16,6	33,1	21,1	31,2	44,7	23,9	87,8	85,0
		15,4	33,2	19,6	32,0	43,7	17,9	87,8	87,0
		18,2	33,4	20,2	31,5	44,6	19,4	87,7	86,2
4	a b c d	2013, GPS, HF Luzerengras I II III	2014, GPS, HF Luzerengras I II III IV	2015, GPS, HF Mais	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen			
		19,4 39,0 29,1	20,1 24,4 21,0 29,0	----	87,8	85,8			
		21,4 41,5 26,6	21,2 32,6 22,4 27,7	----	87,8	86,9			
		20,1 43,6 26,4	20,4 28,6 26,3 24,5	----	87,6	86,5			
		20,1 40,0 28,8	20,6 27,5 26,5 24,3	----	87,4	86,2			
		20,3 41,0 27,7	20,6 28,3 24,1 26,4		87,6	86,4			
5	a b c d	2013, GPS, HF Wickroggen	2014, GPS, WZF Weidelgras	2014, GPS, ZF Mais	2015, GPS, HF Zuckerrübe	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen		
		31,3	25,8	40,9	15,7	86,9	86,8		
		33,4	24,9	42,5	16,0	87,3	87,0		
		33,1	23,7	40,6	14,6	87,4	86,5		
		32,9	27,4	41,2	16,4	87,4	86,6		
		32,7	25,5	41,3	15,7	87,2	86,7		

Fortsetzung Tabelle A 30: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Grundanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, TS-Gehalt [%]							
6		2013, GPS, HF Mais	2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, HF Mais	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen			
	a	35,9	44,1	37,0	87,0	86,5			
	b	33,3	43,1	37,9	87,3	86,6			
	c	34,2	46,1	42,6	87,6	86,5			
	d	35,9	45,5	39,9	87,3	86,6			
		34,8	44,7	39,4	87,3	86,6			
7		2013, GD, SZF Senf	2013, GPS, HF Mais	2014, PS, WZF Grünroggen	2014, GPS, ZF S.b. x s.	2015, GPS, HF WiTriticale	2015, GPS, SZF Weidelgras	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen
	a	18,2	34,9	20,6	31,9	45,8	18,5	87,5	86,8
	b	18,5	33,7	22,3	30,1	46,1	19,1	87,7	87,1
	c	18,8	34,1	21,7	30,5	45,0	20,3	87,9	86,2
	d	19,7	36,2	20,4	31,5	44,1	19,6	87,7	86,6
		18,8	34,7	21,3	31,0	45,3	19,4	87,7	86,7
8		2013, GPS, WZF Wickroggen	2013, GPS, ZF Mais	2014, GPS, HF Hybridroggen	2015, GPS, HF Blümmischung	2016, Korn, HF WiRoggen	2016, Stroh, HF WiRoggen		
	a	21,4	25,8	41,8	50,4	87,6	87,2		
	b	21,8	25,4	41,5	42,7	87,4	87,2		
	c	21,9	25,2	42,3	44,5	87,7	87,2		
	d	20,9	24,8	42,2	43,5	87,6	86,6		
		21,5	25,3	42,0	45,3	87,6	87,1		
9		2014, GPS, HF Szarvasigras I II	2015, GPS, HF Szarvasigras	2016, GPS, HF Szarvasigras	2017, GPS, HF Szarvasigras				
	a	40,6 35,5	43,2	29,8	50,0				
	b	40,1 34,7	40,9	30,5	48,5				
	c	38,1 35,8	43,5	27,2	47,0				
	d	40,0 42,7	40,7	28,6	52,8				
		39,7 37,2	42,1	29,0	49,6				
10		2014, GPS, HF Durchwachsene Silphie	2015, GPS, HF Durchwachsene Silphie	2016, GPS, HF Durchwachsene Silphie	2017, GPS, HF Durchwachsene Silphie				
	a	33,5	33,0	19,8	25,8				
	b	32,8	32,1	20,7	24,9				
	c	33,5	28,0	21,0	24,4				
	d	33,1	32,6	20,4	24,2				
		33,2	31,4	20,5	24,8				

Tabelle A 31: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Spiegelanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, TS-Gehalt [%]							
1		2014 GPS, HF WiGerste	2014, GPS, SZF S.b. x s.	2015, GPS, HF Mais	2016, GPS, HF WiTriticale	2016, GPS, HF Phacelia	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen	
	a	31,0	37,2	34,7	36,4	17,9	86,4	89,1	
	b	31,3	39,2	35,0	26,4	17,4	86,0	85,9	
	c	28,5	37,1	37,1	33,7	18,1	86,5	90,0	
	d	30,9	40,8	35,0	30,0	17,7	86,2	90,0	
		30,4	38,6	35,5	31,6	17,8	86,3	88,8	
2		2014, GD, SZF Senf	2014, GPS, HF S. bicolor	2015, GPS, WZF Grünroggen	2015, GPS, ZF Mais	2016, Korn, HF WiTriticale	2016, Stroh, HF WiTriticale	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen
	a	----	29,7	30,1	29,0	87,1	78,4	86,7	91,5
	b	----	28,6	31,2	28,7	86,7	78,0	86,0	90,7
	c	----	29,0	31,4	26,9	87,0	78,2	86,0	90,0
	d	----	29,6	27,4	32,6	86,3	78,4	86,1	87,6
			29,2	30,0	29,3	86,8	78,3	86,2	90,0
3		2014, GD, SZF Senf	2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, WZF Grünroggen	2015, GPS, ZF S.b. x s.	2016, GPS, HF WiTriticale	2016, GPS, SZF Weidelgras	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen
	a	----	42,7	30,4	26,8	37,3	42,0	86,3	90,4
	b	----	43,3	30,9	26,3	36,4	43,5	86,2	91,3
	c	----	41,7	31,7	26,5	37,3	44,0	86,1	90,0
	d	----	45,7	26,6	27,6	31,9	41,5	86,5	88,3
			43,4	29,9	26,8	35,7	42,8	86,3	90,0
4		2014, GPS, HF Luzerengras I II III IV	2015, GPS, HF Luzerengras I II	2016, GPS, HF Mais	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen			
	a	19,8 35,1 22,7 21,1	29,3 34,9	47,6	86,1	91,6			
	b	21,0 42,5 21,3 22,7	31,4 33,1	44,1	86,1	86,8			
	c	16,8 29,5 25,2 21,4	24,4 38,1	38,8	86,5	88,9			
	d	19,0 35,0 21,9 21,3	31,5 36,9	46,1	86,2	90,7			
		19,2 35,5 22,8 21,6	29,2 35,8	44,2	86,2	89,5			

Fortsetzung Tabelle A 31: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Grundversuch in der Spiegelanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, TS-Gehalt [%]							
5		2014, GPS, HF Wickroggen	2015, GPS, WZF Weidelgras	2015, GPS, ZF Mais	2016, GPS, HF Zuckerrübe	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen		
	a	41,2	33,4	----	48,5	86,2	92,0		
	b	40,7	34,0	----	46,8	86,4	89,9		
	c	40,2	34,6	----	46,2	86,2	91,2		
	d	33,6	26,8	----	49,6	86,5	80,2		
		38,9	32,2		47,8	86,3	88,3		
6		2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, HF Mais	2016, GPS, HF Mais	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen			
	a	41,6	39,8	42,7	86,0	86,6			
	b	42,8	36,8	49,1	86,5	99,4			
	c	38,6	34,5	42,6	86,3	89,5			
	d	41,9	39,2	47,4	86,4	86,1			
		41,2	37,6	45,5	86,3	90,4			
7		2014, GD, SZF Senf	2014, GPS, HF Mais	2015, PS, WZF Grünroggen	2015, GPS, ZF S.b. x s.	2016, GPS, HF WiTriticale	2016, GPS, SZF Weidelgras	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen
	a	----	43,7	29,9	27,7	28,2	24,5	86,2	89,3
	b	----	43,1	30,5	25,9	28,2	25,0	86,3	90,2
	c	----	44,4	28,4	26,8	38,2	24,5	86,5	87,6
	d	----	43,8	30,0	27,7	30,9	25,7	86,0	89,1
			43,8	29,7	27,0	31,4	24,9	86,2	89,1
8		2014, GPS, WZF Wickroggen	2014, GPS, ZF Mais	2015, GPS, HF Hybridroggen	2016, GPS, HF Blühhmischung	2017, Korn, HF WiRoggen	2017, Stroh, HF WiRoggen		
	a	16,6	43,1	43,6	22,7	86,0	89,6		
	b	16,6	39,5	45,0	21,3	86,3	86,3		
	c	17,8	39,8	45,7	22,5	85,9	85,4		
	d	16,4	36,5	43,7	23,7	86,1	98,3		
		16,9	39,7	44,5	22,6	6,1	89,9		

Tabelle A 32: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Ertragsprüfungsversuch in der Grundanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, Trockenmasse [dt TM/ha]								
1*		2013 GPS, HF WiTriticale	2013, GD, SZF Phacelia	2014, Korn, HF WiRoggen	2014, Stroh, HF WiRoggen	2015, GPS, HF WiGerste	2015, GPS, SZF S.b. x s.	2016, GPS, HF Mais		
	a	40,4	13,2	84,4	82,0	35,6	25,7	45,8		
	b	39,0	11,9	84,1	79,3	33,5	27,2	44,0		
	c	39,6	13,2	84,5	82,1	33,6	25,7	46,1		
	d	39,5	13,9	84,1	73,7	32,8	26,9	42,7		
		39,6	13,1	84,3	79,3	33,9	26,4	44,7		
2*		2013, Korn, HF WiTriticale	2014, Korn, HF WiRoggen	2014, Stroh, HF WiRoggen	2015, GD, SZF Senf	2015, GPS, HF S. bicolor	2016, GPS, WZF Grünroggen	2016, GPS, ZF Mais		
	a	----	84,8	83,4	----	25,9	37,3	47,5		
	b	----	84,5	83,1	----	25,4	34,6	45,7		
	c	----	84,6	83,4	----	26,5	45,4	44,0		
	d	----	84,4	81,0	----	23,6	51,9	46,0		
			84,6	82,7		25,4	42,3	45,8		
3*		2013, GPS, HF WiTriticale	2013, GPS, SZF Weidelgras	2014, Korn, HF WiRoggen	2014, Stroh, HF WiRoggen	2015, GD, SZF Senf	2015, GPS, HF Mais	2016, GPS, WZF Grünroggen	2016, GPS, ZF S.b. x s.	
	a	36,7	----	84,3	77,0	----	33,7	47,3	37,8	
	b	36,9	----	84,5	81,9	----	37,3	42,8	38,5	
	c	37,0	----	84,3	80,8	----	34,2	36,4	37,0	
	d	36,0	----	84,7	78,0	----	34,2	34,6	37,4	
	36,7		84,4	79,4		34,9	40,3	37,7		
4*		2013, GPS, HF Mais	2014, GPS, HF Mais	2015, GPS, HF Mais	2016, GPS, HF Mais					
	a	32,0	36,6	39,0	47,6					
	b	33,3	38,6	39,1	44,4					
	c	32,9	39,1	36,6	45,9					
	d	32,3	39,6	37,1	46,0					
	32,6	38,5	38,0	46,0						
1**		2013 GPS, HF WiTriticale	2013, GD, SZF Phacelia	2014, Korn, HF WiRoggen	2014, Stroh, HF WiRoggen	2015, GPS, HF WiGerste	2015, GPS, SZF S.b. x s.	2016, GPS, HF Mais		
	a	38,5	----	84,5	77,0	34,9	27,0	45,8		
	b	38,4	----	84,9	81,9	33,4	27,7	46,2		
	c	39,4	----	84,5	80,8	33,6	27,8	43,8		
	d	37,9	----	84,6	78,0	33,8	28,0	47,4		
	38,6		84,6	79,4	33,9	27,6	45,9			

Tabelle A 33: Parzellen- und Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte (nach Trocknung bei 105 °C) im Ertragsprüfungsversuch in der Spiegelanlage

Fruchtfolge	Wiederholung	Erntejahr, Nutzung FF-Stellung, Fruchtart, Trockenmasse [dt TM/ha]							
1*		2013, GPS, HF Mais	2014 GPS, HF WiTriticale	2014, GD, SZF Phacelia	2015, Korn, HF WiRoggen	2015, Stroh, HF WiRoggen	2016, GPS, HF WiGerste	2016, GPS, SZF S.b. x s.	
	a	33,5	38,1	16,5	85,0	96,6	29,1	----	
	b	33,2	37,7	18,0	84,5	96,0	27,3	----	
	c	32,0	38,2	18,0	84,8	95,6	30,9	----	
	d	34,0	37,8	17,9	84,3	96,6	25,5	----	
		33,2	38,0	17,6	84,6	96,2	28,2		
2*		2013, GPS, WZF Grünroggen	2013, GPS, ZF Mais	2014, Korn, HF WiTriticale	2015, Korn, HF WiRoggen	2015, Stroh, HF WiRoggen	2016, GD, SZF Senf	2016, GPS, HF S. bicolor	
	a	23,9	29,7	----	84,7	92,3	----	----	
	b	25,4	31,0	----	84,1	89,4	----	----	
	c	24,0	29,8	----	84,7	94,8	----	----	
	d	25,6	30,1	----	84,9	97,8	----	----	
		24,7	30,2		84,6	93,6			
3*		2013, GPS, WZF Grünroggen	2013, GPS, ZF S.b. x s.	2014, GPS, HF WiTriticale	2014, GPS, SZF Weidelgras	2015, Korn, HF WiRoggen	2015, Stroh, HF WiRoggen	2016, GD, SZF Senf	2016, GPS, HF Mais
	a	22,7	----	38,6	24,5	82,9	94,1	----	47,3
	b	24,0	----	38,1	24,7	82,8	88,4	----	48,0
	c	24,3	----	39,1	26,1	83,4	90,9	----	47,4
	d	23,0	----	38,4	25,3	83,8	98,2	----	42,6
		23,5		38,6	25,2	83,2	92,9		46,3
1**		2013, GPS, HF Mais	2014 GPS, HF WiTriticale	2014, GD, SZF Phacelia	2015, Korn, HF WiRoggen	2015, Stroh, HF WiRoggen	2016, GPS, HF WiGerste	2016, GPS, SZF S.b. x s.	
	a	35,3	37,5	16,4	83,3	92,6	42,8	----	
	b	34,2	38,9	17,3	83,4	94,5	30,9	----	
	c	31,7	39,1	16,8	83,1	91,9	29,1	----	
	d	33,7	38,8	16,4	83,7	94,7	29,1	----	
		33,7	38,6	16,7	83,4	93,4	33,0		

Tabelle A 34: Anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte (in Humusäquivalenten [kg Humus-C/ha]) nach VDLUFA (2004, untere Werte) beim Anbau der erprobten Fruchtfolgen für die Grund- und Spiegelanlage

FF	Jahr	Fruchtart	FF-Stellung	Nutzung	Humus-C Fruchtart [kg/ha]	Humus-C Gründüngung [kg/ha]	Humus-C Stroh, Blatt [kg/ha]	Humus-Saldo [kg Humus-C/ha]
1	2013	Wintergerste	HF	GPS	-280	0	0	-280
	2013	Sorghum bicolor x sudanense	SZF	GPS	260	0	0	260
	2014	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2015	Wintertriticale	HF	GPS	-280	0	0	-280
	2015	Phacelia	SZF	GD	90	234	0	324
	2016	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	1010	730
			Summe FF 1 (GA):					614
	2010	Wintergerste	HF	GPS	-280	0	0	-280
	2010	Sorghum bicolor x sudanense	SZF	GPS	260	0	0	260
	2011	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2012	Wintertriticale	HF	GPS	-280	0	0	-280
	2012	Phacelia	SZF	GD	90	0	0	90
	2013	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	167	-113
		Summe FF 1 (SA):					-463	
2	2013	Senf	HF	GD	80	179	0	259
	2013	Sorghum bicolor	WZF	GPS	-140	0	0	140
	2014	Grünroggen	ZF	GPS	-80	0	0	-80
	2014	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2015	Wintertriticale	SZF	Korn	-280	0	250	-30
	2016	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	1094	814
			Summe FF 2 (GA):					963
	2014	Senf	HF	GD	80	0	0	80
	2014	Sorghum bicolor	WZF	GPS	140	0	0	140
	2015	Grünroggen	ZF	GPS	-80	0	0	-80
	2015	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2016	Wintertriticale	SZF	Korn	-280	0	989	709
	2017	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	146	134
		Summe FF 2 (SA):					575	

Fortsetzung Tabelle A 34: Anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte (in Humusäquivalenten [kg Humus-C/ha]) nach VDLUFA (2004, untere Werte) beim Anbau der erprobten Fruchtfolgen für die Grund- und Spiegelanlage

FF	Jahr	Fruchtart	FF-Stellung	Nutzung	Humus-C Fruchtart [kg/ha]	Humus-C Gründüngung [kg/ha]	Humus-C Stroh, Blatt [kg/ha]	Humus-Saldo [kg Humus-C/ha]
3	2013	Senf	SZF	GD	80	193	0	273
	2013	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2014	Grünroggen	WZF	GPS	-80	0	0	-80
	2014	Sorghum bicolor x sudanense	ZF	GPS	260	0	0	260
	2015	Wintertriticale	HF	GPS	-280	0	0	-280
	2015	Weidelgras	SZF	GPS	100	0	0	100
	2016	Winterroggen	Korn	Korn	-280	0	1150	870
			Summe FF 3 (GA):					1003
	2014	Senf	SZF	GD	80	0	0	80
	2014	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
2015	Grünroggen	WZF	GPS	-80	0	0	-80	
2015	Sorghum bicolor x sudanense	ZF	GPS	260	0	0	260	
2016	Wintertriticale	HF	GPS	-280	0	0	-280	
2016	Weidelgras	SZF	GPS	100	0	0	100	
2017	Winterroggen	Korn	Korn	-280	0	196	84	
		Summe FF 3 (SA):					-144	
4	2013	Luzernegras	HF	GPS	600	0	0	600
	2014	Luzernegras	HF	GPS	600	0	0	600
	2015	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2016	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	1242	962
			Summe FF 4 (GA):					2022
	2014	Luzernegras	HF	GPS	600	0	0	600
	2015	Luzernegras	HF	GPS	600	0	0	600
	2016	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2017	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	172	-108
			Summe FF 4 (SA):					952

Fortsetzung Tabelle A 34: Anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte (in Humusäquivalenten [kg Humus-C/ha]) nach VDLUFA (2004, untere Werte) beim Anbau der erprobten Fruchtfolgen für die Grund- und Spiegelanlage

FF	Jahr	Fruchtart	FF-Stellung	Nutzung	Humus-C Fruchtart [kg/ha]	Humus-C Gründüngung [kg/ha]	Humus-C Stroh, Blatt [kg/ha]	Humus-Saldo [kg Humus- C/ha]
5	2013	Wickroggen	HF	GPS	-280	0	0	-280
	2014	Weidelgras	WZF	GPS	100	0	0	100
	2014	Mais	ZF	GPS	-140	0	0	-140
	2015	Zuckerrübe	HF	GPS	-760	0	250	-510
	2016	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	997	717
		Summe FF 5 (GA):						-113
	2014	Wickroggen	HF	GPS	-280	0	0	-280
	2015	Weidelgras	WZF	GPS	100	0	0	100
	2015	Mais	ZF	GPS	-140	0	0	-140
	2016	Zuckerrübe	HF	GPS	-760	0	35	-725
2017	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	172	-108	
	Summe FF 5 (SA):						-1128	
6	2013	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2014	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2015	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2016	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	996	716
		Summe FF 6 (GA):						-296
	2014	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2015	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2016	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140
	2017	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	171	-109
		Summe FF 6 (SA):						-529

Fortsetzung Tabelle A 34: Anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte (in Humusäquivalenten [kg Humus-C/ha]) nach VDLUFA (2004, untere Werte) beim Anbau der erprobten Fruchtfolgen für die Grund- und Spiegelanlage

FF	Jahr	Fruchtart	FF-Stellung	Nutzung	Humus-C Fruchtart [kg/ha]	Humus-C Gründüngung [kg/ha]	Humus-C Stroh, Blatt [kg/ha]	Humus-Saldo [kg Humus-C/ha]	
7	2013	Senf	SZF	GD	80	177	0	257	
	2013	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140	
	2014	Grünroggen	WZF	GPS	-80	0	0	-80	
	2014	Sorghum bicolor x sudanense	ZF	GPS	260	0	0	260	
	2015	Wintertriticale	HF	GPS	-280	0	0	-280	
	2015	Weidelgras	SZF	GPS	100	0	0	100	
	2016	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	1039	759	
	Summe FF 7 (GA):								876
	2014	Senf	SZF	GD	80	0	0	80	
	2014	Mais	HF	GPS	-140	0	0	-140	
2015	Grünroggen	WZF	GPS	-80	0	0	-80		
2015	Sorghum bicolor x sudanense	ZF	GPS	260	0	0	260		
2016	Wintertriticale	HF	GPS	-280	0	0	-280		
2016	Weidelgras	SZF	GPS	100	0	0	100		
2017	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	188	-92		
Summe FF 7 (SA):								-152	
8	2013	Wickroggen	WZF	GPS	-80	0	0	-80	
	2013	Mais	ZF	GPS	-140	0	0	-140	
	2014	Hybridroggen	HF	GPS	-280	0	0	-280	
	2015	Blühhmischung	HF	GPS	700	0	0	700	
	2016	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	1114	834	
	Summe FF 8 (GA):								1034
	2014	Wickroggen	WZ	GPS	-80	0	0	-80	
	2014	Mais	ZF	GPS	-140	0	0	-140	
	2015	Hybridroggen	HF	GPS	-280	0	0	-280	
	2016	Blühhmischung	HF	GPS	700	0	0	700	
2017	Winterroggen	HF	Korn	-280	0	133	-147		
Summe FF 8 (SA):								53	

Tabelle A 35: N-Zufuhren für die Grundanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, N-Zufuhr									
FF 1	Datum	09.04.2013	24.06.2013	30.04.2014	25.03.2015					
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.	Mais	WiTriticale					
	Zufuhr [kg/ha]	90	120	130	90					
FF 2	Datum	24.06.2013	07.03.2014	27.05.2014	06.11.2014	25.03.2015				
	Fruchtart	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale	WiTriticale				
	Zufuhr [kg/ha]	120	115	140	50	120				
FF 3	Datum	07.05.2013	07.03.2014	27.05.2014	19.03.2015	09.04.2015	12.05.2015	23.07.2015		
	Fruchtart	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	WiTriticale	WiTriticale	Weidelgras		
	Zufuhr [kg/ha]	120	115	130	50	27	18	100		
FF 4	Datum	09.04.2013	28.05.2013	29.07.2013	07.03.2014	27.05.2014	26.06.2014	14.08.2014	25.03.2015	05.06.2015
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras	Luzernegras	Luzernegras	Luzernegras	Luzernegras	Luzernegras	Luzernegras	Mais
	Zufuhr [kg/ha]	60	50	40	70	50	60	30	60	100
FF 5	Datum	09.04.2013	29.04.2013	12.07.2013	07.03.2014	27.05.2014	15.04.2015			
	Fruchtart	Wickroggen	Wickroggen	Weidelgras	Weidelgras	Mais	Zuckerrübe			
	Zufuhr [kg/ha]	50	40	60	70	140	100			
FF 6	Datum	07.05.2013	30.04.2014	07.05.2015						
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais						
	Zufuhr [kg/ha]	120	130	120						
FF 7	Datum	07.05.2013	07.03.2014	27.05.2014	25.03.2015	05.06.2015				
	Fruchtart	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras				
	Zufuhr [kg/ha]	105	86	98	67,5	75				
FF 8	Datum	09.04.2013	29.04.2013	24.06.2013	07.03.2014	25.03.2015				
	Fruchtart	Wickroggen	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blühmischung				
	Zufuhr [kg/ha]	60	30	120	130	95				
FF 9	Datum	03.07.2013	07.03.2014	26.06.2014	25.03.2015	24.06.2015	25.04.2016	16.03.2017		
	Fruchtart	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras		
	Zufuhr [kg/ha]	60	70	60	80	60	90	80		
FF 10	Datum	12.07.2013	07.03.2014	25.03.2015	25.04.2016	16.03.2017				
	Fruchtart	Silphie	Silphie	Silphie	Silphie	Silphie				
	Zufuhr [kg/ha]	100	70	130	90	80				

Tabelle A 36: P-Zufuhren für die Grundanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, P-Zufuhr
FF 1	Datum 03.03.2014
	Fruchtart Mais
	Zufuhr [kg/ha] 30
FF 2	Datum 03.03.2014 27.05.2014 20.11.2014
	Fruchtart Grünroggen Mais WiTriticale
	Zufuhr [kg/ha] 70 20 6
FF 3	Datum 03.03.2014
	Fruchtart Grünroggen
	Zufuhr [kg/ha] 65
FF 4	Datum 03.03.2014
	Fruchtart Luzernegras
	Zufuhr [kg/ha] 15
FF 5	Datum 03.03.2014 27.05.2014 25.03.2015
	Fruchtart Weidelgras Mais Zuckerrübe
	Zufuhr [kg/ha] 25 20 9
FF 6	Datum 03.03.2014
	Fruchtart Mais
	Zufuhr [kg/ha] 15
FF 7	Datum 03.03.2014
	Fruchtart Grünroggen
	Zufuhr [kg/ha] 65
FF 8	Datum 03.03.2014
	Fruchtart Hybridroggen
	Zufuhr [kg/ha] 50
FF 9	Datum 03.03.2014
	Fruchtart Szarvasigras
	Zufuhr [kg/ha] 20
FF 10	Datum 03.03.2014
	Fruchtart Silphie
	Zufuhr [kg/ha] 25

Tabelle A 37: K-Zufuhren für die Grundanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, K-Zufuhr		
FF 1	Datum	03.03.2014	
	Fruchtart	Mais	
	Zufuhr [kg/ha]	220	
FF 2	Datum	03.03.2014	20.11.2014
	Fruchtart	Grünroggen	WiTriticale
	Zufuhr [kg/ha]	450	50
FF 3	Datum	03.03.2014	
	Fruchtart	Grünroggen	
	Zufuhr [kg/ha]	430	
FF 4	Datum	03.03.2014	
	Fruchtart	Luzernegras	
	Zufuhr [kg/ha]	140	
FF 5	Datum	03.03.2014	25.03.2015
	Fruchtart	Weidelgras	Mais
	Zufuhr [kg/ha]	320	125
FF 6	Datum	03.03.2014	
	Fruchtart	Mais	
	Zufuhr [kg/ha]	300	
FF 7	Datum	03.03.2014	
	Fruchtart	Grünroggen	
	Zufuhr [kg/ha]	570	
FF 8	Datum	03.03.2014	
	Fruchtart	Hybridroggen	
	Zufuhr [kg/ha]	350	
FF 9	Datum	03.03.2014	
	Fruchtart	Szarvigras	
	Zufuhr [kg/ha]	300	
FF 10	Datum	03.03.2014	
	Fruchtart	Silphie	
	Zufuhr [kg/ha]	230	

Tabelle A 38: Mg-Zufuhren für die Grundanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, Mg-Zufuhr	
FF 1	Datum	
	Fruchtart	
	Zufuhr [kg/ha]	
FF 2	Datum	20.11.2014
	Fruchtart	WiTriticale
	Zufuhr [kg/ha]	5
FF 3	Datum	
	Fruchtart	
	Zufuhr [kg/ha]	
FF 4	Datum	
	Fruchtart	
	Zufuhr [kg/ha]	
FF 5	Datum	
	Fruchtart	
	Zufuhr [kg/ha]	
FF 6	Datum	
	Fruchtart	
	Zufuhr [kg/ha]	
FF 7	Datum	
	Fruchtart	
	Zufuhr [kg/ha]	
FF 8	Datum	
	Fruchtart	
	Zufuhr [kg/ha]	
FF 9	Datum	
	Fruchtart	
	Zufuhr [kg/ha]	
FF 10	Datum	
	Fruchtart	
	Zufuhr [kg/ha]	

Tabelle A 39: N-Entzüge für die Grundanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, N-Entzug							
FF 1	Jahr	2013	2013	2014	2015	2015	2016	
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.	Mais	WiTriticale	Phacelia	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	83,6	109,4	222,7	83,2	*	124	
FF 2	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2016	
	Fruchtart	Senf	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale (K + S)	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	*	158,1	97,8	259,1	119,4	130,7	
FF 3	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	143,8	106,8	169,1	84,9	74,1	141,9
FF 4	Jahr	2013	2014	2015	2016			
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	101,9	320	*	161,7			
FF 5	Jahr	2013	2014	2014	2015	2016		
	Fruchtart	Wickroggen	Weidelgras	Mais	Rübe_entblättert	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	150,1	43,3	251,3	108,5	129,2		
FF 6	Jahr	2013	2014	2015	2016			
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	114,8	201,9	148,9	120,6			
FF 7	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	112,3	86,1	127,7	75,8	42,9	125,6
FF 8	Jahr	2013	2013	2014	2015	2016		
	Fruchtart	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blümmischung	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	115,8	104,9	107,6	63,5	155,7		
FF 9	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras			
	Entzug [kg/ha]	225	86,8	23,6	83,8			
FF 10	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Silphie	Silphie	Silphie	Silphie			
	Entzug [kg/ha]	153,4	113,1	101,1	257,1			

Tabelle A 40: P-Entzüge für die Grundanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, P-Entzug								
FF 1	Jahr	2013	2013	2014	2015	2015	2016	2013	
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.	Mais	WiTriticale	Phacelia	WiRoggen (K + S)	WiGerste	
	Entzug [kg/ha]	17,37	14,9	56,2	14,7	*	55,2	17,37	
FF 2	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2016	2013	
	Fruchtart	Senf	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale (K + S)	WiRoggen (K + S)	Senf	
	Entzug [kg/ha]	*	17,6	15,8	67,3	16,6	67,1	*	
FF 3	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016	2013
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)	Senf
	Entzug [kg/ha]	*	18,1	16,3	33,5	14,1	7,9	59	*
FF 4	Jahr	2013	2014	2015	2016				
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras	Mais	WiRoggen (K + S)				
	Entzug [kg/ha]	16,2	47	*	61,9				
FF 5	Jahr	2013	2014	2014	2015	2016			
	Fruchtart	Wickroggen	Weidelgras	Mais	Rübe_entblättert	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	29,6	8,8	64,4	24,1	52,9			
FF 6	Jahr	2013	2014	2015	2016				
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais	WiRoggen (K + S)				
	Entzug [kg/ha]	16,1	54,6	25,6	49,2				
FF 7	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016	
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	*	18,4	14,4	28,5	13,2	6,3	65,5	
FF 8	Jahr	2013	2013	2014	2015	2016			
	Fruchtart	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blümmischung	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	23,5	15	20,6	8,2	59,6			
FF 9	Jahr	2014	2015	2016	2017				
	Fruchtart	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras				
	Entzug [kg/ha]	34,7	11	3,4	7,3				
FF 10	Jahr	2014	2015	2016	2017				
	Fruchtart	Silphie	Silphie	Silphie	Silphie				
	Entzug [kg/ha]	37,7	22,8	20,68	39,4				

Tabelle A 41: K-Entzüge für die Grundanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, K-Entzug							
FF 1	Jahr	2013	2013	2014	2015	2015	2016	
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.	Mais	WiTriticale	Phacelia	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	101,8	71,2	100,7	57,6	*	55,2	
FF 2	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2016	
	Fruchtart	Senf	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale (K + S)	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	*	118	132	152	82,2	67,1	
FF 3	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	77,5	141,1	147,4	61,3	60	59
FF 4	Jahr	2013	2014	2015	2016			
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	121	383,4	*	61,9			
FF 5	Jahr	2013	2014	2014	2015	2016		
	Fruchtart	Wickroggen	Weidelgras	Mais	Rübe_entblättert	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	141,9	85,5	122,4	200,4	52,9		
FF 6	Jahr	2013	2014	2015	2016			
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	64,6	114,6	80,3	49,2			
FF 7	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	64,1	115,8	144,2	61,9	53,3	65,5
FF 8	Jahr	2013	2013	2014	2015	2016		
	Fruchtart	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blümmischung	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	147,8	44,9	110,4	48,4	59,6		
FF 9	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras			
	Entzug [kg/ha]	321	101,3	23,6	64,3			
FF 10	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Silphie	Silphie	Silphie	Silphie			
	Entzug [kg/ha]	168,8	140,3	158,6	309,7			

Tabelle A 42: Mg-Entzüge für die Grundanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, Mg-Entzug							
FF 1	Jahr	2013	2013	2014	2015	2015	2016	
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.	Mais	WiTriticale	Phacelia	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	7,7	18	52,3	7,7	*	13,8	
FF 2	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2016	
	Fruchtart	Senf	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale (K + S)	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	*	28,9	4,2	52,3	8,2	14,4	
FF 3	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	25,1	4,9	36,8	6,7	6,5	14,7
FF 4	Jahr	2013	2014	2015	2016			
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	12,1	26,9	*	15,5			
FF 5	Jahr	2013	2014	2014	2015	2016		
	Fruchtart	Wickroggen	Weidelgras	Mais	Rübe_entblättert	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	16,3	4,2	47,3	24,1	13,2		
FF 6	Jahr	2013	2014	2015	2016			
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	24,2	45,5	25,6	13,5			
FF 7	Jahr	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	22,8	3,7	27	6,6	3,7	14,1
FF 8	Jahr	2013	2013	2014	2015	2016		
	Fruchtart	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blümmischung	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	11,1	22,5	7,5	6,9	14,9		
FF 9	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras	Szarvasigras			
	Entzug [kg/ha]	16,8	4,8	3	6,7			
FF 10	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Silphie	Silphie	Silphie	Silphie			
	Entzug [kg/ha]	111,6	52,2	52,8	88,2			

Tabelle A 43: N-Zufuhren für die Spiegelanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, N-Zufuhr								
FF 1	Datum	07.03.2014	07.05.2015	25.04.2016					
	Fruchtart	WiGerste	Mais	WiTriticale					
	Zufuhr [kg/ha]	70	120	80					
FF 2	Datum	27.05.2014	25.03.2015	05.06.2015	25.04.2016	12.05.2016			
	Fruchtart	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale	WiTriticale			
	Zufuhr [kg/ha]	100	90	100	80	60			
FF 3	Datum	30.04.2014	19.03.2015	15.03.2015	05.06.2015	25.04.2016	25.05.2016		
	Fruchtart	Mais	Grünroggen	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras		
	Zufuhr [kg/ha]	145	50	50	100	80	100		
FF 4	Datum	07.03.2014	27.05.2014	26.06.2014	14.08.2014	25.03.2015	05.06.2015	02.09.2015	25.05.2016
	Fruchtart	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Mais
	Zufuhr [kg/ha]	70	50	50	30	65	65	50	150
FF 5	Datum	07.03.2014	26.06.2014	14.08.2014	25.03.2015	05.06.2015	12.05.2016		
	Fruchtart	Wickroggen	Weidelgras	Weidelgras	Weidelgras	Mais	Zuckerrübe		
	Zufuhr [kg/ha]	90	60	30	85	100	105		
FF 6	Datum	30.04.2014	07.05.2015	12.05.2016					
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais					
	Zufuhr [kg/ha]	140	125	150					
FF 7	Datum	30.04.2014	25.03.2015	05.06.2015	25.04.2016	25.05.2016			
	Fruchtart	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras			
	Zufuhr [kg/ha]	108	75	75	60	75			
FF 8	Datum	07.03.2014	27.05.2014	25.03.2015	25.04.2016				
	Fruchtart	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blümmischung				
	Zufuhr [kg/ha]	90	140	115	65				

Tabelle A 44: P-Zufuhren für die Spiegelanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, P-Zufuhr		
FF 1	Datum	24.02.2014	27.05.2014
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.
	Zufuhr [kg/ha]	50	20
FF 2	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	S. bicolor	
	Zufuhr [kg/ha]	30	
FF 3	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	Mais	
	Zufuhr [kg/ha]	30	
FF 4	Datum	24.02.2014	26.06.2014
	Fruchtart	Mais	Luzernegras
	Zufuhr [kg/ha]	15	3
FF 5	Datum	24.02.2014	12.05.2016
	Fruchtart	Wickroggen	Zuckerrübe
	Zufuhr [kg/ha]	60	15
FF 6	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	Mais	
	Zufuhr [kg/ha]	30	
FF 7	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	Mais	
	Zufuhr [kg/ha]	30	
FF 8	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	Wickroggen	
	Zufuhr [kg/ha]	80	

Tabelle A 45: K-Zufuhren für die Spiegelanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, K-Zufuhr		
FF 1	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	WiGerste	
	Zufuhr [kg/ha]	300	
FF 2	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	S. bicolor	
	Zufuhr [kg/ha]	300	
FF 3	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	Mais	
	Zufuhr [kg/ha]	220	
FF 4	Datum	24.02.2014	26.06.2014
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras
	Zufuhr [kg/ha]	135	30
FF 5	Datum	24.02.2014	12.05.2016
	Fruchtart	Wickroggen	Zuckerrübe
	Zufuhr [kg/ha]	300	15
FF 6	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	Mais	
	Zufuhr [kg/ha]	220	
FF 7	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	Mais	
	Zufuhr [kg/ha]	185	
FF 8	Datum	24.02.2014	
	Fruchtart	Mais	
	Zufuhr [kg/ha]	400	

Tabelle A 46: N-Entzüge für die Spiegelanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, N-Entzug							
FF 1	Jahr	2014	2014	2015	2016	2016	2017	
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.	Mais	WiTriticale	Phacelia	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	61,6	170,6	159,7	58,6	*	29,8	
FF 2	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2017	
	Fruchtart	Senf	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale (K + S)	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	*	165,5	99	*	172,7	28,3	
FF 3	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	313,6	121,4	*	79,9	234,3	36,3
FF 4	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	292,9	138,4	*	33,6			
FF 5	Jahr	2014	2015	2015	2016	2017		
	Fruchtart	Wickroggen	Weidelgras	Mais	Rübe_entblättert	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	133,2	92,4	*	76,8	39,7		
FF 6	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	269,3	130,4	105,1	35,2			
FF 7	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen(K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	235,3	105	*	59,9	111,2	33,2
FF 8	Jahr	2014	2014	2015	2016	2017		
	Fruchtart	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blümmischung	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	129,5	288,3	102,7	40	32,5		

Tabelle A 47: P-Entzüge für die Spiegelanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, P-Entzug							
FF 1	Jahr	2014	2014	2015	2016	2016	2017	
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.	Mais	WiTriticale	Phacelia	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	13,7	37,2	23,4	9,4	*	5,4	
FF 2	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2017	
	Fruchtart	Senf	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale (K + S)	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	*	30,7	16,1	*	26,4	4,4	
FF 3	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	69,4	20	*	11,4	28,8	5,9
FF 4	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	43,9	20,7	*	5,4			
FF 5	Jahr	2014	2015	2015	2016	2017		
	Fruchtart	Wickroggen	Weidelgras	Mais	Rübe_entblättert	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	18,4	14,5	*	8,2	6,2		
FF 6	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	59,3	22,7	15,3	6,1			
FF 7	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	54,6	17	*	9,4	14,4	5,2
FF 8	Jahr	2014	2014	2015	2016	2017		
	Fruchtart	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blümmischung	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	21,4	60,9	18,8	6,8	5		

Tabelle A 48: K-Entzüge für die Spiegelanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, K-Entzug							
FF 1	Jahr	2014	2014	2015	2016	2016	2017	
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.	Mais	WiTriticale	Phacelia	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	123,1	121,6	53,2	54,8	*	10,8	
FF 2	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2017	
	Fruchtart	Senf	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale (K + S)	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	*	229,4	88,6	*	152,9	9,8	
FF 3	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	184,3	139,1	*	69,2	168,8	12,6
FF 4	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	410,3	131,8	*	11,9			
FF 5	Jahr	2014	2015	2015	2016	2017		
	Fruchtart	Wickroggen	Weidelgras	Mais	Rübe_entblättert	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	167,3	110,9	*	39,4	13,3		
FF 6	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	157,5	66,2	47,5	12,8			
FF 7	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	145	106,9	*	54,6	133,6	12,4
FF 8	Jahr	2014	2014	2015	2016	2017		
	Fruchtart	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blümmischung	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	185,3	147,7	96,1	46,8	10,9		

Tabelle A 49: Mg-Entzüge für die Spiegelanlage im Grundversuch

Fruchtfolge	Datum, Fruchtart, Mg-Entzug							
FF 1	Jahr	2014	2014	2015	2016	2016	2017	
	Fruchtart	WiGerste	S.b. x s.	Mais	WiTriticale	Phacelia	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	6,5	40,5	33	2,9	*	2,6	
FF 2	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2017	
	Fruchtart	Senf	S. bicolor	Grünroggen	Mais	WiTriticale (K + S)	WiRoggen (K + S)	
	Entzug [kg/ha]	*	47,3	6,2	*	11,4	2,2	
FF 3	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	55,1	7,4	*	3,9	35,7	2,9
FF 4	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Luzernegras	Luzernegras	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	34,4	18,5	*	2,6			
FF 5	Jahr	2014	2015	2015	2016	2017		
	Fruchtart	Wickroggen	Weidelgras	Mais	Rübe_entblättert	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	17,5	13,9	*	10,8	2,8		
FF 6	Jahr	2014	2015	2016	2017			
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais	WiRoggen (K + S)			
	Entzug [kg/ha]	52,5	28,6	27,1	2,4			
FF 7	Jahr	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017
	Fruchtart	Senf	Mais	Grünroggen	S.b. x s.	WiTriticale	Weidelgras	WiRoggen (K + S)
	Entzug [kg/ha]	*	48,3	7,5	*	3	12,1	2,5
FF 8	Jahr	2014	2014	2015	2016	2017		
	Fruchtart	Wickroggen	Mais	Hybridroggen	Blümmischung	WiRoggen (K + S)		
	Entzug [kg/ha]	9,9	53,9	10,4	7,7	1,9		

Tabelle A 50: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Kornerträge in der Grundanlage

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	205,9	51,475	6,9225		
FF 2	4	199,3	49,825	8,149166667		
FF 3	4	193,6	48,4	2,24		
FF 4	4	190	47,5	60,24		
FF 5	4	183,2	45,8	14,82		
FF 6	4	196,8	49,2	3,966666667		
FF 7	4	204,5	51,125	29,7825		
FF 8	4	208,3	52,075	9,2425		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	128,89	7	18,41285714	1,08820353	0,401371499	2,422628533
Innerhalb der Gruppen	406,09	24	16,92041667			
Gesamt	534,98	31				

Tabelle A 51: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Stroherträge in der Grundanlage

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	346,1	86,525	60,1025		
FF 2	4	377,3	94,325	113,1225		
FF 3	4	396,5	99,125	80,41583333		
FF 4	3	310,8	103,6	129		
FF 5	4	345,9	86,475	147,3091667		
FF 6	4	344,7	86,175	1,929166667		
FF 7	4	360,6	90,15	183,7966667		
FF 8	3	269,8	89,93333333	1,083333333		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	1030,2995	7	147,1856429	1,602857882	0,186892903	2,46377383
Innerhalb der Gruppen	2020,194167	22	91,82700758			
Gesamt	3050,493667	29				

Tabelle A 52: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Kornerträge in der Spiegelanlage

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	47,5	11,875	0,4425		
FF 2	4	45,3	11,325	3,2225		
FF 3	4	56,2	14,05	14,23		
FF 4	4	58,7	14,675	16,77583333		
FF 5	3	43,1	14,36666667	16,22333333		
FF 6	4	59,9	14,975	15,94916667		
FF 7	4	52,7	13,175	2,3825		
FF 8	4	54,4	13,6	9,526666667		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	47,62002688	7	6,802860983	0,711097758	0,663216643	2,442226086
Innerhalb der Gruppen	220,0341667	23	9,566702899			
Gesamt	267,6541935	30				

Tabelle A 53: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Stroherträge in der Spiegelanlage

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	59,4	14,85	4,91		
FF 2	4	52,5	13,125	9,729166667		
FF 3	3	46,4	15,46666667	0,403333333		
FF 4	4	61,5	15,375	8,3825		
FF 5	4	68,7	17,175	11,40916667		
FF 6	4	61,6	15,4	6,746666667		
FF 7	4	66,7	16,675	8,6025		
FF 8	4	47,5	11,875	1,395833333		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	85,20002688	7	12,17143241	1,813875382	0,132768954	2,442226086
Innerhalb der Gruppen	154,3341667	23	6,710181159			
Gesamt	239,5341935	30				

Tabelle A 54: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Kornerträge

ZUSAMMENFASSUNG	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8	Gesamt
<i>GA (2016)</i>									
Anzahl	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Summe	205,9	199,3	193,6	190	183,2	196,8	204,5	208,3	1581,6
Mittelwert	51,475	49,825	48,4	47,5	45,8	49,2	51,125	52,075	49,425
Varianz	6,9225	8,149166667	2,24	60,24	14,82	3,966666667	29,7825	9,2425	17,2574194
<i>SA (2017)</i>									
Anzahl	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Summe	47,5	45,3	56,2	58,7	69,1	59,9	52,7	54,4	443,8
Mittelwert	11,875	11,325	14,05	14,675	17,275	14,975	13,175	13,6	13,86875
Varianz	0,4425	3,2225	14,23	16,77583333	44,64916667	15,94916667	2,3825	9,526666667	13,5344758
<i>Gesamt</i>									
Anzahl	8	8	8	8	8	8	8	8	
Summe	253,4	244,6	249,8	248,7	252,3	256,7	257,2	262,7	
Mittelwert	31,675	30,575	31,225	31,0875	31,5375	32,0875	32,15	32,8375	
Varianz	451,2021429	428,3735714	344,1792857	340,8583929	257,9655357	343,2069643	425,2714286	430,9941071	
ANOVA									
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>			
Stichprobe	20227,95063	1	20227,95063	1334,398392	1,09904E-36	4,042652129			
Spalten	28,139375	7	4,019910714	0,265185658	0,964422909	2,20743604			
Wechselwirkung	198,784375	7	28,39776786	1,873345277	0,094912267	2,20743604			
Fehler	727,625	48	15,15885417						
Gesamt	21182,49938	63							

Tabelle A 55: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Winterroggen-Stroherträge

ZUSAMMENFASSUNG	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8	Gesamt
<i>GA (2016)</i>									
Anzahl	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Summe	346,1	377,3	396,5	429	345,9	344,7	360,6	387,7	2987,8
Mittelwert	86,525	94,325	99,125	107,25	86,475	86,175	90,15	96,925	93,36875
Varianz	60,1025	113,1225	80,41583333	139,29	147,3091667	1,929166667	183,7966667	196,2558333	140,325444
<i>SA (2017)</i>									
Anzahl	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Summe	59,4	52,5	70,4	61,5	68,7	61,6	66,7	47,5	488,3
Mittelwert	14,85	13,125	17,6	15,375	17,175	15,4	16,675	11,875	15,259375
Varianz	4,91	9,729166667	18,47333333	8,3825	11,40916667	6,746666667	8,6025	1,395833333	10,270877
<i>Gesamt</i>									
Anzahl	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Summe	405,5	429,8	466,9	490,5	414,6	406,3	427,3	435,2	
Mittelwert	50,6875	53,725	58,3625	61,3125	51,825	50,7875	53,4125	54,4	
Varianz	1495,664107	1936,490714	1941,33125	2475,006964	1440,162143	1434,889821	1624,906964	2151,422857	
ANOVA									
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>			
Stichprobe	97617,19141	1	97617,19141	1574,675865	2,34175E-38	4,042652129			
Spalten	786,5535938	7	112,3647991	1,812571481	0,106484999	2,20743604			
Wechselwirkung	906,3198437	7	129,4742634	2,08856652	0,062887859	2,20743604			
Fehler	2975,6125	48	61,99192708						
Gesamt	102285,6773	63							

Tabelle A 56: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Braunrost im Winterroggen in der Grundanlage im Grundversuch

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	12	3	0,66666667		
FF 2	4	12	3	2		
FF 3	4	12	3	0,66666667		
FF 4	4	11	2,75	0,91666667		
FF 5	4	13	3,25	0,91666667		
FF 6	4	11	2,75	0,25		
FF 7	4	11	2,75	0,91666667		
FF 8	4	12	3	2		
ANOVA						
<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>	
Unterschiede	0,875	7	0,125	0,12	0,996166703	2,422628533
Innerhalb der	25	24	1,041666667			
Gesamt	25,875	31				

Tabelle A 57: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für Braunrost im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	6	1,5	1		
FF 2	4	5	1,25	0,25		
FF 3	4	5	1,25	0,25		
FF 4	4	5	1,25	0,25		
FF 5	4	7	1,75	0,916666667		
FF 6	4	5	1,25	0,25		
FF 7	4	5	1,25	0,25		
FF 8	4	4	1	0		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	1,375	7	0,196428571	0,496240602	0,827892482	2,422628533
Innerhalb der Gruppen	9,5	24	0,395833333			
Gesamt	10,875	31				

Tabelle A 58: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Ehrenpreis-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundersuch

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	31	7,75	0,916666667		
FF 2	4	26	6,5	1,666666667		
FF 3	4	27	6,75	0,916666667		
FF 4	4	33	8,25	1,583333333		
FF 5	4	29	7,25	0,25		
FF 6	4	33	8,25	2,916666667		
FF 7	4	29	7,25	0,916666667		
FF 8	4	30	7,5	1,666666667		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	11,375	7	1,625	1,2	0,34035081	2,422628533
Innerhalb der Gruppen	32,5	24	1,354166667			
Gesamt	43,875	31				

Tabelle A 59: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Kamille-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	33	8,25	2,916666667		
FF 2	4	34	8,5	3		
FF 3	4	37	9,25	0,916666667		
FF 4	4	34	8,5	0,333333333		
FF 5	4	34	8,5	1,666666667		
FF 6	4	37	9,25	1,583333333		
FF 7	4	39	9,75	0,916666667		
FF 8	4	39	9,75	0,916666667		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	10,21875	7	1,459821429	0,95335277	0,485873201	2,422628533
Innerhalb der Gruppen	36,75	24	1,53125			
Gesamt	46,96875	31				

Tabelle A 60: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Stiefmütterchen-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	24	6	0,666666667		
FF 2	4	27	6,75	0,25		
FF 3	4	30	7,5	1,666666667		
FF 4	4	28	7	0,666666667		
FF 5	4	25	6,25	0,25		
FF 6	4	31	7,75	0,916666667		
FF 7	4	29	7,25	1,583333333		
FF 8	4	26	6,5	1,666666667		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	10,5	7	1,5	1,565217391	0,193772805	2,422628533
Innerhalb der Gruppen	23	24	0,958333333			
Gesamt	33,5	31				

Tabelle A 61: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Storchschnabel-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	43	10,75	2,916666667		
FF 2	4	40	10	2		
FF 3	4	38	9,5	0,333333333		
FF 4	4	43	10,75	2,916666667		
FF 5	4	39	9,75	0,25		
FF 6	4	43	10,75	0,916666667		
FF 7	4	36	9	0,666666667		
FF 8	4	38	9,5	1,666666667		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	13	7	1,857142857	1,273469388	0,304648802	2,422628533
Innerhalb der Gruppen	35	24	1,458333333			
Gesamt	48	31				

Tabelle A 62: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Hirtentäschel-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	49	12,25	0,25		
FF 2	4	51	12,75	0,916666667		
FF 3	4	52	13	0,666666667		
FF 4	4	48	12	4,666666667		
FF 5	4	46	11,5	3,666666667		
FF 6	4	42	10,5	1,666666667		
FF 7	4	50	12,5	1		
FF 8	4	50	12,5	1,666666667		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	18	7	2,571428571	1,418719212	0,243678579	2,422628533
Innerhalb der Gruppen	43,5	24	1,8125			
Gesamt	61,5	31				

Tabelle A 63: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mittels Excel 2016 (Add-In: Analysefunktionen) für den Vogelmiere-Deckungsgrad im Winterroggen in der Spiegelanlage im Grundversuch

ZUSAMMENFASSUNG						
<i>Gruppen</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Summe</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Varianz</i>		
FF 1	4	36	9	0,666666667		
FF 2	4	40	10	0,666666667		
FF 3	4	37	9,25	1,583333333		
FF 4	4	42	10,5	3		
FF 5	4	37	9,25	2,916666667		
FF 6	4	39	9,75	0,25		
FF 7	4	38	9,5	1,666666667		
FF 8	4	40	10	0,666666667		
ANOVA						
<i>Streuungsursache</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>P-Wert</i>	<i>kritischer F-Wert</i>
Unterschiede zwischen den Gruppen	6,96875	7	0,995535714	0,697601668	0,673666267	2,422628533
Innerhalb der Gruppen	34,25	24	1,427083333			
Gesamt	41,21875	31				

Tabelle A 64: Versuchspläne für den Grundversuch (GV) und Ertragsprüfungsversuch (EPV) jeweils für die Grund- (GA) und Spiegelanlage (SA) der Versuchsjahre 2013-2017

Jahr 2013

2013, GV, GA										
d	Durchwachsen Silphie 10	Mais 6	Luzernegras 4	Mais 7	WiGerste/ S.b. x s. 1	Wickroggen 5	S. bicolor 2	Mais 3	Szarvasi 9	Wickroggen/ Mais 8
c	S. bicolor 2	WiGerst/ S.b. x s. 1	Szarvasi 9	Mais 3	Wickroggen/ Mais 8	Mais 7	Wickroggen 5	Durchwachsene Silphie 10	Luzerengras 4	Mais 6
b	Wickroggen/ Mais 8	Mais 6	Luzernegras 4	Mais 7	S. bicolor 2	Wickroggen 5	WiGerste/ S.b. x s. 1	Mais 3	Szarvasi 9	Durchwachsene Silphie 10
a	WiGerste/ S.b. x s. 1	S. bicolor 2	Szarvasi 9	Mais 3	Mais 7	Wickroggen/ Mais 8	Mais 6	Durchwachsene Silphie 10	Luzernegras 4	Wickroggen 5

2013, EPV, GA					
d	WiTritcale/ Phacelia 1*	WiTritcale 2*	WiTritcale/ Weidelgras 3*	WiTritcale/ Phacelia 1**	Mais 4*
c	WiTritcale/ Phacelia 1*	WiTritcale 2*	WiTritcale/ Weidelgras 3*	WiTritcale/ Phacelia 1**	Mais 4*
b	WiTritcale/ Phacelia 1*	WiTritcale 2*	WiTritcale/ Weidelgras 3*	WiTritcale/ Phacelia 1**	Mais 4*
a	WiTritcale/ Phacelia 1*	WiTritcale 2*	WiTritcale/ Weidelgras 3*	WiTritcale/ Phacelia 1**	Mais 4*

	Phacelia 1*	2*	Weidelgras 3*	Phacelia 1**	4*
--	----------------	----	------------------	-----------------	----

2013, EPV, SA				
d	Mais 1*	Grünroggen/ Mais 2*	Grünroggen/ S.b. x s. 3*	Mais 1**
c	Mais 1*	Grünroggen/ Mais 2*	Grünroggen/ S.b. x s. 3*	Mais 1**
b	Mais 1*	Grünroggen/ Mais 2*	Grünroggen/ S.b. x s. 3*	Mais 1**
a	Mais 1*	Grünroggen/ Mais 2*	Grünroggen/ S.b. x s. 3*	Mais 1**

Jahr 2014

2014, GV, GA										
d	Durchwachsene Silphie 10	Mais 6	Luzernegras 4	Grünroggen/ S.b. x s. 7	Mais 1	Weidelgras/ Mais 5	Grünroggen/ Mais 2	Grünroggen/ S.b. x s. 3	Szarvasi 9	Hybridroggen 8
c	Grünroggen/ Mais 2	Mais 1	Szarvasi 9	Grünroggen/ S.b. x s. 3	Hybridroggen 8	Grünroggen/ S.b. x s. 7	Weidelgras/ Mais 5	Durchwachsene Silphie 10	Luzerengras 4	Mais 6
b	Hybridroggen 8	Mais 6	Luzernegras 4	Grünroggen/ S.b. x s. 7	Grünroggen/ Mais 2	Weidelgras/ Mais 5	Mais 1	Grünroggen/ S.b. x s. 3	Szarvasi 9	Durchwachsene Silphie 10
a	Mais 1	Grünroggen/ Mais 2	Szarvasi 9	Grünroggen/ S.b. x s. 3	Grünroggen/ S.b. x s. 7	Hybridroggen 8	Mais 6	Durchwachsene Silphie 10	Luzernegras 4	Weidelgras/ Mais 5

2014, GV, SA								
d	Wickroggen 5	Senf/ Mais 3	Wickroggen/ Mais 8	Senf/ S. bicolor 2	Senf/ Mais 7	Luzernegras 4	Mais 6	WiGerste/ S.b. x s. 1
c	Luzernegras 4	Senf/ Mais 7	WiGerste/ S.b. x s. 1	Mais 6	Wickroggen/ Mais 8	Senf/ S. bicolor 2	Senf/ Mais 3	Wickroggen 5
b	Mais 6	Wickroggen/ Mais 8	Wickroggen 5	Senf/ Mais 7	Senf/ Mais 3	WiGerste/ S.b. x s. 1	Luzernegras 4	Senf/ S. bicolor 2
a	WiGerste/ S.b. x s. 1	Senf/ S. bicolor 2	Senf/ Mais 3	Luzerengras 4	Wickroggen 5	Mais 6	Senf/ Mais 7	Wickroggen/ Mais 8

2014, EPV, GA					
d	WiRoggen 1*	WiRoggen 2*	WiRoggen 3*	WiRoggen 1**	Mais 4*
c	WiRoggen 1*	WiRoggen 2*	WiRoggen 3*	WiRoggen 1**	Mais 4*
b	WiRoggen 1*	WiRoggen 2*	WiRoggen 3*	WiRoggen 1**	Mais 4*
a	WiRoggen 1*	WiRoggen 2*	WiRoggen 3*	WiRoggen 1**	Mais 4*

2014, EPV, SA				
d	WiTriticale/ Phacelia 1*	WiTriticale 2*	WiTriticale/ Weidelgras 3*	WiTriticale/ Phacelia 1**
c	WiTriticale/ Phacelia 1*	WiTriticale 2*	WiTriticale/ Weidelgras 3*	WiTriticale/ Phacelia 1**
b	WiTriticale/ Phacelia 1*	WiTriticale 2*	WiTriticale/ Weidelgras 3*	WiTriticale/ Phacelia 1**
a	WiTriticale/ Phacelia 1*	WiTriticale 2*	WiTriticale/ Weidelgras 3*	WiTriticale/ Phacelia 1**

Jahr 2015

2015, GV, GA										
d	Durchwachsene Silphie 10	Mais 6	Mais 4	WiTriticale/ Weidelgras 7	WiTriticale/ Phacelia 1	Zuckerrübe 5	WiTriticale 2	WiTriticale/ Weidelgras 3	Szarvasi 9	Blühmischung 8
c	WiTriticale 2	WiTriticale/ Phacelia 1	Szarvasi 9	WiTriticale/ Weidelgras 3	Blühmischung 8	WiTriticale/ Weidelgras 7	Zuckerrübe 5	Durchwachsene Silphie 10	Mais 4	Mais 6
b	Blühmischung 8	Mais 6	Mais 4	WiTriticale/ Weidelgras 7	WiTriticale 2	Zuckerrübe 5	WiTriticale/ Phacelia 1	WiTriticale/ Weidelgras 3	Szarvasi 9	Durchwachsene Silphie 10
a	WiTriticale/ Phacelia 1	WiTriticale 2	Szarvasi 9	WiTriticale/ Weidelgras 3	WiTriticale/ Weidelgras 7	Blühmischung 8	Mais 6	Durchwachsene Silphie 10	Mais 4	Zuckerrübe 5

2015, GV, SA								
d	Weidelgras/ Mais 5	Grünroggen/ S.b. x s. 3	Hybridroggen 8	Grünroggen/ Mais 2	Grünroggen/ S.b. x s. 7	Luzernegras 4	Mais 6	Mais 1
c	Luzernegras 4	Grünroggen/ S.b. x s. 7	Mais 1	Mais 6	Hybridroggen 8	Grünroggen/ Mais 2	Grünroggen/ S.b. x s. 3	Weidelgras/ Mais 5
b	Mais 6	Hybridroggen 8	Weidelgras/ Mais 5	Grünroggen/ S.b. x s. 7	Grünroggen/ S.b. x s. 3	Mais 1	Luzernegras 4	Grünroggen/ Mais 2
a	Mais 1	Grünroggen/ Mais 2	Gmroggen/ S.b. x s. 3	Luzernegras 4	Weidelgras/ Mais 5	Mais 6	Grünroggen/ S.b. x s. 7	Hybridroggen 8

2015, EPV, GA					
d	WiGerste/ S.b. x s. 1*	Senf/ S. bicolor 2*	Senf/ Mais 3*	WiGerste/ S.b. x s. 1**	Mais 4*
c	WiGerste/ S.b. x s. 1*	Senf/ S. bicolor 2*	Senf/ Mais 3*	WiGerste/ S.b. x s. 1**	Mais 4*
b	WiGerste/ S.b. x s. 1*	Senf/ S. bicolor 2*	Senf/ Mais 3*	WiGerste/ S.b. x s. 1**	Mais 4*
a	WiGerste/ S.b. x s. 1*	Senf/ S. bicolor 2*	Senf/ Mais 3*	WiGerste/ S.b. x s. 1**	Mais 4*

2015, EPV, SA				
d	WiRoggen 1*	WiRoggen 2*	WiRoggen 3*	WiRoggen 1**
c	WiRoggen 1*	WiRoggen 2*	WiRoggen 3*	WiRoggen 1**
b	WiRoggen 1*	WiRoggen 2*	WiRoggen 3*	WiRoggen 1**
a	WiRoggen 1*	WiRoggen 2*	WiRoggen 3*	WiRoggen 1**

Jahr 2016

2016, GV, GA										
d	Durchwachsene Silphie 10	WiRoggen 6	WiRoggen 4	WiRoggen 7	WiRoggen 1	WiRoggen 5	WiRoggen 2	WiRoggen 3	Szarvasi 9	WiRoggen 8
c	WiRoggen 2	WiRoggen 1	Szarvasi 9	WiRoggen 3	WiRoggen 8	WiRoggen 7	WiRoggen 5	Durchwachsene Silphie 10	WiRoggen 4	WiRoggen 6
b	WiRoggen 8	WiRoggen 6	WiRoggen 4	WiRoggen 7	WiRoggen 2	WiRoggen 5	WiRoggen 1	WiRoggen 3	Szarvasi 9	Durchwachsene Silphie 10
a	WiRoggen 1	WiRoggen 2	Szarvasi 9	WiRoggen 3	WiRoggen 7	WiRoggen 8	WiRoggen 6	Durchwachsene Silphie 10	WiRoggen 4	WiRoggen 5

2016, GV, SA								
d	Zuckerrübe 5	WiTriticale/ Weidelgras 3	Blühmischung 8	WiTriticale 2	WiTriticale/ Weidelgras 7	Mais 4	Mais 6	WiTriticale/ Phacelia 1
c	Mais 4	WiTriticale/ Weidelgras 7	WiTriticale/ Phacelia 1	Mais 6	Blühmischung 8	WiTriticale 2	WiTriticale/ Weidelgras 3	Zuckerrübe 5
b	Mais 4	Blühmischung 8	Zuckerrübe 5	WiTriticale/ Weidelgras 7	WiTriticale/ Weidelgras 3	WiTriticale/ Phacelia	Mais 4	WiTriticale 2
a	WiTriticale/ Phacelia 1	WiTriticale 2	WiTriticale/ Weidelgras 3	Mais 4	Zuckerrübe 5	Mais 6	WiTriticale/ Weidelgras 7	Blühmischung 8

2016, EPV, GA					
d	Mais 1*	Grünroggen/ Mais 2*	Grünroggen/ S.b. x s. 3*	Mais 1**	Mais 4*
c	Mais 1*	Grünroggen/ Mais 2*	Grünroggen/ S.b. x s. 3*	Mais 1**	Mais 4*
b	Mais 1*	Grünroggen/ Mais 2*	Grünroggen/ S.b. x s. 3*	Mais 1**	Mais 4*
a	Mais 1*	Grünroggen/ Mais 2*	Grünroggen/ S.b. x s. 3*	Mais 1**	Mais 4*

2016, EPV, SA				
d	WiGerste S.b. x s. 1*	Senf/ S. bicolor 2*	Senf/ Mais 3*	WiGerste/ S.b. x s. 1**
c	WiGerste S.b. x s. 1*	Senf/ S. bicolor 2*	Senf/ Mais 3*	WiGerste/ S.b. x s. 1**
b	WiGerste S.b. x s. 1*	Senf/ S. bicolor 2*	Senf/ Mais 3*	WiGerste/ S.b. x s. 1**
a	WiGerste S.b. x s. 1*	Senf/ S. bicolor 2*	Senf/ Mais 3*	WiGerste/ S.b. x s. 1**

Tabelle A 65: Ökonomische Einzeldaten für die Grundanlage des Grundversuches

FF	Jahr	Fruchtart	Art	Nutzung	TM-Ertrag Grünmasse dt/ha	TM-Ertrag Silage dt/ha	Methan-ertrag Silage m³/ha	Leistung €/ha	Saatgut-kosten €/ha	Dünger-kosten €/ha	PSM-Kos-ten €/ha	Arbeits-erl.-kosten €/ha	Silola-ger-kosten €/ha	Flä-chen-kosten €/ha	Gemein-kosten €/ha	Anbau-kosten €/ha	Ergeb-nis €/ha	Wert Gärrest-rückfüh-rung €/ha	Ergeb-nis mit Gär-restwert €/ha	Stück-kosten TM €/dt TM	Stückkos-ten Me-than €/m³ CH ₄
1	2013	Wi.gerste	HF	GPS	40,4	35,6	1.064	383	75	167	32	322	54	232	150	1.032	-649	79	-570	29,02	0,97
1	2013	SuGr-Hybride	SZF	GPS	78,2	68,8	1.931	695	60	164	75	388	66			753	-58	53	-5	10,94	0,39
1	2014	Mais	HF	GPS	193,7	170,5	5.505	1.982	162	267	44	476	121	232	150	1.452	530	141	671	8,52	0,26
1	2015	Wi.triticale	HF	GPS	64,0	56,3	1.733	624	120	133	47	228	39	232	150	948	-324	61	-264	16,84	0,55
1	2015	Phacelia	SZF	Grü Dü					68	0	0	131				198	-198		-198		
1		Fruchtfolge 2013-15			376,3	331,1	10.233	3.684	485	731	197	1.544	280	696	450	4.383	-700	333	-367	13,24	0,43
2	2013	Senf	SZF	Grü Dü					44	0	0	162				206	-206		-206		
2	2013	SuGr/FuHi	HF	GPS	125,5	110,4	3.817	1.374	84	200	44	404	157	232	150	1.271	103	13	116	11,51	0,33
2	2014	Grünroggen	WZF	GPS	52,6	46,3	1.506	542	83	203	47	329	71			731	-189	84	-105	15,80	0,49
2	2014	Mais	ZF	GPS	249,2	219,3	7.227	2.602	162	329	49	387	150	232	150	1.460	1.142	180	1.322	6,66	0,20
2	2015	Wi.triticale	HF	Korn	31,1	36,2		528	72	151	72	208		232	150	885	-357		-357	24,48	
2		Fruchtfolge 2013-15			458,4	407,1	12.551	5.046	445	883	212	1.490	378	696	450	4.554	492	277	769	11,19	0,29
3	2013	Senf	SZF	Grü Dü					44	0	0	162				206	-206		-206		
3	2013	Mais	HF	GPS	100,6	88,5	2.866	1.032	162	175	46	278	84	232	150	1.127	-95	59	-36	12,73	0,39
3	2014	Grünroggen	WZF	GPS	54,5	48,0	1.562	562	83	210	47	337	76			752	-190	90	-99	15,68	0,48
3	2014	SuGr-Hybride	ZF	GPS	167,5	147,4	4.092	1.473	60	257	60	368	149	232	150	1.275	198	76	274	8,65	0,31
3	2015	Wi.triticale	HF	GPS	67,4	59,3	1.814	653	120	138	47	237	42	232	150	966	-313	59	-253	16,28	0,53
3	2015	Einj. Weidel-gras	SZF	GPS	28,3	22,6	714	257	175	129	0	232	41			578	-321	43	-277	25,51	0,81
3		Fruchtfolge 2013-15			418,3	365,8	11.047	3.977	644	908	199	1.614	392	696	450	4.903	-926	328	-598	13,40	0,44
4	2013	Luzernegras	HF	GPS	48,6	38,9	1.005	362	45	222	4	411	46	232	150	1.110	-748	106	-642	28,55	1,10
4	2014	Luzernegras	HF	GPS	136,3	109,0	2.920	1.051	45	498	4	629	161	232	150	1.719	-667	312	-356	15,76	0,59
4	2015	Luzernegras	WZF	GPS	67,6	54,1	1.586	571		157	0	168	70			394	177	100	277	7,29	0,25
4	2015	Mais	ZF	GPS	0,0	0,0	0	0	162	75	173	127	0	232	150	919	-919		-919		
4		Fruchtfolge 2013-15			252,5	202,0	5.511	1.984	252	952	181	1.334	277	696	450	4.142	-2.158	518	-1.640	20,51	0,75

Fortsetzung Tabelle A 65: Ökonomische Einzeldaten für die Grundanlage des Grundversuches

FF	Jahr	Fruchtart	Art	Nutzung	TM-Ertrag Grünmas- se	TM- Ertrag Silage	Methan- ertrag Silage	Leistung	Saat- gut- kosten	Dün- ger- kosten	PSM- Kosten	Arbeits- erl.-kosten	Silola- ger- kosten	Flä- chen- kosten	Gemein- kosten	An- bau- kosten	Ergeb- nis	Wert Gärrest- rückfüh- rung	Ergeb- nis mit Gär- restwert	Stück- kosten TM	Stück- kosten Methan
					dt/ha	dt/ha	m³/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/dt TM	€/m³ CH₄
5	2013	Wickroggen /	HF	GPS	102,1	89,8	2.506	902	70	216	0	356	88	232	150	1.111	-209	122	-87	12,37	0,44
5	2013	/ W.Weidelgras	WZF	GPS	13,9	11,1	404	145		17	0	98	10			125	21	14	35	11,21	0,31
5	2014	/ W.Weidelgras	WZF	GPS	35,2	28,2	1.010	364		125	0	138	39			302	62	51	113	10,72	0,30
5	2014	Mais	ZF	GPS	214,8	189,0	6.356	2.288	162	304	36	375	146	232	150	1.405	883	156	1.039	7,43	0,22
5	2015	Rübenkörper entblättert	HF	GPS	150,7	132,6	4.512	1.624	273	252	577	594	268	232	150	2.346	-721	-81	-802	17,69	0,52
5	2015	Rübenkörper geköpft	HF	GPS	138,0	121,4	4.123	1.484	273	252	577	571	246	232	150	2.301	-817	-60	-877	18,95	0,56
5		Fruchtfolge ZR entbl.			516,7	450,8	14.789	5.324	505	914	613	1.560	550	696	450	5.288	35	262	298	11,73	0,36
5		Fruchtfolge ZR gekö.			504,0	439,6	14.400	5.184	505	914	613	1.538	528	696	450	5.244	-60	283	223	11,93	0,36
6	2013	Mais	HF	GPS	89,7	78,9	2.554	919	162	162	46	403	72	232	150	1.228	-308	47	-261	15,55	0,48
6	2014	Mais	HF	GPS	181,9	160,1	5.165	1.859	162	273	44	343	114	232	150	1.319	541	145	685	8,24	0,26
6	2015	Mais	HF	GPS	116,4	102,4	3.291	1.185	162	190	160	335	83	232	150	1.312	-127	79	-49	12,81	0,40
6		Fruchtfolge 2013-15			388,0	341,4	11.010	3.963	486	626	251	1.081	269	696	450	3.859	105	270	375	11,30	0,35
7	2013	Senf	SZF	GrüDü					44	0	0	162				206	-206		-206		
7	2013	Mais	HF	GPS	87,8	77,3	2.497	899	162	155	46	264	71	232	150	1.080	-181	51	-129	13,97	0,43
7	2014	Grünroggen	WZF	GPS	46,5	40,9	1.335	481	83	168	47	318	61			676	-195	76	-119	16,52	0,51
7	2014	SuGr-Hybride	ZF	GPS	150,2	132,2	3.713	1.337	60	221	60	355	135	232	150	1.213	124	60	184	9,18	0,33
7	2015	Wi.triticale	HF	GPS	65,9	58,0	1.787	643	120	116	0	221	41	232	150	880	-237	56	-181	15,17	0,49
7	2015	Einj. Weidel- gras	SZF	GPS	21,6	17,3	561	202	175	103	0	184	31			494	-292	33	-259	28,56	0,88
7		Fruchtfolge 2013-15			372,0	325,6	9.893	3.562	644	763	153	1.504	339	696	450	4.548	-987	276	-711	13,97	0,46

Fortsetzung Tabelle A 65: Ökonomische Einzeldaten für die Grundanlage des Grundversuches

FF	Jahr	Fruchtart	Art	Nutzung	TM-Ertrag Grünmasse	TM-Ertrag Silage	Methan-ertrag Silage	Leistung	Saatgut-kosten	Dünger-kosten	PSM-Kosten	Arbeits-erl.-kosten	Silola-ger-kosten	Flä-chen-kosten	Gemein-kosten	Anbau-kosten	Ergeb-nis	Wert Gärrest-rück-führung	Ergeb-nis mit Gär-restwert	Stück-kosten TM	Stück-kosten Methan
					dt/ha	dt/ha	m ³ /ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/dt TM	€/m ³ CH ₄
8	2013	Wickroggen	WZF	GPS	65,4	57,6	1.597	575	70	209	0	351	85			715	-140	102	-38	12,43	0,45
8	2013	Mais	ZF	GPS	74,9	65,9	2.177	784	162	147	44	415	83	232	150	1.233	-450	15	-434	18,71	0,57
8	2014	Hybridroggen	HF	GPS	93,6	82,4	2.656	956	105	208	61	337	62	232	150	1.156	-199	92	-107	14,03	0,44
8	2015	Blühmi-schung	HF	GPS	43,2	38,0	804	290	297	118	0	181	27	232	150	1.005	-716	47	-669	26,45	1,25
8		Fruchtfolge 2013-15			277,1	243,8	7.234	2.604	634	683	105	1.285	258	696	450	4.110	-1.505	257	-1.248	16,85	0,57
9	2013	Szarvasigras Ansaat	HF	GPS					400	45	42	195		232	150	1.063	-1.063				
9	2014	Szarvasigras	HF	GPS	175,6	154,5	4.076	1.467	106	374		395	127	232	150	1.384	83	241	325	8,96	0,34
9	2015	Szarvasigras	HF	GPS	68,9	60,6	1.598	575	106	192		180	46	232	150	906	-331	77	-254	14,95	0,57
9	2016	Szarvasigras	HF	GPS	38,1	33,5	880	317	106	89		170	37	232	150	785	-468	-7	-475	23,41	0,89
9	2017	Szarvasigras	HF	GPS	61,2	53,9	1.413	509	106	116		164	34	232	150	803	-294	57	-237	14,91	0,57
9		Fruchtfolge 2014-17			343,8	302,5	7.968	2.868	425	772	0	909	245	928	600	3.878	-1.010	368	-641	12,82	0,49
10	2013	D. Silphie Pflanzung	HF	GPS					3.600	75		738		232	150	4.795	-4.795				
10	2014	D. Silphie	HF	GPS	139,5	122,8	2.488	896	480	233		275	118	232	150	1.487	-592	124	-468	12,12	0,60
10	2015	D. Silphie	HF	GPS	108,8	95,7	1.951	702	480	232		232	97	232	150	1.423	-721	82	-638	14,86	0,73
10	2016	D. Silphie	HF	GPS	114,9	101,1	2.058	741	480	210		295	157	232	150	1.524	-783	20	-763	15,08	0,74
10	2017	D. Silphie	HF	GPS	187,7	165,2	3.365	1.211	480	338		348	211	232	150	1.758	-547	167	-380	10,64	0,52
10		Fruchtfolge 2014-17			550,9	484,8	9.862	3.550	1.918	1.014	0	1.150	583	928	600	6.193	-2.642	393	-2.250	12,77	0,63

Tabelle A 66: Ökonomische Einzeldaten für die Spiegelanlage des Grundversuches

FF	Jahr	Fruchtart	Art	Nutzung	TM-Ertrag Grünmasse dt/ha	TM-Ertrag Silage dt/ha	Methaner- trag Silage m³/ha	Leistung €/ha	Saatgut- kosten €/ha	Dünger- kosten €/ha	PSM- Kosten €/ha	Arbeits- erl.- kosten €/ha	Silolager- kosten €/ha	Flächen- kosten €/ha	Gemein- kosten €/ha	Anbau- kosten €/ha	Ergebnis €/ha	Wert Gärrest- rückfüh- rung €/ha	Ergebnis mit Gär- restwert €/ha	Stückkos- ten TM €/dt TM	Stückkos- ten Me- than €/m³ CH ₄
1	2014	Wi.gerste	HF	GPS	65,5	57,6	1.800	648	75	159	47	329	60	232	150	1.052	-404	70	-334	18,25	0,58
1	2014	SuGr-Hybride	SZF	GPS	168,9	148,6	4.183	1.506	60	246	46	334	123			809	697	94	791	5,44	0,19
1	2015	Mais	HF	GPS	106,5	93,7	3.036	1.093	162	168	160	337	84	232	150	1.293	-200	60	-140	13,80	0,43
1	2016	Wi.triticale	HF	GPS	32,4	28,5	866	312	72	114	56	296	29	232	150	948	-636	49	-587	33,25	1,09
1	2016	Phacelia	SZF	GrüDü					68	0	0	104				171	-171		-171		
1		Fruchtfolge 2014-16			373,3	328,5	9.884	3.558	437	687	309	1.398	296	696	450	4.273	-715	272	-442	13,01	0,43
2	2014	Senf	SZF	GrüDü					44	0	0	162				206	-206		-206		
2	2014	SuGr/FuHi	HF	GPS	236,5	208,1	6.129	2.207	91	298	46	553	227	232	150	1.598	609	40	649	7,68	0,26
2	2015	Grünroggen	WZF	GPS	52,1	45,8	1.477	532	88	156	40	236	49			568	-37	81	44	12,40	0,38
2	2015	Mais	ZF	GPS	71,2	62,7	2.062	742	162	137	106	344	68	232	150	1.198	-456	25	-431	19,13	0,58
2	2016	Wi.triticale	HF	Korn	36,3	42,2		616	89	144	56	307		232	150	978	-362		-362	23,17	
2		Fruchtfolge 2014-16			396,1	352,9	9.668	4.097	474	735	247	1.603	343	696	450	4.549	-452	146	-307	12,89	0,37
3	2014	Senf	SZF	GrüDü					44	0	0	162				206	-206		-206		
3	2014	Mais	HF	GPS	239,4	210,7	6.782	2.442	162	347	46	463	154	232	150	1.555	887	225	1.112	7,38	0,23
3	2015	Grünroggen	WZF	GPS	74,0	65,1	2.102	757	83	204	47	264	70			666	91	109	199	10,23	0,32
3	2015	SuGr-Hybride	ZF	GPS	91,8	80,8	2.277	820	42	161	36	355	96	232	150	1.072	-252	29	-223	13,27	0,47
3	2016	Wi.triticale	HF	GPS	35,5	31,2	947	341	89	127	56	319	28	232	150	1.000	-659	73	-586	32,01	1,06
3	2016	Einj. Weidel- gras	SZF	GPS	99,3	79,4	2.526	909	175	240	0	266	65			746	163	201	364	9,39	0,30
3		Fruchtfolge 2014-16			540,0	467,3	14.634	5.268	595	1.079	185	1.829	413	696	450	5.246	23	636	659	11,23	0,36
4	2014	Luzernegras	HF	GPS	124,2	99,4	2.645	952	45	502	0	619	153	232	150	1.701	-749	321	-428	17,12	0,64
4	2015	Luzernegras	HF	GPS	74,5	59,6	1.586	571	45	260	0	344	68	232	150	1.099	-528	115	-413	18,44	0,69
4	2016	Luzernegras	WZF	GPS	56,7	45,4	1.324	477		138	0	143	47			329	148	131	279	7,24	0,25
4	2016	Mais	HF	GPS	90,8	79,9	2.582	929	162	191	160	330	57	232	150	1.282	-352	62	-290	16,04	0,50

Fortsetzung Tabelle A 66: Ökonomische Einzeldaten für die Spiegelanlage des Grundversuches

FF	Jahr	Fruchtart	Art	Nutzungsse	TM-Ertrag Grünmas- se dt/ha	TM-Ertrag Silage dt/ha	Methaner- trag Silage m³/ha	Leistung €/ha	Saatgut- kosten €/ha	Dünger- kosten €/ha	PSM- Kosten €/ha	Arbeits- erl.- kosten €/ha	Silolager- kosten €/ha	Flächen- kosten €/ha	Gemein- kosten €/ha	Anbau- kosten €/ha	Ergebnis €/ha	Wert Gärrest- rückfüh- rung €/ha	Ergebnis mit Gär- restwert €/ha	Stückkos- ten TM €/dt	Stückkos- ten Methan €/m³ CH4
4		Fruchtfolge 2014-16			346,2	284,2	8.137	2.929	252	1.092	160	1.436	325	696	450	4.411	-1.481	629	-852	15,52	0,54
5	2014	Wickroggen /	HF	GPS	91,9	80,9	2.200	792	70	212	0	329	67	232	150	1.060	-268	133	-136	13,11	0,48
5	2014	/ W.Weidelgras	WZF	GPS	39,0	31,2	1.127	406		203	0	234	47			484	-78	110	32	15,50	0,43
5	2015	W. Weidelgras	WZF	GPS	66,0	52,8	1.809	651		164	0	156	59			378	273	79	351	7,17	0,21
5	2015	Mais	ZF	GPS	0,0	0,0	0	0	162	75	173	259	0	232	150	1.051	-1.051		-1.051		
5	2016	Rübenkörper entblättert	HF	GPS	63,5	55,9	1.881	677	273	120	260	322	37	232	150	1.394	-717	33	-683	24,94	0,74
5	2016	Rübenkörper geköpft	HF	GPS	57,8	50,9	1.728	622	273	120	260	318	34	232	150	1.387	-765	34	-731	27,25	0,80
5		Fruchtfolge ZR entbl.			260,4	220,8	7.017	2.526	505	774	433	1.300	210	696	450	4.367	-1.841	354	-1.487	19,78	0,62
5		Fruchtfolge ZR gekö.			254,7	215,8	6.864	2.471	505	774	433	1.296	207	696	450	4.361	-1.890	355	-1.535	20,21	0,64
6	2014	Mais	HF	GPS	228,2	200,8	6.470	2.329	162	318	46	508	155	232	150	1.572	758	168	926	7,83	0,24
6	2015	Mais	HF	GPS	98,8	86,9	2.809	1.011	162	179	160	326	74	232	150	1.283	-272	65	-206	14,76	0,46
6	2016	Mais	HF	GPS	84,8	74,6	2.412	868	162	172	185	324	52	232	150	1.277	-409	51	-358	17,11	0,53
6		Fruchtfolge 2014-16			411,8	362,4	11.691	4.209	486	669	392	1.158	280	696	450	4.132	77	285	362	11,40	0,35
7	2014	Senf	SZF	GrüDü					44	0	0	162				206	-206		-206		
7	2014	Mais	HF	GPS	210,1	184,9	5.959	2.145	162	269	46	443	134	232	150	1.437	709	158	867	7,77	0,24
7	2015	Grünroggen	WZF	GPS	62,9	55,4	1.790	644	83	158	47	248	59			595	50	86	135	10,75	0,33
7	2015	SuGr-Hybride	ZF	GPS	82,8	72,9	2.054	739	42	134	36	345	86	232	150	1.025	-285	27	-259	14,07	0,50
7	2016	Wi.triticale	HF	GPS	27,6	24,3	758	273	89	98	56	258	25	232	150	908	-636	54	-582	37,40	1,20
7	2016	Einj. Weidel- gras	SZF	GPS	57,6	46,1	1.456	524	175	171	0	266	65			677	-153	96	-57	14,69	0,46
7		Fruchtfolge 2014-16			441,0	383,5	12.017	4.326	595	831	185	1.723	369	696	450	4.848	-522	420	-102	12,64	0,40
8	2014	Wickroggen	WZF	GPS	52,2	45,9	1.278	460	70	230	0	351	87			737	-277	127	-150	16,05	0,58
8	2014	Mais	ZF	GPS	234,4	206,3	6.792	2.445	162	315	49	403	165	232	150	1.476	969	162	1.131	7,16	0,22
8	2015	Hybridroggen	HF	GPS	94,2	82,9	2.413	869	105	184	47	250	59	232	150	1.027	-158	81	-77	12,39	0,43
8	2016	Blühmischung	HF	GPS	31,0	27,3	576	208	324	141	36	241	38	232	150	1.162	-954	20	-934	42,60	2,02
8		Fruchtfolge 2014-16			411,8	362,4	11.059	3.981	661	870	132	1.245	350	696	450	4.402	-421	391	-30	12,15	0,40

Tabelle A 67: Ökonomische Einzeldaten der Marktfrucht Winterroggen in der Grundanlage des Grundversuches 2016

FF	Kornertrag 86 % TS dt/ha	Leistung €/ha	Saatgut- kosten €/ha	Dünger- kosten €/ha	PSM- Kosten €/ha	Arbeitserl.- kosten €/ha	Flächen- kosten €/ha	Gemein- kosten €/ha	Anbau- kosten €/ha	Ergebnis €/ha	Stückkosten TM €/dt TM
1	59,9	784	121	42	56	262	232	150	863	-78	14,41
2	57,9	759	121	41	56	261	232	150	860	-102	14,85
3	56,3	737	121	39	56	260	232	150	858	-121	15,25
4	55,2	724	121	39	56	259	232	150	857	-133	15,51
5	53,3	698	121	37	56	261	232	150	857	-159	16,09
6	57,2	749	121	37	56	261	232	150	856	-107	14,96
7	59,4	778	121	42	56	262	232	150	862	-84	14,51
8	60,6	794	121	42	56	262	232	150	863	-70	14,25

Tabelle A 68: Ökonomische Einzeldaten der Marktfrucht Winterroggen in der Spiegelanlage des Grundversuches 2017

FF	Kornertrag 86 % TS dt/ha	Leistung €/ha	Saatgut- kosten €/ha	Dünger- kosten €/ha	PSM- Kosten €/ha	Arbeitserl.- kosten €/ha	Flächen- kosten €/ha	Gemein- kosten €/ha	Anbau- kosten €/ha	Ergebnis €/ha	Stückkosten TM €/dt TM
1	13,8	181	121	8	0	171	232	150	682	-500	49,25
2	13,1	172	121	7	0	170	232	150	681	-509	51,81
3	16,3	213	121	9	0	172	232	150	684	-471	42,02
4	17,1	224	121	9	0	172	232	150	685	-461	40,06
5	20,1	264	121	11	0	174	232	150	688	-425	34,21
6	17,4	228	121	10	0	173	232	150	686	-457	39,31
7	15,3	201	121	8	0	171	232	150	683	-482	44,49
8	15,8	207	121	9	0	172	232	150	684	-477	43,25

Tabelle A 69: Ökonomische Einzeldaten für die Fruchtarten im Hauptfruchtanbau – Mittelwerte aus Grund- und Spiegelanlage (Abbildung 46 und Abbildung 48)

Anzahl	Fruchtart	TM-Ertrag	Methanertrag	Leistung	Anbau-	Ergebnis	Wert Gärrest-	Ergebnis mit	Stückkosten	Stückkosten
		Silage	Silage		kosten		rückführung		Gärrestwert	
		dt/ha	m ³ /ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/dt TM	€/m ³ CH ₄
N=12	Silomais HF	127,4	4.112	1.480	1.328	153	104	257	10,42	0,32
N=2	Futterhirse HF	159,3	4.973	1.790	1.434	356	27	383	9,01	0,29
N=4	Getreide-GPS HF	62,5	1.917	690	1.020	-330	71	-259	16,31	0,53
N=4	Luzernegras HF	76,7	2.039	734	1.407	-673	213	-460	18,34	0,69
N=2	Wickroggen HF	85,4	2.353	847	1.086	-239	127	-111	12,72	0,46
N=2	Blühhmischung HF	32,6	690	249	1.084	-835	34	-802	33,19	1,57
N=2	ZR entblättert	94,2	3.196	1.151	1.870	-719	-24	-743	19,84	0,58
N=2	ZR geköpft	86,2	2.926	1.053	1.844	-791	-13	-804	21,40	0,63
N=4	Szarvasigras	75,6	1.992	717	970	-252	55	-197	12,82	0,49
N=4	D. Silphie	121,2	2.466	888	1.548	-661	98	-562	12,77	0,63
N=2	Wi.triticale Korn	39,2		572	932	-360			23,78	
N=16	Wi.roggen Korn	36,8		482	772	-290			20,97	

Tabelle A 70: Ökonomische Einzeldaten für die Fruchtarten im Zweit- und Zwischenfruchtanbau – Mittelwerte aus Grund- und Spiegelanlage (Abbildung 47)

Anzahl	Fruchtart	TM-Ertrag	Methanertrag	Leistung	Anbau-	Ergebnis	Wert Gärrest-	Ergebnis mit
		Silage	Silage		kosten		rückführung	
		dt/ha	m ³ /ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha
N=8	Silomais ZF	102,9	3.400	1.224	1.253	-29	75	46
N=4	Sudangrasyb. ZF	108,3	3.034	1.092	1.146	-54	48	-6
N=2	WiGerGPS HF vor ZF	46,6	1.432	515	1.042	-526	74	-452
N=2	Sudangrasyb. SZF	108,7	3.057	1.100	781	319	73	393
N=6	Grünroggen GPS	43,1	1.396	503	570	-67	75	8
N=2	Wickroggen WZF	51,7	1.437	517	726	-209	115	-94
N=2	Luzernegras WZF	49,7	1.455	524	361	162	116	278
N=4	Weidelgras SZF	41,4	1.314	473	624	-150	93	-57
N=4	Weidelgras WZF	30,8	1.088	392	322	69	63	133

Tabelle A 71: Ökonomische Einzeldaten für die Anbausysteme im Vergleich zum Hauptfruchtanbau, Werte aus Grund- und Spiegelanlage (Abbildung 49, Abbildung 50 und Abbildung 51)

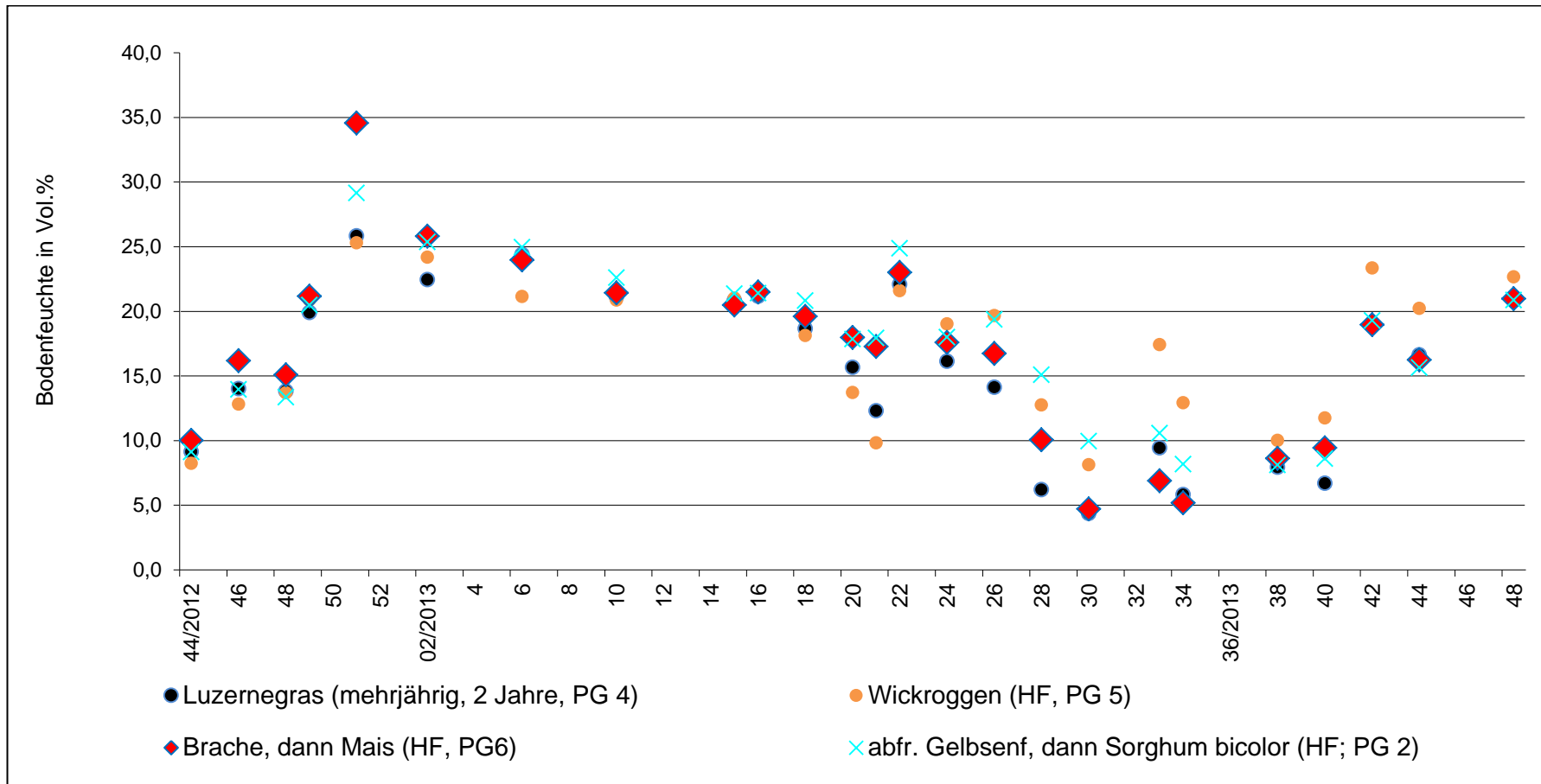
Jahr	Fruchtart	TM-Ertrag	Methanertrag	Leistung	Anbaukosten	Ergebnis	Wert Gärrest-rückführung	Ergebnis mit Gärrestwert	Stückkosten	Stückkosten
		Silage	Silage						€/dt TM	Methan
		dt/ha	m³/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/dt TM	€/m³ CH ₄
2013	Silomais HF (N=3)	81,6	2.639	950	1.145	-195	52	-142	14,03	0,43
	Wickroggen + SM	123,5	3.774	1.359	1.949	-590	117	-472	15,78	0,52
2014	Silomais HF (N=5)	185,4	5.976	2.151	1.467	685	167	852	7,91	0,25
	Wickroggen + SM	252,2	8.070	2.905	2.213	692	290	981	8,78	0,27
	Grünroggen + SM	265,6	8.733	3.144	2.191	953	264	1.217	8,25	0,25
	W.Weidelgras + SM	217,2	7.367	2.652	1.707	945	207	1.152	7,86	0,23
2015	Silomais HF (N=3)	94,4	3.045	1.096	1.296	-200	68	-132	13,74	0,43
	Grünroggen + SM	108,5	3.538	1.274	1.767	-493	105	-387	16,28	0,50
	Luzernegras + SM	54,1	1.586	571	1.314	-742	100	-643	24,29	0,83
	W.Weidelgras + SM	52,8	1.809	651	1.430	-779	79	-700	27,08	0,79
2016	Silomais HF (N=1)	74,6	2.412	868	1.277	-409	51	-358	17,11	0,53
	Luzernegras + SM	125,3	3.906	1.406	1.611	-204	194	-11	12,86	0,41
2013	Wi.gerste + SuGrHy	104,4	2.995	1.078	1.785	-707	131	-575	17,10	0,60
2014	Wi.gerste + SuGrHy	206,3	5.982	2.154	1.861	293	164	457	9,02	0,31
2014	GrüRo + SuGrHy (N=2)	184,2	5351	1926	1958	-32	151	120	10,63	0,37
2015	GrüRo + SuGrHy (N=2)	137,1	4112	1480	1679	-199	125	-74	12,25	0,41
2013	WickRog + W.Weigr	101,0	2.910	1.048	1.236	-188	136	-52	12,24	0,42
2014	WickRog + W.Weigr	112,1	3.327	1.198	1.544	-346	242	-104	13,78	0,46
2015	Wi.triticale HF	56,3	1.733	624	948	-324	61	-264	16,84	0,55
	WiTri + Einj.Weigr (N=2)	78,6	2.438	878	1.458	-581	96	-485	18,55	0,60
2016	Wi.triticale HF	28,5	866	312	948	-636	49	-587	33,25	1,09
	WiTri + Einj.Weigr (N=2)	90,5	2.843	1.024	1.666	-642	212	-431	18,40	0,59

Tabelle A 72: Ökonomische Einzeldaten für die Fruchtfolgen im Mittel von Grund- und Spiegelanlage – Summe der Fruchtfolgejahre (Abbildung 52)

FF	TM-Ertrag Silage	Methanertrag Silage	Leistung	Anbau- kosten	Ergebnis	Wert Gärrest- rückführung	Ergebnis mit Gärrestwert	Stückkosten TM	Stückkosten Methan
Summe Erntejahre	dt/ha	m³/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/dt TM	€/m³ CH ₄
FF 1 Ertrag	330	10.058	3.621	4.328	-707	303	-405	13,12	0,43
FF 2 Ertrag	380	11.109	4.571	4.551	20	211	231	11,98	0,41
FF 3 Ertrag	417	12.841	4.623	5.075	-452	482	30	12,18	0,40
FF 4 Futter	243	6.824	2.457	4.276	-1.820	573	-1.246	17,59	0,63
FF 5 Rüben	336	10.903	3.925	4.828	-903	308	-595	14,38	0,44
FF 6 SM ökon	352	11.350	4.086	3.995	91	278	369	11,35	0,35
FF 7 Klima	355	10.955	3.944	4.698	-754	348	-406	13,25	0,43
FF 8 Biodiv	303	9.147	3.293	4.256	-963	324	-639	14,04	0,47
FF 9 Szarvasi	303	7.968	2.868	3.878	-1.010	368	-641	12,82	0,49
FF 10 Silphie	485	9.862	3.550	6.193	-2.642	393	-2.250	12,77	0,63

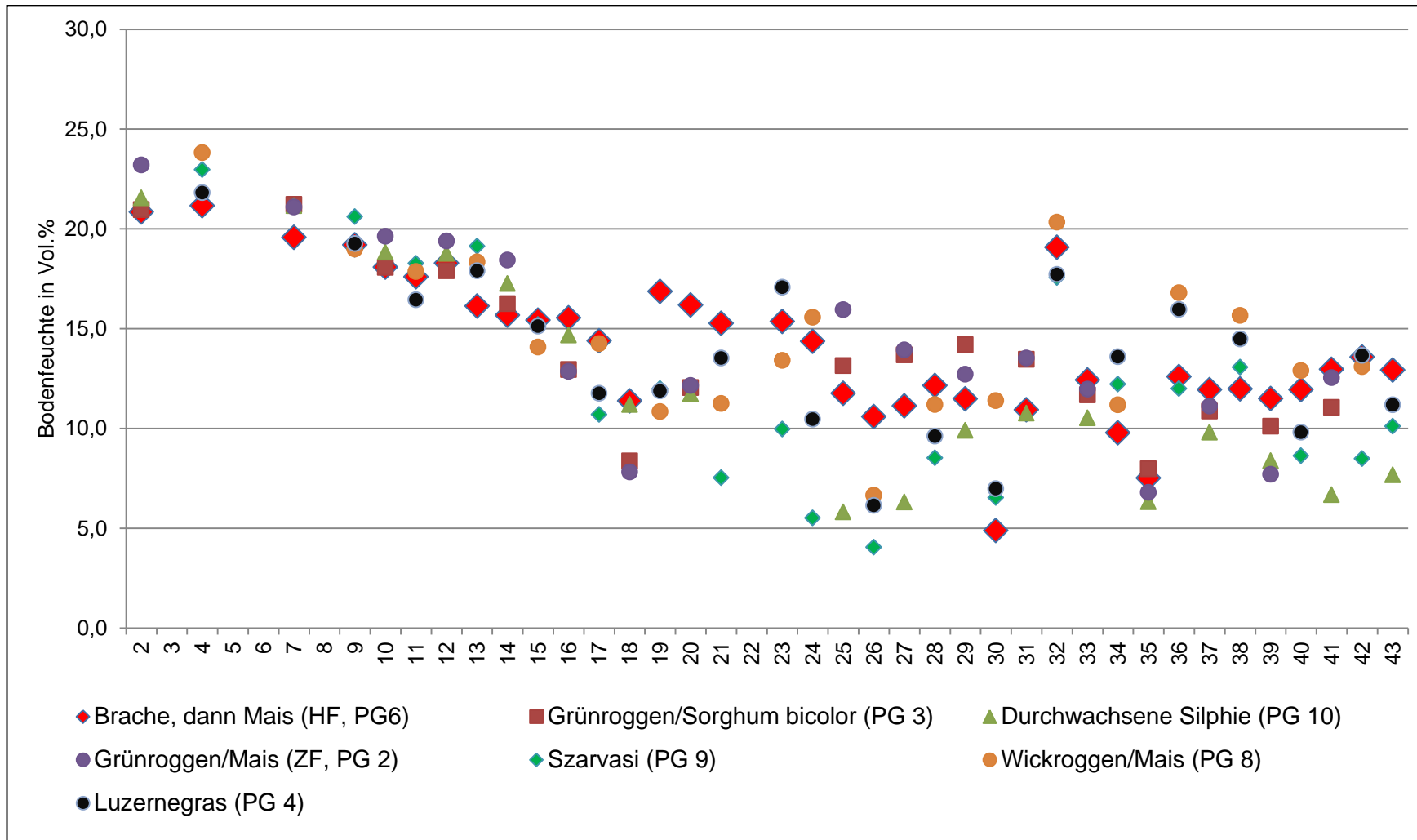
Tabelle A 73: Ökonomische Einzeldaten für die Fruchtfolgen im Mittel von Grund- und Spiegelanlage bezogen auf ein Erntejahr (Abbildung 53)

FF	TM-Ertrag Silage	Methanertrag Silage	Leistung	Anbau- kosten	Ergebnis	Wert Gärrest- rückführung	Ergebnis mit Gärrestwert	Stückkosten TM	Stückkosten Methan
Werte pro Erntejahr	dt/ha	m³/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/dt TM	€/m³ CH ₄
FF 1 Ertrag	110	3.353	1.207	1.443	-236	101	-135	13,12	0,43
FF 2 Ertrag	127	3.703	1.524	1.517	7	70	77	11,98	0,41
FF 3 Ertrag	139	4.280	1.541	1.692	-151	161	10	12,18	0,40
FF 4 Futter	81	2.275	819	1.425	-607	191	-415	17,59	0,63
FF 5 Rüben	112	3.634	1.308	1.609	-301	103	-198	14,38	0,44
FF 6 SM ökon	117	3.783	1.362	1.332	30	93	123	11,35	0,35
FF 7 Klima	118	3.652	1.315	1.566	-251	116	-135	13,25	0,43
FF 8 Biodiv	101	3.049	1.098	1.419	-321	108	-213	14,04	0,47
FF 9 Szarvasi	76	1.992	717	970	-252	92	-160	12,82	0,49
FF 10 Silphie	121	2.466	888	1.548	-661	98	-562	12,77	0,63



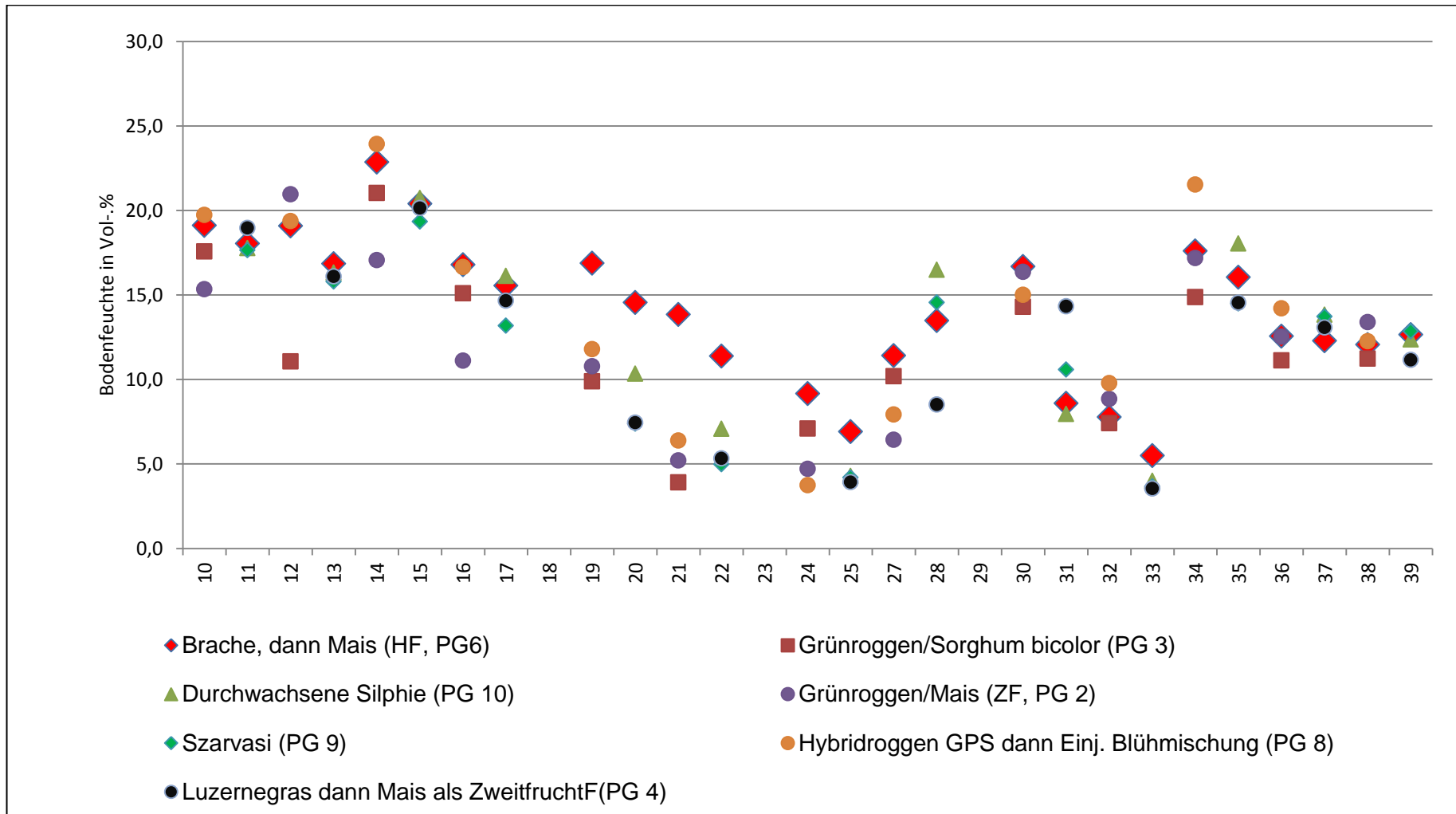
Beschriftung der Abszisse in Kalenderwochen

Abbildung 54: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2012-2013



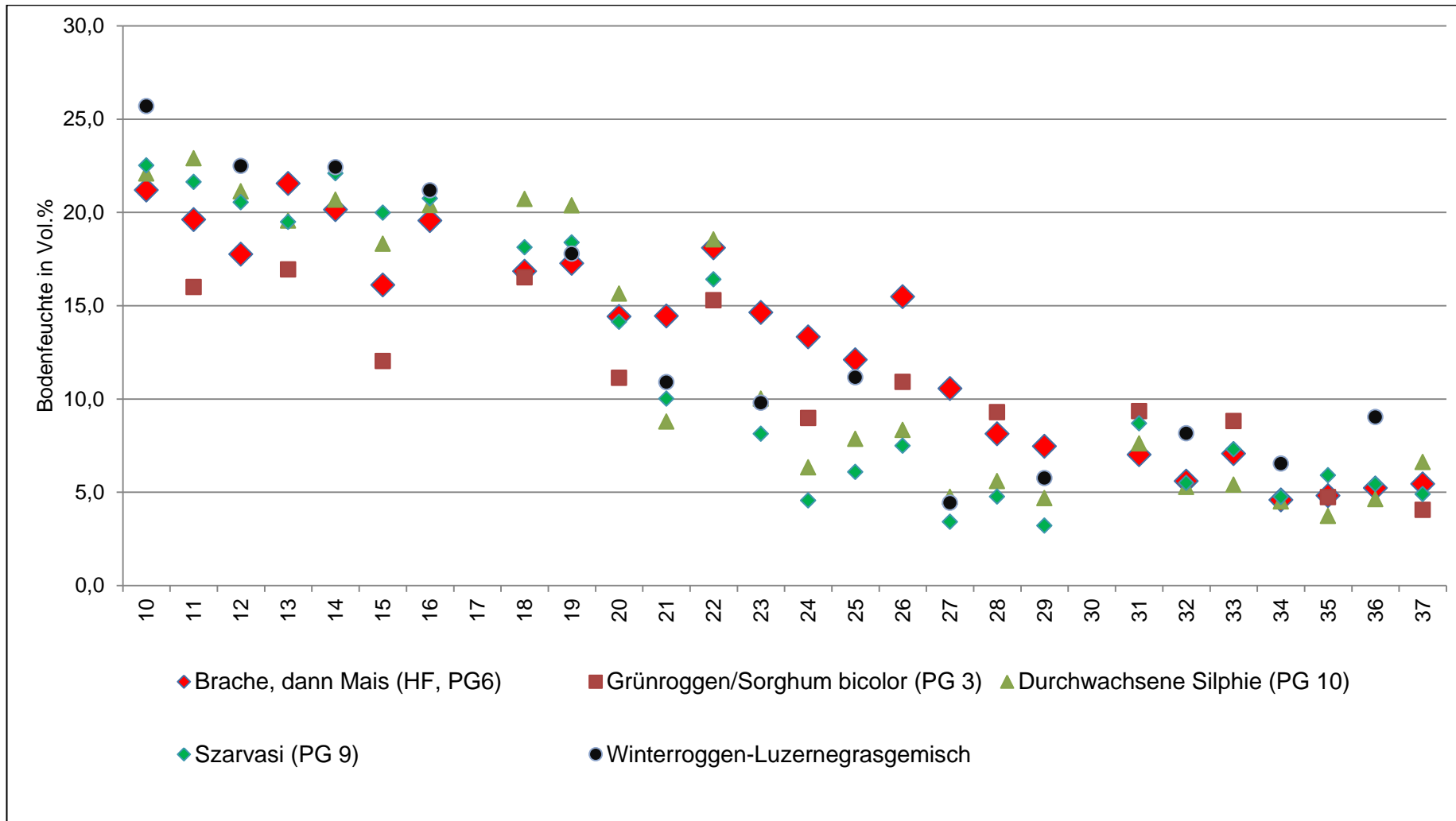
Beschriftung der Abszisse in Kalenderwochen

Abbildung 55: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2014



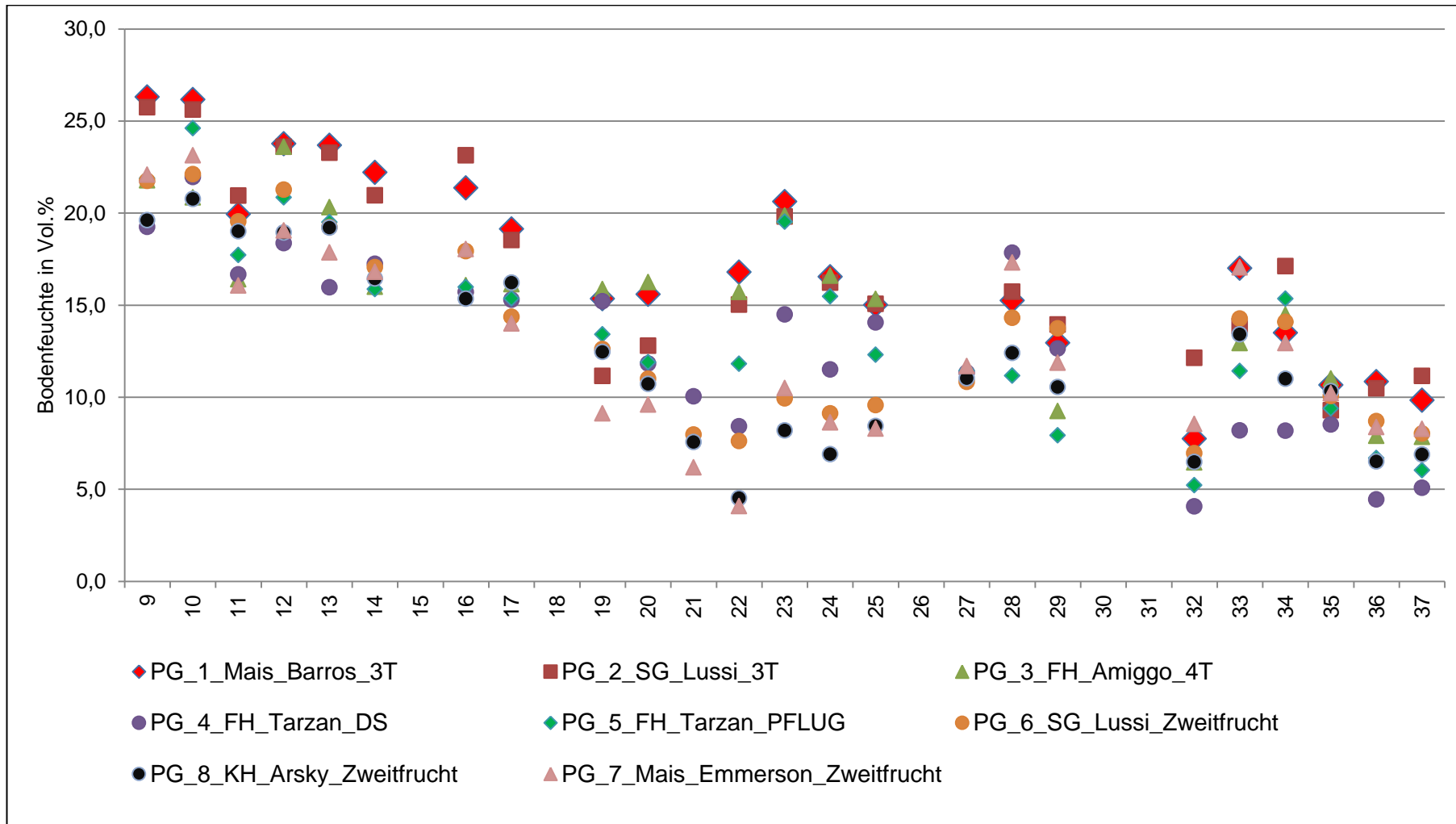
Beschriftung der Abszisse in Kalenderwochen

Abbildung 56: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2015



Beschriftung der Abszisse in Kalenderwochen

Abbildung 57: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2016



Beschriftung der Abszisse in Kalenderwochen

Abbildung 58: Bodenfeuchtemesswerte 0-60 cm Tiefe in Vol.-% verschiedener Varianten am Standort Trossin 2017

Literaturverzeichnis

- ALLUVIONE F. et al. (2011): EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. Energy 36:4468-4481 doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.075>
- BACH, S. (2011): Anpassung des agrarmeteorologischen Wasserhaushaltsmodells METVER an aktuelle Erfordernisse vor dem Hintergrund sich wandelnder klimatischer Randbedingungen und pflanzenbaulicher Gegebenheiten; Masterarbeit im Studiengang Meteorologie; Institut für Meteorologie der Universität Leipzig
- BEISECKER, R. (2012): WRRL. Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft, Kassel
- BIOCARE (2013): Trichogramma Schlupfwespe. Link: <http://www.biocare.de/trichogramma/> (Stand: 3.2.2015)
- BLENGINI G. A. et al. (2011): LCA of bioenergy chains in Piedmont (Italy): A case study to support public decision makers towards sustainability. Resources, Conservation and Recycling 57:36-47 doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.10.003>
- BÖSE, S. (2009): Strom oder Stroh. Saaten Union, Isernhagen
- BUTTLAR (2012): Energiepflanzenbau nach EG-WRRL. Ingenieurgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt (IG-LU), Göttingen Link: <http://www.eva-verbund.de/themen/oekologie/nawaro-anbau-nach-eg-wrrl.html> (Stand: 27.2.2015)
- BSA (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Bundessortenamt, Hannover
- DAVIS S. C. et al. (2013) Management swing potential for bioenergy crops. GCB Bioenergy 5:623-638 doi:10.1111/gcbb.12042
- DWD (1993): Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr. 10, Betriebshandbuch für die Meldestellen des Agrarmeteorologischen Dienstes (BHB AGRAR); Offenbach am Main
- ERCOLI L. et al. (1999): Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of Miscanthus. Field Crops Research 63:3-11 doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00022-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00022-2)
- FLEISCHER, I. (2015): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands („EVA“) – Phase III – Querschnittsaufgabe Risikoabschätzung. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow
- FNR (2010): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow
- GLEMNITZ, M. et al. (2017): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands Phase III (EVA III). Endbericht Teilprojekt II: Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus. (FKZ: 220-061-12). Müncheberg, 161 S.
- GRUNEWALD, J., JÄKEL, K. (2014): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, Phase 2, Teilprojekt 1 „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime auf D-Süd-Standorten“. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen
- GRUNEWALD, J., JÄKEL, K. (2014 b): Hybridroggen-GPS als Biogassubstrat - Ertragsprüfung und Leistungsoptimierung mittels Bioextrusion. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen

- HERRMANN, CH., HEIERMANN, M., IDLER, C. (2009): Silierung von Energiepflanzen, In: Vetter, A., Heiermann, M., Toews, T. (Hrsg.), Anbausysteme für Energiepflanzen. DLG-Verlag. Frankfurt/Main
- ISO 14040 (2009): Umweltmanagement Grundsätze und Rahmenbedingungen-Ökobilanz: DIN EN ISO 14040. Beuth, Berlin
- ISO 14044 (2006): Umweltmanagement-Ökobilanz-Anforderung und Anleitung : DIN EN ISO 14044. Beuth, Berlin
- JÄKEL, KERSTIN; GRUNEWALD, JANA; GRUBITZSCH, ROBERT; 2015: Das Projekt EVA III, Versuchsstandort Trossin (Sachsen), Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Versuchsjahre 2013–2015; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Dresden
- KOLBE, H. (2007): Formen der Nährstoffbilanzierung in Praxis und Beratung des ökologischen Landbaus. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Leipzig
- KUKA, K., FRANKO, U.: (2014) UfZ in Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und –hybriden als Energiepflanzen“.
- KTBL-Feldarbeitsrechner: <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html>
- LFULG (2009): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, Phase 1, Teilprojekt 1 „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime auf D-Süd-Standorten“ (Förderkennzeichen 220-023-05). Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Leipzig
- LFULG (2014): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen zur Biogasproduktion unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands - Phase II (EVA II), Teilprojekt 1 „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime auf D-Süd-Standorten“ (Förderkennzeichen 22013008). Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft und Geologie, Nossen
- LFULG (2015): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Versuchsjahre 2013 - 2015 „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands - Projektphase III (EVA III)“, Teilprojekt 1: „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime auf D-Südstandorten“ (Förderkennzeichen 22006012). Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft und Geologie, Nossen
- LFULG Planungs- und Bewertungsdaten: <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/254.htm>
- MUDRA, A. (1958): Einführung in die Methodik der Feldversuche. Paul Parey, Berlin und Hamburg
- MÜLLER, J. (1987): Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in ausgewählten Vegetationsabschnitten und deren statistische, modellmäßige und kulturbezogene Bewertung; Dissertation A; Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- MYHRE G. et al. (2013): Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Stocker TF et al. (eds) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 659–740. doi:10.1017/CBO9781107415324.018
- NEMECEK T. et al. (2015): Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. European Journal of Agronomy 65:40-51 doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.005>
- PAULUS, J., STARK, G. (2008): Empfehlungen zum Einsatz von Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
- PETER C. et al. (2017): The MiLA tool: Modeling greenhouse gas emissions and cumulative energy demand of energy crop cultivation in rotation. Agricultural Systems 152:67-79 doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.008>

- RÖHRICHT, FREYDANK, SCHRÖDER (2008): Energie vom Sand. Bauernzeitung 25 (2008), S. 26 - 27
- SMITH P. et al. (2014): Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Edenhofer O et al. (eds) Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 811–922
- SZABÓ G. et al. (2014): The Carbon Footprint of a Biogas Power Plant. Environmental Engineering and Management Journal 13:2867-2874 doi:http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol13/no11/Full/22_692_Szabo_14.pdf
- THEIß, M., JÄKEL, K. (2012): Sorghumhirsen, Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenspektrums. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen
- THEIß, M., JÄKEL, K. (2014): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und –hybriden als Energiepflanzen“. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen
- TLL (1999): Merkblatt - Schwefelgehalte in landwirtschaftlichen Kulturpflanzen und organischen Düngestoffen
- VDI 4600 (1997): Cumulative energy demand (KEA) - Terms, definitions, methods of calculation. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf
- VDLUFA (2004): Standpunkt Humusbilanzierung - Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Bonn
- ZANDER, D., JÄKEL, K. (2012): Ergebnisse mehrjähriger Sortenversuche Sorghumhirsen. Schriftenreihe, Heft 24/2012, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0

Telefax: +49 351 2612-1099

E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Das LfULG ist eine nachgeordnete Behörde des
Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft.

Autoren:

Falk Böttcher; DWD

Jana Grunewald; LfULG

Sebastian Häusler; BioChem agrar GmbH

Dr. Kerstin Jäkel; LfULG

Dr. Christiane Peter; LfULG

Annette Schaerff; LfULG

Redaktion:

Dr. Kerstin Jäkel

Abteilung Landwirtschaft, Referat Pflanzenbau

Waldheimer Str. 219, 01683 Nossen

Telefon: +49 35242 631-7204

Telefax: +49 35242 631-7299

E-Mail: kerstin.jaekel@smul.sachsen.de

Fotos:

LfULG

Redaktionsschluss:

28.06.2019

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de