



Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen

Schriftenreihe, Heft 15/2015



Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen

Projektleitung: Dr. Kerstin Jäkel
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Laufzeit: 01.05.2011 bis 30.04.2014
Projekträger: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gülzow

Bearbeiter/Mitarbeiter in den jeweiligen Teilvorhaben:

- Teilvorhaben 1:** Sortenversuche, Evaluierung von Standort, Fruchtart und Sorte
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Tobias Glauert, Carsten Rieckmann
- Teilvorhaben 2:** Saatzeiten, N-Düngung
Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
Dr. Anja Hartmann, Dr. Maendy Fritz
- Teilvorhaben 3:** Herbizidprüfung, Anbau auf Rekultivierungsstandorten und Praxisumfrage zum Sorghumanbau
Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg
Manuela Martin, Dr. Gert Barthelmes
- Teilvorhaben 4:** Substratqualität und Biogaspotenzial, Wirtschaftlichkeit
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Markus Theiß, Dr. Kerstin Jäkel, Karen Pötzschke, Annette Schaeff, Daniela Zander
Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
Doris Krieg
- Teilvorhaben 5:** Wasserverbrauch und Wassernutzungseffizienz von Sorghumhirsen und ökologische Auswirkungen des Sorghumanbaus
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Dr. Maria Wagner, Dr. Steffi Knoblauch
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
Kathleen Hanke, Dr. Uwe Franko, Dr. Katrin Kuka
Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e. V.
Dr. Christian Lange

Gefördert durch:

 Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**FNR**
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.



I	EINLEITUNG UND ZIELE	17
1	Aufgabenstellung	17
2	Voraussetzungen	18
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	19
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	20
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	21
II	SCHLUSSBERICHTE DER TEILVORHABEN	22
1	Beschreibung der Versuchsstandorte	22
1.1	Bodenklimatische Einordnung der Versuchsstandorte	22
1.2	Witterungsverhältnisse im Prüfzeitraum.....	24
2	TV 1: Sortenversuche, Evaluierung von Standort, Fruchtart und Sorte	29
2.1	Einleitung und Aufgabenstellung.....	29
2.2	Material und Methoden.....	30
2.3	Ergebnisse und Diskussion.....	33
2.3.1	Versuchsjahr 2013	33
2.3.2	Versuchsjahre 2011–2013	39
2.4	Zusammenfassung.....	48
3	TV 2: Saatzeiten, Düngung	50
3.1	Einleitung und Aufgabenstellung.....	50
3.2	Material und Methoden.....	50
3.2.1	Versuchsstandorte und Versuchsanlagen im Teilvorhaben 2	50
3.2.2	Arbeitsschwerpunkt II – Saatzeitenversuch	51
3.2.3	Düngeversuch	53
3.2.4	Auswertung	54
3.3	Ergebnisse und Diskussion.....	55
3.3.1	Saatzeitenversuch.....	55
3.3.2	Düngeversuch	73
3.4	Zusammenfassung.....	87
4	TV 3: Herbizidprüfung, Anbau auf Rekultivierungsflächen, Praxisumfrage zum Sorghumanbau	90
4.1	Einleitung und Aufgabenstellung.....	90
4.2	Material und Methoden.....	91
4.2.1	Herbizidprüfung	91
4.2.2	Anbau auf Rekultivierungsstandorten	92
4.2.3	Praxiserhebung zum Sorghumanbau.....	93
4.3	Ergebnisse und Diskussion.....	94
4.3.1	Herbizidversuch.....	94
4.3.2	Anbau auf Rekultivierungsstandorten (Arten- und Sortenprüfung).....	100
4.3.3	Praxisumfrage	105
4.4	Zusammenfassung.....	114
5	TV 4: Substratqualität und Biogaspotenzial, Wirtschaftlichkeit des Sorghumanbaus	117
5.1	Einleitung und Aufgabenstellung.....	117
5.2	Material und Methoden.....	118
5.2.1	Pflanzeninhaltsstoffuntersuchungen	118

5.2.2	Bestimmung des Biogaspotenzials	119
5.2.3	Betriebswirtschaftliche Analysen.....	121
5.3	Ergebnisse und Diskussion	123
5.3.1	Substratqualität und Biogaspotenzial.....	123
5.3.2	Wirtschaftlichkeit des Sorghumanbaus	143
5.4	Zusammenfassung.....	163
6	TV 5: Wasserverbrauch und Wassernutzungseffizienz von Sorghumhirsen und ökologische Auswirkungen des Sorghumanbaus.....	166
6.1	Einleitung und Aufgabenstellung.....	166
6.2	Material und Methoden.....	167
6.2.1	Standortbeschreibung	167
6.2.2	Modellversuch Kleinlysimeter.....	169
6.2.3	Feldversuche Bodenwasserausschöpfung und Wurzelbiomasse	170
6.2.4	Bestimmung der Wurzelbiomasse und Humusreproduktion.....	171
6.2.5	Lysimeterversuch mit Kippenböden	177
6.3	Ergebnisse und Diskussion	180
6.3.1	Wasser-Ertrags-Beziehung von <i>S. bicolor</i> KWS Zerberus im Vergleich zu <i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i> Lussi (Modellversuch mit Kleinlysimetern)	180
6.3.2	Bodenwasserausschöpfung von Sorghumarten und -sorten im Vergleich zu Energiemais (Feldversuche Buttstedt, Güterfelde)	190
6.3.3	Wurzelbiomasse und Humusreproduktion von Sorghumhirsen im Vergleich zu Mais	203
6.3.4	Wasserhaushalt und Nährstoffauswaschung von Sorghumhirsen im Vergleich zu Mais auf Kippenböden	222
6.4	Zusammenfassung.....	236
7	Schlussfolgerungen für die Praxis.....	241
8	Ausblick	244
9	Veröffentlichungen.....	246
10	Literatur	253
11	Anhang	258

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht über Versuche und Standorte im Verbundvorhaben	22
Abbildung 2:	Lückiger und sehr ungleichmäßiger Sorghumbestand in Trossin im Versuchsjahr 2013 (links: 01.07.2013, 35 Tage nach Aussaat; rechts: 19.07.2013, 53 Tage nach Aussaat; gleiche Parzelle)	25
Abbildung 3:	Temperatur und Niederschlag im Jahr 2011 relativ zum lj. Mittel der Versuchsstandorte	26
Abbildung 4:	Temperatur und Niederschlag im Jahr 2012 relativ zum lj. Mittel der Versuchsstandorte	27
Abbildung 5:	Temperatur und Niederschlag im Jahr 2013 relativ zum lj. Mittel der Versuchsstandorte	28
Abbildung 6:	Anbauregion Nord, Ergebnisse 2013	34
Abbildung 7:	Anbauregion Löss, Ergebnisse 2013	36
Abbildung 8:	Anbauregion D-Süd, Ergebnisse 2013 (ohne Gadegast und Trossin)	38
Abbildung 9:	Anbauregion Nord, 3-jährig geprüfte Sorten, Ergebnisse 2011–2013.....	40
Abbildung 10:	Anbauregion Löss, 3-jährig geprüfte Sorten, Ergebnisse 2011–2013 (ohne Ergebnisse Dornburg 2013)	44
Abbildung 11:	Anbauregion D-Süd, 3-jährig geprüfte Sorten, Ergebnisse 2011–2013 (ohne Ergebnisse Gadegast und Trossin 2013).....	47
Abbildung 12:	Saatzeitenversuch am Standort Straubing (von oben nach unten: 1.7.; 17.8.; 14.9.2011)	55
Abbildung 13:	Erheblich verunkrauteter Bestand in Aholfing (Saat: 17.04.2013, Foto vom 20.06.2013)	57
Abbildung 14:	Trockensubstanzgehalte des Saatzeitenversuches zur Ernte an den Standorten der Boden-Klimaregion „Nord“, rote Linie = Ziel-TS-Gehalt von 28 %, Mittel 2011 bis 2013.....	60
Abbildung 15:	Trockensubstanzgehalte des Saatzeitenversuches zur Ernte an den Standorten der Boden-Klimaregion „Löss“, rote Linie = Ziel-TS-Gehalt von 28 %, Mittel 2011 bis 2013, in Aholfing 2011, 2012.....	60
Abbildung 16:	Trockensubstanzgehalte des Saatzeitenversuches zur Ernte an den Standorten der Boden-Klimaregion „D-Süd“, rote Linie = Ziel-TS-Gehalt von 28 %, Mittel 2011 bis 2013, Trossin nur 2011	61
Abbildung 17:	Saatvariante „Mitte April“ im Vergleich zum optimalen Saattermin Mitte Mai für Sorghum- und Maissorten (schraffiert) am Standort Straubing, Versuchsjahr 2013	62
Abbildung 18:	Linearer Fit zwischen TS-Gehalt zur Ernte und der akkumulierten Wärmesumme im Vegetationszeitraum für vier Sorghumsorten, Werte 2011 bis 2013 aller Standorte; Trossin nur 2011; Aholfing nur 2011, 2012	63
Abbildung 19:	Zusammenhang zwischen Entwicklungsstadium (BBCH) und Trockensubstanzgehalt zur Ernte, Werte 2011 bis 2013 aller Standorte und Sorten; Trossin nur 2011; Aholfing 2011, 2012	63
Abbildung 20:	Methanhektarertrag auf den „Nord“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre 2011–2013 und Sorten.....	64
Abbildung 21:	Methanhektarertrag auf den „Löss“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre (Aholfing nur 2011, 2012; Straubing 2011–2013) und Sorten	65
Abbildung 22:	Methanhektarertrag auf den „D-Süd“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre (Güterfelde 2011–2013; Trossin nur 2011) und Sorten.....	65
Abbildung 23:	Zusammenhang zwischen Bestandeshöhe und TM-Ertrag, alle Sorten, Jahre und Standorte, quadratische Regression.....	67
Abbildung 24:	Bestandeshöhe zur Ernte von Sorghum im Saatzeitenversuch in Relation zum ersten Saattermin, gemittelt über alle Standorte und Jahre.....	67
Abbildung 25:	BBCH-Stadium zur Ernte von Sorghum im Saatzeitenversuch, gemittelt über alle Standorte und Jahre	68
Abbildung 26:	Lagerbonitur zur Ernte von Sorghum im Saatzeitenversuch, gemittelt über alle Standorte und Jahre.....	68
Abbildung 27:	Blattflächenentwicklung anhand des Blattflächenindex (LAI) von <i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i> am Standort Straubing 2013, quadratische Regression.....	69
Abbildung 28:	Blattflächenentwicklung anhand des Blattflächenindex (LAI) von <i>S. bicolor</i> am Standort Straubing 2013, quadratische Regression	70
Abbildung 29:	Bestandsentwicklung anhand des BBCH-Stadiums von <i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i> am Standort Straubing 2013, quadratische Regression.....	71

Abbildung 30:	Bestandsentwicklung anhand des BBCH-Stadiums von <i>S. bicolor</i> am Standort Straubing 2013, quadratische Regression.....	71
Abbildung 31:	Deckungsbeitrag auf den „Nord“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre 2011–2013 und Sorten	72
Abbildung 32:	Deckungsbeitrag auf den „Löss“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre (Aholting 2011–2012; Straubing 2011–2013).....	73
Abbildung 33:	Deckungsbeitrag auf den „D-Süd“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre (Güterfelde 2011–2013; Trossin nur 2011) und Sorten.....	73
Abbildung 34:	Stickstoff-Ertragsfunktionen mittels quadratischer Regression am Standort Aholting	76
Abbildung 35:	Stickstoff-Ertragsfunktionen mittels quadratischer Regression am Standort Dasselsbruch	77
Abbildung 36:	Stickstoff-Ertragsfunktionen mittels quadratischer Regression am Standort Straubing.....	78
Abbildung 37:	Trockensubstanzgehalte im Düngerversuch, oben: 2011, in Straubing nicht durchgeführt; Mitte: 2012; unten: 2013.....	79
Abbildung 38:	N-Mangel in <i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i> (links: N0, rechts: N100), Foto vom 27.08.2012 in Straubing	80
Abbildung 39:	N-Mangel in Sorghum bei unterschiedlichen Stickstoff-Stufen; Mittel 2011 bis 2013, Straubing nur 2012 und 2013	81
Abbildung 40:	Lager in Sorghum bei unterschiedlichen Stickstoff-Stufen; Mittel 2011 bis 2013, Straubing nur 2012 und 2013	81
Abbildung 41:	Stickstoff-Effizienz von Sorghum bei unterschiedlichen N-Varianten; Dasselsbruch 2011 bis 2013, Aholting 2011 bis 2012, Straubing 2012.....	82
Abbildung 42:	Bodengehalt an Nitrat bis 60 cm Tiefe nach der Ernte von Sorghum bei unterschiedlichen N-Varianten; Dasselsbruch 2011 bis 2013, Aholting 2011 bis 2012, Straubing 2012	83
Abbildung 43:	Stickstoff-Saldo von Sorghum bei unterschiedlichen N-Varianten; Dasselsbruch 2011 bis 2013, Aholting 2011 bis 2012, Straubing 2012.....	84
Abbildung 44:	Nitratgehalt und Gesamt-N-Gehalt in Sorghum bei unterschiedlichen N-Varianten; gestrichelte Linie = Nitrat-Grenzwert, ab dem sich erste Einschränkungen für die Rinderfütterung ergeben; Standorte Dasselsbruch 2011 bis 2013, Aholting 2011 bis 2012, Straubing 2012.....	85
Abbildung 45:	Deckungsbeiträge im Düngerversuch, oben: 2011, in Straubing nicht durchgeführt; Mitte: 2012; unten: 2013	86
Abbildung 46:	Phytotoxische Reaktionen (Bonitur 1-9) der geprüften Herbizide und Herbizidkombinationen im Mittel der Standorte und Jahre am Beispiel der Futterhirse.....	96
Abbildung 47:	Abhängigkeit des Ertrages von der Phytotoxizität	99
Abbildung 48:	Standfestigkeit zur Ernte (Standortmittelwert 2011–2013, Min–Max).....	104
Abbildung 49:	Pflanzenlänge zur Ernte (Standortmittelwert 2011–2013, Min–Max)	104
Abbildung 50:	Anzahl der Antworten insg. und der davon verwertbaren Fragebögen von 2008 bis 2013	106
Abbildung 51:	Anteil der Pflanzenarten an der Gesamtnennung 2011 bis 2013	106
Abbildung 52:	Anteil der Energiepflanzen an der Anbaufläche 2011–2013 (n = 216)	107
Abbildung 53:	Anteile der Pflanzenarten an Anbauflächenklassen je Umfragejahr (2011–2013)	107
Abbildung 54:	Fruchtfolgestellung von Mais und Sorghum in der Praxis (Mehrfachnennungen waren möglich)	108
Abbildung 55:	Beurteilung produktionstechnischer Aspekte von Sorghum im Vergleich zu Mais	109
Abbildung 56:	Bodenbearbeitung.....	110
Abbildung 57:	Vorfrüchte.....	110
Abbildung 58:	Aussaatzeitraum	111
Abbildung 59:	Saatverfahren.....	111
Abbildung 60:	Düngung.....	112
Abbildung 61:	Unkrautbekämpfung.....	112
Abbildung 62:	Erntezeitraum.....	113
Abbildung 63:	Silagebereitung	113
Abbildung 64:	Anbauerfahrungen mit Sorghum und seine Nutzung	114
Abbildung 65:	Aufbau Kolbenprober (Quelle: HELFFRICH & OECHSNER 2003)	120
Abbildung 66:	Gehalte und Entzüge an Stickstoff, Phosphor und Kali bei Mais und Sorghum, Sortenversuch 2011–2013 (Mittel der Sorten, Standorte und Jahre)	125

Abbildung 67:	Gehalte und Entzüge an Magnesium, Calcium und Schwefel bei Mais und Sorghum, Sortenversuch 2011–2013 (Mittel der Sorten, Standorte und Jahre)	126
Abbildung 68:	Methanausbeute von Mais, Futter- und Körnersorghum (Kernsortiment) in den verschiedenen Anbauregionen im Mittel der Jahre 2011–2013 (kalkuliert nach Weißbach)	130
Abbildung 69:	Methanausbeute von Mais, Futter- und Körnersorghum (Kernsortiment) in Abhängigkeit von Anbauregion und Jahr (kalkuliert nach WEIßBACH)	130
Abbildung 70:	Vergleich der geprüften Mais und Sorghumsorten hinsichtlich Methanausbeute, kalkuliert nach WEIßBACH (Standortmittel, links: orthogonaler Kern, rechts: zweijähriger Vergleich 2012/13)	131
Abbildung 71:	BBCH-Stadium und TS-Gehalt von Mais und Sorghum in Abhängigkeit vom Saattermin (Standort- und Sortenmittel, 2011–2013)	132
Abbildung 72:	Methanausbeute (nach WEIßBACH) bei Mais und Sorghum in Abhängigkeit von Standort und Aussaattermin (Mittel der Jahre 2011–2013, Sortenmittel)	133
Abbildung 73:	BBCH-Stadium und TS-Gehalt verschiedener Sorghumsorten am Standort Trossin in Abhängigkeit vom Erntetermin	136
Abbildung 74:	Methanausbeute nach Weißbach (NI/kg oTS) und Rohligningehalt (% TS) verschiedener Sorghumsorten am Standort Trossin in Abhängigkeit vom Erntetermin	136
Abbildung 75:	BBCH-Stadium und TS-Gehalt verschiedener Sorghumsorten am Standort Straubing in Abhängigkeit vom Erntetermin	138
Abbildung 76:	Methanausbeute nach WEIßBACH (NI/kg oTS) und Rohligningehalt (% TS) verschiedener Sorghumsorten am Standort Straubing in Abhängigkeit vom Erntetermin	138
Abbildung 77:	Gemessene Methanausbeuten (HBT) von Mais und Sorghum (Sortenversuch, Versuchsjahre 2011/12, Silagen)	139
Abbildung 78:	Gemessene Methanausbeuten von Mais und Sorghum im Jahr 2011 (N = Anzahl Sorten je Standort; Mais: Atletico, LG 32.16; Sudangrashybride: Lussi; Futterhirse: Sucrosorgo 506, Hercules, KWS Zerberus, Amiggo)	140
Abbildung 79:	Gemessene Methanausbeuten von Mais und Sorghum im Jahr 2012 (N = Anzahl Sorten je Standort; Mais: Atletico, LG 32.16; Sudangrashybride: Lussi; Futterhirse: Hercules, KWS Tarzan; *an den Standorten zusätzlich Futterhirse KWS Zerberus)	140
Abbildung 80:	Methanhektarertrag von Mais und Sorghum in Abhängigkeit von der produzierten organischen Trockenmasse (Methanausbeuten: Mais = 346 NI/kg oTS, Sorghum = 305 NI/kg oTS)	142
Abbildung 81:	Abweichungen des Erlöses, der Direkt- und AeEr-Kosten und des Deckungsbeitrages bei Sorghum am Standort Grünewalde im Vergleich zu Mais, 2011–2013 (Sortenmittel)	148
Abbildung 82:	Flächenkostenfreie Deckungsbeiträge (€/ha) von Mais und Sorghum an den Versuchsstandorten (*zweijährige Ergebnisse)	149
Abbildung 83:	Wirtschaftliche Relationen zwischen Mais- und Sorghumanbau unter verschiedenen Standortbedingungen (Vergleich von Mais mit der wirtschaftlicheren Sorghumart [grün gestreift = Futterhirse, grün gepunktet = Sudangrashybride, ohne Muster = keine Unterschiede zwischen den Sorghumarten])	153
Abbildung 84:	FM- und TM-Erträge von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Hauptfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013	155
Abbildung 85:	FM- und TM-Erträge von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Zweitfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013	155
Abbildung 86:	DAL (Leistung abzüglich Kosten für Saatgut, Dünge-, Pflanzenschutzmittel und Arbeitserledigung) von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Hauptfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013	157
Abbildung 87:	Ergebnis (Leistung + Betriebsprämie abzüglich Gesamtkosten) von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Hauptfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013	157
Abbildung 88:	DAL (Leistung abzüglich Kosten für Saatgut, Dünge-, Pflanzenschutzmittel und Arbeitserledigung) von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Zweitfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013	158
Abbildung 89:	Ergebnis (Leistung + Betriebsprämie abzüglich Gesamtkosten) von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Zweitfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013	158
Abbildung 90:	Modellrechnung – Ergebnis (mit Betriebsprämie = 321 €/ha) der Anbauverfahren Mais und Sorghum in Abhängigkeit von TM-Ertrag, Silageverkaufspreis und Pachtzins (TS-Gehalt zur Ernte:	

	Mais 30 %, Sorghum 28 %; Verkaufspreis für Sorghumsilage 10 % geringer als bei Mais; Silagepreis für Mais/Sorghum bei 30 % TS).....	161
Abbildung 91:	Bodenfeuchtemessstelle und Sentek-Sonde (Ausschnitt) zur Bodenfeuchtemessung	171
Abbildung 92:	Versuchsanlage des reduzierten Sortenversuches Buttelsekt	171
Abbildung 93:	Probenahme mittels Handbohrer	172
Abbildung 94:	Wurzelwaschanlage	173
Abbildung 95:	Wurzelauswertung von KWS Zerberus aus 0 bis 10 cm Tiefe mittels der Software „winRHIZO 2009“ ..	174
Abbildung 96:	Inkubationsexperiment mit Wurzelrockenmasse aus dem Versuchsjahr 2011 in Kombination mit Ober- und Unterboden	176
Abbildung 97:	Lysimeterversuch zu Wasserverbrauch und Wassernutzungseffizienz von Sorghumhirse und Mais – Versuchsaufbau.....	177
Abbildung 98:	Wachstumsverlauf der beiden Sorghumarten im Modellversuch mit Kleinlysimeter in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung (Mittel 2011–2013)	181
Abbildung 99:	TM-Erträge und TS-Gehalte von Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>) und KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>) im Kleinlysimeterversuch (Mittel 2011–2013) in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung	182
Abbildung 100:	Bodenwasserentzug von Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>) und KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>) auf Löss und Sand 2013	184
Abbildung 101:	Wasserzufuhr im Kleinlysimeterversuch.....	185
Abbildung 102:	Wasserverbrauch von Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>) und KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>) im Kleinlysimeterversuch in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung in den drei Versuchsjahren	186
Abbildung 103:	Wassernutzungskoeffizient (TK) der beiden Sorghumarten im Modellversuch mit Kleinlysimetern (2011–2013).....	186
Abbildung 104:	Wasser-Ertragsbeziehung der beiden Sorghumsorten im Modellversuch mit Kleinlysimetern (2011–2013).....	187
Abbildung 105:	N-Salden von Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>) und KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>) im Modellversuch mit Kleinlysimeterversuch auf den beiden Böden in Abhängigkeit von der Wasserversorgung (Mittel 2011–2013)	188
Abbildung 106:	Stickstoffaustrag unter den Kulturen in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung (Mittel Sickerwasserperioden Nov. 2011–Okt. 2013).....	189
Abbildung 107:	Wachstumsverlauf der Kulturen in den beiden Feldversuchen 2013	191
Abbildung 108:	Erträge und TS-Gehalte der Kulturen an den Standorten Buttelsekt und Güterfelde (Mittel 2011–2013)	192
Abbildung 110:	Bodenfeuchteausschöpfung der Kulturen in Buttelsekt und Güterfelde in den drei Versuchsjahren (Sentek).....	193
Abbildung 110:	Bodenfeuchteausschöpfung (Troxler) von Atletico und LG 32.16 (Mais), Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S.</i> <i>sudanense</i>) und KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>) im Versuchsjahr 2011 auf dem Braunerde- Tschernosem aus Löss	194
Abbildung 111:	Bodenfeuchteausschöpfung Güterfelde 2012 (Sentek).....	196
Abbildung 112:	Bodenfeuchteausschöpfung Buttelsekt 2013 (Sentek)	198
Abbildung 113:	Tiefenausschöpfung des Bodenwassers durch die drei Kulturen 2013.....	199
Abbildung 114:	TM-Erträge mit und ohne Kalium-Düngung.....	201
Abbildung 115:	Bodenfeuchte-Ausschöpfung (MW) von KWS Zerberus mit und ohne K-Düngung in den Jahren 2012 und 2013 am Standort Buttelsekt.....	201
Abbildung 116:	K-Entzüge von KWS Zerberus mit und ohne K-Düngung und Entwicklung des Bodenkaliumgehaltes unter KWS Zerberus mit und ohne K-Düngung.....	202
Abbildung 117:	N-Salden des Feldversuches am Standort Buttelsekt (Mittel drei Jahre)	202
Abbildung 118:	Gesamtwurzellängensumme für 1 m ² im Profil von 0–200 cm	205
Abbildung 119:	Gesamtwurzeloberflächensumme für 1 m ² im Profil 0–200 cm	206
Abbildung 120:	Gesamtwurzelsummensumme für 1 m ² im Profil 0–200 cm	207
Abbildung 121:	Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzelvolumendichte im Profil von 0–30 cm.....	209
Abbildung 122:	Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzelvolumendichte im Profil 30–80 cm	210

Abbildung 123:	Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzelvolumendichte im Profil 80–130 cm	211
Abbildung 124:	Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzelvolumendichte im Profil 130–180 cm	212
Abbildung 125:	Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzelvolumendichte im Profil 180–200 cm	213
Abbildung 126:	Berechnete Trockenmassensummen für 1 m ² für das Bodenprofil 0–200 cm.....	215
Abbildung 127:	Berechneter C-Input für 1 m ² für das Bodenprofil 0–200 cm.....	218
Abbildung 128:	Verteilung der Lagerungsdichte in zwei Bodenprofilen	220
Abbildung 129:	Monatliche Niederschlags- und Sickerwassermengen im Zeitraum Juni 2011–April 2014	224
Abbildung 130:	Dekadenweise Darstellung der an mit QKS und TKS befüllten Lysimetern registrierten Sickerwassermengen (04/2013–04/2014).....	225
Abbildung 131:	Nitratkonzentration im Sickerwasser der mit unterschiedlichen Kippsubstraten befüllten Lysimeter und Nitratgehalte im Niederschlagswasser – Lysimeterstation Grünewalde (01/2012–04/2014).....	231
Abbildung 132:	Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der mit unterschiedlichen Kippsubstraten befüllten Lysimeter und Ammoniumgehalte im Niederschlagswasser – Lysimeterstation Grünewalde (01/2012–04/2014).....	231

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über die Teilvorhaben und Arbeitsschwerpunkte im Verbundvorhaben	17
Tabelle 2:	Arbeitsplanung im Verbundvorhaben	19
Tabelle 3:	Übersicht aller Partner im Verbundvorhaben	21
Tabelle 4:	Charakteristik der Versuchsstandorte im Verbundvorhaben	23
Tabelle 5:	Anbauregionen und Standorte	30
Tabelle 6:	Sortiment 2011–2013	31
Tabelle 7:	Versuchsstandorte im Teilvorhaben 2	51
Tabelle 8:	Termine im Saatzeitenversuch, Versuchsjahr 2011	52
Tabelle 9:	Termine im Saatzeitenversuch, Versuchsjahr 2012	52
Tabelle 10:	Termine im Saatzeitenversuch, Versuchsjahr 2013	52
Tabelle 11:	Grad Wärmesumme und Niederschlag im Saatzeitenversuch, 2011	53
Tabelle 12:	Grad Wärmesumme und Niederschlag im Saatzeitenversuch, 2012	53
Tabelle 13:	Grad Wärmesumme und Niederschlag im Saatzeitenversuch, 2013	53
Tabelle 14:	Termine und Düngestufen im Düngeversuch, 2011	54
Tabelle 15:	Termine und Düngestufen im Düngeversuch, 2012	54
Tabelle 16:	Termine und Düngestufen im Düngeversuch, 2013	54
Tabelle 17:	Trockenmasseertrag und relativer Trockenmasseertrag der Versuchsstandorte (Mittel der Jahre 2011–2013)	58
Tabelle 18:	Trockenmassebildung je Vegetationstag (Sorten- und Jahresmittel; 2011–2013)	59
Tabelle 19:	Reifegruppenempfehlung für den Anbau von Sorghum auf unterschiedlichen Standorten und zu unterschiedlichen Saatterminen und der mit diesen Reifegruppen mögliche TM-Ertrag	61
Tabelle 20:	Feldaufgang und Tage bis zum Auflaufen von Sorghum, Sortenmittel	66
Tabelle 21:	Relativer Trockenmasseertrag im Düngeversuch (Kontrolle ohne Düngung, N0 = 100 %), 2011–2013	74
Tabelle 22:	Signifikanz des Regressionsmodells und Maxima der unabhängigen Variablen der Stickstoff- Ertragsfunktionen ($y = \text{Achsenabschnitt} + B1 \cdot x + B2 \cdot x^2$)	78
Tabelle 23:	Lückenindikation – geprüfte Herbizide über den dreijährigen Versuchszeitraum 2011–2013	92
Tabelle 24:	Übersicht der Diluvial- und Rekultivierungsstandorte (Kippen) zur Arten- und Sortenprüfung 2011–2013	93
Tabelle 25:	Sortenspektrum der Arten- und Sortenprüfung 2011–2013	93
Tabelle 26:	Übersicht der in Sorghum genehmigten Herbizide nach Art. 51 VO (EG) Nr. 1107/2009, ehemals § 18a PflSchG (BVL, Stand 02/2014) <i>Anwendung nur in Sorghum zur Nutzung als nachwachsender Rohstoff für technische Zwecke (u. a. Biogas)</i>	95
Tabelle 27:	Gesamtwirkung und Spannweiten (%) der Herbizide im Mittel der Orte und Prüffahre, geordnet nach Prüffahren und abnehmender Wirkung, orientiert an Futterhirse	97
Tabelle 28:	Wirkung (%) gegen Schadhirse an zwei Standorten, 2011 und 2013	98
Tabelle 29:	Wirkung (%) der Präparate Gardo Gold und Successor T gegen Schadhirse	98
Tabelle 30:	Relativer Trockenmasseertrag (dt/ha) zur Unbehandelten Kontrolle (UK), Ertragsspannen und Anzahl der Erträge rel. > 100 zur Anzahl der Gesamtprüfungen der Herbizide im Mittel der Orte und Prüffahre, geordnet nach Prüffahren und abnehmender Wirkung, orientiert an Futterhirse	100
Tabelle 31:	Vergleich der relativen Trockenmasseerträge (dt/ha) der Sorghumsorten mit Mais (Sortenmittel = Bezugsbasis)	102
Tabelle 32:	Trockensubstanzgehalte (%) der Sorghumsorten und von Mais (Sortenmittel Mais = Bezugsbasis)	103
Tabelle 33:	Befall mit Maiszünsler und Blattflecken zur Ernte im Mittel der Standorte und Jahre	105
Tabelle 34:	Ertragsvergleich (dt TM/ha) im orthogonalen Kern über 4 Standorte und 2 Jahre (2011/12)	116
Tabelle 35:	Sortenempfehlung aus Prüfsortiment 2011–2013 für Haupt- und Zweitfruchtanbau	116
Tabelle 36:	Methodik der in der BfUL untersuchten Parameter (*Dumas ausschließlich im N-Düngungsversuch, ** Stärkeanalyse bei Körnerhirse ausschließlich nasschemisch)	118
Tabelle 37:	Annahmen bei der Berechnung des Deckungsbeitrages in den Sortenversuchen	122
Tabelle 38:	Kosten- und leistungsseitige Annahmen bei der ökonomischen Auswertung der Praxisbetriebe bei fehlender Angabe im Praxisbogen (* pauschale Annahmen)	123

Tabelle 39:	Gehalte an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen bei Mais und Sorghum – Sortenversuch 2011–2013 (Standort- und Sortenmittel; * keine Stärkeanalyse mit NIRS möglich) 1) berechnet nach WEIßBACH	127
Tabelle 40:	Korrelationsmatrix Inhaltsstoffe und Methanausbeute (r_P = Korrelationskoeffizient nach Pearson).....	128
Tabelle 41:	Einfluss des Saattermins auf die Methanausbeute und Inhaltsstoffzusammensetzung	132
Tabelle 42:	Kalkulierte und gemessene Methanhektarerträge von Sorghum auf ausgewählten Standorten im Vergleich zu Mais, Sortenversuch 2011/12 (fett = TM-Ertrag Sorghum > TM-Ertrag Mais; grün = Methanertrag Sorghum relativ im Vergleich zu Mais > 90.....	143
Tabelle 43:	Berücksichtigte Sorten in der ökonomischen Auswertung	144
Tabelle 44:	Deckungsbeiträge D-Nord-Standorte, 2011–2013 (Sortenmittel)	144
Tabelle 45:	Deckungsbeiträge D-Süd + Kippenstandorte, 2011–2013 (gelb = DB Sorghum ≥ DB Mais).....	146
Tabelle 46:	Deckungsbeiträge Lössstandorte, 2011–2013.....	147
Tabelle 47:	Erlös, Direkt-, AeEr-Kosten und Deckungsbeitrag von Sorghum am Standort Grünewalde im Vergleich zu Mais, 2011–2013 (Sortenmittel)	148
Tabelle 48:	Deckungsbeitrag der geprüften Sorghumsorten in Relation zum Gesamtsortiment (Abweichung in €/ha)	151
Tabelle 49:	Deckungsbeiträge von Sorghum im Vergleich zu anderen Energiepflanzen – Vergleich mit Projekt EVA (AURBACHER, KORNAZ & MÜLLER)	154
Tabelle 50:	Wirtschaftliche Ergebnisse der Betriebe beim Substratverkauf (laut Praxisbogen) im Vergleich zur unterstellten Verwertung über die eigene Biogasanlage (grau hinterlegte Werte sind für die Berechnung nicht relevant)	160
Tabelle 51:	Versuchserträge in der Anbauregion D-Süd/K (2011–2013) abzüglich 20 % Praxisabschlag im Vergleich zum kalkulierten Mindestertrag zur Vollkostendeckung (+ Betriebsprämie).....	162
Tabelle 52:	Deckungsbeiträge von Mais und Sorghum unter verschiedenen Anbaubedingungen, 2011–2013 (* = ohne Ergebnisse Welzow 2013, ** = ohne Ergebnisse Trossin 2011)	164
Tabelle 53:	Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Parameter des Braunerde-Tschernosem aus Löss.....	167
Tabelle 54:	Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Parameter der Braunerde aus Bändersand – Braunerde aus Bändersand (Typ 1).....	168
Tabelle 55:	Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Parameter der Braunerde aus Bändersand – Braunerde aus Bändersand über Tieflehm (Typ 2)	168
Tabelle 56:	Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Parameter der Fahlerde aus Kryo-Decksand über solifluidaler kalkhaltiger Grundmoräne und periglazial unbeeinflusstem Bereich der Grundmoräne (Sandtieflehm-Fahlerde)	169
Tabelle 57:	Übersicht über Versuchsvarianten und Untersuchungsparameter im Modellversuch mit Kleinlysimetern ...	169
Tabelle 58:	Sortenspektrum zur Untersuchung der Bodenfeuchteausschöpfung in den Feldversuchen Buttstedt und Güterfelde	170
Tabelle 59:	Probenahmeliste zur Bestimmung der Wurzelbiomasse.....	172
Tabelle 60:	Bodenphysikalische Eigenschaften des in den Lysimetern 26–29 eingesetzten Kipp-Kohlelehmsandes, oj-xls	178
Tabelle 61:	Bodenphysikalische Eigenschaften des in den Lysimetern 18–21 eingesetzten Kipp-Kalklehmsandes, oj-(c)ls	178
Tabelle 62:	Bodenchemische Eigenschaften der im Lysimeterversuch Grünewalde eingesetzten Kippböden Kipp-Kalklehmsand (Lys.-Nr. 18–21) und Kipp-Kohlelehmsand (Lys.-Nr. 26–29).....	179
Tabelle 63:	Mittlere Bodenfeuchteausschöpfung (Aufgang bis Ernte) der beiden Kulturen in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung in den drei Versuchsjahren	182
Tabelle 64:	Sickerwassermengen und mittlere Nitratkonzentrationen des Sickerwassers der Löss- und Sandlysimeter (Mittel Sickerwasserperioden Nov. 2011–Okt. 2013)	188
Tabelle 65:	Weitere Sickerwasserparameter der Löss- und Sandlysimeter (Mittel Sickerwasserperioden Nov. 2011–Okt. 2013).....	190
Tabelle 66:	Bodenfeuchteausschöpfung der Kulturen in Buttstedt in den drei Versuchsjahren, 0–230 cm Tiefe (Neutronensonde, Troxler)	193
Tabelle 67:	Bodenfeuchteausschöpfung der Kulturen in Buttstedt in den drei Versuchsjahren, 40–120 und 120–200 cm Tiefe (Neutronensonde, Troxler)	193

Tabelle 68:	Bodenwasserentzug (Sentek) der Sorten in den Versuchsjahren 2012 und 2013.....	195
Tabelle 69:	An selektiv gesammelten frischen Wurzeln bestimmte Dichte und deren Standard-abweichung	214
Tabelle 70:	Berechnete Frischmasse (FM) der Wurzeln für einen Quadratmeter im Bodenprofil 0–30 cm	214
Tabelle 71:	Stickstoff (N)-, Kohlenstoffgehalte (C)- und C/N-Verhältnisse von Wurzeln, Stoppeln und Streu	216
Tabelle 72:	Quantifizierter C- und N-Input der Ernte- und Wurzelrückstände für 1 m ² in den Oberboden (0–30 cm).....	217
Tabelle 73:	Rohzellulose, -hemizellulose, -lignin und Gesamtzuckerwerte an Wurzeln (2011–2013) und Stoppeln (2013)	219
Tabelle 74:	Ermittelte Abbaukoeffizienten (k) und Synthesekoeffizienten (eta) inklusive Standardabweichung (σ) (n = 5)	221
Tabelle 75:	Verwendete Modellparameter	222
Tabelle 76:	Niederschlags- und Sickerwasserabflussmengen im Lysimeterversuch Grünewalde (Zeitraum April 2012–März 2013).....	226
Tabelle 77:	Niederschlags- und Sickerwasserabflussmengen im Lysimeterversuch Grünewalde (Zeitraum April 2013–März 2014).....	227
Tabelle 78:	Wasserbilanz von Mais und Sorghumhirse während der Vegetationszeit 2013.....	228
Tabelle 79:	Qualität von Niederschlagswasser und Sickerwässern der mit Kipp-Kalklehmsand (QKS) befüllten Lysimeter – Vergleich der Vegetationszeiten 2012 und 2013	229
Tabelle 80:	Qualität von Niederschlagswasser und Sickerwässern der mit Kipp-Kohlelehmsand (TKS) befüllten Lysimeter – Vergleich der Vegetationszeiten 2012 und 2013	230
Tabelle 81:	N-Austrag (kg/ha) durch Sickerwasserabfluss bei mit unterschiedlichen Kippsubstraten befüllten Lysimetern – Lysimeterversuch Grünewalde 01.11.11–31.10.12	232
Tabelle 82:	N-Austrag (kg/ha) durch Sickerwasserabfluss bei mit unterschiedlichen Kippsubstraten befüllten Lysimetern – Lysimeterversuch Grünewalde 01.11.12–31.10.13	233
Tabelle 83:	Nährelementgehalte im Erntegut von <i>Mais</i> und <i>Sorghumhirse</i> – Lysimeterversuch 2013	234
Tabelle 84:	Trockensubstanzgehalte [%] und Trockenmasseerträge [dt/ha] von <i>Mais</i> und <i>Sorghumhirse</i> nach Anbau auf mit quartärem bzw. tertiärem Kippsubstrat befüllten Lysimetern	234
Tabelle 85:	Abschätzung der Wassernutzungseffizienz von auf unterschiedlichen Kippsubstraten angebaute <i>Sorghumhirse</i> und <i>Mais</i> im Vergleich der Versuchsjahre 2012 und 2013.....	236

Abkürzungsverzeichnis

ADF _{om}	Säure-Detergenzien-Faser, aschefrei (engl.: acid detergent fibre)
ADL	Lignin (engl.: acid detergent lignin)
ALS	Acetolactat-Synthase
App.	Applikation
ASP	Arbeitsschwerpunkt
AWM	Aufwandmenge
AZ	Ackerzahl
ÄWP	Äquivalenter Welkepunkt
a _a NDF _{om}	Neutral-Detergenzien-Faser, amylasebehandelt, aschefrei (engl.: neutral detergent fibre)
BB	Brandenburg
BBA	Biologische Bundesanstalt
BBCH	Biologische <u>B</u> undesanstalt, <u>B</u> undessortenamt und <u>C</u> hemische Industrie
BBCH Code	morphologisches Entwicklungsstadium der Pflanze
ber	berechnet
BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BOF	Bodenfeuchte
BSA	Bundessortenamt
BU	Buttelstedt
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BY	Bayern
Ca	Calcium
Corg	organischer Kohlenstoff
CAPBP	Capsella bursa-pastoris (Hirtentäschelkraut)
CHEAL	Chenopodium album (Weißer Gänsefuß)
CIRAR	Cirsium arvense (Acker-Kratzdistel)
d	Tage
DAL	Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung
DB	Deckungsbeitrag
D-Standort	Diluvialstandort
DG %	Deckungsgrad
ECHCG	Echinochloa crus-galli (Hühnerhirse)
EG	Europäische Gemeinschaft
ELOS	enzymlösliche organische Substanz
EPPO	European and Mediterranean Plant Protection Organization
EQUAR	Equisetum arvense (Acker-Schachtelhalm)
ET	Evapotranspiration
EVA	Entwicklung und Vergleich von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen – gefördert durch BMELV über FNR
FH	Futterhirse
FHS	Formulierungshilfsstoff
FIB e.V.	Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V.
FKZ	Förderkennzeichen

FNR e. V.	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
FoTS	Fermentierbare organische Trockensubstanz
FV	Feldversuch
GASCI	Galinsoga ciliata (Behaartes Franzosenkraut)
GK	Gehaltsklasse
GP	Ganzpflanzen
GPS	Ganzpflanzensilage
GÜ	Güterfelde
ha	Hektar
HBT	Hohenheimer Biogasertragstest
HERBA	sonstige Unkräuter
HRAC	Herbicide Resistance Action Committee
JW	Jahreswert
K	Kalium
K-Standort	Kippenstandort
k. E.	keine Ernte
kf.	keimfähige
KL	Kleinlysimeter
Kö.	Körner
KW	Kilowatt
LAMPU	Lamium purpureum (Rote Taubnessel)
LELF	Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg
LFA	Landesanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
LF	Landwirtschaftliche Nutzfläche
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LLFG	Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt
Lö-Standort	Lössstandort
Ls3	mittel sandiger Lehm
LWK NDS	Landwirtschaftskammer Niedersachsen
MATCH	Matricaria chamomilla (Echte Kamille)
MAX	Maximum
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
Mg	Magnesium
MIN	Minimum
MV	Mecklenburg-Vorpommern
MW	Mittelwert
N	Stickstoff
n	Anzahl/Stichprobenumfang
NA	Nachauflauf
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
nFK	nutzbare Feldkapazität
NI	Niedersachsen
NIRS	Nahinfrarotreflektionsspektroskopie
NL	Normliter
O-Bod.	Oberboden
oTM bzw. oTS	Organische Trockenmasse bzw. Organische Trockensubstanz

P	Phosphor
PANCA	Panicum capillare (Haarstielige Hirse)
PET	Potenzielle Evapotranspiration
PflSchG	Pflanzenschutzgesetz
pH	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration in der Bodenlösung
POAAN	Poa annua (Einjähriges Rispengras)
POLAV	Polygonum aviculare (Vogelknöterich)
POLCO	Polygonum convolvulus (Windknöterich)
PSM	Pflanzenschutzmittel
R ²	Bestimmtheitsmaß
r _P	Relationskoeffizient nach PEARSON
RAPRAR	aphanus raphanistrum (Hederich)
red.	reduziert
Ref.	Referat
rel.	relativ
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
RR mm	Rainrate (Niederschlag in Millimeter)
RS	Reihenschluss
S	Schwefel
S 240	Siloreifezahl
S.b.	<i>Sorghum bicolor</i>
SBA	Stickstoff-Bedarfs-Analyse
SGH	Sudangrashybride
SINAR	Sinapis arvensis (Ackersenf)
SI	anlehmiger Sand
SI2	schwach lehmiger Sand
SN	Sachsen
SOLSA	Solanum sarrachoides (Saracho-Nachtschatten)
Ss	reiner Sand
S.s.	<i>Sorghum sudanense</i>
ssp.	Subspezies/Unterart
ST	Sachsen-Anhalt
STEME	Stellaria media (Vogel-miere)
TFZ	Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe Straubing
TH	Thüringen
THLAR	Thlaspi arvense (Acker-Hellerkraut)
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TM	Trockenmasse
TK	Transpirationskoeffizient
TS %	Trockensubstanzgehalt
TV	Teilvorhaben
U-Bod.	Unterboden
UK	unbehandelte Kontrolle
UMS	Umwelt-Monitoring-Systeme
unber.	unberechnet

USA	United States of America
VA	Vorauslauf
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VERAG	Veronica agrestis (Acker-Ehrenpreis)
VIOAR	Viola arvensis (Acker-Stiefmütterchen)
VO	Verordnung
Vol. %	Volumenprozent
VT	Vegetationstage
WUE	Wassernutzungseffizienz (water use efficiency)

I Einleitung und Ziele

1 Aufgabenstellung

Das im Mai 2011 gestartete Verbundvorhaben „Pflanzenbauliche, Ökonomische und Ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden“ (2011–2014) knüpft unmittelbar an die Arbeit des Vorgängervorhabens „Anbautechnik Sorghumhirsen – Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenanbaus“ (2008–2011) an. Ziel des Vorhabens war die Entwicklung eines ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Anbausystems für Sorghum und dessen Einführung in die Praxis.

An dem vorliegenden Verbundvorhaben waren Einrichtungen aus fünf Bundesländern federführend beteiligt:

- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK NI)
- Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ, Bayern)
- Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg (LELF)
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)

Zusätzlich waren vier weitere Einrichtungen in das Vorhaben integriert, die als Auftragnehmer (Kooperationspartner) für die Durchführung der Feldversuche und begleitender Untersuchungen zuständig sind. Zu diesen Institutionen gehörten:

- Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA)
- Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e. V. (FIB)
- Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLFG)
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ)

Das Verbundvorhaben deckte ein weites Spektrum an Aufgaben ab (Tabelle 1). Diese wurden von den beteiligten Institutionen in 5 Teilvorhaben mit insgesamt 10 Arbeitsschwerpunkten bearbeitet. Die Koordination erfolgte durch das LfULG.

Tabelle 1: Übersicht über die Teilvorhaben und Arbeitsschwerpunkte im Verbundvorhaben

	Sortenversuche	Saatzeitenversuche	Düngungsversuche	Herbizidversuche	Rekultivierungsstandorte	Substratqualität, Biogaspotenzial	Praxisumfrage	Wirtschaftlichkeit	Wasserverbrauch, Wassernutzungseffizienz	Ökologische Auswirkungen
Arbeitsschwerpunkt	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
LWK NI	x	x	x			x	x			
TFZ	x	x	x	x		x	x			
LELF, FIB e. V.	x	x		x	x	x	x		x	x
LfULG	x	x	x	x		x	x	x		
TLL, UFZ	x		x			x	x		x	x
LLFG	x					x	x			
LFA	x	x	x	x		x	x			
x...federführend	x...Durchführung der Versuche/Themengebiete									
Teilvorhaben 1	Teilvorhaben 2		Teilvorhaben 3		Teilvorhaben 4			Teilvorhaben 5		

2 Voraussetzungen

Die Biogaserzeugung als grundlastfähige Energieproduktion und der damit einhergehende Anbau von Energiepflanzen ist im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien nach wie vor von großer Bedeutung.

Angesichts der zunehmenden Anbau- bzw. Einsatzbeschränkungen beim Standardbiogassubstrat Mais sowie im Hinblick auf eine umwelt- und sozialverträgliche Biomassebereitstellung sollte „das Spektrum der energetisch nutzbaren Biomasse möglichst breit gefächert“ (Fachverband Biogas) werden. Der Energiepflanzenbau bietet hierzu im Gegensatz zum traditionellen Marktfrucht- und Futterbau, der eine zunehmend stärkere Konzentration auf wenige Fruchtarten erfährt, die Möglichkeit, mehr Biodiversität in die bestehenden Anbausysteme zu bringen. Vor diesem Hintergrund sind dem Landwirt entsprechend standortbezogene Ergänzungen zum Maisanbau aufzuzeigen, die wirtschaftlich tragfähig und leicht in die bestehenden Produktionssysteme einzuordnen sind. Der Anbau von Sorghumhirsen kann in diesem Zusammenhang einen wichtigen Beitrag leisten.

Sorghumhirsen besitzen ein hohes Biomassepotenzial und zählen wie Mais zu den C4-Pflanzen. Aufgrund ihrer Herkunft aus den nordöstlichen Savannengebieten Äquatorialafrikas sind sie zudem gut an trockenes und heißes Klima angepasst und können daher insbesondere unter marginalen Standortbedingungen bzw. bei zunehmender Trockenheit (prognostizierter Klimawandel) einen wichtigen Beitrag zur Ertrags- und Einkommenssicherung in den Betrieben leisten. Die nach jetzigem Kenntnisstand nicht bestehende Anfälligkeit von Sorghum gegenüber dem westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) macht den Anbau zudem in Regionen mit erhöhtem Aufkommen dieses Maisschädlings interessant. Sorghum weist als Pflanze subtropischer Herkunft, ähnlich wie der Mais vor 50 Jahren, eine geringe Kühletoleranz auf, was den Anbau unter den klimatischen Bedingungen Deutschlands zum Teil erschwert. Seitens der Züchter wird auf dieses Problem inzwischen seit geraumer Zeit durch intensive Züchtungsarbeit reagiert.

Im Rahmen des Verbundvorhabens galt es, Möglichkeiten zur Optimierung des Anbauverfahrens in Bezug auf die geringe Kühletoleranz von Sorghum durch eine standortangepasste Wahl des Saatzeitpunktes und der Sorten aufzuzeigen. In den länderübergreifenden Sortenversuchen sollten umfangreiche Kenntnisse zu agronomischen (Ertragsleistung, Abreifeverhalten) und qualitativen Eigenschaften (Methanausbeute) marktrelevanter Sorghumsorten sowie deren Wirtschaftlichkeit unter verschiedenen bodenklimatischen Bedingungen in Deutschland gewonnen werden. Um eine erste Bewertung unter ökologischen Gesichtspunkten zu ermöglichen, wurden weiterhin Untersuchungen zum Pflanzenwasserhaushalt von Sorghum im Vergleich zu Mais und Auswirkungen des Anbaus auf die Humusreproduktion, Sickerwasserbildung und Nährstoffauswaschung im Boden durchgeführt.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Als Arbeitsgrundlage diente die zur Antragstellung eingereichte Vorhabensbeschreibung. Auf dieser Grundlage wurden Koordination, Organisation und sämtliche Planungen im Verbundvorhaben vorgenommen. Einen Überblick über den zeitlichen Ablauf gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Arbeitsplanung im Verbundvorhaben

Monat	2011				2012				2013				2014											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
Vorbereitung, Organisation Feldversuche																								
Durchführung, Betreuung Feldversuche																								
Dateneingabe/Datenkontrolle, -austausch																								
Verteilung Praxisumfragen																								
Probenvorbereitung (Biogas, Inhaltstoffe)																								
Probenanalyse (Biogas*, Inhaltstoffe)																								
Auswertung Feldversuche, Umfragen, Ökonomie																								
Publikationen																								
Zwischenberichte																								
Endbericht**																								
Projekttreffen																								

* späterer Beginn der Batchanalysen aufgrund von Lieferverzögerungen bei der Messeinrichtung (s. Anhang 52)

** Zusammenstellung des gemeinsamen Endberichts bis Juli 2014

Die anbautechnische Durchführung des Vorhabens (dreijährige Anlage von Feldversuchen) wurde seitens der Verbund- und Kooperationspartner über eigene Versuchsflächen bzw. Versuchsflächen von Dienstleistern mit entsprechender Feldversuchstechnik gewährleistet. Die von den Verbundpartnern verbreiteten Umfragen zur Anbautechnik und Ökonomie dienten nicht nur der Daten- und Informationsgewinnung, sondern auch der Kommunikation zwischen Praxis und Versuchswesen.

Die Analysen der Bodenproben erfolgten in hauseigenen Laboren der beteiligten Projektpartner bzw. per Nachauftragnahme in akkreditierten Laboren. Die Pflanzenproben aus dem Verbundvorhaben wurden zentral von der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) analysiert. Die Bestimmung des Biogaspotenzials erfolgte mithilfe der im Rahmen des Projektes angeschafften Versuchsapparatur (Hohenheimer Biogasertragstest).

Bei regelmäßig durchgeführten Projekttreffen wurden die Ergebnisse diskutiert und das weitere Vorgehen besprochen.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Feldversuche

Während des Vorhabens wurden für die praktische Versuchsdurchführung Methoden des Feldversuchswesens angewandt und mit entsprechender Technik durchgeführt. Bekannt dazu sind die Veröffentlichungen zum Feldversuchswesen (PREDIGER et al. 2007a, 2007b).

Analysen

Die Boden- und Pflanzenanalysen wurden in akkreditierten Laboren nach dem Methodenbuch des VDLUFA vorgenommen.

Biogasausbeute

Die Methanausbeute der untersuchten Substrate wurden einerseits über einen mathematischen Ansatz (nach WEIßBACH 2008) berechnet und stichprobenartig im Gärtest mit dem Hohenheimer Biogasertragstest (nach Anleitung von HELLFRICH & OECHSNER 2003) bestimmt.

Auswertung und statistische Verrechnung

Die Archivierung, Aufbereitung und Auswertung der gewonnenen Daten erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel und anderen gängigen Statistikprogrammen (SAS 9.3, SPSS Statistics 17.0, Statistiksoftware R). Mit dem speziell für das pflanzenbauliche Versuchswesen entwickelten Programm PIAF (Planungs-, Informations- und Auswertungssystem für Feldversuchswesen) wurden die Sortenversuche varianzanalytisch ausgewertet. Dieses ist mit der Statistik Software SAS verbunden.

Literatur

Literatur und aktuelle Ergebnisse Dritter wurden mit in die Ergebnisauswertung und Diskussion einbezogen. Die Quellen sind im Literaturverzeichnis (Kapitel 10) angegeben. Das Spektrum der gewählten Literatur umfasste Fachbeiträge aus den Bereichen Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe, Erneuerbare Energien, Biogaserzeugung und im besonderen Maße zu Sorghum. Für die Literaturrecherche wurden Fernleihe, Fachzeitschriften und auch Informationsplattformen des Internets sowie diverse Besuche entsprechender Fachveranstaltungen genutzt.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Um die Bearbeitung des Gesamtvorhabens zu gewährleisten, war die Zusammenarbeit verschiedener Einrichtungen notwendig. Einen Überblick über Partner und Auftragnehmer im Vorhaben gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: Übersicht aller Partner im Verbundvorhaben

Verbundpartner	
LfULG	<ul style="list-style-type: none"> ■ Koordination Gesamtvorhaben ■ Federführung Teilvorhaben 4 ■ Teilnahme am Sorten-(ASP I), Saatzeiten-(ASP II), Düngungs-(ASP III) und Herbizidversuch (ASP IV) ■ Verteilung der Praxisumfragen „Anbautechnik“ (ASP VII) und „Ökonomie“ (ASP VIII)
LWS NI	<ul style="list-style-type: none"> ■ Federführung Teilvorhaben 1 ■ Teilnahme am Sorten- (ASP I), Saatzeiten- (ASP II) und Düngungsversuch (ASP III) ■ Verteilung der Praxisumfragen „Anbautechnik“ (ASP VII) und „Ökonomie“ (ASP VIII)
TFZ	<ul style="list-style-type: none"> ■ Federführung Teilvorhaben 2 ■ Teilnahme am Sorten-(ASP I), Saatzeiten-(ASP II), Düngungs-(ASP III) und Herbizidversuch (ASP IV) ■ Verteilung der Praxisumfragen „Anbautechnik“ (ASP VII) und „Ökonomie“ (ASP VIII)
LELF	<ul style="list-style-type: none"> ■ Federführung Teilvorhaben 3 ■ Teilnahme am Sorten-(ASP I), Saatzeiten-(ASP II) und Herbizidversuch (ASP IV) ■ Verteilung der Praxisumfragen „Anbautechnik“ (ASP VII) und „Ökonomie“ (ASP VIII) ■ Mitarbeit bei Untersuchungen zum Wasserverbrauch (ASP IX)
TLL	<ul style="list-style-type: none"> ■ Federführung Teilvorhaben 5 ■ Teilnahme am Sorten-(ASP I) und Düngungsversuch (ASP III) ■ Verteilung der Praxisumfragen „Anbautechnik“ (ASP VII) und „Ökonomie“ (ASP VIII)
Kooperationspartner	
LFA	<ul style="list-style-type: none"> ■ Teilnahme am Sorten-(ASP I), Saatzeiten-(ASP II), Düngungs-(ASP III) und Herbizidversuch (ASP IV) ■ Verteilung der Praxisumfragen „Anbautechnik“ (ASP VII) und „Ökonomie“ (ASP VIII)
LLFG	<ul style="list-style-type: none"> ■ Teilnahme am Sortenversuch (ASP I) ■ Verteilung der Praxisumfragen „Anbautechnik“ (ASP VII) und „Ökonomie“ (ASP VIII)
FIB e. V.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bearbeitung ASP IX (Nährstoffauswaschung auf Kippenböden) ■ Teilnahme am Sortenversuch auf Rekultivierungsflächen (ASP V)
UFZ	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bearbeitung ASP X (Humusreproduktionsleistung)
Weitere Partner	
BioChem Agrar GmbH	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anlage und produktionstechnische Betreuung der Anbauversuche (ASP I, II, III und IV) am Standort Trossin (Sachsen)
BfUL	<ul style="list-style-type: none"> ■ Analyse der Pflanzenproben im Verbundvorhaben (ASP VI)
Justus von Liebig-Universität Gießen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Betriebswirtschaftliche Auswertung der Anbauversuche

II Schlussberichte der Teilvorhaben

1 Beschreibung der Versuchsstandorte

Entwicklung, Ertragsbildung und stoffliche Zusammensetzung der in den Feldversuchen geprüften Kulturen Sorghum und Mais wurden neben anbautechnischen Faktoren im Wesentlichen durch die bodenklimatischen Bedingungen vor Ort und durch den Witterungsverlauf im Anbaujahr selbst beeinflusst. Vor diesem Hintergrund soll im Folgenden kurz auf die Versuchsstandorte und die Witterungsbedingungen in den einzelnen Anbaujahren eingegangen werden.

1.1 Bodenklimatische Einordnung der Versuchsstandorte

Das Verbundvorhaben umfasst insgesamt 17 Versuchsstandorte aus 7 Bundesländern. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die an den jeweiligen Standorten bearbeiteten Fragestellungen.

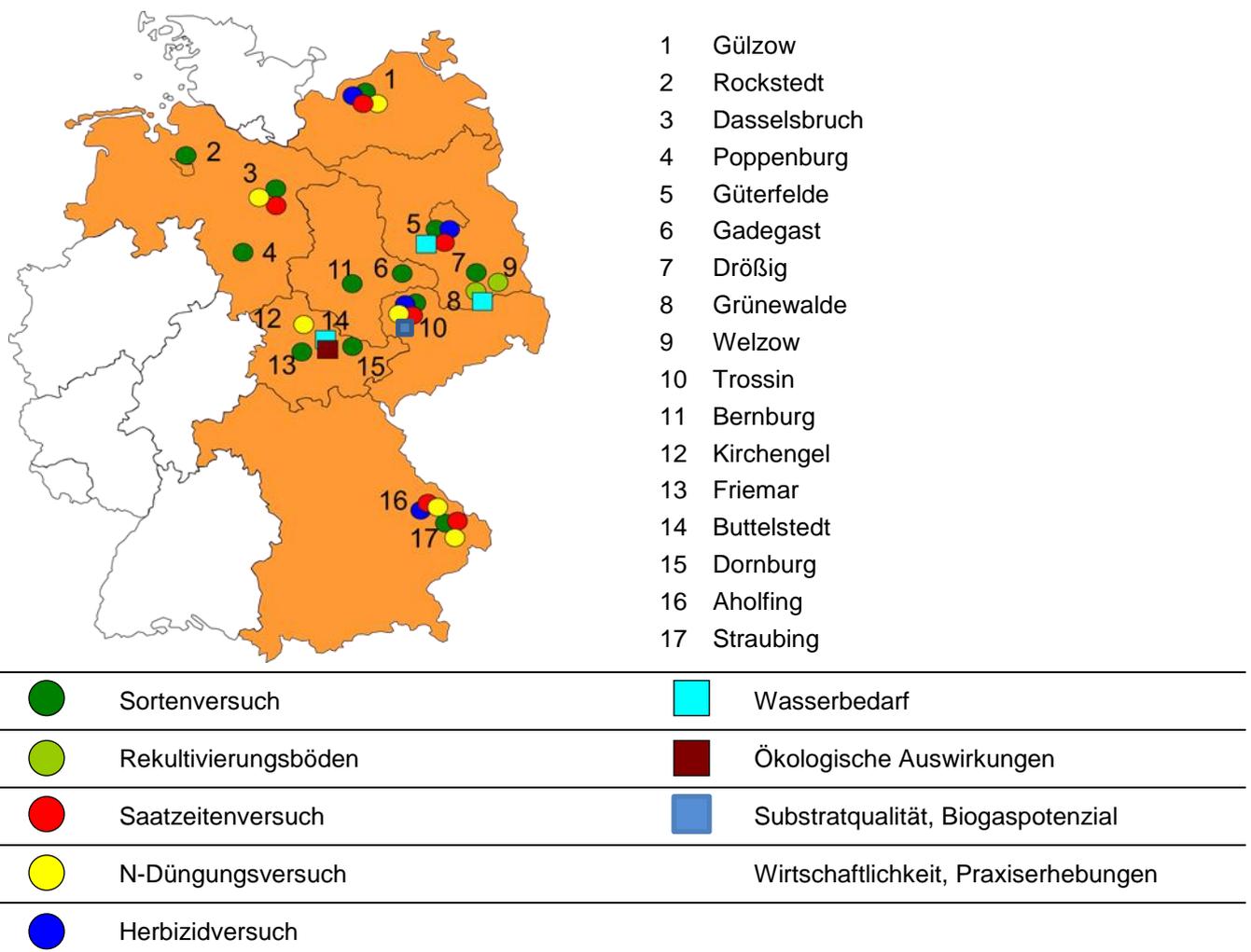


Abbildung 1: Übersicht über Versuche und Standorte im Verbundvorhaben

Im Vorhaben waren sowohl leichte bis mittlere Diluvial-(AZ 25-55) als auch fruchtbare Lössstandorte (AZ 45–96) vertreten. Eine Besonderheit im Standortspektrum stellen die rekultivierten Kippenflächen des ehemaligen Braunkohlentagebaus in der Lausitz dar. Die Versuchsstandorte zeichnen sich in Abhängigkeit von ihrer Lage innerhalb Deutschlands durch ein unterschiedliches Temperatur- und Niederschlagsangebot im Jahr bzw. über die Vegetationsperiode hinweg aus. Die D-Standorte in Mittel- und Ostdeutschland (einschließlich der Kippenstandorte) sowie der Lössstandort Bernburg in der Ackerebene waren im Versuchszeitraum 2011–2013 durch vergleichsweise hohe Temperaturen in der Vegetationsperiode von 14,6 °C (Dröbzig, Grünwalde) bis 15,3 °C (Güterfelde) gekennzeichnet. Dies traf insbesondere auf die Sommermonate Juni bis August zu. Das Wärmeangebot an den höher gelegenen Lössstandorten in Bayern und Thüringen sowie den nördlichen Versuchsstandorten in Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern war vergleichsweise geringer (13,3–14,7 °C). Als Versuchsstandorte mit den höchsten Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode erwiesen sich die bayerischen Standorte Straubing und Aholting (501 mm Niederschlag) sowie Rockstedt in Niedersachsen (470 mm) und Dornburg in Thüringen (452 mm). An den anderen Standorten wurden im Zeitraum April bis Oktober Niederschlagsmengen zwischen 354 mm (Güterfelde, Brandenburg) und 413 mm (Gadegast, Sachsen-Anhalt) im Mittel der Versuchsjahre gemessen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Charakteristik der Versuchsstandorte im Verbundvorhaben

Standort	Boden-Klima-Raum nach ROSSBERG et al. 2007	Höhe über NN [m]	Entstehung	Bodenart	AZ	Niederschlag		Temperatur			
						Jahr (Jan.-Dez.) [mm]	Temperatur Jahr (Jan.-Dez.) [°C]	Jahr (Jan.-Dez.) [mm]	Veget.-periode (Apr.-Okt.) [°C]		
						Ij. Mittel*		2011 - 2013		2011 - 2013	
						[mm]	[°C]	[mm]		[°C]	
Gülzow (MV)	mittlere diluviale Böden MV	10	D	Sl-sL	30-55	570	8,7	535	372	9,4	14,3
Rockstedt (NI)	sandige Böden/Elbe-Weser-Dreieck	29	D	IS	34	768	9,2	805	470	10,1	14,7
Dasselsbruch (NI)	sandige Böden/Lüneburger Heide	41	D	hS	25	688	9,6	527	401	9,4	14,0
Trossin (SN)	trocken-warme diluviale Böden des ostdeutschen Tieflandes	102	D	IS	46	456	9,9	500	359	9,7	14,9
Güterfelde (BB)		44	D	Sl	32	545	9,1	523	354	10,0	15,3
Dröbzig (BB)		108	D	Sl	40	568	8,8	597	409	9,4	14,6
Gadegast (ST)		93	D	IS	35	574	8,7	605	413	9,5	15,0
Welzow (BB)		121	K	Ss	-	571	9,2	562	386	9,5	14,9
Grünwalde (BB)		104	K	Sl	-	568	8,8	597	409	9,4	14,6
Poppenburg (NI)	Lehmböden / Südhannover	88	Lö	L	85	665	9,6	569	388	8,9	13,5
Bernburg (ST)	Lössböden in der Ackerebene (Ost)	80	Lö	uL	90	469	9,1	551	398	9,8	14,9
Dornburg (TH)		270	Lö	Ut	60	585	8,3	587	452	9,1	14,2
Friemar (TH)		284	Lö	L	96	541	8,0	535	399	8,4	13,3
Buttelstedt (TH)		230	Lö	Lu	90	544	8,3	486	359	8,7	13,8
Kirchengel (TH)	Lössböden in den Übergangsl.(Ost)	305	Lö	L	60	557	7,6	540	400	8,9	14,0
Straubing (BY)	Gäu-, Donau-, Inntal	335	Lö	uL	76	671	8,8	706	501	8,9	14,4
Aholting (BY)		322	Lö	IS	45	671	8,8	706	501	8,9	14,4

* langjährige Mittel der Versuchsstandorte: Gülzow (WS Gülzow, 1982–2011); Rockstedt (WS Rockstedt, 1981–2010), Dasselsbruch (WS Dasselsbruch, 1981–2010); Trossin (WS Spröda, 1994–2010); Güterfelde (WS Güterfelde, 1996–2005); Dröbzig (WS Doberlug Kirchhain, 1951–2011); Gadegast (WS Gadegast, 1951–1980); Welzow (WS Cottbus, 1951–2011); Grünwalde (WS Doberlug Kirchhain, 1951–2011); Poppenburg (WS Poppenburg, 1981–2010); Bernburg (WS Bernburg-Strenzfeld, 1961–1990); Dornburg (WS Dornburg, 1961–1990); Friemar (WS Friemar, 1961–1990); Buttelstedt (WS Buttelstedt, 1961–1990); Kirchengel (WS Kirchengel, 1961–1990); Straubing, Aholting (WS Piering, 1994–2008)

1.2 Witterungsverhältnisse im Prüfzeitraum

Die Witterung variierte während des dreijährigen Prüfzeitraumes standort- und jahresabhängig. In Abbildung 3 bis Abbildung 5 sind die im Vegetationszeitraum April bis Oktober an den Versuchsstandorten erfassten Monatsmitteltemperaturen und -niederschläge in Relation zum langjährigen Standortmittel für die jeweiligen Versuchsjahre dargestellt. Die absoluten Temperatur- und Niederschlagswerte können Anhang 1 bis Anhang 4 entnommen werden.

Witterungsverlauf 2011

Der Versuchsbeginn im Mai war auf nahezu allen Standorten durch überdurchschnittlich warme Temperaturen und geringe Niederschläge gekennzeichnet. Die warme Witterung setzte sich im Juni weitgehend fort, wobei das Niederschlagsdefizit auf den trockenen D- und K-Standorten in Mittel- und Ostdeutschland bestehen blieb. Der Juli stellte sich mit Ausnahme der Standorte in Niedersachsen als ausgesprochen niederschlagsreich und vergleichsweise kühl dar. An den Standorten in Mittel- und Nordostdeutschland wurden die langjährigen Niederschlagssummen um das Zwei- bis Dreifache übertroffen (198 mm Niederschlag in Gülzow). Bei hochsommerlichen Temperaturen im August und vergleichsweise milder Witterung im September konnten die Sorghumhirsen bei ausreichender bis sehr guter Wasserversorgung hohe Biomassezuwächse und bevorzugt auf den wärmeren Standorten auch eine sichere Abreife realisieren. Insgesamt waren die Witterungsbedingungen für Sorghum und Mais im Jahr 2011 vielerorts als sehr günstig einzuschätzen (Abbildung 3).

Witterungsverlauf 2012

Auf einen warmen und trockenen Monat Mai folgte ein vergleichsweise kühler Juni (v. a. auf den mittel- und ostdeutschen D- und K-Standorten), der standortabhängig durch mittlere bis hohe Niederschlagsmengen gekennzeichnet war. Die hohen Niederschläge setzten sich im Juli auf den Versuchsstandorten in Sachsen-Anhalt (145 mm in Bernburg) und Thüringen weitgehend fort. In Trossin und Gülzow war hingegen ein deutliches Niederschlagsdefizit zu verzeichnen. Der sehr warme August ging auf den meisten Standorten mit starker Trockenheit einher. In Straubing und Aholting wurden im August hingegen sehr hohe Niederschlagsmengen verzeichnet (157 mm). Der September stellte sich vielerorts als vergleichsweise warm und trocken dar. Mit einem Gesamtniederschlag von nur 228 mm in der Vegetationsperiode und einem deutlichen Niederschlagsdefizit in allen Monaten des Jahres war Gülzow mit Abstand der trockenste Standort im Jahr 2012. Auch in Trossin in Nordsachsen herrschten im Versuchsjahr 2012 sehr trockene Anbaubedingungen. Im Zeitraum Juli bis Oktober blieben die Niederschläge am Standort in allen Monaten unter dem langjährigen Mittel (Abbildung 4).

Witterungsverlauf 2013

Das Versuchsjahr 2013 war durch besondere Witterungsextreme gekennzeichnet. Der Mai stellte sich zunächst auf nahezu allen Standorten (Ausnahme Güterfelde) mit Niederschlägen von 200 bis 300 % über dem langjährigen Mittel als ausgesprochen niederschlagsreich dar. Insbesondere auf den Thüringer Lössstandorten wurden außerordentlich hohe Niederschlagsmengen gemessen (192 mm bzw. 202 mm in Buttstedt und Friemar). Diese führten vielerorts, vor allem auf den schweren Böden, zu einer starken Verschlammung der Bodenoberfläche, wovon die später gesäten und deutlich empfindlicheren Sorghumhirsen oftmals stärker betroffen waren als der Mais. Auf den meisten Standorten spiegelten sich die ungünstigen Bedingungen zum Feldaufgang in der Folgezeit in sichtlich dünneren und heterogeneren Beständen wider. In Welzow und Gadegast waren aufgrund der schlechten Auflaufraten Neuansaat Anfang Juni erforderlich. Am Standort Dornburg wurde der Aussaattermin bei Sorghum angesichts der hohen Wassersättigung der Böden in den Juni verlegt. Dieser präsentierte sich wie der Mai als durchschnittlich warm bzw. mitunter recht kühl (Trossin, Poppenburg, Straubing) sowie an den Standorten Trossin, Rockstedt, Straubing und in der Niederlausitz weiterhin als sehr niederschlagsreich. Die Sommermonate Juli und August waren an allen Standorten durch sehr warme, z. T. heiße Temperaturen sowie anhaltende Trockenphasen im Juli und August (standortabhängig) geprägt. Insbesondere auf den D- und K-Standorten Mittel- und Ostdeutschlands sowie in Bernburg, Straubing und Aholting wurden im Juli ausgesprochen hohe

Monatsmitteltemperaturen von weit über 20 °C (21,7 °C in Gadegast) bei Niederschlagsmengen von teilweise unter 35 mm (7 mm in Straubing, Aholting) gemessen. Während im August an einigen Standorten die Niederschläge wieder einsetzten, blieb es auf den nördlichen D-Standorten, in der Niederlausitz sowie in Buttelstedt und Dornburg weiterhin vergleichsweise trocken. Der September war durch eher kühle Witterungsverhältnisse bei normaler bis guter Niederschlagsverteilung gekennzeichnet (mit Ausnahme der Standorte Trossin und Welzow) (Abbildung 5).

Besonderheiten im Untersuchungszeitraum

Ein lokal aufgetretenes Sturmereignis am Standort Trossin im Jahr 2011 führte in Teilen des Sortenversuches zu vollständigem Lager, sodass bei diesen Sorten keine gesicherte Ertragserfassung möglich war. Die durch einen ungenügenden Feldaufgang bedingte Neuanlage des Sortenversuches im Juni 2013 am Standort Welzow etablierte sich aufgrund der starken Trockenheit und zum Teil sehr heißen Temperaturen im Juli und August nicht mehr ausreichend und war sehr heterogen, was zu einer Nichtwertung des Versuches führte. In Gadegast musste der Sortenversuch ebenfalls aufgrund eines ungenügenden Feldaufgangs neu angelegt werden (Praxisschlag). Wegen eines massiven Wildschweinschadens konnten die Erträge der Maisparzellen aus der Neuanlage nicht ermittelt werden. Stattdessen wurde der Mais aus dem ursprünglich angelegten Sortenversuch beerntet. In Trossin führten die massiven Starkniederschlagsereignisse in der Auflaufphase, wie in Abbildung 2 zu sehen, zu sehr dünnen und ungleichmäßigen Beständen (Pflanzen starben nach dem Auflaufen zum Teil wieder ab). Die widrigen äußeren Bedingungen im Versuchsverlauf führten dazu, dass die Versuche an den Standorten Gadegast und Trossin im Jahr 2013 nicht gewertet wurden.



Abbildung 2: Lückiger und sehr ungleichmäßiger Sorghumbestand in Trossin im Versuchsjahr 2013 (links: 01.07.2013, 35 Tage nach Aussaat; rechts: 19.07.2013, 53 Tage nach Aussaat; gleiche Parzelle) (Foto: LfULG)

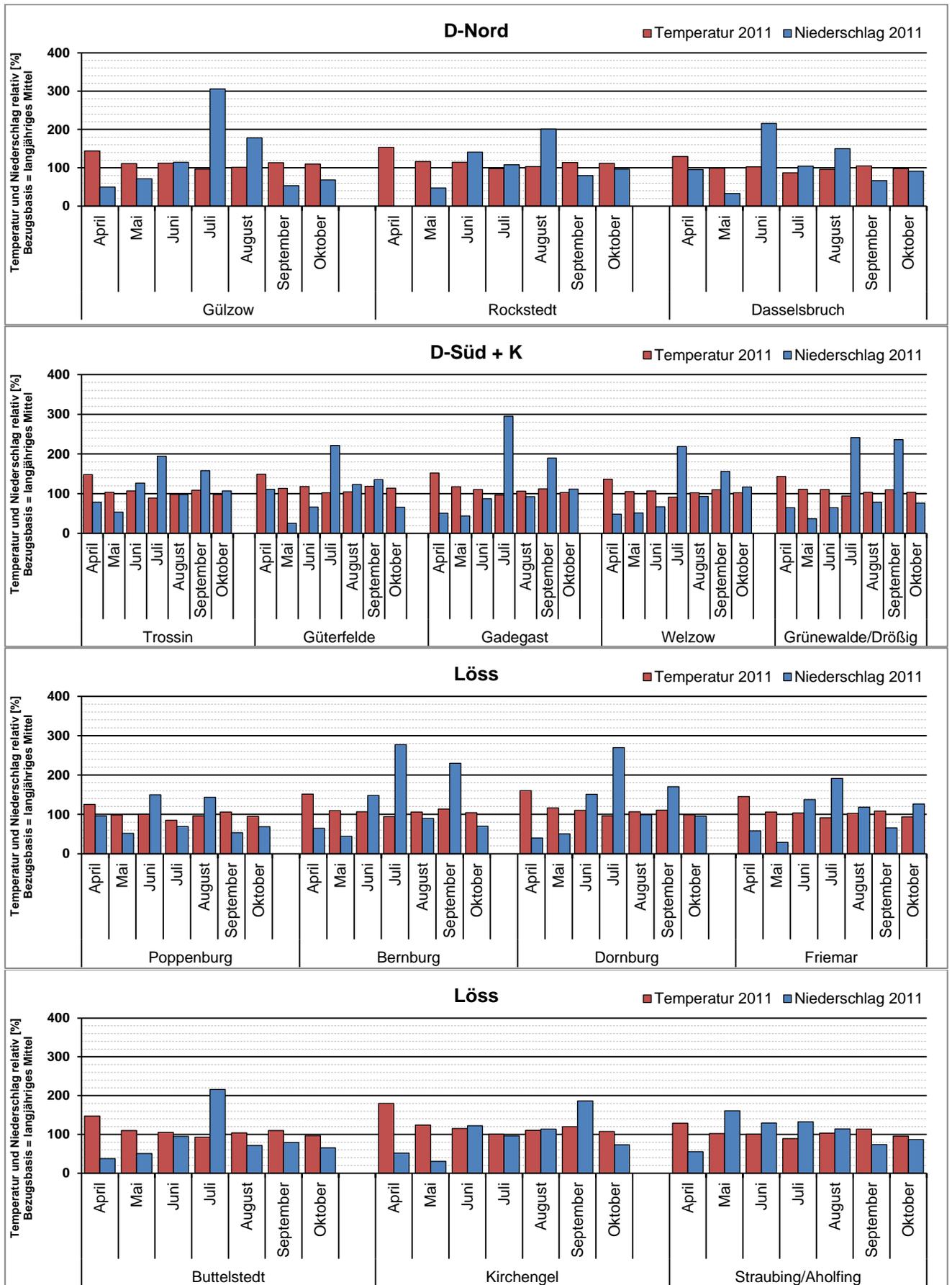


Abbildung 3: Temperatur und Niederschlag im Jahr 2011 relativ zum l.j. Mittel der Versuchsstandorte

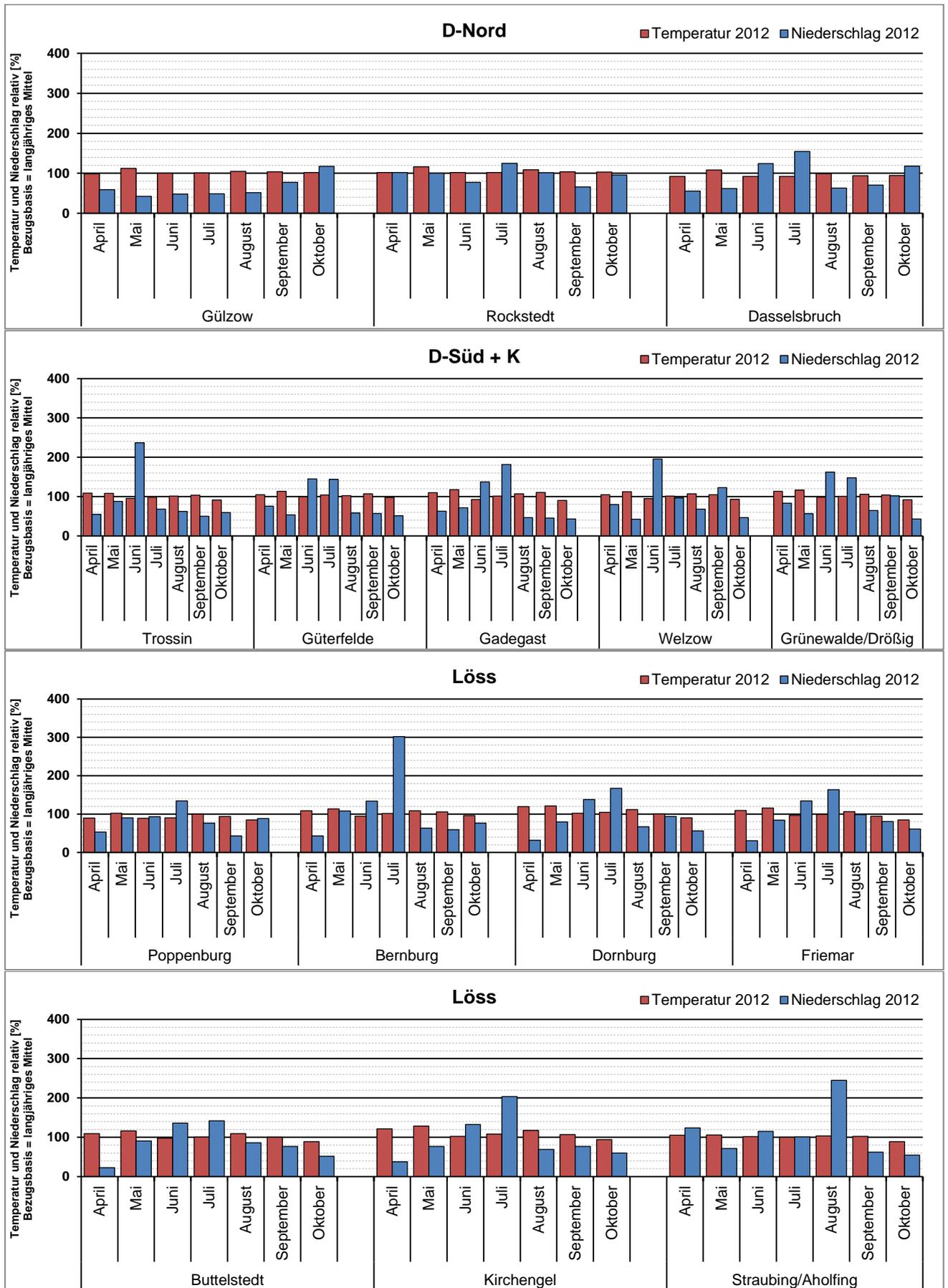


Abbildung 4: Temperatur und Niederschlag im Jahr 2012 relativ zum l.j. Mittel der Versuchsstandorte

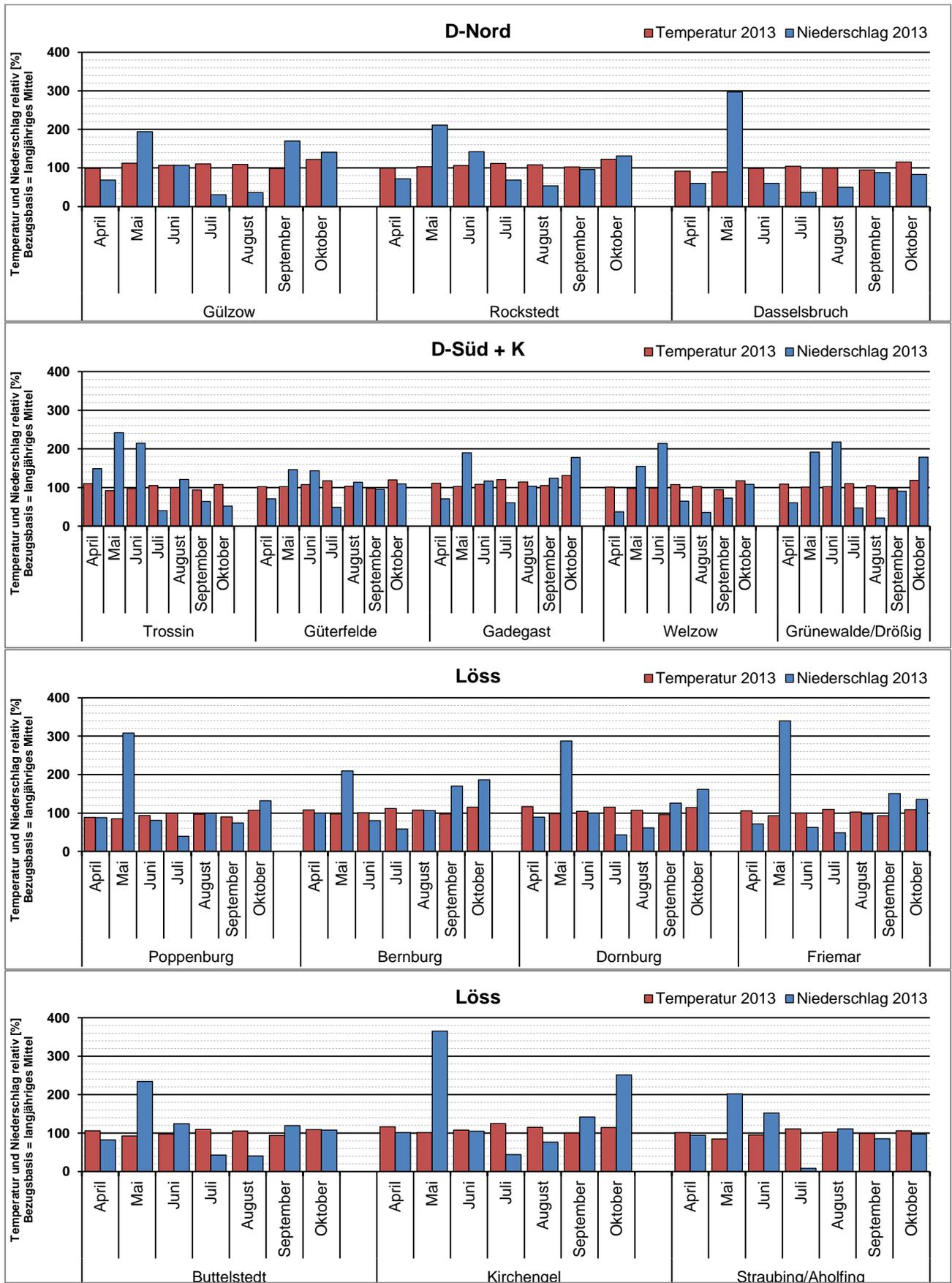


Abbildung 5: Temperatur und Niederschlag im Jahr 2013 relativ zum l.j. Mittel der Versuchsstandorte

2 TV 1: Sortenversuche, Evaluierung von Standort, Fruchtart und Sorte

Tobias Glauert und Carsten Rieckmann, Landwirtschaftskammer Niedersachsen

2.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Mais gilt aufgrund seines hohen Trockenmasse- und Methanertragspotenzials, der etablierten Technik, der guten Silierbarkeit und Wirtschaftlichkeit als erste Wahl bei den Substraten zur Biogasproduktion.

Vor dem Hintergrund der Nachfrage nach Substraten für Biogasanlagen ist die Maisanbaufläche regional sehr hoch. Es besteht die Kritik, dass sich diese Entwicklung negativ auf biotische und abiotische Umweltfaktoren sowie das Landschaftsbild auswirkt. Aus diesem Grund wird verstärkt nach gleichwertigen Pflanzenarten zur Ergänzung des Energiemaisanbaus geforscht. Besonders die Energiepflanzenpalette für leichte, von Trockenheit gefährdeten Standorten ist bisher noch sehr eingeschränkt.

Der Anbau von Sorghum kann vor dem Hintergrund zunehmender Anbau- bzw. Einsatzbeschränkungen beim Mais (Schädlinge, gesetzliche Vorgaben) einen wichtigen Beitrag zur Substratversorgung leisten. Sorghum zählt wie der Mais zu den C4-Pflanzen und verfügt über ein hohes Biomassebildungspotenzial. Sogar bei lang anhaltenden Trockenperioden verfügt Sorghum über ein gutes Regenerationsvermögen und ist noch in der Lage, entsprechende Trockenmasseerträge zu erreichen. Damit lässt sich der Anbau von Sorghum auf sommertrockenen Standorten gegenüber dem Mais als wettbewerbsfähig beschreiben.

In der Bundesrepublik finden erst seit 2012 die ersten offiziellen Wertprüfungen durch das Bundessortenamt statt; ein Beleg für das zunehmende Interesse an dieser Kulturart. Erst nach zweijährigen erfolgreichen Prüfungen liegen entsprechende Sortenbeschreibungen durch das Bundessortenamt vor. Die derzeit in Prüfungen einzelner Länderdienststellen stehenden Sorten bzw. Züchtungsstämme werden vielfach von Züchtungsunternehmen zur Verfügung gestellt. Die Sorten bzw. Züchtungsstämme stammen aus europäischen oder auch außereuropäischen Ländern, die teils stark von den hiesigen klimatischen Bedingungen abweichen. Die für die Praxis vertriebsfähigen Sorten sind lediglich im europäischen Sortenkatalog eingetragen und daher in Deutschland vertriebsfähig. Eine Ableitung der Leistungen und Eigenschaften dieser Sorten ist auf die unterschiedlichen Standortgegebenheiten in Deutschland nur sehr eingeschränkt übertragbar.

Um für die Praxis aussagekräftige Sortenbeschreibungen erstellen zu können, sind umfassende Sortenprüfungen erforderlich, denn erste Züchtungsunternehmen beginnen bereits, speziell für die hiesigen Standorte adaptierte Sorten bereitzustellen.

Beim Sorghum unterscheidet man zwischen drei unterschiedlichen Arten:

- *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Zucker-/Futterhirse)
- *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf (Sudangras)
- *Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf (Sudangrashybride)

Bei den im Verbundvorhaben bearbeiteten Arten handelt es sich zum einen um Futterhirse, zum anderen um Sudangrashybriden.

Beim Teilvorhaben 1 sollen Eigenschaften und Leistungen von Sorghumarten und -sorten auf unterschiedlichen Standortgegebenheiten Deutschlands beschrieben und konkrete Sortenbeschreibungen erstellt werden. Um für unterschiedliche klimatische Regionen verbesserte Sortenempfehlungen erarbeiten zu können, ist es erforderlich, die Sorghumarten und -sorten in Reifegruppen einzuteilen; eine Voreinstufung ist vor Versuchsanlage erfolgt, um eine abreifenspezifische Beerntung zu gewährleisten.

Die Prüfungen wurden bundesweit an 14 Standorten durchgeführt. Davon zählen zwei Standorte in Brandenburg (Grünewalde und Welzow) zu den Rekultivierungsstandorten, die im Rahmen des Teilvorhabens 3 ausgewertet werden. Neben 13 Sorghumsorten sind in den Versuch zwei Maissorten als Referenz integriert. Mittels der Untersuchung von Silageproben und vermahlenden Trockenproben wurden die Arten bzw. Sorten hinsichtlich ihres Nährstoffbedarfs und der Gasausbeute (Teilvorhaben 4) beurteilt.

2.2 Material und Methoden

Anbauregionen

Um die im Projekt vertretenden Sorten und Sortentypen hinsichtlich ihrer Anbaueignung in klimatisch unterschiedlichen Regionen bewerten zu können, wurde in der Planung des Verbundvorhabens eine Zuordnung der beteiligten Prüfstandorte zu drei Anbauregionen vorgenommen. Diese Einteilung ist in Tabelle 5 dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Standorte ist bereits am Anfang des Gesamtberichts zu finden. Die Ergebnisdokumentation und Auswertung im Verlauf des Berichts orientiert sich an dieser Struktur.

Grundsätzlich lassen sich die Prüfstandorte der Anbauregion **Nord** als typische Sandstandorte, die unter kühlem Witterungseinfluss stehen, beschreiben.

Die von ihrer Bodengüte besser gestellten Standorte der so genannten Anbauregion **Löss** zeichnen sich durch lehmige bzw. schluffhaltige Böden mit einem hohen Ertragsniveau aus.

Zur Anbauregion **D-Süd** zählen schwerpunktmäßig Standorte im mittel- und ostdeutschen Raum mit geringeren Niederschlagssummen, höheren Durchschnittstemperaturen und der Gefahr von Sommertrockenheit.

Tabelle 5: Anbauregionen und Standorte

Anbauregion	Bundesland	Standort
Nord	Niedersachsen (NI)	Rockstedt
	Niedersachsen (NI)	Dasselsbruch
	Mecklenburg-Vorpommern (MV)	Gülzow
Löss	Niedersachsen (NI)	Poppenburg
	Sachsen-Anhalt (ST)	Bernburg
	Thüringen (TH)	Friemar
	Thüringen (TH)	Dornburg
D-Süd	Bayern (BY)	Straubing
	Brandenburg (BB)	Güterfelde
	Brandenburg (BB)	Drößig
	Sachsen-Anhalt (ST)	Gadegast
	Sachsen (SN)	Trossin

Versuchsanlage

Die Durchführung des Sorghum-Sortenversuchs erfolgte 2011 bis 2013 an 14 Versuchsstandorten in sieben Bundesländern, wobei die zwei Rekultivierungsstandorte Grünwalde und Welzow in Brandenburg dem Teilvorhaben 3 angehören. Bei der Anlagenform handelt es sich mehrheitlich um Blockanlagen. Die Sorten wurden innerhalb der Fruchtarten bzw. Reifegruppen randomisiert.

Die Aussaatstärke und -technik beim Sorghum unterscheidet sich von der Maisaussaattechnik. Die Sorghumsorten wurden vor allem mit der Getreidedrilltechnik und einem Reihenabstand von 25 cm ausgesät. Um optimale Bestandesdichten zu gewährleisten, betrug die angestrebte Bestandesdichte der Futterhirsesorten 25 Körner/m², bei den Sudangrashybriden 40 Körner/m². Aufgrund des höheren Wärmebedarfs von Sorghum (12–14 °C Bodentemperatur) wurden die Hirsesorten gegenüber dem Mais ca. 2 bis 3 Wochen später ausgesät. Der Mais wurde mit 9 Körnern/m² mit der Einzelkorn-Sämaschine und einem Reihenabstand von 75 cm ausgesät.

Sortiment

Im Rahmen des über drei Jahre andauernden Verbundvorhabens wurde innerhalb des Teilvorhabens 1 ein breites Sortenspektrum im Bereich *S. bicolor* (Futterhirse) und *S. bicolor* x *S. sudanense* (Sudangrashybride) geprüft. Es konnten konstant 13 Sorghumsorten zzgl. zwei Maissorten jedes Versuchsjahr auf den Versuchsfeldern angebaut werden.

In Tabelle 6 ist die jeweilige Sortenzusammensetzung der drei Versuchsjahre für den Mais, die frühe und die späte Sorghum-Reifegruppe dargestellt. In Klammern sind die entsprechenden Züchter der Sorten genannt. Deutlich werden einige Sortenwechsel zwischen den Versuchsjahren. Auf die Gründe wird im Folgenden eingegangen.

Tabelle 6: Sortiment 2011–2013

Fruchtart	2011	2012	2013
Mais	Atletico S280 (KWS)	Atletico S280 (KWS)	Atletico S280 (KWS)
	LG 32.16 S260 (Limagrain)	LG 32.16 S260 (Limagrain)	LG 32.16 S260 (Limagrain)
Sorghum früh	Lussi (Caussade)	Lussi (Caussade)	Lussi (Caussade)
	KWS Freya	KWS Freya	KWS Freya
	Nutri Honey (DSV)	KWS Sole	KWS Sole
		Farmsugro 180 (FarmSaat)	
Sorghum spät	Sucrosorgo 506 (Syngenta)	Sucrosorgo 506 (Syngenta)	Farmsugro 180 (FarmSaat)
	Hercules (Saaten Union)	Hercules (Saaten Union)	Hercules (Saaten Union)
	BMR 201 (Caussade)	KWS Tarzan	KWS Tarzan
	Super Dolce (Caussade)	KSH 0704 (KWS Merlin)	KSH 0704 (KWS Merlin)
	KWS Zerberus	KWS Zerberus	KWS Zerberus
	KWS Odin	Amiggo (RAGT)	Amiggo (RAGT)
	Amiggo (RAGT)	EUG 221 F (Euralis)	EUG 221 F (Euralis)
	Biomass 150 (Euralis)	Uluru (NUS-F-17) (Nufarm)	Zeus (Euralis)
	Niagara 2 (DSV)	Kylie (Nufarm)	Joggy (RAGT)
	Latte (FarmSaat)		PR823F (Pioneer)

Zum Zeitpunkt des Vorhabensbeginns 2011 gab es noch keine speziell in Deutschland durch das Bundessortenamt (BSA) zugelassenen Sorten. Aus diesem Grund wurden Sorten aus dem Sortenpool des EU-Sortenkatalogs ausgewählt bzw. die Erfahrungen mit Sorten aus vorhergegangenen Vorhaben und Anbauversuchen zur Hilfe genommen. Sorghum wird züchterisch im Vergleich zum Mais erst seit kurzem für die hiesigen klimatischen Bedingungen adaptiert. Dementsprechend war das Sortenangebot generell weniger umfangreich als bei anderen, seit langem etablierten Kulturen.

Die beiden mittelspäten **Maissorten Atletico** und **LG 32.16** sind in der Praxis etabliert und konnten über die drei Jahre vergleichend mitgeprüft werden.

Im **frühen Sorghumsortiment** wurden vorrangig die früher abreifenden Sudangrashybriden integriert. Im ersten Versuchsjahr (**2011**) wurde die bereits bekannte Sorte **Lussi** als sehr früh abreifender Kandidat geprüft, die auch als Zweitfrucht eine Anbaueignung besitzt. Ergänzt wurde die Gruppe mit **KWS Freya** und die laut Züchter besonders an trockene Standorte angepasste Sorte **Nutri Honey**. Die **späte Reifegruppe** wurde ausschließlich mit Sorten aus dem Futterhirsebereich bestückt. Neben den schon zu Vorhabensbeginn etablierten Sorten **Hercules** und **Sucrosorgo 506** wurde die Gruppe mit weiteren Sorten bzw. Prüfstämmen von den unterschiedlichen Züchterhäusern zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um folgende Sorten: **BMR 201**, **Super Dolce**, **Latte**, **KWS Zerberus**, **KWS Odin**, **Amiggo**, **Biomass 150** und **Niagara 2**.

Die Beobachtungen und Ergebnisse des Versuchsjahres 2011 brachten die ersten Erkenntnisse zur Anbaueignung. Einige Sorten wurden nach Versuchsauswertung bereits nach dem ersten Jahr nicht weitergeführt. Ein Ausschluss für die Folgejahre wurde nur durchgeführt, wenn die entsprechende Sorte auf allen Prüfstandorten nicht überzeugen konnte. Dies war bei Nutri Honey, BMR 201, Super Dolce, KWS Odin, Niagara 2 und Latte der Fall. Neben ertraglichen Nachteilen war z. B. besonders bei der höher verdaulichen brown-midrib-Sorte BMR 201 die Lageranfälligkeit ausschlaggebend, die eine Praxistauglichkeit unrealistisch macht. Die Sorte Biomass 150 überzeugte 2011 ertraglich auf nahezu allen Versuchsstandorten. Im Folgejahr (2012) wurde sie nicht mehr mitgeführt, weil seitens des Züchters kein Saatgut zur Verfügung gestellt werden konnte.

Zum Versuchsjahr **2012** wurden neue Sorten bzw. Stämme aufgenommen. In der **frühen Reifegruppe** wurde mit **KWS Sole** und der kleinwüchsige Körnerhirsetyp **Farmsugro 180** integriert. In der **späten Reifegruppe** kamen **KWS Tarzan**, **KSH 0704 (KWS Merlin)** und **EUG 221 F** von Euralis sowie **Uluru (NUS-F-17)** und **Kylie** von Nufarm hinzu.

Zwischen dem zweiten (**2012**) und dritten Versuchsjahr (**2013**) mussten wiederum einige Wechsel vollzogen werden. Aus ertraglicher Sicht konnten die Sorten größtenteils überzeugen. Der Wegfall der beiden Sorten von Nufarm (Uluru und Kylie) basierte auf den Rückzug des Züchters, zumindest vom deutschen Markt. Innerhalb der **frühen Reifegruppe** wurde 2012 Farmsugro 180, eine laut Züchter als sehr früh abreifend und gemeinsam mit Sudangrastypen erntefähiger Sorte beschrieben. Für 2013 wurde sie in den späten Reifeblock verschoben, um ihr Ertragspotenzial durch eine verbesserte Körnerausreife zu gewährleisten. Neben der oben genannten Farmsugro 180 wurden zur Aussaat 2013 mit **Zeus** (Euralis), **Joggy** (RAGT) und **PR823F** (Pioneer) neue Sorten zur Erweiterung des Sortenspektrums aufgenommen.

Sorten bzw. Prüfstämme, die im Vorhaben standen, sind auch in der seit 2012 vom BSA durchgeführten Wertprüfung wiederzufinden. Fünf der sechs im März 2014 erstmalig speziell **in Deutschland zugelassenen Sorghumsorten** wurden auch im Projekt geprüft. Dazu gehören **Zeus**, **KWS Tarzan**, **Amiggo**, **Joggy** und **Farmsugro 180**.

2.3 Ergebnisse und Diskussion

2.3.1 Versuchsjahr 2013

Anbauregion Nord

Die Ergebnisse des Versuchsjahres 2013 der Anbauregion Nord, zu denen die eher kühleren Standorte Rockstedt und Dasselsbruch in Niedersachsen sowie Gülzow in Mecklenburg-Vorpommern zählen, sind im Folgenden dargestellt (Abbildung 6). Die Aufstellungen der Trockenmasseerträge und -gehalte von den Einzelstandorten sind im Anhang aufgeführt (Anhang 7).

Die Witterung des Jahres 2013 verlief sehr turbulent. An allen Standorten konnten im späten Frühjahr (Ende Mai/Anfang Juni) vergleichsweise hohe Niederschlagsmengen gemessen werden. Diese überdurchschnittliche Wasserversorgung wirkte sich zumindest auf diesen Standorten nicht negativ auf die Entwicklung der Pflanzen aus. Einem sehr feuchten Frühjahr folgte eine längere Trockenperiode im Juli, die z. T. zu Mangelercheinungen besonders beim Mais führte. Gemittelt über die drei Standorte konnten weder die Sudangrastypeen noch die Futterhirsesorten das Ertragsniveau vom Mais erreichen. Der Mais erzielte im Mittel 189 dt TM/ha, die Sudangrashybriden 138 dt TM/ha und die Futterhirsetypen 158 dt TM/ha.

Am Standort Dasselsbruch zeigte sich der Mais im Vergleich zu den Vorjahren etwas schwächer und blieb unterhalb von 200 dt TM/ha. Dieses Resultat ist mit der Trockenperiode im Juli zu erklären. In Gülzow und Rockstedt erzielte der Mais z. T. über 200 dt TM/ha. Das in den Vorjahren oftmals auftretende Problem der Lageranfälligkeit von Sorghum konnte im Jahr 2013 erfreulicherweise zum größten Teil nicht festgestellt werden. Eine Ausnahme bildet die Sorte Lussi in der frühen Reifegruppe, die generell sehr früh das Stadium des Rispschiebens erreicht. Damit ist sie besonders bei Niederschlags- und Sturmereignissen im Frühsommer gefährdet, ins Lager zu gehen, wenn die Rispen feucht und schwer werden.

Im Mittel lagen die Erntetermine der frühen und späten Reifegruppe ca. 3 Wochen auseinander. Die Ernte der Maissorten wurde meistens zu einem Zeitpunkt zwischen den Ernteterminen der frühen und späten Sorghum-Reifegruppen durchgeführt. Die früh abreifenden Sorten haben in ihrer Abreifeentwicklung zur Ernte 31 % TM-Gehalt erreicht und die Silierreife (bisherige Annahme) von 28 % TM-Gehalt damit überschritten. Einer ausreichenden Abreife stehen aber TM-Erträge von 138 dt TM/ha gegenüber, die von den Futterhirsen weit übertroffen wurden. Das mittlere TM-Ertragsniveau der spät abreifenden Sorghumsorten lag um 20 dt TM (158 dt TM/ha) höher. Diese Rangierung ist auf allen Standorten zu erkennen.

Besonders am Standort Dasselsbruch zeigten sich einige Sorten sehr ertragsstark und konnten die Maiserträge übertreffen. Die Sorte Hercules, ein sehr spät abreifender Vertreter der Bicolortypen, der wie einige andere Sorten nur selten das Stadium der Blüte erreicht, erzielte mit über 180 dt TM/ha ein hohes Niveau. Mit ca. 188 dt TM/ha konnte die Sorte Zeus ebenfalls überzeugen. Den Spitzenertrag von ca. 192 dt TM/ha erreichte die erstmals mitgeprüfte Sorte PR823F. Die Rangierung der Erträge der Sorten ist auch am Standort Rockstedt wiederzuerkennen. Hier ist zu erwähnen, dass sich die Bestände, obwohl sie Anfang Juli unter starkem Unkrautdruck gelitten haben, sehr gut regeneriert haben. In Gülzow war das Ertragsniveau etwas niedriger, die ertragsstarken Sorten der beiden anderen Standorte schnitten schlechter ab. Zurückzuführen sind diese Resultate in Gülzow auf ein verhaltenes Wachstum Ende August sowie regen- und windbedingtes Lagern ab September. Die Futterhirsetypen konnten im Versuchsjahr 2013 auf den Standorten der Anbauregion Nord, die für Sorghum gewöhnlicherweise ungünstigere Bedingungen aufweist, vom schwächeren Abschneiden der Maissorten profitieren. Eine sortenspezifische, nicht ausreichende Abreife ist bei einigen Sorten zu erkennen.

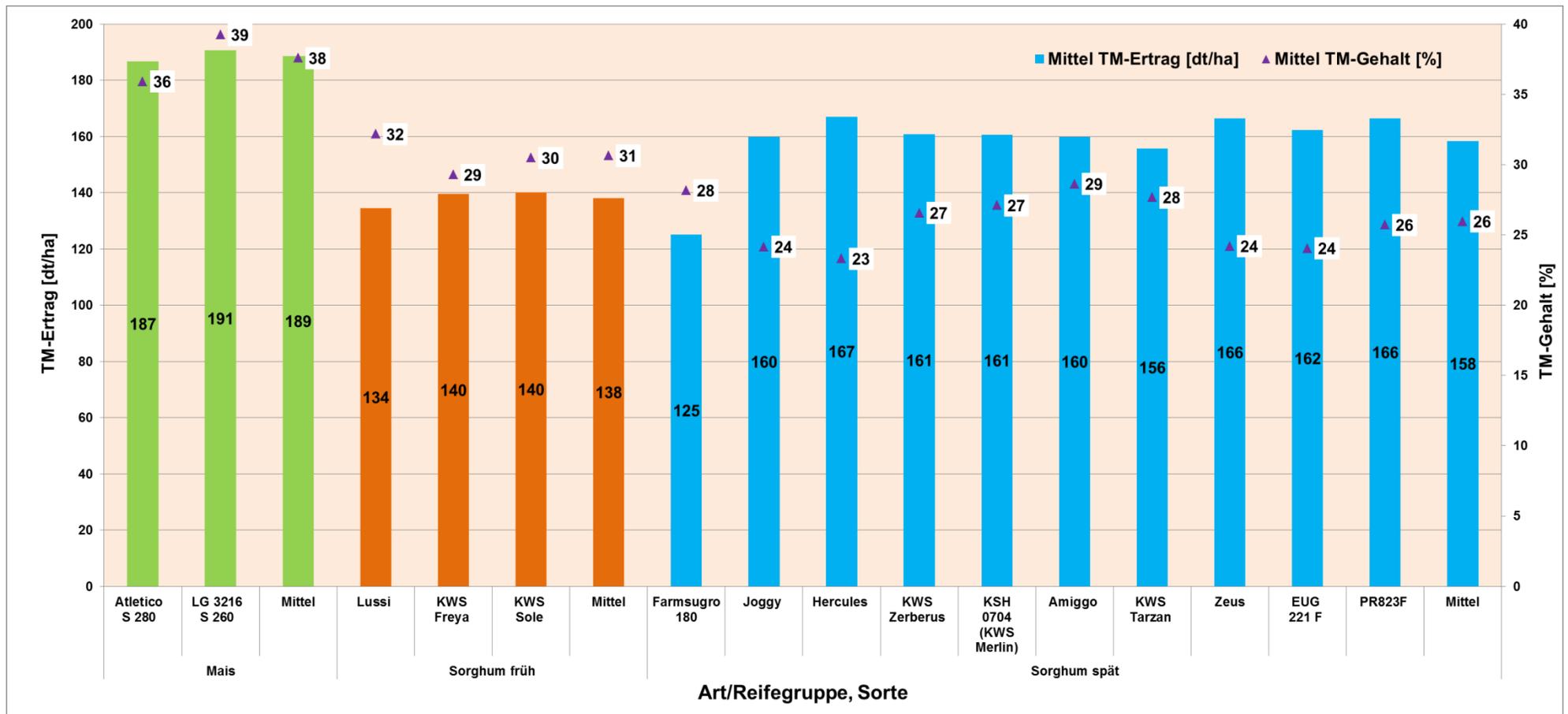


Abbildung 6: Anbauregion Nord, Ergebnisse 2013

Anbauregion Löss

Die Gunststandorte der Anbauregion Löss zeigten im Prüfjahr 2013 ähnlich wie schon in den beiden Jahren zuvor ein hohes Ertragsniveau beim Mais, aber auch bei den Sudangrashybriden und den Futterhirsen.

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse der Standorte Poppenburg, Bernburg, Friemar und Straubing eingeflossen. Nicht berücksichtigt wurde nach Sichtung der Ernteergebnisse der zweite Standort in Thüringen, Dornburg. Grund dafür ist das schlechte Abschneiden aller im Versuch angebaute Kulturen. Bei Hinzunahme in die Mittelwertbildung für die Anbauregion wären diese nicht mehr als repräsentativ anzusehen. Die schwachen Resultate sind auf die außergewöhnlichen Witterungsereignisse in 2013 zurückzuführen. Langanhaltende Starkregenereignisse verschlammten komplette Flächen, die Pflanzenzahlen verringerten sich. Eine sehr trockene Sommerwitterung führte zu einem zu schnellen Übergang in die generative Phase (Blüte). Zusätzlich kam es zu einer Schädigung des Bestandes durch Wildschweine. Die gesamte Ergebnisübersicht mit dem Standort Dornburg ist dem Anhang 8 zu entnehmen.

Der Mais erreichte im Mittel über die wertbaren Standorte Erträge knapp unter 200 dt TM/ha. Dieser war ähnlich wie Dornburg von den genannten Witterungsereignissen betroffen, die Bestände, besonders die Sudangrashybriden und Bicolorotypen, konnten sich aber regenerieren.

Das Ertragsniveau der Sudangrashybriden lag bei durchschnittlich 151 dt TM/ha und einem TM-Gehalt von 32 %. KWS Freya erzielte an den Standorten Bernburg und Straubing den Spitzenertrag. In Bernburg erreichte KWS Freya beachtliche 175 dt TM/ha und eine ausreichende Abreife. In Friemar konnte KWS Sole sogar mit fast 184 dt TM/ha überzeugen, obwohl die Witterungsbedingungen besonders zum Aufgang ungünstig waren.

Der Standort Poppenburg konnte die auch im Sudangrasbereich bekannten hohen Erträge in 2013 nicht bestätigen. Das Auflaufverhalten war nicht zufriedenstellend, es wurden nur geringe Pflanzenzahlen (z. T. unter 15 Pflanzen/m²) erreicht. Starker Regen nach der Aussaat hatte den lehmigen Boden versiegelt und den Keimlingen ein Durchbrechen des Bodens erschwert. Die Bestände regenerierten sich dennoch gut, besonders die Anfang September vorherrschenden hohen Temperaturen kamen der Entwicklung zugute.

Besonders die Sorten Hercules (172 dt TM/ha), Zeus (174 dt TM/ha) und EUG 221 F (178 dt TM/ha) konnten im späten Reifesortiment überzeugen. Das Potenzial der Sorte PR823F mit z. B. am Standort Bernburg erzielten 196 dt TM/ha ist zu erwähnen. Die Körnerhirsesorte Farmsugro 180 konnte als biomasseliefernde Sorte aufgrund ihrer Kleinwüchsigkeit an keinem der Standorte überzeugen und zieht mit 115 dt TM/ha das Durchschnittsergebnis der Futterhirsesorten nach unten.

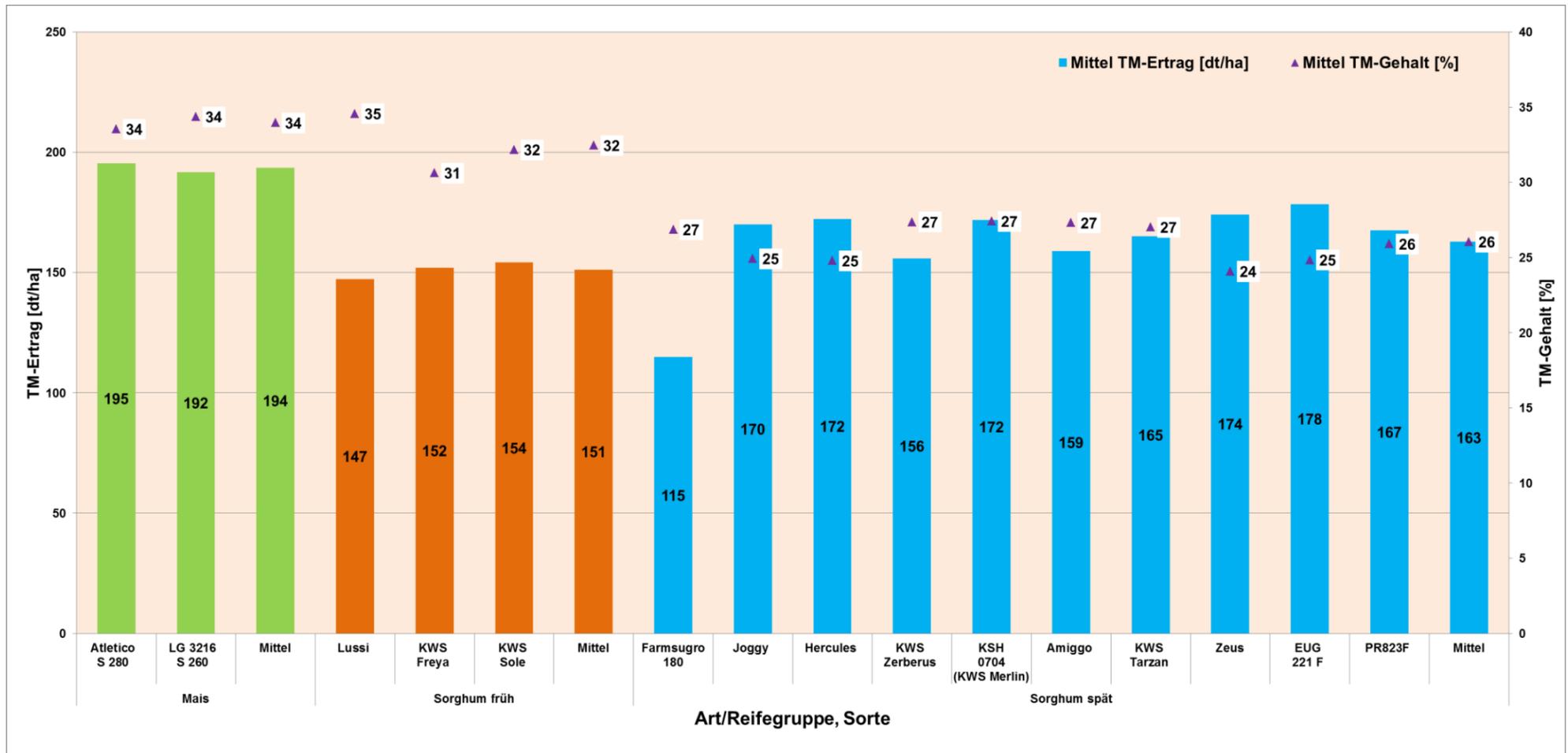


Abbildung 7: Anbauregion Löss, Ergebnisse 2013

Anbauregion D-Süd

Die Standorte der Anbauregion D-Süd standen ähnlich wie z. T. die Lössstandorte unter dem Einfluss spezieller Witterungsbedingungen. In Gadegast (Sachsen-Anhalt) führten starke Niederschläge nach der Aussaat zur kompletten Verschlammung der Versuchsfläche, eine Neuanlage auf einer Fläche geringerer Bonität war die Folge. In Trossin (Sachsen) ließen derartige Niederschlagsereignisse nur eine sehr verhaltene Entwicklung der Sorghumbestände zu und führten sogar zum Absterben von Pflanzen. In der Darstellung in diesem Kapitel finden die Ergebnisse von Gadegast und Trossin deshalb keine Berücksichtigung. In Anhang 9 werden die Ergebnisse aller Standorte aufgeführt.

Die in den vorherigen Versuchsjahren, besonders 2011 z. T. höheren TM-Erträge bei Sorghum gegenüber Mais, konnten 2013 nicht bestätigt werden. Das bei den Sorghumsorten in 2013 nicht komplett ausgeschöpfte Ertragspotenzial ist ähnlich wie an den oben genannten Standorten mit dem ungünstigen Witterungsverlauf zu erklären.

Bei den Sudangrashybriden konnte bei allen Sorten in Drözig und Güterfelde eine ausreichende Abreife erreicht werden. Die TM-Erträge fielen aber sehr niedrig aus (113 dt TM/ha). Am Standort Drözig lag das Niveau unterhalb von 100 dt TM/ha. Die Bestände mussten eine lange Trockenperiode im Juli/August überdauern. Des Weiteren konnten sich die Sorghumsorten bis zur Ernte nicht regenerieren. Im Futterhirsebereich konnten in den meisten Fällen nur etwas weniger als 100 dt TM/ha geerntet werden. Eine ausreichende Abreife konnte keine Sorte erreichen. In Güterfelde lag das Ertragsniveau höher. Am besten abschneiden konnte dort mit 161 dt TM/ha die Sorte Hercules vor den Sorten EUG 221 F (160 dt TM/ha), Zeus (159 dt TM/ha), PR823F (158 dt TM/ha) und KSH 0704 (157 dt TM/ha).

Insgesamt erreichten nur vier Sorten (KSH 0704, Zeus, EUG 221 F, PR823F) ein Ertragsniveau über 130 dt TM/ha (Abbildung 8).

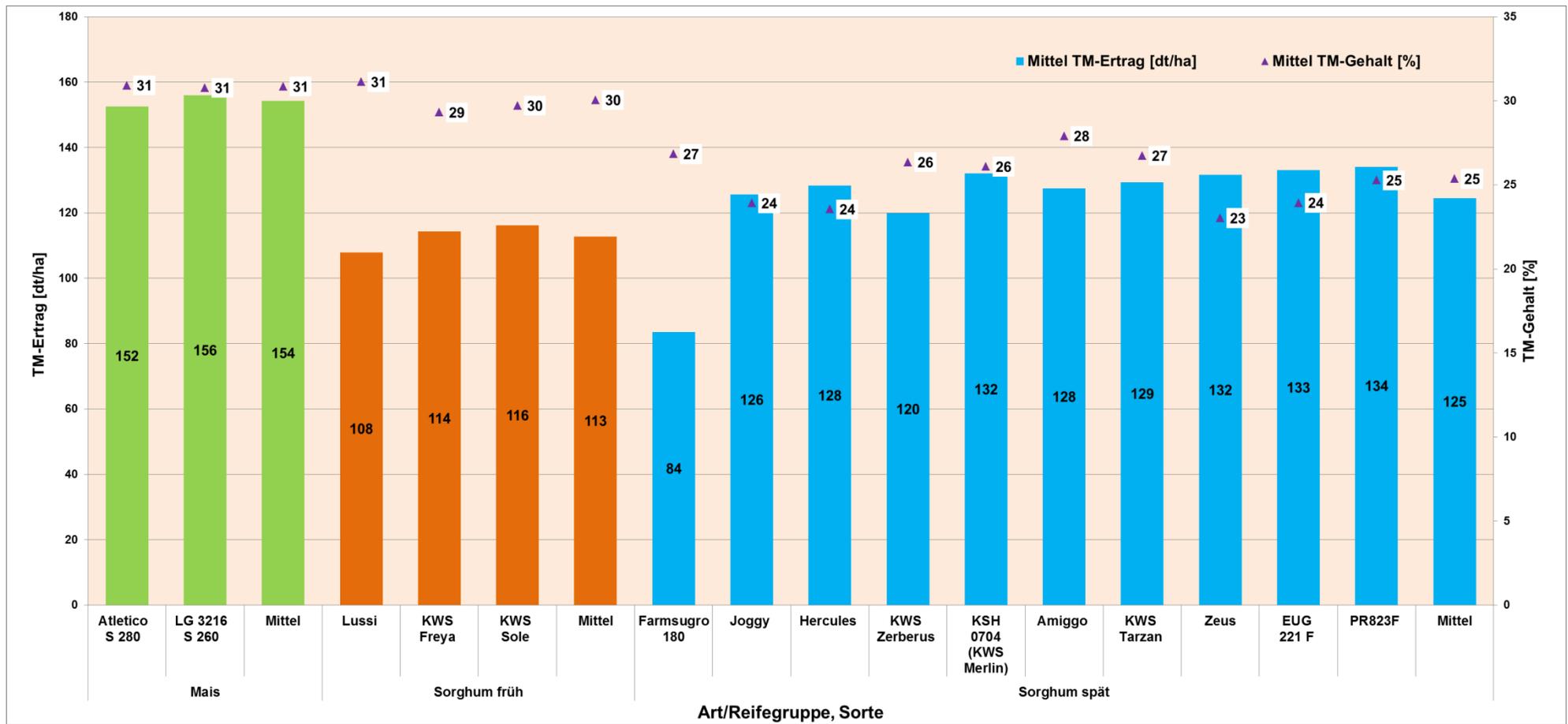


Abbildung 8: Anbauregion D-Süd, Ergebnisse 2013 (ohne Gadegast und Trossin)

2.3.2 Versuchsjahre 2011–2013

Im Kapitel „Versuchsbeschreibung/Sortiment“ wurden die Sortenzusammensetzungen während der drei Versuchsjahre erläutert. Im Folgenden wird auf die Sorten eingegangen, die konstant über alle Jahre in den Prüfungen mitgeführt wurden.

Im Maisbereich handelt es sich um die Sorten Atletico und LG 32.16, bei den Sudangrastypen in der frühen Reifegruppe die beiden Sorten Lussi und KWS Freya sowie Hercules, KWS Zerberus und Amiggo bei den Futterhirsen in der späten Reifegruppe.

Anbauregion Nord

Die ertraglichen Nachteile von Sorghum gegenüber Mais auf kühleren Standorten werden bei den Ergebnissen der Anbauregion Nord deutlich (Abbildung 9).

Die etablierte und standortangepasste Fruchtart Mais konnte in allen Prüffahren überzeugen. Besonders im ersten Jahr (2011) wurde die Dominanz mit durchschnittlich 222 dt TM-Ertrag sichtbar. Bis zum letzten Versuchsjahr (2013) nahm das Ertragsniveau etwas ab. Dies basiert auf den schlechteren Witterungsbedingungen mit den im Sommer auftretenden Trockenphasen.

Im Versuchsjahr 2011 lag das Ertragsniveau bei den Sudangras- (148 dt TM/ha) und den Futterhirsetypen (161 dt TM/ha) sehr hoch, dies spiegelt sich in den Ergebnissen bei allen Sorten wider. Besonders am Standort Dasselsbruch bestätigten die Sudangrashybriden Lussi (163 dt TM/ha) und KWS Freya (148 dt TM/ha) ihr erwartetes Ertragspotenzial. Unter anderem ist dies bedingt durch ausreichend hohe Temperaturen nach der Aussaat, die für ein zügiges Auflaufen der Pflanzen sorgten. Weiterhin konnten auch die Hirsebestände von den Niederschlägen im Sommer profitieren. In den Folgejahren waren die gleichmäßige Niederschlagsverteilung, ausreichende hohe Temperaturen zum Aufgang und zur Ertragsbildung im September nicht immer gegeben. An den drei Standorten konnten die etablierten und dreijährig geprüften Sorten Hercules, KWS Zerberus und Amiggo überzeugen. Hinsichtlich der Abreife erreichten KWS Zerberus und vor allem Amiggo höhere TM-Gehalte.

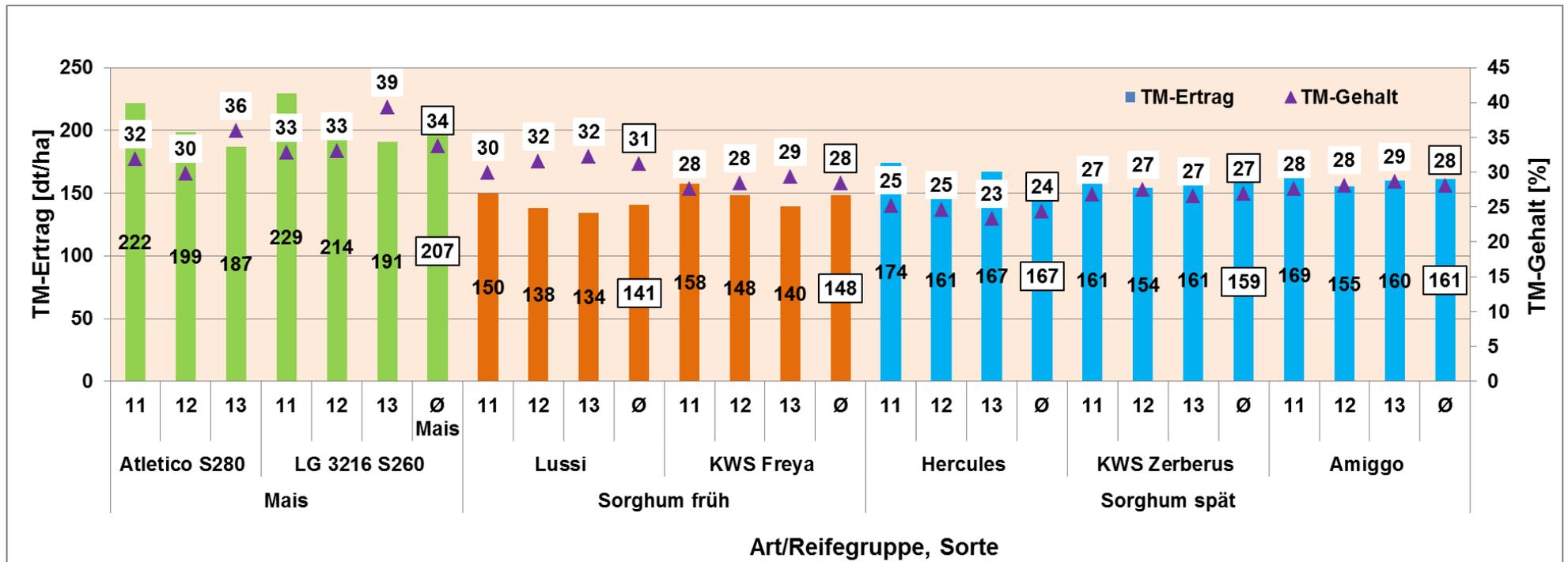


Abbildung 9: Anbauregion Nord, 3-jährig geprüfte Sorten, Ergebnisse 2011–2013

Anbauregion Löss

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Anbauregion Löss standortspezifisch erläutert, weil die Differenzierung zwischen den Einzelstandorten generell größer ausgefallen ist als in der Anbauregion Nord (Abbildung 10).

Poppenburg

Am Standort Poppenburg erreichten die Maissorten 2011 ihr standortüblich hohes Ertragsniveau von über 230 dt TM/ha. Dieses konnte im zweiten Versuchsjahr (2012) gesteigert werden. Besonders von den im Juli ausgebliebenen Trockenphasen konnte der Mais profitieren. 2013 pendelten sich die Maiserträge auf ca. 216 dt TM-Ertrag ein. Die Jugendentwicklung war in Folge der langanhaltenden Starkregenereignisse Ende Mai/Anfang Juni beeinträchtigt.

2011 war für die Sudangrashybriden auch ein erfolgreiches Jahr. KWS Freya konnte mit ca. 180 dt TM/ha überzeugen und reifte ausreichend stark ab. Bei den Futterhirsesorten zeigte sich Hercules mit 208 dt TM/ha ertragsstark.

2012 verlief für die Hirsesorten auch gut, die Sudangrastypen schnitten vergleichbar zum Vorjahr ab. Bei den Bicolortypen waren wiederum Erträge von 170 bis 180 dt TM/ha festzustellen.

Im Prüffjahr 2013 gelang es auch den dreijährig angebauten Sorten nicht, ihre Ertragsstärke zu bestätigen. Der verzögerte Aufgang nach der Aussaat und damit einhergehende geringere Pflanzanzahlen wurden im Kapitel 2.3.1 genannt.

Bernburg

Der Standort Bernburg präsentierte sich über alle Versuchsjahre mit beständig guten Ergebnissen. 2011 gelang es besonders Hercules, aber auch der einjährig geprüften Sorte Biomass 150, den Mais mit seinen Spitzenerträgen (bis zu 266 dt TM/ha) nahezu einzuholen. Im zweiten Versuchsjahr gelang dies mehreren Vertretern, u. a. auch Hercules und der zweijährig geprüften Sorte KWS Tarzan mit jeweils 243 dt TM/ha. Die Sorghumsorten konnten aber auch von einem niedrigeren Maisertrag (ca. 224 dt TM/ha) im Vergleich zum Vorjahr profitieren. Das Ertragsniveau im Jahr 2013 lag etwas niedriger, aber konstant bei ca. 200 dt TM/ha. Bei den Sudangrastypen erreichten die Sorten Lussi und KWS Freya Erträge von 163 bis 175 dt TM/ha.

Friemar

Das erste Prüffjahr begann mit sehr trockenen Witterungsbedingungen Ende Mai/Anfang Juni. Die Bestände sowohl von den Sorghumsorten als auch vom Mais entwickelten sich zögerlich. Erst im Juli ermöglichten einsetzende Niederschläge einen entsprechenden Wachstumsschub. Wind und Starkregen verursachten teilweise Lager in den Beständen, die sich danach aber gut regenerierten. Bedeutsame Einbußen in den Erträgen waren trotz z. T. ungünstiger Voraussetzungen nicht zu erkennen. Der Mais erreichte bis zu 248 dt TM/ha. Die Sudangrashybriden lieferten sogar verhältnismäßig hohe Trockenmasseerträge bis über 200 dt /ha (Lussi). Bei den drei mehrjährig geprüften Bicolorsorten konnte sich Amiggo mit 207 dt TM/ha und einem TM-Gehalt von 27 % gut präsentieren.

2012 zeigte sich ähnlich abwechslungsreich. Trockene Witterungsbedingungen nach der Aussaat Ende Mai ließen nur einen ungleichmäßigen Aufgang zu, nasskalte Witterung im Juni verzögerte die Jugendentwicklung. In 2012 zeigte sich abermals das Regenerationspotenzial dieser Kultur. Besonders der trockenwarme Sep-

tember konnte gut für den Biomassezuwachs genutzt werden. Dieser wurde besonders bei den später geernteten Futterhirsesorten deutlich, die teilweise an die 200 dt TM/ha heranreichten.

Das Versuchsjahr 2013 war geprägt von extremen Witterungsbedingungen. Besonders aufgrund der Starkregenereignisse Ende Mai bzw. Anfang Juni verlief der Aufgang sehr zögerlich. Besonders der Mais litt unter diesen Bedingungen. Staunässe und Kälte ließen das Wachstum stagnieren. Die Maiserträge hatten ein sehr niedriges Niveau von unter 150 dt TM/ha. Die Sorghumsorten konnten sowohl im Sudangrassbereich (KWS Freya mit 169 dt TM/ha) als auch bei den Futterhirsen mit z. T. über 180 dt TM/ha überzeugen.

Dornburg

Die Erträge am Standort Dornburg waren sehr heterogen. 2011 zeigten sich die Witterungsbedingungen relativ ungünstig. Das Temperaturniveau zum Auflaufen der Bestände war ausreichend, allerdings fehlte es an Feuchtigkeit. Im Juni/Juli fielen dann entsprechende Niederschläge, aber deutlich über dem langjährigen Mittel. Das witterungsbedingte zögerliche Sorghumwachstum konnte durch hohe Temperaturen im September ausgeglichen werden. Der Mais erreichte ein Niveau von ca. 220 dt TM/ha, KWS Freya 167 dt TM/ha. Bei den Bicolortypen konnte besonders Hercules mit seinem massigen Wuchs mit 187 dt TM/ha ein gutes Ergebnis erzielen.

Das Jahr 2012 entwickelte sich ähnlich. Von einer gleichmäßigeren Niederschlagsverteilung konnte aber besonders der Mais profitieren. Dieser erreichte ein Ertragsniveau von 254 dt TM/ha. Die ertragsstarken Sudangrassorten KWS Freya und KWS Sole zeigten mit bis zu 186 dt TM/ha ein gutes Ergebnis.

Die Bicolortypen konnten die längere Vegetationszeit generell nicht in Mehrerträge umsetzen. Selbst die ertragsstärksten Sorten wie z. B. KWS Tarzan und EUG 221 F erreichten mit 180 dt TM/ha nicht das Ertragsniveau der Sudangrasshybriden.

Die Ergebnisse 2013 wurden, wie in Kapitel 2.3.1 erwähnt, aufgrund der witterungsbedingten Ausfälle aus der Wertung herausgenommen.

Straubing

Mit Straubing war über die drei Versuchsjahre ein Standort vertreten, der generell gute Voraussetzungen für Sorghum mitbringt. Diese Voraussetzungen spiegeln sich bei den Ergebnissen grundsätzlich über alle Versuchsjahre wider, wobei das Ertragsniveau 2013 witterungsbedingt auf einem geringeren Niveau lag.

Das Jahr 2011 zeichnete sich durch günstige Witterungsbedingungen zum Auflaufen der Bestände aus. Mais und Sorghum zeigten eine zügige Jungendentwicklung. Ein niederschlagsreicher Juli führte zu Lagererscheinungen bei den Sorghumsorten, die allerdings sortenspezifisch auftraten. Die über drei Jahre durchgehend geprüften Sorghumsorten waren davon nicht betroffen. Trockene und warme Bedingungen im September führten zu einem Ertragszuwachs kurz vor der Ernte. Der Mais erzielte hohe Erträge mit bis zu 262 dt TM/ha. KWS Freya zeigte sich mit 195 dt TM-Ertrag als erfolgsversprechend. Die Futterhirsesorten bewegten sich auf dem Niveau von 200 dt TM/ha.

2012 waren auch sehr gute Witterungsbedingungen gegeben. Der Mais konnte wiederum überzeugen, allerdings auf einem etwas geringeren Ertragsniveau. Dies kam den Sorghumsorten entgegen. Die Sudangrassorten konnten wieder gute Erträge im Bereich von 175 dt TM/ha erreichen. Bei den Bicolortypen gelang es einigen Sorten sogar, die Maiserträge zu überholen. Hercules zeigte sich mit 238 dt TM/ha, aber auch

KWS Zerberus mit 230 dt TM/ha ertragsstark. Erwähnenswert sind aber auch KWS Tarzan (246 dt TM/ha) und die ab 2012 mitgeprüfte EUG 221 F mit 245 dt TM/ha.

2013 war das nasskalte Frühjahr mit den Starkregenereignissen prägend und wirkte sich auf die gesamte Entwicklung aus. Die Erträge fielen im Vergleich zu den Vorjahren deutlich niedriger aus. Der Mais blieb unterhalb von 200 dt TM/ha, die Sudangrashybriden erzielten mit ca. 156 dt TM/ha auch ein niedrigeres Ertragsniveau. Dies zeigte sich auch bei den in Vorjahren stark auftretenden Futterhirsesorten, die drei mehrjährigen Vertreter blieben mit einem ca. 50 dt TM/ha geringeren Ertrag unterhalb des Vorjahresniveaus.

Ähnlich wie bei der Anbauregion Nord zeigte der Mais auf den Lössstandorten über alle Versuchsjahre das standorttypische hohe Ertragsniveau. Der mittlere Ertrag von 195 dt TM/ha 2013 im Vergleich zu 241 dt TM/ha in den Vorjahren ist mit dem schwachen Ergebnis in Friemar (Thüringen) zu begründen (s. Kapitel 2.3.1, Löss).

In Bernburg und Straubing erreichten die Sudangrashybriden im Vergleich zu den anderen Standorten die besten Ergebnisse, besonders KWS Freya präsentierte sich mit sicheren Erträgen und einer guten Standfestigkeit an allen Standorten. Lussi zeigte sich besonders ertragsstark 2011 und 2012. Aufgrund der leichten Lagerneigung waren die Ergebnisse eher unterdurchschnittlich.

Die hohe Bodengüte der Lössstandorte zeigte sich auch bei den Erträgen der Futterhirsesorten. Mit durchschnittlich 187 dt TM/ha erreichten die drei aufgeführten Sorten über die drei Jahre ein Ertragsniveau von ca. 40 dt Trockenmasse unterhalb des Mais. Dennoch macht sich das Potenzial bemerkbar. Hercules erzielte hohe TM-Erträge/ha bei nicht immer ausreichender Abreife. Die Sorte KWS Zerberus zeigte sich früh abreifend, aber mit etwas geringeren TM-Erträgen. Interessante Ergebnisse brachte Amiggo als stabiler und massiger Bicolortyp mit einer sicheren Abreife und durchschnittlichen TM-Erträgen/ha von 184 dt TM/ha.

Insgesamt zeigten auf den Hohertragsstandorten auch die Futterhirsesorten das höchste Ertragspotenzial gegenüber Mais und geben ihnen dadurch eine Anbauberechtigung.

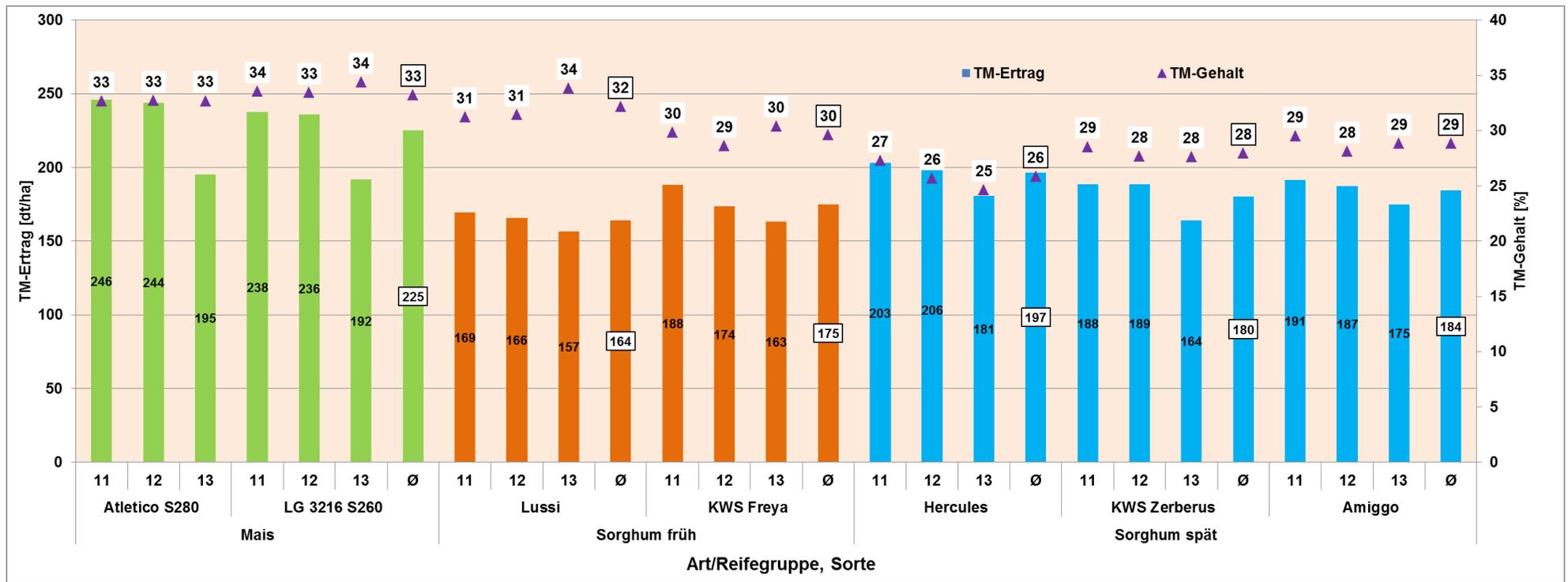


Abbildung 10: Anbauregion Löss, 3-jährig geprüfte Sorten, Ergebnisse 2011–2013 (ohne Ergebnisse Dornburg 2013)

Anbauregion D-Süd

Die Ergebnisse der Anbauregion D-Süd werden standortspezifisch erläutert, weil an den jeweiligen Standorten z. T. deutliche Unterschiede zu erkennen waren.

Gadegast

In Gadegast lag 2011 das Niveau der ertragsstärksten Mais- und Futterhirsesorten über 200 dt TM/ha. Das Ausbleiben von Trockenphasen in den Sommermonaten mit einer ausreichenden Wasserversorgung förderte die Massebildung.

Die sommerlichen Temperaturen und geringen Niederschläge in Gadegast Ende September/Anfang Oktober 2011 konnten die Sorghumsorten nutzen, um weitere Biomasse zu bilden und in ihrer Abreife voranzuschreiten. Im Sudangrasbereich zeigte KWS Freya ihr Potenzial (176 dt TM/ha), gefolgt von Lussi mit 154 dt TM/ha. Das Ertragsvermögen konnte in 2012 noch einmal bestätigt werden, sogar mit 30 dt TM/ha Mehrertrag bei der Sorte Lussi.

Im Futterhirsebereich überzeugten neben den dreijährig geprüften Sorten Hercules, KWS Zerberus und Amiggo auch KWS Odin (über 200 dt TM/ha) und die nur einjährig geprüfte Sorte Biomass 150 mit 226 dt TM/ha. Damit erreichte diese Sorte um 20 dt TM/ha höhere Erträge als der Mais.

In 2012 konnte der Mais am Standort Gadegast durch die höheren Niederschlagsmengen im Sommer profitieren und dadurch Erträge von über 240 dt TM/ha erzielen. Das Niveau der Sorghumsorten lag im Vergleich zum Vorjahr niedriger.

Drößig

In Drößig (Brandenburg) waren 2011 die Aussaatbedingungen für den Mais nicht optimal, der Maiszünsler schädigte die Bestände und Trockenperioden zur Blüte fungierten als weiterer Stressfaktor. Das Resultat waren Maiserträge von 138 dt TM/ha (Atletico) und 162 dt TM/ha (LG 32.16). Die Sorghumsorten konnten von ihrer späteren Aussaat und den dann besseren Aussaatbedingungen (Bodenfeuchte/Temperatur) profitieren. Die ansonsten oftmals ertragsschwächeren Sudangrastypen erreichten zum größten Teil ein höheres Ertragsniveau als der Mais. Lussi mit 158 dt TM/ha und besonders KWS Freya mit 172 dt TM/ha überzeugten. Beide reiften auch ausreichend ab. Hercules und KWS Zerberus erzielten über 180 dt TM/ha, Amiggo sogar über 200 dt TM/ha.

2012 war in Drößig von ungünstigeren Aussaat-/Auflaufbedingungen gekennzeichnet, die besonders die Bestände der späten Reifegruppe negativ beeinflussten. Lückige Bestände waren die Folge. Das hohe Ertragsniveau aus dem Vorjahr konnten nur die Sudangrastypen bestätigen. Der Mais konnte durch seine frühere Aussaat und besseren Startbedingungen profitieren. Das Ertragsniveau in 2013 ist in Kapitel 2.3.1, D-Süd erläutert.

Güterfelde

In Güterfelde verlief das Versuchsjahr 2011 ohne bedeutende Beeinträchtigungen. Die Witterungsbedingungen waren zum Aufgang, aber auch im Sommer mit ausreichend Niederschlag, gut. Der Mais erreichte ein Ertragsniveau von über 200 dt TM/ha. Im Sudangrasbereich lagen die Erträge ca. 30 bis 40 dt TM/ha unter dem Maisniveau. Das hohe Ertragspotenzial der Bicolortypen zeigten einige aussichtsreiche Sorten. Mit Hercules (226 dt TM/ha), KWS Zerberus (199 dt TM/ha) und Amiggo (194 dt TM/ha) präsentierten sich die mehrjährigen Sorten sehr gut. Damit lagen mehrere Sorten deutlich über dem Maisertragsniveau.

Das Prüfljahr 2012 zeigte ein ähnliches, aber nicht so hohes Ertragsniveau bei den Sorghumsorten. Die Bedingungen für den Mais, besonders zur Aussaat, waren günstiger. In einem sehr trockenen Saatbett konnte beim Sorghum ein sehr heterogener Aufgang beobachtet werden. Diese daraus resultierenden Lücken wurden im Vegetationsverlauf aber von sich intensiver ausbildenden Seitentrieben geschlossen. Die Bicolorsorten erzielten Erträge, die z.T. nah an den Mais heranreichten. Die Ergebnisse des Versuchsjahres wurden bereits im Kapitel 2.3.1, D-Süd kommentiert.

Trossin

Am Versuchsstandort Trossin herrschten 2011 gute Witterungsbedingungen zur Aussaat der Mais- und Sorghumsorten. Es entwickelten sich flächendeckend gleichmäßige Bestände. Ausreichend hohe Temperaturen waren die Voraussetzung für eine zügige Jugendentwicklung. Infolge eines lokal auftretenden Sturmereignisses gingen alle Sorten des frühreifen Ernteblocks ins Lager (kein Rückschlüsse auf Standfestigkeit der Sorten möglich).

Die Maiserträge lagen bei durchschnittlich 181 dt TM/ha. Das niederschlagsbedingte Lagern der Sudangras-hybriden spiegelte sich in den Erträgen wider. Oftmals verblieb Biomasse auf dem Feld. KWS Freya erzielte 138 dt TM/ha, Lussi nur 110 dt TM/ha. Das Regenerationsvermögen der Futterhirsesorten ist als höher einzustufen. Die Sorten sind aber auch aufgrund ihres späteren Rispschiebens weniger anfällig, ins Lager zu gehen. Hercules konnte einen Ertrag von 213 dt TM/ha erzielen mit einem TM-Gehalt von 23 %. Auch KWS Zerberus und Amiggo schnitten mit annähernd 200 dt TM/ha gut ab.

Das Jahr 2012 war durch vergleichsweise kühle und niederschlagsreiche Bedingungen Ende Mai/Anfang Juni gekennzeichnet, unter denen sich der Mais zunächst deutlich besser entwickelte als die kälteempfindlichen Sorghumhirsen. Die lang anhaltende Trockenperiode von Mitte Juli bis Mitte August machte neben dem Mais auch den Sorghumhirsen sichtlich zu schaffen. Letztgenannte zeigten nach Einsetzen der Niederschläge zwar ihr hohes Regenerationsvermögen, konnten den Wachstums- und Entwicklungsrückstand gegenüber Mais bis zur Ernte aufgrund der trockenen Witterung jedoch nicht mehr aufholen. Deutlich geringere Erträge im Vergleich zum Vorjahr waren die Folge. Das Versuchsjahr 2013 findet aufgrund der im Ergebnisteil 2013 erläuterten schwierigen Witterungsbedingungen keine Berücksichtigung.

Zusammenfassend zeigten die dreijährig geprüften Sorten an den Standorten der Anbauregion D-Süd ein sehr schwankendes Niveau. Besonders das Ertragsniveau in 2013 ist über alle Standorte deutlich niedriger als in den Vorjahren. In Kapitel 2.3.1, D-Süd, wurde auf die witterungsbedingten Ertragseinbrüche eingegangen. Aufgrund dieser Faktoren wurden die Ergebnisse der Standorte Gadegast und Trossin nicht berücksichtigt.

Beim Ertragsniveau zeigten sich besonders im Vergleich von 2011 und 2012 zu 2013 deutliche Unterschiede. Konnte der Mais im Durchschnitt über die Standorte noch mit über 180 dt TM/ha gute Erträge erzielen, fielen die Ernteerträge in 2013 auf ca. 154 dt TM/ha ab.

Generell lag das Ertragsniveau auf den Standorten der Anbauregion D-Süd beim Mais und Sorghum enger beieinander als in den anderen Anbauregionen, zumal in Einzeljahren ertragsbetonte Hirsesorten ertragsstärker als der Mais waren. Damit ist eine Anbaueignung für Sorghum besonders auf diesen Standorten gegeben (Abbildung 11).

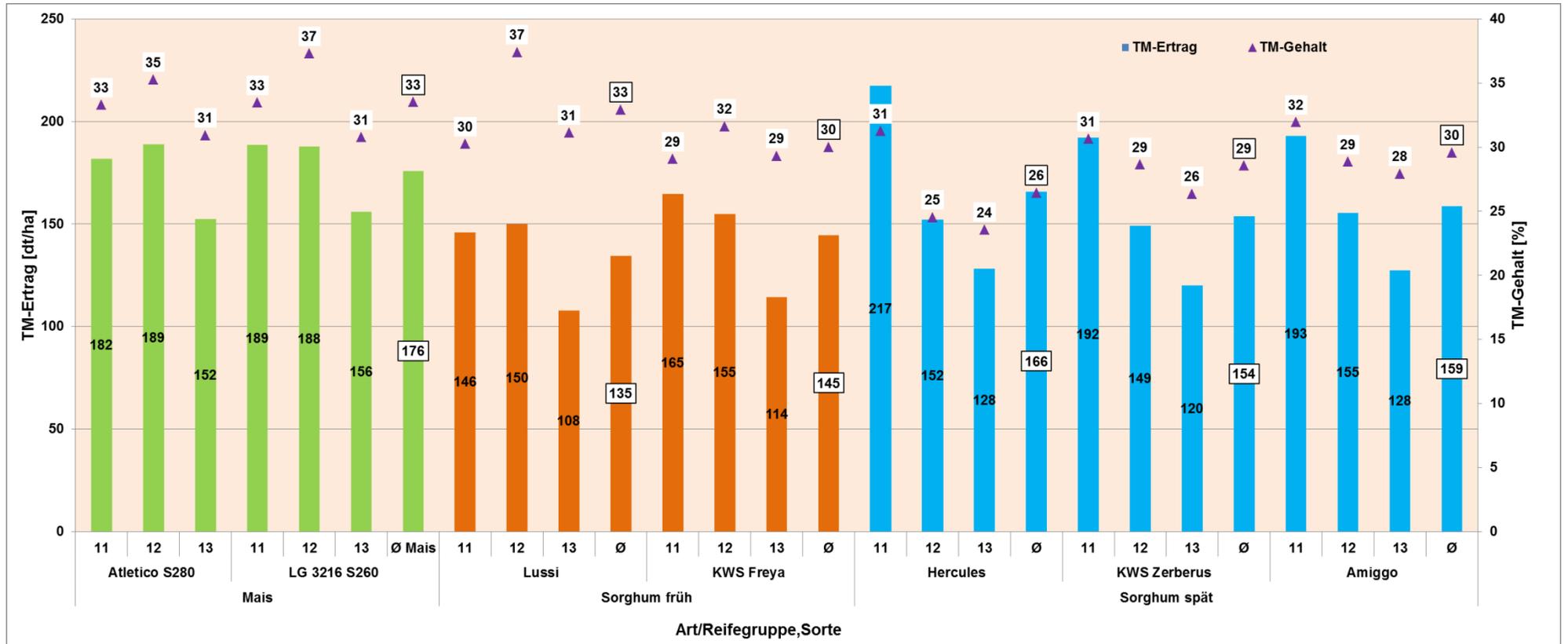


Abbildung 11: Anbauregion D-Süd, 3-jährig geprüfte Sorten, Ergebnisse 2011–2013 (ohne Ergebnisse Gadegast und Trossin 2013)

2.4 Zusammenfassung

Die mehrjährigen Ergebnisse der Sortenprüfung von Sorghum zeigen vielversprechende Erträge und belegen, dass ein erfolgreicher Anbau unter den gemäßigten Klimabedingungen in Deutschland möglich ist.

Über die drei Versuchsjahre wurde eine große Anzahl von Sorghumsorten aus dem Bereich der Futterhirsen, Sudangrashybriden und Körnerhirsen unter unterschiedlichen Standortbedingungen Deutschlands geprüft. Wenig erfolgversprechende Sorten wurden durch andere ersetzt.

Die Sorghumhirsen erzielten generell ein hohes Biomassebildungspotenzial. Über die Versuchsjahre zeigten sich z. T. deutliche Ertragsschwankungen; der Einfluss der unterschiedlichen Standortgegebenheiten und witterungsbedingte Jahreseffekte waren erkennbar.

Die Abbildungen im Anhang 12 – Anhang 14 zeigen jeweils die Versuchsjahre 2011 bis 2013 mit der Angabe der ertragsstärksten Sorten an den Projektstandorten. Pro Standort sind jeweils 3 bis 5 Sorten in die Mittelwertbildung eingegangen. Gleichwohl ist für den Landwirt das Kriterium der Abreife ebenfalls entscheidend und muss bei der Sortenwahl mit berücksichtigt werden. Bei der Nennung der ertragsstärksten Sorten dominieren eindeutig Vertreter aus dem Futterhirsebereich.

Eine Aufstellung zu den Reifeeinstufungen der einzelnen geprüften Sorten ist Anhang 10 zu entnehmen. Diese orientiert sich an den über die drei Versuchsjahre gesammelten Ergebnissen und Beobachtungen.

Sudangrashybriden

Im Bereich der Sudangrashybriden steht mit **Lussi** eine sehr frühreife Sorte zur Verfügung. In der Abreife konnte diese über die drei Prüffahre stets einen TM-Gehalt von ca. 30 % erreichen. Ertraglich reichte sie aber nicht an die besten Futterhirsesorten heran. Des Weiteren zeigte Lussi bedingt durch das frühe Rispen-schieben Schwächen in der Standfestigkeit. Ein Vorteil für den Anbau kann die sichere Abreife sein, die sogar auf den kühleren Nord-Standorten gewährleistet ist. Hinzu kommt die Möglichkeit, Lussi auch im Zweitfruchtanbau anzubauen. Ein weiterer Kandidat ist **KWS Freya**, die höhere Trockenmasseerträge aufweisen konnte, sich aber in der Abreife etwas später darstellte als Lussi. Die zweijährig mitgeprüfte Sorte **KWS Sole** ist von ihrer Charakteristik ähnlich einzuordnen wie KWS Freya, aber durchaus auf einem etwas höheren Ertragsniveau.

Futterhirsetypen

Als für den Anbau geeignete Sorten aus dem Futterhirsebereich sind einige Vertreter aus dem Sortiment zu nennen. Die Sorte **Hercules** zählte auf den Standorten vielfach zu den ertragsstärksten Sorten, konnte in ihrer Abreife jedoch nicht immer überzeugen und blieb oftmals unter 25 % TM-Gehalt. Die Sorte **Amiggo** als mittelfrüh abreifender Vertreter, zeigte neben einer guten Standfestigkeit und einer guten Jugendentwicklung sogar unter ungünstigen Bedingungen ein hohes TM-Ertragsniveau. Besonders auf den Nord- und D-Süd-Standorten war dies der Fall. **KWS Zerberus** als mittelfrüh abreifende Sorte überzeugte besonders auf den D-Süd-Standorten. In diesem Zusammenhang ist auch die Sorte **KWS Tarzan** aufzuführen, die ein hohes Ertragspotenzial besitzt. In allen Anbauregionen ist diese Sorte empfehlenswert. Die mittelspäte Sorte **Zeus** zeigte nach einjährigen Ergebnissen besonders in Dasselsbruch und auch auf den Lössstandorten ihr Ertragspotenzial. Die aufgrund der eingeschränkten Saatgutverfügbarkeit nur einjährig geprüfte, aber weiterhin vom Züchter beworbene Sorte **Biomass 150** gilt auch als empfehlenswert. Diese hat sich in den drei Anbauregionen auf allen Standorten bewährt, mit Spitzenerträgen und einer guten Standfestigkeit überzeugt. Der kleinwüchsige Körnerhirsetyp **Farmsugro 180** konnte in der Abreife und optisch überzeugen, blieb aber bei den Trockenmasseerträgen erwartungsgemäß weit hinter den Futterhirsesorten zurück. Weitere Untersu-

chungen z. B. hinsichtlich des Stärkegehalts und Auswirkungen auf das Gasbildungspotenzial könnten bei einem Körnerhirsetypen wie dieser weitere Aufschlüsse geben.

In Anhang 15 und Anhang 16 findet ein zusammenfassender Überblick über die Versuchsjahre 2011 bis 2013 statt. Dort werden die schon im Kapitel 2.3.2 angesprochenen dreijährig geprüften Sorten (Mais: Atletico und LG 32.16, Futterhirsen: Hercules, KWS Zerberus und Amiggo, Sudangrashybriden: Lussi und KWS Freya) dargestellt.

Auf den Standorten der Anbauregion **D-Nord** zeigt sich die Dominanz der Maissorten, die als Referenz über alle Versuchsjahre mitgeführt wurden. Im Mittel über alle Standorte erreichte der Mais 207 dt TM/ha und war damit gegenüber den Futterhirsensorten mit einem Mehrertrag von über 40 dt TM/ha und im Vergleich zu den Sudangrashybriden mit über 60 dt TM/ha Mehrertrag deutlich überlegen (s. Anhang 16). Dennoch können die Hirsen unter günstigen Wachstumsbedingungen akzeptable Erträge erzielen. Dies wurde z. B. in Dasselsbruch deutlich, dort erreichten die Futterhirsensorten im Mittel ein Ertragsniveau von 174 dt TM/ha, mit einer ausreichenden Abreife von 28 % TM (s. Anhang 15). Insgesamt kann der höhere Wärmebedarf der Sorghumhirsen unter den in dieser Anbauregion vorherrschenden kühleren Bedingungen nicht genügend gedeckt werden. Ausschließlich frühe und mittelfrühe Sorten sind auf derartigen Standorten für einen Anbau geeignet.

Auf den **D-Süd**-Standorten sind die Wachstumsbedingungen für den Mais, z. T. bedingt durch Sommertrockenheit, nicht optimal. Die Sorghumhirsen können sich oftmals besser regenerieren und das Ertragsniveau vom Mais erreichen bzw. mit einzelnen Sorten in Einzeljahren sogar übersteigen. In Anhang 15 und Anhang 16 sind die Ergebnisse der Standorte Gadegast und Trossin aus dem Versuchsjahr 2013 aufgrund der witterungsbedingten schlechten Resultate nicht berücksichtigt. Auffällig ist der wesentlich geringere Abstand der TM-Erträge vom Mais gegenüber den Futterhirsensorten und z. T. auch der Sudangrashybriden. Besonders die Standorte in Brandenburg liegen im Mittel bei den Futterhirsensorten mit nur 17 dt TM/ha unterhalb der Maiserträge (Güterfelde, Anhang 15). In Drözig sind die Futterhirsensorten und Sudangrashybriden nahezu auf einem Ertragsniveau mit dem Mais einzuordnen, was besonders auf die guten Erträge aus dem ersten Versuchsjahr zurückzuführen war. Das auf derartigen wärmeren und trockeneren Standorten vielversprechende Ertragspotenzial gegenüber dem Mais wird insgesamt deutlich (Anhang 16).

Die Anbaueignung von Sorghum auf den Hohertragsstandorten der Anbauregion **Löss** wurde über die Prüfjahre deutlich. Im Durchschnitt erreichten die Futterhirsensorten ein Ertragsniveau von 187 dt TM/ha, die Sudangrashybriden 170 dt TM/ha. Der Mais zeigte sich aber erwartungsgemäß stets überlegen mit 228 dt TM/ha (Anhang 16). In der Abbildung in Anhang 15 wurden die Ergebnisse aus Dornburg des Versuchsjahres 2013 nicht berücksichtigt. Auch hier waren witterungsbedingt nur sehr schlechte Ergebnisse zu dokumentieren. Die höhere Bodengüte spiegelt sich in den Standortergebnissen wider. Besonders in Bernburg und Straubing konnten die dreijährig geprüften Sorten im Futterhirsensbereich sehr hohe TM-Erträge generieren. Auch die ansonsten ertraglich deutlich schwächer abschneidenden Sudangrashybriden konnten mit z. T. über 170 dt TM/ha überzeugen. Generell sind auf den Lössstandorten auch später abreifende Sorten für den Anbau geeignet.

3 TV 2: Saatzeiten, Düngung

Dr. Anja Hartmann und Dr. Maendy Fritz, TFZ Straubing

3.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Sorghum benötigt unter optimalen Bedingungen eine kurze Vegetationsdauer von nur ca. 120 Tagen bis zur Abreife. Häufig wird deshalb der Anbau in Zweitfruchtstellung mit Saat in der ersten Junihälfte empfohlen. Hohe Erträge und vor allem eine sichere Abreife bis zur Silierfähigkeit sind unter den klimatischen Bedingungen in Deutschland mit den bisher verfügbaren Sorten oft nicht erreichbar. Auf leichten Standorten oder bei limitierter Wasserversorgung kann eine Ausnutzung der verfügbaren Vegetationszeit durch eine möglichst frühe Saat als Hauptfrucht Ertragsvorteile bringen. Für die Erstellung standortangepasster Empfehlungen zu Sortenwahl und Fruchtfolgestellung werden im Rahmen des Arbeitsschwerpunktes II im Verbundvorhaben „Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen“ Saatzeitversuche durchgeführt. An unterschiedlichen Standorten werden mit einem kleinen Sortiment etablierter Sorghumsorten, das die Reifegruppen „früh“ bis „mittelspät“ abdeckt, vier verschiedene Saattermine und deren Einfluss auf die Sorghumentwicklung untersucht. Ziel ist es, das Ertragspotenzial von Sorghum in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer und der zeitlichen Lage des Wuchszeitraums abzubilden und standortangepasste Reifegruppenempfehlungen in Abhängigkeit vom Saattermin geben zu können.

Hinsichtlich des Nährstoffbedarfs von Sorghum ist aus der Literatur bekannt, dass diese Kultur ein relativ gutes Nährstoffaneignungsvermögen besitzt. Die tiefgründigen und fein verzweigten Wurzeln ermöglichen es der Pflanze, die im Boden vorhandenen Nährstoffe, insbesondere Stickstoff (N), effizient auszunutzen (PLENÉT & CRUZ 1997; REHM & ESPIG 1996). Zur Ermittlung der erforderlichen Stickstoffdüngung kann der Stickstoffentzug der Pflanze mit Abfuhr des Erntegutes herangezogen werden. Ergebnisse eines vorhergehenden Vorhabens zeigten, dass es in Abhängigkeit von Sorte und Versuchsjahr zu relativ hohen N-Entzügen von über 200 kg N je Hektar (ha) kommen kann (HARTMANN & FRITZ 2011; RÖHRICHT & ZANDER 2009). Erste eigene Untersuchungen am TFZ haben jedoch ergeben, dass auch bei einer Düngung deutlich unterhalb der Entzugsmenge keine wesentlichen Mindererträge zu verzeichnen sind (ZEISE & FRITZ 2012). Im Rahmen des Arbeitsschwerpunktes III wurde ein Versuch zur Stickstoffdüngung auf unterschiedlichen Standorten mit vier Sorghumsorten angelegt. Ziel war die Ableitung optimaler und standortdifferenzierter Düngeempfehlungen für den Sorghumanbau zur Biogasnutzung.

3.2 Material und Methoden

3.2.1 Versuchsstandorte und Versuchsanlagen im Teilvorhaben 2

Die unterschiedlichen Versuchsstandorte in Bayern, Niedersachsen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen, an denen die Untersuchungen zum Saatzeitpunkt und zur Düngung von Sorghum durchgeführt wurden (Tabelle 7), decken ein breites Spektrum der Boden-Klima-Räume Deutschlands ab. Wesentliche Klimadaten und Angaben zur Bodenart der Versuchsstandorte sind in Tabelle 4 (Kapitel 1.1) dargestellt. Die Versuche im Teilvorhaben 2 wurde an folgenden Standorten von 2011 bis 2013 durchgeführt:

Tabelle 7: Versuchsstandorte im Teilvorhaben 2

Standort	Aholfing	Dasselsbruch	Güterfelde	Gülzow	Trossin	Straubing	Kirchengel
Saatzeitenversuch	2011-2013	2011-2013	2011-2013	2011-2013	2011-2013	2011-2013	
Düngeversuch	2011-2013	2011-2013		2011-2013	2011-2013	2012/2013	2011-2013

Der Saatzeitenversuch wurde je nach Standort als Spaltanlage mit Doppelparzellen (Trossin, Aholfing, Straubing, Dasselsbruch) oder in nach Saatzeit getrennten Blöcken mit vier Wiederholungen (Güterfelde, Gülzow) angelegt. Die Anlage des Düngeversuches erfolgte als randomisiertes Lateinisches Rechteck in nach Sorghumart getrennten Blöcken mit vier Wiederholungen. Lediglich am Standort Gülzow wurde der Versuch aus Platzgründen als Spaltanlage realisiert. Die Reihenweite betrug in beiden Versuchen 37,5 cm, die Saatstärke 25 (*S. bicolor*) bis 40 (*S. bicolor* x *S. sudanense*) Körner/m². Die Mais-Referenzsorte wurde mit 8 bis 9 Körner/m² und einer Reihenweite von 75 cm gelegt.

3.2.2 Arbeitsschwerpunkt II – Saatzeitenversuch

Ziel dieses Versuches war die Abbildung des Ertrags- und des Biogaspotenzials von Sorghum in Abhängigkeit von Vegetationsdauer und Saatzeitpunkt. Es sollten Empfehlungen zur Wahl der geeigneten Reifegruppe (ZEISE & FRITZ 2012) für die jeweilige Fruchtfolgestellung bzw. den jeweiligen Saattermin abgeleitet und damit eine optimale Fruchtfolgeeingliederung ermöglicht werden. In diesem dreijährigen Vorhaben wurden folgende Sorghumsorten zu vier Terminen gesät und gestaffelt geerntet:

- Hercules (*S. bicolor*) Reifegruppe „mittelspät“/5
- KWS Zerberus (*S. bicolor*) Reifegruppe „mittelfrüh bis mittelspät“/4
- KWS Freya (*S. bicolor* x *S. sudanense*) Reifegruppe „mittelfrüh“/3
- Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*) Reifegruppe „früh“/1

Die Sorghumsorten repräsentieren vier unterschiedliche Reifegruppen von früh bis mittelspät. Spätreife Sorten kommen in Deutschland aufgrund ihrer unzureichenden Abreife in der Regel nicht zum Einsatz und wurden daher im Versuch nicht berücksichtigt.

Als erster Saattermin wurde, für Sorghum aufgrund seiner mangelnden Kühltoleranz eher unüblich, **Anfang Mai** gewählt (Hauptfruchtstellung). Die zweite Saatvariante **Mitte Mai** ist ebenfalls dem Hauptfruchtanbau zuzurechnen, auch wenn der vorherige Anbau von Grünroggen denkbar ist. Zur Saat **Anfang Juni** (Saatvariante 3) ist der Anbau einer Vorfrucht wie z. B. Wintergerste als Ganzpflanzensilage bereits möglich. Würde Sorghum **Mitte Juni** gesät (Saatvariante 4), so könnte die GPS optimal bei ausreichenden TS-Gehalten und mit hohen Erträgen geerntet werden. Das Zehren einer Vorfrucht am Nährstoffangebot oder der Wasserverfügbarkeit wurde in diesem Versuch nicht berücksichtigt. Eine im Versuch ebenfalls mitgeführte Maisreferenz ermöglichte eine standortbezogene Einschätzung der Ertragsergebnisse (1. und 2. Saat = Ronaldinio [S240], 3. und 4. Saat = Salgado [S200]).

Die tatsächlich realisierten Saattermine der einzelnen Standorte und die während der Vegetationszeit akkumulierten Wärmesummen sind Tabelle 8 bis Tabelle 13 zu entnehmen. Der Berechnung der Wärmesummen (Aussaat bis Ernte) wurde eine Basistemperatur von 10 °C zu Grunde gelegt, d. h. von der mittleren Tages-temperatur ($[Temperatur_{max} + Temperatur_{min}]/2$) wurden jeweils 10 °C abgezogen (GERIK et al. 2003) und nur die verbleibenden Grad je Tag zur Bildung der Wärmesumme herangezogen. Als zusätzliche Saatvariante wurden am Standort Straubing die vier Sorghumsorten und zwei Mais-Referenzen (Ronaldinio S240, Palmer S290) Mitte April (17.04.2013) gesät. Die Frage, ob die Sorghumsaat zeitgleich mit der Maisausaat erfolgen könnte, hat sich bei Feldtagen und Informationsveranstaltungen als besonders interessant für die Praxis he-

rauskristallisiert. Weil diese Versuchsvariante nur an einem Standort durchgeführt wurde, wird im Bericht die Auswertung und Darstellung gesondert vorgenommen.

Tabelle 8: Termine im Saatzeitenversuch, Versuchsjahr 2011

Standort	Saat	Ernte	VT									
	Saat 1			Saat 2			Saat 3			Saat 4		
Aholting	02.05.	22.09.	143	17.05.	22.09.	128	04.06.	29.09.	117	16.06.	17.10.	123
Dasselsbruch	04.05.	20.10.	169	17.05.	20.10.	156	31.05.	20.10.	142	15.06.	20.10.	127
Güterfelde	03.05.	15.09.	135	16.05.	22.09.	129	31.05.	17.10.	139	15.06.	19.10.	126
Gülzow	03.05.	30.09.	150	19.05.	30.09.	134	30.05.	12.10.	135	15.06.	12.10.	119
Trossin	02.05.	21.09.	142	16.05.	28.09.	135	01.06.	13.10.	134	14.06.	13.10.	121
Straubing	02.05.	23.09.	144	18.05.	23.09.	128	04.06.	30.09.	117	16.06.	14.10.	120

VT = Vegetationstage zwischen Saat und Ernte

Tabelle 9: Termine im Saatzeitenversuch, Versuchsjahr 2012

Standort	Saat	Ernte	VT									
	Saat 1			Saat 2			Saat 3			Saat 4		
Aholting	30.04.	05.09.	128	15.05.	25.09.	133	31.05.	12.10.	134	18.06.	12.10.	116
Dasselsbruch	03.05.	12.09.	132	16.05.	12.09.	119	01.06.	20.10.	131	15.06.	10.10.	117
Güterfelde	02.05.	24.09.	145	15.05.	08.10.	146	31.05.	16.10.	138	15.06.	16.10.	123
Gülzow	02.05.	26.09.	147	14.05.	26.09.	135	31.05.	09.10.	131	13.06.	09.10.	118
Trossin	27.04.	01.10.	157	11.05.	01.10.	143	25.05.	15.10.	143	11.06.	15.10.	126
Straubing	30.04.	04.09.	127	15.05.	28.09.	136	31.05.	11.10.	133	18.06.	11.10.	115

VT = Vegetationstage zwischen Saat und Ernte

Tabelle 10: Termine im Saatzeitenversuch, Versuchsjahr 2013

Standort	Saat	Ernte	VT									
	Saat 1			Saat 2			Saat 3			Saat 4		
Aholting	03.05.	09.10.	159	15.05.	09.10.	147	07.06.	09.10.	124	20.06.	09.10.	111
Dasselsbruch	02.05.	20.09.	141	13.05.	17.10.	157	04.06.	17.10.	135	17.06.	17.10.	122
Güterfelde	02.05.	07.10.	158	15.05.	07.10.	145	03.06.	14.10.	133	17.06.	15.10.	120
Gülzow	03.05.	07.10.	157	15.05.	06.10.	144	31.05.	24.10.	146	13.06.	24.10.	133
Trossin	30.04.	02.10.	155	17.05.	14.10.	150	06.06.	14.10.	130	13.06.	14.10.	123
Straubing	03.05.	08.10.	158	15.05.	08.10.	146	07.06.	08.10.	123	20.06.	08.10.	110

VT = Vegetationstage zwischen Saat und Ernte

Tabelle 11: Grad Wärmesumme und Niederschlag im Saatzeitenversuch, 2011

Standort	Wärmesumme in °C				Niederschlag in mm			
	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholting	991	948	863	818	444	401	331	357
Dasselsbruch	903	861	795	694	406	399	394	371
Güterfelde	1101	1083	1074	927	312	322	351	339
Gülzow	1020	972	958	829	460	449	463	410
Trossin	1062	1042	981	860	418	410	416	412
Straubing	996	949	869	818	444	401	331	357

* Akkumulierte Wärmesumme von Saat bis Ernte

Tabelle 12: Grad Wärmesumme und Niederschlag im Saatzeitenversuch, 2012

Standort	Wärmesumme in °C				Niederschlag in mm			
	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholting	961	960	899	804	379	403	398	323
Dasselsbruch	809	777	714	675	261	231	306	258
Güterfelde	1036	1022	916	853	242	256	260	228
Gülzow	953	915	864	819	153	145	169	158
Trossin	1200	1109	1050	960	243	222	213	170
Straubing	953	972	899	804	379	406	412	318

* Akkumulierte Wärmesumme von Saat bis Ernte

Tabelle 13: Grad Wärmesumme und Niederschlag im Saatzeitenversuch, 2013

Standort	Wärmesumme in °C				Niederschlag in mm			
	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholting	969	922	871	750	388	346	201	180
Dasselsbruch	855	865	813	740	298	315	177	155
Güterfelde	1109	1059	980	882	284	277	241	229
Gülzow	1044	995	960	895	301	275	256	256
Trossin	1045	982	914	855	377	411	270	255
Straubing	969	922	871	750	388	346	201	180

* Akkumulierte Wärmesumme von Saat bis Ernte

Produktionstechnische Maßnahmen vor Saat (Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung) sowie getroffene Maßnahmen zur Bestandespflege (Pflanzenschutz) und Düngung sind in Anhang 17 zu finden. Die Bodenbearbeitung erfolgte standortbezogen einheitlich über den Versuch im Herbst oder im Frühjahr, während die Saatbettbereitung erst zur jeweiligen Saat durchgeführt wurde, um gleiche Ausgangsbedingungen für alle vier Saatvarianten zu schaffen. Zur Berechnung der erforderlichen Düngemenge im Saatzeitenversuch wurden Ergebnisse von Bodenuntersuchungen vor Aussaat herangezogen (s.

Anhang 18). Insbesondere die Ergebnisse zum N_{min}-Gehalt im Boden zeigen die unterschiedlichen Nährstoffgehalte, die bei jeweiliger Saatvariante zur Aussaat zur Verfügung standen. Im Versuch wurden jedoch alle Saatvarianten einheitlich gedüngt, ohne Berücksichtigung der erhöhten N_{min}-Gehalte bei späteren Terminen (Saatvarianten 2 bis 4).

3.2.3 Düngeversuch

Im Düngeversuch sollte an sechs Standorten (der Standort Straubing erst ab 2012) mit variierenden Bodenverhältnissen die optimale Stickstoffmenge zur Ausschöpfung des Ertragspotenzials von Sorghum ermittelt

werden. In diesem dreijährigen Versuch wurden die vier Sorghumsorten KWS Zerberus, Hercules (beide *S. bicolor*), KWS Freya und Lussi (beide *S. bicolor* x *S. sudanense*) in vier Stickstoffdüngungsvarianten (N-Stufen 100/150/200/250 kg N/ha) sowie einer Kontrolle ohne Düngung (N-Stufe 0 = N_{min}) angebaut (siehe Tabelle 14 bis Tabelle 16). Von der Soll-Stickstoffmenge der jeweiligen N-Stufe wurde der N_{min} -Gehalt im Boden abgezogen, sodass unabhängig von dem zur Verfügung stehenden Bodenstickstoff an allen Standorten die gleichen N-Versorgungsstufen verwendet wurden. An einigen Standorten gab es aufgrund von Düngefehlern oder außergewöhnlich hoher N_{min} -Werte Abweichungen von diesen Düngevarianten bzw. eine zusätzliche N-Stufe mit 300 kg N/ha. Die an den jeweiligen Standorten durchgeführten produktionstechnischen Maßnahmen vor Saat sind Anhang 26 zu entnehmen.

Tabelle 14: Termine und Dünge­stufen im Düngeversuch, 2011

Standort	Saat	Ernte (<i>S. bic./S. bic. x S. sud.</i>)	Tatsächliche N-Gabe in kg/ha (KAS)				
			$N_{min}^* = N0$	N100	N150	N200	N250
Aholfing	17.05	17.10./17.10.	86	20	70	120	170
Dasselsbruch	17.05	19.10./22.09.	39	61	111	161	211
Kirchengel	11.05	07.10./11.10.	88	12	61	112	161
Gülzow	25.05	07.10./07.10.	41	60	110	160	210
Trossin	16.05	13.10./21.09.	-	50	100	150	200

- = unbekannt; * 0–60 cm

Tabelle 15: Termine und Dünge­stufen im Düngeversuch, 2012

Standort	Saat	Ernte (<i>S. bic./S. bic. x S. sud.</i>)	Tatsächliche N-Gabe in kg/ha (KAS)					
			$N_{min}^* = N0$	N100	N150	N200	N250	N300
Aholfing	25.05.	12.10./01.10.	52	-	100	150	200	250
Dasselsbruch	16.05.	10.10./12.09.	43	57	107	157	207	-
Kirchengel	15.05.	02.10./02.10.	88	12	62	112	162	-
Gülzow	15.05.	27.09./27.09.	30	70	120	170	220	-
Trossin	11.05.	01.10./05.09.	119	-	31	81	131	-
Straubing	24.05.	10.10./02.10.	62	-	100	150	200	250

* 0–60 cm

Tabelle 16: Termine und Dünge­stufen im Düngeversuch, 2013

Standort	Saat	Ernte (<i>S. bic./S. bic. x S. sud.</i>)	Tatsächliche N-Gabe in kg/ha (KAS)					
			$N_{min}^* = N0$	N100	N150	N200	N250	N300
Aholfing	08.06.	08.10./08.10.	39	61	111	161	211	-
Dasselsbruch	13.05.	13.09./17.10.	36	64	114	164	214	-
Kirchengel	19.06.	22.10./22.10.	98	-	52	102	152	202
Gülzow	16.05.	07.10./07.10.	50	50	100	150	200	-
Trossin	17.05.	03.09./14.10.	16	84	134	184	234	-
Straubing	08.06.	07.10./07.10.	32	68	118	168	218	-

* 0–60 cm

An einigen Standorten wurde zudem eine Mais-Referenz mit ortsüblicher N-Düngung angebaut, um die Höhe der N_{min} -Werte nach Ernte sowie die berechneten N-Bilanzen einschätzen und vergleichen zu können.

3.2.4 Auswertung

Für die statistische Datenanalyse wurde die Software SAS Version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) verwendet. Mittelwerte, Standardabweichungen und Varianzanalysen wurden mittels der MEAN- und GLM-Prozeduren ausgeführt. Signifikante Unterschiede zwischen Faktorstufen beziehen sich auf eine Irrtumswahr-

scheinlichkeit von 5 % und sind im folgenden Bericht mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Die grafisch dargestellten quadratischen Regressionsfunktionen wurden mit dem Programm Origin 9.0 (OriginLab, Northampton, MA) berechnet.

3.3 Ergebnisse und Diskussion

3.3.1 Saatzeitenversuch

Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt

Der Saatzeitenversuch (Abbildung 12) wurde mit vier Sorten an sechs Standorten angelegt. Die vier Saatvarianten von Anfang Mai bis Mitte Juni wurden gestaffelt beerntet. Zielvorgabe war, soweit als möglich, bei der zuletzt abreifenden Sorte Hercules 28 % TS-Gehalt zu erreichen, um auch das Ertragspotenzial dieser Sorte abbilden zu können.



Abbildung 12: Saatzeitenversuch am Standort Straubing (von oben nach unten: 1.7.; 17.8.; 14.9.2011)
(Foto: TFZ)

Bedingt durch extreme Witterungsbedingungen in den Jahren 2012 und 2013 gehen für den Standort Trossin nur Daten des Versuchsjahres 2011 und für den Standort Aholting Daten der Jahre 2011 und 2012 in die über die Projektlaufzeit gemittelte Ergebnisdarstellung ein. Die vollständigen Ergebnisse sind in Anhang 19 bis Anhang 21 zu finden.

Saatzeitpunkt und Trockenmasseertrag

Eine dreijährige Auswertung der relativen Trockenmasseerträge (Tabelle 17) zeigt, wie sich die Standorte, Saattermine und Sorten hinsichtlich des Ertrags unterscheiden. Im Hauptfruchtanbau konnten mit den vier Sorghumsorten im Versuch auf den Löss- und D-Süd-Standorten teilweise sehr gute Erträge bis über 200 dt TM/ha erzielt werden. Der Abstand zum Mais war somit bei den ertragreichsten Sorten nicht mehr groß. Die *S. bicolor* Sorten KWS Zerberus und insbesondere Hercules erreichten in der Regel höhere Erträge als die Kreuzungshybriden *S. bicolor* x *S. sudanense*. Als besonders ertragreich erwiesen sich im Hauptfruchtanbau die Standorte Aholging, Straubing und Trossin. Ob für Sorghum im Hauptfruchtanbau eine Saat Anfang Mai oder Mitte Mai vorteilhaft ist, hängt vom Standort und Jahr ab. Auf den meisten Standorten war durch eine Saat Anfang Mai ein ertraglicher Vorteil von etwa 5 bis 10 % im Vergleich zum üblichen Saattermin Mitte Mai zu verzeichnen. Das größte Plus brachte diese frühe Saatvariante auf den kühleren nördlichen Standorten Dasselsbruch und Gülzow, wo das Erreichen einer ausreichenden Wärmesumme für Sorghum eher schwierig ist. Auch in Trossin schien eine frühe Saat vorteilhaft. Hierbei ging aber nur ein Versuchsjahr in die Auswertung mit ein; die Ergebnisse sind somit schwer interpretierbar. In Güterfelde brachte eine Saat Anfang Mai keinen Mehrertrag mit Ausnahme der Sorte Hercules.

Ein geringer Vorteil des Saattermins Anfang Mai gegenüber Mitte Mai ist anhand der Ergebnisse abzuleiten. Allerdings kann das Risiko von Ertragsausfällen oder Mindererträgen aufgrund von Spätfrost nicht ausgeschlossen werden. In Trossin beispielsweise hatte eine Kälteperiode im Mai 2012 zu erheblichen Schäden in der ersten Saatvariante geführt. In Fällen, in denen bedingt durch betriebliche Vorgaben eine frühe Ernte des Sorghumbestandes notwendig ist, kann eine Saat Anfang Mai dennoch die richtige Entscheidung sein, weil dadurch der Bestand in der Regel früher erntereif ist. Kühle, nasse Maitage können den zeitlichen „Vorsprung“ jedoch schnell zunichtemachen. Auch ein erhöhter Unkrautdruck, bedingt durch das bei kühlen Temperaturen sehr langsame Wachstum von Sorghum, kann Probleme bereiten. Die Entwicklung von C3-Ungräsern und Unkräutern ist durch niedrige Temperaturen in der Regel weit weniger eingeschränkt als die Entwicklung von Sorghum. Wenn dann, wie beispielsweise im Jahr 2013, auch noch Nässe die notwendige Pflanzenschutzmaßnahme verhindert, sind die Bestände aufgrund hoher Verunkrautung und mangelndem Sorghumwachstum nicht mehr erntewürdig (siehe Abbildung 13). Sofern nichts zu einer zeitigen Ernte drängt, sollte Sorghum auf den meisten Standorten erst ab Mitte Mai, nach dem letzten Frost, angebaut werden. In sehr warmen, begünstigten Regionen ohne Spätfrostgefahr könnte die frühe Saat Anfang Mai jedoch zur Regel werden.



Abbildung 13: Erheblich verunkrauteter Bestand in Aholting (Saat: 17.04.2013, Foto vom 20.06.2013)
(Foto: TFZ)

Ein Anbau von Sorghum Anfang Juni als Zweitfrucht, z. B. nach frühzeitig geernteter Wintergerste, führte im Versuch zu einer weiteren Ertragsreduktion von 5–15 %. Der Feldaufgang ist bei dieser Variante in der Regel gut und auch das Wachstum bedingt durch die warmen Temperaturen zügig. Allerdings macht sich die verkürzte Vegetationszeit bzw. die geringere akkumulierte Wärmesumme bis zur Ernte deutlich bemerkbar (siehe Tabellen 8 bis 13). Dennoch konnten im Versuch standortabhängig stattliche Erträge von bis zu 200 dt TM/ha erzielt werden. Dafür sind allerdings sehr günstige klimatische Bedingungen notwendig, wie dies am Standort Aholting in den Jahren 2011 und 2012 der Fall war. Unter normalen Bedingungen auf mittleren Standorten ist eher mit Erträgen im Bereich bis 120 oder 150 dt TM/ha zu rechnen. Die *S. bicolor*-Sorten bildeten in dieser Saatvariante zumeist immer noch die höchsten Erträge. Der Unterschied zwischen den beiden Sorghumarten war jedoch oft nur noch gering.

Bei der Saatvariante Mitte Juni war auf allen Standorten der Ertrag stark reduziert, wie die Ergebnisse zeigen. Die Rentabilität des Sorghumanbaus ist dann z. T. fraglich. Generell gilt, dass der je Vegetationstag produzierte Ertrag bei Saat Mitte Juni deutlich geringer als bei allen früheren Saatterminen ist. Späte Saattermine können oft nicht durch eine späte Ernte kompensiert werden (Tabelle 18), weil bei kühlen Temperaturen im Herbst kaum mehr Wachstum stattfindet oder der Übergang von der vegetativen in die generative Phase früher erfolgt und damit die Massebildung schneller abgeschlossen ist.

Die höchsten Erträge bei einer Saat Mitte Juni lieferten die Standorte Straubing und Aholting. In Gülzow ist nach vorliegenden Ergebnissen aufgrund des geringen Aufwuchses der Anbau von Sorghum Mitte Juni kaum zu empfehlen. Auch in Dasselsbruch und Trossin waren die im Versuch erzielten Erträge sicherlich kritisch. Große Unterschiede zwischen der Ertragsleistung der Sorghumarten waren in dieser Saatvariante meist nicht mehr gegeben. Bei solch später Saat bringt die Wahl ertragreicher spätreifer Sorten keinen Vorteil, der entscheidende Faktor ist dann eher der Trockensubstanzgehalt zur Ernte und damit die Frühreife der jeweiligen Sorten. Generell will der Zweitfruchtanbau auf ertragsschwachen Standorten wohlüberlegt sein. Auch auf Standorten mit ausgeprägter Früh- und Sommertrockenheit ist der Zweitfruchtanbau aufgrund des limitierten Wasserangebotes riskant (EBEL et al. 2009).

Im Vergleich zum Mais zeigte sich, dass die vielen Jahre Züchtungsvorsprung nicht so schnell einzuholen sind. Auf den Standorten Dasselsbruch, Gülzow, Straubing und Trossin wurden die Maximalerträge im Hauptfruchtanbau mit Mais (Sorte Ronaldinio, S240) erreicht. In Aholfing, Güterfelde und zum ersten Saattermin in Trossin reichte Sorghum mit der Sorte Hercules an die Maiserträge heran oder übertraf sie sogar. In der Saatvariante Anfang Juni konnte nur in Aholfing und Güterfelde die *S. bicolor*-Sorten den Mais toppen. Bei einer Saat Mitte Juni war die Maissorte Salgado (S200) jedoch ohne Ausnahme die ertragsstärkste Kultur. Besondere Vorteile gegenüber dem Mais im Zweitfruchtanbau können für Sorghum nach diesen Ergebnissen nicht abgeleitet werden.

Tabelle 17: Trockenmasseertrag und relativer Trockenmasseertrag der Versuchsstandorte (Mittel der Jahre 2011–2013)

Klima Region	Ort	Sorte	Trockenmasseertrag in dt/ha				Relativer TM-Ertrag in %			
			Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Nord	Dasselsbruch	Lussi	154	149	136	99	100	97	88	65
		KWS Freya	159	152	145	102	100	95	91	64
		KWS Zerberus	166	150	140	99	100	91	85	60
		Hercules	170	162	150	101	100	96	88	60
		Mittel	162	153	143	101	100	94	88	62
	Mais	199	185	157	139	100	93	79	70	
	Gülzow	Lussi	136	134	116	86	100	98	85	63
		KWS Freya	150	140	125	86	100	94	83	58
		KWS Zerberus	147	131	121	84	100	89	82	57
		Hercules	162	142	125	82	100	88	77	51
Mittel		149	137	122	85	100	92	82	57	
Mais	213	212	156	115	100	99	73	54		
Löss	Aholfing*	Lussi	203	213	210	153	100	104	103	75
		KWS Freya	225	208	204	156	100	93	91	69
		KWS Zerberus	237	220	220	146	100	93	93	62
		Hercules	266	246	208	167	100	93	78	63
		Mittel	233	222	211	155	100	95	90	67
	Mais	261	238	204	185	100	91	78	71	
	Straubing	Lussi	189	179	156	136	100	94	82	72
		KWS Freya	196	184	169	146	100	94	86	75
		KWS Zerberus	201	199	175	132	100	99	87	66
		Hercules	219	220	185	163	100	100	84	74
Mittel		201	195	171	144	100	97	85	72	
Mais	236	241	203	196	100	102	86	83		
D-Süd	Trossin [#]	Lussi	219	178	111	81	100	81	51	37
		KWS Freya	205	193	136	94	100	94	66	46
		KWS Zerberus	214	202	127	101	100	94	59	47
		Hercules	235	210	108	76	100	89	46	32
		Mittel	218	201	123	91	100	92	57	42
	Mais	216	223	166	123	100	104	77	57	
	Güterfelde	Lussi	162	162	138	121	100	100	85	74
		KWS Freya	163	163	147	125	100	100	90	77
		KWS Zerberus	177	176	150	126	100	100	85	71
		Hercules	195	182	154	121	100	93	79	62
Mittel		174	171	147	123	100	98	85	71	
Mais	176	174	147	130	100	99	84	74		

* = Mittel 2011/2012, [#] = 2011

Tabelle 18: Trockenmassebildung je Vegetationstag (Sorten- und Jahresmittel; 2011–2013)

Ort	kg TM je Vegetationstag und Hektar			
	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholting*	17	17	17	13
Dasselsbruch	11	11	11	8
Güterfelde	12	12	11	10
Gülzow	10	10	9	7
Straubing	14	14	14	13
Trossin*	15	14	9	7

* Aholting Versuchsjahre 2011, 2012; Trossin Versuchsjahr 2011

Trockensubstanzgehalt und Sortenwahl

Entscheidend für die Sortenwahl zum jeweiligen Saattermin ist nicht nur der erzielbare Ertrag. Ein Mindest-Trockensubstanzgehalt von 28 % sollte erreicht werden, um Ernte und Transport problemlos und kostenminimierend durchführen zu können sowie eine verlustarme Silierung zu gewährleisten. Somit sind für spätere Saattermine nicht unbedingt die ertragreichsten Sorten, sondern vielmehr diejenigen geeignet, die noch sicher ausreichende TS-Gehalte zur Ernte erreichen. Weil im Rahmen des Saatzeitenversuches nur eine begrenzte Anzahl an Sorten überprüft werden konnte, wurden vier Sorten aus vier Reifegruppen (früh bis mittelspät [ZEISE & FRITZ 2012; ZEISE 2012]) ausgewählt, die eine Übertragbarkeit auf andere Sorten der gleichen Reifegruppe ermöglichen sollen: Lussi (RG 1), KWS Freya (RG 3), KWS Zerberus (RG 4), Hercules (RG 5).

Die Ergebnisse in Abbildung 14 bis Abbildung 16 zeigen, dass die Sorten Lussi und KWS Freya gemäß ihrer Eingruppierung in die Reifegruppen 1 und 3 stets die höchsten TS-Gehalte erreichten. Insbesondere die Sorte Lussi erreicht in fast allen Varianten und auf allen Standorten die geforderten 28 % TS. Übertroffen wurden die TS-Gehalte jedoch von der jeweiligen Maisreferenz (Ausnahme: Güterfelde). Je später jedoch der Saattermin, desto mehr glichen sich die TS-Gehalte der frühreifen Lussi und der Maisreferenz (Mai-Saat: S240, Juni-Saat S200) an. KWS Zerberus aus der Reifegruppe 4 hatte im Versuch deutlich niedrigere TS-Gehalte zur Ernte. Die Sorte Hercules als Vertreter mittelspäter Sorten schaffte selbst bei einer Saat Anfang Mai die geforderten 28 % TS kaum. Für fast alle Standorte und Sorten lässt sich eine kontinuierliche Abnahme der TS-Gehalte mit Verschiebung des Saatzeitpunkts nach hinten beobachten. Einzelergebnisse können Anhang 19 bis Anhang 21 entnommen werden. Abweichungen von diesem Trend, wie z. B. in Dasselsbruch, sind auf eine verfrühte Ernte, bedingt durch organisatorische Vorgaben, zurückzuführen. Die niedrigen TS-Gehalte der eigentlich frühen Sorte Lussi in Trossin bleiben unklar.

Auf Grundlage der dreijährigen Ergebnisse lässt sich für den Hauptfruchtanbau (Saat Anfang Mai) auf den Standorten Aholting und Güterfelde die Eignung aller Sorten ableiten. Hier kann die Sortenwahl hinsichtlich der Ertragsleistung getroffen werden, weil die geforderten 28 % TS in der Regel auch von mittelspäten Sorten (Reifegruppe 5) erreicht werden. Auf den nördlichen Standorten Gülzow und Dasselsbruch sowie in Straubing und Trossin empfiehlt es sich, auf Sorten ab Reifegruppe 4 oder kleiner auszuweichen, um eine ausreichende Abreife zu gewährleisten. Für den sorghumüblichen Saattermin Mitte Mai ist mit Sorten der Reifegruppe 4 und bei ausreichend später Ernte ein TS-Gehalt von 28 % möglich. In Gülzow, Trossin und Aholting erscheint das sichere Erreichen eines TS-Gehaltes von 28 % kritisch. In Aholting ist dies auf eine verfrühte Ernte zurückzuführen. Für diesen Standort kann auf Basis der Betrachtung der Einzelergebnisse und den Erfahrungen aus langjährigen Sorghumversuchen die Empfehlung für Reifegruppe 4 erfolgen. In Gülzow und Trossin hingegen sichert die Wahl von Sorten aus den Reifegruppen 3 und darunter die Abreife.

Im Zweitfruchtanbau zum Saattermin Anfang Juni sollten frühe bis mittelfrühe Sorten angebaut werden. Eine noch spätere Saat Mitte Juni schränkt das Sortenspektrum auf fast allen Standorten auf die Reifegruppen

„früh“ (1) bis „mittelfrüh“ (3) ein. Für die D-Süd- und Nord-Standorte empfiehlt sich nur der Anbau von Lussi. Vergleichbare Sorten sind in diesem Segment bisher kaum verfügbar. Auf den bayerischen Standorten und in Güterfelde könnten eventuell auch noch mittelfrühe Sorten, wie z. B. Freya, erfolgreich angebaut werden.

In der Praxis wird Sorghum oft gemeinsam mit Mais einsiliert, dann nimmt der Landwirt etwas geringere TS-Gehalte in Kauf und setzt auf den Ertrag von etwas spätreiferen Sorten als hier empfohlen. Sickersaftbildung bereitet bei einer Mischsilierung vermutlich keine Probleme, die steigenden Transportkosten mit zunehmendem Wassergehalt sollten aber nicht außer Acht gelassen werden. Eine Vorzüglichkeit gegenüber der angebauten Maissorte im Hinblick auf den TS-Gehalt ließ sich auch im Zweitfruchtanbau nicht feststellen. In Gülzow und Güterfelde konnte mit der Sorte Lussi jedoch noch ein TS-Gehalt von 28 % erzielt werden, was mit der Maissorte (S200) nicht mehr möglich war.

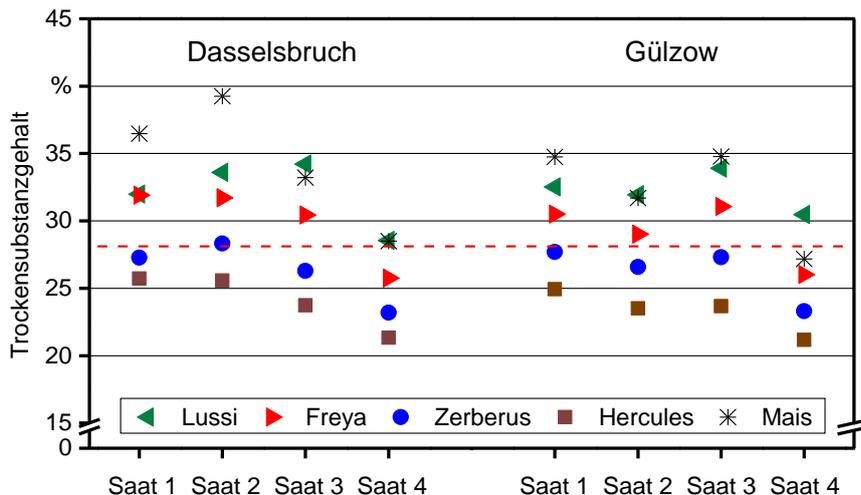


Abbildung 14: Trockensubstanzgehalte des Saatzeitenversuches zur Ernte an den Standorten der Boden-Klimaregion „Nord“, rote Linie = Ziel-TS-Gehalt von 28 %, Mittel 2011 bis 2013

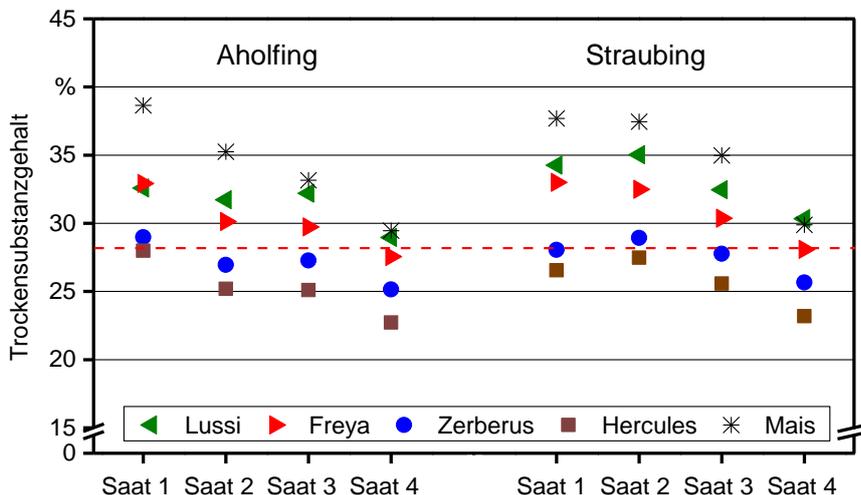


Abbildung 15: Trockensubstanzgehalte des Saatzeitenversuches zur Ernte an den Standorten der Boden-Klimaregion „Löss“, rote Linie = Ziel-TS-Gehalt von 28 %, Mittel 2011 bis 2013, in Aholting 2011, 2012

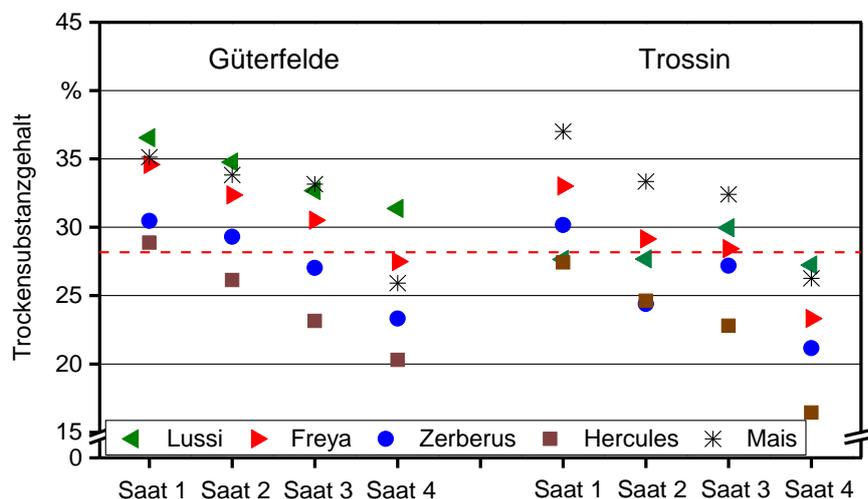


Abbildung 16: Trockensubstanzgehalte des Saatzeitenversuches zur Ernte an den Standorten der Boden-Klimaregion „D-Süd“, rote Linie = Ziel-TS-Gehalt von 28 %, Mittel 2011 bis 2013, Trossin nur 2011

Tabelle 19 bietet eine Zusammenfassung der Sortenempfehlung für die unterschiedlichen Standorte unterteilt nach Boden-Klimaregion und unter der Vorgabe, zur Ernte 28 % TS zu erreichen. Eine Betrachtung der Einzeljahresergebnisse zeigt jedoch eine deutliche Variabilität. In besonders warmen oder trockenen Jahren kann es durchaus zu Abweichungen von diesen Ergebnissen kommen.

Tabelle 19: Reifegruppenempfehlung für den Anbau von Sorghum auf unterschiedlichen Standorten und zu unterschiedlichen Saatterminen und der mit diesen Reifegruppen mögliche TM-Ertrag

Boden-Klimaregion	Ort	geeignete Reifegruppe zum jeweiligen Saattermin				möglicher Ertrag in dt TM/ha relativ zum Maisertrag in %			
		Anfang Mai	Mitte Mai	Anfang Juni	Mitte Juni	Anfang Mai	Mitte Mai	Anfang Juni	Mitte Juni
„NORD“ Leichte Böden, kühles Frühjahr, mäßige Niederschläge	Dasselsbruch	≤ 4	≤ 4	≤ 3	≤ 1	166 83	150 81	145 92	99 72
	Gülzow	≤ 4	≤ 3	≤ 3	≤ 1	147 69	140 66	125 80	86 75
„LÖSS“ Gute Böden, mittlere Temperaturen, ausreichende Niederschläge	Straubing	≤ 4	≤ 4	≤ 3	≤ 1	201 85	199 83	169 83	136 69
	Ahofling	≤ 5	≤ 4	≤ 3	≤ 1	266 102	220 93	204 100	153 83
„D-SÜD“ Leichte bis mittlere Böden, warm und sommertrocken, mäßige Niederschläge	Güterfelde	≤ 5	≤ 4	≤ 3	≤ 1	195 111	175 101	147 100	121 93
	Trossin*	≤ 4	≤ 3	≤ 3	≤ 1	214 99	193 86	136 82	81 66

* Angaben vorläufig, weil die Empfehlung nur auf Basis einjähriger Daten erstellt wurde

Aprilsaat

Zusätzlich zu den vier bisher aufgeführten Saatvarianten wurde 2013 am Standort Straubing eine weitere Variante mit Saattermin Mitte April, zum üblichen Termin für die Maissaat, angelegt. Die Ergebnisse in Abbildung 17 lassen keinen Vorteil einer so frühen Saat im Vergleich zur Aussaat Mitte Mai erkennen, lediglich die TS-Gehalte liegen tendenziell etwas höher. Allerdings war das Versuchsjahr 2013 geprägt durch extreme Witterungsbedingungen im Frühjahr, mit überdurchschnittlichen Niederschlägen und niedrigen Temperaturen. Allgemeingültige Erkenntnisse können deshalb nicht abgeleitet werden. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass eine solch frühe Aussaat gelingen kann. Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Risiken der Spätfrostgefahr und Unkrautproblematik gelten hierbei allerdings umso mehr.

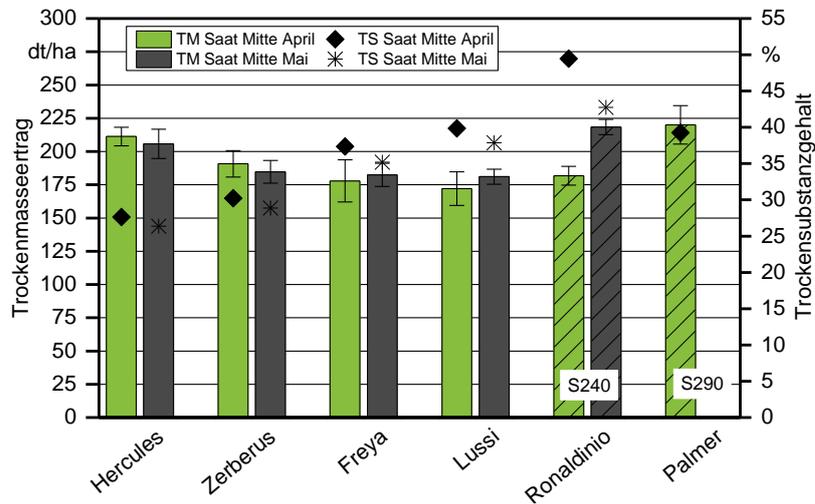


Abbildung 17: Saatvariante „Mitte April“ im Vergleich zum optimalen Saattermin Mitte Mai für Sorghum- und Maissorten (schraffiert) am Standort Straubing, Versuchsjahr 2013

Zusammenhang zwischen Trockensubstanzgehalt zur Ernte und BBCH-Stadium bzw. Wärmesumme

Die Ergebnisse in Kapitel 3.3.1 haben deutlich die unterschiedliche Abreife der Sorghumsorten und den großen Einfluss der Standort- und Witterungsbedingungen auf diesen Parameter gezeigt. Größter Einflussfaktor ist sicherlich die akkumulierte Wärmesumme. Dass der Trockensubstanzgehalt mit zunehmender Wärmesumme ansteigt und die Sorten einen unterschiedlichen Wärmebedarf haben, ist bekannt. Abbildung 18 stellt diesen Zusammenhang anhand der dreijährigen Versuchsdaten dar. Deutlich werden die Unterschiede zwischen den Sorten, wobei Lussi den geringsten und Hercules den höchsten Wärmebedarf hat, um die Silierreife mit 28 % TS zur Ernte zu erreichen. Das relative kleine Bestimmtheitsmaß zeigt allerdings, dass das quadratische Modell mit den Parametern Wärmesumme und TS-Gehalt nur zu einem Teil die Varianz der Daten erklärt. Gehen weitere Parameter wie Anzahl der Vegetationstage und Wärmesumme vor Ernte (im Monat September) mit in das Modell ein, so werden Bestimmtheitsmaße von 0,62 (Lussi), 0,63 (KWS Freya), 0,52 (KWS Zerberus) und 0,42 (Hercules) erreicht. Auch der Saatzeitpunkt kann einen gewissen Einfluss auf die Entwicklung des TS-Gehaltes haben (Tageslänge, Temperatur- und Niederschlagsverteilung). Eine nach Ort getrennte Betrachtung des Zusammenhangs erhöht das Bestimmtheitsmaß auf bis zu 0,9. Dies verdeutlicht die Komplexität des Abreifeprozesses, offensichtlich haben weitere standortspezifische Parameter einen großen Einfluss auf die Entwicklung des Trockensubstanzgehaltes der Sorghumsorten.

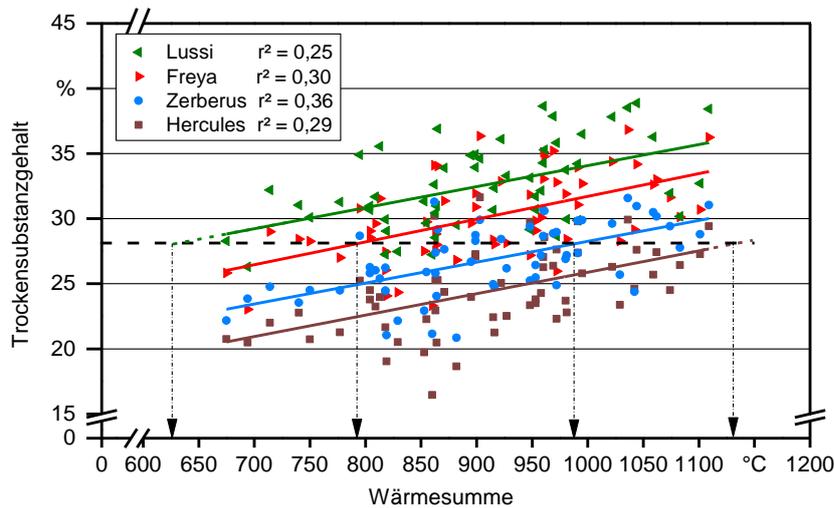


Abbildung 18: Linearer Fit zwischen TS-Gehalt zur Ernte und der akkumulierten Wärmesumme im Vegetationszeitraum für vier Sorghumsorten, Werte 2011 bis 2013 aller Standorte; Trossin nur 2011; Aholting nur 2011, 2012

Eine für den Landwirt einfach zu bestimmende Größe, die in engem Zusammenhang mit dem TS-Gehalt steht, ist das Entwicklungsstadium. Das Bestimmtheitsmaß zeigt, dass die Korrelation zwischen BBCH und TS-Gehalt offensichtlich weniger von spezifischen Standortfaktoren beeinflusst ist (Abbildung 19). Legt man die Werte aller Standorte und Sorten zu Grunde, so ergibt sich, dass zum Ende der Blüte, bei BBCH 70, im Mittel der Ziel-TS-Gehalt von 28 % erreicht ist. Eine nach Sorten getrennte Auswertung zeigt, dass insbesondere die frühreife Sorte Lussi die geforderten 28 % TS in einem früheren Entwicklungsstadium erreicht als beispielsweise der mittelspäte Hercules. Es ergibt sich eine sortenabhängige Spannweite des Entwicklungsstadiums von BBCH 57 (Lussi) bis BBCH 76 (Hercules) als Kenngröße für ausreichende TS-Gehalte. Die Streuung und der Vergleich mit Ergebnissen anderer Autoren wie ZEISE & FRITZ (2012) verdeutlichen zudem, dass es auch hierbei weitere Einflussfaktoren gibt. Die Genauigkeit und Sicherheit mit der hier Entwicklungsstadien bestimmt werden, mag sicherlich ebenfalls relevant sein. Nach Einschätzung der Autoren ist das Entwicklungsstadium 57 (Ende Rispschieben, Beispiel Lussi) nicht ausreichend für TS Gehalte von 28 %. In Übereinstimmung mit anderen Autoren (ZEISE & FRITZ 2012) erscheint als Faustregel der Beginn der Kornfüllung bei BBCH 71 brauchbar – BBCH 70 existiert nur rechnerisch, nicht aber im BBCH-Code. Im Mittel werden zu diesem Entwicklungsstadium silierfähige TS-Gehalte von 28 % erreicht.

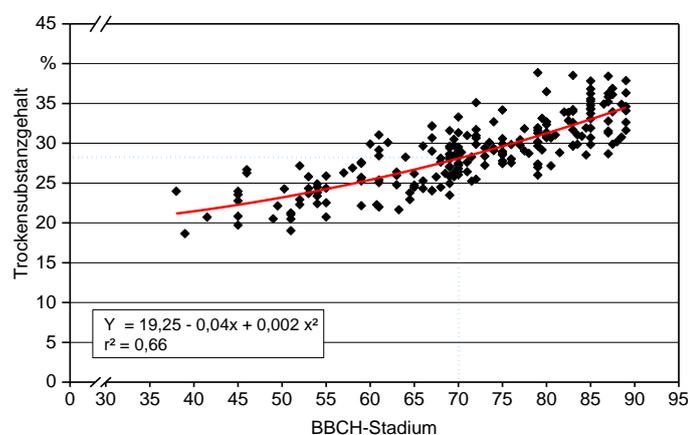


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen Entwicklungsstadium (BBCH) und Trockensubstanzgehalt zur Ernte, Werte 2011 bis 2013 aller Standorte und Sorten; Trossin nur 2011; Aholting 2011, 2012

Methanhektarertrag

Neben dem TS-Gehalt und dem TM-Ertrag ist für den Landwirt der Methanhektarertrag die eigentlich entscheidende Größe, weil sie in direktem Zusammenhang mit der produzierten Strommenge steht, die bei der Biogasproduktion ja letztendlich das verkaufsfähige Gut darstellt. Der Methanhektarertrag errechnet sich aus der Methanausbeute (ausführliche Ergebnisse in Kap. 5.3.1) und dem Trockenmasseertrag. Den Darstellungen in diesem Kapitel liegen Berechnungen zur Methanausbeute auf Basis der Formel von WEIßBACH (2008) zu Grunde. Hierbei wird der Rohfasergehalt herangezogen, um die fermentierbare organische Substanz (FoTS) zu berechnen. Je Kilogramm FoTS werden 420 l Methan veranschlagt.

Die Ergebnisse in Abbildung 20 bis Abbildung 22 zeigen die unterschiedlichen Methanhektarerträge der Standorte. Das niedrigste Niveau weisen, analog zu den Ergebnissen des TM-Ertrages (siehe Kap 3.3.1), die nördlichen Standorte Dasselsbruch und Gülzow auf. Hier wurden maximal 3.700 m³/ha erreicht. Die höchsten Methanhektarerträge mit bis zu 5.000 m³/ha wurden für die Lössstandorte Aholting und Straubing berechnet. Die Werte des Standortes Güterfelde bewegen sich auf mittlerem Niveau, während Trossin sehr gute Methanerträge erzielte, welche allerdings auf nur einjährigen Ergebnissen basieren. Die besten Ergebnisse wurden fast ausschließlich von der Sorte Hercules erreicht. Nur am Standort Gülzow lag der theoretische Methanertrag der Sorte KWS Freya höher.

Der früheste Saattermin Anfang Mai war der Optimalsaat Mitte Mai jeweils etwas überlegen. In Straubing und Güterfelde waren die Unterschiede jedoch sehr gering. Bei einer Saat als Zweitfrucht im Juni sanken die Methanerträge dann jedoch teilweise deutlich ab. Die Analogie zu den TM-Ergebnissen verdeutlicht, wie auch schon vorangehende Ergebnisse (HARTMANN & FRITZ 2011), dass der Methanhektarertrag hauptsächlich durch die Menge der produzierten Biomasse und weniger über Unterschiede in der Methanausbeute je Kilogramm Substrat beeinflusst wird. Im Vergleich zum Mais lagen die Methanhektarerträge von Sorghum zurück. So wurden bei Saat Mitte Mai von den jeweils besten Sorten 78 % (Güterfelde) bis 53 % (Gülzow) des Methanertrages von Mais erzielt (Ergebnisse nicht dargestellt). Die geringsten Unterschiede zum Mais gab es auf dem warmen und trockenen Standort Güterfelde, die größten Unterschiede wurden für den kühlen Norden berechnet (Gülzow). Im Zweitfruchtanbau mit einer Saat Anfang Juni konnte Sorghum etwas aufholen. Hier wurden von den besten Sorten immerhin 82 % (Güterfelde) bis 67 % (Gülzow) des Mais-Methanertrages erreicht. Bei Saat Ende Juni betrug das Methanertragsniveau von Sorghum mit den jeweils besten Sorten 101 % (Straubing) bis 61 % (Dasselsbruch) des Mais.

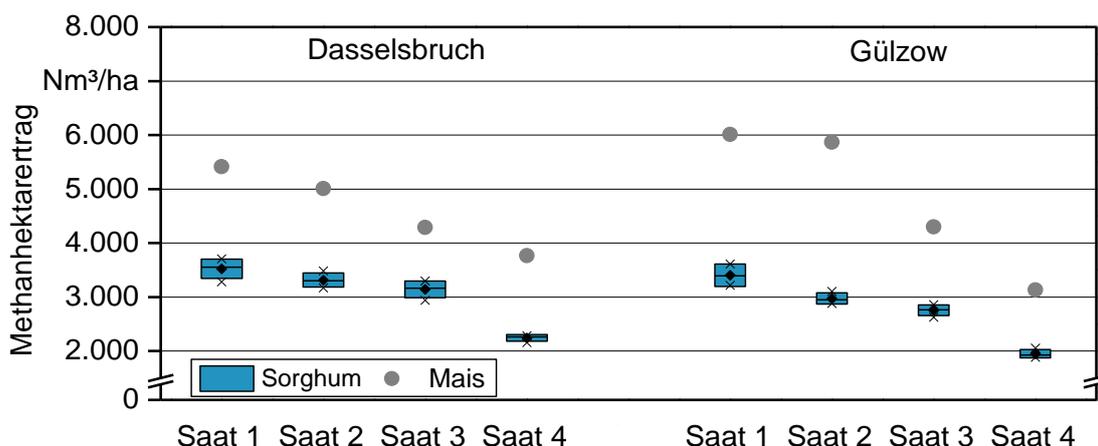


Abbildung 20: Methanhektarertrag auf den „Nord“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre 2011–2013 und Sorten

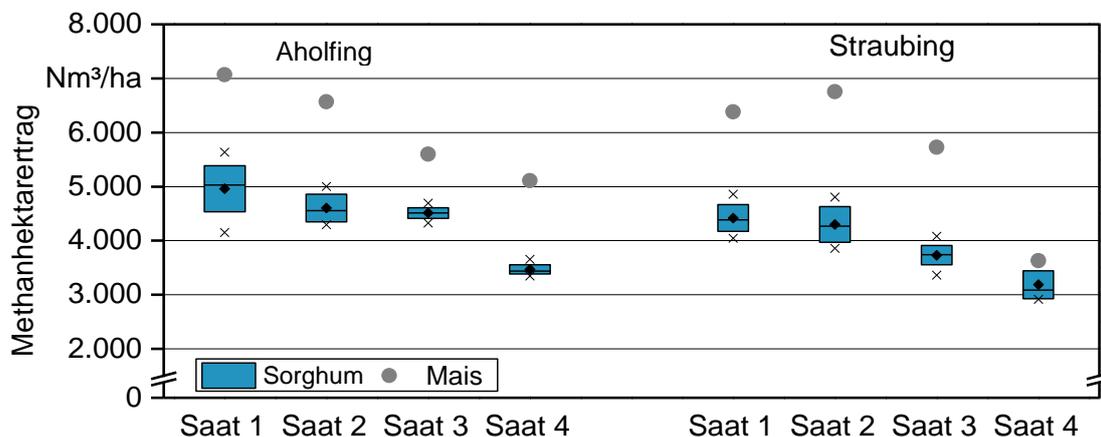


Abbildung 21: Methanhektarertrag auf den „Löss“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre (Aholting nur 2011, 2012; Straubing 2011–2013) und Sorten

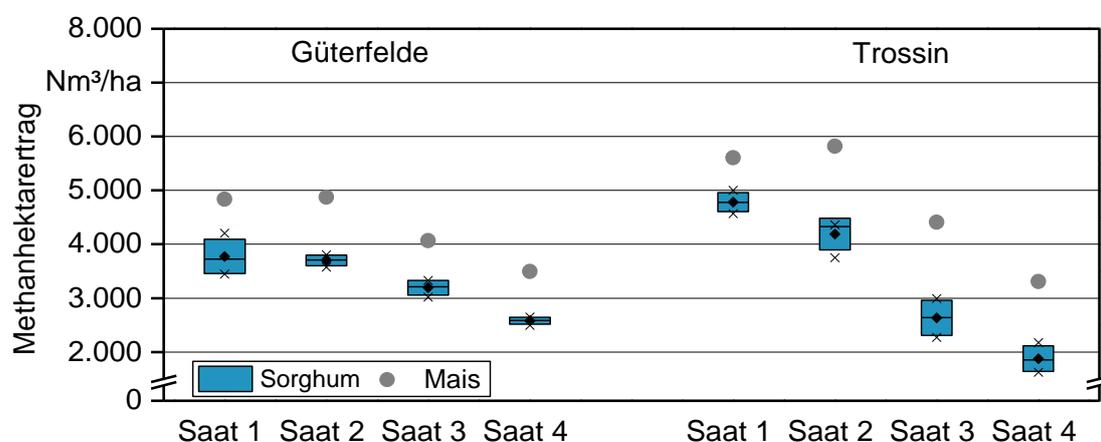


Abbildung 22: Methanhektarertrag auf den „D-Süd“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre (Güterfelde 2011–2013; Trossin nur 2011) und Sorten

Die großen Unterschiede zwischen den Methanerträgen der beiden Kulturen sind neben dem unterschiedlichen Ertragsniveau auch auf die unterschiedliche Zusammensetzung an vergärbaren Inhaltsstoffen zurückzuführen. Das Erntegut von Sorghum enthält im Durchschnitt mehr unverdauliche Rohasche, mehr Rohfaser und weniger leicht vergärbare Kohlehydrate (HARTMANN & FRITZ 2011) als Mais. Die Stärke des Maiskolbens, die den Sorghumpflanzen meist fehlt, bildet eine wichtige Nahrungsgrundlage für die Bakterien im Fermenter, wie Ergebnisse von HORSTMANN et al. (2010) zeigen. Kap. 5.3.1 bietet detaillierte Ergebnisse zu diesem Thema. Auch wenn Sorghum bezüglich des Methanertrags deutlich hinter Mais zurückliegt, konnten im Versuch die in der Literatur angegebenen Werte für Getreide-Ganzpflanzensilage von etwa 3.700 m³/ha (FNR 2012) im Hauptfruchtanbau erreicht werden (mit Ausnahme der nördlichen Standorte). Wird Getreide vorangestellt und Sorghum Anfang Juni gesät, so könnten in Summe beachtliche Methanhektarerträge erzielt werden. Sortenspezifische Ergebnisse sind in Anhang 22 zu finden.

Boniturparameter zu Wachstum und Entwicklung

In Tabelle 20 ist dargestellt, wie viele Tage die Pflanzen jeweils von der Saat bis zum Auflaufen benötigten. Deutlich wird, dass es bei sehr früher Saat Anfang Mai zu einem verzögerten Auflaufen kommen kann. Am zügigsten liefen die Pflanzen in der Regel bei Saat im Juni auf, weil der Boden dann wärmer ist. Ein klarer Zusammenhang zum Feldaufgang ist nicht zu erkennen. Ein verzögertes Auflaufen kann den Unkrautdruck

erhöhen, weil die Unkräuter/Ungräser weniger kälteempfindlich als Sorghum sind und dann einen Wachstumsvorsprung haben. Die Feldaufgänge waren meist nicht zufriedenstellend, insbesondere an den Standorten Straubing, Aholting und Gülzow. Dennoch wurden in Aholting und Straubing (Löss) sehr hohe Erträge geerntet. Durch die Bestockungsneigung von Sorghum können solche Defizite in der Pflanzenanzahl meist wieder ausgeglichen werden. Auf ertragsschwachen Standorten wie Gülzow (kühl, leichter Boden) sollte durch eine Erhöhung der Saatstärke die angestrebte Pflanzenzahl erreicht werden, um gute Erträge zu gewährleisten. Im Versuch wurde auf diesem Standort deshalb die Saatstärke erhöht und die Zielpflanzenzahl nahezu erreicht (s. Anhang 24).

Tabelle 20: Feldaufgang und Tage bis zum Auflaufen von Sorghum, Sortenmittel

Jahr	Ort	Tage von Saat bis Auflaufen					% Feldaufgang*				
		Saat April	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat April	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
2011	Aholting	-	-	-	-	-	-	82	85	84	45
	Dasselsbr.	-	12	13	6	9	-	72	82	109	120
	Güterfelde	-	12	10	8	9	-	83	93	81	85
	Gülzow	-	14	13	9	8	-	99	65	129	84
	Straubing	-	-	-	-	-	-	88	78	75	74
	Trossin	-	10	8	7	13	-	78	61	26	69
2012	Aholting	-	11	7	10	5	-	53	67	59	79
	Dasselsbr.	-	13	9	11	10	-	118	120	101	115
	Güterfelde	-	12	9	11	8	-	69	85	84	83
	Gülzow	-	21	11	14	10	-	50	51	50	60
	Straubing	-	12	8	10	5	-	52	71	71	80
	Trossin	-	16	14	8	7	-	76	90	99	60
2013	Aholting	-	-	-	-	-	54	51	43	66	84
	Dasselsbr.	-	11	10	13	14	-	122	98	120	115
	Güterfelde	-	9	11	8	5	-	106	72	93	104
	Gülzow	-	11	13	10	11	-	64	41	39	65
	Straubing	13	10	17	13	11	61	55	61	67	79
	Trossin	-	18	16	7	7	-	72	58	101	115

* aufgegangene Körner bezogen auf die Menge an ausgesäten Körnern; - nicht bonitiert bzw. nicht durchgeführt

Die Bestandeshöhen zur Ernte geben neben dem Ertrag und dem TS-Gehalt Auskunft über Wachstum und Entwicklung der Pflanzen. Sie sind korreliert mit dem TM-Ertrag (Abbildung 23). Hochwüchsige, etwas spätreifere Sorten wie z. B. Hercules erzielen tendenziell höhere Erträge als kleinwüchsige Sorten. In Abbildung 24 ist die geringere Bestandeshöhe in der vierten Saatvariante auffällig, besonders bei den beiden *S. bicolor*-Sorten KWS Zerberus und Hercules. Dies deckt sich mit den Ergebnissen zum TM-Ertrag, weil die späteren Saattermine, besonders der Termin Mitte Juni, auf allen Standorten deutlich geringere Erträge brachten. Die Vegetationszeit reichte bei diesen Saatvarianten für eine Ausschöpfung des Leistungspotenzials – vor allem bei den später abreifenden Sorten – nicht mehr aus.

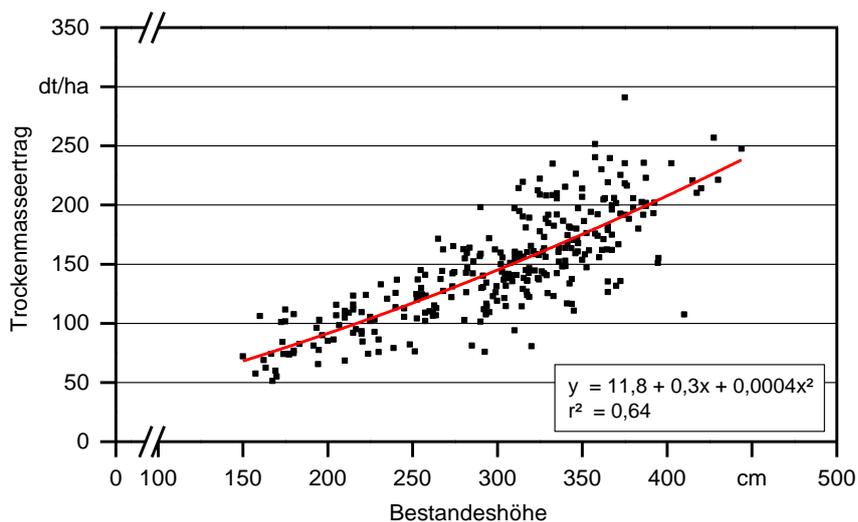


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen Bestandeshöhe und TM-Ertrag, alle Sorten, Jahre und Standorte, quadratische Regression

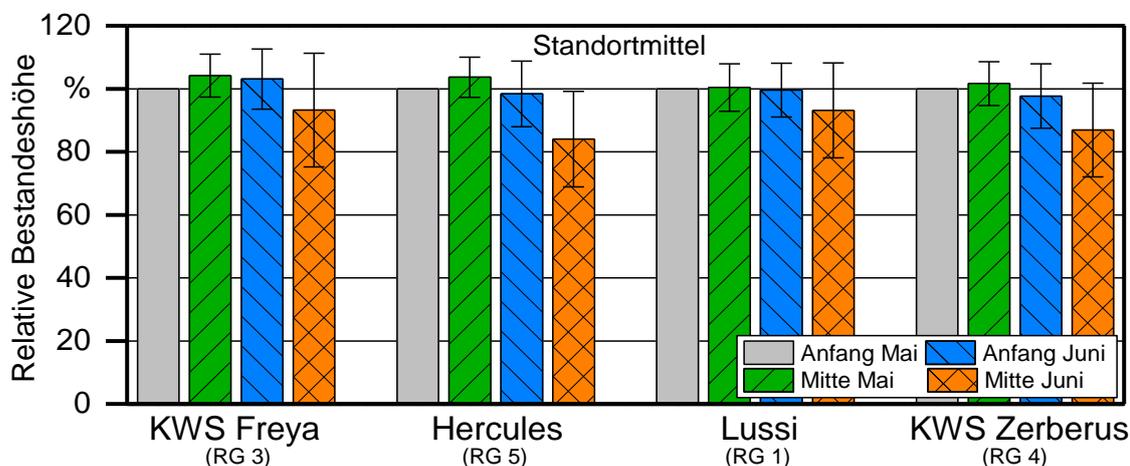


Abbildung 24: Bestandeshöhe zur Ernte von Sorghum im Saatterminversuch in Relation zum ersten Saattermin, gemittelt über alle Standorte und Jahre

Die Bonituren des BBCH-Stadiums zur Ernte (Abbildung 25) zeigen, dass die spätreiferen *S. bicolor*-Sorten bei einer Saat im Juni im Standortmittel nur die Blüte bzw. teilweise nur das Rispschieben erreichten. Bei den frühreiferen Sorten Lussi und KWS Freya kam dieser Effekt weniger zum Tragen, sie erreichten noch die Fruchtbildung Milchreife. Standortabhängig ergaben sich natürlich Unterschiede im Entwicklungsverlauf. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch, dass die Sortenwahl dem Saattermin angepasst werden muss. Erst ab

etwa BBCH 71 (Beginn Kornfüllung) sind die Sorghumbestände silierreif. Daher scheiden Sorten, die bei den späteren Saatterminen nur das Stadium Rispenschieben oder Blüte erreichen, für die Fruchtfolgestellung Zweitfrucht an den meisten Standorten aus.

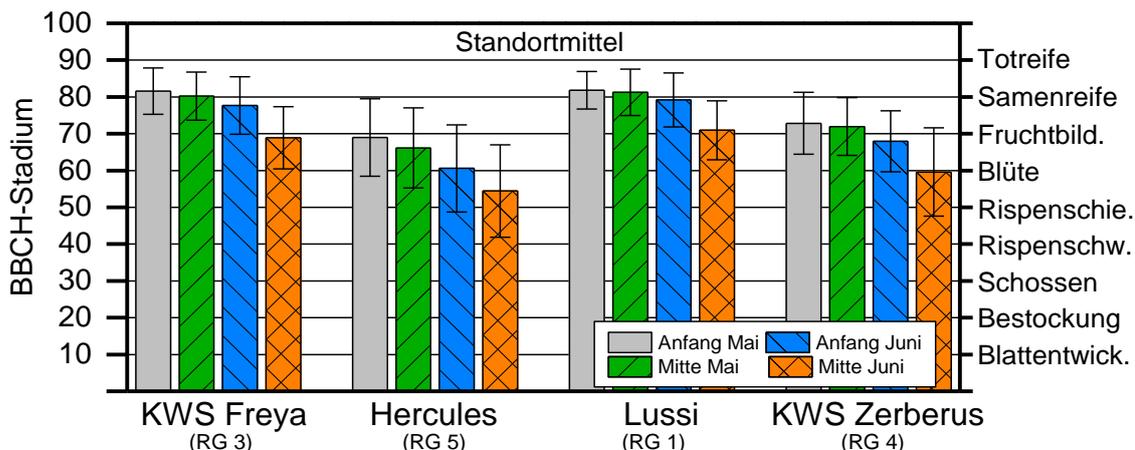


Abbildung 25: BBCH-Stadium zur Ernte von Sorghum im Saatterminversuch, gemittelt über alle Standorte und Jahre

Die Erhebungen zur Lageranfälligkeit der Sorten und Saatvarianten zeichnen kein eindeutiges Bild (Abbildung 26), die Unterschiede zwischen den Standorten und Jahren waren groß. Generell wurde in den drei Versuchsjahren nur wenig Lager beobachtet. Sogar Bestände der vierten Saatvariante, die in Straubing Anfang August 2012 stark ins Lager gegangen waren, richteten sich im Laufe der Vegetationszeit wieder auf und konnten problemlos beerntet werden. Die Kreuzungshybriden Lussi und KWS Freya schienen etwas anfälliger für Lager, weil in der Regel nur sie das Stadium der Samenreife erreichten, in dem die Rispen durch die Körner schwer werden. Bei Regen oder Tau beginnen sich die Pflanzen dann unter dem zusätzlichen Gewicht zu neigen. Oft richten sich die Bestände aber nach dem Abtrocknen wieder auf und können beerntet werden. Bei den *S. bicolor*-Sorten waren die Varianten mit Saattermin im Juni etwas anfälliger. Dies lässt auf ein schnelles Wachstum der oberirdischen Pflanzenteile, bedingt durch die Wärme zu dieser Zeit, schließen. Eventuell wird dabei weniger Stützgewebe und Wurzelmasse gebildet, was zu einer reduzierten Standfestigkeit führt. Detaillierte Boniturdaten können Anhang 23 und Anhang 24 entnommen werden.

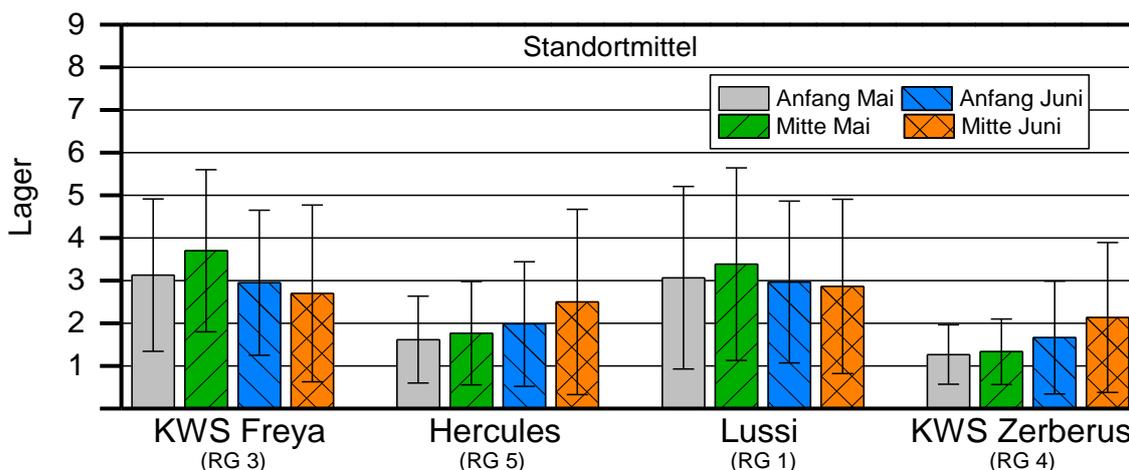


Abbildung 26: Lagerbonitur zur Ernte von Sorghum im Saatterminversuch, gemittelt über alle Standorte und Jahre

Blattflächenentwicklung

Als weiteres Maß für die Pflanzenentwicklung unterschiedlicher Saatvarianten während der Vegetationsperiode kann der Blattflächenindex (leaf area index = LAI) herangezogen werden. Der LAI ist definiert als Blattfläche pro Bodenoberfläche. Hohe LAI-Werte stehen für eine dichte Belaubung, niedrige LAI-Werte deuten auf wenig Belaubung und damit auch wenig Bodenbedeckung hin. Die Bodenbedeckung wiederum steht in engem Zusammenhang mit der Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern, weil sich bei frühen Saatterminen, bedingt durch die kühlen Temperaturen, die Pflanzen eher langsam entwickeln. LAI-Messungen wurden in Straubing 2011, 2012 und 2013 durchgeführt. Weil sich die punktuell bei einer bestimmten akkumulierten Wärmesumme ab Saatzeitpunkt ausgeführten Messungen 2011 und 2012 als nicht ausreichend erwiesen, wurde das Messprogramm im Jahr 2013 ausgeweitet und zu mehreren Terminen im Laufe der Vegetationsperiode gemessen. Im Bericht ist die Darstellung auf die Ergebnisse aus 2013 beschränkt. Die LAI-Messungen konnten nur bis etwa 120 Tage nach der ersten Saat durchgeführt werden, weil ab diesem Zeitpunkt die Höhe der Pflanzen keine weiteren Messungen zuließ.

Deutlich zu sehen sind die Unterschiede im Blattflächenindex zwischen den Saatvarianten in Abbildung 27 und Abbildung 28. Die im Juni gesäten Varianten erreichten im Vergleich zur Saatvariante Anfang Mai die gleiche Blattfläche und Bodenbedeckung in fast der Hälfte der Zeit. Dies zeigt deutlich, wie sehr das wärme-liebende bzw. kühlempfindliche Sorghum von höheren Temperaturen bei Keimung und Jugendentwicklung profitieren kann.

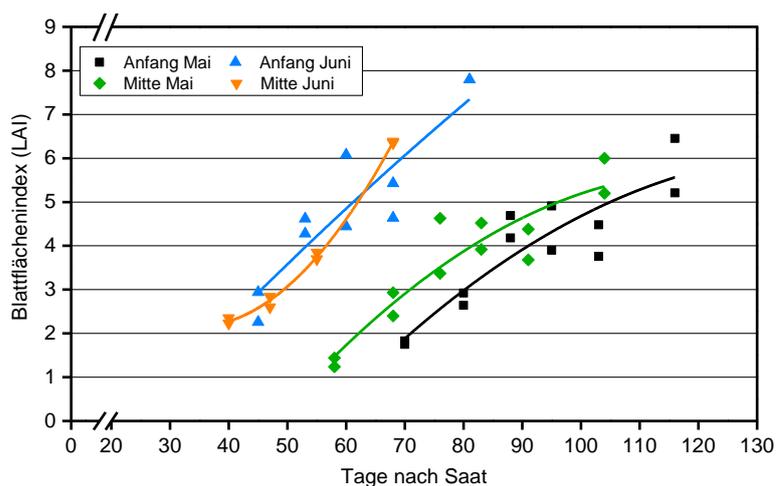


Abbildung 27: Blattflächenentwicklung anhand des Blattflächenindex (LAI) von *S. bicolor* x *S. sudanense* am Standort Straubing 2013, quadratische Regression

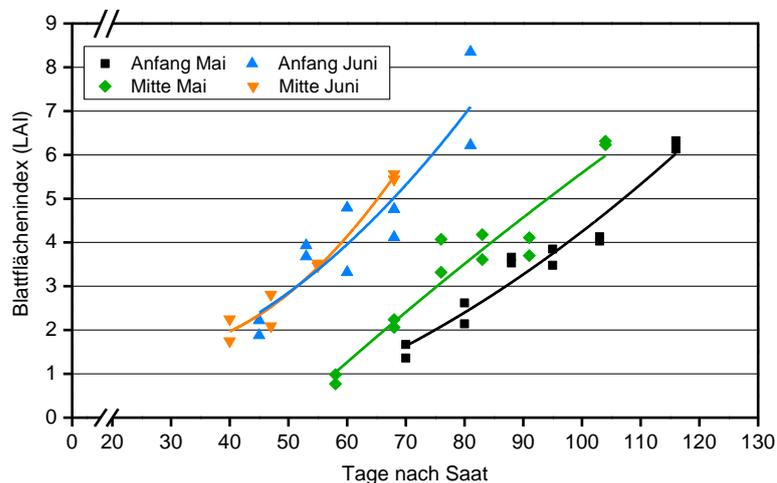


Abbildung 28: Blattflächenentwicklung anhand des Blattflächenindex (LAI) von *S. bicolor* am Standort Straubing 2013, quadratische Regression

Am langsamsten war die Entwicklung der ersten Saatvariante. Mitte Mai gesätes Sorghum hatte im Versuch eine fast 10 Tage schnellere Entwicklung als das Anfang Mai gesäte Sorghum. Zwischen den Anfang und Mitte Juni gesäten Varianten gab es im Jahr 2013 dann kaum noch Unterschiede. Die Pflanzen der Saatvariante Aprilsaat verhielten sich ähnlich der Saatvariante Mitte Mai (nicht dargestellt). Dies ist sicherlich dem sehr nasskalten Mai geschuldet, denn für eine Aprilsaat wäre unter normalen Witterungsbedingungen sicherlich eine noch langsamere Entwicklung zu erwarten. Der Verlauf der Blattflächenentwicklung wird jedes Jahr etwas anders aussehen. Dennoch zeigen die Ergebnisse den Nachteil von sehr früh gesättem Sorghum: die langsamere Blattflächenentwicklung und demnach langsamere Bodenbedeckung kann zu einem erhöhten Unkrautdruck führen.

Weiterhin wurde das Entwicklungsstadium der Pflanzen zu den jeweiligen Messterminen dokumentiert (Abbildung 29 und Abbildung 30). Die als Zweitfrucht im Juni gesäten Varianten erreichten das jeweilige BBCH-Stadium deutlich schneller als die Saatvarianten des Hauptfruchtanbaus (Anfang und Mitte Mai). Dies stimmt mit den Ergebnissen der LAI-Messungen überein. Das vegetative Wachstum und damit auch die Hauptphase der Biomassebildung sind damit ebenfalls schneller abgeschlossen, was die Daten zur Bestandeshöhe bestätigen. Auffällig ist auch der Unterschied zwischen *S. bicolor* und den Kreuzungshybriden. Die deutlich langsamere Entwicklung von *S. bicolor* erklärt die unzureichenden TS-Gehalte zur Ernte bei späten Saatterminen und das höhere Ertragspotenzial der späten Sorten (meist *S. bicolor*) bedingt durch die längere vegetative Wachstumsphase. Ein Einfluss der besonderen Witterungsbedingungen 2013 muss bei Interpretation der Ergebnisse jedoch ebenfalls unterstellt werden.

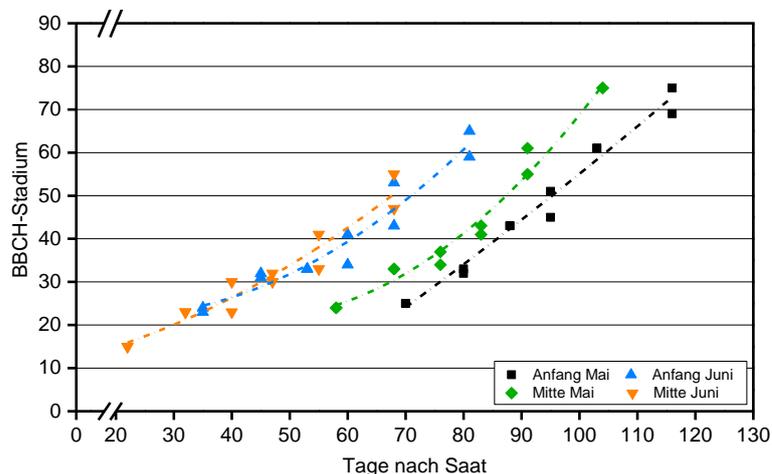


Abbildung 29: Bestandsentwicklung anhand des BBCH-Stadiums von *S. bicolor* x *S. sudanense* am Standort Straubing 2013, quadratische Regression

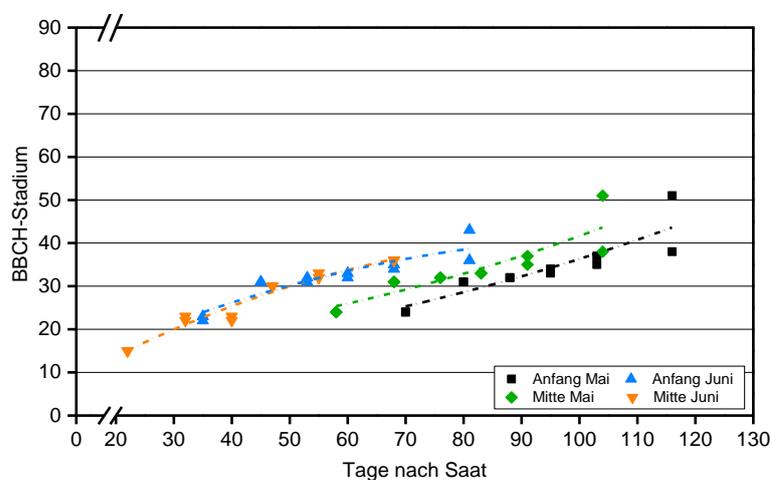


Abbildung 30: Bestandsentwicklung anhand des BBCH-Stadiums von *S. bicolor* am Standort Straubing 2013, quadratische Regression

Deckungsbeitrag

In den vorangehenden Kapiteln wurden die Erträge der zu unterschiedlichen Saatterminen gesäten Sorten/Reifegruppen an verschiedenen Standorten dargestellt und ein Vergleich mit der Ertragsleistung von Silomais gezogen. Eine wirtschaftliche Bewertung der Varianten ermöglicht jedoch nur die Berechnung der jeweiligen Deckungsbeiträge. Nachfolgende Deckungsbeiträge wurden am Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft der Justus-Liebig-Universität Gießen berechnet. Nähere Details zur Berechnungsmethode werden von AURBACHER & KORNATZ (2014) beschrieben.

Mit Sorghum wurden die höchsten Deckungsbeiträge bis maximal 1.000 €/ha auf den Lössstandorten, insbesondere in Aholting erreicht (Abbildung 31 bis Abbildung 33). Auf den meisten Standorten sind jedoch eher Deckungsbeiträge von 200 bis 600 €/ha zu erwarten. Analog zu den Ertragsergebnissen nahmen die Deckungsbeiträge bei späteren Saatterminen ab. Gegenüber der optimalen Saatvariante Mitte Mai brachte in Dasselsbruch, Gülzow und Straubing ein sehr früher Saattermin Anfang Mai keinen monetären Vorteil. Auf warmen (Güterfelde, Trossin) bzw. schnell erwärmenden Böden (Aholting) lag zumindest bei der Sorte Hercules der Deckungsbeitrag über der Mitte-Mai-Saatvariante.

Ein Anbau Anfang Juni als Zweitfrucht lohnt sich aus ökonomischer Sicht nur noch auf den Lössstandorten, in Dasselsbruch und in Güterfelde. Eine Saat Mitte Juni schränkte die Wirtschaftlichkeit auf die Lössstandorte ein. Die Tatsache, dass hierbei noch die Möglichkeit besteht, eine Hauptfrucht optimal anzubauen, bleibt bei dieser Bewertung allerdings außen vor. Beim Sortenvergleich lag Hercules in den Hauptfruchtvarianten vorne. Im Zweitfruchtanbau glichen sich die Sorten mehr und mehr an. Hier war der Anbau ertragsschwächerer *S. bicolor* x *S. sudanense* Sorten wie z. B. Lussi aufgrund der höheren TS-Gehalte und dadurch bedingt geringeren Transport- und Erntekosten von Vorteil.

Der höchste Deckungsbeitrag wird mit Ausnahme des Standortes Güterfelde mit Silomais erwirtschaftet. Allerdings muss hierbei die Tatsache, dass einige Sorghum Sorten und insbesondere der Mais oft nicht zum optimalen Zeitpunkt eingebracht werden konnten, mit in die Interpretation einbezogen werden. Aufgrund von technischen Gegebenheiten wurden alle Sorten je Saattermin zum gleichen Zeitpunkt beerntet. Besonders für den Mais in den Hauptfruchtvarianten ergaben sich deshalb sehr hohe TS-Gehalte von deutlich über 40 %.

In der Praxis wird dadurch die Verdichtbarkeit erschwert und das Nacherwärmungsrisiko nach Öffnen des Silos steigt. Energieverluste durch aerobe Stoffwechselforgänge im Substrat sind die Folge (LEURS 2005). Die berechneten Deckungsbeiträge des Maises werden aufgrund der sehr hohen, nicht praxisrelevanten TS-Gehalte und dadurch bedingt sehr niedrigen Transport- und Erntekosten etwas überschätzt. Weiterhin gilt es, die z. T. große Streuung zwischen den Versuchsjahren insbesondere bei der vierten Saatvariante zu beachten (Anhang 25). Die Wirtschaftlichkeit dieses Saattermins ist aufgrund der Kürze der Vegetationszeit besonders abhängig von schwankenden klimatischen Bedingungen.

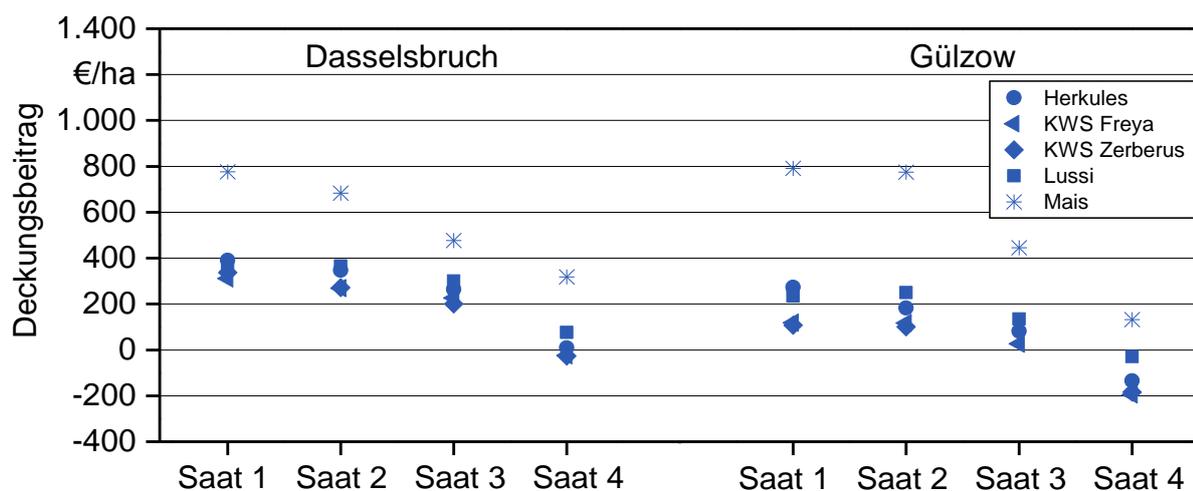


Abbildung 31: Deckungsbeitrag auf den „Nord“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre 2011–2013 und Sorten

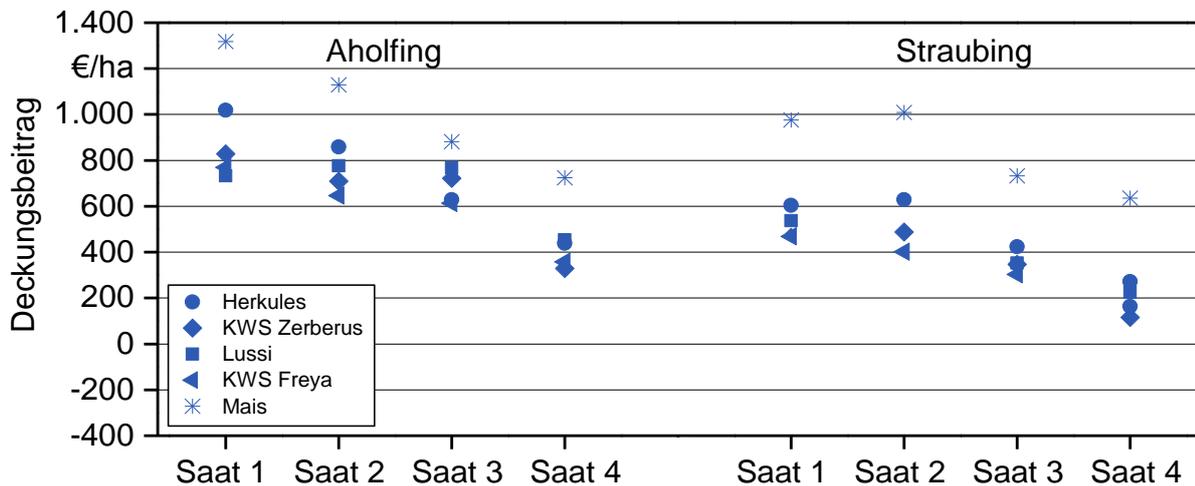


Abbildung 32: Deckungsbeitrag auf den „Löss“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre (Aholfing 2011–2012; Straubing 2011–2013)

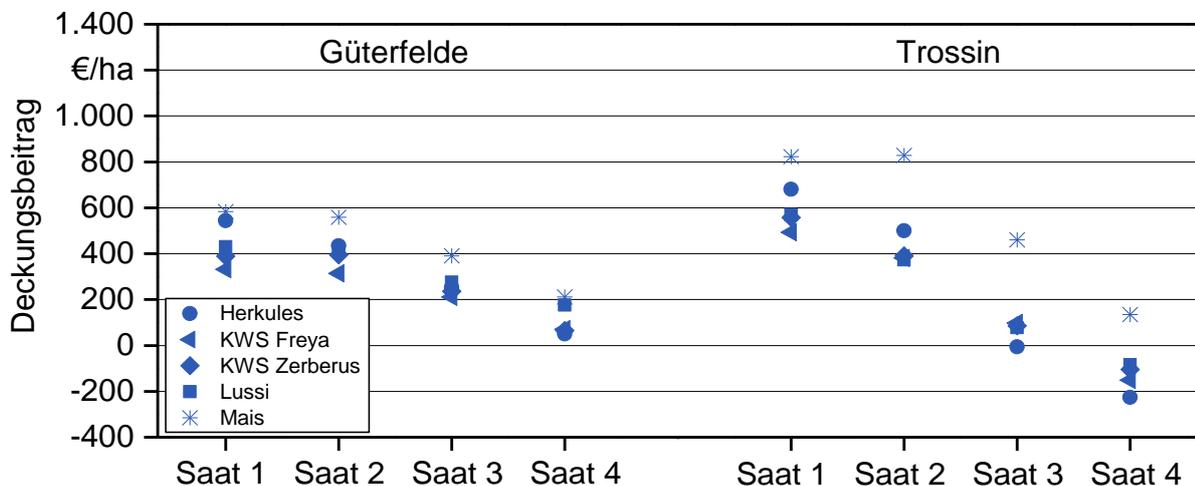


Abbildung 33: Deckungsbeitrag auf den „D-Süd“-Standorten, Mittel aller Versuchsjahre (Güterfelde 2011–2013; Trossin nur 2011) und Sorten

3.3.2 Düngerversuch

Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt

Der Versuch zur Stickstoffdüngung von Sorghum wurde mit 4 Düngestufen und einer Kontrolle ohne Düngung an sechs Standorten durchgeführt. Nach Tabelle 21 weichen die N-Stufen von den ursprünglich vorgesehenen Versuchsvarianten N0 bis N250 ab. An einigen Standorten wurde bedingt durch sehr hohe N_{\min} -Werte zur Saat (nahezu 100 kg/ha bis 60 cm Bodentiefe) die erste Düngestufe (N100) übersprungen. Stattdessen wurde eine weitere Stufe mit 300 kg N/ha hinzugefügt.

Eine statistische Auswertung der TM-Erträge des Düngerversuches ergab zum Teil signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Ort und N-Stufe sowie zwischen Jahr und N-Stufe. Die Ergebnisdarstellung und Regressionsanalyse erfolgt deshalb nach Ort und Jahr getrennt. Eine Unterteilung nach Sorghumart wurde vorgenommen, weil sich die Arten in Ertrag, Wuchshöhe, Habitus und Abreife unterscheiden und der Anbau in getrennten Versuchsblöcken stattfand. Zwischen den Faktoren N-Stufe und Sorte wurden keine signifi-

kanten Wechselwirkungen festgestellt. Die weitere statistische Auswertung erfolgte deshalb nicht sortenspezifisch, sondern je Sorghumart. Vollständige, sortenscharfe Ertragsdaten sind Anhang 27 bis Anhang 30 zu entnehmen. Bedingt durch ein abweichendes Versuchsdesign wurde die Auswertung für den Standort Gülzow nach Sorten getrennt vorgenommen.

Die relativen TM-Erträge in Tabelle 21 zeigen den Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Biomasseproduktion der Pflanzen. Die größte Ertragssteigerung von über 80 % gegenüber der Nullkontrolle wurde am Standort Dasselsbruch erzielt; mit einer Ackerzahl von ca. 25 ein sehr leichter Standort. Doch auch auf Standorten mit mittleren bis sehr guten Böden, wie z. B. Aholfing oder Straubing, brachte die mineralische Stickstoffdüngung eine Ertragssteigerung von über 50 %. Auf den Standorten Kirchengel, Trossin und Gülzow hatte die N-Düngung kaum Erfolg. Dies ist zum Teil auf die sehr hohen N_{min} -Gehalte im Boden vor der Saat zurückzuführen. Je besser die Versorgung über den Bodenstickstoff, desto geringer ist der Effekt einer mineralischen Düngung. Weiterhin beeinflussten Witterungsextreme (Spätfrost, Trockenheit, extreme Niederschläge) das Ertragsergebnis und die Düngewirkung.

Ziel des Düngeversuches war es, Stickstoff-Ertragsfunktionen für die Sorghumarten *S. bicolor* und *S. bicolor* x *S. sudanense* darzustellen und daraus die optimale Stickstoffversorgung abzuleiten. In Tabelle 22 sind wesentliche Parameter der dazu verwendeten Regressionsanalyse dargestellt. Der F-Test (p -Wert $\leq 0,05$) zeigt, dass die unabhängige Variable (X =Stickstoff und X^2) einen signifikanten Einfluss auf die abhängige Variable (TM-Ertrag) ausübt. Das Bestimmtheitsmaß r^2 beschreibt die Güte des Modells bzw. welcher Anteil in der Varianz der Daten durch das Modell erklärt werden kann. An einigen Standorten bzw. für einige Varianten und Jahre ließ sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Parametern Stickstoffversorgung und TM-Ertrag nachweisen. Die Darstellung im Folgenden beschränkt sich somit auf Standorte, für die mindestens zweijährig signifikante Ergebnisse vorliegen. Die vollständigen Ergebnisse der Regressionsanalyse sind in Anhang 31 dargestellt.

Tabelle 21: Relativer Trockenmasseertrag im Düngeversuch (Kontrolle ohne Düngung, $N_0 = 100$ %), 2011–2013

Art	TM-Ertrag 2011 in %					TM-Ertrag 2012 in %						TM-Ertrag 2013 in %					
	N_{min}	100	150	200	250	N_{min}	100	150	200	250	300	N_{min}	100	150	200	250	300
Aholfing																	
<i>S. bicolor</i>	100	110	110	112	123	100	-	127	133	136	134	100	138	144	144	148	-
<i>S.bic. x S.sud.</i>	100	108	116	123	123	100	-	145	150	152	150	100	125	130	133	136	-
Dasselsbruch																	
<i>S. bicolor</i>	100	144	145	151	152	100	143	159	165	161	-	100	172	183	186	186	-
<i>S.bic. x S.sud.</i>	100	143	150	153	153	100	150	158	170	166	-	100	154	170	168	169	-
Straubing																	
<i>S. bicolor</i>	-	-	-	-	100	-	142	149	160	149	100	136	152	163	155	-	-
<i>S.bic. x S.sud.</i>	-	-	-	-	100	-	152	163	162	165	100	130	139	148	154	-	-
Kirchengel																	
<i>S. bicolor</i>	100	105	111	107	104	100	97	96	109	100	-	100	-	107	107	108	104
<i>S.bic. x S.sud.</i>	100	104	114	113	119	100	95	96	92	92	-	100	-	99	103	107	99
Trossin																	
<i>S. bicolor</i>	100	107	112	114	105	100	-	102	101	101	-	100	117	120	113	118	-
<i>S.bic. x S.sud.</i>	100	102	106	112	111	100	-	97	91	93	-	100	119	116	115	121	-
Gülzow																	
KWS Freya	100	114	107	124	121	100	100	105	106	103	-	100	107	114	109	114	-
Lussi	100	93	113	118	137	100	109	111	108	106	-	100	105	107	107	106	-
Hercules	100	100	113	112	124	100	102	104	106	107	-	-	-	-	-	-	-
KWS Zerber.	100	97	82	112	98	100	100	102	99	99	-	100	107	111	112	111	-

- nicht durchgeführt

Die teilweise sehr niedrigen Bestimmtheitsmaße (r^2) spiegeln die große Streuung der Werte wider (siehe Tabelle 22). Die eindeutigsten Ergebnisse wurden in Dasselsbruch erzielt. In Aholting und Straubing wurde im Versuchsjahr 2013 nur ein sehr niedriges Ertragsniveau erreicht (Abbildung 34 und Abbildung 36). Dies ist auf das nasskalte Frühjahr zurückzuführen, das sowohl die Saat als auch Wachstum und Entwicklung der Bestände verzögerte. Eine sich daran anschließende Trockenperiode trug ebenfalls zur Ertragsminderung bei. Dennoch konnte hier ein signifikanter Zusammenhang zwischen N-Stufe und TM-Ertrag nachgewiesen werden. Die absoluten TM-Erträge dieses Versuchsjahres sind jedoch nicht repräsentativ für diese Standorte.

Die aus den Ertragsfunktionen berechnete erforderliche N-Menge (X) für einen maximalen Ertrag (Y-Max) schwankte je nach Jahr, Art und Standort zwischen 193 und 253 kg N/ha. Auf dem leichtesten Standort Dasselsbruch reichten im Mittel 198 kg N/ha für den Maximalertrag. Auf mittlerem Boden in Aholting mussten bereits 225 kg N/ha zur Verfügung stehen. Auf dem gutem Standort in Straubing wurden maximale Erträge im Mittel bei 245 kg verfügbarem N je Hektar erreicht. Die quadratischen Stickstoff-Ertragsfunktionen in Abbildung 34 bis Abbildung 36 zeigen jedoch, dass die optimale Düngemenge unterhalb dieser Werte liegt. Die deutlichste Ertragssteigerung war zwischen der Kontrolle, in der die Pflanze ihren Bedarf aus dem Boden-N-Vorrat (N_{\min}) deckt, und der ersten Stufe der mineralischen Düngung zu sehen. Die gute Verfügbarkeit des mineralischen Stickstoffes machte sich bezahlt. Im Versuch stieg der Ertrag bis etwa 150 kg verfügbarem N/ha weiter an, danach flachten die Kurven ab. Die varianzanalytischen Ergebnisse, dargestellt durch Buchstaben in Abbildung 34 bis Abbildung 36, bestätigen, dass es zwischen den Dünge­stufen 150 bis 300 kg N/ha (z. T. schon ab 100 kg N/ha) mit Ausnahme des Standortes Straubing keine signifikanten Unterschiede im TM-Ertrag mehr gab. Die Ergebnisse legen deshalb eine moderate Düngung von Sorghum von etwa 150 kg verfügbarem N/ha – inkl. N_{\min} – bis maximal 200 kg N/ha auf Standorten mit hohem Ertragsniveau nahe. Der Erfolg höherer N-Gaben ist ungewiss und der geringer werdende Mehrertrag muss durch zusätzliche Düngerkosten immer teurer erkauf­ werden. Insgesamt zeigen die Ergebnisse das relativ gute Nährstoffaneignungsvermögen von Sorghum, wie es auch von anderen Autoren bestätigt wird (PLENÉT & CRUZ 1997; REHM & ESPIG 1996).

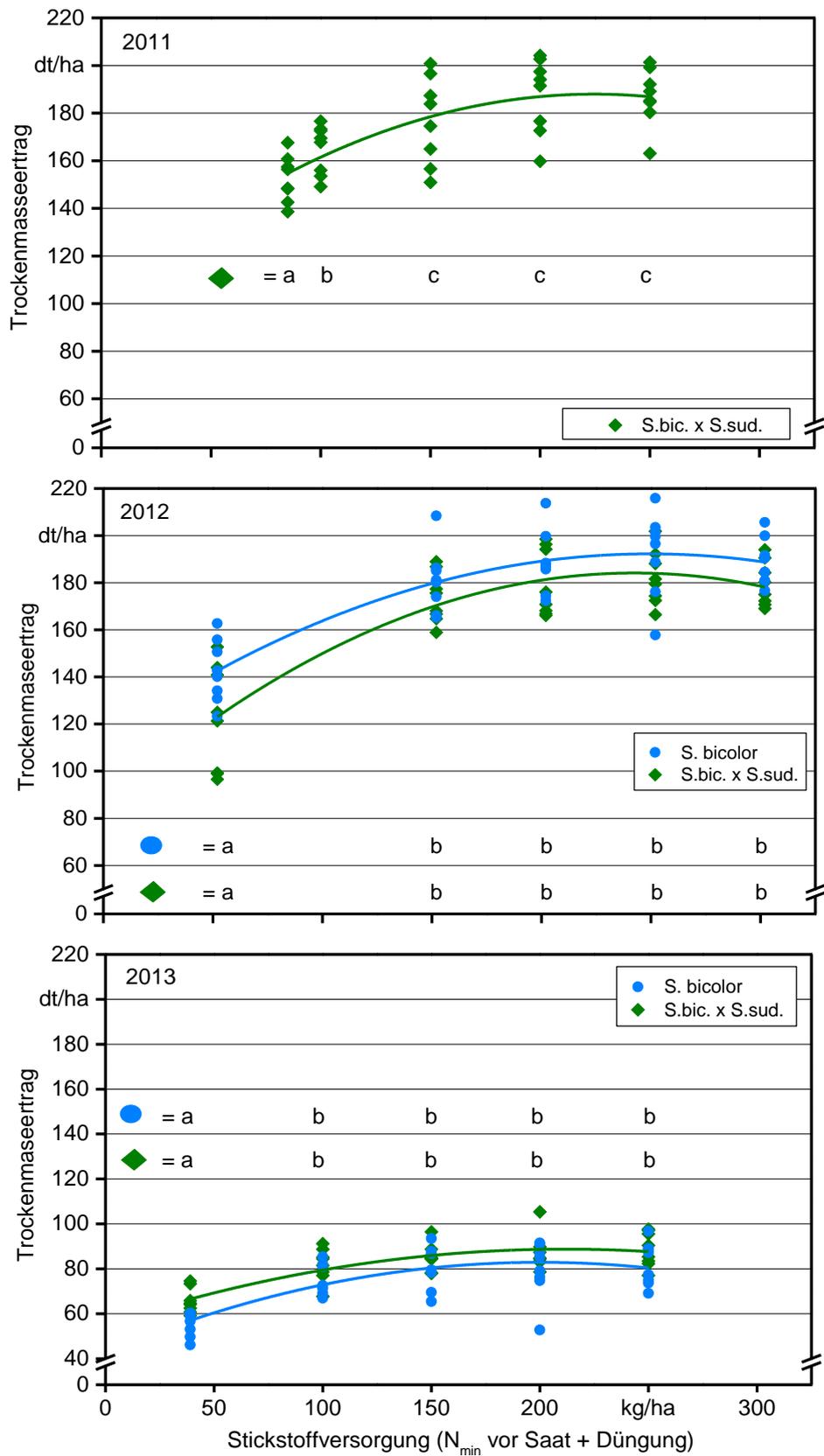


Abbildung 34: Stickstoff-Ertragsfunktionen mittels quadratischer Regression am Standort Aholting

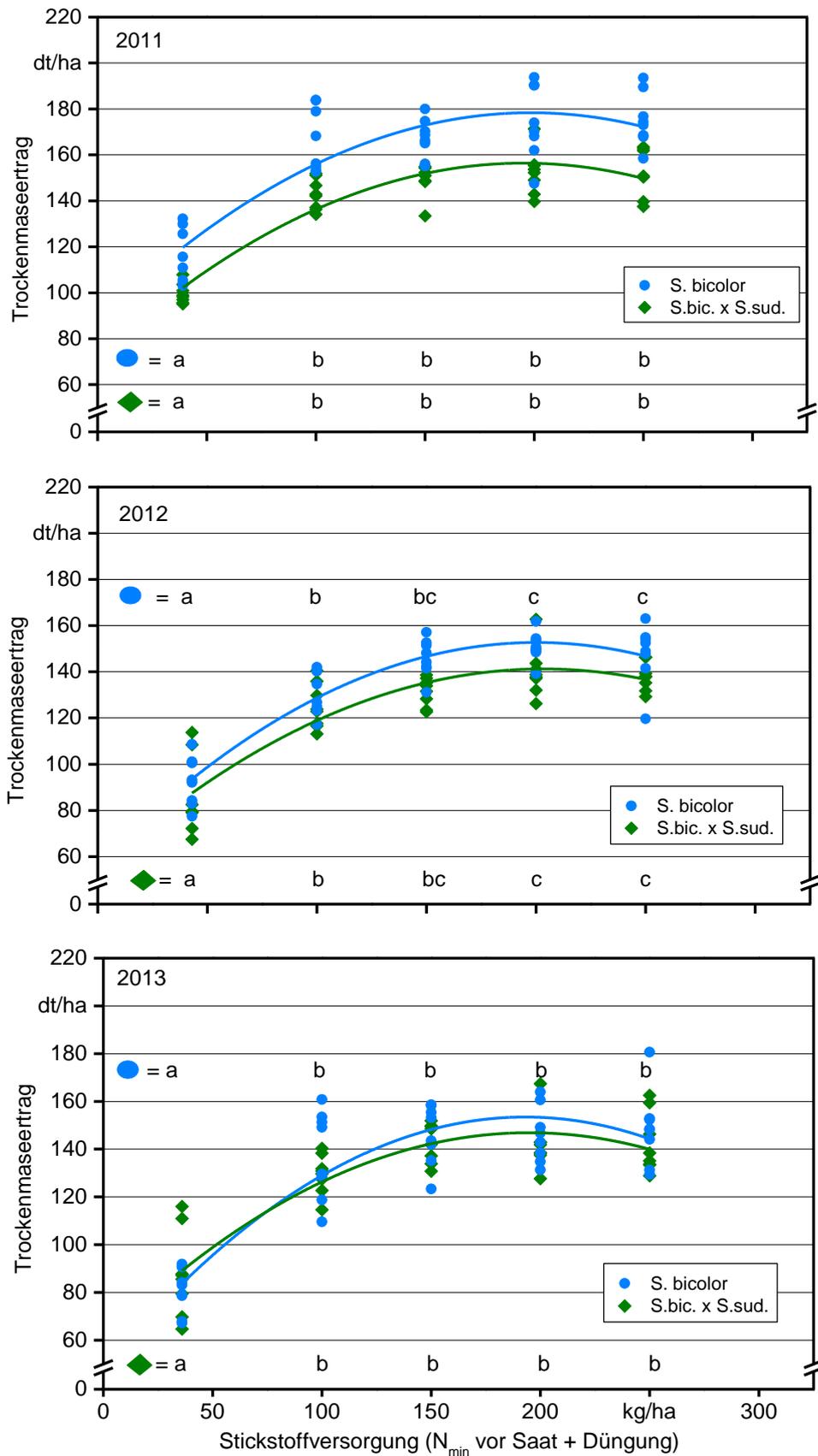


Abbildung 35: Stickstoff-Ertragsfunktionen mittels quadratischer Regression am Standort Dasselsbruch

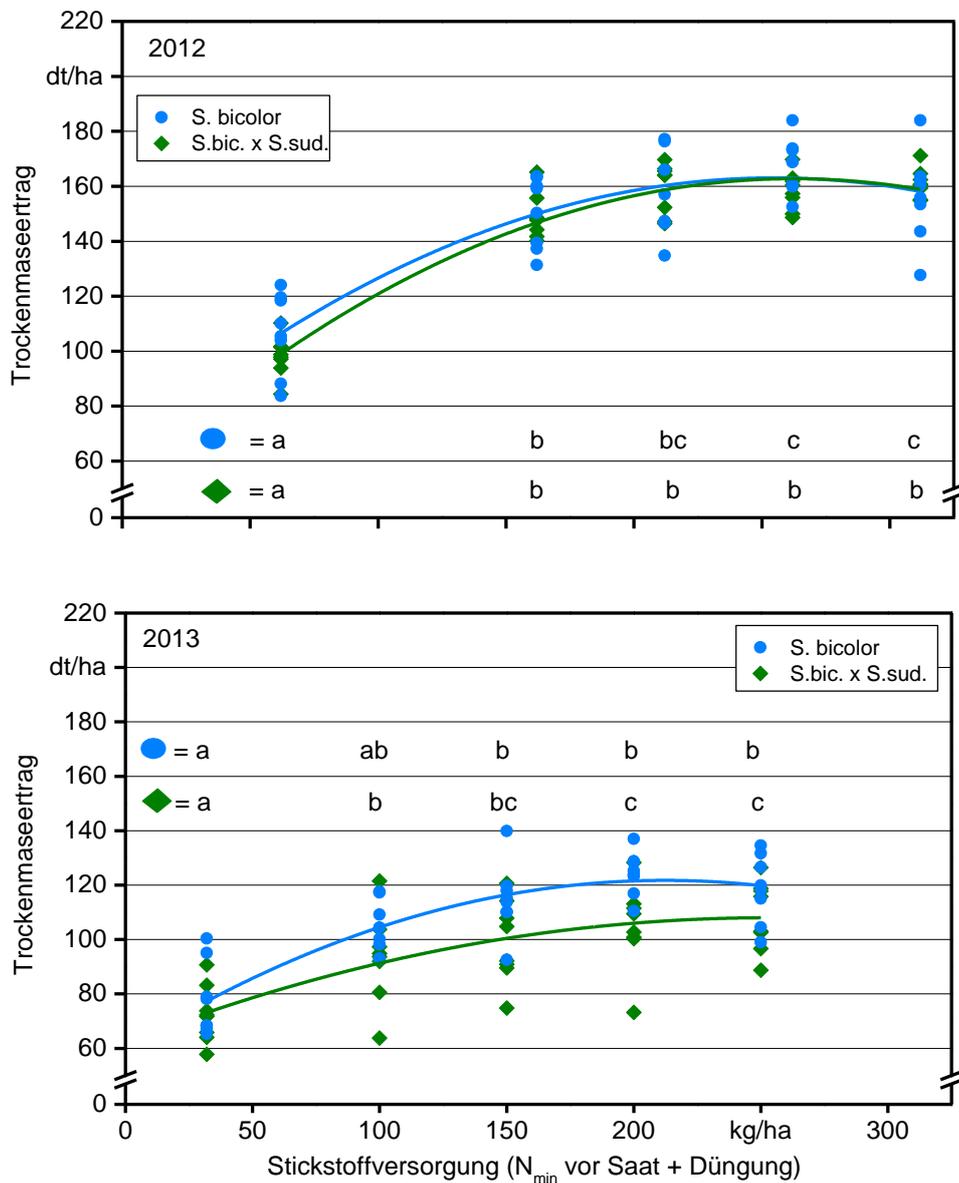


Abbildung 36: Stickstoff-Ertragsfunktionen mittels quadratischer Regression am Standort Straubing

Tabelle 22: Signifikanz des Regressionsmodells und Maxima der unabhängigen Variablen der Stickstoff-Ertragsfunktionen ($y = \text{Achsenabschnitt} + B1 \cdot x + B2 \cdot x^2$)

Art	2011			2012			2013		
	p-Wert Modell	X bei Y-Max	r ²	p-Wert Modell	X bei Y-Max	r ²	p-Wert Modell	X bei Y-Max	r ²
Ahofling									
<i>S. bic.</i>	< 0,0001	#	0,40	< 0,0001	249	0,67	< 0,0001	200	0,53
<i>S. bic. x S. sud.</i>	< 0,0001	225	0,51	< 0,0001	242	0,73	< 0,0001	212	0,60
Dasselsbruch									
<i>S. bic.</i>	< 0,0001	199	0,72	< 0,0001	200	0,84	< 0,0001	193	0,76
<i>S. bic. x S. sud.</i>	< 0,0001	195	0,85	< 0,0001	203	0,78	< 0,0001	195	0,76
Straubing									
<i>S. bic.</i>	-	-	-	< 0,0001	255	0,71	< 0,0001	212	0,69
<i>S. bic. x S. sud.</i>	-	-	-	< 0,0001	262	0,91	< 0,0001	253	0,47

- nicht durchgeführt; # = kein Maximum der Funktion

Der TS-Gehalt wird ebenfalls von der N-Versorgung beeinflusst, allerdings nur in geringem Maße. Tendenziell war ein Anstieg des TS-Gehaltes im Vergleich der Kontrolle (N0) und der ersten Stufe der mineralischen Düngung (N100) festzustellen (Abbildung 37). Danach sanken die TS-Gehalte wieder ab. Eine Abnahme des TS-Gehaltes bei höheren N-Gaben ist aus der Literatur bekannt. VOS et al. (1992) gehen davon aus, dass Reifeverzögerungen auf eine Verlängerung der vegetativen Wachstumsphase zurückzuführen sind. Eine vermehrte Bildung von unreifen jungen, aber nicht ertragsbildenden Seitentrieben mit hohem Wassergehalt könnte ebenso dafür verantwortlich sein. Die niedrigeren TS-Gehalte der schütter und dünn aussehenden Kontrolle (siehe Abbildung 38) sind vermutlich auf ein verlangsamtes Wachstum und teilweise niedrigere BBCH-Stadien zur Ernte zurückzuführen (Anhang 32). Die Ergebnisse der weiteren Standorte sind in Anhang 27 bis Anhang 29 zu finden.

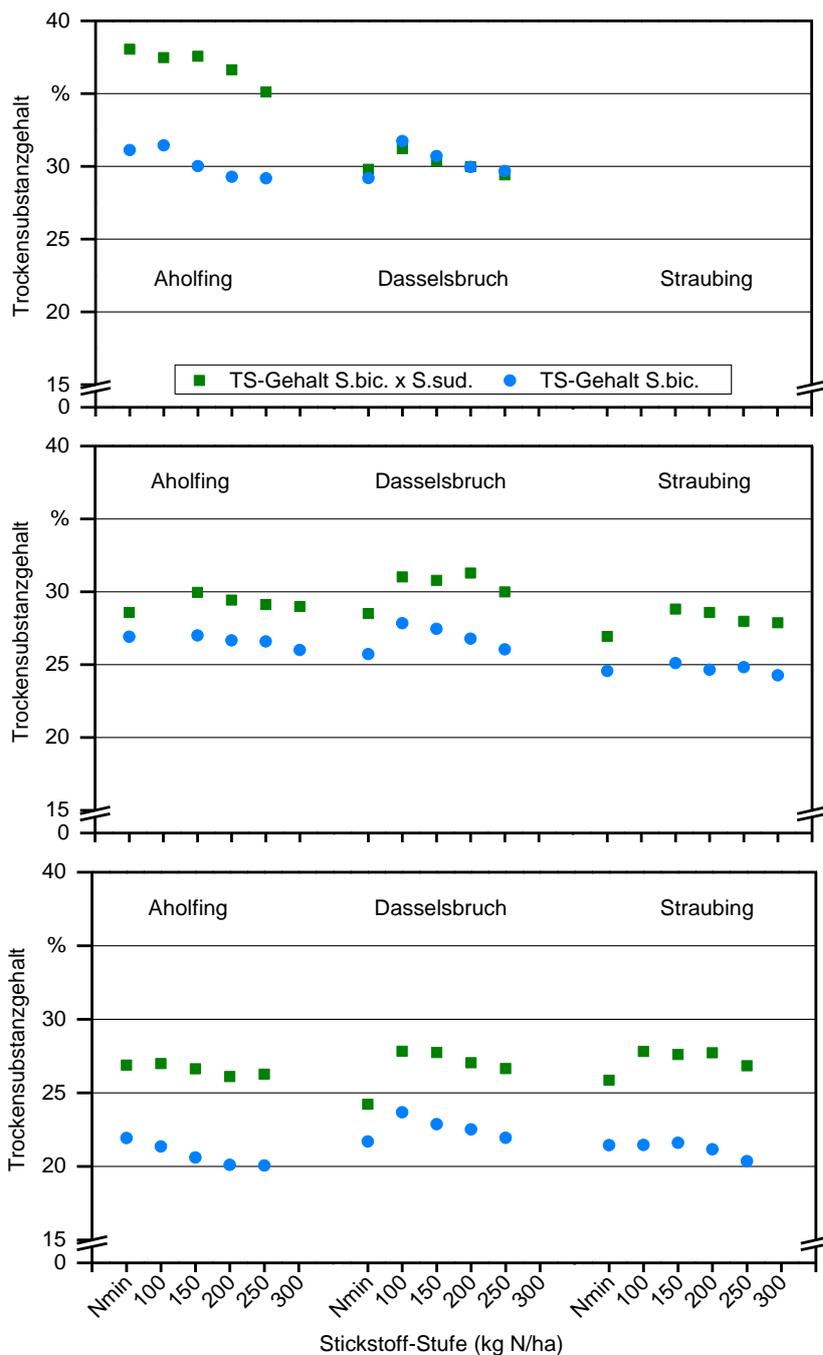


Abbildung 37: Trockensubstanzgehalte im Düngerversuch, oben: 2011, in Straubing nicht durchgeführt; Mitte: 2012; unten: 2013

Optischer N-Mangel, Wachstum und Entwicklung

Eine visuelle Bonitur des N-Mangels (Aufhellung und Blattabsterben) wies deutliche Mangelercheinungen für die N-Stufen N0 und N100 (Abbildung 38 und Abbildung 39) nach. Darüber hinaus zeigten die Pflanzen nur geringe optische Unterschiede zwischen den N-Varianten, was ebenfalls für eine moderate N-Düngung von Sorghum spricht. Bei den Sorten Hercules und KWS Zerberus wurde am Standort Dasselsbruch in allen Varianten ein gewisser N-Mangel bonitiert. Dies legt jedoch nahe, dass die beobachteten Blattaufhellungen auf andere Faktoren zurückzuführen sind. Boniturdaten der weiteren Standorte sind in Anhang 33 zu finden.



Abbildung 38: N-Mangel in *S. bicolor* x *S. sudanense* (links: N0, rechts: N100), Foto vom 27.08.2012 in Straubing

(Foto: TFZ)

Die ausgeprägte Lagerneigung von Sorghum ist bekannt. Erhöhte Lagerneigung wird bei anderen Kulturen auch mit einer überhöhten N-Düngung in Verbindung gebracht (HORSTMANN et al. 2010). Im Versuch wurde kein deutlicher Einfluss der N-Düngung auf die Lagerneigung festgestellt, weil insgesamt wenig Lager auftrat (Abbildung 40). Der Standort, die Sorte und auch das Jahr mit den jeweiligen Witterungsbedingungen scheinen die Lagerneigung stärker zu beeinflussen. Auch kann im Vergleich mit älteren Sorten ein gewisser Zuchtfortschritt in der Standfestigkeit der Sorten festgestellt werden. Insgesamt sind sehr gut versorgte Bestände jedoch meist höher (Anhang 33) und bilden mehr Masse. Insbesondere wenn die Rispen bereits ausgebildet sind und durch intensive Niederschlagsereignisse die oberen Pflanzenteil sehr schwer werden, kann es zu starkem Lager kommen. Die Ergebnisse in Kapitel 3.3.1 haben auch gezeigt, dass tendenziell *S. bicolor* x *S. sudanense* Sorten aufgrund der dichteren Bestände, düngerer Stängel und oft weiter entwickelten Rispen etwas anfälliger sind. Im Unterschied zu *S. bicolor*-Pflanzen knicken sie jedoch meist nicht ab und sind in der Lage, sich bei nachfolgend trocken-warmen Bedingungen wieder aufzurichten. Auch wenn im dargestellten Versuch kein signifikanter Zusammenhang zwischen Lager und N-Düngung festgestellt werden konnte, so zeigen doch Ergebnisse anderer Autoren (UCHINO et al. 2013), dass bei überhöhter Düngung trotzdem Vorsicht geboten ist.

Die Einzelerhebungen aller Standorte sind im Anhang 32 und Anhang 33 dargestellt.

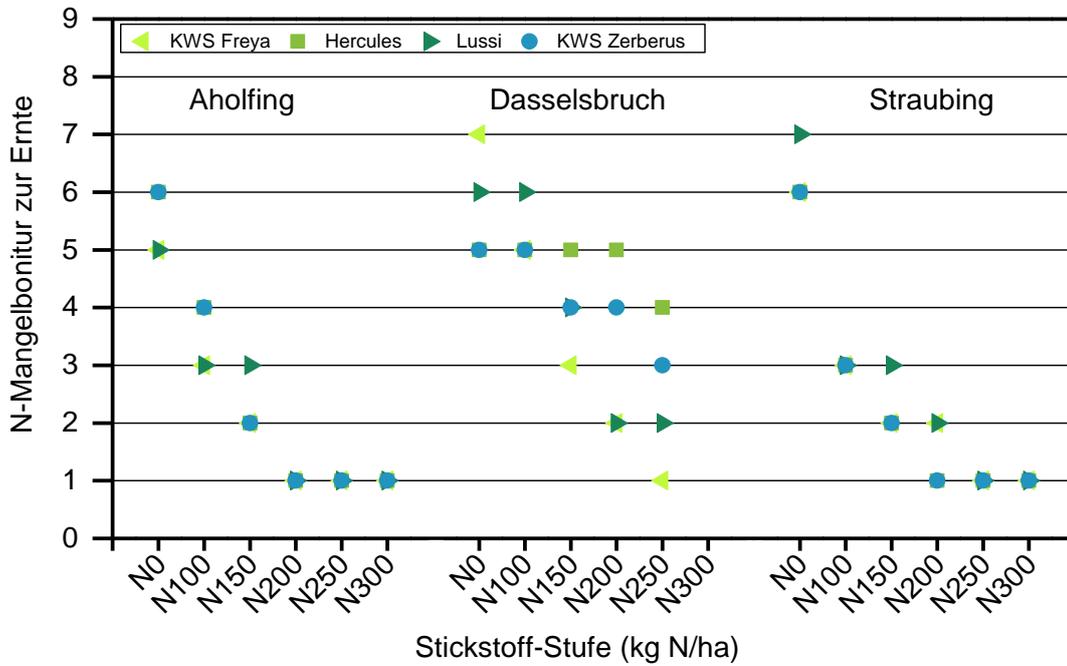


Abbildung 39: N-Mangel in Sorghum bei unterschiedlichen Stickstoff-Stufen; Mittel 2011 bis 2013, Straubing nur 2012 und 2013

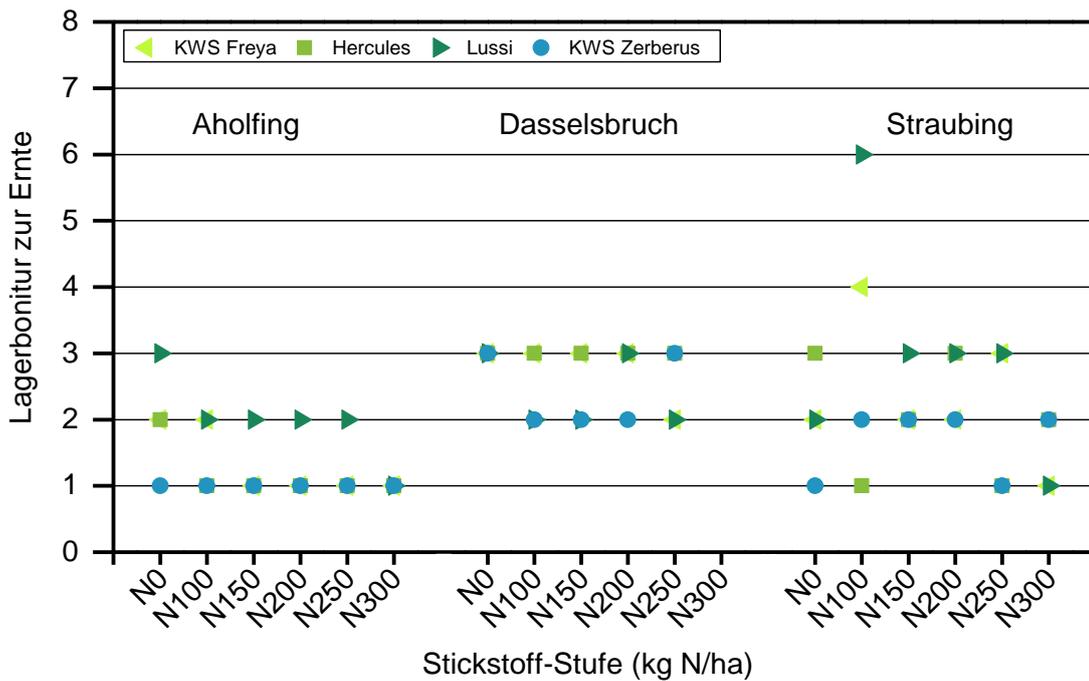


Abbildung 40: Lager in Sorghum bei unterschiedlichen Stickstoff-Stufen; Mittel 2011 bis 2013, Straubing nur 2012 und 2013

Bodenstickstoff nach Ernte und Stickstoffbilanz

Ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf steigende Düngemittelpreise und auf negative Umweltwirkungen der Produktion von mineralischen Stickstoffdüngern ist die Stickstoffeffizienz. Als Beitrag zum Schutz des Oberflächen- und Grundwassers vor Nitrateinträgen sollten die Stickstoffbilanz überwacht und N-Überschüsse vermieden werden.

Aufgrund des bereits erwähnten extrem niedrigen Ertragsniveaus auf den Standorten Aholting und Straubing bedingt durch die Wetterextreme im Jahr 2013, wurden diese Varianten aus der Auswertung ausgeschlossen, um ein Verfälschen der Ergebnisse zu vermeiden.

Bei der Ermittlung der N-Effizienz wird der je Kilogramm Stickstoff erzielte TM-Ertrag betrachtet. Dieser Parameter gibt einen Hinweis auf die Ausnutzung des Stickstoffdüngers durch den Pflanzenbestand. Abbildung 41 zeigt, dass in den niedrigen Düngungsvarianten die höchste N-Effizienz erreicht bzw. der Stickstoff am besten ausgenutzt wurde. Dies spricht wiederum für ein gutes Nährstoffaneignungsvermögen von Sorghum, weil der vorhandene Bodenstickstoff effizient in Trockenmasse umgesetzt wurde.

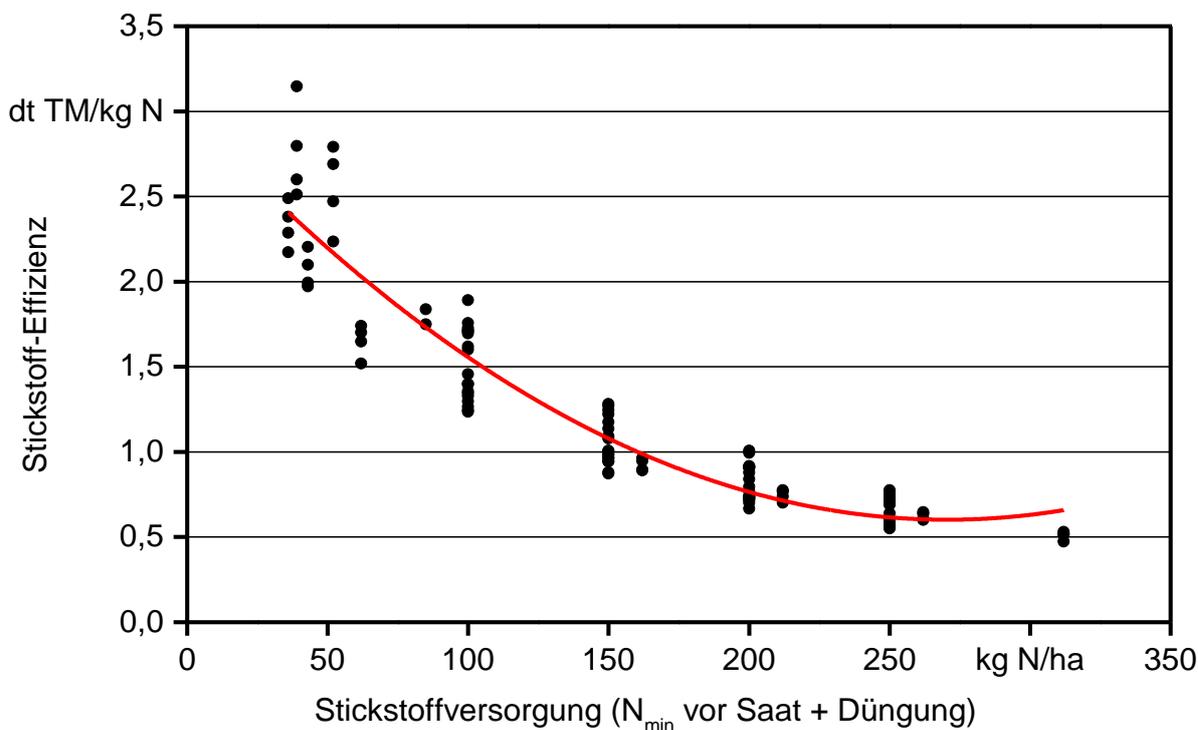


Abbildung 41: Stickstoff-Effizienz von Sorghum bei unterschiedlichen N-Varianten; Dasselsbruch 2011 bis 2013, Aholting 2011 bis 2012, Straubing 2012

Mit zunehmender Stickstoffdüngung sank die N-Effizienz. Die Pflanze war nicht in der Lage, den zusätzlich gedüngten Stickstoff gleichermaßen in Ertrag umzuwandeln. Andere Faktoren wie Witterung, Genetik oder weitere Nährstoffe begrenzten das Wachstum. Damit sinkt die Rentabilität des Verfahrens, weil dem eingesetzten Stickstoff eine geringere Menge an Erntemasse gegenübersteht. Weiterhin erhöht sich die Gefahr der Nährstoffauswaschung im Herbst, sofern nicht eine Folgekultur die Nährstoffe aufnimmt.

Die Bodenuntersuchungen nach der Ernte zeigen den ungenutzt im Boden verbleibenden Stickstoff in Form von Nitrat, welches leicht ausgewaschen werden kann (Abbildung 42). Der als Ammonium vorliegende Bodenstickstoff unterliegt nicht der Auswaschungsgefahr und wird hier deshalb nicht berücksichtigt. Der mittlere Nitratgehalt im Boden nach der Ernte nahm im Versuch mit steigender N-Stufe bis 150 kg N/ha kaum zu und bewegte sich im Mittel bei knapp unterhalb von 20 kg N/ha, wobei auch Gehalte bis etwa 30 kg Nitrat/ha auftraten. Bis 150 kg N/ha wurde der verfügbare Stickstoff folglich effizient in Ertrag umgesetzt, wie bereits Abbildung 34 bis Abbildung 36 und Abbildung 41 zeigten.

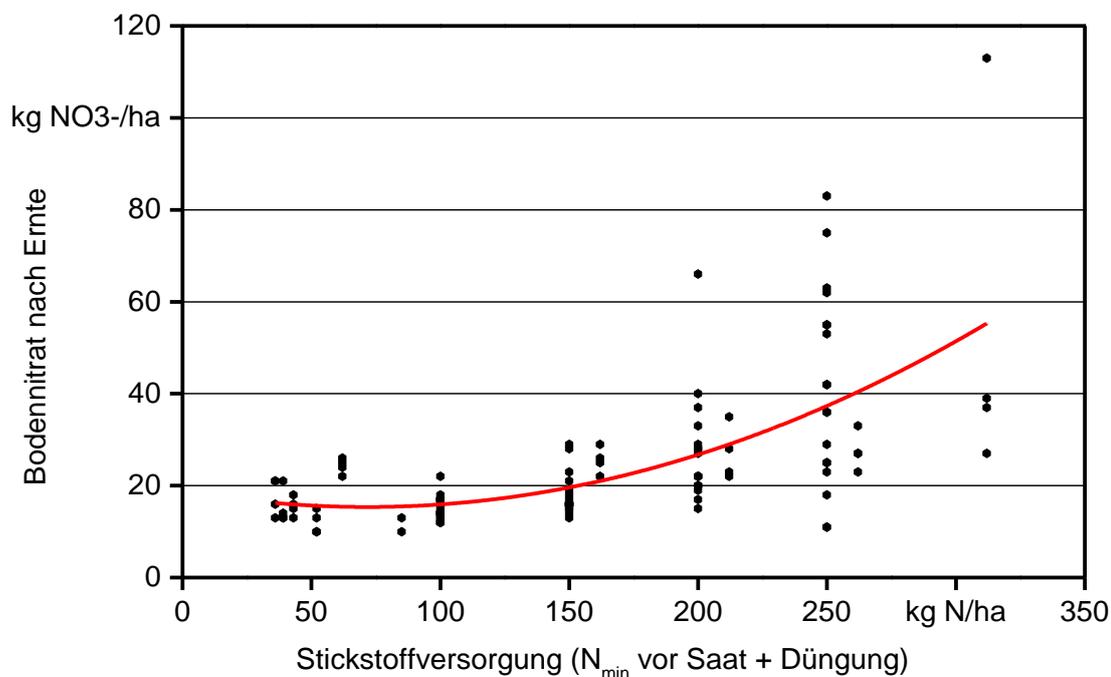


Abbildung 42: Bodengehalt an Nitrat bis 60 cm Tiefe nach der Ernte von Sorghum bei unterschiedlichen N-Varianten; Dasselsbruch 2011 bis 2013, Aholting 2011 bis 2012, Straubing 2012

Nach Berechnungen von VON BUTTLAR (2012) gelten als Faustzahl für Podsole und Braunerden auf lehmigen Sanden 30 kg NO₃⁻/ha, für Löss-Parabraunerde 45 kg NO₃⁻/ha und für Podsol auf Sand 20 kg NO₃⁻/ha nach der Ernte, um die Belastung des Sickerwassers mit Nitrat unterhalb des Grenzwertes (50 mg NO₃⁻/l Sickerwasser) zu halten. Eine Überschreitung des Grenzwertes von 30 kg NO₃⁻/ha im Boden nach der Ernte würde nach vorliegenden Ergebnissen bei normaler Entwicklung der Pflanzen erst ab einer N-Versorgung von etwa 200 kg/ha vorliegen (im Mittel der Jahre und Standorte, Abbildung 42). Waren die Pflanzen im Versuch unterentwickelt und der Standort ertragsschwach (z. B. Gülzow 2012, Ergebnisse nicht dargestellt), dann wurde wesentlich weniger Stickstoff von den Pflanzen aufgenommen und dieser Grenzwert teilweise schon bei einer Versorgung mit 100 kg N/ha überschritten.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Faustzahl von 30 kg Nitrat/ha in Realität je nach Boden und Klimaregion erheblich schwanken kann. Auch die Ergebnisse der Bodenuntersuchung werden stark von den Bedingungen zur Probenahme und von weiteren Faktoren wie Standort oder Jahr beeinflusst, wie die große Streuung der Daten zeigt.

Ein weiterer Parameter zur Einschätzung der Umweltgefährdung durch das Düngemanagement ist der N-Saldo. Hierbei wird von der Gesamt-N-Versorgung durch Bodenstickstoff (N_{min} vor Saat) und Düngung der über die geerntete Pflanzenmasse entzogene Stickstoff (N-Analyse des Pflanzenmaterials) subtrahiert. Abbildung 43 zeigt, dass im Versuch die N-Varianten im Mittel erst ab 200 kg N/ha einen positiven Stickstoff-Saldo aufwiesen. Unterhalb dieser N-Menge haben die Pflanzen dem Boden mehr Stickstoff entzogen als zu Beginn der Vegetationsperiode plus Düngung zur Verfügung stand. Die Differenz wurde über Bodenstickstoff aus der kontinuierlichen Nachmineralisierung gedeckt. Nach diesen Ergebnissen besteht bei dem Anbau von Sorghum keine erhöhte Nitrat-Auswaschungsgefahr bei Anrechnung eines standort- und ertragsangepassten N-Sollwertes von 150 bis maximal 200 kg N/ha.

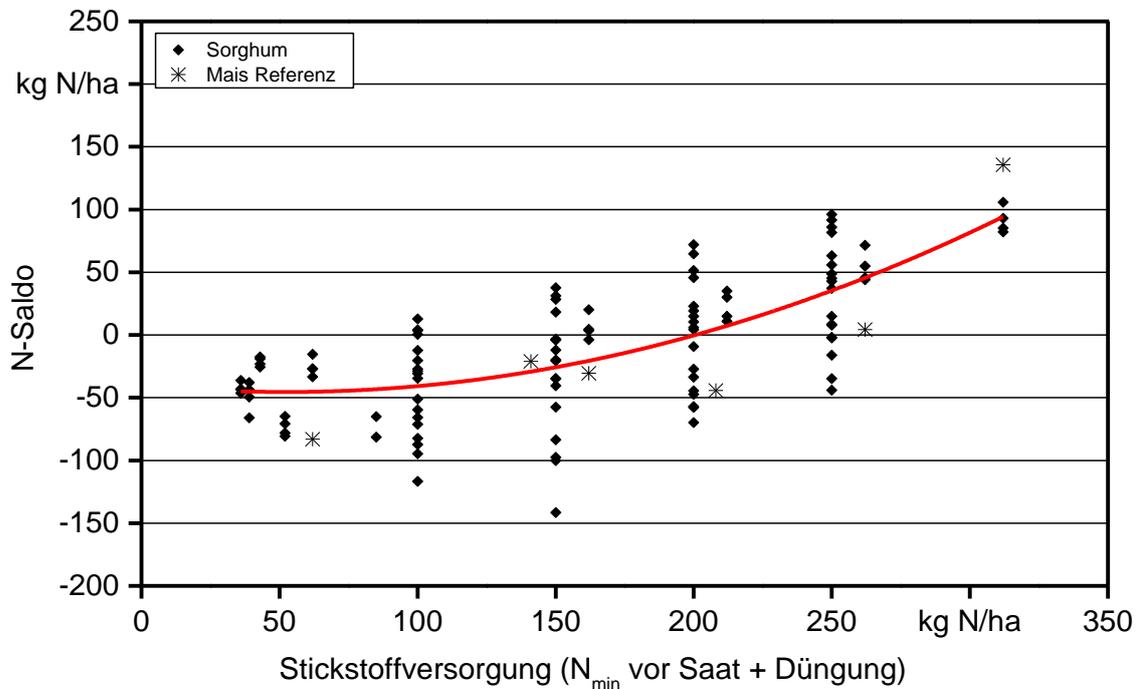


Abbildung 43: Stickstoff-Saldo von Sorghum bei unterschiedlichen N-Varianten; Dasselsbruch 2011 bis 2013, Aholting 2011 bis 2012, Straubing 2012

Ein Vergleich mit der Maisreferenz der Standorte Straubing, Kirchengel und Trossin zeigt, dass Sorghum hinsichtlich des N-Saldos ähnlich wie Mais einzuordnen ist, der mit hohem Biomasseertrag und spätem N-Bedarf ebenfalls große N-Mengen entzieht. Bei der Ergebnisinterpretation gilt es allerdings, den sehr kleinen Stichprobenumfang der Maisreferenz zu beachten.

Nitrat- und Stickstoffgehalt im Erntegut

Als qualitätsbestimmender Parameter im Düngerversuch wurde in den Pflanzenproben der Nitratgehalt untersucht, weil in Beratungsgesprächen immer wieder die Frage nach der Möglichkeit einer Futternutzung von Sorghum auftaucht. Nitrat kann im Verdauungstrakt zu Nitrit umgewandelt werden und ist als solches gesundheitsschädlich. In Untersuchungen von ZEISE (2012) wurden bei überhöhten N-Gaben grenzwertüberschreitende Nitratgehalte festgestellt. Nach NUSSBAUM (2013) bewegen sich die Nitratgehalte in Grünlandaufwüchsen meist zwischen 0,2 und 0,8 % NO₃ (TM). Die klimatischen Bedingungen des Standortes beeinflussen die Nitratkonzentration in der Pflanze. Als Einsatzgrenze für nitrathaltige Futtermittel wird nach NUSSBAUM (2013) 0,5 % (TM) angesetzt. In der amerikanischen Literatur wird ab 0,3 % Nitrat in der Trockenmasse der Gesamtration eine Einschränkung des belasteten Substrates als Futtermittel bei gestressten Tieren empfohlen (FJELL 1991) Mit ernstesten gesundheitlichen Einschränkungen ist nach dieser Quelle erst ab 0,6 % TM zu rechnen.

Für die Standorte Aholting, Dasselsbruch und Straubing wurden Pflanzenproben des Düngerversuchs auf Stickstoff und Nitrat untersucht. Anhand Abbildung 44 ist ein deutlicher Anstieg des Nitratgehaltes mit zunehmender Düngung zu sehen. Der Gesamt-Stickstoff-Gehalt, in dem bei einer laboranalytischen Bestimmung nach DUMAS (ISO 16634-1) der nitratgebundene Stickstoff ebenfalls enthalten ist (LASER 2005), stieg ebenso an. Das lässt vermuten, dass bei hohen N-Gaben der Stickstoff vermehrt als Nitrat eingelagert und nicht in ertragsbildender Form organisch als Protein gebunden wird. Erhöhte Nitratwerte oberhalb des Grenzwertes von 0,5 % wurden im Mittel erst ab einer N-Versorgung von 200 kg N/ha erreicht. Eine geringe Menge von etwa 0,3 % Nitrat (TM) wird nach JEROCH (1999) für eine sichere Erzeugung buttersäurefreier Silagen sogar als notwendig erachtet. Die Ergebnisse zeigen allerdings, dass es immer wieder zu Überschreitungen des

Grenzwertes auch bei niedriger N-Stufe kommen kann. Worin die große Streuung der Werte begründet ist, bleibt unklar. Bekannt ist jedoch, dass neben der Stickstoffverfügbarkeit auch klimatische Faktoren wie Licht-, Wasser- und Nährstoffmangel die Nitratbildung begünstigen. Auch eine erhöhte Nachmineralisierung, bedingt durch besonders warme, feuchte Bedingungen und damit ein Überangebot an Stickstoff, ist denkbar. Bei der Fütterung als alleiniges oder Hauptfuttermittel ist bei einer N-Düngung ≥ 150 kg/ha Vorsicht geboten. Für den Einsatz in Biogasanlagen ist der Nitratgehalt in der Regel weniger relevant. Allerdings kann eine zu hohe Gesamt-N-Zufuhr zur Ammoniakbildung und Hemmung der Methanbildung führen.

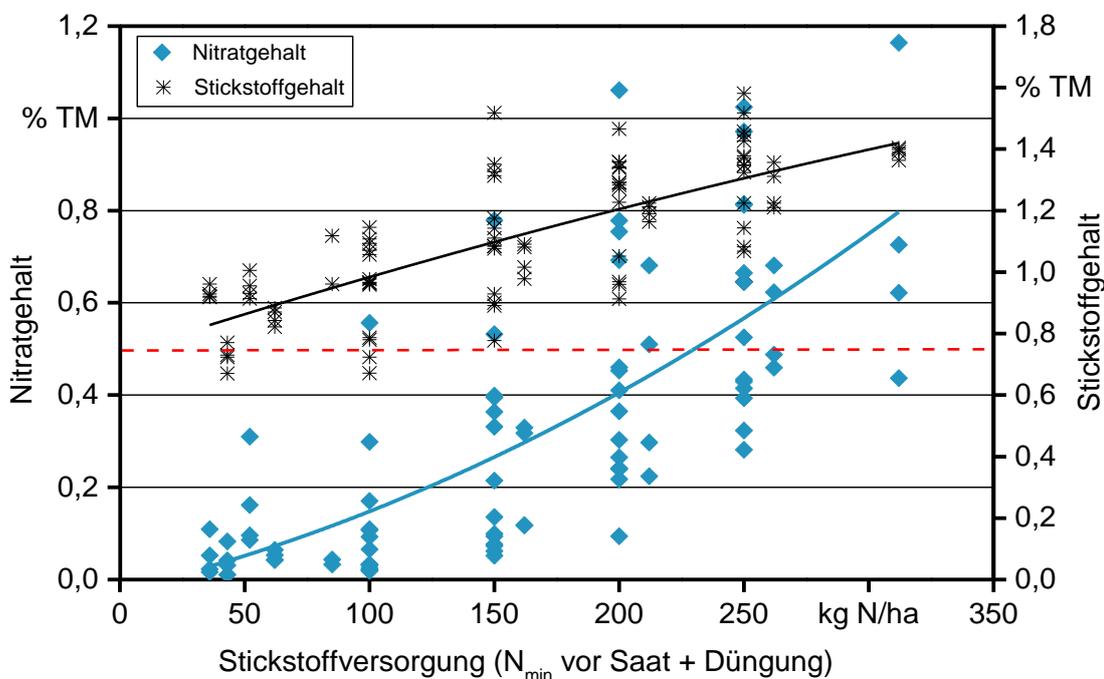


Abbildung 44: Nitratgehalt und Gesamt-N-Gehalt in Sorghum bei unterschiedlichen N-Varianten; gestrichelte Linie = Nitrat-Grenzwert, ab dem sich erste Einschränkungen für die Rinderfütterung ergeben; Standorte Dasselsbruch 2011 bis 2013, Aholfing 2011 bis 2012, Straubing 2012

Deckungsbeitrag

Die Ertragsergebnisse, die am Anfang dieses Kapitels dargestellt wurden, verdeutlichten, dass sich in Sorghum mit einer nur moderaten Stickstoffversorgung von 150 bis 200 kg N/ha (unter Anrechnung von N_{\min}) gute Erträge erreichen lassen. Bei einer solchen Betrachtung bleiben die Kosten für das Düngemittel, aber auch der Erlös für den aus der Biomasse produzierten Strom außen vor. Die Deckungsbeitragsberechnung hingegen stellt dar, inwieweit sich eine Stickstoffdüngung zu Sorghum auch wirtschaftlich lohnt.

Abbildung 45 zeigt die am Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft der Justus-Liebig-Universität Gießen berechneten Deckungsbeiträge für die Varianten des Düngerversuches. Es wurden nur Standorte mit einbezogen, für die sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen N-Stufe und TM-Ertrag nachweisen ließ. Als Düngekosten wurden ausschließlich die Ausgaben für eine N-Düngung angerechnet, die Kosten für eine Grunddüngung blieben bei der Berechnung außen vor. Nähere Details zur Berechnungsmethode werden von AURBACHER & KORNTZ (2014) beschrieben. Die Deckungsbeiträge schwankten stark zwischen den Standorten und ganz besonders zwischen den Versuchsjahren. Den größten Einfluss auf den Deckungsbeitrag hatten der Ertrag und der TS-Gehalt. Der Ertrag beeinflusst direkt die produzierte verkaufsfähige Strommenge. Der Trockensubstanzgehalt zur Ernte geht über die Transport- und Erntekosten in die Rechnung mit ein.

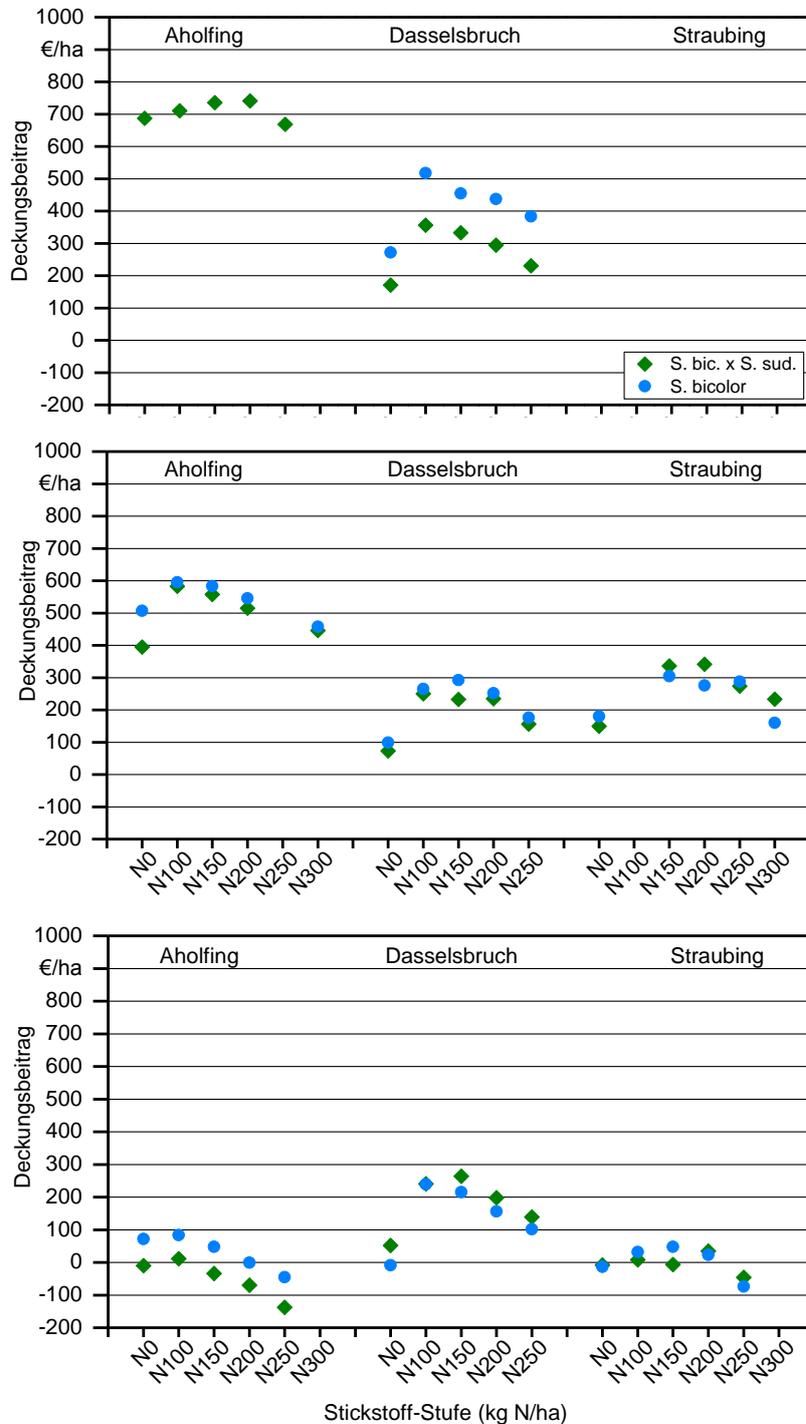


Abbildung 45: Deckungsbeiträge im Düngerversuch, oben: 2011, in Straubing nicht durchgeführt; Mitte: 2012; unten: 2013

Die höchsten Deckungsbeiträge wurden mit den Varianten der Düngestufen 100 bis 150 kg N/ha erzielt. Der deutlichste Anstieg war in der Regel zwischen der Kontrolle ohne Düngung und der ersten Düngestufe mit 100 kg N/ha zu verzeichnen. In Aholfing 2011 und Straubing 2013 lag der höchste Deckungsbeitrag bei den *S. bicolor x S. sudanense*-Sorten bei 200 kg N/ha, dies war jedoch die Ausnahme. Die Ursache für die sehr geringen Deckungsbeiträge im Jahr 2013 in Aholfing und Straubing sind niedrige Erträge und TS-Gehalte bedingt durch die nass-kalte Witterung im Frühjahr. Die Ergebnisse zeigen zwar die gleiche Tendenz wie in

den Vorjahren, die absoluten Werte sind jedoch nicht repräsentativ für den Sorghumanbau auf den bayerischen Standorten.

Insgesamt bestätigen die Berechnungen zum Deckungsbeitrag bei unterschiedlichen N-Stufen, dass mit einer moderaten N-Düngung bis 150 kg N/ha (unter Anrechnung von N_{\min}) in der Regel die höchste Wirtschaftlichkeit erreicht wird. Bei höheren Düngestufen überschreiten die zusätzlichen Kosten für den Stickstoff den nur mehr geringen oder teilweise auch nicht mehr realisierbaren Mehrertrag. Eine vollständige Zusammenstellung der berechneten Deckungsbeiträge für alle Standorte ist in Anhang 34 zu finden.

3.4 Zusammenfassung

Die Untersuchungen zu unterschiedlichen Saatzeitpunkten an vier Terminen von Anfang Mai bis Mitte Juni mit vier Sorghumsorten und einer Maisreferenz sollen das Ertragspotenzial von Sorghum bei verschiedenen Aussaatbedingungen (Klima) bzw. Fruchtfolgestellungen darstellen. Weiterhin wurde die Abreife von Sorten verschiedener Reifegruppen untersucht, um die Sortenempfehlungen je nach Fruchtfolgestellung weiter zu präzisieren.

Im dreijährigen Feldversuch zeigte sich, dass mit Sorghum im Hauptfruchtanbau (Saat Anfang bis Mitte Mai) auf Standorten mit hoher Bodengüte und ausreichend Niederschlägen hohe Erträge von bis zu 200 dt TM/ha möglich sind, wobei mittelspäte *S. bicolor*-Sorten in der Regel die höchsten Erträge lieferten. Auch im Zweitfruchtanbau (Saat Anfang bis Mitte Juni) konnten noch gute TM-Erträge von 120 bis 150 dt/ha, auf sehr guten Böden auch mehr, erreicht werden. Als optimaler Saattermin gilt weiterhin Mitte Mai, auch wenn sich auf warmen Standorten ohne Spätfrostgefahr ein Ertragsplus durch das Vorverlegen der Saat auf Anfang Mai erreichen ließ. Denn bei sehr früher Saat ist die Gefahr von Frostschäden und eines erhöhten Unkrautdrucks, bedingt durch das langsame Wachstum von Sorghum bei kühlen Temperaturen, zu bedenken. Untersuchungen zur Blattflächenentwicklung wiesen die deutlich langsamere Bodenbedeckung bei frühen Saatterminen nach. Je weiter der Saattermin in den Juni verschoben wurde, in der Praxis um eine Erstfrucht optimal ernten zu können, desto geringer fielen die Sorghumerträge aus; besonders bei einer späten Saat Mitte Juni. Die verfügbare Zeit und Wärme reichte dann nicht mehr aus, um das volle Ertragspotenzial auszuschöpfen, obwohl die Jugendentwicklung schneller verläuft als bei den früheren Saatterminen. Auf kühlen oder auch sehr trockenen Standorten sollte kein Zweitfruchtanbau von Sorghum stattfinden.

Hinsichtlich des Methanhektarertrages ergab sich im Versuch ein ähnliches Bild, auch hier nahmen die Erträge mit späterem Saattermin deutlich ab. Von den besten Sorten wurden rechnerisch 5.600 m³ in Hauptfruchtstellung bis 3.700 m³ Methan/ha in Zweitfruchtstellung erzielt. Mit der Leistung von Mais konnte Sorghum nur in Ausnahmefällen mithalten. Bedingt durch eine ungünstigere Inhaltsstoffzusammensetzung – mehr Rohfaser, keine Stärke, aber auch aufgrund des geringeren TM-Ertrages wurden nur etwa 80 bis 50 % des Methanhektarertrages von Mais erreicht. Im Vergleich mit Getreide-GPS lag Sorghum auf einem Niveau oder sogar etwas höher.

Die Versuchsergebnisse zur Sortenwahl verdeutlichen, dass auf den meisten Standorten im Hauptfruchtanbau und bei einer Saat Anfang Mai mit Sorten der Reifegruppe 4 (mittelspät bis mittelfrüh) ausreichende TS-Gehalte von mindestens 28 % erreicht werden können, wenn keine frühzeitige Ernte erforderlich ist. Auf günstigen warm-trockenen Standorten könnten auch Sorten der Reifegruppe 5 (mittelspät) gewählt werden. Zum optimalen Sorghum-Saattermin Mitte Mai sollte die Wahl auf Sorten der Reifegruppe 4, in ungünstigen Lagen der Reifegruppe 3 (mittelfrüh) fallen. Bei einer Saat Anfang Juni kommen nur noch mittelfrühe Sorten in Frage.

Für die späte Saat Mitte Juni sollten dann frühe Sorten der Reifegruppe 1, in günstigen Lagen noch Reifegruppe 3 ausgewählt werden.

Eine Saat zum ortsüblichen Maistermin etwa Ende April ist für Sorghum ebenfalls möglich, wie sich in einer nur einjährig durchgeführten Versuchsvariante herausstellte. Ein Mehrertrag war dabei jedoch nicht zu verzeichnen. Lediglich die TS-Gehalte zur Ernte lagen etwas höher als bei der Saat Mitte Mai. Aufgrund des erhöhten Risikos von Spätfrost und Verunkrautung kann für diese Versuchsvariante keine allgemeine Empfehlung ausgesprochen werden.

Eine Vorzüglichkeit der Sorghumsorten gegenüber der angebauten Maisreferenz im Hinblick auf den Ertrag ließ sich mit Ausnahme auf dem Standort Güterfelde nicht feststellen. Hinsichtlich des TS-Gehaltes konnte die frühe Sorte Lussi bei späterer Saat auf wenigen Standorten gegenüber dem Mais punkten.

Untersuchungen zum spezifischen Wärmebedarf der geprüften Sorten bis zum Erreichen des Ziel-TS-Gehaltes von 28 % bewiesen den starken Zusammenhang zwischen der während der Vegetationszeit akkumulierten Wärmesumme und der Entwicklung des TS-Gehaltes. Allerdings zeigte sich auch der große Einfluss weiterer standortspezifischer Faktoren. Ein für den Landwirt einfacher zu ermittelndes und auch zwischen den Standorten konsistenteres Merkmal zum Bestimmen der Silierreife ist das BBCH-Stadium. Ab BBCH 71, Beginn der Kornfüllung, kann in der Regel von einem TS-Gehalt von 28 % im Erntegut ausgegangen werden.

Eine ökonomische Betrachtung der Ergebnisse mittels Deckungsbeitragsrechnung wies die höchsten Deckungsbeiträge im Hauptfruchtanbau bis maximal 1.000 €/ha für die Lössstandorte Aholting und Straubing aus. Auf den meisten anderen Standorten ließen sich nur 200 bis 600 €/ha verdienen. Ein Anbau Anfang Juni als Zweitfrucht lohnte sich auf den Lössstandorten in Dasselsbruch und Güterfelde. Eine Saat Mitte Juni schränkte den wirtschaftlichen Anbau auf die beiden Lössstandorte ein. Im Vergleich mit Mais lagen die Deckungsbeiträge von Sorghum, mit Ausnahme des warm-trockenen Standortes Güterfelde, niedriger.

Der Arbeitsschwerpunkt Stickstoffdüngung umfasste einen mehrortig durchgeführten Versuch mit vier Sorghumsorten und verschiedenen N-Düngestufen (100 bis 300 kg N/ha) sowie einer ungedüngten Kontrollvariante. Ziel des Versuches war die Abbildung von Stickstoff-Ertragskurven, um Aussagen über die optimale N-Düngemenge zur Ausschöpfung des Ertragspotenzials von Sorghum zu erhalten.

Die Ergebnisse des dreijährigen Versuches zeigten für die Standorte Dasselsbruch, Aholting und Straubing, dass hohe TM-Erträge mit einer moderaten N-Düngung (≤ 150 kg N/ha unter Anrechnung von N_{\min}) erreicht werden können. Auch wenn der theoretische Maximalertrag bei einer N-Versorgung von 200 bis 250 kg N/ha (als N-Sollwert) lag, konnten ab etwa 150 kg N/ha nur geringe und nicht signifikante Mehrerträge erzielt werden, weil die Stickstoff-Ertragskurve danach deutlich abflacht. Auf ertragsstarken Standorten wie z. B. Straubing kann der optimale N-Sollwert etwas höher liegen (bis 200 kg N/ha inklusive N_{\min}), um das Ertragspotenzial ausschöpfen zu können. Die weiteren Versuchsstandorte lieferten aufgrund witterungsbedingter Schäden keine verlässliche Aussage.

Die Berechnungen zum Deckungsbeitrag bestätigten, dass mit einer mäßigen N-Düngung von bis zu 150 kg N/ha (unter Anrechnung von N_{\min}) die höchste Wirtschaftlichkeit im Sorghumanbau erreicht wird. Bei höheren Düngegaben überschritten die zusätzlichen Kosten für den Stickstoff den nur mehr geringen teilweise auch nicht mehr realisierbaren Mehrertrag.

Der TS-Gehalt wurde ebenfalls von der N-Versorgung beeinflusst, allerdings nur in geringem Maße. Tendenziell war ein Anstieg des TS-Gehaltes von der Kontrolle zur ersten Stufe der mineralischen Düngung (100 kg N/ha) festzustellen. Danach sanken die TS-Gehalte wieder ab. Dieser Effekt ist vermutlich auf Reifeverzögerungen zurückzuführen, bedingt durch eine Verlängerung der vegetativen Wachstumsphase.

Im Laufe der drei Versuchsjahre wurde keine eindeutig durch die Düngung bedingte erhöhte Lageranfälligkeit bei hohen N-Gaben beobachtet. Die Heterogenität der Ergebnisse und das insgesamt geringe Auftreten von Lager ließen keinen Rückschluss auf einen direkten Zusammenhang zu. Offensichtlich haben andere Faktoren wie Sortenanfälligkeit oder bodenklimatische Standortbedingungen einen größeren Einfluss.

Erhöhte N_{\min} -Gehalte nach der Ernte oder deutlich im Plusbereich liegende N-Salden wurden bei normal entwickelten Pflanzenbeständen im Mittel erst ab Düngegaben von 200 kg N/ha festgestellt. Die N-Salden lagen in etwa auf gleichem Niveau wie bei Mais. Die große Varianz der Ergebnisse zeigte jedoch auch, dass es zu einem N-Überschuss nach der Ernte von Sorghum kommen kann. Deshalb muss die Düngung unbedingt an die realistische Ertragserwartungen am Standort angepasst werden.

Inhaltsstoffliche Untersuchungen des Sorghumsubstrates im Düngeversuch ergaben erhöhte Nitratwerte oberhalb des Grenzwertes von 0,5 % erst ab einer N-Versorgung von ≥ 200 kg N/ha. Die Erkenntnisse sind jedoch eher für eine potenzielle Verfütterung von Sorghum relevant, weil es dann zu gesundheitlichen Einschränkungen bei den Tieren kommen kann. Dennoch sollte auch beim Einsatz in Biogasanlagen eine zu hohe N-Zufuhr vermieden werden, weil dies zur Ammoniakbildung und Hemmung der Methanproduktion führen kann.

4 TV 3: Herbizidprüfung, Anbau auf Rekultivierungsflächen, Praxisumfrage zum Sorghumanbau

Manuela Martin und Dr. Gert Barthelmes, LELF Brandenburg

4.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Das Teilvorhaben 3 war mit den Schwerpunkten Herbizidprüfung, Anbau auf Rekultivierungsstandorten und Praxiserhebung zum Sorghumanbau ein Bestandteil des Mehrländer-Verbundvorhabens „Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen“ (2011–2014). Die federführende Bearbeitung des Teilvorhabens lag beim Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF) Brandenburg. Die einzelnen Arbeitsschwerpunkte (ASP) sollten dabei folgende Ziel- bzw. Fragestellungen abdecken:

- ASP IV – Herbizideinsatz: Das für die Anwendung in Sorghum genehmigte Herbizidspektrum ist mit sechs Präparaten bisher noch gering (Tabelle 26). Eine gezielte Bekämpfung einjähriger Ungräser, insbesondere die Bekämpfung von Schadhirsen, ist durch das Wirkungsspektrum der Präparate sehr eingeschränkt. Deshalb wurde als Beitrag zur Lückenindikation die Verträglichkeit von Maisherbiziden mit graminizider Wirkung in Sorghum und der Einsatz von Gardo Gold zum frühen Nachauflauftermin in Varianten von mit und ohne Safener gebeiztem Saatgut geprüft.
- ASP V – Anbau auf Rekultivierungsstandorten: In Kooperation mit dem Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e. V. (FIB e. V.) wurde basierend auf der Arten- und Sortenprüfung (TV 1 ASP I) auf zwei Diluvialstandorten und zwei Rekultivierungsstandorten Brandenburgs die Anbauwürdigkeit von Sorghumarten und -hybriden im Vergleich zu Mais auf trockenen Standorten mit leichten Böden geprüft. Im Fokus stand dabei die Prüfung der Möglichkeit zum Sorghumanbau auf Kippenböden des ehemaligen Braunkohlentagebaus.
- ASP VII – Praxiserhebung zum Sorghumanbau: Ziel der mehrjährig im Verbundvorhaben durchgeführten Praxiserhebung war es, die Akzeptanz und Erfahrungen zum Sorghumanbau in landwirtschaftlichen Betrieben zu ermitteln. Die Verteilung des Fragebogens erfolgte durch alle Verbund- und Kooperationspartner in den jeweiligen Bundesländern (BB, SN, NI, MV, ST, TH, BY) zum Abschluss jedes Anbaujahres. Für einen direkten Erfahrungsaustausch mit Landwirten wurden in Brandenburg zusätzlich Umfragen vor Ort durchgeführt.

Darüber hinaus wurden weitere im Verbund integrierte Schwerpunkte bearbeitet: ASP I – Arten- und Sortenprüfung; ASP II – Saatzeitenversuche; ASP VI – Inhaltsstoffe, Substratqualität und Biogas; ASP VIII – Wirtschaftlichkeit und ASP IX – Wasserverbrauch und Wassernutzungseffizienz.

4.2 Material und Methoden

Allgemeine Angaben zu Standort und Witterung finden sich im Kapitel 1.1. und 1.2. Im Folgenden wird auf die versuchstechnische Durchführung eingegangen. Eine Übersicht zu produktionstechnischen Maßnahmen enthält Anhang 35 und Anhang 37.

4.2.1 Herbizidprüfung

Die Auswahl der zu prüfenden Präparate erfolgte unter dem Gesichtspunkt, dass eine möglichst breite Palette an Wirkstoffen und Wirkorten (HRAC) in Sorghum geprüft wird. Die Selektion der Präparate erfolgte dabei

- nach der Wirkung auf Schadhirse und Anwendbarkeit in Mais laut Pflanzenschutzmittelverzeichnis 2011, Teil 1 Ackerbau – Wiesen und Weiden, Hopfenbau – Nichtkulturland des BVL (2011);
- über den Abgleich geeigneter Mittel nach Wirkungsweise bzw. Wirkort nach HRAC-Gruppen (HRAC 2005);
- über die Online-Datenbank Pflanzenschutzmittel des BVL und unter Nutzung von Informationen der Pflanzenschutzdienste der Länder (BÄR et. al 2011).

Die Lückenindikation der ausgewählten Herbizide und Herbizidkombinationen erfolgte in beiden Sorghumarten (*S. bicolor* x *S. sudanense* und *S. bicolor*). Nur der Einsatz von Gardo Gold zum frühen Nachauflauf (Saatgutbeizung ohne/mit Safener) wurde aufgrund der Verfügbarkeit von entsprechend gebeiztem Saatgut in *S. bicolor* durchgeführt. Mit einer mehrortigen Versuchsdurchführung (Güterfelde, Trossin, Aholting, Gülzow) konnte die Mittelprüfung unter verschiedenen Standortbedingungen und damit die Aussagefähigkeit der Daten sichergestellt werden. Mittel mit aggressiver Wirkung auf Sorghum wurden ersetzt. Bei starker Kulturunverträglichkeit, aber noch relativ günstigem Ertrag erfolgte eine weitere Prüfung mit reduzierter (red.) Aufwandmenge (AWM). In Tabelle 23 sind die geprüften Herbizidvarianten aufgeführt. Eine detaillierte Übersicht zu Wirkstoffen, -gehalten, Wirkorten und Wirkungsspektrum ist dem Anhang 39 zu entnehmen. Bis auf die Prüfung von Gardo Gold zum frühen Nachauflauf (fr. NA) erfolgte die Applikation der Herbizide ab dem 3-Blatt-Stadium von Sorghum (BBCH 13).

Komplexe und stark standortabhängige Einflüsse auf die Wirkung der Herbizide erforderten eine umfangreiche Dokumentation von Witterungs- und Standortdaten. Für die Auswertung der Verträglichkeitsprüfungen wurden verschiedene Boniturparameter in Anlehnung an BSA- und EPPO-Richtlinien (BSA 2000, BBA 1999) zu Mais erfasst. Die Benennung der Unkrautarten erfolgte nach dem BAYER-Code mittels EPPO Plant Protection Thesaurus (EPPT).

Folgende Parameter wurden für die Durchführung des Herbizidversuches für alle Standorte festgelegt:

Versuchsanlage:	einfaktorielle, randomisierte Blockanlage je Art, 4 Wiederholungen
Aussaat:	ab Mitte Mai; > 14 °C Bodentemperatur
Saatstärken:	Futterhirse (Sorte Sucrosorgo 506 bzw. KWS Zerberus) 20 Körner/m ² ; Sudangras-hybride (Sorte Lussi) 40 Körner/m ²
Reihenabstand:	einheitlich 25 cm für beide Arten
N-Düngung:	standortüblich optimal
Herbizidapplikationen:	Einsatztermine und Aufwandmengen einheitlich; Ausbringungstechnik je nach technischer Ausstattung der Standorte unterschiedlich

Tabelle 23: Lückenindikation – geprüfte Herbizide über den dreijährigen Versuchszeitraum 2011–2013

Prüfglied/Herbizidvariante	AWM l o. kg/ha	Prüfjahre		
		2011	2012	2013
unbehandelte Kontrolle (UK)	-	x	x	x
<i>Standardvarianten (Anwendung in Sorghum genehmigt)</i>				
Gardo Gold	4,0	x	x	x
Gardo Gold + B 235	2,5 + 0,5	x	x	x
<i>Einzelpräparate</i>				
Task + FHS	0,383 + 0,3	x		
Maister flüssig	1,5	x		
Laudis	2,25	x		
Clio Super	1,5	x		
Clio Super [red.]	1,125		x	
Successor T	4,0		x	x
Adengo	0,33		x	
Calaris	1,5		x	x
Calaris [red.]	1,125			x
Callisto	1,5		x	x
Callisto [red.]	1,125			x
<i>Packs und Kombinationen</i>				
Accent S-Pack (Accent + Trend + Successor T)	0,057 + 0,28 + 2,8	x		
Clio Top BMX-Pack (Clio Super + Zeagran ultimate)	1,5 + 1,5	x		
Clio Top BMX-Pack (Clio Super+Zeagran ultimate) [red.]	1,125 + 1,125		x	
Zintan Platin-Pack (Calaris + Dual Gold)	1,5 + 1,25	x		x
Zintan Platin-Pack (Calaris + Dual Gold) [red.]	1,125 + 0,94		x	x
Milagro forte + Peak + Gardo Gold	0,6 + 0,015 + 2,0	x		
Milagro forte + Peak + Gardo Gold [red.]	0,45 + 0,011 + 1,5		x	
<i>Einsatz zum frühen Nachauflauf in Futterhirse</i>				
Gardo Gold (ohne Safener)	4,0	x	x	
Gardo Gold + Safener (Concep III)	4,0	x	x	

4.2.2 Anbau auf Rekultivierungsstandorten

Über den dreijährigen Versuchszeitraum wurde die Arten- und Sortenprüfung zum Anbau auf Rekultivierungsstandorten nach Anforderungen des Teilvorhabens I durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte in Kooperation mit dem Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB e.V.) auf zwei Diluvialstandorten (Güterfelde, Drößig) und zwei Rekultivierungsstandorten (Grünwalde, Welzow) – siehe Tabelle 24. Jährlich standen dreizehn Sorten der Sorghumarten Futterhirse (*S. bicolor*) und Sudangrashybride (*S. bicolor* x *S. sudanense*) (eingruppiert in früh- und spätreifende Sorten) zwei Maisreferenzsorten (mittelfrüh, mittelspät) im Hauptfruchtanbau zum Vergleich gegenüber (Tabelle 25). Aufgrund der Verfügbarkeit war es nicht möglich, alle Sorten über einen dreijährigen Prüfzeitraum zu erhalten, sodass die Orthogonalität der Versuche eingeschränkt ist. Die abschließende Bewertung bezieht sich deshalb auf die entsprechenden Prüfzeiträume.

Sämtliche Bonituren erfolgten in Anlehnung an BSA-Richtlinien. Für die Bearbeitung des Schwerpunktes VI im Teilvorhaben 4 (Inhaltsstoffe, Substratqualität, Biogas) wurden zur Ernte entsprechende Proben (getrocknete Pflanzenproben und Silageproben) entnommen. Es erfolgte außerdem begleitend zum Schwerpunkt IX (Teilvorhaben 5) die Bestimmung der Bodenfeuchte in zwei Wiederholungen ausgewählter Sorten von Mais und Sorghum.

Versuchsanlage: Spaltanlage mit Großteilstücken (Fruchtart bzw. Reifegruppe) und randomisierten Kleinteilstücken (Sorten); 4 Wiederholungen

Aussaat: Mais standortangepasst optimal, Sorghum ab Mitte Mai

Saatstärken: Mais: 8–9 Körner/m²;
Sorghum: Futterhirse: 25 Körner/m², Sudangrashybride 40 Körner/m²

Aufgrund des bei Sorghum zu erwartenden geringen Feldaufgangs (Erfahrungen Vorprojekt) wurde zur Sicherung der Bestandesentwicklung im Vorhaben für alle Standorte ein Saatgutaufschlag von 10 % vorgenommen.

Reihenabstand: Mais 75 cm in Einzelkornsaat; Sorghum 25 cm in Drillsaat
 N-Düngung: standortüblich optimal
 Pflanzenschutz: standortüblich optimal
 Ernte: je Art bzw. Reifegruppe in Abhängigkeit vom durchschnittlichen TS-Gehalt

Tabelle 24: Übersicht der Diluvial- und Rekultivierungsstandorte (Kippen) zur Arten- und Sortenprüfung 2011–2013

Parameter	Güterfelde	Drößig	Grünewalde	Welzow
Entstehung	D	D	K	K
Bodenform	Salm- bis Sandtieflehm-Fahlerde	Braunerde-Pseudogley	tertiär Kipp-Kohlelehmsand (verkippt 1958)	quartär Kipp-Reinsand bis Kipp-Lehmsand (verkippt 2000)
Bodenart	Sl	O-Bod:Sl2 U-Bod: Ls3	Sl2	O-Bod: Ss U-Bod: Sl2
Ackerzahl	28-35	40		

Tabelle 25: Sortenspektrum der Arten- und Sortenprüfung 2011–2013

	Züchter/Vertrieb	Reifegruppe ²	2011	2012	2013	
3-jährige Prüfung						
Atletico	Mais	KWS	S 280	x	x	x
LG 32.16	Mais	Limagrain	S 260	x	x	x
Lussi	S.b. x S.s.	Caussade	früh	x	x	x
KWS Freya	S.b. x S.s.	KWS	früh	x	x	x
Hercules	S.b.	Saaten Union	spät	x	x	x
KWS Zerberus	S.b.	KWS	spät	x	x	x
Amiggo ¹	S.b.	RAGT	spät	x	x	x
2-jährige Prüfung						
KWS Sole	S.b. x S.s.	KWS	früh		x	x
Sucrosorgho 506	S.b.	Syngenta	spät	x	x	
KWS Tarzan	S.b.	KWS	spät		x	x
KSH 0704	S.b.	KWS	spät		x	x
EUG 221 F	S.b.	Euralis	spät		x	x
Famsugro 180 ¹	S.b.	Farmsaat	spät		x	x
1-jährige Prüfung						
Super Dolce 15	S.b. x S.s.	Caussade	spät	x		
Latte	S.b. x S.s.	Farmsaat	spät	x		
BMR 201	S.b. x S.s.	Caussade	spät	x		
Niagara 2	S.b. x S.s.	DSV	spät	x		
Nutri Honey	S.b. x S.s.	DSV	früh	x		
Uluru	S.b. x S.s.	IG Pflanzenzucht / Nufarm	spät		x	
KWS Odin	S.b.	KWS	spät	x		
Biomass 150	S.b.	Euralis	spät	x		
Kylie	S.b.	IG Pflanzenzucht / Nufarm	spät		x	
Zeus ¹	S.b.	Euralis	spät			x
PR 823 F	S.b.	Pioneer	spät			x
Joggy ¹	S.b.	RAGT	spät			x

¹ Verwendung der zugelassenen Sortennamen mit Neuzulassung am 06.03.2014 und Aufnahme in die beschreibende Sortenliste durch das Bundessortenamt

² Reifegruppen für Sorghum bezogen auf Vorhaben (Festlegung in Abstimmung mit Züchtern)

4.2.3 Praxiserhebung zum Sorghumanbau

Die Erhebung zum Anbau von Sorghum erfolgt bereits seit dem Jahr 2008 mit dem Vorhaben „Anbautechnik Sorghum – Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenspektrums“. Über den Fragebogen (Anhang 49) wurden allgemeine Daten zum Betrieb, das betriebliche Produktionsverfahren des Sorghumanbaus sowie die Erfahrungen und Akzeptanz erfasst. Die Verteilung des Fragebogens erfolgte im Jahresrhythmus zum jeweiligen Erntejahr durch alle Verbund- und Kooperationspartner in den jeweiligen Bundesländern (BB, SN, NI, MV, ST, TH, BY). Für einen direkten Erfahrungsaustausch mit Landwirten wurden in Brandenburg zusätzlich Umfragen vor Ort durchgeführt.

4.3 Ergebnisse und Diskussion

Ergebnisse und Diskussion beziehen sich ausschließlich auf die im Teilvorhaben 3 bearbeiteten Schwerpunkte. Die Auswertungen der Feldversuche hinsichtlich Inhaltsstoffen und Biogasausbeuten sind Bestandteil des Teilvorhabens 4 und werden hier nicht berücksichtigt.

4.3.1 Herbizidversuch

Aufgrund der botanischen Verwandtschaft (Familie der Süßgräser/Poaceae) zwischen Sorghum und den in Deutschland heimischen Süßgräsern, insbesondere den Schadhirsen, nimmt die Kontrolle einkeimblättriger Unkräuter in Sorghum eine besondere Stellung ein. Zurzeit ist das Spektrum der in Sorghum genehmigten Herbizide mit 6 Präparaten verschiedener Wirkstoffe sehr gering. Der Einsatz aller Herbizide beschränkt sich auf die Ausbringung ab dem 3-Blatt-Stadium (BBCH 13) in Sorghum. Eine gezielte Bekämpfung monokotylter Unkräuter ist nur mit Gardo Gold und Spectrum möglich (Tabelle 26). Weil beide Mittel überwiegend über den Boden und auf Ungräser bzw. Schadhirse am besten in ihrem Keimstadium bis maximal zum 3-Blatt-Stadium wirken, wird der Bekämpfungserfolg durch Faktoren wie dem Entwicklungsstadium der Ungräser und der Kultur sowie dem Bodenfeuchtegehalt zur und nach der Applikation bestimmt.

Ziel des Herbizidversuches war es deshalb, ausgewählte, für den Einsatz in Mais zugelassene Herbizide mit Wirkung gegen Ungräser auf die Verträglichkeit in Sorghum zu prüfen. Eine Schwierigkeit bei der Bekämpfung der Ungräser ist im genehmigten Applikationstermin zu sehen. Die langsame Jugendentwicklung und geringe Kältetoleranz von Sorghum bedingt die schwache Konkurrenzfähigkeit gegenüber heimischen Unkräutern und Ungräsern. In Jahren mit für Sorghum ungünstigen Standortbedingungen können Schadhirsen einen enormen Entwicklungsvorsprung erlangen, der die Bekämpfung erfordert. Dies ist dann jedoch häufig noch nicht möglich, weil sich Sorghum zu dem Zeitpunkt nicht im 3-Blatt-Stadium befindet. Laut MARSALIS & BEAN (2010) und ANONYM (2012) ist in den USA neben dem Einsatz von triazinhaltigen Mitteln auch die Anwendung von acetamidhaltigen Präparaten (z. B. S-Metolachlor in Gardo Gold) im Voraufbau eine erfolgreiche Bekämpfungsstrategie. Allerdings muss das Saatgut von Sorghum mit einem Safener behandelt sein, der den Abbau des Wirkstoffes in der Kulturpflanze bewirkt, weil sonst das Acetamid (S-Metolachlor) eine schädigende Wirkung im Keimstadium von Sorghum aufweist. Der in den USA eingesetzte Herbizidsafener Concep III soll den Abbau von metolachlor- und S-metolachlorhaltigen Wirkstoffen in Sorghum bewirken und somit den Einsatz im Voraufbau oder frühen Nachaufbau ermöglichen. In Safener gebeizten Beständen soll der vorgezogene Einsatztermin ab Voraufbau verträglich sein und nicht ertragsmindernd wirken. Im Feldversuch wurde deshalb der Einsatz von Gardo Gold zum frühen Nachaufbau in einer mit und ohne Safener gebeizten Variante durchgeführt.

Tabelle 26: Übersicht der in Sorghum genehmigten Herbizide nach Art. 51 VO (EG) Nr. 1107/2009, ehemals § 18a PflSchG (BVL, Stand 02/2014) Anwendung nur in Sorghum zur Nutzung als nachwachsender Rohstoff für technische Zwecke (u. a. Biogas)

Mittel	Wirkstoff (HRAC)	Genehmigung bis	zugel. AWM	ab BBCH	Wirkungsspektrum
ARRAT	Dicamba (O) Tritosulfuron (B)	12/2022	200 g/ha	13	<u>vorwiegend blattaktiv</u> ein- und mehrjährige zweikeimblättrige Unkräuter
B 235 / CARACHO 235 / BROMOXYNIL 235 / PROFI BROMOXYNIL (früher Certrol B)	Bromoxynil (C3)	12/2015	1,5 l/ha	13	<u>vorwiegend blattaktiv</u> einjährige zweikeimblättrige Unkräuter, auch Gänsefuß, Winden weniger gut
GARDO GOLD / PRIMAGRAM GOLD	Terbuthylazin (C1) S-Metolachlor (K3)	12/2015	4,0 l/ha	13	<u>Bodenherbizid</u> einjähriges Rispengras, Schadhirs sen , einjährige zweikeimblättrige Unkräuter
MAIS-BANVEL WG	Dicamba (O)	12/2021	500 g/ha	13	<u>systemisches Spezialherbizid</u> Gemeine Zaunwinde, Acker-Winde, Gänsefuß-Arten, Winden-Knöterich
SPECTRUM	Dimethenamid-P (K3)	12/2014	1,4 l/ha	13	<u>Bodenherbizid</u> Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter, Schadhirs sen
STOMP AQUA / STOMP RAPS	Pendimethalin (K1)	12/2017	2,5 l/ha	13	<u>Bodenherbizid</u> einjährige zweikeimblättrige Unkräuter

In der folgenden Ergebnisdarstellung werden Präparate, die in der reduzierten Aufwandmenge geprüft wurden mit „red.“ gekennzeichnet. Alle Ergebnisse werden als Mittelwert über die Jahre, über die Standorte oder Jahre und Standorte ausgewiesen. Einzelwerte sind im Anhang 40 bis Anhang 44 tabellarisch aufgeführt.

Phytotoxizität/Kulturverträglichkeit in Sorghum

Grundsätzlich führte die Anwendung aller geprüften Herbizide zu phytotoxischen Reaktionen in Sorghum. Wie in Abbildung 46 dargestellt, verursachten insbesondere die ausgewählten Maisherbizide und Kombinationen bis auf das Mittel Successor T deutliche Schäden in Sorghum.

Bereits zur Bonitur „3 Tage nach der Applikation“ zeigten die Sorghumpflanzen starke Reaktionen. Die Bandbreite der Schädigungen aller Prüfvarianten reichte von leichten Chlorosen, Anthocyanverfärbungen, Wuchsdpressionen über unterschiedlich starke Ausdünnungseffekte bis zum vollständigen Absterben des Bestandes. Eine sehr aggressive Wirkung auf Sorghum mit teilweisem oder vollständigem Absterben war bei den Präparaten und Kombinationen mit Wirkstoffen aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe (Task, MaisTer flüssig, Adengo, Accent-S-Pack, Milagro forte + Peak + Gardo Gold) zu beobachten. In allen Präparaten, die eine hohe Kulturunverträglichkeit verursachten, befanden sich Wirkstoffe, die nach HRAC in die Gruppen B und F2 eingestuft sind (Anhang 39). Diese hemmen als Herbizid zum einen die Acetolactat-Synthase (ALS-Hemmer), eine Aminosäure oder sind für die Zerstörung von Chlorophyll (4-HPPD Hemmer) verantwortlich (HRAC 2005). Eine leicht gesteigerte Unverträglichkeit wurde auch bei dem für den Einsatz in Sorghum genehmigten Gardo Gold und der Kombination Gardo Gold + B 235 festgestellt. Jedoch nahmen die Schäden mit dem Biomassezuwachs deutlich ab. Der Einsatz von Gardo Gold zum frühen Nachauflauf (BBCH 11) beeinträchtigte den Sorghumbestand nur geringfügig. Es wurden keine Unterschiede im Vergleich zum Einsatz ab BBCH 13 in der Bonitur festgestellt. Auch das Maisherbizid Successor T wies eine geringe Phytotoxizität in Sorghum auf. Die relativ gute Verträglichkeit des Präparates ist auf die ähnliche Zusammensetzung der Wirkstoffe und -gehalte wie in Gardo Gold zurückzuführen.

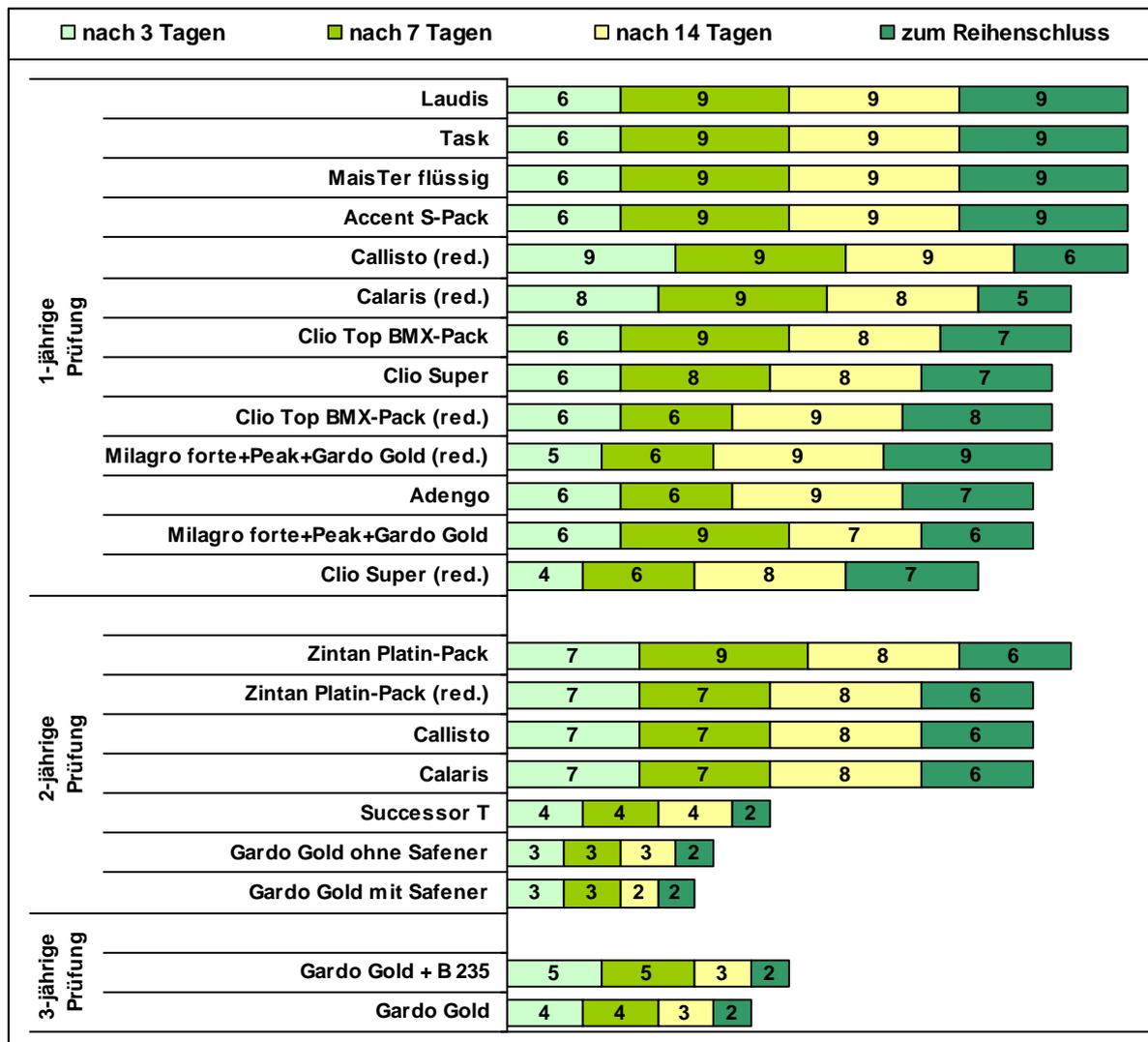


Abbildung 46: Phytotoxische Reaktionen (Bonitur 1-9) der geprüften Herbizide und Herbizidkombinationen im Mittel der Standorte und Jahre am Beispiel der Futterhirse

Wirkungen der Herbizide auf die Unkräuter

Die Bewertung der Unkrautwirkung bezieht sich ausschließlich auf die an den Standorten identifizierten und vollständig bonitierten Unkrautspektren. Diese variierten in einzelnen Jahren und in Abhängigkeit vom Standort (Anhang 40) und umfassten überwiegend dikotyle Unkräuter. Die Wirkung bezüglich Schadhirsens konnte aufgrund des Vorkommens nur an den Standorten Güterfelde (2011 bis 2013, Hühnerhirse), Aholting (2011, 2013, Hühnerhirse) und Trossin (2012, Haarstielhirse) beobachtet werden. Nach BERGER (2002) erreichen Herbizide eine hohe Wirkung durch korrekte Anwendung, wobei diese aber durch vielfältige Faktoren beeinflusst wird. Beispielhaft können dabei das Unkrautspektrum, der Entwicklungsstand der Unkräuter zum Einsatztermin, die Aufwandmenge, die Aufnahme über Blatt oder Boden, die Witterungs- und Standortbedingungen zur und nach der Applikation genannt werden. Eine geringe Wirkung kann damit auf mehrere Ursachen zurückzuführen sein. Auch die Wirkungen der geprüften Herbizide schwankten zwischen den Standorten und Jahren, woraus sich teilweise hohe Spannweiten ergaben (Tabelle 27). Hauptursachen, auch oft in Kombination mit weiteren, waren Unkräuter, die nicht oder nur geringfügig dem Wirkungsspektrum des Herbizides entsprachen (z. B. Gülzow 2013), ein witterungsbedingt vom optimalen Bekämpfungsstadium der Unkräuter abweichender Applikationstermin (z. B. Aholting 2013) oder eine zu geringe Bodenfeuchte, welche die Aufnahme von bodenwirksamen Wirkstoffen hemmte (z. B. Trossin 2011, Gülzow und Aholting 2013). Im Jahr 2013 zeig-

te sich deutlich, dass eine Reduzierung der Aufwandmenge den Bekämpfungserfolg in Frage stellen kann (Anhang 41).

Alle geprüften Herbizide erzielten im Mittel über 70 % Wirkungsgrad. Die höchsten Gesamtwirkungsgrade wurden in der mehrjährigen Prüfung durch den Einsatz von Gardo Gold zum frühen Nachauflauf in beiden Varianten erbracht. Auch Calaris und Zintan Platin-Pack (volle und red. AWM) zeigten in 2-jähriger Prüfung unabhängig von Unkrautspektrum und Standortbedingungen eine sehr gute Wirkung.

Tabelle 27: Gesamtwirkung und Spannweiten (%) der Herbizide im Mittel der Orte und Prüfjahre, geordnet nach Prüfjahren und abnehmender Wirkung, orientiert an Futterhirse

Herbizide	Prüfjahre	Sudangrashybride		Futterhirse	
		MW/JW	Spanne	MW/JW	Spanne
3-jährige Prüfung					
Gardo Gold + B 235	2011-2013	91	82...97	87	76...97
Gardo Gold	2011-2013	88	71...97	79	56...94
2-jährige Prüfung					
Gardo Gold (mit Safener)	2011-2012	-	-	97	94...100
Gardo Gold (ohne Safener)	2011-2012	-	-	96	92...100
Zintan Platin-Pack	2011,2013	94	91...100	94	88...100
Zintan Platin-Pack (red.)	2012-2013	94	91...98	94	90...98
Calaris	2012-2013	94	91...97	94	90...98
Callisto	2012-2013	88	79...95	87	79...96
Successor T	2012-2013	84	67...95	79	67...95
1-jährige Prüfung					
Clio Top BMX-Pack (red.)	2012	100	100...100	100	100...100
Milagro forte + Peak + Gardo Gold (red.)	2012	96	90...99	95	90...99
Clio Top BMX-Pack	2011	89	75...100	90	78...100
Milagro forte + Peak + Gardo Gold	2011	85	60...100	88	77...100
Accent S-Pack	2011	87	69...96	86	78...89
Adengo	2012	79	55...98	81	60...99
Clio Super (red.)	2012	74	43...97	79	48...97
Clio Super	2011	76	61...88	79	62...100
Calaris (red.)	2013	78	69...92	76	61...94
Laudis	2011	86	80...92	74	62...80
Callisto (red.)	2013	71	56...87	74	57...87
MaisTer flüssig	2011	77	65...81	73	60...79
Task + FHS	2011	78	66...100	73	61...75

Ein Vergleich des Bekämpfungserfolges bei Schadhirse (Hühnerhirse) an den Standorten Güterfelde und Aholting in den Jahren 2011 und 2013 wird in Tabelle 28 beispielhaft für Futterhirse dargestellt. Die unterschiedlichen Wirkungen sind auf die standortbedingten Einflüsse vor und nach der Applikation zurückzuführen. Insbesondere im Jahr 2011 (Standort Güterfelde) und im Jahr 2013 (Standort Aholting) spiegelten sich die trockenen Bedingungen nach dem Herbizideinsatz durch verminderte Wirkung der bodenwirksamen Herbizide wider. Auch der witterungsbedingt verzögerte Applikationstermin in Aholting 2013 führte zu deutlichem Wirkungsverlust, weil die Anwendung in bereits gut etablierte Hühnerhirse (BBCH 21-31) erfolgte, während der Spritztermin in Güterfelde zum optimalen Zeitpunkt (Entwicklung ECHCG BBCH bis 14) bei günstiger Witterung erfolgen konnte.

Die im Jahr 2012 am Standort Trossin beobachtete Haarstielhirse konnte mit den geprüften Mitteln in beiden Sorghumarten mit Wirkungsgraden von 95 bis 100 % sehr gut bekämpft werden.

Tabelle 28: Wirkung (%) gegen Schadhirse an zwei Standorten, 2011 und 2013

Wirkungsgrad (%) in ECHCG	Güterfelde		Aholting	
	2011		2013	
Gardo Gold + B 235	65	72	74	0
Gardo Gold	0	71	92	0
Gardo Gold + Safener (Concep III)	85	94		
Gardo Gold (ohne Safener)	89	91		
Successor T			33	0
Zintan Platin-Pack	81	92	100	70
Zintan Platin-Pack (red.)			100	68
Calaris			100	73
Callisto			88	68
Calaris (red.)			97	28
Callisto (red.)			69	73
Clio Super	88	79		
Task + FHS	89	94		
MaisTer flüssig	93	93		
Laudis	95	100		
Clio Top BMX-Pack	93	91		
Milagro forte + Peak + Gardo Gold	71	43		
Accent S-Pack	81	94		

Die bereits erwähnte Wirkstoffähnlichkeit der Präparate Gardo Gold und Successor T wird in der Wirkung gegen Schadhirse nicht sichtbar (Tabelle 29). Obwohl für beide Präparate eine mäßige Wirkung gegen Hühnerhirse ausgewiesen wird, fällt der Bekämpfungserfolg bei Successor T deutlich geringer aus. Gründe der differenzierenden Wirkung können dabei im Wirkstoff (S-Metolachlor vs. Pethoxamid = beide der Gruppe der Chloracetamide zugehörig), in der geringfügig variierenden Wirkstoffmenge und/oder in der Art der Formulierung bestehen.

Tabelle 29: Wirkung (%) der Präparate Gardo Gold und Successor T gegen Schadhirse

Wirkung (%) auf ECHCG	Wirkstoffe/-gehalte (Formulierung)	Güterfelde		Aholting
		2012 SU/FU	2013 SU/FU	2013 SU/FU
Gardo Gold	S-Metolachlor 312,5 g/l Terbuthylazin 187,5 g/l (Suspensionskonzentrat)	99 / 99	81 / 74	0 / 0
Successor T	Pethoxamid 300 g/l Terbuthylazin 187,5 g/l (Suspo-Emulsion)	76 / 28	38 / 33	0 / 0

Ertragswirkung

Die relative Ertragswirkung der Herbizidbehandlungen wurde an den in Sorghum genehmigten Varianten Gardo Gold und Gardo Gold + B 235 ermittelt und mit der unbehandelten Kontrolle verglichen. Die unbehandelte Kontrolle diente dabei als Bezugsbasis. Herbizidvarianten, die in der vollen Aufwandmenge nach erstmaliger Prüfung, ungeachtet der phytotoxischen Reaktion, einen Relativertrag von mindestens 50 an allen Standorten bewirkten, wurden wiederholt mit reduzierter Aufwandmenge geprüft. Besonders aggressiv wirkende Präparate mit starker Ertragsdezimierung (rel. < 50 zur UK) wurden aus der Prüfung genommen. Tabelle 30 zeigt, dass beide Standardvarianten Gardo Gold und Gardo Gold + B 235 in der Mehrheit an allen Standorten und in beiden Sorghumarten über dem Ertrag der UK lagen. Ein Relativertrag von >100 bei hoher Häufigkeit wurde in den Varianten mit Successor T und Gardo Gold (früher Nachauflauf) erzielt, welche bereits eine gute Verträglichkeit im Vergleich zu den weiteren Maisherbiziden zeigten. Der Einsatz von Gardo Gold zum frühen Nachauflauf erwies sich als wirksamste Methode zur Bekämpfung der Unkräuter. Im Vergleich zum regulären Einsatz ab BBCH 13 lagen die Erträge des frühen Einsatzes in der Mehrheit unter dem Ertrag der Variante mit Applikation zum regulären Termin. Wie im Abschnitt „Phytotoxizität“ erwähnt, verursachten alle weiteren Maisherbizide in voller und auch reduzierter Aufwandmenge starke Schädigungen in Sorghum. Dies wirkte sich unterschiedlich auf das Ertragsverhalten aus. Wie in Abbildung 47 dargestellt, nimmt die Kulturverträglichkeit deutlichen Einfluss auf den Ertrag.

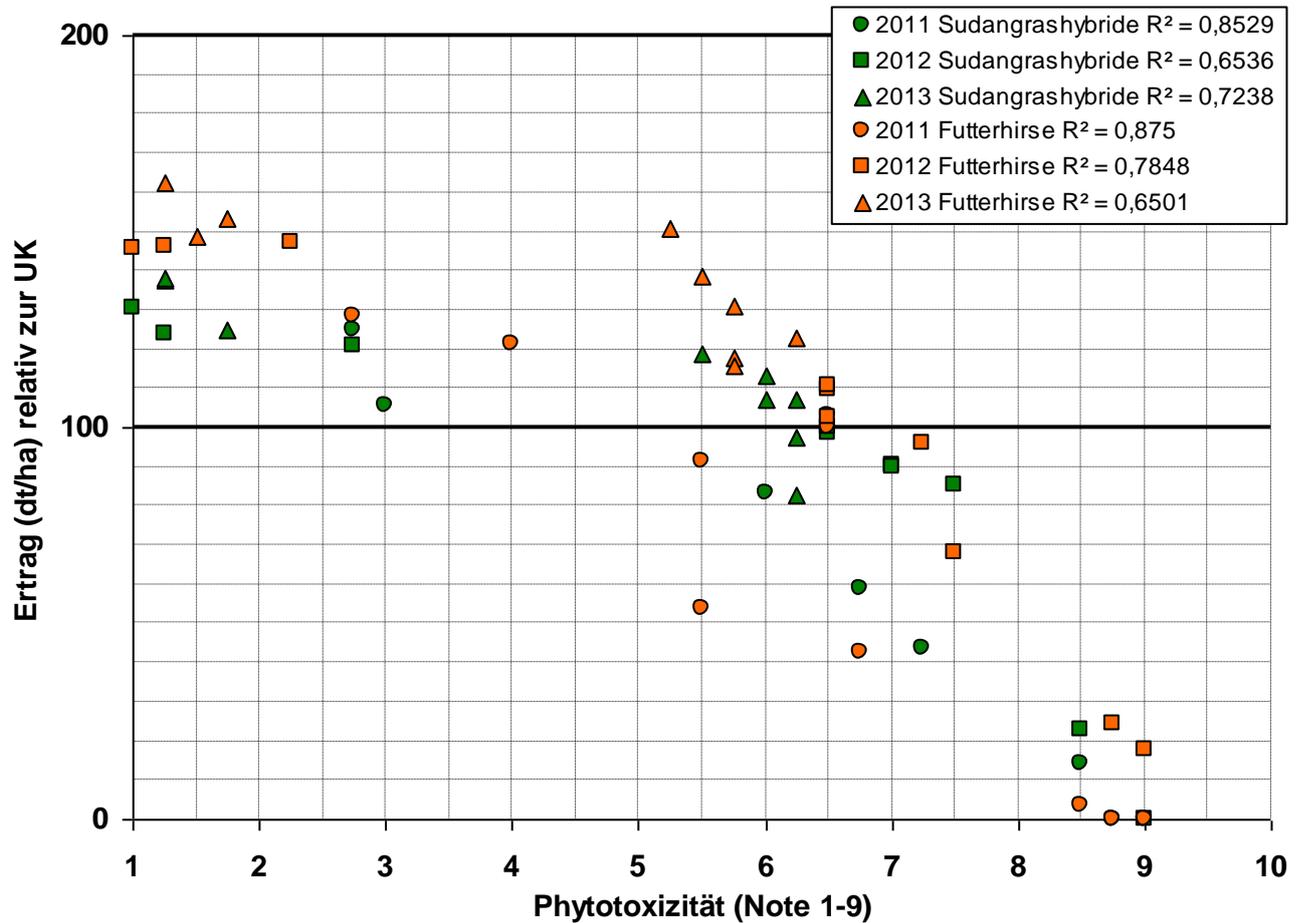


Abbildung 47: Abhängigkeit des Ertrages von der Phytotoxizität

Die Häufigkeit der über der UK liegenden Erträge der weiteren zweijährig geprüften Herbizide war deutlich geringer als die von Successor T und Gardo Gold (früher Nachauflauf). Diese Präparate sind damit für den Einsatz in Sorghum nicht geeignet. In Abhängigkeit der Standortbedingungen zur und nach der Applikation besteht hier trotz guter Wirkung gegen Unkräuter das Risiko eines erheblichen Minderertrages. Die einjährig geprüften sulfonharnstoffhaltigen Präparate (Task, MaisTer flüssig, Adengo, Accent-S-Pack, Milagro forte + Peak + Gardo Gold) sowie das tembotrionehaltige Laudis führten überwiegend zum Totalausfall der Sorghumbestände. Alle weiteren Mittel bewirkten zwischen den Standorten und/oder Jahren Ertragsschwankungen von relativ > 50 bis > 100, weshalb ihr Einsatz in Sorghum nicht in Frage kommt. Der durch die Reduzierung der Aufwandmenge verursachte Wirkungsverlust gegen Unkräuter ging häufig mit einer in der Relation positiven Ertragswirkung einher, welche jedoch im Hinblick auf den praktischen Anbau unbefriedigend blieb. Mit relativ 100 bis 210 zur UK zeigte sich nach einjähriger Prüfung in beiden Sorghumarten die reduzierte Aufwandmenge von Calaris positiv. Dieser Befund bedarf jedoch weiterer Überprüfung.

Tabelle 30: Relativer Trockenmasseertrag (dt/ha) zur Unbehandelten Kontrolle (UK), Ertragsspannen und Anzahl der Erträge rel. > 100 zur Anzahl der Gesamtprüfungen der Herbizide im Mittel der Orte und Prüffahre, geordnet nach Prüffahren und abnehmender Wirkung, orientiert an Futterhirse

TM-Ertrag (relativ) zur UK	Sudangrasybride				Futterhirse		
	MW/JW	Spanne und Anzahl Erträge rel. >100 von Anzahl Prüfungen		MW/JW	Spanne und Anzahl Erträge rel. >100 von Anzahl Prüfungen		
<i>Unbehandelte Kontrolle (UK)</i> <i>Bezugsbasis</i> <i>absolut (dt TM/ha)</i>	2011	163,8			179,2		
	2012	122,5			125,5		
	2013	89,5			68,5		
3-jährige Prüfung							
Gardo Gold	2011-2013	127	105...230	12/12	139	115...219	12/12
Gardo Gold + B 235	2011-2013	122	93...217	10/12	137	107...308	12/12
2-jährige Prüfung							
Successor T	2012-2013	123	97...208	7/8	148	117...281	8/8
Gardo Gold (ohne Safener)	2011-2012	-			124	99...172	7/8
Gardo Gold (mit Safener)	2011-2012	-			120	90...157	7/8
Calaris	2012-2013	106	58...185	5/8	120	70...288	7/8
Zintan Platin-Pack (red.)	2012-2013	102	53...176	5/8	117	68...242	6/8
Callisto	2012-2013	93	46...158	5/8	108	55...154	7/8
Zintan Platin-Pack	2011,2013	83	39...155	3/8	100	67...237	5/8
1-jährige Prüfung							
Calaris (red.)	2013	119	100...187	4/4	151	120...210	4/4
Callisto(red.)	2013	107	91...155	2/4	116	104...144	4/4
Clio Super	2011	103	85...140	1/4	100	94...106	2/4
Clio Super (red.)	2012	85	63...208	1/4	96	66...133	1/4
Clio Top BMX-Pack (red.)	2012	90	40...130	2/4	68	35...112	1/4
Milagro forte + Peak + Gardo Gold	2011	44	0...108	1/4	54	0...19	1/4
Clio Top BMX-Pack	2011	59	40...78	0/4	43	0...76	0/4
Milagro forte + Peak + Gardo Gold (red.)	2012	23	0...72	0/4	24	0...77	0/4
Adengo	2012	0	0	0/4	18	0...40	0/4
Laudis	2011	14	0...38	0/4	4	0...11	0/4
MaisTer flüssig	2011	0	0	0/4	0	0	0/4
Accent S-Pack	2011	0	0	0/4	0	0	0/4
Task + FHS	2011	0	0	0/4	0	0	0/4

4.3.2 Anbau auf Rekultivierungsstandorten (Arten- und Sortenprüfung)

Für die Bewertung der Anbaueignung von Sorghumarten und -sorten auf den Rekultivierungsstandorten (K) Grünwalde und Welzow werden zum Vergleich die Ergebnisse der beiden Diluvialstandorte (D) Güterfelde und Drößig herangezogen. Für die Beurteilung der Ertragsrelationen zwischen den Sorghumsorten und -arten mit Mais bildet der Mittelwert der zwei Maisreferenzsorten die Bezugsbasis. Die kompakte, kleinwüchsige und körnerbetonte *S. bicolor*-Sorte Farmsugro 180 wurde aufgrund ihrer dem Habitus entsprechenden geringeren Trockenmasseerträge nicht in die Mittelwertbildung der ansonsten massebetonten und langwüchsigen Futterhirsensorten einbezogen. Eine separate Aufstellung zu den Prüfmerkmalen der Sorten und Arten nach Einzelorten und Jahren befindet sich im Anhang 45 bis Anhang 48.

Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt

Die Sorte Farmsugro 180 erzielte die geringsten Erträge (rel. zu Mais 43-58). Einflüsse auf die Ertragsbildung waren nicht nur durch die Art und Sorte gegeben, sondern vor allem auch durch die Bodenverhältnisse und den Witterungsverlauf während der Vegetation. Das Jahr 2011, geprägt durch überdurchschnittliche Temperaturen zur Vegetation und gute Niederschlagsversorgung ab Juni, bot für die Entwicklung von Sorghum günstige Bedingungen. In diesem Jahr wurden die höchsten Erträge über alle Arten erzielt und insbesondere Sorten

der massebetonten Futterhirse erreichten im Mittel der Standortgruppen 7–43 % über dem Mais liegende Erträge. In den Folgejahren 2012 und 2013 waren die Witterungsbedingungen für die Entwicklung von Sorghum weniger günstig. Die Erträge lagen gegenüber 2011 bei allen Fruchtarten und Standorten niedriger. Insbesondere auf Diluvialstandorten zeigte Sorghum eine größere Ertragsdifferenz zu Mais. Besonders im Jahr 2013 wirkten eine kühle Phase zu Vegetationsbeginn, eine Trockenperiode zur Jugendentwicklung und vergleichsweise niedrige Temperaturen zur Abreife negativ auf Ertrag und Abreife von Sorghum, sodass in diesem Jahr die geringsten Erträge erzielt wurden. Grundsätzlich zeigte sich der Mais auf den Diluvialstandorten um 24–47 dt TM/ha ertragsstärker als auf den Rekultivierungsstandorten. Ähnlich verhielt es sich bei Sorghum, jedoch lag die Ertragsrelation zu Mais auf den Rekultivierungsstandorten günstiger. Die mit unterschiedlichen Substraten und zu differierenden Zeiträumen verkippten Rekultivierungsstandorte (Tabelle 24) wiesen abweichendes Ertragspotenzial auf.

Generell wurden auf dem jungen, mit magerem Reinsand bis Lehmsand verkippten Rekultivierungsstandort Welzow die geringsten Erträge erzielt. Der ältere und mit Kohlelehmsand verkippte Standort Grünwalde lag auf ähnlichem Ertragsniveau wie die D-Standorte (siehe Anhang 45 bis Anhang 48). Während der dreijährigen Anbauprüfung erreichten die Sudangrashybriden in Abhängigkeit von der Sorte überwiegend geringere Erträge als Mais und Futterhirsen (Spanne 2011–2013 rel. zu Mais: D = 59–96, K = 58–107). Massebetonte Futterhirsen hingegen konnten in Einzelfällen den Maisertrag erreichen oder ihn übertreffen (Spanne ohne Körnertyp 2011–2013 rel. zu Mais: D = 78–143, K = 77–136). Die Ertragsspannen waren aufgrund der größeren Sortenanzahl bei den Futterhirsen weiter. Das Abreifeverhalten der Sorghumarten und -sorten zeigte Unterschiede. Für eine gute Silierung ist ein optimaler Trockensubstanzgehalt von 28–35 %, mind. 26 %, anzustreben. Die geprüften Sorten der Futterhirse, aber auch einige Sorten der Sudangrashybriden (einjährig geprüft), waren spät abreifend und benötigten während der dreijährigen Prüfung rund 135 bis 157 Vegetationstage bis zur Ernte, die mitunter erst Mitte Oktober möglich war. Kältephasen in der Jugendentwicklung oder Trockenperioden in der Vegetation führten zu Wachstumsstagnation, welche sich wiederum auf die weitere Entwicklung und damit auf die Abreife auswirkten. Auch die Kombination aus geringem Temperaturangebot und übermäßigem Niederschlag während der Abreifephase führte zu nur langsamem Anstieg, Stagnation oder Rückgang des Trockensubstanzgehaltes. Von den spät reifenden ertragsstarken Sorten erreichten während der mehrjährigen Prüfung nur einige den Mindest-Trockensubstanzgehalt von 26 % (Amiggo, KWS Tarzan, KSH 0704 und KWS Zerberus). Aufgrund der langen Vegetation sind spät abreifende Sorten der Futterhirsen und Sudangrashybriden nur für den Hauptfruchtanbau mit Saatzeiten in der zweiten Maihälfte zu empfehlen. Eine deutlich kürzere Vegetationszeit von rund 110–132 Tagen bis zum Erreichen des optimalen TS-Gehaltes benötigten die früh reifenden Sorten der Sudangrashybriden (Lussi, KWS Freya und KWS Sole). Diese Sorten sind auch für den Anbau in Zweitfruchtstellung mit Saatterminen zwischen Mitte Mai und Ende Juni nach Grünschnittroggen oder Ganzpflanzengetreide geeignet (Tabelle 31, Tabelle 32).

Standfestigkeit

Die Standfestigkeit von Sorghum variierte in den Jahren und auf den Standorten. Der überwiegende Teil der Sorghumsorten wies unter den gegebenen Standortbedingungen eine gute Standfestigkeit auf. Erhöhte Lagerneigung wurde im Jahr 2011 an allen Standorten und während der dreijährigen Prüfperiode insbesondere am Standort Güterfelde bei einzelnen Sorten meistens nach Starkniederschlägen oder Stürmen beobachtet. An den Standorten des FIB e. V. wurde überwiegend keine bis mäßige Lagerneigung festgestellt. Die in Abbildung 48 dargestellten Maximalwerte einzelner Sorten (Lussi, Hercules, Sucrosorgo 506, KSH 0704, EUG 221 F) wurden am Standort Güterfelde beobachtet, welche Auswirkungen der Witterung waren. Eine Besonderheit stellt dabei der Brown-Midrip-Typ (Sorte BMR 201) dar. Bei Brown-Midrib-Typen, einer genetischen Mutation, ist der Ligningehalt verringert, was sich auf die Standfestigkeit der Pflanzen nachteilig auswirken kann (MILLER

& STROUP 2003; REICH 2005). Nach Starkniederschlägen im Jahr 2011 brach diese Sorte an allen Standorten zusammen.

Tabelle 31: Vergleich der relativen Trockenmasseerträge (dt/ha) der Sorghumsorten mit Mais (Sortenmittel = Bezugsbasis)

	Jahr Anzahl	D-Standorte			K-Standorte			D MW	K
		2011 2	2012 2	2013 2	2011 2	2012 2	2013 ¹⁾ 1		
Atletico	Mais	98	100	99	106	100	104	99	103
LG 32.16	Mais	102	100	101	94	100	96	101	97
Mittelwert Mais= Bezugsbasis absolut								BB = MW Mais jeweiliger Jahre	
3-jährig								172,5	138,9
Lussi	S.b. x S.s.	89	81	70	95	92	88	81	92
KWS Freya	S.b. x S.s.	96	87	74	107	89	94	86	97
KWS Zerberus	S.b.	109	86	78	108	97	77	91	95
Amiggo	S.b.	111	95	83	109	100	98	97	103
Hercules	S.b.	115	89	83	107	95	85	96	97
2-jährig								181,6	146,1
Sucrosorgo 506	S.b.	108	78		103	92		93	98
								169,6	131,3
KWS Sole	S.b. x S.s.		82	75		91	99	79	94
KWS Tarzan	S.b.		97	84		111	107	91	109
KSH 0704	S.b.		87	86		105	115	87	110
EUG 221 F	S.b.		99	86		94	95	93	95
Farmsugro 180	S.b.		43	54		58	44	48	52
1-jährig									
Super Dolce 15	S.b. x S.s.	64			72				
Latte	S.b. x S.s.	89			79				
BMR 201	S.b. x S.s.	59			58				
Niagara 2	S.b. x S.s.	74			74				
Nutri Honey	S.b. x S.s.	70			66				
Uluru ³⁾	S.b. x S.s.					94			
KWS Odin	S.b.	122			119				
Biomass 150	S.b.	143			136				
Kylie ³⁾	S.b.					106			
Zeus	S.b.			85			100		
PR823F	S.b.			87			105		
Joggy	S.b.			81			98		
Futterhirse ²⁾	S.b.	118	90	84	114	99	98		
Sudangrashybride	S.b. x S.s.	77	83	73	79	91	94		

1) = nur Grünwalde

2) = im MW Futterhirse nicht berücksichtigt: 2012–2013 Farmsugro 180 (kleinwüchsiger Körnertyp)

3) = Uluru und Kylie 2012 nicht orthogonal für D-Standorte (nur Drösig)

Tabelle 32: Trockensubstanzgehalte (%) der Sorghumsorten und von Mais (Sortenmittel Mais = Bezugsbasis)

	Jahr Anzahl	D-Standorte			K-Standorte			D	K
		2011 2	2012 2	2013 2	2011 2	2012 2	2013 ¹⁾ 1	MW	
Atletico	Mais	33,6	30,8	30,9	33,7	33,5	30,3	31,8	32,5
LG 32.16	Mais	34,3	32,6	30,8	34,0	36,6	28,4	32,6	33,0
		34,0	31,7	30,8	33,8	35,0	29,3	32,2	32,7
3-jährig									
Lussi	S.b. x S.s.	29,9	33,1	31,1	30,7	37,0	26,0	31,4	31,2
KWS Freya	S.b. x S.s.	28,7	29,3	29,3	28,8	31,0	24,6	29,1	28,1
KWS Zerberus	S.b.	29,0	27,1	26,3	29,0	29,1	22,8	27,5	27,0
Amiggo	S.b.	30,5	27,7	27,9	30,6	29,8	26,2	28,7	28,9
Hercules	S.b.	27,3	23,2	23,5	27,0	25,1	21,5	24,7	24,5
2-jährig									
KWS Sole	S.b. x S.s.		30,9	29,7		33,3	25,9	30,3	29,6
Sucrosorgo 506	S.b.	23,8	20,9		23,8	24,0		22,3	23,9
KWS Tarzan	S.b.		26,5	26,7		29,3	26,7	26,6	28,0
KSH 0704	S.b.		25,9	26,1		27,4	26,8	26,0	27,1
EUG 221 F	S.b.		23,0	23,9		23,3	22,5	23,5	22,9
Farmsugro 180	S.b.		21,7	26,8		27,2	21,5	24,3	24,3
1-jährig									
Super Dolce 15	S.b. x S.s.	22,1			23,6				
Latte	S.b. x S.s.	24,7			24,4				
BMR 201	S.b. x S.s.	20,4			21,4				
Niagara 2	S.b. x S.s.	20,5			21,2				
Nutri Honey	S.b. x S.s.	21,8			20,6				
Uluru ³⁾	S.b. x S.s.		22,9			26,8			
KWS Odin	S.b.	31,0			30,7				
Biomass 150	S.b.	29,8			29,8				
Kylie ³⁾	S.b.		20,7			24,1			
Zeus	S.b.			23,0			24,0		
PR823F	S.b.			25,3			24,1		
Joggy	S.b.			23,9			22,6		
Futterhirse ²⁾	S.b.	28,6	24,9	25,2	28,5	26,9	24,1		
Sudangrashybride	S.b. x S.s.	24,0	31,1	30,0	24,4	33,7	25,5		

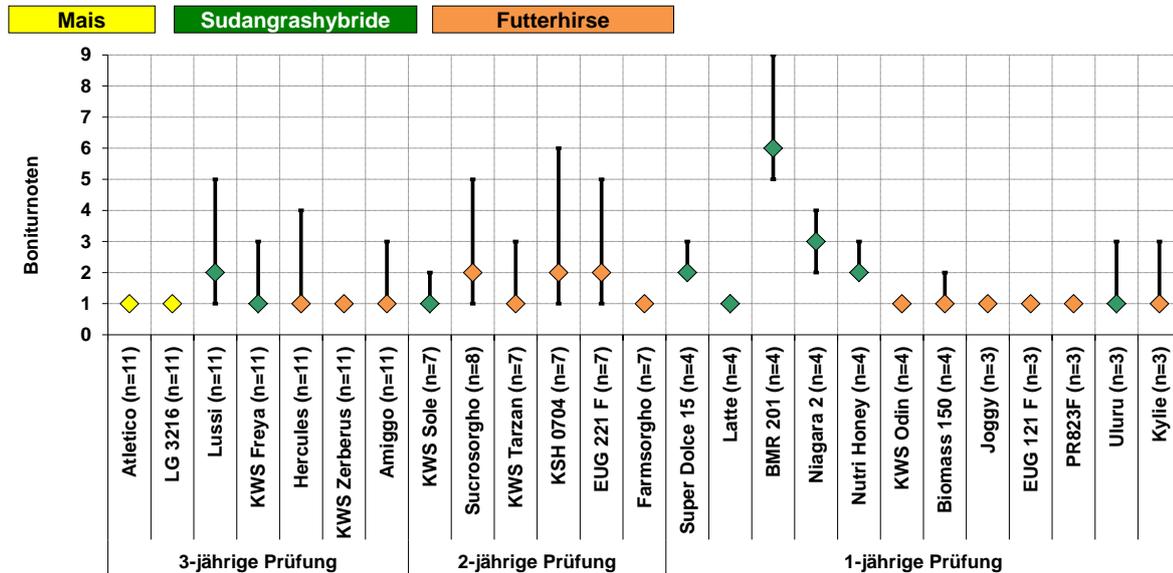


Abbildung 48: Standfestigkeit zur Ernte (Standortmittelwert 2011–2013, Min–Max)

Pflanzenlänge

Wie im Abschnitt Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt beschrieben, war Mais die ertragsstärkere Kultur im Vergleich zu Sorghum. Jedoch ist Abbildung 49 zu entnehmen, dass Mais mit rund 260 cm in der Pflanzenlänge nicht die größten Pflanzenlängen erzielte. Wie bereits von MÄRTIN & BARTHELMES (2011, 2012) festgestellt, besteht auch bei Sorghum keine eindeutige Beziehung zwischen Pflanzenlänge und Ertrag. Dennoch erreichten die massebetonten Sorten der Futterhirse im Mittel die größten Wuchshöhen. Die größten Bestandeshöhen wurden in abnehmender Reihenfolge in Güterfelde, Grünewalde, Drözig und Welzow ermittelt. Dabei unterlag die Pflanzenlänge dem Jahres- und Standorteinfluss.

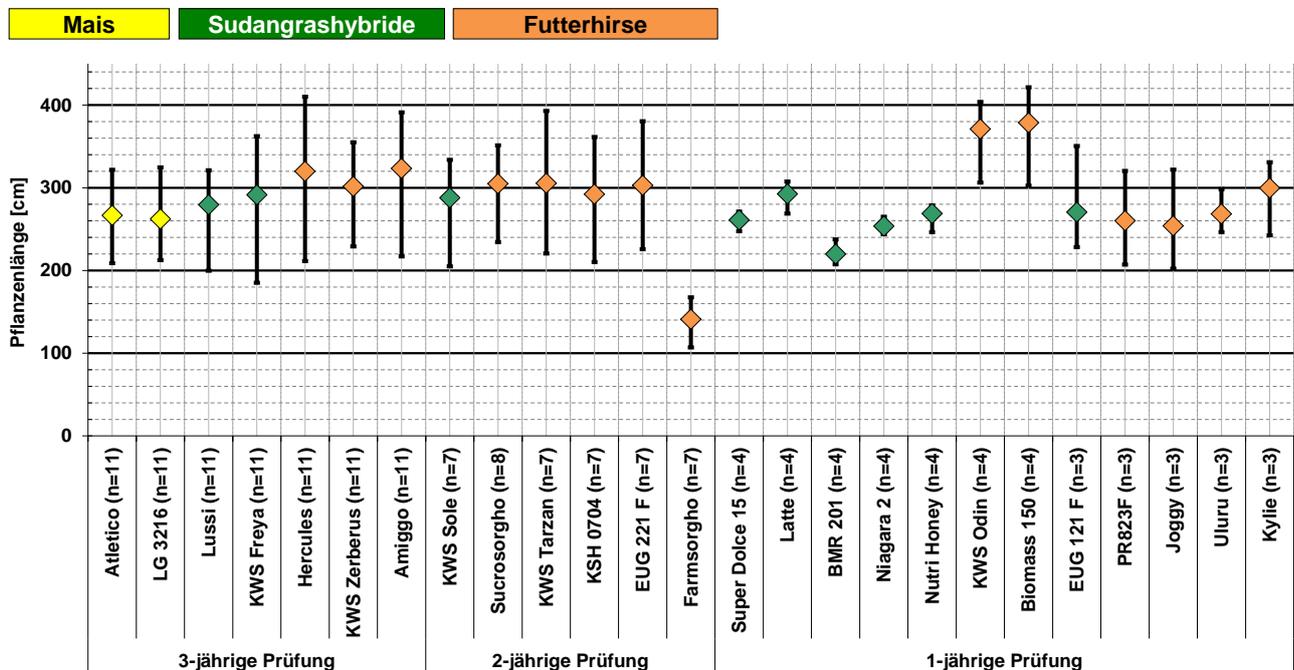


Abbildung 49: Pflanzenlänge zur Ernte (Standortmittelwert 2011–2013, Min–Max)

Krankheiten und Schädlinge

Schädlinge wie der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) wurden in Sorghum kaum beobachtet. Mais wies dagegen zum Teil stärkeren Befall auf. Auffällig war dies im Jahr 2013. Insbesondere an den Standorten des FIB e. V. wurde ein verstärkter Befall ermittelt (Tabelle 33). Das Auftreten von Blattflecken wurde ebenfalls beobachtet. Nach FRÖHLICH (1974) kann eine Vielzahl von Bakterien und Pilzen bei Sorghum den Befall mit Blattflecken auslösen. Im Mittel der Standorte trat mäßiger Blattfleckenbefall bei geringen Sortenunterschieden auf. Im Jahr 2012 wurden an den Standorten des FIB e. V. nur geringe bis keine Blattflecken bonitiert. Eine im Jahr 2011 durchgeführte Untersuchung an Blattfleckenmaterial vom Standort Güterfelde im Labor für phytopathologische Spezialuntersuchungen des LELF ergab als Befund großflächige Infektionen der Blätter mit Pilzen der Gattung *Fusarium*. Auf den Blattflecken selber wurden zudem Pseudothecien von *Leptosphaerolina* spp. nachgewiesen, die Blattfleckenerkrankungen bei Süßgräsern hervorrufen können (bekannt in Südeuropa, Asien und Nordamerika) (MÄRTIN & BARTHELMES 2012; RIEDEL 2011).

Tabelle 33: Befall mit Maiszünsler und Blattflecken zur Ernte im Mittel der Standorte und Jahre

Beobachtungen im Mittel der Orte und Jahre		Maiszünsler		Blattflecken	
		MW	MIN...MAX	MW	MIN...MAX
Atletico	Mais	3	1...6	2	1...4
LG 32.16	Mais	2	1...4	2	1...3
3-jährig					
Lussi	S.b. x S.s.	1	1...2	3	1...4
KWS Freya	S.b. x S.s.	1	1...2	2	1...4
KWS Zerberus	S.b.	1	-	2	1...3
Amiggo	S.b.	1	-	3	2...4
Hercules	S.b.	1	-	2	1...4
2-jährig					
Sucrosorgo 506	S.b.	1	-	2	1...3
KWS Sole	S.b. x S.s.	1	-	2	1...4
KWS Tarzan	S.b.	1	-	2	1...3
KSH 0704	S.b.	1	-	2	1...4
EUG221 F	S.b.	1	-	2	1...4
Farmsugro 180	S.b.	1	-	3	1...5
1-jährig					
Super Dolce 15	S.b. x S.s.	1	-	2	2...3
Latte	S.b. x S.s.	1	-	2	2...3
BMR 201	S.b. x S.s.	1	-	2	2...3
Niagara 2	S.b. x S.s.	1	-	3	2...4
Nutri Honey	S.b. x S.s.	1	1...2	3	2...3
Uluru	S.b. x S.s.	1	-	2	1...3
KWS Odin	S.b.	1	-	2	2...3
Biomass 150	S.b.	1	-	3	-
Kylie	S.b.	1	-	2	1...3
Zeus	S.b.	1	-	3	2...4
PR823F	S.b.	1	-	3	2...3
Joggy	S.b.	1	-	3	2...4

4.3.3 Praxisumfrage

Die Umfrage begann bereits 2008 mit dem vorangegangenen Projektvorhaben (2008–2011). Weil mit Beginn des Projektes 2011–2013 eine Optimierung und Erweiterung des Fragebogens vorgenommen wurde, sind diese nicht in allen Punkten übereinstimmend zu bewerten. Im Wesentlichen beschränkt sich daher die Auswertung auf den Zeitraum 2011–2013.

Abbildung 50 stellt die Beteiligung der landwirtschaftlichen Betriebe an der Umfrage und die davon verwertbaren Antworten seit 2008 dar. Die Anzahl eingegangener Antworten nahm im jeweils letzten Projektjahr ab. Das Verhältnis verwertbarer Antworten (ausschließlich Energiepflanzen anbauende Betriebe) zur gesamten Teilnahme schwankte in den Jahren. Die Vollständigkeit der Fragebögen war nicht immer gegeben. Deshalb bezieht sich die Auswertung einzelner Punkte jeweils auf die entsprechende Gesamtannahme.

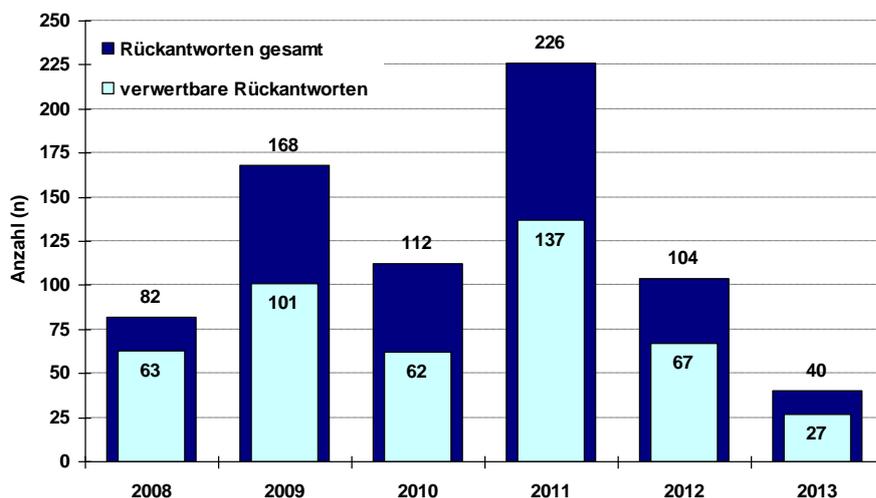


Abbildung 50: Anzahl der Antworten insg. und der davon verwertbaren Fragebögen von 2008 bis 2013

Anbauhäufigkeit von Sorghum im Vergleich zu anderen Energiepflanzen in der Praxis

Im dreijährigen Befragungszeitraum (2011–2013) bauten 93 % der insgesamt 231 Energiepflanzen anbauenden Betriebe Mais als Kultur zur Gewinnung von Biogas an. Weiterhin hatten zu 69 % Sorghum, gefolgt von Ganzpflanzengetreide (30 %) und sonstigen Kulturen (31 %, z. B. Grünschnittroggen, Sonnenblumen, WICKroggen, Getreidekorn) Bedeutung als Biogassubstrat (Abbildung 51). Dieses Verhältnis zeigte sich mit geringfügiger Abweichung und unabhängig von der variierenden Anzahl an Antworten in jedem Jahr.

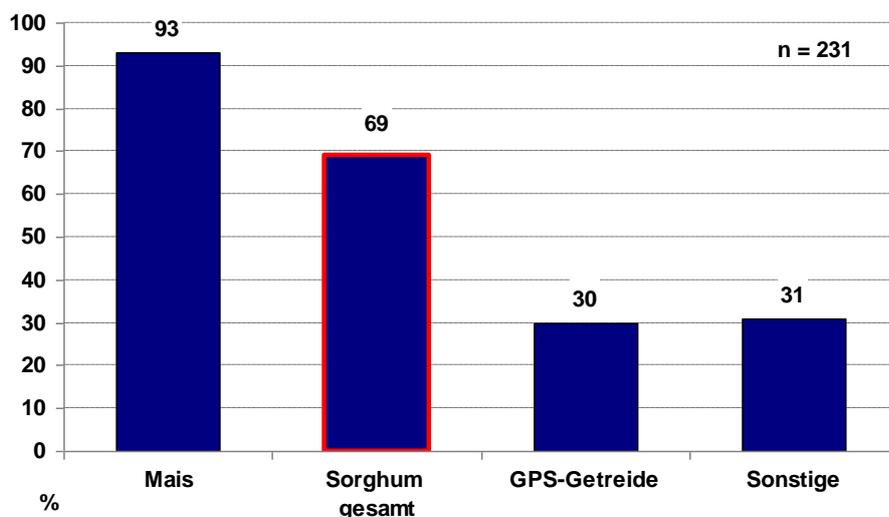


Abbildung 51: Anteil der Pflanzenarten an der Gesamtnennung 2011 bis 2013

Mit 17 % an der gesamten genannten Ackerfläche und mit 65 % an der Energiepflanzenfläche ging bei Mais die hohe Anbauhäufigkeit mit der Größe der Anbaufläche einher und überwog deutlich gegenüber den weiteren Energiepflanzen. Im Vergleich zu dem ebenfalls häufig angebaute Sorghum waren die angegebenen Anbauflächen in den befragten Betrieben mit insgesamt 4 % an der gesamten Ackerfläche und mit 15 % Anteil an der Energiepflanzenanbaufläche geringer. Die befragten Betriebe bauten sowohl Sudangrashybriden (41 % Anbauanteil) als auch Futterhirsen (59 % Anbauanteil) an (Abbildung 52). Auf gleichem Niveau wie Sorghum befand sich der Anbau von Ganzpflanzengetreide, welches aber in deutlich weniger Betrieben Bedeutung besaß.

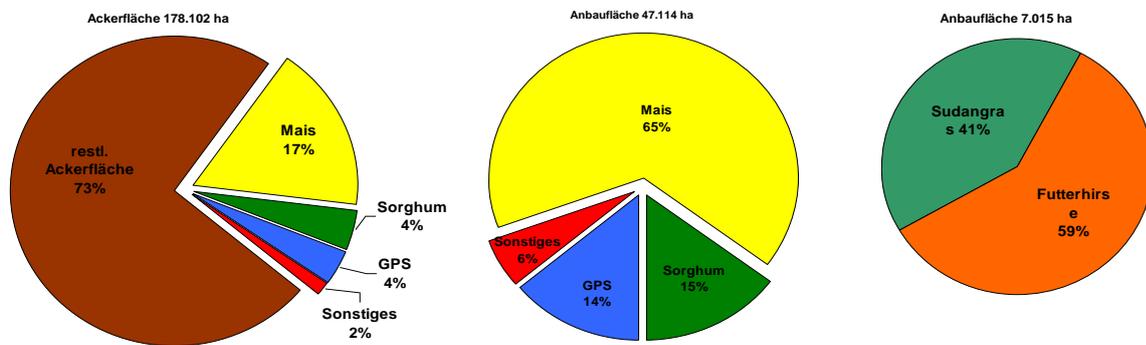


Abbildung 52: Anteil der Energiepflanzen an der Anbaufläche 2011–2013 (n = 216)

Die Ursache für die stark auseinander liegenden Flächenanteile zeigt Abbildung 53 auf. Der Anbau von Sorghum und Ganzpflanzengetreide (GPS) findet überwiegend auf Flächen mit einer Größe von 1 bis 50 ha statt. Hingegen ist Mais zwar ebenfalls auf Flächen ab 10 ha bis 100 ha ähnlich wie Sorghum und Ganzpflanzengetreide vertreten, er wird aber überwiegend auf größeren Flächen von 100 bis 500 ha angebaut, während die anderen Energiepflanzen auf solchen Flächengrößen nachrangig sind.

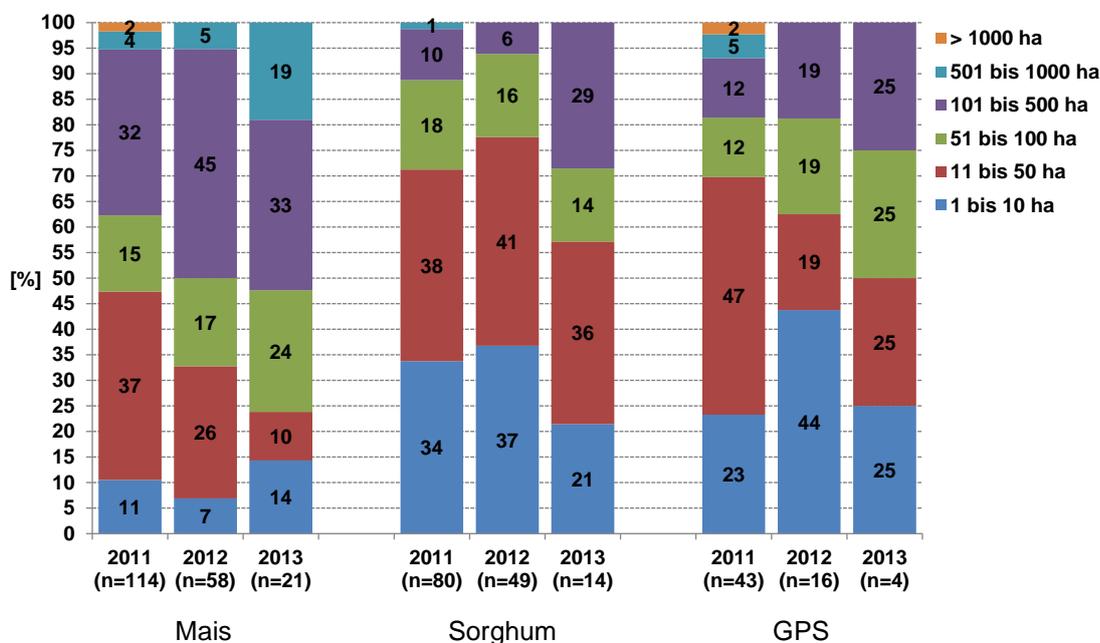


Abbildung 53: Anteile der Pflanzenarten an Anbauflächenklassen je Umfragejahr (2011–2013)

Eingliederung von Sorghum in die Praxisfruchtfolge (Vergleich zu Mais)

Die Erfahrungen aus dem Arten- und Sortenversuch zeigten, dass der Anbau von Sorghum in Abhängigkeit vom Abreifeverhalten in der Mehrheit der geprüften Sorten eher für den Hauptfruchtanbau zu empfehlen ist. Nur sehr zügig abreifende Sorten, wie sie zurzeit nur im Spektrum der Sudangrashybriden zu finden sind, erreichten im Zweitfruchtanbau bei ausreichend verfügbarem Wasser einen akzeptablen Trockenmasseertrag und einen im optimalen Bereich liegenden Trockensubstanzgehalt. In den antwortenden Betrieben erfolgte der Anbau von Mais und Sorghum überwiegend im Hauptfruchtanbau. Aber auch der Zweitfruchtanbau, vorrangig mit Sudangrashybriden, wurde von einigen Landwirten nicht ausgeschlossen. Ein Rückschluss auf die angebauten Sorten kann aufgrund häufig unvollständiger Angaben nicht gezogen werden. Somit ist nicht geklärt, ob im Zweitfruchtanbau früh reifende Sorten eingesetzt wurden. Erkennbar ist, dass im Jahr 2013 der Anteil

des Zweitfruchtanbaus im Vergleich zu den Vorjahren bei den Sorghumarten und Mais höher lag. Ob dies objektive Ursachen hatte, bleibt in Anbetracht der gegenüber 2011 und 2012 deutlich geringeren Anzahl Antworten offen (Abbildung 54).

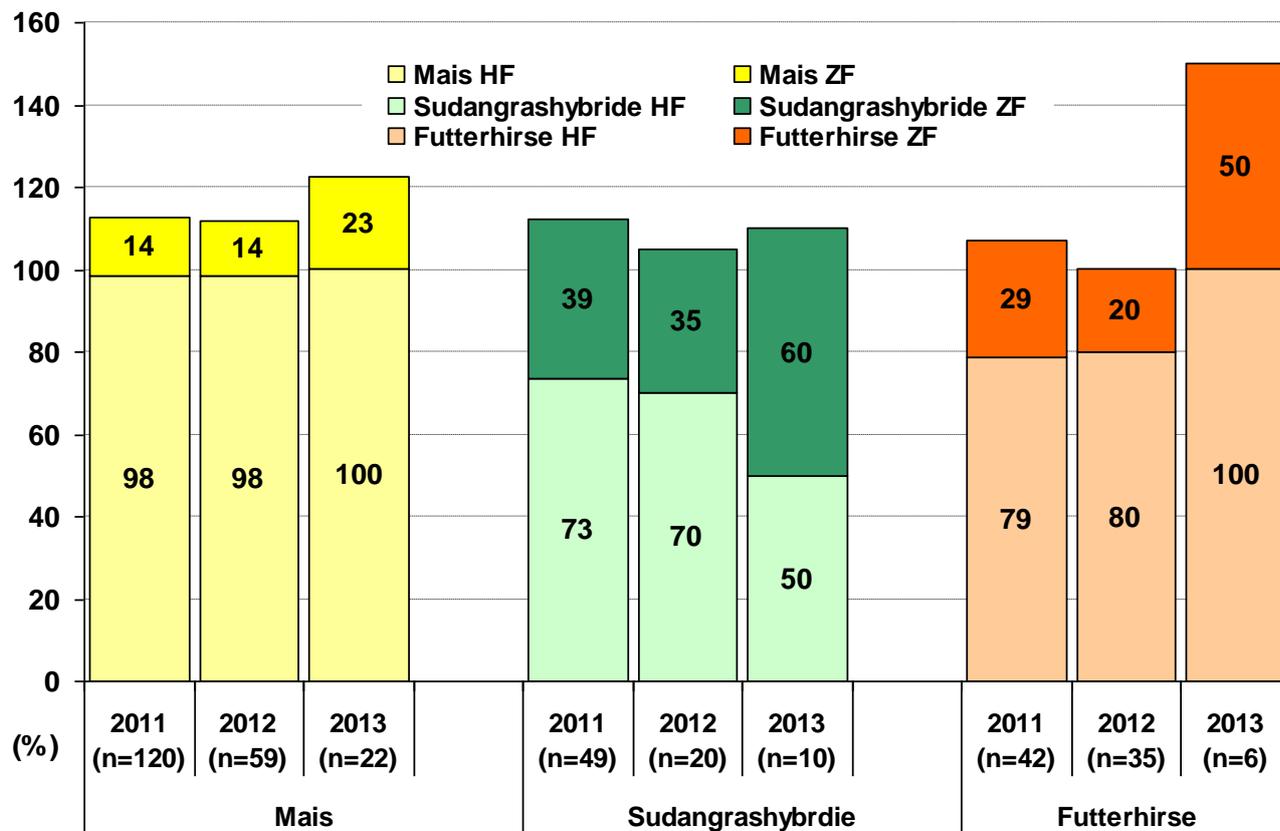


Abbildung 54: Fruchtfolgestellung von Mais und Sorghum in der Praxis (Mehrfachnennungen waren möglich)

Beurteilung produktionstechnischer Aspekte von Sorghum im Vergleich zu Mais durch die landwirtschaftlichen Betriebe

Die befragten Betriebe sollten Aspekte der Produktionstechnik zwischen Mais und Sorghum vergleichend bewerten, was zum Teil der subjektiven Einschätzung basierend auf Erfahrungswerten unterliegt. Die Reihenfolge der Beurteilungskriterien wurde in Abbildung 55 geordnet nach positiverer bzw. negativerer Bewertung von Sorghum im Vergleich zu Mais dargestellt.

Aufgrund der größeren Saatezeitspanne von Mitte Mai bis Anfang Juli wird die Saatezeitflexibilität von Sorghum mehrheitlich günstiger als bei Mais bewertet. Auch die Verfahrenskosten wurden für Sorghum 2011 noch als günstiger beurteilt, doch in den folgenden Befragungen wurden sie eher als gleichwertig zu Mais eingeschätzt. Ursachen könnten dabei in den sortenabhängigen Saatgutpreisen, aber auch in der Art des Anbauverfahrens liegen, welches ähnliche Aufwendungen wie der Mais bedingt. Auch in der Beeinflussung der Fruchtfolge wurden überwiegend keine Unterschiede zu Mais gesehen. Geteilt war die Meinung zur Bestandesführung von Sorghum im Vergleich zu Mais. Maßgeblichen Einfluss auf diese Beurteilung nehmen vor allem der Erfahrungsstand, das gewählte Anbauverfahren und der Anbauerfolg jedes Betriebes. Der Jahreseinfluss zeigt sich recht deutlich in der Beurteilung der Silierbarkeit und der Bestimmung des Erntetermins von Sorghum, wobei

auch hier ein hoher Anteil der Antworten Gleichwertigkeit mit Mais attestierte. Deutlich ungünstiger wurden der Ertrag und die Biogasausbeute von Sorghum im Vergleich zu Mais gesehen.

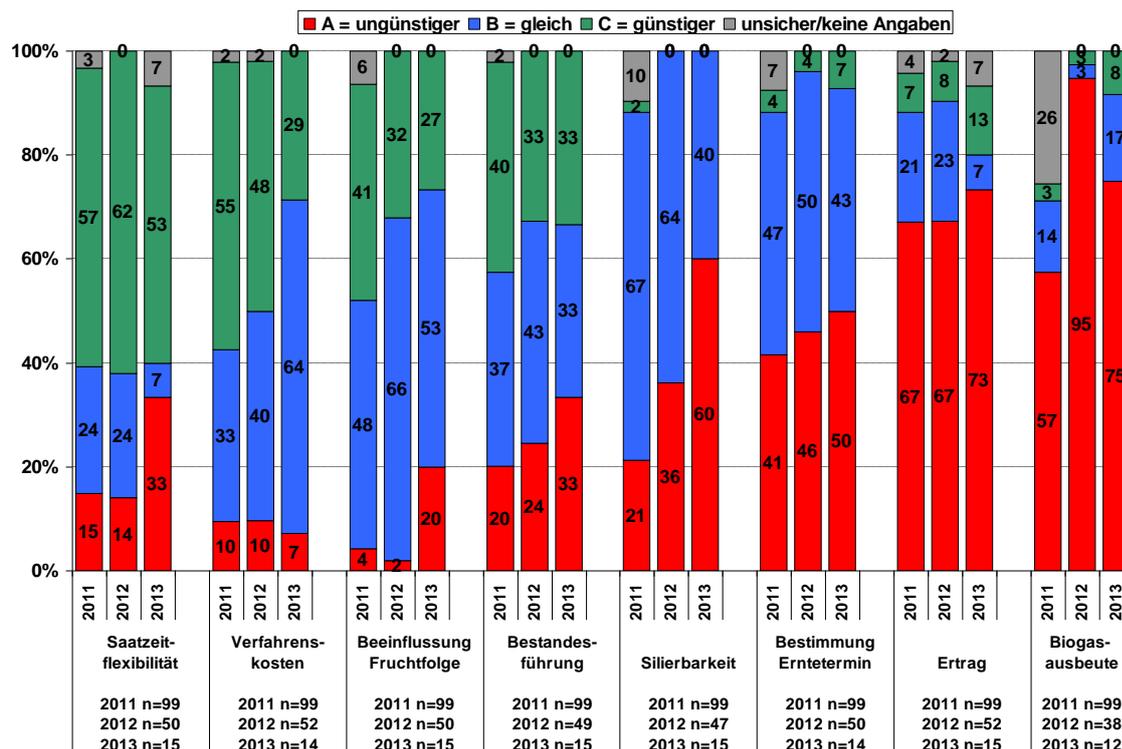


Abbildung 55: Beurteilung produktionstechnischer Aspekte von Sorghum im Vergleich zu Mais

Produktionsverfahren von Sorghum in der Praxis

In der Umfrage wurden wertvolle Angaben zum Anbauverfahren von Sorghum gewonnen (Abbildung 56 bis Abbildung 63). Die Angaben zu den verschiedenen Maßnahmen beruhen auf verschiedenen Gesamtnennungen, daher ist ein Vergleich nur mittelbar möglich.

Während die Bodenbearbeitung (Abbildung 56) zu fast gleichen Teilen in wendender und nicht wendender Weise erfolgte, waren die Vorfrüchte von Sorghum vielfältig. Sorghum wurde zum überwiegenden Teil als Hauptfrucht angebaut. Dies erfolgte zum größten Teil nach Wintergetreide. Dabei ist auffällig, dass Sorghum relativ häufig mit ca. 12 % nach Mais und mit ca. 9 % in Selbstfolge angebaut wurde, was auf ausgesprochene „Biogas-Fruchtfolgen“ hindeutet. Grünschnittroggen und Ganzpflanzengetreide sind Vorfrüchte im Zweitfruchtanbau (Abbildung 57).

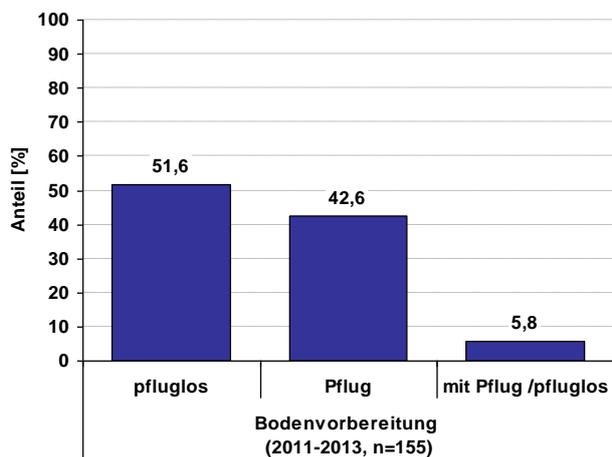


Abbildung 56: Bodenbearbeitung

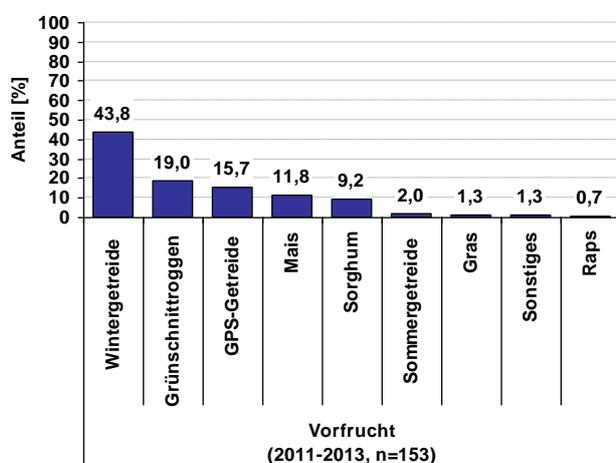


Abbildung 57: Vorfrüchte

Nur wenige der antwortenden Betriebe (9 %) begannen mit der Sorghumaussaat vor dem empfohlenen Termin zwischen Mitte Mai und Anfang Juni, der zu 78 % mehrheitlich gewählt wurde (Abbildung 58). Die Aussaat als Zweitfrucht war demgegenüber von untergeordneter Bedeutung. Wie in Abbildung 59 dargestellt, kam zu 78 % die Drillsaat und zu 13 % die Einzelkornsaat zur Anwendung. Alle weiteren Saatverfahren spielten eher eine untergeordnete Rolle.

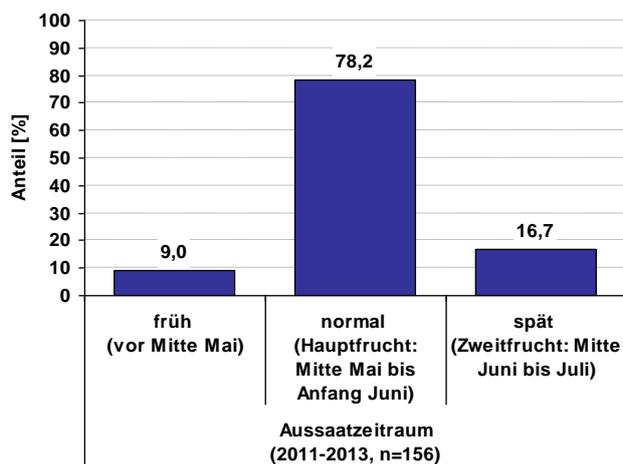


Abbildung 58: Aussaatzeitraum

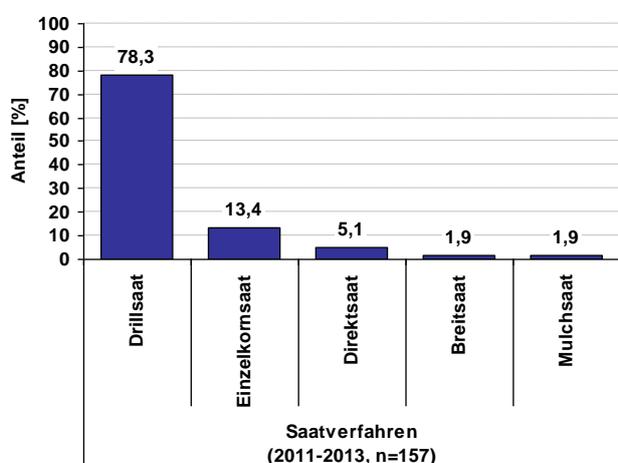


Abbildung 59: Saatverfahren

Mehr als die Hälfte der Betriebe (ca. 54 %) verwendeten für die Nährstoffversorgung der Sorghumbestände Wirtschaftsdünger inklusive Gärreste. Knapp ein Drittel (ca. 29 %) wählte eine organisch-mineralische Düngung. Nur ein geringer Anteil der Betriebe düngte ausschließlich mineralisch (Abbildung 60). Eine eindeutige Beziehung zwischen der Düngerart und dem Anteil von Betrieben mit eigener Biogasanlage bzw. Substratverkauf ließ sich aus den vorliegenden Daten nicht ableiten.

Aufgrund der langsamen Jugendentwicklung und schwachen Unkrautkonkurrenz bis zum Bestandesschluss ist für eine erfolgreiche Bestandesetablierung die Kontrolle der Unkräuter in Sorghum eine wichtige Maßnahme. Die Unkrautbekämpfung erfolgte mit rund 88 % im überwiegenden Teil der Betriebe mithilfe des Einsatzes von Herbiziden. Mechanische Verfahren oder die Kombination aus beiden fanden kaum Anwendung. Der Verzicht auf eine Unkrautbekämpfung bei rund 10 % der Betriebe repräsentiert Angaben aus dem Anbaujahr 2011. In beiden Folgejahren wurde in allen befragten Betrieben eine Unkrautbekämpfung durchgeführt (Abbildung 61).

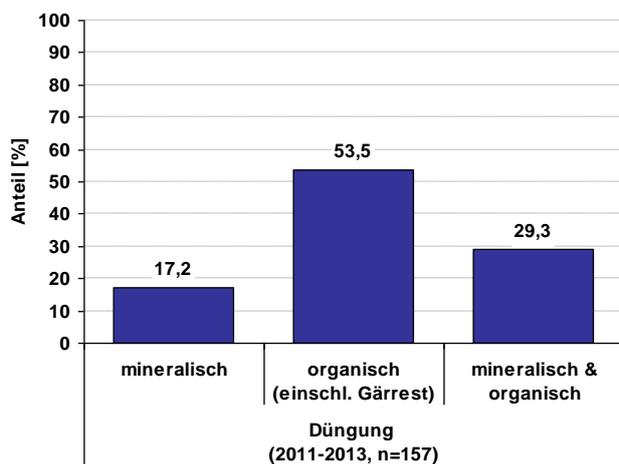


Abbildung 60: Düngung

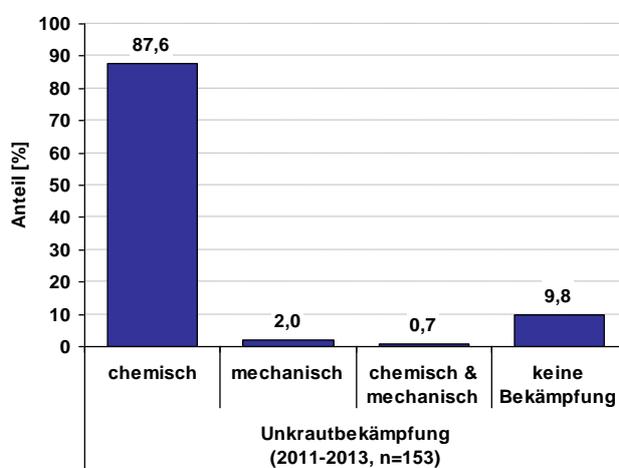


Abbildung 61: Unkrautbekämpfung

Der Erntezeitraum lag überwiegend in den Monaten September (rd. 32 %) und Oktober (rd. 65 %). Weil die Silierung hauptsächlich im Gemisch (rd. 61 %), vorrangig mit Mais erfolgte, ist anzunehmen, dass die Beerntung von Sorghum häufig zeitgleich mit Silomais vorgenommen wurde (Abbildung 62 und Abbildung 63).

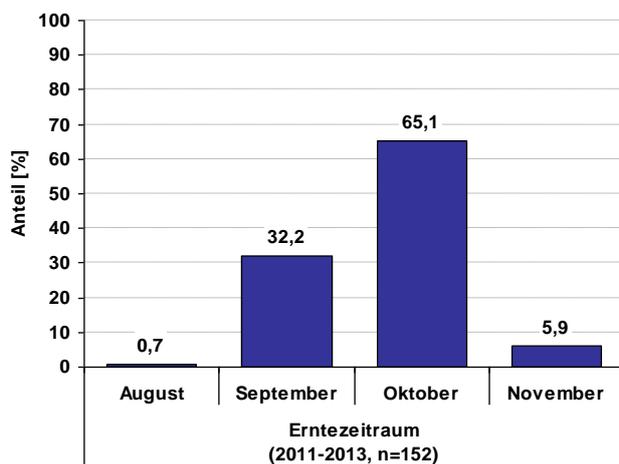


Abbildung 62: Erntezeitraum

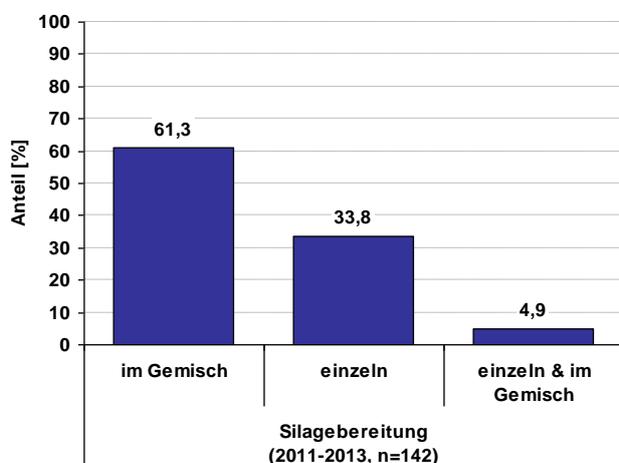


Abbildung 63: Silagebereitung

Akzeptanz des Sorghumanbaus in der Praxis

Grundsätzlich war aus den Antworten der Betriebe eine positive Einstellung gegenüber dem Sorghumanbau zu entnehmen. Der überwiegende Teil der antwortenden landwirtschaftlichen Betriebe (69–89 %) hatte bisher positive Erfahrungen mit dem Anbau gemacht. Die Mehrheit (73–89 %) der Betriebe plante, basierend auf den positiven Erfahrungen, einen erneuten Anbau im Folgejahr. Unter den Befragten befanden sich sowohl Erst-anbauer als auch Folgeanbauer, wobei die Erfahrungen im Folgeanbau deutlich überwogen. Die Verwertung von Sorghum als Biogassubstrat erfolgte zu größeren Anteilen sowohl in Eigennutzung als auch für den Verkauf (Abbildung 64).

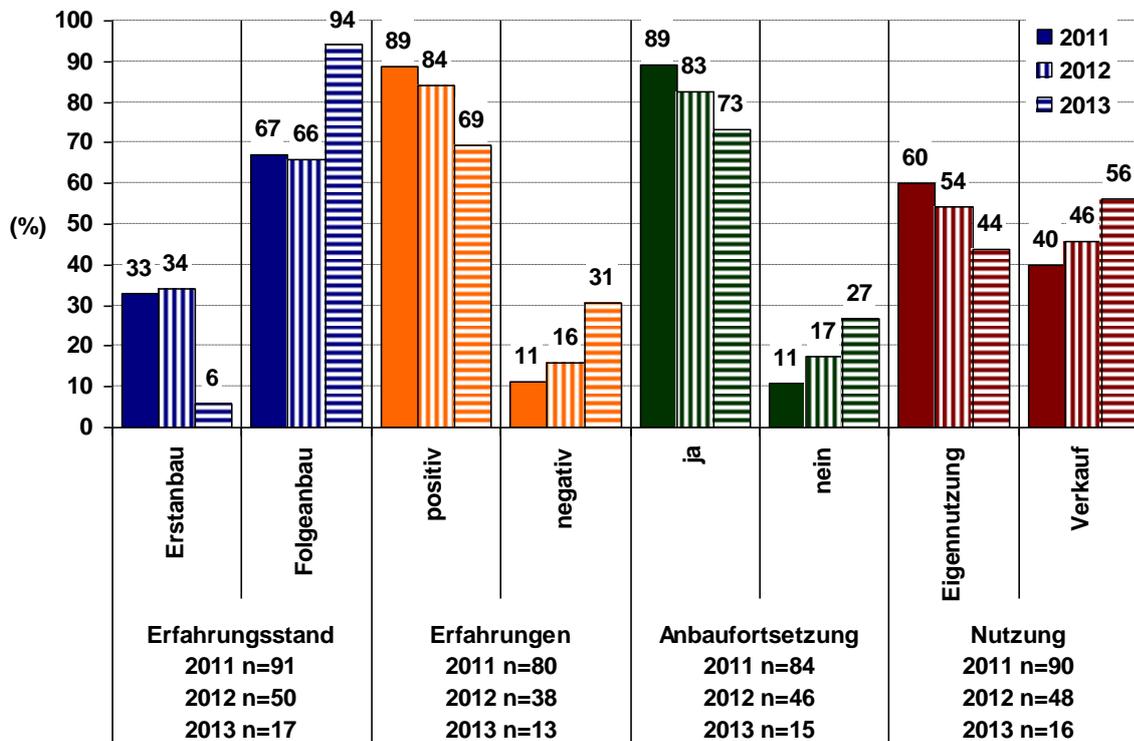


Abbildung 64: Anbauerfahrungen mit Sorghum und seine Nutzung

Gründe für den Anbau von Sorghum in der Praxis

Die antwortenden Betriebe gaben folgende Gründe für den Sorghumanbau an:

- Risikominimierung – relative Ertragssicherheit auf leichten, trockenen Böden
- Risikominimierung – kaum Wildschaden
- Standortnutzung – auf für Mais ungeeigneten Flächen, Alternative bei Begrenzung des Maiseinsatzes in Biogasanlagen und zur Flächenstilllegung
- Fruchtfolge – günstige zeitliche Arbeitsverteilung, flexible Saattermine, Anbau als Zweitfrucht möglich
- Verfahrenskosten – Saatgutkosten
- Nährstoffversorgung – Gülle- und Gärrestverwertung
- Landtechnik – vorhandene Technik nutzbar

4.4 Zusammenfassung

Hinsichtlich des Herbizideinsatzes, des Sorghumanbaus auf Rekultivierungsstandorten und der Praxiserhebung zum Sorghumanbau lassen sich aus den dreijährigen Ergebnissen folgende Ableitungen treffen.

Die Lückenindikation zur Verträglichkeit von Maisherbiziden mit graminizider Wirkung in Sorghum (Sudan-grashybriden/Futterhirse) und die Prüfung zum Einsatz von Gardo Gold zum frühen Nachauflauftermin in Varianten von mit und ohne Safener gebeiztem Saatgut führte zu dem Ergebnis, dass die beste Verträglichkeit mit Erträgen relativ > 100 zur unbehandelten Kontrolle nur die in Sorghum genehmigten Varianten Gardo Gold zum Einsatztermin ab BBCH 13 und die Kombination Gardo Gold mit B 235 (Certrol B) erzielten. Ebenfalls über der UK liegende Erträge bei allerdings erhöhter Phytotoxizität konnte mit den in Sorghum nicht genehmigten Anwendungen von Successor T sowie von Gardo Gold (Varianten mit und ohne Safener gebeiztem Saatgut) zum frühen Nachauflauf (BBCH 11) erreicht werden. Der Wirkungsgrad auf Unkräuter, insbesondere

Schadhirse, lag beim zeitigen Einsatztermin von Gardo Gold deutlich höher als zum Termin 3-Blatt-Stadium. Jedoch fiel der Ertrag niedriger aus, was auf die erhöhte phytotoxische Reaktion zurückzuführen ist. Ein Unterschied zwischen den beiden Beizvarianten konnte dabei nicht festgestellt werden. Aufgrund der Ähnlichkeit zu Gardo Gold hinsichtlich Wirkstoffgruppe, Wirkstoffgehalt und Aufwandmenge erwies sich Successor T als verträglichstes Präparat unter den ausgewählten Maisherbiziden. Im Vergleich zu Gardo Gold führte es jedoch zu einem geringeren Wirkungsgrad gegenüber Schadhirsens und zu erhöhter Phytotoxizität bei geringeren Erträgen. Eine starke Kulturunverträglichkeit mit unterschiedlich starken Ausdünnungseffekten verursachten trotz Aufwandmengenreduzierung die zunächst erfolversprechenden Präparate (Calaris, Callisto, Clio Super, Clio Top-BMX Pack, Zintan Platin-Pack, Milagro forte + Peak + Gardo Gold). In Abhängigkeit von Standort und Witterung zum Applikationstermin wurden sowohl unter der UK (rel. 50-100) als auch etwas darüber liegende Erträge erzielt. Aufgrund dieser standortbedingt variierenden Reaktionen ist das Ertragsrisiko durch Einsatz dieser Präparate zu hoch. Die weiteren in Sorghum geprüften Präparate Adengo, Task, MaisTer flüssig, Laudis und Accent-S-Pack, insbesondere die sulfonylharnstoffhaltigen Mittel, wirkten mit sehr starker Ausdünnung bis hin zum vollständigen Absterben von Sorghum besonders aggressiv.

Während der dreijährigen Standort- und Sortenprüfung führten die klimatischen Bedingungen auf den Diluvial- und Rekultivierungsstandorten bei Mais und Sorghum zu unterschiedlichem Entwicklungsverlauf und Ertragsverhalten. Die Anbauwürdigkeit von Sorghum war auf allen vier Standorten gegeben. Überwiegend zeigte Mais gegenüber den Sorghumsorten Ertragsüberlegenheit. Unter für Sorghum günstigen klimatischen Bedingungen und auf dem ertragsschwachen Standort Welzow zeigt Sorghum eine günstigere relative Vorzüglichkeit. Im orthogonalen Mittel des Trockenmasseertrages an den vier Standorten und der Jahre 2011–2012 lagen die bewerteten Futterhirsen (3 Sorten) mit rel. 103 knapp über dem Maisertrag, während die Sudangrashybriden (2 Sorten) 4–12 % unter dem Maisertragsniveau blieben. Die Fruchtarten erreichten auf Diluvialstandorten höhere Erträge als auf Rekultivierungsstandorten. Jedoch verhielten sich die Ertragsrelationen von Sorghum zu Mais im umgekehrten Verhältnis, sodass auf Rekultivierungsstandorten im Vergleich zum Maisertrag mit Sorghum höhere Erträge erzielt wurden (Tabelle 34). Im Gegensatz zu den Sudangrashybriden waren die massebetonten Futterhirsen ertragsstärker. In Einzelfällen (Standort, Jahr) erreichten leistungsstarke Futterhirsensorten das Maisertragsniveau oder übertrafen es. Insbesondere im Jahr 2011 war das für Sorghum unter günstigen klimatischen Bedingungen überwiegend der Fall.

Die gezielte züchterische Bearbeitung von Sorghum zeigte im Vergleich zum vergangenen Vorhaben (MÄRTIN & BARTHELMES 2011) deutliche Verbesserungen hinsichtlich Ertrag und Abreife bei einigen der geprüften Sorten. Aufgrund des unterschiedlichen Abreifeverhaltens bzw. Trockensubstanzentwicklung ist der Soghumanbau als Haupt- oder Zweitfrucht sortenabhängig möglich. Aus wirtschaftlichen Gründen und als Voraussetzung guter Silierbarkeit sollten die Trockensubstanzgehalte im Bereich von 28–35 % liegen, mindestens aber 26 % aufweisen. Trotz einer Vegetationszeit von rund 130–150 Tagen war bei den geprüften, spät reifenden Futterhirsen das Erreichen des Mindest-TS-Gehaltes nicht immer sicher gestellt. Spät reifende Sorten sollten als Hauptfrucht mit Saatterminen in der zweiten Maihälfte angebaut werden. Nur wenige der Futterhirsensorten wie Amiggo, KWS Tarzan, KWS Merlin (KSH0704) und KWS Zerberus erreichten mehrjährig einen akzeptablen TS-Gehalt von > 26 % bei gutem Ertragsniveau. Für den Anbau der Folgefrucht sollte bedacht werden, dass sich unter Umständen die Ernte bis Mitte Oktober bzw. bis zum ersten Frost hinauszögern kann. Die in der Prüfung früh abreifenden Sorten der Sudangrashybriden (Lussi, KWS Freya, KWS Sole) erzielten in einer vergleichsweise kürzeren Vegetationszeit von 110–130 Tagen den optimalen TS-Gehaltsbereich. Aufgrund der zügigen Abreife eignen sich diese Sorten sowohl für den Hauptfruchtanbau bei zeitiger Ernte als auch für den Zweitfruchtanbau nach Grünschnittroggen oder Ganzpflanzengetreide mit Aussaat bis Mitte/Ende Juni. Allerdings birgt ein Zweitfruchtanbau bei Trockenheit und geringem Bodenwasservorrat Risiken, die zu schlecht etablierten Beständen und damit zu Ertragseinbußen führen können.

Tabelle 34: Ertragsvergleich (dt TM/ha) im orthogonalen Kern über 4 Standorte und 2 Jahre (2011/12)

	Diluvialstandorte	Kippenstandorte	Standorte gesamt
Mais	181,6	146,0	163,8
Sudangrashybride	160,3 (rel. 88)	140,4 (rel. 96)	150,4 (rel. 92)
Futterhirse	182,6 (rel. 101)	150,6 (rel. 103)	166,6 (rel. 102)

Mais (*Atletico*, LG 32.16); Sudangrashybriden (*Lussi*, KWS Freya); Futterhirsen (*Amiggo*, KWS Zerberus, *Hercules*)

Im Mittel der mehrjährigen und mehrortigen Prüfungen (2011–2013) ergibt sich in Übereinstimmung mit BARTHELMES & MÄRTIN (2014) folgende Anbauempfehlung für den Haupt- und Zweitfruchtanbau auf Diluvial- und Rekultivierungsstandorten:

Tabelle 35: Sortenempfehlung aus Prüfsortiment 2011–2013 für Haupt- und Zweitfruchtanbau

Sorte	Art	Ertrag zu Mais (relativ)	TS-Gehalt (%)	Prüfjahre
Hauptfruchtanbau:				
Amiggo	S.b.	99 (81...134)	28,8	3
KWS Tarzan	S.b.	95 (81...117)	27,3	2
KWS Zerberus	S.b.	93 (75...125)	27,2	3
Zweitfruchtanbau:				
KWS Freya	S.b. x S.s.	91 (70...115)	28,6	3
Lussi	S.b. x S.s.	86 (67...106)	31,3	3
KWS Sole	S.b. x S.s.	83 (73...99)	29,9	2

Die Auswertung der Praxiserhebung zum Anbau von Sorghum für die Verwendung in Biogasanlagen ergab, dass in den 231 antwortenden Betrieben Sorghum mit 69 % nach Mais (93 %) die am zweithäufigsten angebaute Kultur war. Das Interesse am Sorghumanbau ist damit weiterhin sehr groß, weil Sorghum vor allem bei maisanbauenden Betrieben als Ergänzung des Energiepflanzenpektrums erweitert. Allerdings beschränkte sich der Anbau von Sorghum im Vergleich zu Mais auf überwiegend kleinere Anbauflächen von 1–50 ha. Geschuldet ist das dem nach wie vor häufig praktizierten Probeanbau oder dem in den Betrieben vorhandenen Flächenanteil mit geringerer Bodenqualität. Die Umfrageergebnisse zeigten auch, dass den pflanzenbaulichen Maßnahmen im Sorghumanbau infolge zunehmender Anbauerfahrung mehr Aufmerksamkeit gewidmet wird (Intensität Herbizideinsatz und Düngung), worauf die Erfahrungen im Anbau als überwiegend positiv eingestuft wurden. Dies hatte in der Regel einen wiederholten Anbau zur Folge, welcher auch eine Flächenausdehnung bewirken kann. Der Entscheidung zum Anbau lagen diverse Gründe zugrunde. Dies betraf besonders eine relative Ertragssicherheit auf leichten, trockenen Böden, einen verringerten Wildschaden, die Möglichkeit des Anbaus auf für Mais ungeeigneten Flächen, die Begrenzung des Maiseinsatzes in Biogasanlagen, eine günstige Auswirkung auf die Fruchtfolge und die Nutzung vorhandener Technik. Es hat sich anhand der Angaben im Fragebogen gezeigt, dass der Kenntnisstand zum Sorghumanbau bei den Landwirten gewachsen ist, wobei weiterhin Informations- und Beratungsbedarf besteht.

5 TV 4: Substratqualität und Biogaspotenzial, Wirtschaftlichkeit des Sorghumanbaus

Markus Theiß, Dr. Kerstin Jäkel, Karen Pötzschke und Annette Schaerff; LfULG

5.1 Einleitung und Aufgabenstellung

In den beiden vorangegangenen Sorghum-Verbundvorhaben hat sich gezeigt, dass Sorghumhirsen vor allem auf den leichten und trockenen Diluvialstandorten in Mittel- und Ostdeutschland, aber auch besseren Lössböden (bei ausreichendem Wärmeangebot), in der Lage sind, mit Mais vergleichbare Trockenmasseerträge zu erbringen (ZANDER & RÖHRICHT 2008; ZANDER & JÄKEL 2012). Um Sorghum hinsichtlich der Effizienz der Flächennutzung, ausgedrückt im Methanertrag je Hektar, mit Mais und anderen Biogassubstraten vergleichen zu können, sind belastbare Angaben zum Methanbildungspotenzial der Kultur notwendig. Dieses wird – wie bei anderen Biogaskulturen auch – im Wesentlichen durch die inhaltstoffliche Zusammensetzung zum Zeitpunkt der Ernte beeinflusst, wobei insbesondere die Anteile an Lignin und Cellulose für die Höhe der Methanausbeute maßgebend sind (HERRMANN et al. 2012).

Zielstellung im Arbeitsschwerpunkt „Substratqualität und Biogaspotenzial“ war es, die in den Feldversuchen geprüften Sorghumarten und -sorten mithilfe umfangreicher Inhaltsstoff- und Batchanalysen hinsichtlich ihrer Qualitätseigenschaften zu bewerten und diesbezüglich mit Mais zu vergleichen. Zur Abschätzung des Nährstoffbedarfs von Sorghum bzw. der bei der Anbauplanung zu berücksichtigenden Nährstoffentzüge wurden weiterhin Ernteproben aus den Sortenversuchen hinsichtlich ihrer Makronährstoffgehalte untersucht.

Für die Biogaserzeugung kommen grundsätzlich viele unterschiedliche Kulturen in Frage. Der Energiepflanzenanbau bietet daher die große Möglichkeit, mehr Biodiversität in die bestehenden Anbausysteme zu bringen. Die in Ergänzung zum Mais angebaute Biogassubstrate müssen jedoch wirtschaftlich tragfähig und leicht in die bestehenden Produktionssysteme einzuordnen sein. Andernfalls ist nicht mit einem nachhaltigen Anbau in den Betrieben zu rechnen. Um die Wirtschaftlichkeit von Sorghum standortbezogen im Vergleich zu Mais einschätzen zu können, wurden die in länderübergreifenden Sorghumsortenversuchen erzielten Ergebnisse betriebswirtschaftlich bewertet. Die Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem EVA-Teilprojekt „Ökonomische Begleitforschung“ (ebenfalls gefördert durch das BMELV über die FNR), welches u. a. für die betriebswirtschaftliche Auswertung der bundesweit geprüften Energiepflanzenfruchtfolgen zuständig ist.

Die auf Basis von Feldversuchsdaten ermittelten ökonomischen Zahlen sind nicht ohne weiteres in die landwirtschaftliche Praxis übertragbar. In den kleinräumigen Versuchspartellen finden die Pflanzen häufig deutlich günstigere Wachstumsbedingungen vor, weshalb bei allen Fruchtarten eine natürliche Diskrepanz zwischen Versuchs- und Praxiserträgen besteht (15–20 %). Hinzu kommt, dass die Anbautechnik bei Sorghum in den Betrieben, im Gegensatz zu anderen Biogaskulturen wie bspw. Mais oder Ganzpflanzengetreide, noch nicht in diesem Maße etabliert ist, sodass vermutlich mit vergleichsweise stärkeren Abweichungen zwischen Versuchs- und Praxisniveau zu rechnen ist. Um Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von Sorghum unter Praxisbedingungen treffen zu können, wurden mithilfe von Fragebögen Anbau- und Ertragsdaten aus Betrieben der im Verbundvorhaben beteiligten Bundesländer gesammelt und betriebswirtschaftlich ausgewertet.

5.2 Material und Methoden

Im folgenden Kapitel soll das methodische Vorgehen bei der Untersuchung der im Verbundvorhaben gewonnenen Pflanzenproben hinsichtlich Inhaltsstoffzusammensetzung und Biogasbildungspotenzial sowie bei der betriebswirtschaftlichen Auswertung der bundesweiten Sortenversuche und Praxisbetriebe vorgestellt werden.

5.2.1 Pflanzeninhaltsstoffuntersuchungen

Die im Arbeitsschwerpunkt VI hinsichtlich Substratqualität zu bewertenden Pflanzenproben stammen aus den Sorten- und Aussaatzeitenversuchen im Verbundvorhaben. Eine Kurzbeschreibung der Versuchsstandorte einschließlich der Witterungsverläufe in den jeweiligen Versuchsjahren ist den Kapiteln 1.1 und 1.2 zu entnehmen. Das Prüfsortiment in den Sortenversuchen setzte sich in allen Versuchsjahren aus 2 Mais- und 13 Sorghumsorten, aufgeteilt auf die Arten *S. bicolor* x *S. sudanense* (nachfolgend als Sudangrashybride bezeichnet) und *S. bicolor* (nachfolgend als Futterhirse bezeichnet), zusammen. Ab 2012 wurde zudem eine Körnerhirse in das Sortenspektrum aufgenommen. Um eine reifegerechte Ernte der einzelnen Sorghumsorten zu ermöglichen, wurden diese in eine frühe und eine späte Reifegruppe unterteilt. Nähere Informationen zum geprüften Sortiment sind der Methodenbeschreibung des Teilvorhabens 1 zu entnehmen (Kapitel 2.2). In den Saatzeiten- und Düngungsversuchen wurde durchgängig auf ein ausgewähltes Sortiment bereits am Markt etablierter Sorghumsorten zurückgegriffen.

Pflanzenprobenahme und -aufbereitung

Die Entnahme der Häckselgutproben zur Ernte einschließlich der weiteren Probenaufbereitung (60 °C Vortrocknung, Vermahlung) erfolgten durch die Projektpartner vor Ort. Die getrockneten und vermahlenden Pflanzenproben wurden zentral beim LfULG gesammelt.

Inhaltsstoffanalytik

Die Bestimmung der Makro- und Rohnährstoffe erfolgte ausschließlich am unsilierten Material. Zur Analyse kamen die in Tabelle 36 genannten Labormethoden zur Anwendung.

Tabelle 36: Methodik der in der BfUL untersuchten Parameter (*Dumas ausschließlich im N-Düngungsversuch, ** Stärkeanalyse bei Körnerhirse ausschließlich nasschemisch)

Parameter	Methode	Versuch		
		Sorte	Saat-termin	N-Düngung
Stickstoff	Berechnung nach MULDER (Rohprotein/Faktor 6,25)	X	X	X
Phosphor	Elementaranalyse (RFA) nach Firma Bruker	X		
Kalium	Elementaranalyse (RFA) nach Firma Bruker	X		
Magnesium	Elementaranalyse (RFA) nach Firma Bruker	X		
Schwefel	Elementaranalyse (RFA) nach Firma Bruker	X		
Calcium	Elementaranalyse (RFA) nach Firma Bruker	X		
Rohprotein	NIRS/ *DUMAS	X	X	X
Rohasche	NIRS	X	X	
Rohfett	NIRS	X	X	
Rohfaser	NIRS	X	X	
Gesamtzucker	NIRS	X	X	
Stärke	NIRS/ **nach VDLUFA, Methodenbuch III, Kapitel 7.2.1.	X	X	
Neutral-Detergenzien-Faser (a _{om} NDF)	NIRS	X	X	
Säure-Detergenzien-Faser(ADF _{om})	NIRS	X	X	
Rohlignin (ADL)	NIRS	X	X	
Enzymlösliche organische Substanz (ELOS)	NIRS	X	X	

Die Bestimmung der Rohnährstoffgehalte erfolgte mit Ausnahme der Rohproteingehalte in den N-Düngungsversuchen – diese wurden für die Berechnung der Stickstoffgehalte nasschemisch ermittelt – mit der Nahinfrarotreflektionsspektroskopie (NIRS). Voraussetzung für die NIRS-Methode ist, dass für das zu untersuchende Futtermittel eine Kalibrierung und eine Validierung (Eichung) für die unterschiedlichen Untersuchungsparameter vorliegen. Für die Analyse der Maisproben wurde auf die VDLUFA-Standardkalibration zurückgegriffen, welche auch für die Inhaltsstoffanalysen in den Landessortenversuchen Silomais verwendet wird. Für die Analyse der Sorghumproben musste zunächst eine Kalibration für die einzelnen Inhaltsstoffe auf Basis nasschemischer Analysen (erweiterte Weender-Analyse) erstellt werden. Die Grundlage hierfür bildete das Methodenhandbuch (Band III) des VDLUFA (Anhang 50). Die Kalibrations- und Kreuzvalidierungsstatistiken der jeweiligen Inhaltsstoffe bzw. Parameter in der Sorghum-Kalibration sind in Anhang 51 dargestellt.

Mit Ausnahme des Parameters Rohfett lag für alle Inhaltsstoffe eine gute NIRS-Kalibration (hohes Bestimmtheitsmaß bzw. geringer Standardfehler der Kreuzvalidierung) vor. Bei Rohfett wurde trotz der hohen Anzahl an nasschemisch analysierten Proben in der Kalibration nur ein mittleres Bestimmtheitsmaß erreicht, was durch die geringe Variabilität der Rohfettgehalte in den Sorghumproben erklärt werden kann. Für den Parameter Stärke konnte keine Kalibration erstellt werden, weil die Gehalte in den Proben größtenteils unter der Nachweisgrenze lagen. Die Bestimmung der Stärke bei Körnersorghum erfolgte daher nasschemisch.

5.2.2 Bestimmung des Biogaspotenzials

Das Gasbildungspotenzial der in den Anbauversuchen geprüften Sorten wurde einerseits flächendeckend anhand der in den Inhaltsstoffuntersuchungen ermittelten Rohnährstoffgehalte abgeschätzt, andererseits stichprobenartig im Batchversuch mit dem Hohenheimer Biogasertragstest direkt bestimmt.

Pflanzenprobenahme und -aufbereitung

Für die Biogasuntersuchungen wurden im Sortenversuch in den Anbaujahren 2011 und 2012 an allen Standorten von allen Sorten Silageproben hergestellt. Die Einsilierung des Ernteguts (überwiegend Schläuche, z. T. Silagegläser) erfolgte unmittelbar nach der Ernte durch die Projektpartner vor Ort. Die einsilierten Pflanzenproben wurden zentral beim LfULG gesammelt. Nach einer Silierdauer von mindestens 90 Tagen wurden die Silagen geöffnet, sensorisch bewertet und im Anschluss bei 60 °C getrocknet und fein vermahlen.

Abschätzung des Biogasbildungspotenzials nach WEIßBACH (2008)

Gärversuche im Labor sind mit einem hohen Zeit-, Kosten- und Arbeitsaufwand verbunden. Die Ermittlung der Gasausbeute nach WEIßBACH (2008) stellt hierzu eine schnelle und kostengünstige Alternative dar, welche zudem gut reproduzierbare Ergebnisse liefert. Weißbach führte einen neuen Parameter für die Bewertung des Gasbildungspotenzials pflanzlicher Substrate ein, die so genannte „fermentierbare organische Trockensubstanz“ (FoTS). Diese umfasst den Anteil der oTS, welcher unter anaeroben Bedingungen biologisch abgebaut und somit in der Biogasanlage potenziell genutzt werden kann. Der Gehalt an FoTS ist mithilfe relativ einfacher Laboranalysen schätzbar und lässt sich im Vergleich zum biologischen Gesamtprozess viel genauer ermitteln. Bei Halm- und Körnerfrüchten kann generell mit einem Gasbildungspotenzial von 420 l Methan bzw. 800 l Biogas je kg FoTS gerechnet werden (WEIßBACH 2009).

Zur Berechnung der FoTS für die verschiedenen potenziell nutzbaren Biogassubstrate stellte WEIßBACH (2008) Schätzgleichungen auf. Für Sorghum liegt aufgrund der fehlenden Datengrundlage derzeit keine Schätzgleichung vor, weshalb der Autor die Verwendung der Formel für Mais vorschlägt. In die FoTS-Berechnung geht neben dem Rohaschegehalt (RA) der Anteil an Rohfaser (RF) ein:

$$\text{FoTS} = 984 - (\text{RA}) - 0,47 (\text{RF}) - 0,00104 (\text{RF})^2 \quad [\text{g je kg TS}]$$

Die Weißbach-Gleichungen gelten sowohl für frisches Erntegut als auch für Silagen oder schonend getrocknetes Material. Für die Anwendung der Gleichung auf Silagen ist deren Gehalt an flüchtigen Bestandteilen zu untersuchen und ihr TS-Gehalt entsprechend zu korrigieren.

Bestimmung des Biogasbildungspotenzials mithilfe des Hohenheimer Biogasertragstests (Batch)

Das Gasbildungspotenzial von Biogassubstraten kann im Rahmen von Gärversuchen unter standardisierten Bedingungen im Labor bestimmt werden. Der Hohenheimer Biogasertragstest stellt einen Fortschritt im Bereich der Batch-Gärversuche dar, weil er auf Standardverfahren aufbauend die bisherigen Versuchsaufbauten vereinfacht. Die Durchführung der Gärtests mit dem Hohenheimer Biogasertragstest erfolgte nach den Vorgaben der VDI Richtlinie 4630 (2006) und der vertiefenden Anleitung von HELFFRICH & OECHSNER (2003). Nachfolgend sollen wesentliche Eckpunkte der Messmethodik vorgestellt werden.

Als eigentliche Fermenter dienen beim HBT Glasspritzen (Kolbenprober) mit einem Volumen von 100 ml, einer 1/1-Graduierung und einem Kapillaransatz (Abbildung 65).

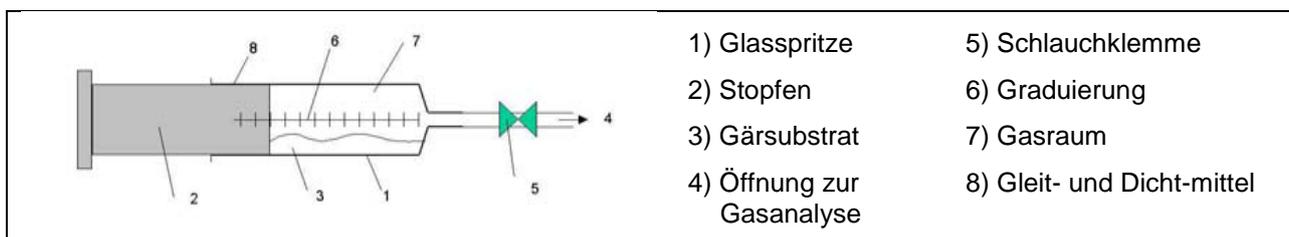


Abbildung 65: Aufbau Kolbenprober (Quelle: HELFFRICH & OECHSNER 2003)

Auf den Kapillaransatz wird ein gasdichtes Schlauchstück aufgesetzt, das mit einer Schlauchklemme verschlossen werden kann. Um den Spalt zwischen Stopfen und Glaskolben abzudichten, wird ein gegenüber dem anaeroben Abbau inertes Gleitfett verwendet. Die Kolbenprober stecken in einem Rotor, durch dessen Bewegung eine kontinuierliche Durchmischung des Fermenterinhalt gewährleistet wird. Der Rotoraufbau ist in einem Brut- bzw. Trockenschrank befestigt, sodass eine Lagerung der Proben bei gleichbleibender Temperatur (bei ca. 37 °C) gewährleistet ist.

Die im HBT untersuchten Mais- und Sorghum-Silagen wurden verfahrensbedingt vor der Vergärung bei 60 °C getrocknet und anschließend vermahlen. Bei der Trocknung von Silagen gehen unter anderem flüchtige Fettsäuren und Alkohole weitgehend verloren, sodass sich der ermittelte Gasertrag nur noch auf das von flüchtigen Substanzen befreite Substrat bezieht. Die spezifische Methanausbeute wird angegeben in Normliter Methan je Kilogramm organische Trockenmasse. Bei der Bestimmung des oTM-Anteils von Silage sind die Verluste an flüchtigen Bestandteilen bei der Trocknung ebenfalls zu berücksichtigen. Untersuchungen von MUKENGELE & OECHSNER (2007) haben gezeigt, dass der spezifische Methanertrag bei der Vergärung von Maissilage (ungetrocknet), ohne Korrektur der oTM um die Verluste an Gärssäuren, beachtlich überschätzt wird. Bei der Vergärung getrockneter Silageproben hatte die oTM-Korrektur (nach WEIßBACH & KUHLA 1995) hingegen kaum noch Auswirkungen auf die Methanausbeute. Weil in den Batchtests ausschließlich getrocknete Silageproben Verwendung fanden, wurde auf eine oTM-Korrektur der Silagen verzichtet.

Jede Substratvariante wurde in dreifacher Wiederholung geprüft. Neben den zu untersuchenden Proben wurden zusätzlich 2 Referenzsubstrate (Heu-, Kraftfutterstandard) mitgeführt. Außerdem wurde auch das reine Inokulum in dreifacher Wiederholung untersucht (Nullprobe), um dessen Eigengasbildung berücksichtigen zu können. Das Inokulum und die Referenzsubstrate wurden durch Dr. Hans Oechsner von der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie Hohenheim bereitgestellt.

Zu Versuchsbeginn wurden die zu untersuchenden Substrate (ca. 400 mg Einwaage) zusammen mit der Impfgülle (ca. 30 g) in die Kolbenprober gefüllt und anschließend mit einem Stopfen luftdicht verschlossen. Nach Beendigung des Befüllprozesses aller Kolbenprober wurden der Wärmeschrank und der Motor eingeschaltet und die Uhrzeit als Versuchsbeginn notiert. Die Gasmessung erfolgte in Abhängigkeit von der Gasbildung in den Kolbenprobern. Sobald eine zur Methanmessung ausreichende Menge an Biogas in den Fermentern vorhanden war, wurde der Füllstand des Kolbens abgelesen und das Gas durch Einschieben des Stopfens der Analyse zugeführt. Neben der Methankonzentration wurden der Druck der Umgebungsluft und das jeweilige Datum, mit Uhrzeit sowie der neu eingestellte Füllstand (nach Ablassen des Gases) notiert. Letzterer bildete den Ausgangsfüllstand für die Erfassung des neu gebildeten Gases. Die Kolbenprober verblieben für insgesamt 35 Tage im Wärmeschrank.

5.2.3 Betriebswirtschaftliche Analysen

Im Folgenden sollen die im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Auswertung der Sortenversuche und Praxisbetriebe getroffenen ökonomischen Annahmen vorgestellt werden.

Sortenversuche

Als Kriterium für den wirtschaftlichen Vergleich der geprüften Sorghumarten- und -sorten mit Mais wurde der sogenannte „EVA-Deckungsbeitrag“ (Methode nach TOEWS & KUHLMANN, weiterentwickelt durch KORNATZ & AURBACHER) herangezogen. Nachfolgend sollen Kernpunkte der Auswertungsmethode einschließlich der darin getroffenen Annahmen besprochen werden. Diese sind der Methodenbeschreibung des EVA II-Abschlussberichtes des Teilvorhabens 3 „Ökonomische Begleitforschung“ (AURBACHER, KORNATZ & MÜLLER 2014) entnommen. Für Detailinformationen sei auf den genannten Bericht verwiesen.

Der EVA-Deckungsbeitrag (im Folgenden nur noch als Deckungsbeitrag bezeichnet) entspricht methodisch der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL). Er wird pro Flächeneinheit und Jahr berechnet. Die (optimale) Handlungsalternative mit dem höchsten Deckungsbeitrag ist stets auch die gewinnmaximale Handlungsalternative, weil die für die Ermittlung des Gewinns zusätzlich zu berücksichtigenden fixen Leistungen und Kosten definitionsgemäß für alle Handlungsalternativen dieselben Beträge aufweisen.

Die Produktionsleistung der Biogassubstrate (variable Leistung) wurde durch Multiplikation des erzielten Methanertrags je Hektar mit dem Veredlungswert für Methan von $0,33 \text{ €/m}^3$ (abgeleitet aus dem Differenzpreis für Weizen) berechnet. Der Methanertrag je Hektar ergibt sich aus dem Silage-TM-Ertrag (12 % Konservierungsverluste berücksichtigt) und der fruchtartspezifischen Methausbeute. Ausgehend von Batch-Ergebnissen vom ATB Potsdam-Bornim (HERMANN et al. 2012) wurde für Mais eine Methanausbeute von 331 NI/kg oTS und für alle Sorghumarten und -sorten eine Methanausbeute von 297 NI/kg oTS (über alle Versuchsstandorte einheitlich) unterstellt.

Die variablen Kosten umfassen die Direktkosten für Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmittel sowie die Arbeitserledigungskosten. Mit Ausnahme der Saatgutkosten (Züchterangaben) wurden diese mit den mittleren Preisen der letzten drei Jahre bewertet. Die Arbeitserledigungskosten erfassen sämtliche Maschinen- (Diesel, Reparaturen, Abschreibungen und Kapitalkosten) und Arbeitskosten (Lohn). Die Berechnung der Arbeitserledigungskosten erfolgte mit dem KTBL-Feldarbeitsrechner. Bei der Kalkulation der Arbeitserledigungskosten wurden auch die Abschreibung, die Zinsen (Kapitalkosten) und die Versicherung berücksichtigt, sodass es sich hierbei um die Vollkosten der Arbeitserledigung (inkl. Lohnkosten) handelt. Die Ernte- und Gärrestausrückführungskosten wurden mithilfe mengenabhängiger Funktionen beschrieben (Tabelle 37).

Tabelle 37: Annahmen bei der Berechnung des Deckungsbeitrages in den Sortenversuchen

Bezeichnung	Annahme	Einheit	Quelle
Arbeitsverledigungskosten			KTBL
Basismechanisierung	120	kW	
Schlaggröße	10	ha	
Hof-Feld-Entfernung	5	km	
Zinssatz	5	%	Festlegung EVA-Projekt
Dieselmkosten	1,33	€/l	Statistisches Bundesamt
Heizölpreis	0,53	€/l	Festlegung EVA-Projekt
Lohnkosten	15	€/h	Festlegung EVA-Projekt
Nährstoffpreise			Statistisches Bundesamt
N	1,25	€/kg	
P ₂ O ₅	1,35	€/kg	
K ₂ O	1,00	€/kg	
Ca	0,12	€/kg	
Saatgutkosten	Sortenpreis	€/Einheit	Züchterangaben
PSM-Kosten	PSM-Preis	€/ME	Raiffeisen Warenzentrale
Methanausbeute			
Mais	331	NI/kg oTS	Festlegung EVA (Basis Batchergebnisse vom ATB Potsdam-Bornim)
Sudangrashybride, Futterhirse	297	NI/kg oTS	

Der Auswertung lag die Annahme zu Grunde, dass das Erntegut unmittelbar nach der Ernte an die Biogasanlage verkauft wird. Folglich waren keine Lagerhaltungskosten für die Substrate zu berücksichtigen. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass die nach der Substratvergärung verbliebenen Gärreste wieder 1 : 1 auf die Flächen zurückgeführt werden.

Praxisbetriebe

Die betriebswirtschaftliche Auswertung der Praxisbetriebe erfolgte auf Basis der von den Betrieben in den Fragebögen gemachten Angaben zu Erträgen, Anbautechnik sowie Kosten für variable und fixe Produktionsfaktoren.

Zentrale Fragestellung aus Sicht des Betriebes ist, ob die vollen Kosten des Anbauverfahrens durch die erzielten Erlöse gedeckt werden können. Hierbei sind im Vergleich zur Deckungsbeitragsrechnung zusätzlich die Flächen- und Gemeinkosten sowie die Betriebsprämie (EU- Direktzahlung) zu berücksichtigen (Vollkostenkalkulation).

Bei den Praxisbetrieben wurde grundsätzlich unterstellt, dass die in den Betrieben erzeugte Silage in der eigenen Biogasanlage verwertet wird, weshalb auch die Lagerhaltungskosten in die Kalkulation einzubeziehen waren. Für Betriebe, die angaben, ihr Erntegut zu verkaufen, wurde bei konkreter Angabe des Verkaufspreises eine zusätzliche Auswertung durchgeführt.

Die Praxisbögen wurden teilweise in sehr unterschiedlicher Qualität ausgefüllt. Betriebe, die keine Angaben zu Erträgen oder anbautechnischen Maßnahmen machten, konnten nicht ausgewertet werden. Um möglichst viele Betriebe in die Auswertung einbeziehen zu können, musste bei fehlenden Angaben zu Betriebsmittel- oder Flächenkosten auf eigene Preisannahmen bzw. Literaturangaben zurückgegriffen werden (Tabelle 38). Die in den Praxisbögen angegebenen Arbeitsgänge wurden nach Maschinenringsätzen bzw. nach KTBL-Daten (in Anlehnung an den Deckungsbeitrag nach TOEWS & KUHLMANN) bewertet. Die Kalkulation der Ernte- und Transportkosten erfolgte mithilfe einer mengenabhängigen Funktion. Die Höhe der Lagerhaltungskosten wurde einheitlich nach einem pauschalen Ansatz (KTBL) bestimmt, weil diesbezüglich nahezu keine Angaben von den Betrieben gemacht wurden. Die betrieblichen Gemeinkosten wurden ebenfalls pauschal angesetzt. Die Düngung wurde nach tatsächlichem Nährstoffentzug in Abhängigkeit von der Erntemenge mit aktuellen Nährstoffpreisen berechnet. Für die Abschätzung der Phosphat- und Kaliumentzüge von Sorghum wurden die im Vorprojekt (ZANDER & JÄKEL 2012) ermittelten Nährstoffgehalte zugrunde gelegt (dreijähriges Mittel ver-

schiedener Sorten und Standorte). Bei Stickstoff richteten sich Düngemittelkosten nach der tatsächlich ausgebrachten Nährstoffmenge. Bei organischer Düngung wurde der im Anbaujahr pflanzenverfügbare N-Anteil in den Düngestoffen kostentechnisch bewertet. Auch die Nährstoffausbringungskosten wurden bei organischer Düngung auf den tatsächlich nutzbaren Anteil bezogen. Detailinformationen sind dem Anhang 53 bis Anhang 56 zu entnehmen.

Tabelle 38: Kosten- und leistungsseitige Annahmen bei der ökonomischen Auswertung der Praxisbetriebe bei fehlender Angabe im Praxisbogen (* pauschale Annahmen)

Bezeichnung	Annahme	Einheit	Quelle
Saatgutkosten	Sortenpreis	€/Einheit	Züchterangaben
PSM-Kosten	PSM-Preis	€/ME	Baywa-Liste 2011 – 10% Rabatt
Nährstoffpreise			
N	1,00	€/kg	
P ₂ O ₅	0,85	€/kg	
K ₂ O	0,65	€/kg	
Flächenkosten			
Pacht	Ø Bundesland	€/ha	KTBL, 2012/13
Grundsteuer	15	€/ha	KTBL, 2012/13
Berufsgenossenschaft	20	€/ha	KTBL, 2012/13
Kalkung*	30	€/ha	LfULG
Silokosten*	0,35	€/dt FM	KTBL Energiepflanzen
Gemeinkosten*	150	€/ha	LfULG, KTBL 2012/13
Betriebsprämie* nach Modulation (10 %)	Ø Bundesland		KTBL, 2012/13

Bei der Leistungsbewertung wurde analog zu den Berechnungen in den Sortenversuchen eine Methanausbeute für Sorghum von 300 NI/kg oTS und ein Methanpreis von 0,33 €/m³ unterstellt. In Ergänzung dazu wurde eine alternative Variante der Leistungsbewertung geprüft. Abgeleitet aus dem durchschnittlichen Marktpreis für Maissilage (3,50 €/dt bei 32 % TS) wurde ein Preis für Sorghumsilage, unter Berücksichtigung der im Vergleich zu Mais etwa 10 % geringeren Methanausbeute, von 3,15 €/dt bei gleichem TS-Gehalt festgelegt.

Bei den Praxisbetrieben wird zur besseren Einordnung der Ergebnisse neben dem wirtschaftlichen Ergebnis des gesamten Anbauverfahrens zusätzlich die direkt- und arbeiterledigungskostenfreie Leistung (DAL) ausgewiesen. Diese entspricht methodisch dem in den Sortenversuchen berechneten Deckungsbeitrag, wobei sich die Kostenansätze zum Teil unterscheiden. Bei den Praxisbetrieben wurden v. a. sichtbar niedrigere Nährstoffpreise angenommen. Beim Deckungsbeitrag wird zudem das gesamte Gärrestaufkommen, welches der angebauten Kultur zuzuordnen ist, berechnet und dessen Ausbringung kostentechnisch erfasst. In den Praxisbetrieben wurde hingegen nur die tatsächlich ausgebrachte Gärrestmenge berücksichtigt und mit einem einheitlichen Kostenansatz anteilig bewertet.

5.3 Ergebnisse und Diskussion

5.3.1 Substratqualität und Biogaspotenzial

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der im dreijährigen Projektzeitraum durchgeführten Pflanzeninhaltsstoff- (Makro- und Rohrnährstoffe) und Batchuntersuchungen (Methanausbeute) vorgestellt werden.

Makronährstoffe

Die in den Sortenversuchen durchgeführten Makronährstoffanalysen dienen der Abschätzung des Nährstoffbedarfs von Sorghum und der im Rahmen der Grunddüngung einzuplanenden Nährstoffentzüge. Die Ergebnisse sind in Abbildung 66 und Abbildung 67 zusammengetragen.

Innerhalb der Sorghumarten zeichnete sich die kurzstrohige Körnerhirse im Vergleich zu den Futtersorghumarten fast ausnahmslos durch höhere Makronährstoffgehalte aus. Unterschiede in der mineralischen Zusammensetzung zwischen Mais und Sorghum waren insbesondere bei den Nährstoffen Kalium und Calcium, aber auch bei Stickstoff zu verzeichnen. Sowohl die Futtersorghumarten als auch die Körnerhirse wiesen deutlich höhere Gehalte an Kalium (1,30–1,55 % i. d. TS) und Calcium (0,33–0,35 % i. d. TS) als der Mais (K: 1,05 % i. d. TS, Ca: 0,24 % i. d. TS) auf. Bei der Körnerhirse, aber auch bei den frühreifen Sudangrashybriden wurden zudem vergleichsweise höhere Stickstoffgehalte (1,43 % bzw. 1,28 % i. d. TS) zur Ernte festgestellt. Bei Schwefel und Magnesium waren keine nennenswerten Gehaltsunterschiede zwischen Mais und Sorghum festzustellen. Lediglich die Körnerhirse zeigte leicht erhöhte Werte. Die Phosphorgehalte bei den Futterhirsens und Sudangrashybriden waren im Vergleich zum Mais und zur Körnerhirse geringer.

Anhand der Nährstoffgehalte und der erzielten Erträge wurden die Nährstoffentzüge bei Mais und Sorghum berechnet. Diese sind in Abbildung 66 und Abbildung 67 in Abhängigkeit von der Anbauregion dargestellt. Die Nährstoffentzüge variierten bei allen Kulturen in Abhängigkeit von Anbauregion, Standort, Sorte und Jahr beträchtlich. Mais und Futtersorghum wiesen auf allen Standorten, insbesondere auf den fruchtbaren Lössböden, enorme Nährstoffentzüge auf. Beachtenswert waren die sehr hohen Entzüge an Kalium bei den Futterhirsens. Diese lagen mit 188 kg/ha auf den Kippen-Standorten und über 260 kg/ha auf den D-Nord- und Lössstandorten durchgängig über denen des Mais (149–220 kg/ha). Auch die weniger ertragreichen Sudangrashybriden entzogen standortabhängig (Anbauregion D-Süd und K) ähnliche bzw. sogar höhere Mengen an Kalium als der Mais. Aufgrund der deutlichen höheren Calciumgehalte waren bei den Futtersorghumarten (34 kg–68 kg/ha) zudem auf allen Standorten höhere Calciumentzüge als beim Mais (27 kg–60 kg/ha) zu verzeichnen. Die Stickstoffentzüge bei den Sudangrashybriden und Futterhirsens lagen auf vergleichbarem Niveau und variierten je nach Anbauregion zwischen 141 und 231 kg/ha. Der Mais entzog auf den Rekultivierungsstandorten und auf dem Löss ähnliche hohe Stickstoffmengen. Die Entzüge auf den D-Nord- und D-Süd-Standorten waren sichtbar höher als bei Futtersorghum. Die Phosphatentzüge bei Mais lagen auf allen Standorten über denen von Sorghum. Der Anbau der ertragsschwächeren Körnerhirse war standortübergreifend mit deutlich geringeren Nährstoffentzügen als bei Mais und Futtersorghum verbunden. Angesichts der hohen Nährstoffgehalte waren jedoch auch bei der Körnerhirse standortabhängig, vor allem auf den Lössstandorten, hohe Entzüge an Kali und Stickstoff von bis zu 167 kg/ha zu verzeichnen.

Die Ergebnisse der Mineralstoffanalysen decken sich mit den Erfahrungen aus dem Vorprojekt (ZANDER & JÄKEL 2012). Auch hier wurden bei Sorghum vergleichsweise hohe Kaliumgehalte festgestellt. Der hohe Kaliumentzug ist bei der Düngung zu Sorghum, aber auch bei der Nährstoffversorgung der Nachfrucht zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für leichte sorptionsschwache Böden, auf denen Sorghum vorrangig angebaut wird.

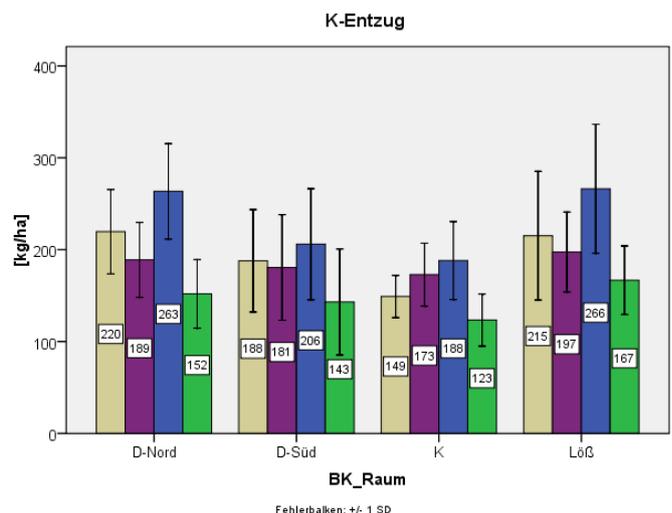
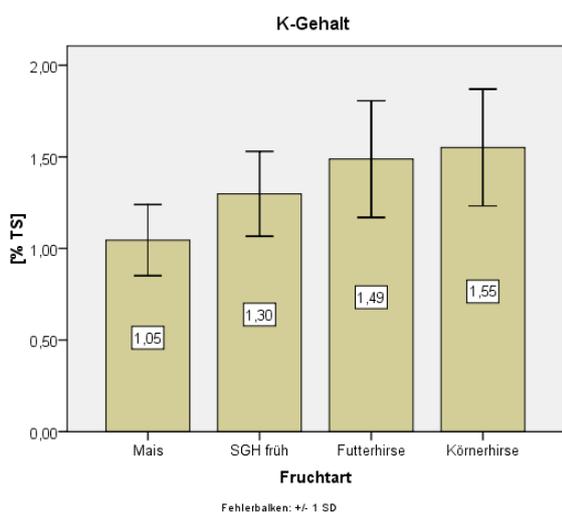
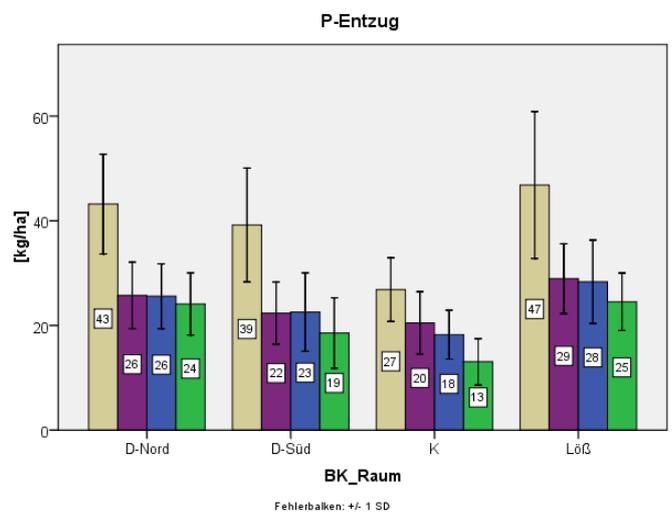
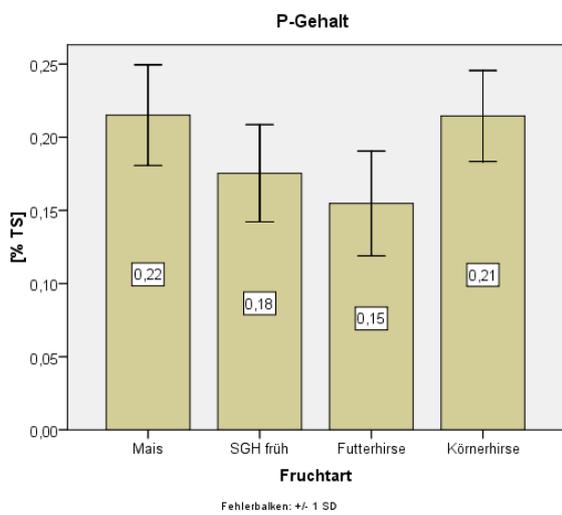
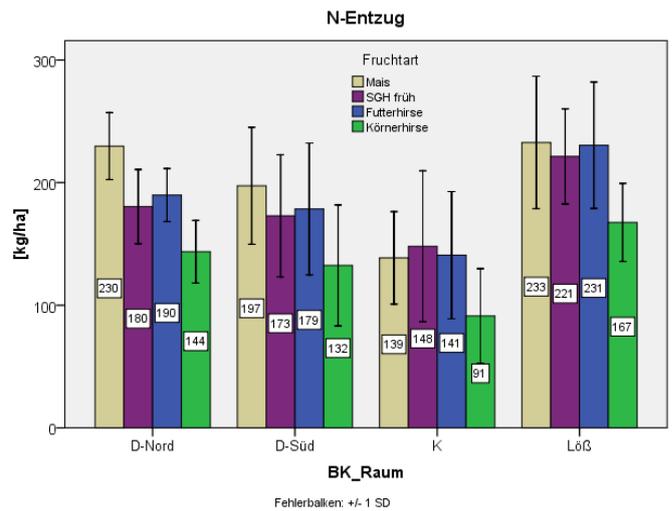
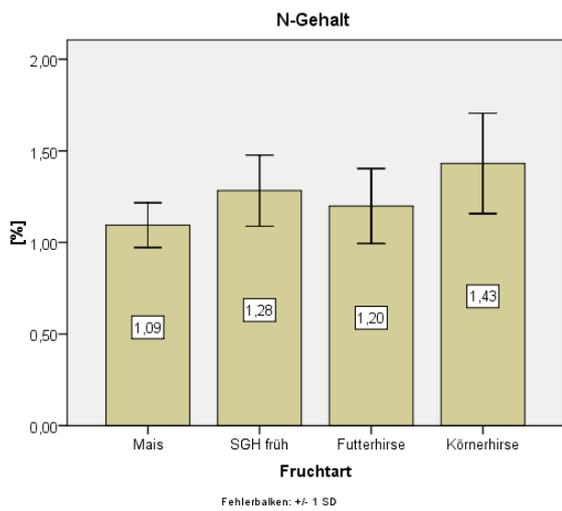


Abbildung 66: Gehalte und Entzüge an Stickstoff, Phosphor und Kali bei Mais und Sorghum, Sortenversuch 2011–2013 (Mittel der Sorten, Standorte und Jahre)

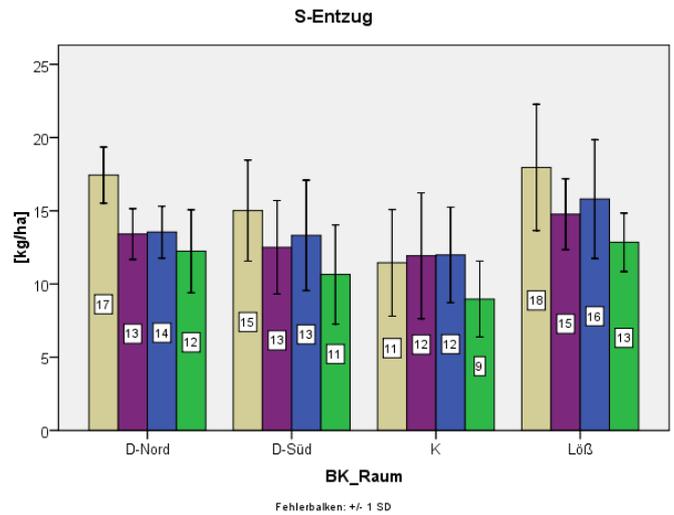
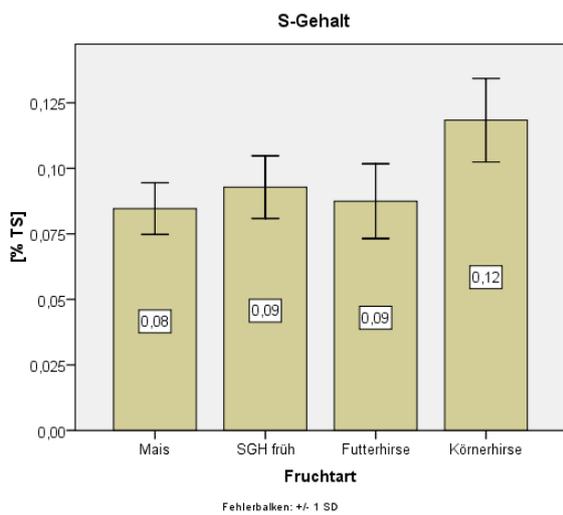
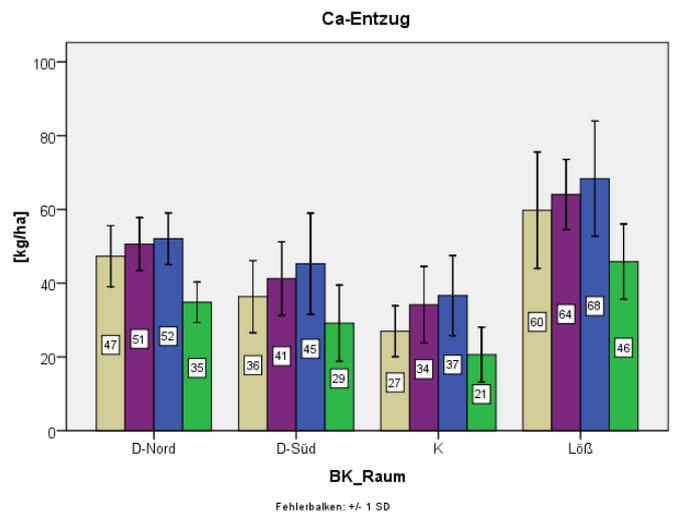
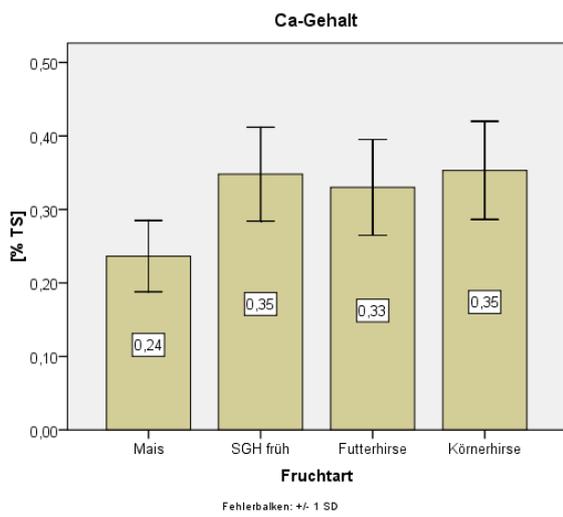
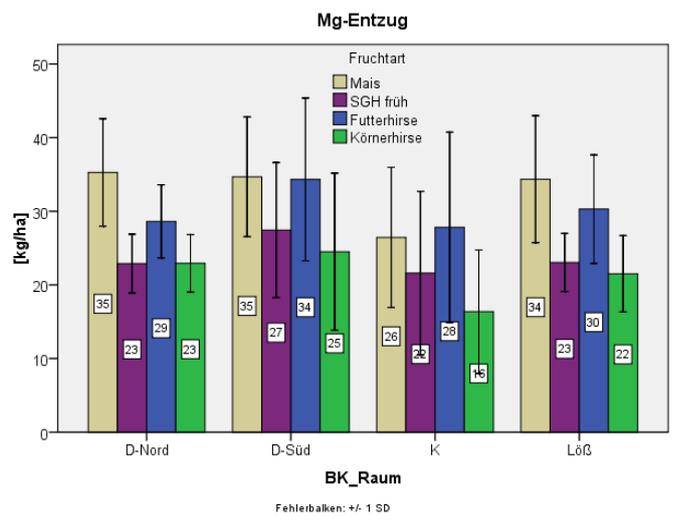
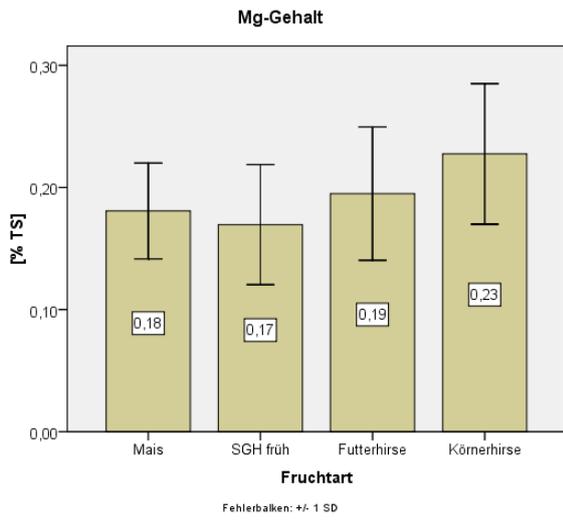


Abbildung 67: Gehalte und Entzüge an Magnesium, Calcium und Schwefel bei Mais und Sorghum, Sortenversuch 2011–2013 (Mittel der Sorten, Standorte und Jahre)

Rohnährstoffe

Sortenversuch

In Tabelle 39 ist die inhaltstoffliche Zusammensetzung und das daraus abgeschätzte Biogas-/Methanbildungspotenzial (nach WEIßBACH) der in den Sortenversuchen geprüften Sorghumarten im Vergleich zu Mais im Mittel der Sorten, Standorte und Versuchsjahre dargestellt. Die Sudangrashybriden wurden entsprechend ihres Abreifeverhaltens in früh- und spätreife Sorten eingeteilt. Letztgenannte wurden aufgrund ihrer geringen Anbaueignung für die Praxis nur einjährig geprüft und werden daher im Folgenden nicht besprochen. Im Jahr 2012 war neben den Futtersorghumarten erstmals eine Körnerhirse im Sortenversuch vertreten.

Der Mais zeichnete sich im dreijährigen Versuchszeitraum standort- und jahresabhängig durch mittlere bis hohe Stärkegehalte bei günstigen TS-Gehalten zur Ernte aus. Bei Futtersorghum konnten hingegen nur in Ausnahmefällen nennenswerte Stärkegehalte festgestellt werden. Der Ertrag dieser Genotypen setzt sich nahezu vollständig aus vegetativer Spross- und Blattmasse zusammen. Die Körner in der Rispe, insofern sie überhaupt ausgebildet werden, sind nicht ertragsrelevant und haben somit keinen nennenswerten Einfluss auf die inhaltstoffliche Zusammensetzung. In der kurzstrohigen und kornbetonten Sorghumhirse waren hingegen standortabhängig nennenswerte Stärkegehalte nachweisbar, insbesondere bei gutem Kornansatz und guter Kornausreife. Das Gasbildungspotenzial pflanzlicher Substrate wird nach WEIßBACH (2009) vorrangig durch die Anteile an schwer bzw. nicht abbaubaren Zellwandbestandteilen, welche für die Mikroorganismen im Fermenter nicht bzw. nur eingeschränkt nutzbar sind, bestimmt. Er schlägt daher vor, sich bei der Abschätzung der Biogasausbeute an der Rohfaser zu orientieren. Sowohl Futter- als auch Körnersorghum weisen sichtbar höhere Rohfasergehalte (27,0–34,9 % i. d. TS) als der Mais (20,3 % i. d. TS) auf und lassen somit deutliche Nachteile in der Methanausbeute erwarten. Die futterbetonten Sorghumarten sind sich in ihrer stofflichen Zusammensetzung sehr ähnlich, wobei die frühreiferen Sudangrashybriden, aufgrund der oftmals stärkeren Abreife zur Ernte (TS-Gehalt), offenbar verstärkt zur Lignineinlagerung neigen. Nach der Weißbach-Formel kann bei beiden Sorghumarten von einem vergleichbaren Methanbildungspotenzial ausgegangen werden, das etwa 20 % unter dem des Maises (352 NI kg oTS) liegen dürfte. Die kompakte Körnerhirse ordnete sich aufgrund der geringeren Rohfasergehalte bezüglich der Methanausbeute zwischen Futtersorghum und Mais ein (320 NI kg oTS). Die stoffliche Zusammensetzung und damit das Methanbildungspotenzial schwankten sowohl bei Mais als auch Sorghum standort- und jahresabhängig mitunter stark.

Tabelle 39: Gehalte an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen bei Mais und Sorghum – Sortenversuch 2011–2013 (Standort- und Sortenmittel; * keine Stärkeanalyse mit NIRS möglich) 1) berechnet nach WEIßBACH

Parameter	Einheit	Mais n = 84		SGH früh n = 112		Futterhirse n = 322		Körnerhirse n = 28		SGH spät n = 84	
		MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
TS	%	33,4	3,8	31,0	3,4	26,0	3,3	25,7	3,7	23,5	2,5
Rohprotein	% TS	6,8	0,8	8,0	1,2	7,5	1,3	8,9	1,7	8,7	1,5
Rohfett	% TS	2,3	0,5	1,3	0,2	1,1	0,3	1,7	0,3	1,3	0,3
Stärke	% TS	26,2	6,6	*		*		8,5	7,6	*	
Zucker	% TS	6,9	2,7	8,3	3,1	13,9	4,9	10,2	5,2	16,9	5,4
ELOS	% TS	64,9	3,8	43,0	4,1	46,7	4,6	53,1	4,0	52,1	4,4
Rohasche	% TS	4,4	0,7	4,8	1,1	5,4	1,1	7,0	1,5	6,6	1,3
Rohfaser	% TS	20,3	2,8	34,5	2,9	34,9	2,9	27,0	4,5	29,4	2,6
aNDFom	% TS	42,9	4,5	67,3	3,9	64,9	4,9	60,1	5,2	58,5	4,8
ADFom	% TS	25,1	3,0	36,8	4,0	35,7	4,4	31,9	3,9	33,3	2,6
ADL	% TS	2,2	0,4	6,6	1,4	5,6	1,6	6,2	1,8	5,3	1,4
foTS	g/kg TS	801	27	649	38	638	38	709	56	689	30
Biogas * ¹⁾	NI/kg oTS	670	21	545	29	539	31	610	42	590	24
Methan* ¹⁾	NI/kg oTS	352	11	286	15	283	16	320	22	310	12
<i>relativ</i>	<i>%</i>	<i>100</i>		<i>81</i>		<i>80</i>		<i>91</i>		<i>88</i>	

Um Zusammenhänge zwischen der Methanausbeute und einzelnen Inhaltsstoffen sowie dem Einfluss der Abreife der Pflanzen auf das Gasbildungspotenzial zu untersuchen, wurde anhand der Daten des Kernsortiments eine Korrelationsanalyse (nach PEARSON) durchgeführt (Tabelle 40).

Bei Futtersorghum konnte ein moderater Zusammenhang zwischen der Abreife der Pflanzen (TS-Gehalt) und den Gehalten an Cellulose und Lignin (ADF_{om}) bzw. Lignin (ADL) festgestellt werden ($r_p = 0,232$ bis $0,385$), d. h. mit zunehmenden TS-Gehalten zur Ernte ging eine moderate Zunahme der Gehalte an schwer abbaubaren Zellwandbestandteilen einher. Ein Zusammenhang zwischen Abreife und Rohfaser und damit einhergehend mit der Methanausbeute war hingegen nicht zu beobachten.

Bei der Körnerhirse, die standort- und jahresabhängig zum Teil sehr geringe TS-Gehalte zur Ernte aufwies, wirkte sich eine bessere Ausreife deutlich positiv auf den Stärkegehalt ($r_p = 0,680$) und die Verdaulichkeit ($r_p = 0,543$) aus und war mit einem Rückgang der Rohfaser ($r_p = -0,511$) und somit einem Anstieg der Methanausbeute ($r_p = 0,504$) verbunden. Bei den Futterhirschen und Körnerhirschen konnte zudem ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen Abreife und TM-Ertrag festgestellt werden. Vor allem bei den spätreifen Futterhirschen gehen Ertragsdepressionen, verursacht durch suboptimale Wachstumsbedingungen (Kühle, Trockenheit), mit einer verzögerten Ausreife einher. Der TS-Gehalt beim Mais hatte mit Ausnahme des Zuckergehaltes keinen Einfluss auf die stoffliche Zusammensetzung und die Methanausbeute.

Erwartungsgemäß stand die Methanausbeute bei Mais und Sorghum (sowohl Futter- als auch Körnersorghum) in deutlichem Zusammenhang mit den Gehalten an schwer abbaubaren Faserbestandteilen ADF_{om} ($r_p = -0,639$ bis $-0,953$) bzw. mit der Verdaulichkeit der organischen Substanz ELOS ($r_p = 0,604$ bis $0,915$), wobei die Zusammenhänge beim Mais deutlicher ausgeprägt waren als bei Sorghum. Die Korrelation zum Lignin lag bei allen Kulturen im mittleren Bereich. Weil die Methanausbeuten anhand der Rohfaser ermittelt wurden, liegen die Korrelationskoeffizienten bei allen Fruchtarten nahezu bei 1. Die Methanausbeute bei Mais und Körnersorghum stand zudem in deutlichem Zusammenhang mit dem Stärkegehalt, der erwartungsgemäß negativ mit der Rohfaser korrelierte ($r_p = -0,816$ bzw. $-0,643$). Bei geringem Kolbenansatz beim Mais bzw. schlechter Einkörnung und ungenügender Kornausreife bei der Körnerhirse verschiebt sich das Verhältnis von Korn zu Restpflanze und somit das Verhältnis von Nicht-Faser Kohlenhydraten zu Gunsten der Faserbestandteile, wodurch mit einem geringeren Gaspotenzial zu rechnen ist.

Tabelle 40: Korrelationsmatrix Inhaltsstoffe und Methanausbeute (r_p = Korrelationskoeffizient nach Pearson)

Fruchtart			TM-Ertrag	TS	Stärke	Zucker	ELOS	Rohfaser	ADF_{om}	ADL	Methan
Mais	TS	$r_p =$	,200	1	,283 [*]	-,405 ^{**}	-,049	-,002	,126	,026	-,008
	Stärke	$r_p =$	,166	,283 [*]	1	-,652 ^{**}	,723 ^{**}	-,816 ^{**}	-,694 ^{**}	-,440 ^{**}	,812 ^{**}
	Methan	$r_p =$	,144	-,008	,812 ^{**}	-,241 ^{**}	,915 ^{**}	-,998 ^{**}	-,953 ^{**}	-,593 ^{**}	1
Sudangrashybride	TS	$r_p =$	,036	1	. ^a	-,421 ^{**}	-,089	,071	,232 [*]	,375 ^{**}	-,069
	Methan	$r_p =$	,024	-,069	. ^a	,322 ^{**}	,741 ^{**}	-,994 ^{**}	-,705 ^{**}	-,524 ^{**}	1
Futterhirse	TS	$r_p =$	,475 ^{**}	1	. ^a	-,009	-,300 ^{**}	,049	,385 ^{**}	,337 ^{**}	-,027
	Methan	$r_p =$	-,173	-,027	. ^a	,640 ^{**}	,604 ^{**}	-,993 ^{**}	-,639 ^{**}	-,492 ^{**}	1
Körnerhirse	TS	$r_p =$	,423 [*]	1	,680 ^{**}	-,059	,543 ^{**}	-,504 ^{**}	-,259	,133	,511 ^{**}
	Stärke	$r_p =$	,626 ^{**}	,680 ^{**}	1	-,347	,383 [*]	-,643 ^{**}	-,254	,203	,627 ^{**}
	Methan	$r_p =$	,688 ^{**}	,511 ^{**}	,627 ^{**}	,231	,692 ^{**}	-,994 ^{**}	-,777 ^{**}	-,336	1

Standort- und Jahreseinfluss

In Abbildung 68 und Abbildung 69 sind die Methanausbeuten (kalkuliert nach WEIßBACH) von Mais und Sorghum in Abhängigkeit von Anbauregion und Erntejahr dargestellt. Gemäß der oben beschriebenen Zusammenhänge waren diese mitunter starken standort- und witterungsbedingten Schwankungen unterworfen. Weil bei Mais und Futtersorghum nur die dreijährig geprüften Sorten berücksichtigt werden und es sich bei der Körnerhirse (ab 2012) nur um eine einzelne Sorte handelt, sind Jahreseinflüsse direkt nachvollziehbar.

Bei Betrachtung der Methanausbeuten im dreijährigen Mittel sind die Relationen in der Methanausbeute zwischen Mais und Sorghum an allen Standorten nahezu identisch (Abbildung 68). Die Futtersorghumsorten erreichten etwa 80 bis 82 % der Methanausbeute des Mais (kalkuliert nach WEIßBACH). Sichtbare Unterschiede zwischen Futterhirsensorten und Sudangrasybriden waren nur auf den Lössstandorten festzustellen. Hier erbrachten die Sudangrasybriden eine um 10 NI höhere Methanausbeute als die Futterhirse. Die Methanausbeute der Körnerhirse schwankte in Abhängigkeit von der Anbauregion sehr deutlich (299–338 NI kg oTS) und somit auch die Relationen zum Mais. Diese waren im Mittel der Jahre 2012/2013 auf den D-Nord (96 % relativ) und Lössstandorten (92 % relativ) deutlich günstiger als in der trockeneren Anbauregion D-Süd und K (89 % relativ).

Bei der fruchtartsspezifischen Betrachtung der Einzeljahre in den jeweiligen Anbauregionen zeigt sich der Umwelteinfluss auf die Methanausbeute (Abbildung 69). Beim **Mais** waren auf den D-Nord und Lössstandorten nur geringe Abweichungen in der Methanausbeute zwischen den Jahren festzustellen. In der durch Sommer-trockenheit und leichte Böden gekennzeichneten Anbauregion D-Süd und K wurde in den Jahren 2012 und 2013 hingegen ein deutlicher Rückgang der Methanausbeuten im Vergleich zum witterungsbegünstigten Jahr 2011 beobachtet. Temporärer Wassermangel führte oftmals zu einer schlechteren Kolbenausbildung und einer stärkeren Abreife der Restpflanze (Verstrohung). Auf den guten Lössböden und niederschlagsreicheren Standorten in der Region D-Nord war dies hingegen eher seltener der Fall (standort- und jahresabhängig).

Bei der **Körnerhirse** wurden in allen Anbauregionen deutliche Unterschiede in der Methanausbeute zwischen den beiden Versuchsjahren beobachtet. Im Jahr 2012 zeigten sich zudem erhebliche Abweichungen zwischen den Anbauregionen und der Standorte innerhalb der Anbauregion (siehe Standardabweichungen). Im ersten Jahr wurde die Körnerhirse gemäß Züchterangaben in den frühen Ernteblock eingeordnet und somit zeitgleich mit den Sudangrasybriden geerntet. Die Pflanzen waren zur Ernte jedoch oftmals erst am Beginn der Kornfüllung, sodass die qualitativen Vorzüge der Körnerhirse häufig nicht zum Tragen kamen. Der gemeinsame Erntetermin mit den spätreifen Futterhirsensorten im Folgejahr brachte auf den D-Nord- und Lössstandorten sichtbare Vorteile in der Methanausbeute. Hier wurden (z. T. standortabhängig) vergleichbare Methanausbeuten wie bei Mais festgestellt. In der Anbauregion D-Süd und K waren im zweiten Erntejahr hingegen deutliche Nachteile in der Gasausbeute zu verzeichnen. Die heiße und trockene Witterung zur Blüte beeinträchtigte vielerorts die Befruchtung, sodass der Kornansatz sich nicht optimal entwickeln konnte. Die längere Standzeit führte unter trockeneren Bedingungen womöglich auch zu einer stärkeren Verholzung der Restpflanze.

Die Methanausbeuten der Futtersorghumsorten schwankten in Abhängigkeit von den Standortbedingungen und dem Anbaujahr zum Teil sehr stark. Bei den Sudangrasybriden waren im Jahr 2013 an allen Standorten höhere Methanausbeuten als in den Vorjahren zu beobachten. Beim Vergleich der Anbauregionen fällt auf, dass die Sudangrasybriden in den Jahren 2012 und 2013 auf den D-Süd und K-Standorten geringere Methanausbeuten als in den anderen Anbauregionen zeigten. Bei hohen Temperaturen, starker Sonneneinstrahlung und temporärem Wassermangel neigen die frühreifen Sorten offensichtlich vergleichsweise stärker zur Verholzung. Bei den Futterhirsensorten stellten sich die Methanausbeuten über die Anbauregionen und Anbaujahre etwas einheitlicher dar.

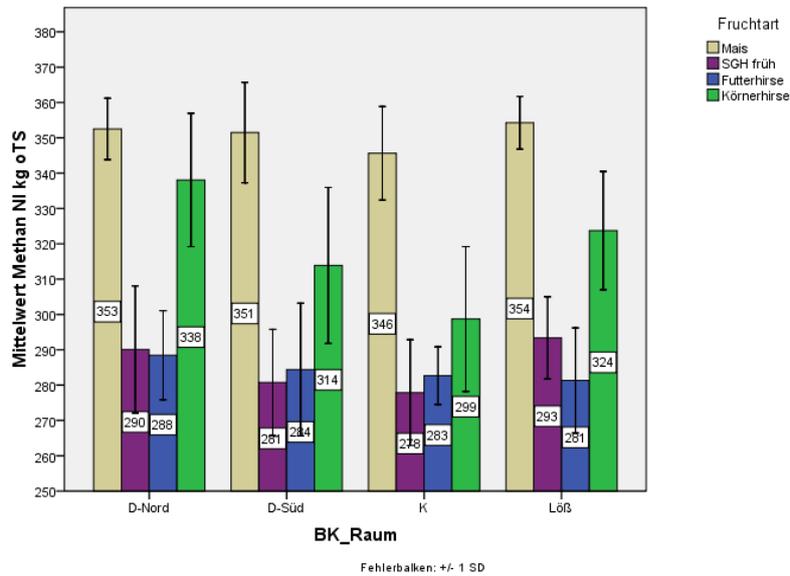


Abbildung 68: Methanausbeute von Mais, Futter- und Körnersorghum (Kernsortiment) in den verschiedenen Anbauregionen im Mittel der Jahre 2011–2013 (kalkuliert nach Weißbach)

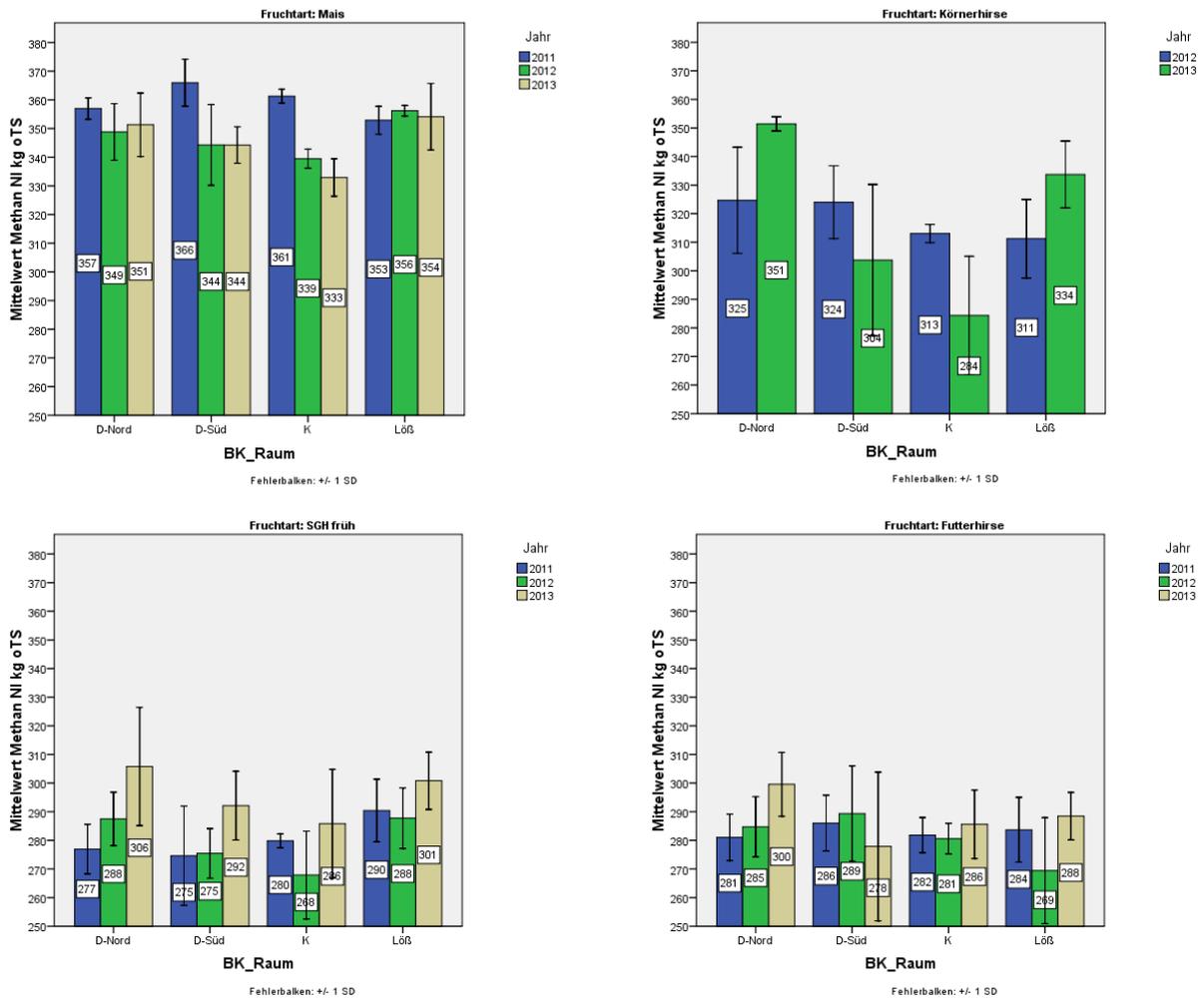


Abbildung 69: Methanausbeute von Mais, Futter- und Körnersorghum (Kernsortiment) in Abhängigkeit von Anbauregion und Jahr (kalkuliert nach WEIßBACH)

Sorteneinfluss

In Abbildung 70 ist die Methanausbeute der geprüften Mais- und Sorghumsorten im dreijährigen und zweijährigen Vergleich im Mittel der Versuchsstandorte dargestellt.

Zwischen den dreijährig geprüften Futtersorghumsorten konnten keine Unterschiede im Methanbildungspotenzial festgestellt werden. Auch die in den Jahren 2012 und 2013 hinzugekommenen Sorten zeigten im Vergleich zum orthogonalen Kern keine Verbesserungen in der Methanausbeute (mit Ausnahme der Körnerhirse). Die 2012 erstmals geprüfte Körnerhirse Farmsugro 180 ordnete sich bezüglich der Methanausbeute zwischen den Futtersorghumarten und Mais ein, wies jedoch eine vergleichsweise höhere Schwankungsbreite auf (270 NI–360 NI kg oTS). Bei guter Einkörnung und Kornausreife erreichte die Sorte mitunter Methanausbeuten auf Maisniveau. War dies jedoch witterungsbedingt nicht der Fall, fielen die Vorteile im Vergleich zu den Futtersorghumarten eher mäßig aus. Angesichts der starken Nachteile im Ertrag (s. Kapitel 2.3.2) erscheint der Anbau sehr unsicher und nur dann sinnvoll, wenn eine mit Mais vergleichbare Methanausbeute erreicht werden kann. Dies war jedoch nur an wenigen Standorten der Fall. Innerhalb der Futtersorghumsorten zeigten einige Sorten zwar eine erhöhte Schwankungsbreite hinsichtlich der Methanausbeute (KWS Freya, KWS Tarzan), grundsätzlich konnten jedoch keine gravierenden Unterschiede im Methanbildungspotenzial der Sorten festgestellt werden. Der Fokus bei der Sortenwahl liegt daher vorrangig auf einem guten Kompromiss aus hoher Ertragsleistung und sicherer Abreife bei guter Standfestigkeit.

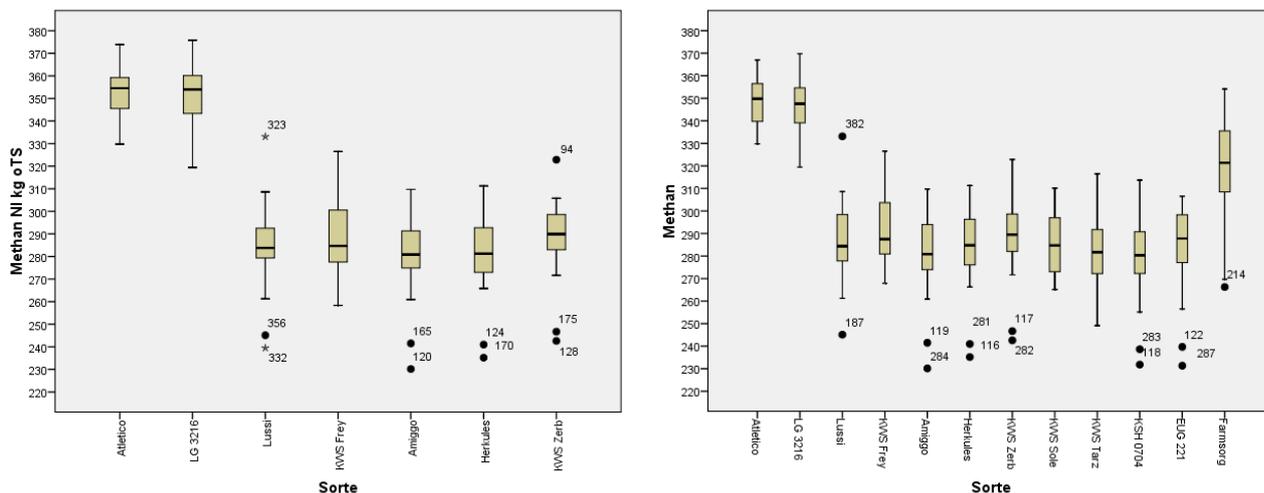


Abbildung 70: Vergleich der geprüften Mais und Sorghumsorten hinsichtlich Methanausbeute, kalkuliert nach WEIßBACH (Standortmittel, links: orthogonaler Kern, rechts: zweijähriger Vergleich 2012/13)

Saatzeitenversuch

Den Fruchtarten im Saatzeitenversuch standen in Abhängigkeit vom Aussattermin eine unterschiedliche Anzahl an Vegetationstagen und somit unterschiedliche Wärme- und Niederschlagssummen für Wachstum und Entwicklung zur Verfügung. In der Folge nahmen BBCH Stadium und TS-Gehalt zur Ernte sowohl bei Mais als auch bei Sorghum mit späterem Saattermin kontinuierlich ab. Während die frühreife Maissorte Ronaldinio (S220) und die Sudangrasybriden auch bei Aussaat Mitte Juni oftmals noch die optimalen TS-Gehalte von 28 % zur Ernte erreichten, konnten die Futterhirsen die Ziel-TS-Gehalte beim letzten Saattermin in der Regel nicht mehr einhalten. Aufgrund des einheitlichen Erntetermins bei Mais und Sorghum, der sich nach der Abreife der spätreifen Futterhirsen richtete, übertrafen der Mais und die Sudangrasybriden zum ersten und zweiten Saattermin den oberen Ziel-TS-Bereich von 35 % standort- und jahresabhängig mitunter deutlich (Abbildung 71).

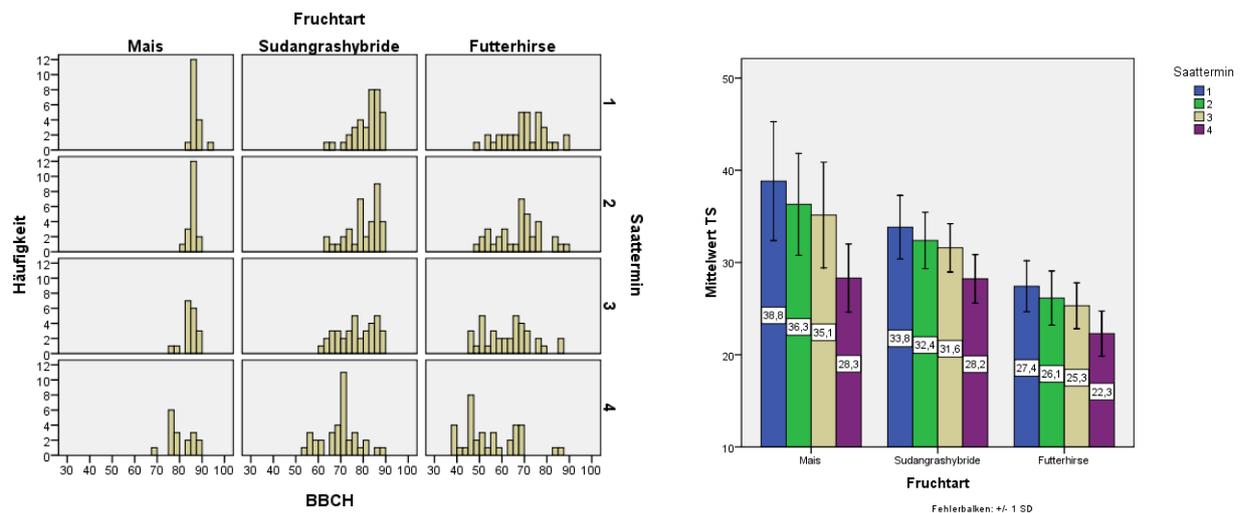


Abbildung 71: BBCH-Stadium und TS-Gehalt von Mais und Sorghum in Abhängigkeit vom Saattermin (Standort- und Sortenmittel, 2011–2013)

In Abbildung 72 ist die Methanausbeute (kalkuliert nach WEIßBACH) von Mais und Sorghum an den einzelnen Versuchsstandorten zu unterschiedlichen Saatterminen dargestellt. Unabhängig vom Saattermin bestätigen sich die im Sortenversuch festgestellten Relationen im Gasbildungsvermögen der Fruchtarten. Die Methanausbeute beim Mais reagierte im Mittel der Standorte und Jahre nur geringfügig auf die unterschiedlichen Saattermine (Standardabweichung = 5–8 NI kg oTS). Bei den Sudangrasybriden waren standortabhängig stärkere Abweichungen in der Methanausbeute zwischen den Saatterminen zu verzeichnen, ohne jedoch einen gerichteten Zusammenhang erkennen zu lassen. Ein signifikanter Einfluss des Saattermins auf die Methanausbeute konnte weder beim Mais noch bei den Sudangrasybriden festgestellt werden. Bei den Futterhirschen wurden an einigen Standorten (Dasselsbruch, Gülzow und Aholting) vergleichsweise höhere Methanausbeuten am letzten Saattermin festgestellt, welche vermutlich durch die geringe physiologische Abreife zu erklären sein dürften. In diesem Fall konnte auch ein geringer Zusammenhang zwischen Saattermin und Methanausbeute nachgewiesen werden ($r_p = 0,181$). Weiterhin war sowohl bei den Sudangrasybriden als auch Futterhirschen ein Rückgang der Ligningehalte mit späterem Saattermin festzustellen ($r_p = -0,542$ bzw. $-0,332$). Bei Erstgenannten bestanden zudem geringe Zusammenhänge zu den Parametern ADForg und ELOS. Bei Mais wirkte sich ein späterer Saattermin oftmals negativ auf den Stärkegehalt aus (Tabelle 41).

Tabelle 41: Einfluss des Saattermins auf die Methanausbeute und Inhaltsstoffzusammensetzung

Fruchtart			Methan	TS	BBCH	Stärke	ELOS	ADFom	ADL
Mais	Saattermin	$r_p =$	-,023	-,556**	-,547**	-,300*	-,050	-,021	,154
Sudangrasybride	Saattermin	$r_p =$	,029	-,552**	-,498**	. ^a	,223**	-,219**	-,542**
Futterhirse	Saattermin	$r_p =$	,181*	-,560**	-,460**	. ^a	,215**	-,149	-,332**

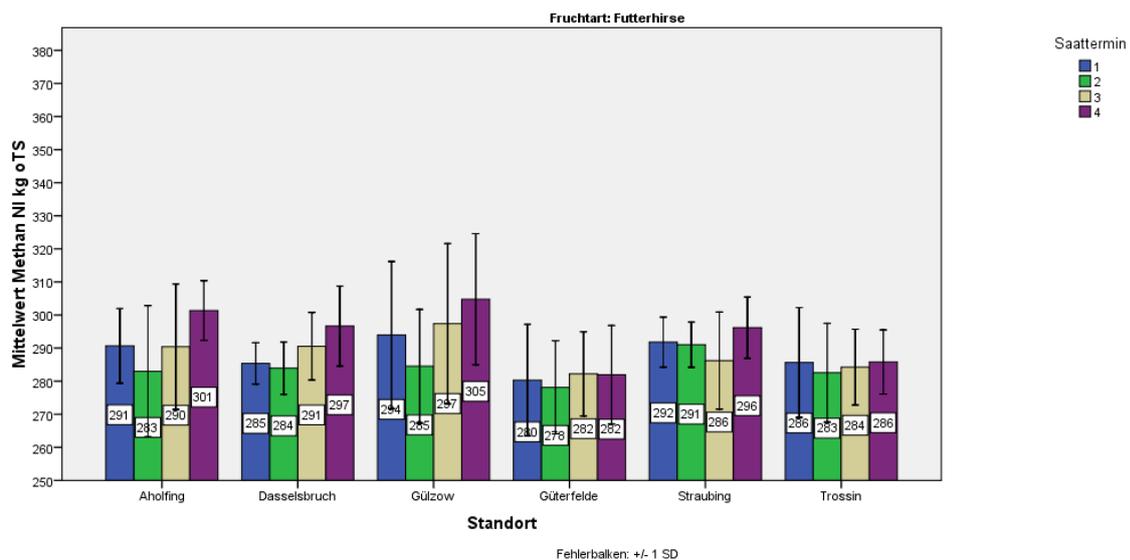
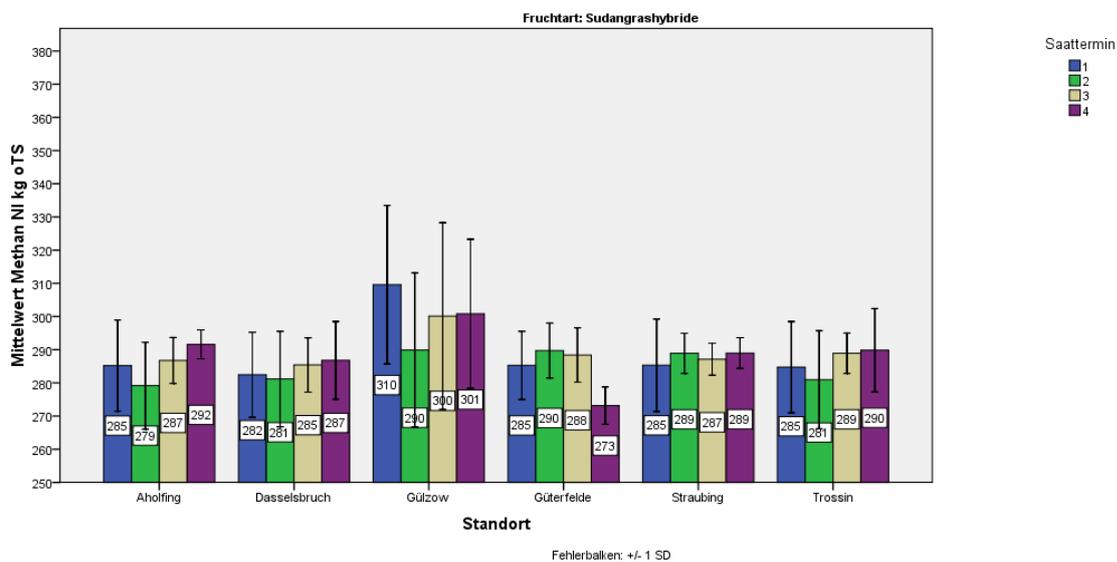
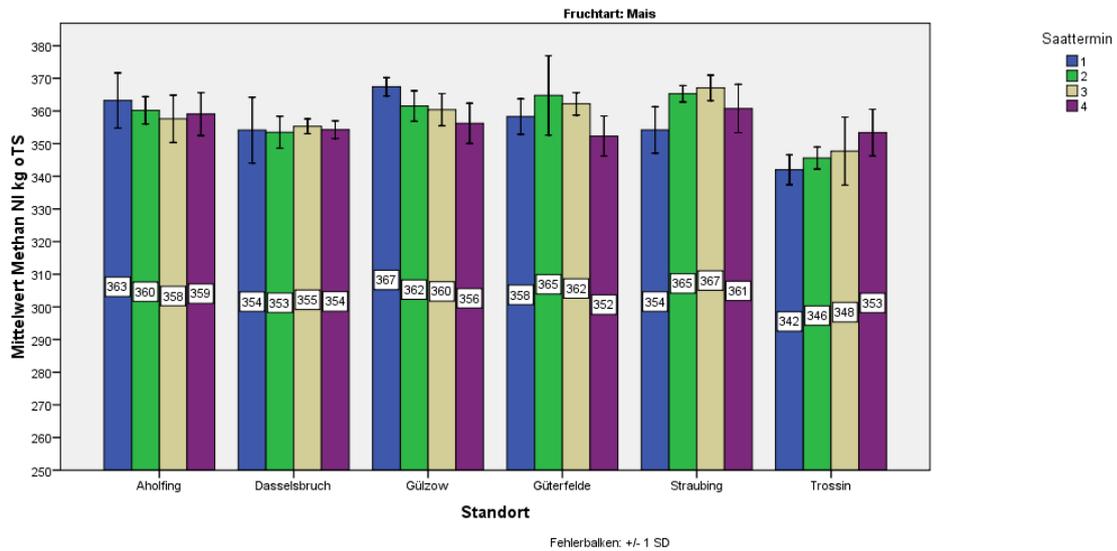


Abbildung 72: Methanausbeute (nach WEIßBACH) bei Mais und Sorghum in Abhängigkeit von Standort und Aussaattermin (Mittel der Jahre 2011–2013, Sortenmittel)

Zwischenernteuntersuchungen

In den Jahren 2012 und 2013 wurden in den Sortenversuchen in Trossin und Straubing ab August in regelmäßigen Abständen Zwischenernten bei ausgewählten Sorghumsorten durchgeführt. Zielsetzung war es, die inhaltstoffliche Zusammensetzung der Pflanzen mit fortschreitender Entwicklungsdauer abzubilden und anhand dessen Empfehlungen zum qualitätsoptimierten Erntetermin abzuleiten.

Zur Beschreibung des Entwicklungsverlaufs der Sorten sind in Abbildung 73 und Abbildung 75 das BBCH-Stadium und der TS-Gehalt der Pflanzen zu den unterschiedlichen Ernteterminen für beide Standorte und Versuchsjahre dargestellt. Abbildung 74 und Abbildung 76 geben Auskunft über die Entwicklung der Methanausbeute (kalkuliert nach WEIßBACH) und des Ligningehalts mit fortschreitender Vegetationsdauer. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass es sich beim letzten Erntetermin stets um den Gesamterntetermin handelt. Für die Zwischenernteuntersuchung wurden einzelne, für die Parzelle repräsentative Pflanzen, aus dem Randbereich der Wiederholungsparzellen entnommen. Die Probenahme zum Enderntetermin erfolgte aus der gesamten Ernteparzelle (Mischprobe der 4 Wiederholungen), weshalb vermutlich von einer höheren Repräsentativität der Probe auszugehen ist. Zu bedenken ist diesbezüglich auch, dass sich die Bestände mitunter sehr heterogen darstellten, was bei der Entnahme einzelner Pflanzen aus dem Bestand weniger stark ins Gewicht fällt. Stärkere Abweichungen in den Ergebnissen zwischen vorletztem und letztem Erntetermin können daher zum Teil auch probenahmebedingt zu erklären sein, dies gilt vor allem für die TS-Gehalte.

Sowohl in Trossin als auch in Straubing waren in den jeweiligen Versuchsjahren die Unterschiede im Abreifeverhalten der Sorghumarten und -sorten deutlich anhand der BBCH-Stadien und TS-Gehalte zu den einzelnen Zwischenernteterminen nachzuvollziehen. Die Sudangrashybride Lussi erwies sich hierbei als früheifste Sorte, die Futterhirse Hercules als spätreifste Sorte. Im Folgenden soll auf die Ergebnisse der einzelnen Standorte eingegangen werden.

Trossin

In Trossin im **Jahr 2012** hatten die frühreifen Sudangrashybriden den Ziel-TS-Gehalt von 28 % aufgrund anhaltender Sommertrockenheit in Verbindung mit hohen Temperaturen und starker Sonneneinstrahlung bereits Mitte August deutlich übertroffen (> 34 % TS). Nach Einsetzen der Niederschläge waren die TS-Gehalte zwischenzeitlich kurz rückläufig, was durch Absterben alter Blätter und Neubildung von Trieben zu erklären war. Die Ernte erfolgte zu Beginn der Kornreife (BBCH 81) in der ersten Septemberdekade bei TS-Gehalten zwischen 30 % (Freya) und 36 % (Lussi).

Die spätreifen Futterhirsen reagierten auf die anhaltende Trockenheit im Juli und August nach einer vergleichsweise kühlen Periode Mitte bis Ende Juni mit weiterer Stagnation im Längenwachstum. Der Übergang in die generative Phase und die weitere Trockensubstanzbildung verliefen sehr langsam. Zur Ernte hatten die Futterhirsen unmittelbar das Rispschieben beendet. Die TS-Gehalte lagen zu diesem Zeitpunkt bei KWS Zerberus bei 28 % und Hercules bei 23 %.

Die Sudangrashybridsorten zeigten am Standort Trossin im Laufe des zweijährigen Untersuchungszeitraums an nahezu allen Zwischenernteterminen Nachteile in der Methanausbeute im Vergleich zu den beiden Futterhirsensorten. Innerhalb der Sudangrashybriden wies die früheifere Sorte Lussi gegenüber der Sorte KWS Freya durchgängig geringere Methanausbeuten auf. Bei den Futterhirsen waren hingegen keine größere Abweichungen (mit Ausnahme des Enderntetermins im Jahr 2012) im Methanbildungspotenzial der Sorten festzustellen. Bei der Sudangrashybride Lussi war im Jahr 2012 als einziger Sorte ein deutlicher Rückgang der Methanausbeute mit fortschreitender Entwicklung zu verzeichnen, welcher vermutlich in Zusammenhang mit

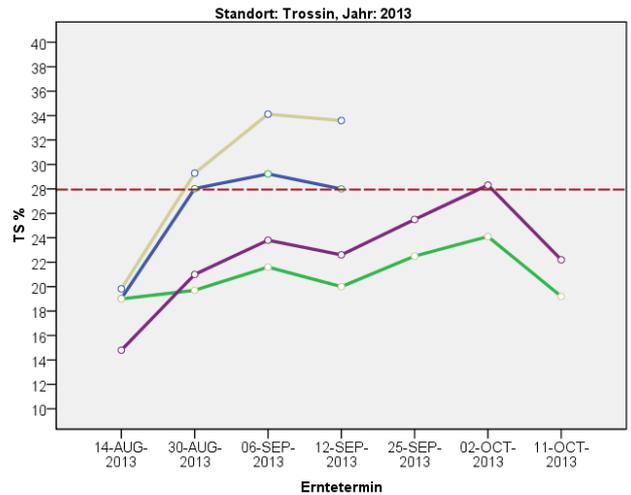
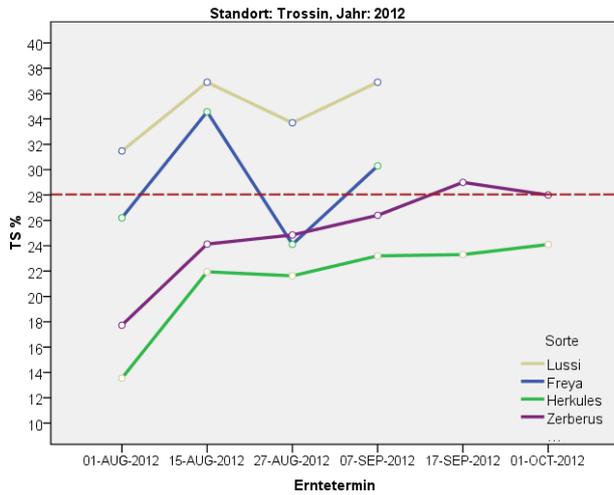
der starken Abreife der Pflanzen zur Ernte (38 % TS, BBCH 81) steht. Bei der Sudangrashybride KWS Freya und der Futterhirse KWS Zerberus konnte ebenfalls eine Abnahme der Methanausbeuten mit zunehmender Vegetationszeit festgestellt werden, welche sich jedoch deutlich moderater darstellte. Die Methanausbeute bei der Sorte Hercules zeigte sich überwiegend stabil.

Die Ligningehalte der Sorten wurden im wesentlichen vom Abreifeverhalten der Sorten bestimmt und nahmen in absteigender Reihenfolge von der frühesten Sorte Lussi bis zur spätesten Sorte Hercules ab. Bei den Sudangrashybriden war infolge der trockenen und heißen Witterung ein sprunghafter Anstieg der Ligningehalte von 4,5 % bzw. 5,5 % i. d. TS (Mitte August) auf bis zu 7 % bzw. 9 % i. d. TS zur Ernte zu verzeichnen. Der Anstieg der Ligningehalte fiel bei den spätreifen Futterhirschen hingegen sehr moderat aus. Die Sudangrashybriden neigen aufgrund ihrer deutlich früheren Abreife offensichtlich verstärkt zur Lignineinlagerung, welches in diesem Jahr durch die Witterung zusätzlich noch begünstigt wurde.

Im Jahr 2013 stagnierten Wachstum und Entwicklung von Sorghum zunächst bedingt durch die hohe Wassersättigung des Bodens infolge ausgiebiger Niederschläge Ende Mai/Anfang Juni sowie durch die vergleichsweise kühle Temperaturen in der Auflaufphase. Bei sehr warmen Temperaturen im Juli und August ging die Entwicklung vor allem bei den frühreifen Sudangrashybriden sichtbar voran. Gegen Ende August, mit Ende der Blüte, hatten beide Sorten den Ziel-TS-Gehalt erreicht. Die Ernte erfolgte Ende der ersten Septemberhälfte (Mitte/Ende Blüte) bei TS-Gehalten von 28 % (Freya) bzw. 34 % (Lussi).

Die Futterhirschen entwickelten sich aufgrund der zunehmenden Trockenheit im Juli recht langsam. Der Übergang in die generative Phase verlief ähnlich zögerlich wie im Vorjahr. Der September in Trossin zeigte sich vergleichsweise kühl. Zerberus hatte zur Ernte in der ersten Oktoberhälfte gerade die Rispe geschoben, bei Hercules war dies noch nicht der Fall. Mehrtägig kühle Nachttemperaturen Anfang Oktober (nahe dem Gefrierpunkt) führten zu deutlichen Kälteschäden an den Pflanzen, weshalb der Bestand zeitnah geerntet werden musste. Die TS-Gehalte zur Ernte waren vergleichsweise gering, zum Teil auch bedingt durch die feuchten Bedingungen bei der Ernte.

Alle Sorghumsorten, insbesondere die Sudangrashybriden, wiesen im Vergleich zum Vorjahr sichtbar höhere Methanausbeuten auf. Die Ligningehalte stellten sich entgegengesetzt dazu etwas niedriger dar. Die Relationen der Sorghumsorten zueinander blieben sowohl bei der Methanausbeute als auch beim Lignin weitgehend erhalten. Im Gegensatz zum Jahr 2012 war bei den Sudangrashybriden mit fortschreitender Entwicklung kein starker Rückgang in der Methanausbeute und eine vergleichsweise geringere Zunahme der Ligningehalte zu beobachten. Die Futterhirschen verhielten sich ähnlich wie im Vorjahr, Methanausbeute und Ligningehalt änderten sich nur geringfügig.



BBCH

Lu:	55	61	73	81		
Fr:	51	55	71	81		
He:	35	37	37	49	55	59
Ze:	35	37	39	55	59	61

BBCH

Lu:	59	65	65	69		
Fr:	55	61	61	65		
He:	34	34	34	39	39	45
Ze:	34	39	39	45	51	55

Abbildung 73: BBCH-Stadium und TS-Gehalt verschiedener Sorghumsorten am Standort Trossin in Abhängigkeit vom Erntetermin

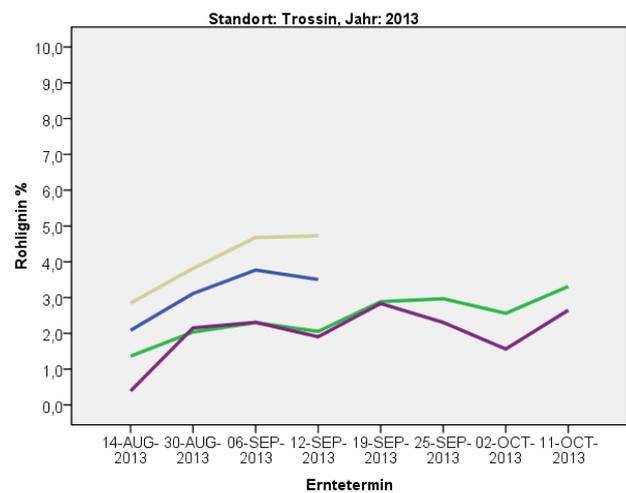
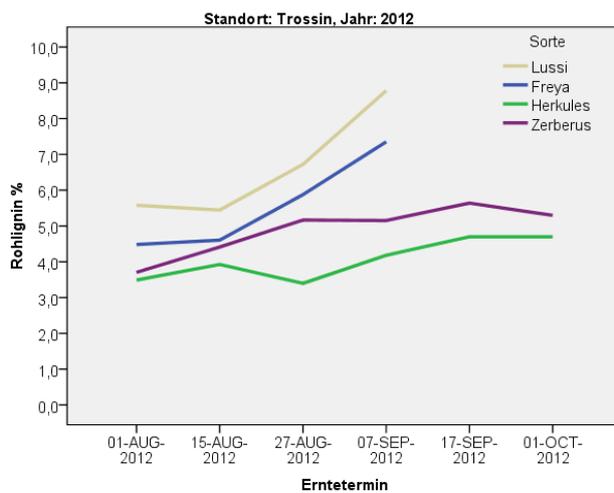
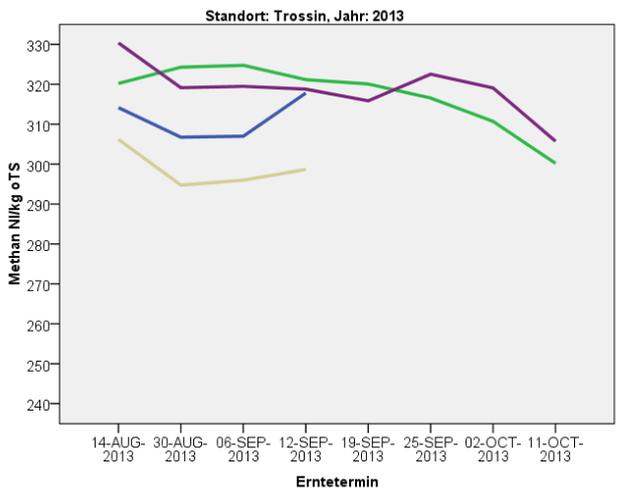
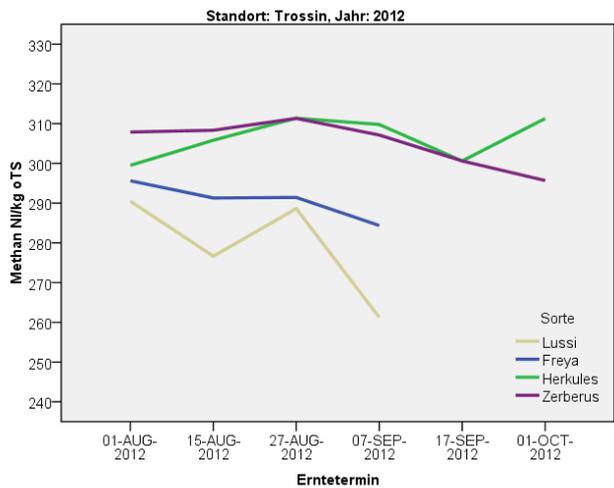


Abbildung 74: Methanausbeute nach Weißbach (NI/kg oTS) und Rohligningehalt (% TS) verschiedener Sorghumsorten am Standort Trossin in Abhängigkeit vom Erntetermin

Straubing

Der Standort Straubing ist im Vergleich zu Trossin durch eine sicherere Wasserversorgung gekennzeichnet, die einerseits aus einer höheren Niederschlagssumme und andererseits aus einer besseren Wasserhaltekapazität des Bodens (Löss) resultiert. Das Wärmeangebot am Standort ist in der Regel für den Anbau von Sorghum ausreichend. Die beiden Versuchsjahre waren durch einen sehr unterschiedlichen Witterungsverlauf gekennzeichnet.

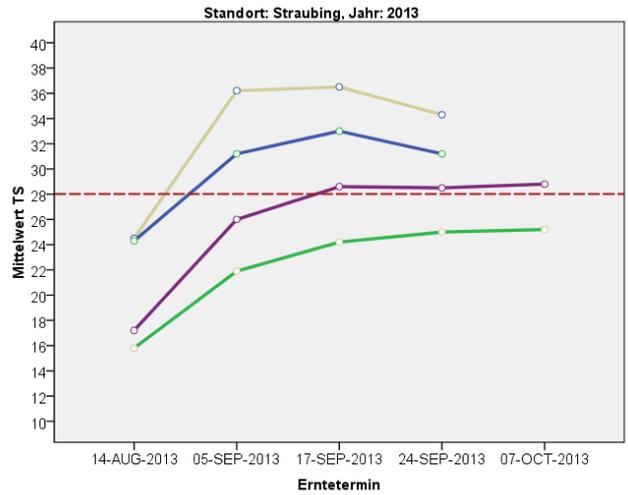
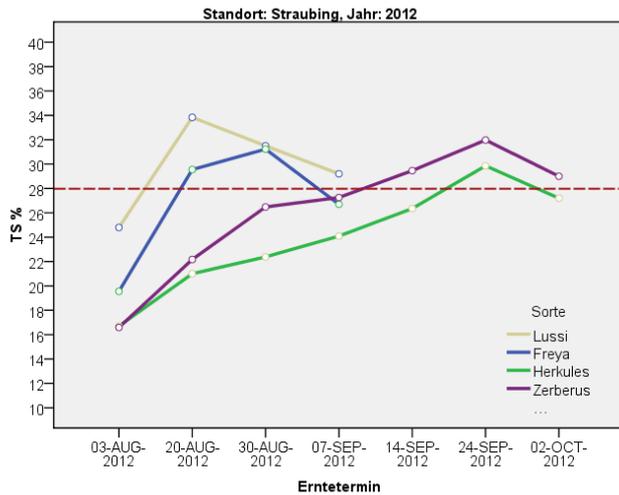
Die Witterungsbedingungen im **Jahr 2012** gestalteten sich nahezu optimal für Sorghum, sodass sich die Bestände sehr gut entwickeln konnten. Zum Zeitpunkt der Ernte waren sowohl die frühreifen Sudangrashybriden (BBCH 83 bzw. 79) als auch die Futterhirsen (BBCH 69 bzw. 75) gut abgereift.

Bei allen Sorten konnte ab Mitte August ein annähernd stetiger Anstieg der Methanausbeuten bis zur Ernte festgestellt werden. Die Futterhirsensorten, die zum Zeitpunkt der Ernte der Sudangrashybriden (7. September) eine vergleichbare Methanausbeute aufwiesen (275–280 NI kg oTS), konnten noch bis Anfang Oktober nennenswert an Methan zulegen und hatten somit entsprechende Vorteile zum Zeitpunkt der Ernte.

Die in Trossin beobachteten Unterschiede in den Ligningehalten zwischen Sudangrashybriden und Futterhirsen konnten in geringerem Umfang und bei geringerer Differenzierung zwischen den Sorten auch in Straubing beobachtet werden. Die Ligningehalte nahmen bei allen Sorten bis zur dritten Augustdekade deutlich zu. Dieser Anstieg setzte sich bei den stärker zur Ernte abgereiften Sudangrashybriden sichtbar fort, während bei den Futterhirsen bis Ende September keine nennenswerten Veränderungen mehr zu verzeichnen waren. Zur Haupternte war sogar nochmals ein deutlicher Rückgang der Ligningehalte zu verzeichnen (möglicherweise probenahmebedingt).

Das **Jahr 2013** war wie in Trossin durch ungünstige Anfangsbedingungen (extreme Niederschläge, kühle Temperaturen) und eine anschließende Trockenperiode im Juli geprägt, die jedoch durch die höhere nFK des Bodens abgemildert werden konnte. Dennoch wiesen die Bestände im Vergleich zum Vorjahr (erste Septemberwoche) einen sichtlichen Entwicklungsrückstand auf, der jedoch bei günstigeren Bedingungen in der Folgezeit zum Teil noch aufgeholt werden konnte. Die Ernte der frühreifen Sudangrashybriden erfolgte zwei Wochen später als im Vorjahr. Sowohl die Sudangrashybriden (32 bzw. 35 % TS) als auch die Futterhirse KWS Zerberus (28 % TS) waren zum Zeitpunkt der Ernte überwiegend gut abgereift. Die spätreife Futterhirse Hercules erzielte den Ziel-TS-Gehalt von 28 % hingegen nicht mehr.

Im Zeitraum von Anfang bis Ende September stiegen bei allen Sorten die Methanausbeuten moderat an, dies stellte sich bei den Sudangrashybriden etwas deutlicher dar als bei den Futterhirsen. Bei den Futterhirsen wurde zum Enderntetermin nochmals ein Rückgang der Methanausbeuten deutlich unterhalb des Niveaus der Sudangrashybriden beobachtet. Diese wiesen im Gegensatz zum Vorjahr sichtbar höhere Methanausbeuten auf. Bei den Futterhirsen waren keine größeren Abweichungen zwischen den Erntejahren festzustellen. Die Rohligningehalte lagen im Jahr 2013 bei allen Sorten deutlich unter denen des Jahres 2012. Die Unterschiede zwischen den Sorghumarten blieben bestehen. Bis Anfang September war im gesamten Sortiment ein Anstieg der Ligningehalte auf 3,5 % bis 4,5 % i. d. TS zu verzeichnen. Im Gegensatz zum Vorjahr nahmen die Ligningehalte bei den Sudangrashybriden in den kommenden Wochen bis zur Ernte nur noch sehr moderat zu. Bei den Futterhirsen traten wie im Jahr zuvor keine nennenswerten Änderungen mehr auf.



BBCH

Lu:	55	69	79	83			
Fr:	51	65	71	79			
He:	37	39	51	65	69	69	69
Ze:	37	45	65	75	75	75	75

BBCH

Lu:	59	75	79	83		
Fr:	55	75	79	79		
He:	35	37	51	55	69	
Ze:	37	61	69	69	73	

Abbildung 75: BBCH-Stadium und TS-Gehalt verschiedener Sorghumsorten am Standort Straubing in Abhängigkeit vom Erntetermin

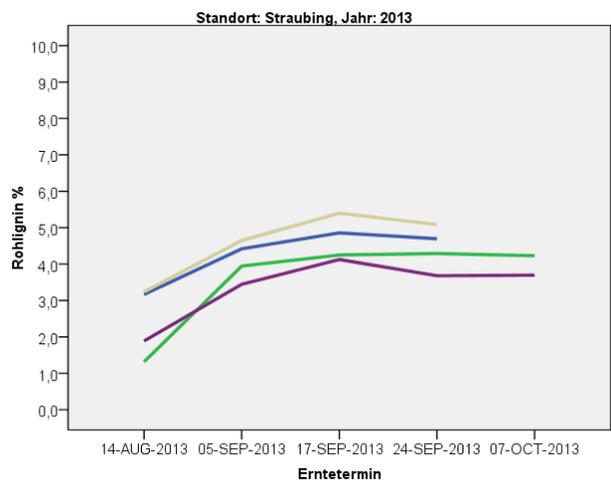
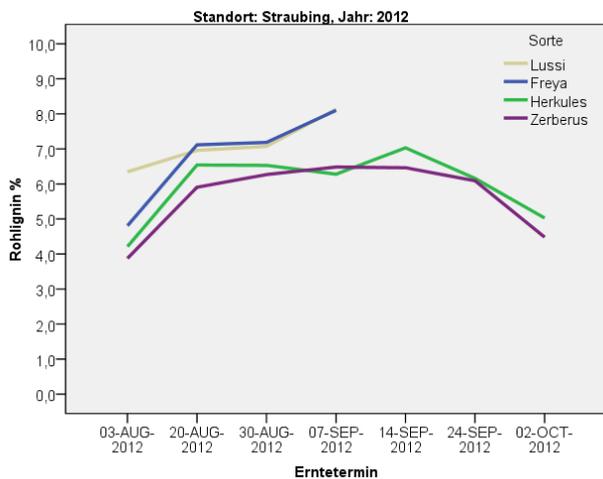
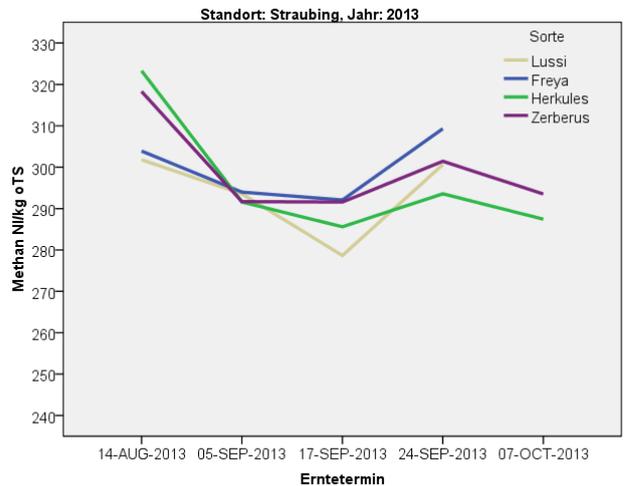
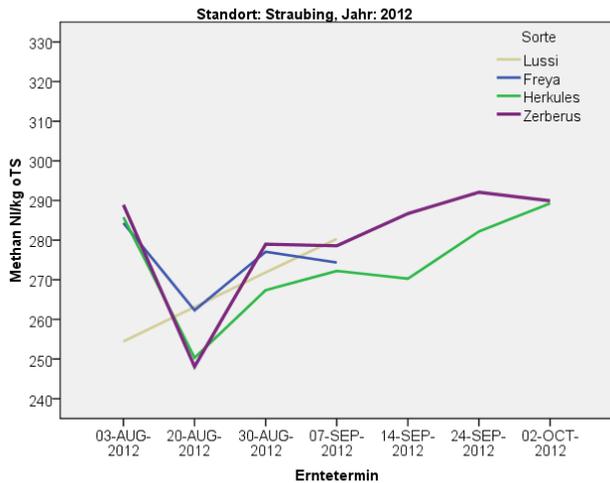


Abbildung 76: Methanausbeute nach WEIßBACH (NI/kg oTS) und Rohligningehalt (% TS) verschiedener Sorghumsorten am Standort Straubing in Abhängigkeit vom Erntetermin

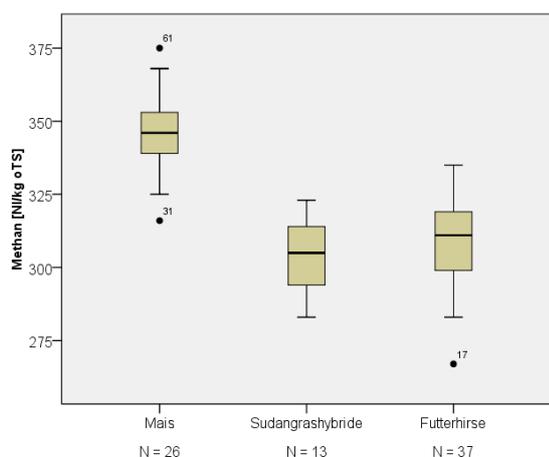
Im Rahmen der zweijährigen Untersuchungen auf beiden Standorten hat sich gezeigt, dass die stoffliche Zusammensetzung und somit die Gasausbeute bei Sorghum von einer Vielzahl endogener (Abreifeverhalten der Sorte, Entwicklungsstadium, Bestandeszusammensetzung, Bestockung) und exogener Faktoren (Standort: Niederschlag, Temperatur, Sonneneinstrahlung, Bodengüte), welche zum Teil in Wechselwirkung miteinander stehen, beeinflusst wird.

Im Hinblick auf die Wahl des qualitätsoptimierten Erntetermins bei Sorghum ist vor allem den frühreifen Sudangrashybridsorten Aufmerksamkeit zu schenken. Diese neigen nach Übergang in die generative Phase mit Einsetzen der Blüte (zweite Augustdekade) offensichtlich vermehrt zur Lignifizierung, insbesondere unter Bedingungen, die diesen Prozess zusätzlich verstärken (leichte Böden, Trockenheit, starke Sonneneinstrahlung), wie in Trossin 2011 der Fall. Die Futterhirsen reagierten, vermutlich auch bedingt durch den vergleichsweise späteren Übergang in die generative Phase, hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung deutlich weniger stark auf Umwelteinflüsse. Bei diesen Sorten ist bei der Wahl des Erntetermins zunächst der Fokus auf das Erreichen günstiger TS-Gehalte (26 % und mehr) zu legen.

Gemessene Methanausbeuten mit dem Hohenheimer Biogasertragstest

Die im Batch-Versuch mit dem Hohenheimer Biogasertragstest gemessenen Methanausbeuten von Mais und Sorghum erlauben Aussagen zum möglichen Biogas- bzw. Methanbildungspotenzial der Substrate. Sie geben jedoch keine Auskunft über die zu erzielende Biogasausbeute unter Praxisbedingungen. Das ist aber bei keiner Laborbiogasanlage der Fall und kann auch nicht durch die Berechnung nach der „Weißbachschen Formel“ abgebildet werden. Weil die untersuchten Silagen vor der Vergärung verfahrensbedingt getrocknet wurden, beziehen sich die erzielten Gasausbeuten auf das von flüchtigen Substanzen befreite Substrat. Mit den Biogasuntersuchungen konnte, entgegen der ursprünglichen Planung, erst im November 2012 begonnen werden (Anhang 52). Es wurden ausschließlich silierte Proben der Erntejahre 2011 und 2012 untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 77 dargestellt.

Mais wies mit durchschnittlich 346 NI/kg oTS (Stabw = 13 NI/kg oTS) erwartungsgemäß signifikante Vorteile in der Methanausbeute im Vergleich zu Sorghum auf. Die Sudangrashybriden (303 NI/kg oTS) und Futterhirsen (309 NI/kg oTS) blieben im Mittel 12 % bzw. 11 % unter der Methanausbeute des Maises, wobei die Werte bei der Futterhirse, bedingt durch den höheren Stichprobenumfang, vergleichsweise stärker streuten (16 NI/kg oTS im Vergleich zu 13 NI/kg oTS). Vergleichbare Relationen in der Methanausbeute zwischen Mais und Sorghum wurden auch von HERMANN et al. (2012) in Batchversuchen mit 1,5 l-Fermentern festgestellt.

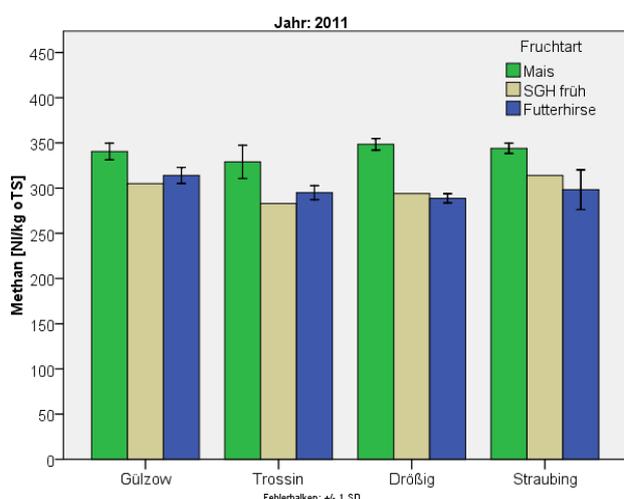


Fruchtart	N	Deskriptive Statistik			
		Min	Max	MW	Stabw
Mais	26	316	375	346 <i>100</i>	13
Sudangrashybride	13	283	323	303 <i>88</i>	13
Futterhirse	37	267	335	309 <i>89</i>	16

Abbildung 77: Gemessene Methanausbeuten (HBT) von Mais und Sorghum (Sortenversuch, Versuchsjahre 2011/12, Silagen)

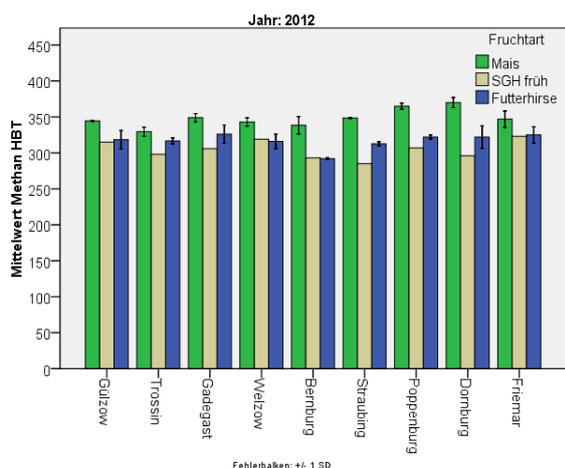
Anhand der standortbezogenen Gegenüberstellung der Methanausbeuten von Mais und Sorghum der Versuchsjahre 2011/12 wird ersichtlich, dass die Relationen der Fruchtarten in der Methanausbeute standortabhängig in gewissen Grenzen variieren können (Abbildung 78, Abbildung 79). So erreichte die Sudangrashybride Lussi im Jahr 2012 am Standort Dornburg lediglich 80 % der Methanausbeute vom Mais, in Friemar und Welzow hingegen 93 % des Maisniveaus. Bei den spätreiferen Futterhirschen waren die Relationen zum Mais oftmals etwas günstiger als bei den Sudangrashybriden (83 bis 96 % relativ).

Die gemessenen Methanausbeuten schwankten sowohl bei Mais als auch bei Sorghum in beiden Jahren standort- und mitunter auch sortenabhängig (siehe Fehlerbalken). Die Unterschiede zwischen den Standorten sind generell schwer interpretierbar, weil die Silagequalitäten standortabhängig schwankten und die Proben einzelner Standorte in unterschiedlichen Messdurchgängen analysiert wurden. Die an manchen Standorten festgestellten Unterschiede zwischen den Sorten waren weniger in Zusammenhang mit der Inhaltsstoffzusammensetzung zu bringen, sondern eher durch Versuchsfehler bzw. möglicherweise abweichende Silagequalitäten zu erklären.



Standort	Methanausbeute [relativ %]		
	Mais N = 2	Sudangras- hybride N = 1	Futterhirse N = 4
Gülzow	100	90	92
Trossin	100	86	90
Dröbzig	100	84	83
Straubing	100	91	87
Standorte gesamt	100	88	88

Abbildung 78: Gemessene Methanausbeuten von Mais und Sorghum im Jahr 2011 (N = Anzahl Sorten je Standort; Mais: Atletico, LG 32.16; Sudangrashybride: Lussi; Futterhirse: Sucrosorgo 506, Hercules, KWS Zerberus, Amiggo)



Standort	Methanausbeute [relativ %]		
	Mais N = 2	Sudangras- hybride N = 1	Futterhirse N = 2 (3)
Gülzow*	100	91	92
Trossin*	100	90	96
Gadegast	100	88	93
Welzow	100	93	92
Bernburg	100	87	86
Straubing*	100	82	90
Poppenburg	100	84	88
Dornburg	100	80	87
Friemar	100	93	94
Standorte gesamt	100	88	91

Abbildung 79: Gemessene Methanausbeuten von Mais und Sorghum im Jahr 2012 (N = Anzahl Sorten je Standort; Mais: Atletico, LG 32.16; Sudangrashybride: Lussi; Futterhirse: Hercules, KWS Tarzan; *an den Standorten zusätzlich Futterhirse KWS Zerberus)

Aus dem Vergleich der im Batchversuch gemessenen mit den nach WEIßBACH kalkulierten Methanausbeuten lässt sich ableiten, dass die verwendete Formel, welche für die Abschätzung des Gasbildungspotenzials bei Mais konzipiert wurde, offensichtlich nicht ohne Weiteres auf Sorghum übertragen werden kann. Die Methanausbeuten bei Sorghum wurden anhand dieser Formel oftmals deutlich unterschätzt und somit die Abweichungen im Gasbildungsvermögen zum Mais deutlich stärker dargestellt als dies in den Batchversuchen nachgewiesen werden konnte. Offensichtlich sind die Mikroorganismen in der Lage, einen höheren Anteil der Rohfaserfraktion im Substrat zu nutzen als durch die Methode unterstellt wird.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die im Batchtest gemessene Gasbildung gewissen Störgrößen unterliegt (biologischer Prozess) und mit nicht unbeträchtlichen Fehlern verbunden ist (WEIßBACH 2009). Laut HEUWINKEL et al. (2009) liegt der im Batchtest anzunehmende Messfehler bei rund 10 %. Bei der Messung mit dem HBT ist nach HELLFRICH & OECHSNER (2003) mit einem Messfehler von 7 % zu rechnen. Eine Herausforderung des Verfahrens besteht angesichts der geringen Substratmengen insbesondere in der Einwaage einer repräsentativen Probe und einer guten Durchmischung des Inokulums. Die Arbeitsqualität des HBT am LfULG wurde 2013 erstmals durch die Teilnahme an Ringversuchen geprüft.

Betrachtungen zur Flächeneffizienz

Zielgröße beim Anbau von Energiepflanzen zur Biogasproduktion ist der Methanhektarertrag. Dieser steht in direktem Zusammenhang mit der produzierten Strommenge und somit letztendlich auch zum Erlös. Zahlreiche Untersuchungen im Rahmen von Energiepflanzenprojekten haben gezeigt, dass der Methanhektarertrag von Biogassubstraten maßgeblich durch die Höhe des Trockenmasseertrages und weniger durch die Methanausbeute bestimmt wird. Beim Vergleich der Kulturen Sorghum und Mais hinsichtlich der Effizienz der Flächennutzung ist das fruchtartspezifische Gasbildungspotenzial hingegen schon von Relevanz. Dieses unterliegt, wie sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen gezeigt hat, zwar gewissen Umwelteinflüssen, ist jedoch in erster Linie genetisch determiniert. Weil Sorghum im Gegensatz zum Mais keinen hochverdaulichen Kolben ausbildet, ist grundsätzlich mit Nachteilen in der Methanausbeute gegenüber Mais zu rechnen, welche in Abhängigkeit von der Kolbenausbildung beim Mais und dem Abreifegrad bei Sorghum unterschiedlich hoch ausfallen können. Folglich ist eine annähernd mit Mais vergleichbare Flächeneffizienz im Sorghumanbau, wie in Abbildung 80 exemplarisch dargestellt, mit den derzeitigen biomassebetonten Sorten nur über eine sichtbar höhere Ertragsleistung (Mehrertrag: 1,2 t oTM/ha bis > 2,4 t oTM/ha) zu erreichen. Weil die Vorzüglichkeit des Maises im Methanhektarertrag aufgrund der Vorteile in der Methanausbeute gegenüber Sorghum mit steigendem Flächenertrag zunimmt, erscheint dies am ehesten auf den leichten, sommertrockenen Standorten, auf denen nicht durchgängig mit hohen Maiserträgen zu rechnen ist, möglich.

Die qualitätsbetonte Körnerhirsesorte Farmsugro 180 erreichte in den beiden Prüffahren bei guter Einkörnung und Kornausreife sichtbare Vorteile in der Methanausbeute im Vergleich zu den futterbetonten Sorghumsorten (kalkuliert nach WEIßBACH 2008), konnte jedoch die deutlichen Nachteile im TM-Ertrag in der Regel nicht ausgleichen (siehe Anhang 61).

Die erzielten Methanhektarerträge von Sorghum und Mais, die mittels WEIßBACH-Formeln errechnet wurden, können in Anhang 59 und Anhang 60 eingesehen werden.

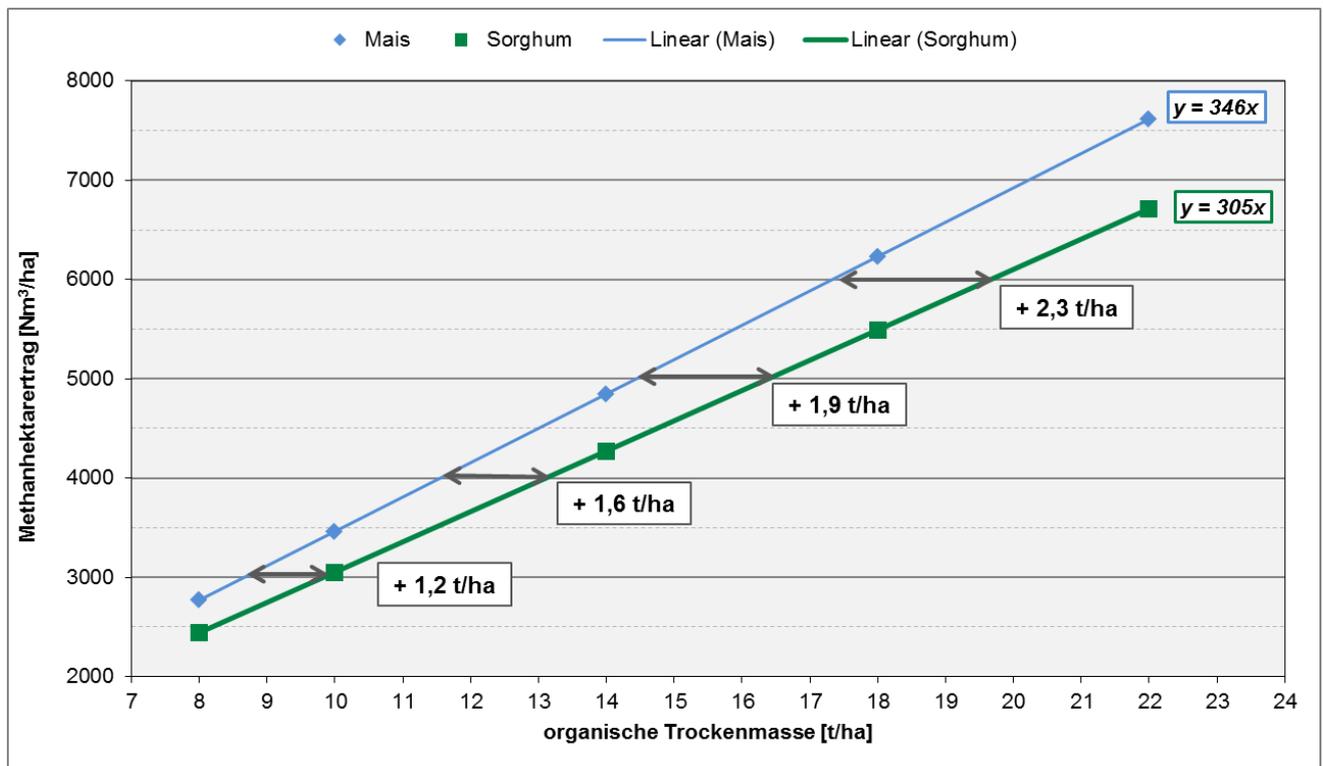


Abbildung 80: Methanhektarertrag von Mais und Sorghum in Abhängigkeit von der produzierten organischen Trockenmasse (Methanausbeuten: Mais = 346 NI/kg oTS, Sorghum = 305 NI/kg oTS)

In Tabelle 42 sind die mittels Batch-Test ermittelten Methanausbeuten und erzielten Methanhektarerträge von Mais und Sorghum für die untersuchten Standorte und Versuchsjahre dargestellt (s. Abbildung 77, Abbildung 78). Zum Vergleich wurden diesen die nach WEIßBACH berechneten Werte gegenüber gestellt.

Unter für Sorghum günstigen Bedingungen, wie sie im Jahr 2011 an den D-Süd Standorten in Trossin und Drößig bzw. 2012 auf den Lössstandorten Bernburg und Straubing vorherrschten, waren die ertragsstarken Futterhirsen in der Lage, den Mais deutlich im TM-Ertrag zu übertreffen und somit annähernd vergleichbare Methanhektarerträge (5.300–7.000 Nm³/ha) zu erbringen. Auch auf dem frisch verkippten Rekultivierungsstandort in Welzow zeigten sich die Futterhirsen dem Mais unter sehr trockenen Anbaubedingungen im Jahr 2012 ertraglich überlegen und somit hinsichtlich Flächeneffizienz konkurrenzfähig. Unter vergleichsweise kühleren und somit für Sorghum ungünstigeren Anbaubedingungen zeigte der Mais aufgrund der deutlichen Ertragsvorteile eine sichtbar bessere Flächeneffizienz. Hier wäre im konkreten Fall wesentlich mehr Fläche notwendig, um den Mais als Biogassubstrat 1 : 1 in der Biogasanlage zu ersetzen. Für Betriebe, die unter derartigen Standortbedingungen wirtschaften und nach EEG 2012 (Maisdeckel) vergütet werden, könnte der Anbau von Sorghum, im Zweikulturnutzungssystem nach Grünschnittroggen oder Wintergerste-GPS, bei Wahl ausgesprochen frühreifer Sorten (Lussi) dennoch eine überlegenswerte Möglichkeit sein, die Flächenproduktivität zu steigern. Der Anteil der Flächenbindung für den Energiepflanzenanbau im Betrieb ließe sich somit möglichst gering halten, wodurch mehr Fläche für den Anbau lukrativer Marktfrüchte zur Verfügung stünde.

Tabelle 42: Kalkulierte und gemessene Methanhektarerträge von Sorghum auf ausgewählten Standorten im Vergleich zu Mais, Sortenversuch 2011/12 (fett = TM-Ertrag Sorghum > TM-Ertrag Mais; grün = Methanertrag Sorghum relativ im Vergleich zu Mais > 90

Jahr	Standort	Fruchtart	TM-Ertrag dt/ha	WEIßBACH		HBT		HBT rel. im Vergleich zu WEIßBACH
				Methan- ausbeute NI/kg oTS	Methan- ertrag Nm ³ /ha	Methan- ausbeute NI/kg oTS	Methan- ertrag Nm ³ /ha	
2011	Gülzow (D-Nord)	Mais	247	354	8368	341	8046	96
		SGH	140	263	3468	305	4018	116
		Futterhirse	162	283	4260	314	4742	111
2011	Trossin (D-Süd)	Mais	179	355	6083	329	5651	93
		SGH		239		283		
		Futterhirse	189	291	5316	295	5391	101
2011	Drößig (D-Süd)	Mais	150	375	5392	349	5018	93
		SGH	159	288	4369	294	4467	102
		Futterhirse	195	281	5214	289	5352	103
2011	Straubing (Löß)	Mais	251	348	8269	344	8160	99
		SGH	167	292	4536	314	4870	107
		Futterhirse	210	280	5522	298	5895	107
2012	Gülzow (D-Nord)	Mais	182	361	6271	345	5983	95
		SGH	135	290	3714	315	4041	109
		Futterhirse	145	296	4061	318	4371	108
2012	Trossin (D-Süd)	Mais	142	325	4357	330	4422	102
		SGH	114	261	2834	298	3232	114
		Futterhirse	122	300	3444	317	3627	105
2012	Gadegast (D-Süd)	Mais	241	359	8254	349	8023	97
		SGH	185	289	5106	306	5406	106
		Futterhirse	156	287	4278	326	4855	113
2012	Welzow (K)	Mais	106	341	3467	343	3482	100
		SGH	74	245	1713	319	2229	130
		Futterhirse	119	283	3169	316	3531	111
2012	Bernburg (Löß)	Mais	225	356	7547	339	7179	95
		SGH	192	286	5150	293	5270	102
		Futterhirse	244	242	5477	292	6603	121
2012	Straubing (Löß)	Mais	227	357	7670	349	7496	98
		SGH	171	280	4518	285	4594	102
		Futterhirse	238	285	6414	313	7030	110
2012	Poppenburg (Löß)	Mais	256	356	8673	365	8901	103
		SGH	152	280	4007	307	4398	110
		Futterhirse	179	275	4656	322	5451	117
2012	Dornburg (Löß)	Mais	255	357	8624	370	8944	104
		SGH	162	304	4654	296	4531	97
		Futterhirse	177	272	4485	322	5308	118
2012	Friemar (Löß)	Mais	236	-	-	347	7780	-
		SGH	151	-	-	323	4633	-
		Futterhirse	196	-	-	325	6052	-

5.3.2 Wirtschaftlichkeit des Sorghumanbaus

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Auswertungen der Sortenversuche und Praxisbetriebe für den Versuchszeitraum 2011–2013 vorgestellt werden. Den Auswertungen liegen die in Kapitel 5.2.3 genannten ökonomischen Annahmen zu Grunde.

Sortenversuche

In der Sortenprüfung kam es im Laufe des dreijährigen Untersuchungszeitraumes zu einigen Veränderungen im Sortiment. Eingang in die ökonomische Auswertung fanden nur Sorten bzw. Zuchtstämme, die nach mindestens zweijähriger Prüfung als praxisrelevant eingestuft wurden und dem Landwirt aktuell bzw. zukünftig zur Verfügung stehen (Tabelle 43).

Tabelle 43: Berücksichtigte Sorten in der ökonomischen Auswertung

Sorte	Mais		Sudangrashybride			Futterhirse					
	Atletico	LG 32.16	Lussi	KWS Freya	KWS Sole	KWS Zerberus	Hercules	Amiggo	KWS Tarzan	KWS Merlin	EUG 221F
2011	x	x	x	x		x	x	x			
2012	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2013	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Als Vergleichskriterium für die Wirtschaftlichkeit der geprüften Sorghumarten und -sorten untereinander sowie in Relation zum Mais diente der Deckungsbeitrag. Die Berechnung der Deckungsbeiträge erfolgte durch das EVA –Teilprojekt 3 „Ökonomische Begleitforschung“ (AURBACHER, KORNTATZ & MÜLLER)

Deckungsbeiträge von Mais und Sorghum in den Anbauregionen

In Tabelle 44 bis Tabelle 46 sind die erzielten Deckungsbeiträge von Sorghum und Mais an den jeweiligen Versuchsstandorten dargestellt. Die in der Sortenprüfung vorgenommene Einteilung der Standorte nach Anbauregionen wird für die Darstellung der betriebswirtschaftlichen Ergebnisse beibehalten. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse sind in Ergänzung zu den Deckungsbeiträgen die TM-Erträge und -gehalte dargestellt. Alle Angaben beziehen sich auf das Mittel der in der Auswertung berücksichtigten Sorten (Tabelle 43).

In der **Anbauregion D-Nord** erwies sich der Mais aufgrund seiner hohen und weitgehend stabilen TM-Erträge in Kombination mit überwiegend günstigen TM-Gehalten zur Ernte (28–35 % TM) auf allen Standorten und in allen Jahren als mit Abstand wirtschaftlichste Kultur (DB = 746 €/ha im Mittel der Standorte und Jahre). Die Sorghumhirsen erbrachten durchgängig positive Deckungsbeiträge. Diese lagen im Mittel der Jahre zwischen 167 €/ha bei den Sudangrashybriden am Standort Gülzow und 343 €/ha bei den Futterhirschen in Dasselsbruch. Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit zwischen den beiden Sorghumarten zeigten sich vor allem am Standort Dasselsbruch. Hier wiesen die spätreifen, massewüchsigen Futterhirschen aufgrund ihrer hohen TM-Erträge (+ 19 dt/ha im Mittel der Jahre) bei überwiegend akzeptablen TS-Gehalten zur Ernte in allen Versuchsjahren Vorteile im Deckungsbeitrag (105 €/ha im Mittel) gegenüber den frühreifen Sudangrashybriden auf. In Gülzow und Rockstedt wurden die Futterhirschen hingegen oftmals sehr nass geerntet, wodurch deren Vorteile im Erlös durch die höheren Ernte-, Transport- und Gärrestausrückführungskosten zum Teil aufgebraucht wurden.

Tabelle 44: Deckungsbeiträge D-Nord-Standorte, 2011–2013 (Sortenmittel)

	Mais			Sudangrashybride			Futterhirse		
	TM-Ertrag [dt/ha]	TM-Gehalt [%]	DB [€/ha]	TM-Ertrag [dt/ha]	TM-Gehalt [%]	DB [€/ha]	TM-Ertrag [dt/ha]	TM-Gehalt [%]	DB [€/ha]
Gülzow	208	33,1	703	138	31,5	167	152	26,2	195
2011	247	33,6	956	153	29,4	242	166	25,4	272
2012	182	30,9	495	140	32,6	154	145	26,2	131
2013	194	34,9	657	123	32,4	105	145	27,1	182
Rockstedt	203	33,2	740	149	29,1	249	162	25,1	274
2011	206	28,7	686	148	28,0	235	154	23,4	220
2012	213	33,6	838	151	29,3	272	161	26,6	308
2013	190	37,3	697	149	30,1	241	170	25,2	295
Dasselsbr.	215	35,0	794	153	28,6	238	172	27,9	343
2011	241	34,7	942	169	28,7	304	184	30,8	436
2012	224	29,6	795	149	27,7	211	164	26,7	289
2013	181	40,5	647	143	29,3	200	168	26,4	304
D-Nord	209	33,8	746	147	29,7	218	162	26,4	271
Min	181	28,7	495	123	27,7	105	145	23,4	130
Max	247	40,5	956	169	32,6	304	184	30,8	436

Auf den trockenen **D-Süd-** und **K-Standorten** erzielte der Mais aufgrund der geringeren TM-Erträge erwartungsgemäß niedrigere Deckungsbeiträge (411 €/ha im Mittel der Standorte und Jahre) als auf den D-Nord-Standorten bei deutlichen Unterschieden zwischen den Standorten und Anbaujahren. Bemerkenswert waren vor allem die Deckungsbeiträge in Güterfelde, welche sich für diesen leichten Standort im dreijährigen Versuchszeitraum vergleichsweise hoch und stabil darstellten (638 €/ha) sowie der, durch die Jahreswitterung begünstigt, außerordentlich hohe Deckungsbeitrag (1.020 €/ha) am Standort Gadegast im Jahr 2012. Die starke Sommertrockenheit im Jahr 2013 führte an nahezu allen Standorten (Ausnahme Güterfelde) zu deutlichen Einbußen in der Wirtschaftlichkeit. Unter vergleichsweise schwierigen Anbaubedingungen auf dem jungen Rekultivierungsstandort in Welzow erbrachte der Mais erwartungsgemäß die geringsten Deckungsbeiträge (170 €/ha).

Die Sorghumhirsen blieben standort- und jahresabhängig unterschiedlich stark im Deckungsbeitrag hinter dem Mais zurück, wobei sich die ertragreicheren Futterhirsen im Mittel der Standorte und Jahre ökonomisch etwas besser (DB = 186 €/ha) darstellten als die Sudangrashybriden (DB = 135 €/ha). Lediglich im witterungsbegünstigten Jahr 2011 waren die massewüchsigen Futterhirsesorten standortabhängig in der Lage, im Deckungsbeitrag mit dem Mais zu konkurrieren (Welzow) bzw. ihn sogar zu übertreffen (Drößig, Trossin). Bei trockneren Witterungsbedingungen in den Folgejahren konnten die Futterhirsen diese Ergebnisse in der Form nicht mehr bestätigen. Mit Ausnahme der Standorte Güterfelde und Welzow erbrachten sie in den Jahren 2012 und 2013 aufgrund fehlender bzw. nur geringer Ertragsvorteile und oftmals geringerer TS-Gehalte zur Ernte auch keine wirtschaftlichen Vorteile im Vergleich zu den Sudangrashybriden mehr. Im Jahr 2012 waren die Sudangrashybriden an den Standorten Gadegast und Drößig sogar die wirtschaftlichere Sorghumart. Das Jahr 2013 war vielerorts (nicht nur in der Anbauregion D-Süd) durch extreme Niederschlagsereignisse in der Auflaufphase von Sorghum (Ende Mai, Anfang Juni) gekennzeichnet, die sich nachhaltig auf den Feldaufgang und die Jugendentwicklung der Bestände auswirkten. Auf den Versuchsstandorten Gadegast und Welzow war angesichts ungenügender Feldaufgänge eine Neuansaat Anfang Juni nötig. In Trossin wurden die angestrebten Bestandesdichten aufgrund der witterungsbedingten Probleme in der Auflaufphase ebenfalls nicht erzielt. Die Ergebnisse des Jahres 2013 an diesen Standorten sind vor dem Hintergrund der extremen Witterungsbedingungen entsprechend einzuordnen.

Tabelle 45: Deckungsbeiträge D-Süd + Kippenstandorte, 2011–2013 (gelb = DB Sorghum ≥ DB Mais)

	Mais			Sudangrasyhybride			Futterhirse		
	TM-Ertrag [dt/ha]	TM-Gehalt [%]	DB [€/ha]	TM-Ertrag [dt/ha]	TM-Gehalt [%]	DB [€/ha]	TM-Ertrag [dt/ha]	TM-Gehalt [%]	DB [€/ha]
Trossin	148	33,3	327	103	31,7	-37	133	27,1	102
2011	179	31,5	482				198	34,0	516
2012	143	37,0	348	115	33,0	28	120	26,4	12
2013	124	31,6	150	91	30,4	-102	81	20,8	-222
Güterfelde	199	30,4	638	147	29,4	202	184	27,4	389
2011	207	32,5	721	166	30,0	317	206	29,0	532
2012	206	29,3	672	146	28,2	192	191	26,0	397
2013	184	29,5	520	130	29,8	96	155	27,3	237
Dröbig	146	33,9	341	141	30,9	184	147	26,0	183
2011	150	35,4	374	165	28,6	285	191	28,8	439
2012	164	34,1	459	162	33,9	321	150	25,1	174
2013	125	32,2	189	95	30,3	-53	102	24,2	-63
Gadegast	174	37,2	554	125	34,8	145	126	28,4	104
2011	158	34,0	415	128	34,0	135	149	30,7	221
2012	242	44,9	1020	184	41,1	478	156	30,9	249
2013	123	32,9	227	64	29,3	-176	73	23,8	-157
Welzow	125	32,8	170	113	31,7	21	135	28,8	127
2011	143	31,4	273	144	30,3	177	160	28,5	256
2012	107	34,3	67	81	33,0	-135	109	29,1	-2
2013									
Grünwalde	153	33,8	359	151	29,7	198	154	26,5	191
2011	165	36,3	457	167	29,2	277	173	29,3	332
2012	170	35,8	479	169	34,5	334	168	25,7	240
2013	125	29,3	142	117	25,5	-18	120	24,4	0
D-Süd + K	159	33,6	411	133	31,3	135	147	27,3	186
Min	107	29,3	67	64	25,5	-176	73	20,8	-222
Max	242	44,9	1020	184	41,1	478	206	34,0	532

Auf den fruchtbaren **Lössstandorten** erbrachte der Mais bei entsprechend hohem Ertragsniveau erwartungsgemäß sehr gute Deckungsbeiträge. Diese lagen auf den Standorten Bernburg, Straubing und Poppenburg zwischen 797 und 854 €/ha. Auf den Thüringer Versuchsstandorten fiel das 3-jährige Mittel aufgrund der starken witterungsbedingten Ertragseinbußen im Versuchsjahr 2013 vergleichsweise geringer aus. Am Standort Dornburg war der Deckungsbeitrag beim Mais sogar negativ.

Die Sorghumarten schnitten in Abhängigkeit von den Standortbedingungen zum Teil sehr unterschiedlich ab. Die besten Ergebnisse erbrachten die massewüchsigen Futterhirschen auf den vergleichsweise warmen Standorten Bernburg und Straubing mit Deckungsbeiträgen von 521 bzw. 482 €/ha im Mittel der Jahre. Auf den kühleren Standorten Poppenburg, Dornburg und Friemar war bei den Futterhirschen hingegen, bedingt durch die erheblich geringeren TM-Erträge und TS-Gehalte, ein deutlich geringerer Deckungsbeitrag zu verzeichnen (203–311 €/ha). Die Sudangrasyhybriden erreichten standortabhängig Deckungsbeiträge zwischen 174 €/ha (Poppenburg) und 341 €/ha (Friemar). In Dornburg schnitten sie vergleichbar, in Friemar sogar besser als die Futterhirschen ab.

Tabelle 46: Deckungsbeiträge Lösstandorte, 2011–2013

	Mais			Sudangrasyhybride			Futterhirse		
	TM-Ertrag [dt/ha]	TM-Gehalt [%]	DB [€/ha]	TM-Ertrag [dt/ha]	TM-Gehalt [%]	DB [€/ha]	TM-Ertrag [dt/ha]	TM-Gehalt [%]	DB [€/ha]
Bernburg	235	32,6	797	183	33,5	337	220	30,6	521
2011	261	35,8	1013	196	33,7	425	224	30,7	564
2012	225	30,0	707	189	33,2	370	233	30,6	595
2013	221	32,0	672	165	33,7	217	204	30,5	405
Straubing	224	36,0	829	169	30,9	307	204	28,9	482
2011	251	37,6	1045	173	32,0	362	204	29,9	518
2012	228	30,6	777	178	27,9	293	235	28,4	612
2013	192	39,7	664	158	32,8	266	173	28,4	316
Poppenburg	235	35,5	854	156	28,6	174	173	25,9	239
2011	234	33,9	819	168	28,8	235	191	28,7	371
2012	256	38,4	1023	155	27,5	153	173	25,2	222
2013	217	34,1	720	147	29,4	134	156	23,9	125
Dornburg	185	32,2	539	148	31,5	202	156	25,9	203
2011	220	31,4	734	154	29,2	224	170	26,7	291
2012	255	36,3	1013	175	30,9	327	171	26,6	278
2013	81	29,1	-130	114	34,6	56	127	24,4	39
Friemar	205	29,2	612	178	30,1	341	182	25,3	311
2011	236	27,8	745	196	29,0	399	183	26,3	319
2012	236	29,9	819	166	29,5	283	181	24,1	293
2013	145	30,0	273	173	31,8	342	181	25,5	319
Löß	217	33,1	726	167	30,9	272	187	27,3	351
Min	81	27,8	-130	114	27,5	56	127	23,9	39
Max	261	39,7	1045	196	34,6	425	235	30,7	612

Tiefenanalyse

Der wirtschaftliche Erfolg der Energiepflanzenproduktion für die Biogaserzeugung hängt neben den erzielten Trockenmasseerträgen vor allem von den Produktionskosten und somit von den wertbestimmenden Eigenschaften der Substrate, allen voran der Methanausbeute, ab (KORNATZ 2012). Dies lässt sich am Beispiel des Standortes Grünwalde, an dem die Sorghumhirsen im Mittel der drei Versuchsjahre vergleichbare TM-Erträge wie der Mais erbracht haben, sehr gut nachvollziehen (Tabelle 47, Abbildung 81).

Der höhere Deckungsbeitrag des Maises im Vergleich zu den beiden Sorghumarten (Plus von 162 bzw. 169 €/ha) ist nahezu vollständig durch die höhere Wertigkeit des Substrats und die damit verbundenen Mehrerlöse zu erklären. Weil das Anbauverfahren von Sorghum sehr stark dem des Maises ähnelt, sind fruchtart-spezifische Unterschiede in den Anbaukosten vorrangig bei den erntemengenabhängigen Kosten für Ernte, Transport und Gärrestausbringung (entsprechen ca. 45 bis 55 % der Direkt- und Arbeitserledigungskosten) festzustellen. So verursachten die spätreifen Futterhirsen in Grünwalde bei gleichem TM-Ertrag, aber deutlich geringeren TS-Gehalten zur Ernte (26,4 % im Vgl. zu 33,8 % bei Mais) sichtbar höhere Ernte- und Gärrestausbringungskosten (88 €/ha in Summe) als der Mais. Bei den besser abgereiften Sudangrasyhybriden (29,7 % TS) fielen die Mehrkosten hingegen sichtbar geringer aus (42 €/ha).

Kostenvorteile wiesen die Sorghumhirsen hingegen beim Saatgut auf, das im Vergleich zu Mais günstiger war, wobei die Saatgutpreise in Abhängigkeit vom Züchterhaus und Alter der Sorte zum Teil schwankten.

Tabelle 47: Erlös, Direkt-, AeEr-Kosten und Deckungsbeitrag von Sorghum am Standort Grünewalde im Vergleich zu Mais, 2011–2013 (Sortenmittel)

		Mais	Sudangrashybride	Futterhirse
TM-Ertrag	dt/ha	153	151	154
TS-Gehalt	%	33,8	29,7	26,4
CH ₄ -Ertrag	Nm ³ /ha	4239	3750	3812
Erlös	€/ha	1399	1237	1258
Saatgut	€/ha	172	117	118
N-Dünger	€/ha	146	165	146
PSM	€/ha	57	57	57
Ernte	€/ha	325	344	368
Gärrestausbringung	€/ha	107	130	152
sonst. Arbeitserledigungsk.	€/ha	233	228	226
Direkt- und AeEr-Kosten	€/ha	1039	1040	1067
Direkt- und AeEr-Kosten	€/Nm ³ CH ₄	0,245	0,277	0,280
Deckungsbeitrag	€/ha	359	198	191

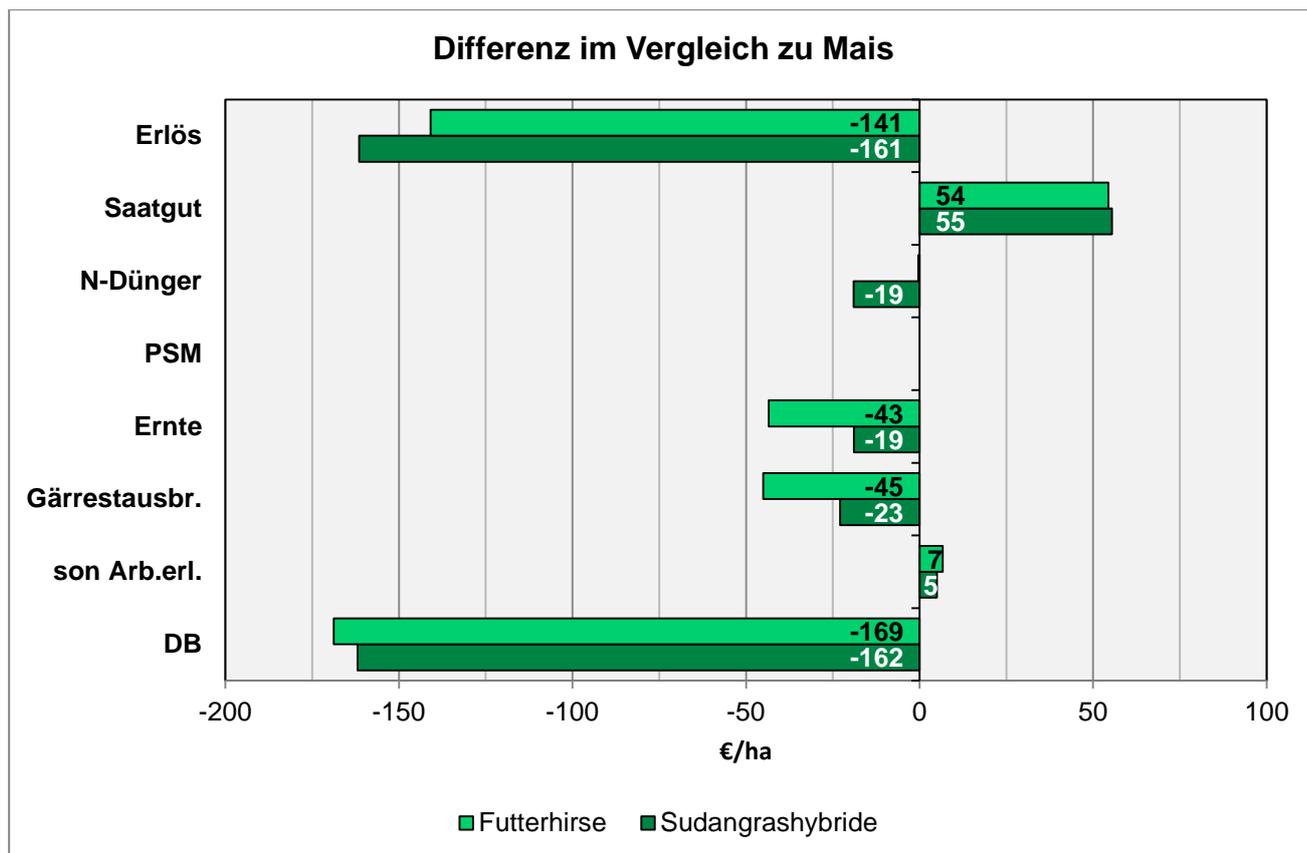


Abbildung 81: Abweichungen des Erlöses, der Direkt- und AeEr-Kosten und des Deckungsbeitrages bei Sorghum am Standort Grünewalde im Vergleich zu Mais, 2011–2013 (Sortenmittel)

Deckungsbeiträge unter Berücksichtigung der Flächenkosten

Gemäß Definition finden die Kosten für die Produktionsfläche im Deckungsbeitrag keine Berücksichtigung, weil diese für die zu vergleichenden Anbauoptionen identisch und somit für die Bemessung deren wirtschaftlicher Vorzüglichkeit nicht relevant sind. Der Faktor Boden stellt jedoch die Grundlage für das Produktionsverfahren dar und ist somit bei der ökonomischen Bewertung zu berücksichtigen. Vor allem wenn es darum geht, die ökonomische Vorzüglichkeit (Methanentstehungskosten) unterschiedlicher Substrate an einem Standort zu bewerten bzw. zwischen verschiedenen Standorten zu vergleichen.

Durch Abzug der Flächenkosten (FK) vom Deckungsbeitrag erhält man den „flächenkostenfreien Deckungsbeitrag“. Bei den Flächenkosten wird vereinfachend nur der Pachtzins betrachtet, die Kosten für Grundsteuer

bleiben unberücksichtigt. In Abbildung 82 ist der flächenkostenfreie Deckungsbeitrag bei Mais und Sorghum an den unterschiedlichen Versuchsstandorten im Mittel der Versuchsjahre dargestellt. Weil sich der Pachtzins nicht allein aus dem Ertragspotenzial eines Standortes ergibt, sondern auch durch andere Gründe, wie beispielsweise der Viehdichte, führt ein hoher Deckungsbeitrag nicht zwangsläufig zu einem hohen flächenkostenfreien Deckungsbeitrag. Die Angaben zu den Pachtpreisen entsprechen dem aktuellen Niveau für Neuverpachtungen in den jeweiligen Anbauregionen.

Mit dem Anbau von Mais waren an nahezu allen Standorten positive flächenkostenfreie Deckungsbeiträge realisierbar, die eine Entlohnung der betrieblichen Gemeinkosten ermöglichen. In Niedersachsen standen den durchschnittlichen Deckungsbeiträgen bei Sorghum vergleichsweise hohe Pachtpreise entgegen, sodass die flächenkostenfreien Deckungsbeiträge durchgängig stark negativ ausfielen. Bei deutlich geringerem Pachtpreiseniveau in der Anbauregion D-Süd und K konnte Sorghum nach Abzug der Flächenkosten hingegen oftmals (z. T. abhängig von der Sorghumart) ein leichtes bzw. in Güterfelde sogar ein deutliches Plus verzeichnen. Die vergleichsweise höheren Deckungsbeiträge der Hirsen in Bernburg und Friemar (Löss) wurden durch den höheren Pachtzins nahezu aufgebraucht.

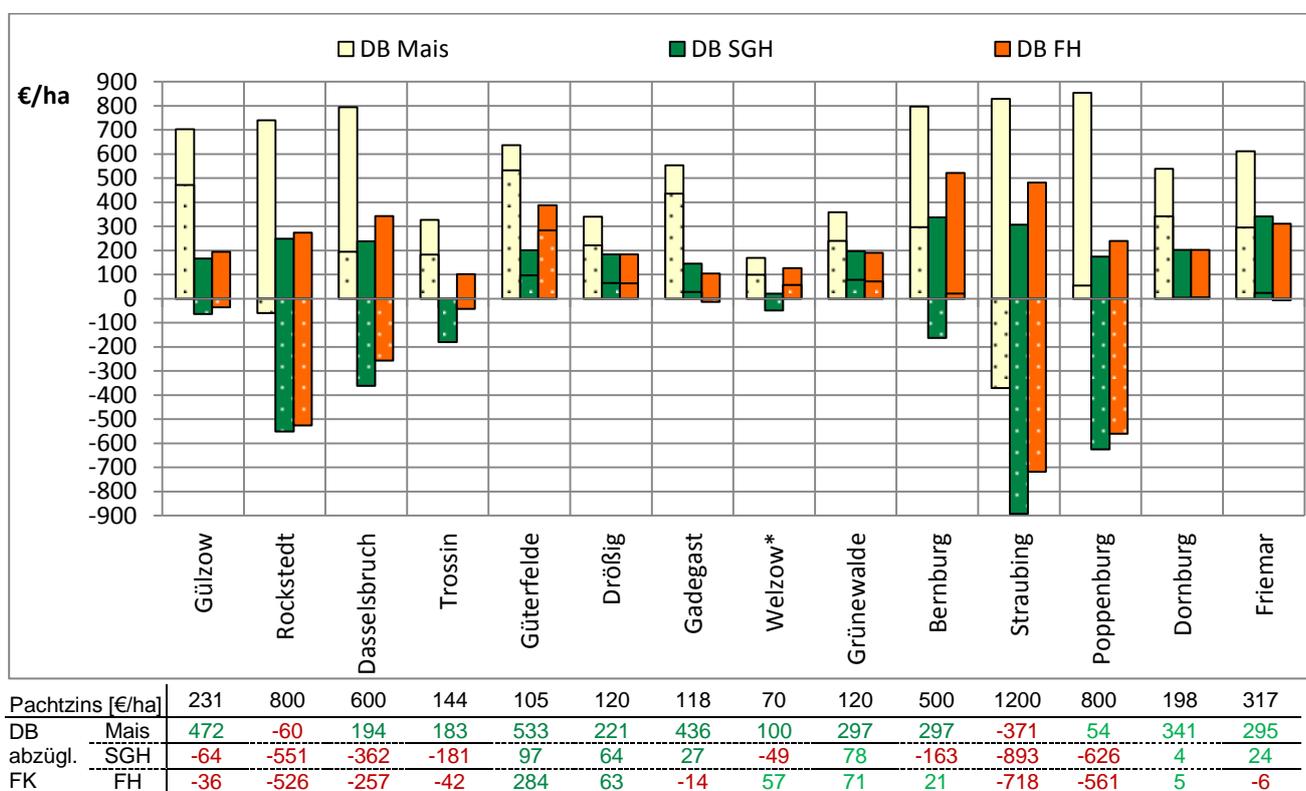


Abbildung 82: Flächenkostenfreie Deckungsbeiträge (€/ha) von Mais und Sorghum an den Versuchsstandorten (*zweijährige Ergebnisse)

Sortenbetrachtung

Die Sorghumarten unterscheiden sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Abreife in ihrem genetisch fixierten Ertragspotenzial. Im Vergleich zu den massewüchsigen Futterhirsen zeichnen sich die geprüften Sudangras-hybridsorten durch eine deutlich frühere und weitgehend sichere Abreife, auch unter kühlen Standortbedingungen, bei jedoch vergleichsweise geringerer Ertragsfähigkeit aus. Auch innerhalb der Sorghumarten, vorzugsweise bei den Futterhirsen, gibt es reifebedingte Unterschiede in der Ertragsleistung der Sorten. Ob das höhere Ertragspotenzial der spätreifen Futterhirsesorten tatsächlich umgesetzt werden kann bzw. ob diese Sorten in der vorhandenen Vegetationszeit ausreichende TS-Gehalte zur Ernte realisieren können, wird maß-

geblich durch das Wasser- und Wärmeangebot am Standort bestimmt. Unterschiede im Deckungsbeitrag zwischen den Sorten kommen vorrangig durch unterschiedliche Erlöse, aber auch durch sortenbedingte Abweichungen in den Anbaukosten zu Stande. Weil für alle Sorghumarten und -sorten eine einheitliche Methan- ausbeute unterstellt wurde, steht der Erlös einer Sorte in direktem Zusammenhang mit der Flächenleistung. Kostenseitig spiegeln sich vor allem die TS-Gehalte der Sorten zur Ernte (Ernte-, Transport- und Gärresta- bringungskosten), aber auch die Saatgutpreise wider. Letztere stehen zwar nicht zwingend in Zusammenhang mit der erbrachten Leistung der Sorte, sind jedoch bei der ökonomischen Betrachtung zu berücksichtigen.

In Tabelle 48 sind die im Prüfzeitraum 2011–2013 erzielten Deckungsbeiträge der drei- und zweijährig geprüf- ten Sorghumsorten in Relation zum Gesamtsortiment (Abweichung in €/ha) dargestellt. Je höher die Abwei- chung im Deckungsbeitrag einer Sorte am Standort im Vergleich zum restlichen Sortiment ist, desto höher ist ihre relative ökonomische Vorzüglichkeit für derartige Anbaubedingungen. Als Referenz für den Deckungsbei- trag der Sorghumsorten ist zusätzlich der mittlere Deckungsbeitrag der beiden Maissorten angegeben. Für die Standorte Trossin, Welzow und Gadegast wurde aufgrund der starken Probleme bei der Etablierung der Ver- suche bzw. der sehr heterogenen Bestandesentwicklung im Jahr 2013 (Erfassung von Sorteneffekten schwer möglich) nur das zweijährige Mittel bzw. das Ergebnis des Versuchsjahres 2012 für den Sortenvergleich he- rangezogen. Detaillierte Angaben zum wirtschaftlichen Abschneiden der beschriebenen Sorten in den einzel- nen Versuchsjahren sind Anhang 62 bis Anhang 64 zu entnehmen.

Grundsätzlich war **an allen Standorten ein sichtbarer Sorteneinfluss erkennbar**, der in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten unterschiedlich stark ausgeprägt war. Allen voran auf den warmen Löss- standorten in Bernburg und Straubing, aber auch in Güterfelde, Welzow und Dasselsbruch, zeigten die mas- sebetonten Sorten Hercules (dreijähriges Mittel) und KWS Tarzan (zweijähriges Mittel) sehr deutliche Vorteile im Deckungsbeitrag von zum Teil weit über 100 €/ha im Vergleich zum restlichen Sortiment.

Auf den kühleren Standorten Gülzow, Rockstedt, Poppenburg, Dornburg und Friemar waren die Unterschiede im Deckungsbeitrag zwischen den Sorten vergleichsweise geringer. Auch hier zeigte die Sorte Hercules neben der Sudangrashybride Lussi leichte Vorteile in der Wirtschaftlichkeit. Diese kommen jedoch bei beiden Sorten vordergründig durch die vergleichsweise geringeren Saatgutkosten zu Stande. Aussichtsreich zeigte sich unter diesen Standortbedingungen oftmals auch die neue, frühreifere Futterhirsesorte KWS Tarzan. Grundsätzlich sollte auf Standorten mit begrenztem Wärmeangebot neben der wirtschaftlichen Leistungsfä- higkeit der Sorte auch auf deren Abreifeverhalten im Hinblick auf das Erreichen silierfähiger TS-Gehalte zur Ernte geachtet werden. Denn höhere Konservierungsverluste, die bei der Silierung von sehr nassem Erntegut auftreten können, sind in der ökonomischen Auswertung nicht berücksichtigt. In diesem Zusammenhang bietet sich die frühreife Sudangrashybride Lussi an, die zudem durch den im Vergleich zu den Futterhirsen deutlich früheren Erntetermin mehr Flexibilität in der Fruchtfolge (termingerechte Aussaat der Folgefrucht) bietet.

Auf den leichten Standorten Drößig, Grünewalde, Güterfelde und Trossin brachten die massewüchsigen Fut- terhirsesorten Hercules und KWS Tarzan (standortabhängig) in der Mehrzahl der Jahre, vor allem unter deut- lich trockneren Bedingungen 2012 und 2013, keine nennenswerten wirtschaftlichen (Ertrags-)Vorteile im Ver- gleich zum Gesamtsortiment mehr bzw. schnitten zum Teil sogar schlechter ab. Vorteile in der Wirtschaftlich- keit zeigten sich nur bei guter Wasser- und Wärmeversorgung im witterungsbegünstigten Jahr 2011. Mögli- cherweise ist der Anbauerfolg dieser Sorten unter diesen Anbaubedingungen als unsicherer einzustufen, auch im Hinblick auf eine sichere Abreife. Vergleichsweise hohe Deckungsbeiträge an o. g. Standorten erbrachte wiederum die Sorte Lussi, aber auch standortabhängig die frühreifere Futterhirsesorte Amiggo.

Tabelle 48: Deckungsbeitrag der geprüften Sorghumsorten in Relation zum Gesamtsortiment (Abweichung in €/ha)

Anbauregion:	D-Nord						D-Süd							
Standort:	Gülzow		Rockstedt		Dasselsbruch		Trossin		Güterfelde		Dröbzig		Gadegast	
	2011-13	2012-13	2011-13	2012-13	2011-13	2012-13	2011-12	2012	2011-13	2012-13	2011-13	2012-13	2011-12	2012
Mais*	703	576	740	768	794	721	327	348	638	596	341	324	554	1020
Sorghum**	188	153	270	291	312	276	218	39	313	247	190	96	261	336
KWS Freya	-46	-66	-65	-75	-104	-100		-39	-148	-146	-17	30	4	66
Lussi	6	24	24	5	-39	-34		62	-77	-62	36	92	98	241
Amiggo	23	14	7	28	40	34	31	-28	53	73	55	22	-68	-87
Hercules	29	32	33	30	101	83	130	27	151	119	-40	-79	-31	-177
KWS Zerberus	-12	-3	0	12	1	17	6	-22	21	16	-35	-65	-4	-43
KWS Sole		-27		-35		-79		-57		-101		-7		118
EUG 221F		-46		-35		-48		-95		62		-53		-137
KWS Merlin		2		-18		7		-28		40		-57		-48
KWS Tarzan		23		44		28		-16		109		-9		-32
Anbauregion:	Rekultivierung						Löß							
Standort:	Welzow		Grünewalde		Bernburg		Straubing		Poppenburg		Dornburg		Friemar	
	2011-12	2012	2011-13	2012-13	2011-13	2012-13	2011-13	2012-13	2011-13	2012-13	2011-13	2012-13	2011-13	2012-13
Mais*	170	67	359	311	797	689	829	720	854	872	539	442	612	546
Sorghum**	83	-58	185	122	453	425	406	382	219	171	187	148	317	300
KWS Freya	-91	-97	-28	-35	-120	-157	-129	-138	-72	-67	-20	-22	-29	-35
Lussi	-25	-39	61	117	-75	-52	-67	-64	3	46	28	73	57	29
Amiggo	7	-9	49	53	9	17	67	76	24	40	-32	-20	13	-19
Hercules	107	115	-58	-75	177	152	117	104	78	29	41	3	10	88
KWS Zerberus	2	30	-24	-60	9	40	13	21	-33	-47	-16	-35	-50	-64
KWS Sole		-94		25		-186		-106		-60		79		44
EUG 221F		-4		-93		81		110		-15		24		-47
KWS Merlin		64		68		54		48		-6		35		-16
KWS Tarzan		141		92		106		135		14		55		97

*Mittel der zwei Maisreferenzsorten, ** Bezugsbasis Mittel der dreijährig geprüften Sorten, dunkelgrün = beste Sorte, hellgrün = zweitbeste Sorte, grün = Sudangrashybride, orange = Futterhirsen

Wirtschaftlicher Vergleich von Sorghum mit Mais

Mais hat seine wirtschaftliche Vorzüglichkeit im dreijährigen Versuchszeitraum an allen Standorten nachgewiesen. Diese resultiert maßgeblich aus dem hohen Ertragspotenzial des Maises und der im Vergleich zu Sorghum höheren Anbausicherheit im Hinblick auf die Kältetoleranz. In diesem Zusammenhang kommt dem Mais der jahrzentelange Züchtungsvorsprung deutlich zugute. Darüber hinaus bietet Mais Vorteile hinsichtlich der Substratqualität. Hier machen sich vor allem die Vorzüge in der Methanausbeute gegenüber Sorghum im Erlös bemerkbar. Hinzu kommt die im Vergleich zu den massewüchsigen Futterhirsen höhere Transportwürdigkeit. Nichtsdestotrotz zeigten die Sorghumhirsen standort- und jahresabhängig zum Teil sehr vielversprechende Ergebnisse. **In witterungsbegünstigten Jahren konnten vor allem die ertragreicheren Futterhirsen an einigen Standorten im Deckungsbeitrag mit dem Mais konkurrieren.**

Die **wirtschaftlichen Relationen zwischen Sorghum und Mais variierten** in Abhängigkeit von den Standortbedingungen und der Jahreswitterung **sehr stark**. Über den dreijährigen Versuchszeitraum gesehen, ergaben sich die geringsten Abweichungen zu Mais vordergründig auf den trockenen und warmen **D-Süd- und K-Standorten** (43 bis 249 €/ha) (Abbildung 83). Hier konnten einerseits die hohen Wärmeansprüche von Sorghum am besten, wenn auch nicht immer ausreichend, erfüllt werden. Andererseits war der Mais jahresabhängig in seiner Ertragsfähigkeit begrenzt, weil das Wasserangebot an den Standorten in entscheidenden Phasen der Ertragsbildung oftmals limitierend war. Auf dem jungen Rekultivierungsstandort Welzow schnitten die Futterhirsen im Mittel der zwei Versuchsjahre annähernd wirtschaftlich vergleichbar gegenüber Mais ab.

Der Standort Güterfelde nimmt im dreijährigen Versuchszeitraum innerhalb der Region eine Sonderstellung ein. Hier erreichten der Mais und die massewüchsigen Futterhirsen bei überwiegend günstigen Witterungsbedingungen im Mittel der Jahre vergleichsweise höhere Deckungsbeiträge als auf den anderen Standorten. Die starken Abweichungen im Deckungsbeitrag zwischen Mais und Sorghum in Gadegast (408 €/ha) sind vor allem den außergewöhnlich guten Ergebnissen des Maises im Jahr 2012 und den schlechten Ergebnissen bei Sorghum im Jahr 2013 (Neuansaat Juni) geschuldet. Auch die wirtschaftlichen Relationen am Standort Trossin sind aufgrund der schlechten Sorghumergebnisse des Jahres 2013 etwas verzerrt.

In der **Lössanbauregion** waren am ehesten günstige Relationen zwischen Sorghum und Mais auf dem warmen und trockenen Standort Bernburg, aber auch in Straubing gegeben. Unter diesen Bedingungen konnten die massewüchsigen Futterhirsen ihr sehr hohes Ertragspotenzial weitgehend ausschöpfen und sehr hohe Deckungsbeiträge erzielen. Die Abweichungen zum Maisanbau waren hierbei am niederschlagsärmeren Standort Bernburg (276 €/ha) vergleichsweise geringer als in Straubing (339 €/ha). Die deutlicheren Unterschiede in Straubing lagen jedoch auch im schwächeren Abschneiden von Sorghum im Jahr 2013 (Witterungsextreme) begründet. Auf den kühleren Lössstandorten Dornburg und Friemar in Thüringen waren die Relationen von Sorghum zu Mais im Mittel der Jahre zwar vergleichsweise günstiger als in Straubing, was jedoch hauptsächlich durch die witterungsbedingten Ertragseinbrüche des Maises im Jahr 2013 zu erklären war. Angesichts des begrenzten Wärmeangebots an diesen Standorten ist anzunehmen, dass der Mais in der Mehrzahl der Jahre deutlichere Vorteile in der Wirtschaftlichkeit gegenüber Sorghum aufweisen dürfte, ähnlich wie in den klassischen Maisanbaugebieten in Niedersachsen und Gölzow.

In Abbildung 83 ist neben dem Deckungsbeitrag der wirtschaftlicheren Sorghumart je Standort im Vergleich zu Mais zusätzlich der Deckungsbeitrag der besten Sorte dargestellt. Wie am Beispiel der Standorte Welzow, Dröbzig, Grünwalde, Güterfelde und Bernburg zu sehen ist, kann die Wirtschaftlichkeit im Sorghumanbau in Abhängigkeit von den Standortbedingungen durch eine standortangepasste Sortenwahl in gewissem Rahmen verbessert und somit die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Mais gestärkt werden.

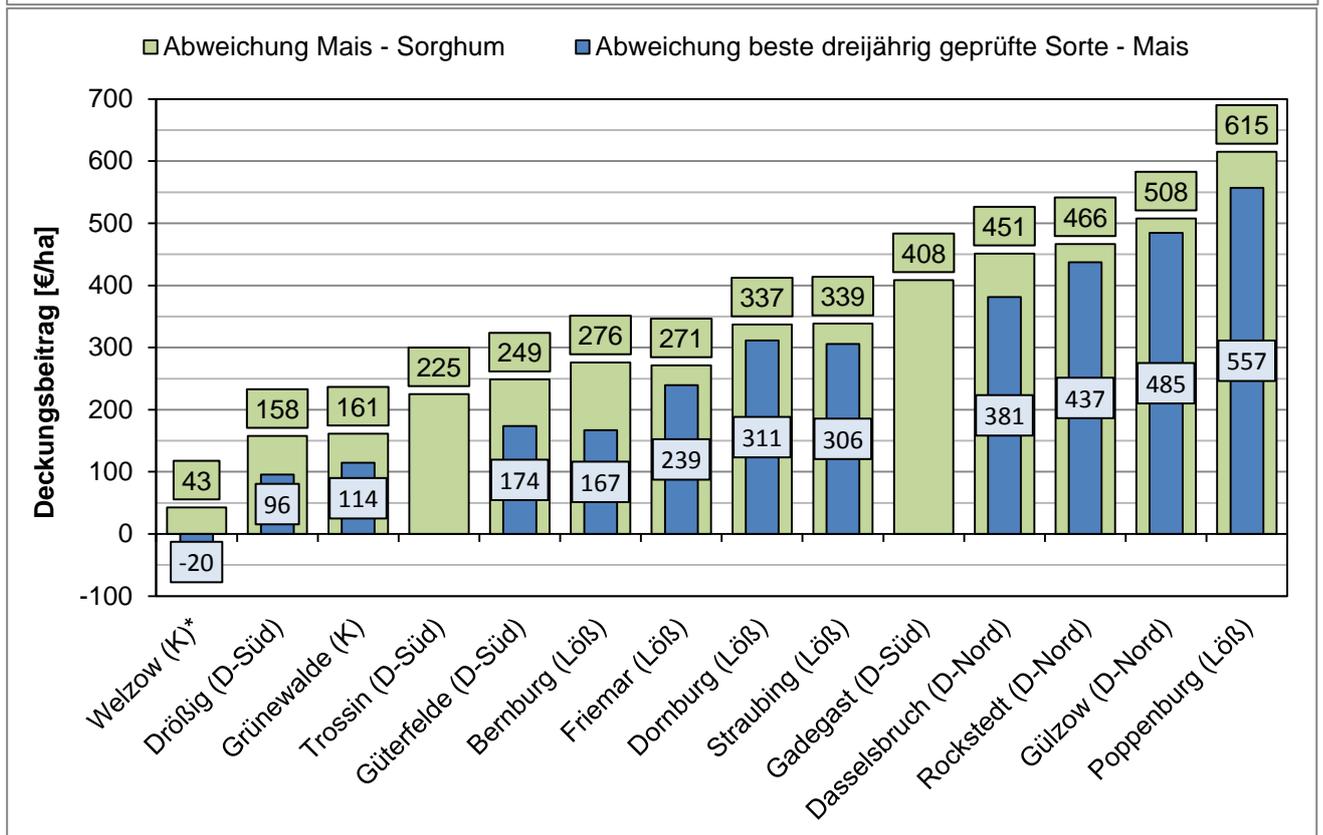
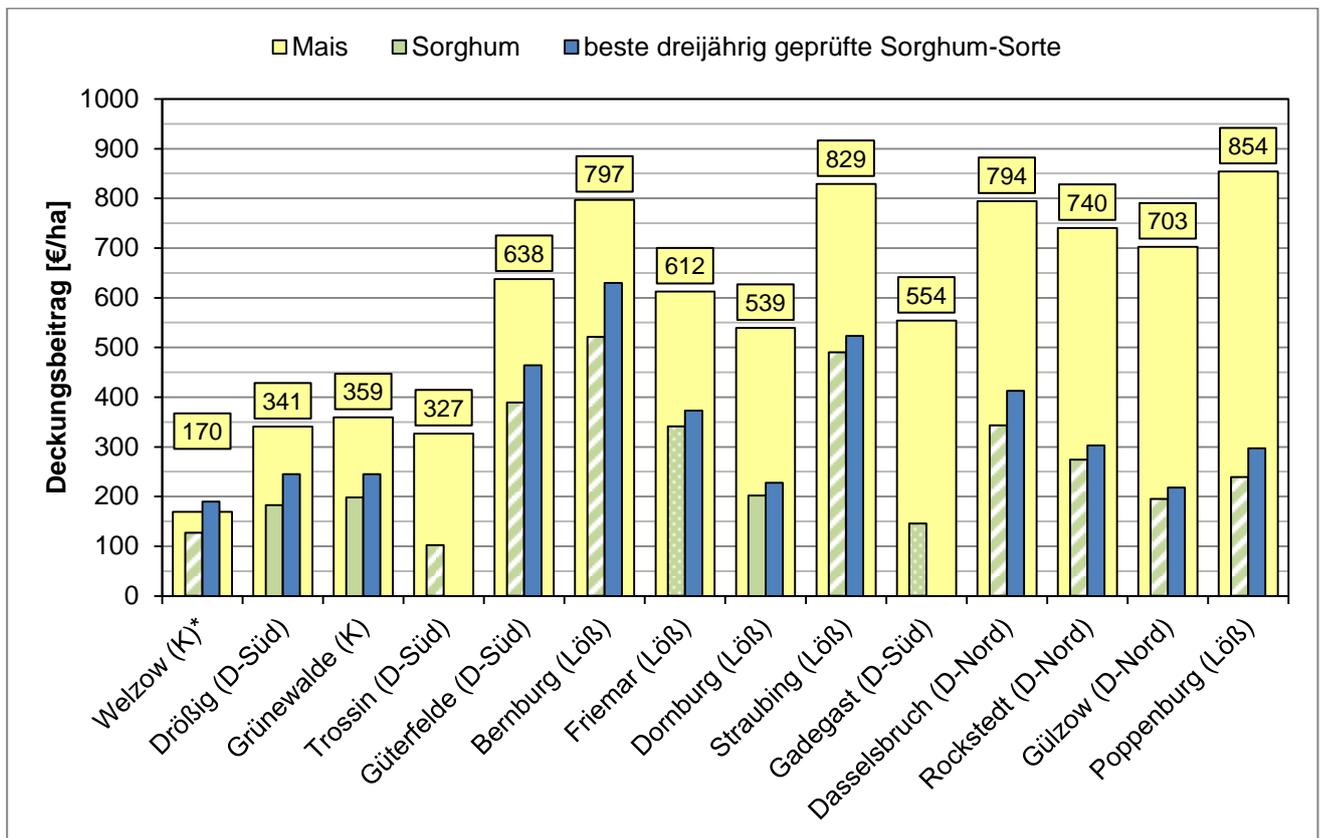


Abbildung 83: Wirtschaftliche Relationen zwischen Mais- und Sorghumanbau unter verschiedenen Standortbedingungen (Vergleich von Mais mit der wirtschaftlicheren Sorghumart [grün gestreift = Futterhirse, grün gepunktet = Sudangrashybride, ohne Muster = keine Unterschiede zwischen den Sorghumarten])

Wirtschaftlicher Vergleich von Sorghum und anderen Energiepflanzen

Fünf der insgesamt 14 Versuchsstandorte im Sorghumverbundvorhaben sind gleichzeitig auch im EVA-Projekt vertreten. Weil die Anbauversuche in beiden Projekten nach einer einheitlichen Methode ökonomisch ausgewertet wurden, sind an diesen Standorten in den Jahren 2011 und 2012 wirtschaftliche Vergleiche zwischen Sorghum und anderen Biogaskulturen, vorrangig Wintertriticale-GPS und Ackerfuttermischungen, möglich. Die erzielten Deckungsbeiträge sind jedoch nicht unmittelbar miteinander vergleichbar, weil die Kulturen in räumlich getrennten Versuchen standen (Bodenheterogenität, mögliche Unterschiede in der Bestandesführung). Weiterhin handelt es sich lediglich um zweijährige Ergebnisse. Dennoch bestätigte sich gerade auf den trockenen D-Standorten in Güterfelde und Trossin die hohe Anbauwürdigkeit von Sorghum unter derartigen Standortbedingungen. Auch auf dem deutlich besseren Standort in Bernburg zeigte sich Sorghum gegenüber Wintertriticale GPS als wirtschaftlich konkurrenzfähig und somit für den Einsatz in der Biogasanlage interessant. Auf den vergleichsweise kühleren Standorten Gülzow und Dornburg erscheint dies nur bei einer deutlichen züchterischen Verbesserung der Kältetoleranz von Sorghum möglich (Tabelle 49).

Tabelle 49: Deckungsbeiträge von Sorghum im Vergleich zu anderen Energiepflanzen – Vergleich mit Projekt EVA (AURBACHER, KORNAZ & MÜLLER)

Standort	Jahr	Sudangras-hybride	Futterhirse	Welsches Weidelgras	Luzerne (klee-)gras	Wintertriticale
Gülzow	2011	242	272	333		208
	2012	154	130	-20		351
	Ø	198	201	156		279
Trossin	2011		516		119	-114
	2012	28	12		156	88
	Ø		264		138	-13
Güterfelde	2011	317	532		-78	-72
	2012	192	397		129	-96
	Ø	255	464		25	-84
Bernburg	2011	425	564		154	306
	2012	370	595		141	400
	Ø	397	580		147	353
Dornburg	2011	224	291		327	573
	2012	327	278		91	322
	Ø	276	284		209	448

Betriebswirtschaftliche Auswertung der Praxisbetriebe

An der Praxisumfrage zur Wirtschaftlichkeit des Sorghumanbaus nahmen im dreijährigen Prüfzeitraum insgesamt 36 Betriebe aus den im Verbundvorhaben vertretenen Bundesländern teil. Anhand der erhobenen Daten sollte ermittelt werden, ob ein kostendeckender Anbau von Sorghum in den Betrieben möglich ist.

An der Umfrage nahmen sowohl mittlere und große Betriebe (500 ha bis 4.500 ha) aus den trockenen und warmen Anbauregionen Mittel- und Ostdeutschlands (AZ 20–30) als auch kleinere Familienbetriebe (< 200 ha) in Bayern (Gäu, Bayerischer Wald, AZ 30–80) teil. Der Anbau von Sorghum in den Betrieben erfolgte zu etwa gleichen Anteilen als Haupt- und Zweitfrucht. Für den Hauptfruchtanbau kamen gleichermaßen Sudangrashybriden und Futterhirsen zum Einsatz, wobei Erstgenannte häufiger in Zweitfruchtstellung standen. Die Anbauumfänge schwankten betriebsabhängig zwischen 1 und 213 ha (im Mittel 32 ha). Vor allem in den Großbetrieben in Ostdeutschland war der Sorghumanbau bereits in nennenswerten Größenordnungen etabliert. Die in den Betrieben erzeugte Biomasse wurde sowohl in der eigenen Biogasanlage verwertet (18 Betriebe) als auch in unterschiedlicher Form (Silage, Frischmasse, direkt ab Feld) an benachbarte Biogasanlagenbetreiber verkauft (14 Betriebe). In vier Betrieben kam Sorghum in der Rinderfütterung zum Einsatz, in zwei davon ausschließlich. Weil nur drei Betriebe in mehr als einem Anbaujahr an der Umfrage teilnahmen, sind keine Jahreseffekte darstellbar.

Ergebnisse des Sorghumanbaus in den Betrieben (Haupt- und Zweitfruchtanbau)

Zur Einordnung der wirtschaftlichen Ergebnisse sind in Abbildung 84 und Abbildung 85 die erzielten FM- und TM-Erträge von Sorghum in Haupt- und Zweitfruchtstellung in den untersuchten Betrieben dargestellt. Die Betriebe BB 1, ST 2 und BB 7 hatten in den jeweiligen Anbaujahren mehrere Sorten im Anbau und sind daher mehrfach in der Auswertung vertreten.

Das Ertragsniveau variierte in Abhängigkeit von der Fruchtfolgestellung, den betrieblichen Bedingungen und der Jahreswitterung zum Teil enorm (45 dt–224 dt TM/ha). Bedingt durch die längere Vegetationszeit erbrachte Sorghum in Hauptfruchtstellung in der Regel höhere TM-Erträge als im Zweitfruchtanbau. Die Ertragsunterschiede können anhand der Betriebe BY 4, BY 5 und SN 1 (Anbaujahr 2011) direkt nachvollzogen werden. Auf den niederschlagsreichen Standorten in Bayern (Jahresniederschlag > 700 mm) wies Sorghum oftmals Vorteile im Ertrag auf. Die Witterungsextreme im Anbaujahr 2013 schlugen sich in nahezu allen Betrieben in unterdurchschnittlichen Sorghumerträgen (< 80 dt TM/ha) nieder.

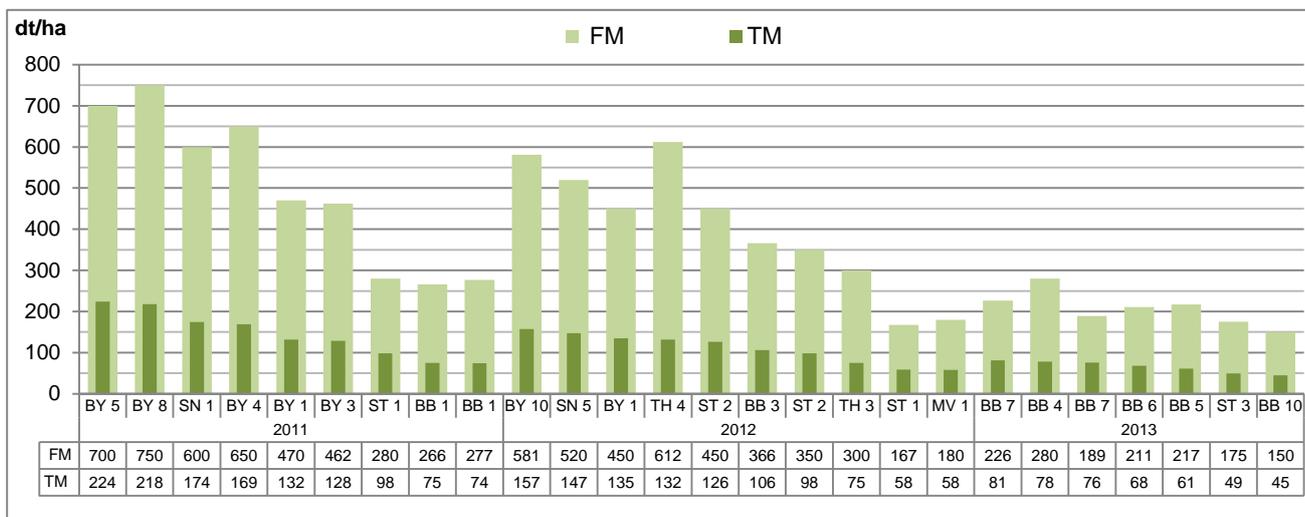


Abbildung 84: FM- und TM-Erträge von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Hauptfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013

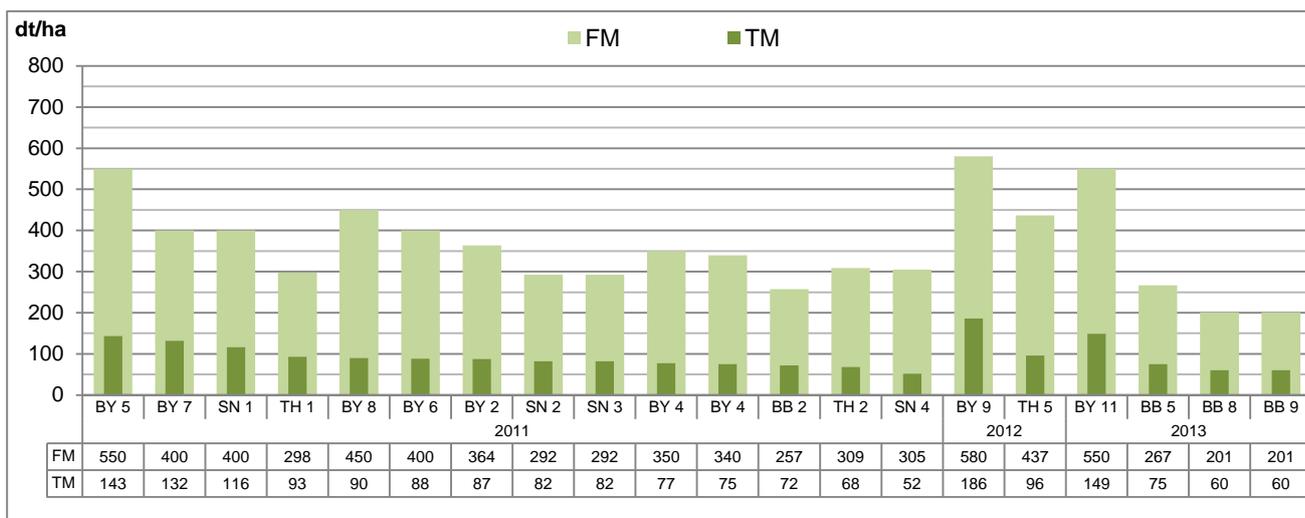


Abbildung 85: FM- und TM-Erträge von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Zweitfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013

In Abbildung 86 und Abbildung 88 sind die in den Betrieben erzielten direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen und Betriebsergebnisse von Sorghum im Haupt- und Zweitfruchtanbau im Zeitraum 2011–2013 dargestellt. Eine abschließende ökonomische Bewertung des Zweitfruchtanbaus ist nicht möglich, weil die Erlöse und Kosten der Erstkultur in der Praxisumfrage nicht erfasst wurden. Die Betriebe sind absteigend nach der Höhe der DAL sortiert. Detailinformationen sind Anhang 65 bis Anhang 68 zu entnehmen.

Im Prüfzeitraum konnten nur 6 der 24 Hauptfrucht- und 4 der 20 Zweitfruchtbetriebe (2011, 2012) deutlich positive DAL beim Anbau von Sorghum erzielen (90–774 €/ha). In den anderen Betrieben reichten die Erlöse hingegen nicht bzw. nur sehr knapp aus, um die Direkt- und Arbeitserledigungskosten zu decken. Dies war überwiegend in dem durch extreme Witterungsbedingungen geprägten Anbaujahr 2013 der Fall. Nach Abzug der vollen Kosten waren nur noch fünf Hauptfruchtbetriebe (vier Betriebe 2011, ein Betrieb 2012) in der Lage, ein positives Ergebnis mit Betriebsprämie zu erzielen (Abbildung 87). Im Zweitfruchtanbau lagen die Betriebsergebnisse durchgängig im negativen Bereich (Abbildung 88). Bei der Vollkostenkalkulation machten sich zudem die unterschiedlichen Rahmenbedingungen der Betriebe bemerkbar. So konnten die Betriebe BY 4 und 10 (Hauptfruchtanbau) sowie BY 5 und 7 (Zweitfruchtanbau) trotz vergleichsweise hoher DAL von 198 bis 312 €/ha kein positives Ergebnis erzielen. Hier schlugen die mitunter sehr hohen Pachtpreise in der Region (bis zu 600 €/ha) zu Buche.

Alternative Leistungsbewertung über Silagepreis

Bei der Auswertung der Praxisbetriebe wurde grundsätzlich unterstellt, dass die erzeugte Silage in der eigenen Biogasanlage verwertet wird. Im Vergleich zur Auswertung der Sortenversuche (Verkauf von Frischmasse) wurden daher auch die Kosten für die Substratlagerung berücksichtigt. Diese stellen einen wesentlichen Faktor dar, variieren in der Praxis jedoch in Abhängigkeit von den betrieblichen Verhältnissen sehr stark. Für die Bewertung der Silokosten musste ein einheitlicher Kostenansatz (0,35 €/ dt FM) gewählt werden, der diesem Umstand (unterschiedliche Silogrößen, Silos teilweise schon abgeschrieben, Doppelnutzung) Rechnung trägt. Weil die Lagerhaltungskosten für die Substrate bei der Auswertung der Sortenversuche nicht erfasst wurden, ist der angesetzte Methanpreis von 0,33 € je m³ Methan möglicherweise zu gering bemessen. Daher wurde ergänzend eine Leistungsbewertung über einen Marktpreis für Sorghumsilage von 3,15 €/dt FM bei einer Basisfeuchte von 32 % geprüft (s. Kapitel 5.2.3, Praxisbetriebe). Die angepasste Leistungsbewertung war in Abhängigkeit von den erzielten Erträgen jedoch nur mit einer geringfügigen Verbesserung (17 bis 86 €/ha) der Betriebsergebnisse verbunden (Anhang 69, Anhang 70).

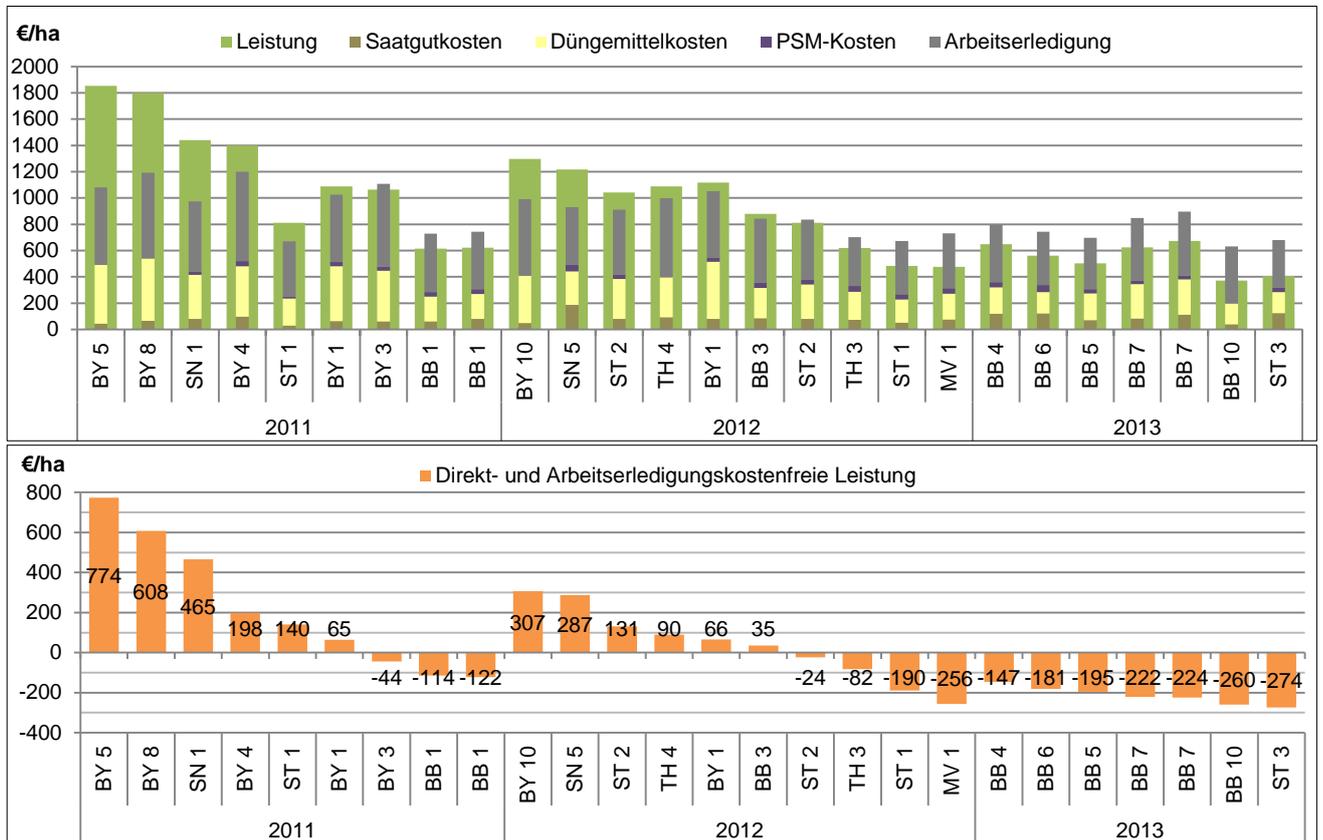


Abbildung 86: DAL (Leistung abzüglich Kosten für Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel und Arbeitserledigung) von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Hauptfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013

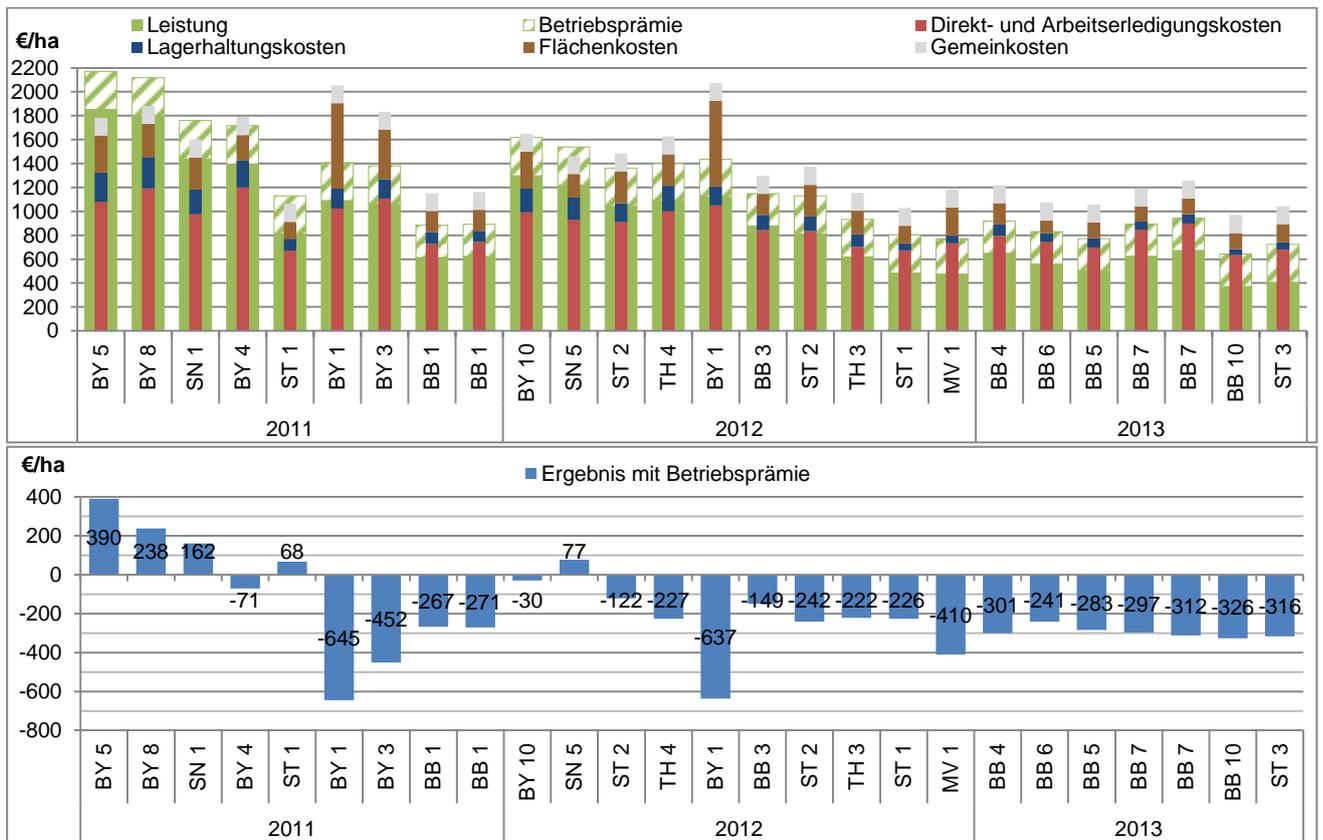


Abbildung 87: Ergebnis (Leistung + Betriebsprämie abzüglich Gesamtkosten) von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Hauptfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013

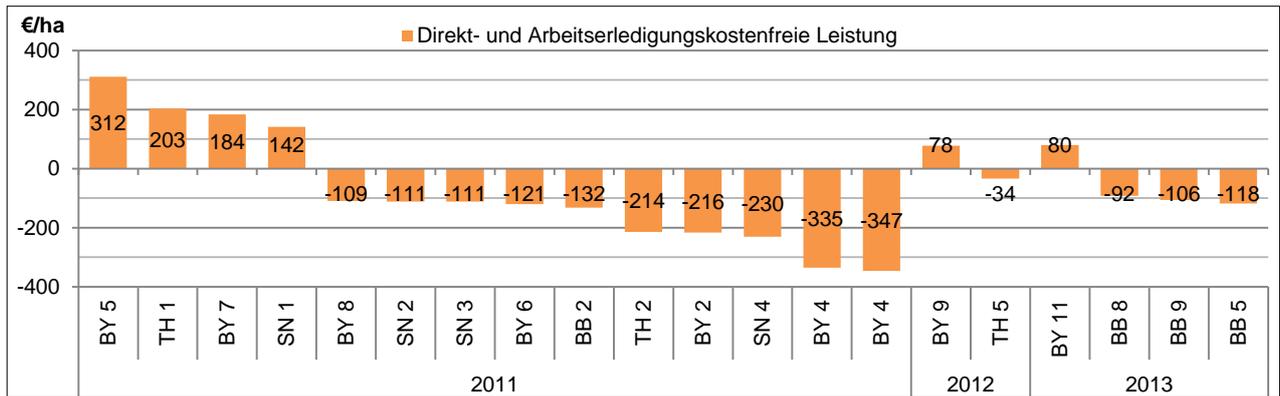
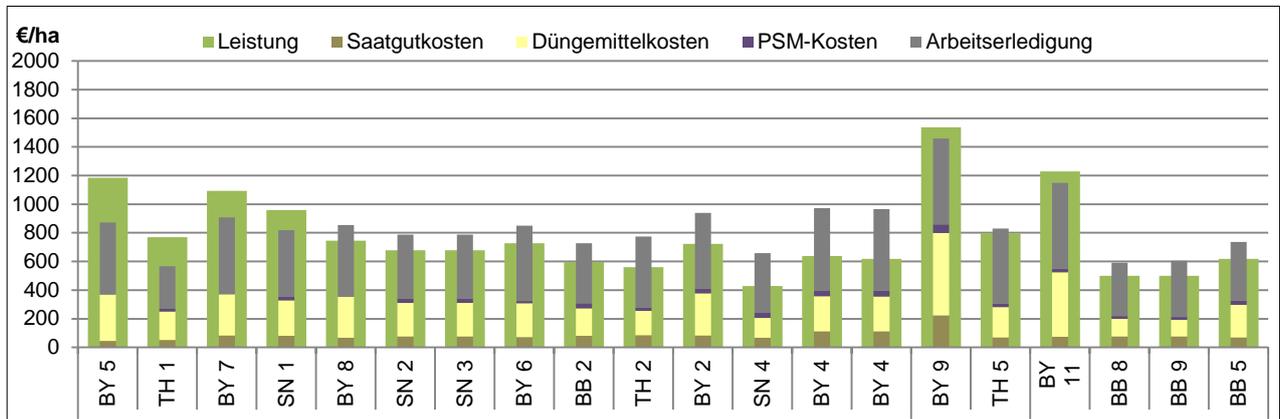


Abbildung 88: DAL (Leistung abzüglich Kosten für Saatgut, Dünge-, Pflanzenschutzmittel und Arbeiterledigung) von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Zweitfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013

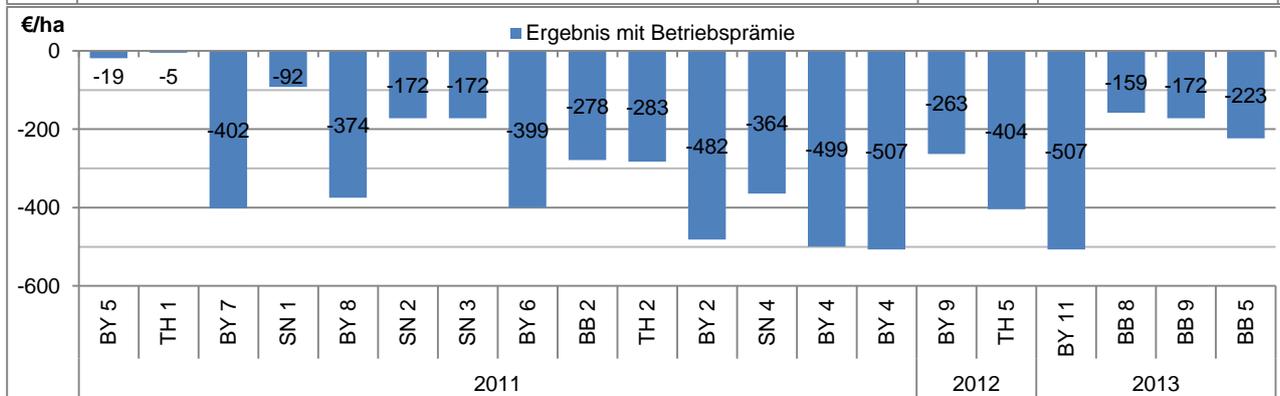
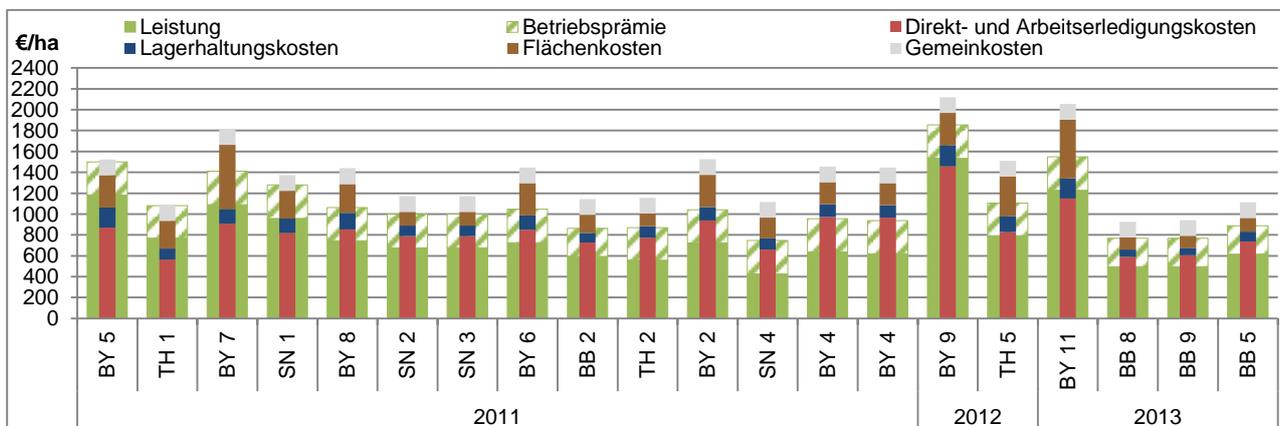


Abbildung 89: Ergebnis (Leistung + Betriebsprämie abzüglich Gesamtkosten) von Sorghum in den untersuchten Betrieben im Zweitfruchtanbau, Zeitraum 2011–2013

Verkaufsbetriebe

Mehr als ein Drittel der untersuchten Betriebe gab an, sein Erntegut in Form von Silage oder Frischmasse zu verkaufen. Teilweise wurden die stehenden Bestände direkt ab Feld an den Biogasanlagenbetreiber veräußert. Für Betriebe, die konkrete Angaben zu den Verkaufspreisen machten, wurde in Ergänzung zur Standardauswertung eine zusätzliche Variante für den Substratverkauf berechnet (Tabelle 50).

Im Vergleich zur Standardvariante wurde die Leistung bei den Verkaufsbetrieben nicht über den Methanhektarertrag, sondern über den FM- bzw. Silage-FM-Ertrag und den erzielten Verkaufspreis berechnet. Dieser wurde im Wesentlichen durch die vereinbarten Konditionen mit dem Biogasanlagenbetreiber bestimmt und variierte dementsprechend zwischen den Betrieben. Beim Verkauf von Sorghum ab Feld erzielten die Landwirte, bedingt durch die geringeren Anbaukosten (die Kosten für Ernte und Substrateinlagerung wurden vom Biogasanlagenbetreiber getragen), grundsätzlich geringere Preise (1,48 € und 2,10 €/dt FM) als beim Verkauf von Häckselgut bzw. Silage (2,80 € bis 3,50 €/dt FM). Die Substratpreise wurden auf einen Basis-TM-Gehalt von 28 % für unsiliertes Erntegut bzw. von 32 % für Silage (in Anlehnung an Mais) bezogen.

Die meisten Betriebe erzielten beim Substratverkauf deutlich bessere Betriebsergebnisse als nach der unterstellten Verwertung über die eigene Biogasanlage (im Mittel +172 €, Spanne: 36–319 €). Die Betriebe, welche Häckselgut und Silage verkauften, profitierten hierbei von der vergleichsweise höheren Vergütung. In den Betrieben, in denen Sorghum direkt ab Feld verkauft wurde, waren die Einsparungen durch das Abtreten der Kosten für Ernte, Transport und Substratlagerung an den Biogasanlagenbetreiber deutlich höher als die preisbedingten Defizite im Erlös. Im Gegensatz zur Verwertung über die eigene Biogasanlage konnten zwei Betriebe (TH 4 und TH 1) durch den Verkauf ihres Ernteguts ein positives Ergebnis erzielen. Betrieb BB 5 war immerhin in der Lage, seine vollen Kosten zu decken.

Planungsrechnungen

Um zu ermitteln, ob eine Kultur auf lange Sicht kostendeckend im Betrieb angebaut werden kann, ist es erforderlich die unter den gegebenen naturräumlichen (Boden, Klima) und ökonomischen Bedingungen (Pachtzins, Erzeugerpreis) zu produzierende Erntemenge zu kennen, welche über die Jahre hinweg die Rentabilität des Anbaus sicher stellt.

In Abbildung 90 wurde das Betriebsergebnis (mit BP) beim Anbau von Sorghum im Vergleich zu Silomais bei unterschiedlichem Pachtpreisniveau (leichter Standort: 80 €/ha, Standort mit mittlerer Bonität: 175 €/ha) sowie in Abhängigkeit vom realisierten Ertrag und Verkaufspreis kalkuliert. Bei beiden Kulturen wurde eine mittlere Anbauintensität unterstellt (pfluglose Bestellung, 120 kg N/ha mineralisch, 50 €/ha Pflanzenschutz). Abgeleitet aus dem Marktpreis für Maissilage, welcher derzeit zwischen 3,50 € und 3,75 € je dt Silage FM (bei 30 % Basis-TS) liegt, wurde unter Berücksichtigung der geringeren Methanausbeute ein um 10 % geringerer Marktpreis für Sorghumsilage festgelegt. Nähere Informationen zum Auswertungsmodell sind Anhang 71 und Anhang 72 zu entnehmen.

Aufgrund des geringeren Verkaufspreises bei nahezu vergleichbaren Produktionskosten (bei gleicher Erntemenge) müssen im Sorghumanbau grundsätzlich höhere Flächenerträge erzielt werden, um ein mit Mais vergleichbares Ergebnis zu erwirtschaften. Um auf leichten Standorten, bei einem unterstellten Pachtzins von 80 €/ha und Preisen zwischen 3,15 € und 3,38 €/dt Silage FM, Sorghum kostendeckend (mit Betriebsprämie!) anbauen zu können sind TM-Erträge von 101 bis 114 dt TM/ha (bei 28 % TS) notwendig. Beim Silomais ist dies bereits bei Erträgen zwischen 85 und 95 dt der Fall. Für einen kostendeckenden Anbau auf besseren Böden bzw. in Regionen mit höherem Pachtpreisniveau (175 €/ha) sind entsprechende Mehrerträge von 13 bzw. 15 dt TM/ha bei Mais und 16 bzw. 18 dt TM/ha bei Sorghum zu erbringen.

Tabelle 50: Wirtschaftliche Ergebnisse der Betriebe beim Substratverkauf (laut Praxisbogen) im Vergleich zur unterstellten Verwertung über die eigene Biogasanlage (grau hinterlegte Werte sind für die Berechnung nicht relevant)

	ME	BY 1		TH 4		BY 1		BB 6		BB 5		ST 3		TH 1		TH 5		BB 8		BB 9		BB 5	
Verwertung		eigene BGA	Verkauf ab Feld	eigene BGA	Verkauf ab Feld	eigene BGA	Verkauf ab Feld	eigene BGA	Verkauf Silage	eigene BGA	Verkauf FM	eigene BGA	Verkauf ab Feld	eigene BGA	Verkauf Silage	eigene BGA	Verkauf FM	eigene BGA	Verkauf ab Feld	eigene BGA	Verkauf ab Feld	eigene BGA	Verkauf FM
FF-Stellung		HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	ZF	ZF	ZF	ZF	ZF	ZF	ZF	ZF	ZF	ZF
Ertrag FM	dt/ha	470	470	612	470	450	482	211	211	217	217	175	175	298	298	437	343	201	215	201	215	267	267
TS	%	28	28	22	28	30	28	32	32	28	28	28	28	31	32	22	28	30	28	30	28	28	28
Ertrag TM	dt/ha	132	132	132	132	135	135	68	68	61	61	49	49	93	93	96	96	60	60	60	60	75	75
Silage TM	dt/ha	116	116	116	116	119	119	60	60	53	53	43	43	82	82	85	85	53	53	53	53	66	66
Silage FM (32 %TS)									187					256									
Methanertrag	m³/ha	3.301	3.301	3.300	3.300	3.386	3.386	1.704	1.704	1.524	1.524	1.229	1.229	2.332	2.332	2.411	2.411	1.512	1.512	1.512	1.512	1.875	1.875
Preis FM bzw. Silage	€/dt		1,60		1,74		1,60		3,20		2,80		2,10		3,50		2,80		1,48		1,48		2,80
Methanpreis	€/m³	0,33		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33	
Leistung Verkauf	€/ha		752		818		771		598		608		368		895		961		319		319		748
Leistung Standard		1.089		1.089		1.117		562		503		406		770		796		499		499		619	
Saatgutkosten	€/ha	64	64	94	94	81	81	121	121	70	70	125	125	51	51	70	70	77	77	77	77	70	70
Düngemittelkosten	€/ha	418	418	302	302	435	435	163	163	206	206	159	159	200	200	213	213	122	122	115	115	227	227
PSM-Kosten	€/ha	30	30	0	0	30	30	54	54	30	30	32	32	21	21	23	23	20	20	20	20	30	30
Arbeiterledigung	€/ha	512	200	603	241	505	200	405	405	392	392	364	155	295	295	524	524	372	155	393	175	410	410
DAL*	€/ha	65	40	90	181	66	25	-181	-145	-195	-90	-274	-103	203	328	-34	132	-92	-55	-106	-69	-118	11
Lagerhaltungskosten	€/ha	165	0	214	0	158	0	74	74	76	0	61	0	104	104	153	0	70	0	70	0	93	0
Flächenkosten	€/ha	715	715	264	264	715	715	106	106	132	132	151	151	265	265	378	378	116	116	116	116	132	132
Gemeinkosten	€/ha	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Gesamtkosten	€/ha	2.054	1.578	1.627	1.051	2.074	1.611	1.073	1.073	1.056	980	1.042	772	1.086	1.086	1.511	1.358	928	639	941	653	1.112	1.019
Gesamtkosten	€/dt TM	17,74	13,63	14,05	9,08	17,46	13,56	17,95	17,95	19,75	18,33	24,16	17,90	13,27	13,27	17,86	16,05	17,48	12,05	17,74	12,31	16,90	15,48
Gesamtkosten	€/m³ CH₄	0,62	0,48	0,49	0,32	0,61	0,48	0,63	0,63	0,69	0,64	0,85	0,63	0,47	0,47	0,63	0,56	0,61	0,42	0,62	0,43	0,59	0,54
Ergebnis mit BP	€/ha	-645	-507	-227	78	-637	-520	-241	-205	-283	-102	-316	-84	-5	120	-404	-85	-159	-51	-172	-65	-223	-1

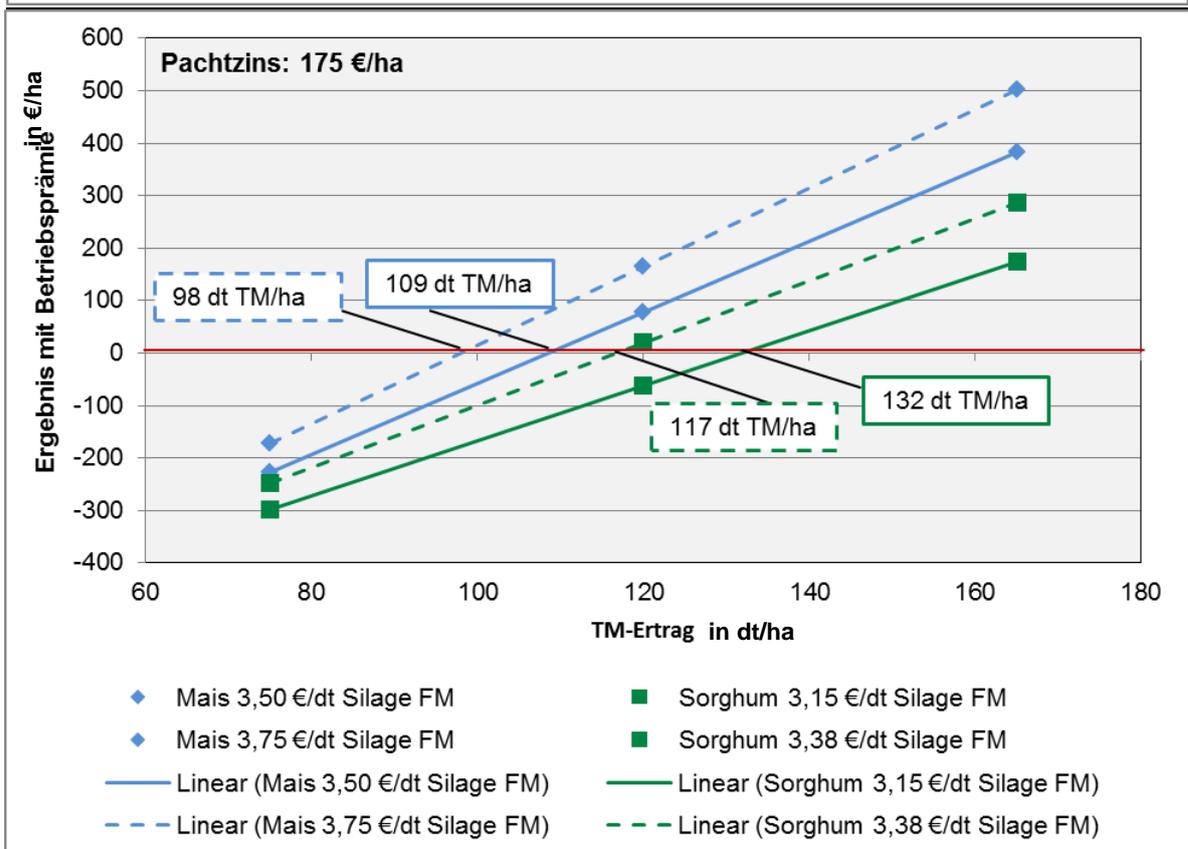
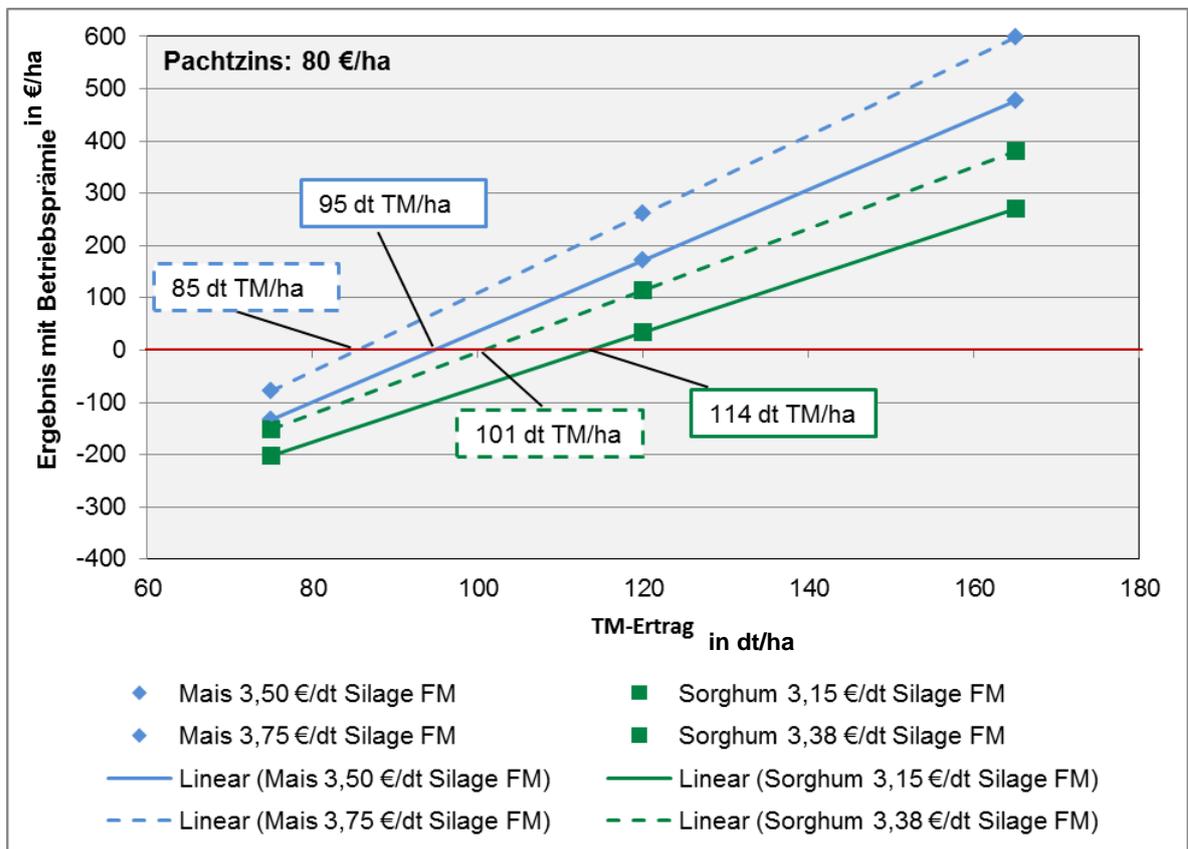


Abbildung 90: Modellrechnung – Ergebnis (mit Betriebsprämie = 321 €/ha) der Anbauverfahren Mais und Sorghum in Abhängigkeit von TM-Ertrag, Silageverkaufspreis und Pachtzins (TS-Gehalt zur Ernte: Mais 30 %, Sorghum 28 %; Verkaufspreis für Sorghumsilage 10 % geringer als bei Mais; Silagepreis für Mais/Sorghum bei 30 % TS)

Inwiefern die unter den angenommenen Rahmenbedingungen kalkulierten Ertragsziele bei Sorghum realisierbar sind, soll im Folgenden anhand der Ergebnisse der Sortenversuche auf den D- und K-Standorten in Mittel- und Ostdeutschland abgeschätzt werden (Tabelle 51). Um einen Bezug zur Praxis herzustellen, wurden die in den Feldversuchen erzielten Erträge auf Praxisniveau (80 % des Versuchsniveaus) heruntergebrochen.

Mais übertraf im Mittel der Standorte und Jahre unabhängig von Pachtzins und Silagepreis die erforderlichen TM-Erträge zur Vollkostendeckung (mit Betriebsprämie) und konnte somit zum Betriebsgewinn beitragen. Auch im deutlich schwächeren Maisjahr 2013 waren die Erträge in der Regel ausreichend, um zumindest die Vollkosten decken zu können. Die Futterhirsen konnten bei einem Pachtzins von 80 €/ha bei beiden Preisstufen und bei einem höheren Pachtzins in der höheren Preisstufe die erforderlichen Mindest-TM-Erträge zur Vollkostendeckung realisieren. Bei den ertraglich schwächeren Sudangrasyhybriden war dies nur bei geringem Pachtzins und günstigem Preisniveau der Fall. Das Sorghum-Jahr 2013 war an den meisten Standorten durch erhebliche witterungsbedingte Probleme in der Bestandesentwicklung geprägt, wodurch das dreijährige Mittel etwas trügt. Grundsätzlich ist schon zu erwarten, dass die Sorghumhirsen auf leichten Standorten mit geringem Pachtpreisniveau in der Lage sind, die wirtschaftlich erforderlichen Ertragshürden zu nehmen und in guten Jahren zum Betriebseinkommen beizutragen.

Tabelle 51: Versuchserträge in der Anbauregion D-Süd/K (2011–2013) abzüglich 20 % Praxisabschlag im Vergleich zum kalkulierten Mindestertrag zur Vollkostendeckung (+ Betriebsprämie)

Versuchserträge abzüglich 20 % Praxisabschlag	Mais*	Sudangrasyhybride**	Futterhirse*
		dt/ TM/ha	
Mittel	127	106	118
STABW	29	29	32
Min...Max	86...194	51...147	58...165
Kalkulierter Ertrag zur Vollkostendeckung (+ BP)		dt TM/ha	
...bei Pachtzins 80 €/ha, Preisstufe 1	95	114	114
...bei Pachtzins 80 €/ha, Preisstufe 2	85	101	101
...bei Pachtzins 175 €/ha, Preisstufe 1	109	132	132
...bei Pachtzins 175 €/ha, Preisstufe 2	98	117	117

* ohne Ergebnisse Welzow 2012, ** ohne Ergebnisse Trossin 2011 und Welzow 2012

Preisstufe 1: 3,50 €/dt Silage FM bei Mais, 3,15 €/dt Silage FM bei Sorghum

Preisstufe 2: 3,75 €/dt Silage FM bei Mais, 3,38 €/dt Silage FM bei Sorghum

Einordnung der Ergebnisse

Viele Sorghumanbauer waren unabhängig von der Verwertung und der Art der Leistungsbewertung nicht in der Lage, zumindest ihre Direkt- und Arbeitserledigungskosten im Betrieb zu decken. Die erzielten Erträge waren hierfür vielerorts, z. T. auch witterungsbedingt (2013), zu gering. Im Zuge der Erhebung zeigte sich jedoch auch, dass in einigen Betrieben noch Unsicherheiten bezüglich der Gestaltung des Anbauverfahrens bestehen bzw. diesem im Einzelfall möglicherweise auch zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. Grundsätzlich war festzustellen, dass die Anbauer oftmals auf vergleichsweise alte und zum Teil sehr spätreife Sorten (Sucrosorgo 506, Goliath, Jumbo) zurückgriffen, die erfahrungsgemäß Nachteile im Ertrag und/oder ihren agronomischen Eigenschaften (Standfestigkeit, Abreife) aufweisen. Auch auf den leichten und trockenen Standorten in Ostdeutschland wurde vergleichsweise sehr viel Zweitfruchtanbau betrieben, bei teilweise sehr späten Saatterminen und unter Nutzung ausgesprochen spätreifer Sorten. Auch im Hauptfruchtanbau wurde der optimale Aussaattermin mitunter verpasst und somit Ertrag und höhere TM-Gehalte zur Ernte verschenkt. Probleme traten, vorausgesetzt die gemachten Angaben waren zutreffend, auch bei der Bemessung der fruchtartspezifischen Saatstärken auf. Diese lagen in einigen Betrieben deutlich unter den in den Sortenversu-

chen ausgesäten Saatmengen. Einzelne Betriebe verzichteten zudem auf die Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen, was angesichts der in der frühen Phase der Entwicklung geringen Konkurrenzkraft von Sorghum gegenüber Unkräutern deutlich zu hinterfragen ist.

Die Datengrundlage für die ökonomische Auswertung war zum Teil recht dünn. Bei den ausgewerteten Daten handelte es sich um Angaben aus der Praxis, die nicht überprüfbar waren, von deren Richtigkeit im Zuge der Auswertung jedoch ausgegangen werden musste. Dies traf insbesondere auf Angaben zu TM-Erträgen und TS-Gehalten, aber auch auf den Produktionsmitteleinsatz (z. B. Saatstärke) und die Flächenkosten zu. Bei fehlenden Angaben zum Pachtpreis wurde das durchschnittliche Pachtpreinsniveau im Bundesland unterstellt, in dem Wissen, dass dieses regional sehr stark variieren kann. Die betrieblichen Bedingungen ließen sich daher vermutlich nicht in allen Fällen korrekt wiedergeben. Fehlende Kenntnisse zu den Rahmenbedingungen, unter denen die ausgewerteten Daten (v. a. die Erträge) erzielt wurden, erschweren die Interpretation der Ergebnisse zusätzlich. Über wesentliche ertragsbeeinflussende Faktoren, angefangen beim Anbauschlag selbst (Nährstoffstatus, Vornutzung, Unkrautspektrum), über die Witterungsverhältnisse im Anbaujahr, bis hin zur Termintreue und somit Wirksamkeit anbautechnischer Maßnahmen (Herbizideinsatz, Aussaattermin), war oftmals nur sehr wenig bekannt. Eine fundierte Bewertung des wirtschaftlichen Potenzials von Sorghum unter Praxisbedingungen ist auf Grundlage der Praxiserhebung aus genannten Gründen nur sehr eingeschränkt möglich. Weil in der Praxis oftmals noch Beratungsbedarf bezüglich der Sorghumanbautechnik besteht, wäre es sinnvoller, die betriebswirtschaftlichen Daten im Rahmen einer Anbauberatung und -begleitung vor Ort zu erheben. Auf diesem Wege ließen sich belastbare Informationen zu den betrieblichen Gegebenheiten, zur Gestaltung des Anbauverfahrens sowie zu den erzielten Erträgen und TM-Gehalten im Betrieb einschließlich der Substratqualitäten gewinnen.

5.4 Zusammenfassung

Teilvorhaben 4 umfasste Untersuchungen zur stofflichen Zusammensetzung, zum Gasbildungspotenzial und zur Wirtschaftlichkeit von Sorghum im Vergleich zu Mais. Die wesentlichen Erkenntnisse aus dem dreijährigen Versuchszeitraum sollen im Folgenden zusammengefasst werden.

In Bezug auf die Nährstoffaneignung von Sorghum muss auf den im Vergleich zum Mais höheren Kalium- und Calcium-Entzug (1,5 kg dt/TM bzw. 0,33 kg dt/TM), insbesondere durch die massewüchsigen Futterhirsen, hingewiesen werden. Dieser ist bei der Planung der Düngung zu Sorghum, aber auch zur Nachfrucht zu berücksichtigen.

Sowohl bei Futter- als auch bei Körnersorghum wurden im Rahmen der NIRS-Analysen deutliche höhere Gehalte an schwer abbaubaren Zellwandbestandteilen (Cellulose und Lignin) gegenüber Mais festgestellt. Demzufolge ist mit sichtbaren Nachteilen in der Methanausbeute (20 % bzw. 9 %) im Vergleich zu Mais (359 NI kg oTS im Mittel der Standorte und Jahre) zu rechnen (kalkuliert nach WEIßBACH). Körnersorghum zeigte bei guter Einkörnung und Kornausreife zwar Vorteile in der Methanausbeute gegenüber Futtersorghum, konnte jedoch die deutlich geringere Flächenleistung in der Regel nicht kompensieren. Das Gasbildungspotenzial der geprüften Fruchtarten war in erster Linie genetisch determiniert und schwankte sowohl bei Mais als auch bei Sorghum standort- und jahresabhängig (Umwelteinfluss). Innerhalb der Futtersorghumarten war kein nennenswerter Sorteneinfluss zu verzeichnen. Die Sortenwahl sollte sich daher vorrangig nach dem standortbezogenen Ertragsvermögen und den agronomischen Eigenschaften der Sorte richten.

Im Batchversuch mit dem HBT wurden im Mittel deutlich geringere Abweichungen in der Methanausbeute zwischen Mais und Futtersorghum gemessen als anhand der WEIßBACH-Methode kalkuliert. Die Sudangras-hybriden und Futterhirsen erreichten im Mittel 88 % der Methanausbeute des Mais (349 NI kg oTS im Mittel der Standorte und Jahre), wobei die Relationen standort- und jahresabhängig mitunter variierten (80–96 % relativ). Die WEIßBACH-Formeln zur Ableitung des Gasbildungspotenzials bei Mais sind offensichtlich nicht ohne weiteres auf Sorghum übertragbar.

Angesichts der genetisch fixierten Nachteile in der Methanausbeute von Sorghum (kein Kolben) gegenüber Mais, ist eine annähernd mit Mais vergleichbare Flächeneffizienz im Sorghumanbau nur durch eine sichtbar höhere TM-Ertragsleistung zu erzielen. An einigen Standorten war dies in Einzeljahren unter für Sorghum günstigen Anbaubedingungen der Fall. So konnten die besten Sorghumsorten an den Standorten Trossin und Drößig (2011) bzw. Bernburg und Straubing (2012) aufgrund der deutlichen Ertragsvorteile ähnliche Methanhektarerträge wie der Mais in der Größenordnung von 5.500 bis 7.000 Nm³/ha erzielen. Auch unter marginalen Anbaubedingungen auf dem Kippenstandort Welzow zeigte sich Sorghum in den Jahren 2011 und 2012 gegenüber Mais im Methanhektarertrag konkurrenzfähig (3.500 Nm³/ha).

Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Auswertung der Sortenversuche erwies sich der Mais im dreijährigen Prüfzeitraum an allen Versuchsstandorten als wirtschaftlichste Kultur. Die Vorteile gegenüber Sorghum resultierten vorrangig aus der hohen Ertragsleistung, der höheren Anbausicherheit aufgrund der besseren Kältetoleranz und den günstigeren Substrateigenschaften (höhere Methanausbeute und Transportwürdigkeit). Dennoch verfügt Sorghum über ein aus ökonomischer Hinsicht vielversprechendes Potenzial, welches standortabhängig zu nutzen ist.

Der Sorghumanbau bietet sich vorrangig auf den warmen D-Standorten im mittel- und ostdeutschen Trocken- gebiet an. Unter diesen Standortbedingungen erwiesen sich die Unterschiede im Deckungsbeitrag zwischen Mais und Sorghum aufgrund des schwächeren Abschneidens des Maises am geringsten (Tabelle 52). Zudem waren angesichts des vergleichsweise geringeren Pachtpreinsniveaus in diesen Regionen auch im Sorghumanbau positive flächenkostenfreie Deckungsbeiträge realisierbar, die zur Deckung der betrieblichen Gemein- kosten beitragen können. Der Anbau von Sorghum kann daher für Betriebe, die unter derartigen Bedingungen wirtschaften, einen Beitrag zur Risikostreuung und Einkommenssicherung im Unternehmen leisten bzw. auch eine gewinnbringende Möglichkeit zur Nutzung von Grenzertragsstandorten (z. B. Kippenböden) darstellen. Auf den besser gestellten Lössstandorten zeigte sich der Mais als ausgesprochen konkurrenzstark. Die ertrag- reicheren Futterhirsen profitierten zwar auf den wärmeren Lössstandorten Bernburg und Straubing ebenfalls von den deutlich besseren Wachstumsbedingungen, konnten jedoch nicht an das sehr hohe Deckungsbei- tragsniveau des Maises heranreichen. Für die kühleren Lössstandorte in Thüringen und die Standorte in Norddeutschland (Löss und D) ist der Anbau von Sorghum mit den derzeit verfügbaren Sorten aufgrund der deutlichen wirtschaftlichen Einbußen im Vergleich zu Mais nur bedingt zu empfehlen, es sei denn, andere Gründe stehen im Vordergrund (z. B. Vorgaben EEG).

Tabelle 52: Deckungsbeiträge von Mais und Sorghum unter verschiedenen Anbaubedingungen, 2011– 2013 (* = ohne Ergebnisse Welzow 2013, ** = ohne Ergebnisse Trossin 2011)

Fruchtart	D-Nord		D-Süd + K*		Löß (BB, ST)		Löß (PB, DB, FR)	
	MW	Spanne	MW	Spanne	MW	Spanne	MW	Spanne
Mais	746	(495...956)	411	(67...1020)	813	(664...1045)	669	(-130...1023)
SGH	218	(167...249)	135**	(-176... 478)	322	(217... 425)	239	(56... 399)
Futterhirse	271	(195...343)	186	(-222... 532)	502	(316... 612)	251	(39... 371)

BB = Bernburg, ST = Straubing, PB = Poppenburg, DB = Dornburg, FR = Friemar

Weil Sorghum bislang nur vergleichsweise wenig züchterisch bearbeitet ist, kommt der Wahl standortangepasster Sorten eine wesentliche Rolle für die Wirtschaftlichkeit des Anbauverfahrens zu. Insbesondere unter für Sorghum günstigen Standortbedingungen (ausreichendes Wasser- und Wärmeangebot) können die spät-reifen massewüchsigen Futterhirsesorten Vorteile in der Wirtschaftlichkeit bringen.

Bei der ökonomischen Auswertung der Sortenversuche ist zu berücksichtigen, dass die Deckungsbeiträge anhand von Versuchserträgen berechnet wurden. Diese liegen erfahrungsgemäß etwa 20 % oberhalb des Praxisniveaus.

In den betriebswirtschaftlichen Auswertungen der Praxisbetriebe wurde deutlich, dass das vielversprechende Potenzial von Sorghum in der Praxis oftmals noch nicht vollständig umgesetzt wurde. Nur wenige der im dreijährigen Versuchszeitraum betrachteten Betriebe waren in der Lage, positive Verfahrensergebnisse zu erzielen. In einigen Betrieben bestanden noch Unsicherheiten bezüglich der Anbautechnik. Durch Optimierung des Produktionsverfahrens für Sorghum sollten in den Praxisbetrieben zukünftig weitere Ertragsreserven zu erschließen sein.

6 TV 5: Wasserverbrauch und Wassernutzungseffizienz von Sorghumhirsen und ökologische Auswirkungen des Sorghumanbaus

Dr. Maria Wagner, Dr. Steffi Knoblauch (TLL), Kathleen Hanke, Dr. Uwe Franko, Dr. Katrin Kuka (UFZ) und Dr. Christian Lange (FIB e. V.)

6.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Weiterentwicklung des Anbaupotenzials von Sorghumhirsen erfordert neben anbautechnischem und ökonomischem Erkenntnisgewinn auch Aufschluss über die ökologischen Auswirkungen des Sorghumanbaus. Untersuchungen zum Pflanzenwasserhaushalt von Sorghumarten und -sorten sowie deren Auswirkungen auf die Humusreproduktion, Sickerwasserbildung und Nährstoffauswaschung können hierzu einen bedeutenden Beitrag leisten.

Auf den leichten und mittleren Böden Mittel- und Nordostdeutschlands mit durchschnittlichen Niederschlägen unter 650 mm wird Wasser häufig zum ertragsbegrenzenden Faktor. Für eine effiziente Nutzung dieses Wachstumsfaktors bedarf es detaillierter Kenntnisse über den Wasserverbrauch, die Wassernutzungseffizienz und das Bodenwasseraneignungsvermögen von Sorghumarten und -sorten. Im Zeitraum von 2011 bis 2013 wurden deshalb Untersuchungen zu Wasser-Ertrags-Beziehungen von *S. bicolor* im Vergleich zu *S. bicolor* x *S. sudanense* im Modellversuch mit Kleinlysimetern (Lehm-, Sandboden mit gestaffelter Wasserversorgung) durchgeführt. In Feldversuchen erfolgte die Bestimmung des Bodenwasseraneignungsvermögens und daraus abschätzend der Wassernutzungseffizienz von sechs Sorghumsorten im Vergleich zu zwei Sorten Energiemais unter der Bedingung unterschiedlicher Bodenwasserbereitstellung (Braunerde-Tschernosem aus Löss, Fahlerde aus Lehmsand). Die Kleinlysimeter dienten des Weiteren der Ermittlung der Nährstoffauswaschung.

Weil beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen die oberirdische Biomasse komplett abgefahren wird, bleiben als exklusive organische Dünger nur die Rhizodeposition und die Stoppeln als C-Input der Pflanze in den Boden übrig. Um dabei genaue Vorhersagen zur Entwicklung des Humusniveaus treffen zu können, ist eine experimentelle Quantifizierung der Wurzelbiomasse unumgänglich. Neben der Bestimmung der Menge an Wurzelbiomasse von zwei Sorten *S. bicolor* x *S. sudanense* (Sudangrashybride), zwei Sorten *S. bicolor* (Futterhirse) und zwei Sorten Mais wurde dabei die Durchwurzelungsdichte und -tiefe bestimmt, was für die Charakterisierung der Wasserausnutzung im Boden eine wichtige Rolle spielt. Zudem wurde die stoffliche Zusammensetzung der Erntewurzelrückstände und deren Eigenschaften beim Umsatz im Boden untersucht, um Vorhersagen für die Humusreproduktion treffen bzw. den Bedarf an organischen Düngern ausweisen zu können, um einen ausgeglichenen Humushaushalt zu erhalten.

Die infolge des Braunkohletagebaus in der Niederlausitz entstandenen rückwärtigen Flächen sollen unter anderem auch für eine landwirtschaftliche Nutzung wiederhergestellt werden. Dazu ist es notwendig, mit Hilfe angepasster Rekultivierungsverfahren die zunächst humusfreien Kipp-Substrate in nachhaltig fruchtbare landwirtschaftliche Böden umzuwandeln. Darüber hinaus sind die überwiegend sandigen Kippenstandorte durch ein geringes bis mittleres Wasserdargebot gekennzeichnet. Vor dem Hintergrund einer im Zuge des

Klimawandels erwarteten weiteren Verknappung des Faktors Wasser stellt sich daher auf diesen Standorten die Frage nach der Anbaueignung von Sorghumhirse im Vergleich zu Mais und deren Wassernutzungseffizienz. Daran gekoppelt sind Fragen zur Optimierung der Nährstoffversorgung sowie zu Auswirkungen des Mais- und Sorghumanbaus auf den Landschaftswasserhaushalt und die Nährstoffauswaschung. Mit Hilfe eines Lysimeterversuches wurden auf zwei Kippenböden die Wassernutzungseffizienz von Sorghumhirsen und Energiemais abgeschätzt sowie deren Einfluss auf Sickerwasserbildung und Nährstoffauswaschung bestimmt.

6.2 Material und Methoden

6.2.1 Standortbeschreibung

Die Lysimeterversuche werden in der 10 km nördlich von Weimar gelegenen Lysimeterstation Buttstedt (Thüringer Becken; Mitteldeutsches Binnenklima) durchgeführt.

Bei den beiden im Modellversuch mit Kleinlysimetern verwendeten Böden handelt es sich um einen Braunerde-Tschernosem aus Löss des Thüringer Beckens und eine Braunerde aus Bändersand aus der Düben-Dahlener Heide. Die Bodenart des Braunerde-Tschernosem ist in der durchwurzelbaren Bodenzone schluffiger Lehm und stark schluffiger Ton. Grobporengehalte von mehr als 7 Vol.-% und Nadelstichporengefüge bis in 260 cm Tiefe bieten günstige Bedingungen für die Durchwurzelung. Die nutzbare Feldkapazität liegt mit 7,5 bis 18,2 Vol.-% im mittleren Bereich (Tabelle 53). Aufgrund der Mächtigkeit der Lössauflage ist von einem beachtlichen pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrat von etwa 220 mm bis in 200 cm Tiefe auszugehen.

Tabelle 53: Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Parameter des Braunerde-Tschernosem aus Löss

Horizont	Tiefe [cm]	Probenahmetiefe [cm]	pH [Ca Cl ₂]	C _{org} [%]	N _t [%]	CaCO ₃ [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart	nFK pF 2,0 [Vol.-%]
Ap	...31	7...13	6,2	1,61	0,16	<0,5	4,3	70,1	25,6	Tu4	13,5
Ah	...43	32...38	6,4	1,50	0,16	<0,5	4,8	70,0	25,2	Tu4	8,3
Bv-Ah	...52	49...55	6,8	0,77	0,09	<0,5	7,2	60,0	32,6	Tu3	7,5
Ah-Bv	...64										
Ckc1	...96	72...78	7,7	0,21	0,03	18,0	11,0	67,4	21,6	Ut4	9,4
Ckc2	...110	100...106	7,7	0,21	0,03	12,8	9,3	65,0	25,7	Tu4	7,5
Ckc3	...140	118...124	7,8	0,17	0,02	17,4	14,4	62,9	22,7	Lu	8,7
Ckc4	...160	140...146	7,8	0,04	0,02	15,0	11,8	64,5	23,7	Lu	16,8
		150...156	7,8	0,16	0,02	13,3	11,9	64,9	23,2	Lu	18,2
Ckc5	...228	175...181	7,8	0,05	0,02	14,6	11,3	66,0	22,7	Ut4	19,2
		190...196	7,8	0,08	0,02	13,1	10,0	67,3	22,7	Ut4	21,4
		210...216	7,7	0,14	0,02	12,8	9,1	67,9	23,0	Ut4	20,0
Ckc6	...260	236...242	7,8	0,14	0,02	11,4	8,4	68,0	23,6	Ut4	21,8

Im Profil der Braunerde aus Bändersand folgt unter dem schwach schluffig-sandigen Ap-Horizont Sand oder schluffiger Sand (Tabelle 54, Tabelle 55). Unterhalb 80 cm Tiefe finden sich lehmige Schichten mit 5 bis 30 cm Mächtigkeit (Tieflehm) im Wechsel mit sandig-kiesigen oder dunkelrostfarbenen, stark verfestigten Grus-, Kies- und Fe-Konkretionen (5 bis 15 cm) führenden Lagen. Lehmschichten und verockerte, grusfüh-

rende Lagen können Ursache für Stauwasserbildung sein. Der nutzbare Bodenwassergehalt der sandigen Substrate fällt mit 5,1 bis 11,5 Vol.-% geringer aus als beim Löss. Für die tiefer gelegenen lehmig-sandigen bis lehmigen Substrate gibt die Druckmessmethode 17,5 bis 20,4 Vol.-% nFK an.

Tabelle 54: Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Parameter der Braunerde aus Bändersand – Braunerde aus Bändersand (Typ 1)

Horizont	Tiefe [cm]	Probenahmetiefe [cm]	pH	C _{org} [%]	N _t [%]	CaCO ₃ [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart	nFK pF 2,0 [Vol.-%]
Ap	0...20	15...20	5,2	1,32	0,10	C0	81,3	13,4	5,3	Su2	11,5
Ah	...27	20...27	5,2	1,29	0,10	C0					
Bv	...62	43...48				C0	92,8	5,5	1,7	Ss	5,1
Cv ₁	...88	73...78				C0	93,9	4	2,1	Ss	7,5
Cv ₂	...119	105...110				C0	97,4	1,4	1,2	Ss	5,6
Cv ₃	...160										

Tabelle 55: Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Parameter der Braunerde aus Bändersand – Braunerde aus Bändersand über Tieflehm (Typ 2)

Horizont	Tiefe [cm]	Probenahmetiefe [cm]	pH	C _{org} [%]	N _t [%]	CaCO ₃ [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart	nFK pF 2,0 [Vol.-%]
Ap	0...20		5,2	1,14	0,10	C0					
Ah	...29	20...25	5,2	1,16	0,10	C0	76,8	17,0	6,2	Sl2	14,7
Bv-Ah	...39					C0					
Bv	...58	43...48				C0	82,3	13,4	4,3	Su2	13,0
Cv ₁	...81	65...70				C0	85,3	12,2	2,5	Su2	16,0
Cv ₂	...96	85...90				C0	59,7	31	9,3	Sl3	20,4
Cv ₃	...140	105...110				C0	37,1	47,2	15,7	Ls2	17,5

Die Feldversuche zur Bodenwasserausschöpfung befinden sich an der Lysimeterstation Buttelstedt auf einem tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Löss (Tabelle 53), auf denen auch die Wurzelproben entnommen worden sind für die Abschätzung der Humusreproduktionsleistung und an der Versuchsstation Güterfelde (Sorghum-Sortenversuch) auf einer Fahlerde aus Kryo-Decksand über solifluidaler kalkhaltiger Grundmoräne und periglazial unbeeinflusstem Bereich der Grundmoräne des nordostdeutschen Jungmoränengebietes (BAURIEGEL 2011; Tabelle 56). Unter dem Ap-Horizont der Fahlerde lagert lehmig-sandiger Geschiebe-decksand, der in 40 cm Tiefe in die lehmige Grundmoräne übergeht. Die nFK weist mit 9,7 bis 14,2 Vol.-% mittlere Werte auf.

Tabelle 56: Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Parameter der Fahlerde aus Kryo-Decksand über solifluidaler kalkhaltiger Grundmoräne und periglazial unbeeinflusstem Bereich der Grundmoräne (Sandtieflehm-Fahlerde)

Horizont	Tiefe [cm]	Probenahmetiefe [cm]	pH	C _{org} [%]	N _t [%]	CaCO ₃ [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart	nFK pF 2,0 [Vol.-%]
Ap	0...15	9...14	5,6	0,61	0,06	<0,5	81,3	14,4	4,3	Su2	11,4
rAp	...30	19...24	5,7	0,58	0,06	<0,5	81,3	15,1	3,6	Su2	11,8
Bt + Ael	...40	31...36	5,9	0,19	0,02	<0,5	70,8	20,9	8,3	SI3	9,7
Ael + Bt	...70	63...68	5,5	0,09	0,02	<0,5	65,6	18,3	16,1	Ls4	10,9
Bt + ilCv	...90	77...82	5,9	0,08	0,02	<0,5	63,7	17,6	18,7	Ls4	11,0
ilCv	...105	93...98	6,3	0,08	0,02	<0,5	70,8	14,4	14,8	SI4	13,5
elCv	...200	116...121	7,8	0,05	0,01	7,4	73,7	18,6	9,9	SI3	14,2
		130...135	7,8	0,01	0,01	8,7	70,8	18,9	10,3	SI3	13,5
		150...155	7,8	0,08	0,01	7,4	70,7	19,0	10,3	SI3	13,3
		170...175	7,8	0,02	0,01	8,0	71,3	19,2	9,5	SI3	13,3
		190...195	7,8	0,12	0,01	8,3	71,3	18,9	9,8	SI3	13,9

Am Standort Buttelstedt beträgt die vieljährige Niederschlagssumme 544 mm und das vieljährige Temperaturmittel 8,3 °C. Am Standort Güterfelde ist es im vieljährigen Mittel mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,1 °C wärmer, besonders Mai und August sind temperaturpositiver (+1,5 °C). Die jährliche Niederschlagssumme ist mit 545 mm ähnlich, aber unterschiedlich verteilt. In den Wintermonaten (Nov. bis März) fällt in Güterfelde im Mittel 20 mm mehr Niederschlag, dagegen ist die Vegetationsperiode mit Ausnahme des mit 20 mm mehr Monatsniederschlag versorgten Juli bis in den August trockener als in Buttelstedt.

Am Standort Grünwalde fallen im vieljährigen Mittel 568 mm Niederschlag, davon wie in Buttelstedt 373 mm in der Vegetationsperiode. Das Temperaturmittel liegt mit 8,8 °C zwischen den Werten der beiden anderen Standorte.

6.2.2 Modellversuch Kleinlysimeter

Für die Bestimmung von Wasser-Ertrags-Beziehungen dienen im Modellversuch 48 monolithisch mit Boden befüllte Kleinlysimeter mit einer Oberfläche von 0,125 m² und einer Tiefe von 1,35 m (Anhang 73). Geprüft wurden die Futterhirse-Sorte KWS Zerberus und die Sudangrashybride Lussi auf zwei verschiedenen Böden mit differenzierter Wasserversorgung (Tabelle 57). Einen Überblick über das Messprogramm gibt Anhang 74.

Tabelle 57: Übersicht über Versuchsvarianten und Untersuchungsparameter im Modellversuch mit Kleinlysimetern

Pflanze	S. bicolor (KWS Zerberus)						S. bicolor x S. sudanense (Lussi)					
	Braunerde-Tschernosem aus Löss			Braunerde aus Bänder-sand			Braunerde-Tschernosem aus Löss			Braunerde aus Bänder-sand		
Boden	Braunerde-Tschernosem aus Löss			Braunerde aus Bänder-sand			Braunerde-Tschernosem aus Löss			Braunerde aus Bänder-sand		
Wasserversorgung	1,0 PET ¹	0,6 PET	0,2 PET	1,0 PET	0,6 PET	0,2 PET	1,0 PET	0,6 PET	0,2 PET	1,0 PET	0,6 PET	0,2 PET
N-Düngung	Min. Düngung nach SBA ² (230 kg/ha N-Sollwert)											
Untersuchungsparameter	Ertrag und Gärqualität Bodenfeuchteentzug, Wasserverbrauch, Sickerwassermenge, Nährstoff-Saldo, Nährstoffaustrag											

¹) PET... Potenzielle Evapotranspiration

²) SBA-System ... Stickstoffbedarfsanalyse-system der TLL, keine Abstufungen zw. Faktor Wasserversorgung

Bis zum Beginn der Hauptwachstumsperiode erhielten die Lysimetergefäße den natürlich fallenden Niederschlag, danach wurden auf beiden Böden drei Abstufungen der Wasserversorgung geprüft. Die erste Stufe zielte auf etwa 80 % nFK für potenzielle Verdunstungsbedingungen durch Ausgleich der Wasserbilanz (1,0 PET), in der zweiten Stufe wurden 60 % (0,6 PET) und in der dritten Stufe 20 % der potenziellen ET (0,2 PET) der Pflanze realisiert.

Die Berechnung der potenziellen Verdunstung des Pflanzenbestandes erfolgte mit dem Verdunstungsmodell VERD entsprechend des im Vorgängerprojekt mit Hilfe der Feldlysimeter ermittelten Wasserbedarfs der *S. bicolor*-Sorte Goliath. Beide Sorghumarten erhielten in Abhängigkeit von der Versorgungsstufe zu den Beregnungsterminen identische Wassermengen. Angaben zu den agrotechnischen Bewirtschaftungsmaßnahmen der Kleinlysimeter finden sich in Anhang 75.

6.2.3 Feldversuche Bodenwasserausschöpfung und Wurzelbiomasse

Zur Untersuchung der sortenspezifischen Bodenwasserausschöpfung von Sorghum im Vergleich zur Referenzpflanze Mais wurde am Standort Buttstedt ein reduzierter Sortenversuch mit ausgewählten ertragsstabilen Sorten des Sortenversuches Teilprojekt 1 durchgeführt. Am Standort Güterfelde erfolgten die entsprechenden Untersuchungen am identischen Sortenspektrum im Sortenversuch des Teilprojektes 1. Tabelle 58 vermittelt einen Überblick über die jeweils drei etablierten *S. bicolor*- und *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorten, die im Vergleich zu zwei Referenz-Maissorten geprüft wurden.

Tabelle 58: Sortenspektrum zur Untersuchung der Bodenfeuchteausschöpfung in den Feldversuchen Buttstedt und Güterfelde

Mais	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>	<i>S. bicolor</i>
Atletico LG 32.16	Lussi KWS Sole (2012, 2013) Nutri Honey (nur 2011) KWS Freya	KWS Zerberus Sucrosorgho 506 Hercules (2012, 2013) Biomass 150 (nur 2011)
Untersuchungsparameter	Ertrag, Trockensubstanz und Gärqualität Bodenfeuchte-Ausschöpfung, Nährstoff-Saldo, Wurzelbiomasse nur am Standort Buttstedt (Atletico, LG 32.16, Lussi, Nutri Honey, KWS Freya, KWS Zerberus, Biomass, Hercules)	

Weil Kalium den Wasserhaushalt von Pflanzen maßgeblich beeinflusst und Sorghumhirsen einen hohen Kaliumbedarf aufweisen, wurde am Standort Buttstedt die *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus in einer zusätzlichen Variante ohne K-Düngung geprüft (2012, 2013).

Zur Ermittlung des Bodenwassergehaltes erfolgte nach Bestandesetablierung an beiden Standorten je Sorte in zwei der vier Wiederholungen die Installation von zwei Meter tiefen Bodenfeuchtemessrohren für die EnviroSCAN-Sonde (Fa. SENTEK Pty Ltd, UMS GmbH) (Abbildung 91), welche im Folgenden als Sentek-Sonde bezeichnet wird. In jeweils einem Messrohr der Sorte KWS Zerberus (Buttstedt, Güterfelde) und der Sorte Lussi (Güterfelde) wurde ab 2012 eine Sentek-Sonde im Dauerbetrieb gehalten, um kontinuierlich alle vier Stunden einen Messwert zu erzeugen.

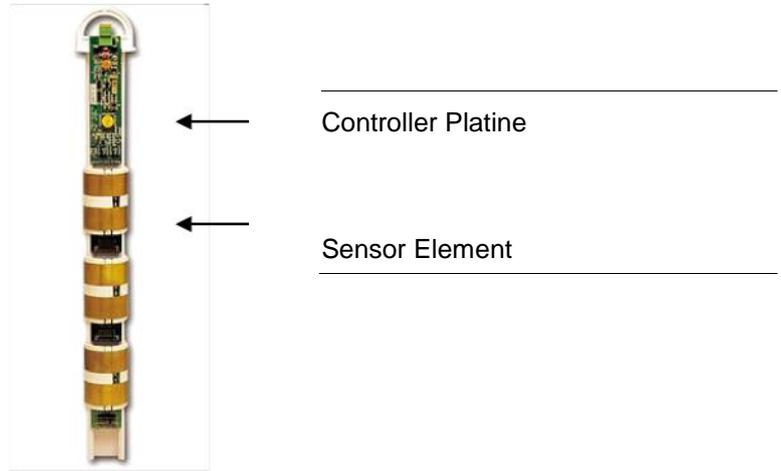


Abbildung 91: Bodenfeuchtemessstelle und Sentek-Sonde (Ausschnitt) zur Bodenfeuchtemessung
(Foto: UFZ)

Zudem wurden in Buttelstedt die Maissorte Atletico, die Sudangrashybride Lussi und die Futterhirse KWS Zerberus jeweils noch mit zwei Bodenfeuchtemessrohren für die Neutronensonde (Troxler) ausgestattet. Alle Bodenfeuchtemessungen erfolgten wöchentlich bis zur Ernte der Kulturen. Die Abbildung 92 zeigt die schematische Darstellung des Feldversuches am Standort Buttelstedt mit den Bodenfeuchtemessstellen sowie den Entnahmeparzellen für die Wurzelbiomassebestimmung (UFZ).

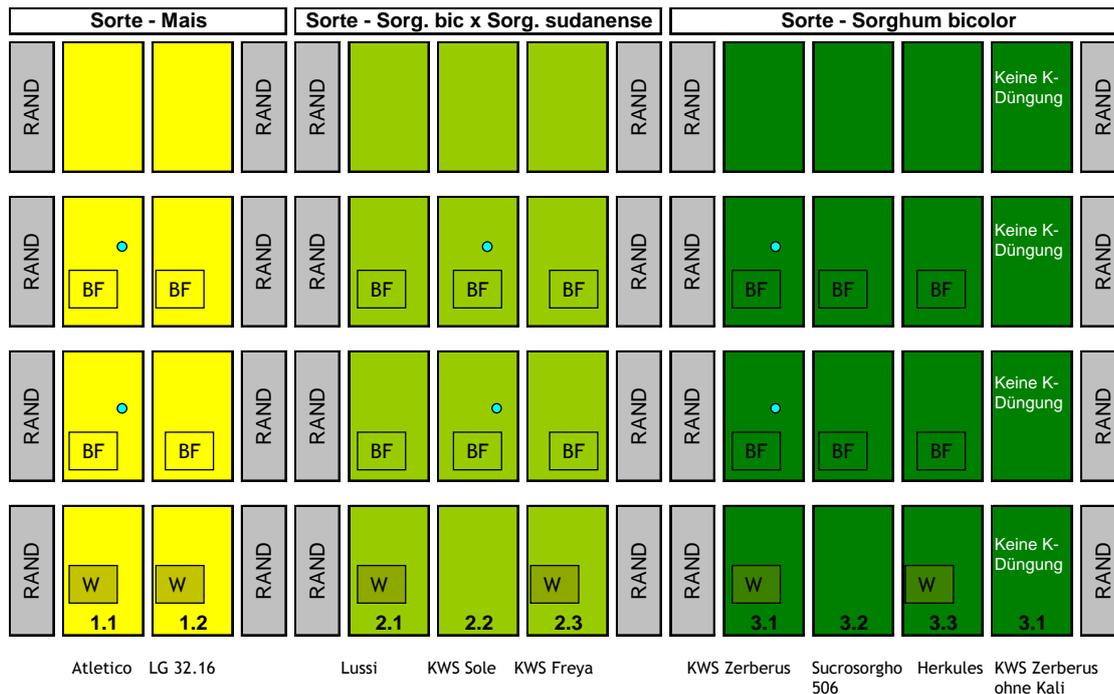


Abbildung 92: Versuchsanlage des reduzierten Sortenversuches Buttelstedt

Eine Übersicht über die anbautechnischen Angaben am Standort Buttelstedt liefert Anhang 76, die entsprechenden Daten zum Sortenversuch Güterfelde sind Anhang 37 zu entnehmen.

6.2.4 Bestimmung der Wurzelbiomasse und Humusreproduktion

Probenahme

Zur Quantifizierung der Wurzelbiomasse verschiedener Mais- und Hirse-Energiepflanzensorten wurden mit jeweils 5-facher Wiederholung auf einer Reihe und zwischen zwei Reihen mittels Handbohrer in 10 cm Schritten ein Bodenvolumen von 0.0005027 m³ (8cm Ø und 10 cm Höhe) bis zum Erreichen der Maximaltiefe entnommen (s. Abbildung 93).



Abbildung 93: Probenahme mittels Handbohrer

(Foto: UFZ)

In der Tabelle 59 sind alle Probenahmeterminale aufgelistet.

Tabelle 59: Probenahmeliste zur Bestimmung der Wurzelbiomasse

Fruchtart	Sorte	Probenahmedatum	Probenahmetiefe [m]
Mais	Atletico	28.07.2011	1,60
	LG 32.16	28.07.2011	1,60
	Atletico	30.09.2011	1,80
	LG 32.16	30.09.2011	1,80
<i>S. bicolor x S. sudanense</i>	Lussi	06.10.2011	2,00
	Nutri Honey	06.10.2011	2,00
<i>S. bicolor</i>	KWS Zerberus	13.10.2011	2,00
	Biomass 150	13.10.2011	2,00
Mais	Atletico	20.09.2012	2,00
	LG 32.16	26.09.2012	2,00
<i>S. bicolor x S. sudanense</i>	Lussi	26.09.2012	2,00
	KWS Freya	26.09.2012	2,00
<i>S. bicolor</i>	KWS Zerberus	10.10.2012	2,00
	Hercules	10.10.2012	2,00
Mais	Atletico	11.09.2013	2,00
<i>Sorghum bic. x S. sud.</i>	Lussi	12.09.2013	2,00
<i>Sorghum bic.</i>	KWS Zerberus	10.10.2013	2,00

Probenahme 2011

Im Sommer 2011 wurden als Vortest die Maissorten Atletico und LG 32.16 am 28.07.2011 bis zu einer Tiefe von 1,60 m beprobt. Im Herbst, am 30.09.2011, nach der Ernte dieser Maissorten, erfolgte die wiederholte Probenahme bis zu einer Tiefe von 1,80 m. Am 06.10.2011 wurden Wurzelproben der *S. bicolor x S. sudanense*-Sorten Lussi und Nutri Honey und am 13.10.2011 der *S. bicolor*-Sorten KWS Zerberus und Biomass 150 jeweils bis zu einer Tiefe von 2 m entnommen. Die geringere Probenahmetiefe für Mais wurde aufgrund der vermuteten geringeren Wurzeldichte in tieferen Bodenschichten festgelegt.

Probenahme 2012

Im Jahr 2012 erfolgte eine einheitliche Probenentnahme für alle Sorten bis zu einer Tiefe von 2 m, weil für Mais bis zu einer Tiefe von 1,80 m Wurzeln gefunden wurden. Die Probenahmen fanden für die Maissorte Atletico am 20.09.2012, für die Maissorte LG 32.16 und den *S. bicolor* x *S. sudanese*-Sorten Lussi und KWS Freya am 26.09.2012 und für die *S. bicolor*-Sorten KWS Zerberus und Hercules am 10.10.2012 statt.

Probenahme 2013

Aufgrund des enormen experimentellen Aufwandes wurden im Jahr 2013 insgesamt nur noch drei Sorten untersucht. Dabei wurden die Sorten ausgewählt, die durchgängig alle drei Jahre beprobt wurden. Die Probenahmen erfolgten am 11.09.2013 für die Maissorte Atletico, am 12.09.2013 für die *S. bicolor* x *S. sudanese*-Sorte Lussi und am 10.10.2013 die *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus.

Im Jahr 2011 erfolgten 1.480, im Jahr 2012 1.200 und im Jahr 2013 600 Proben.

Wurzelselektion

Alle Proben wurden zur Minimierung der Umsatzprozesse in einem Kühlschrank bei 5 °C zwischengelagert. Die Wurzeln wurden zeitnah durch die TLL am Standort Buttstedt ausgewaschen. Dazu wurden die Proben einem halbautomatischen, ca. einstündigen Waschprozess unterzogen. Es wurden Eimer verwendet, die mit einer Säule am Boden mit aufgestecktem Sieb und mit zweifachem Wasseranschluss zur Erzeugung eines Wasserstrudels ausgestattet waren (s. Abbildung 94).

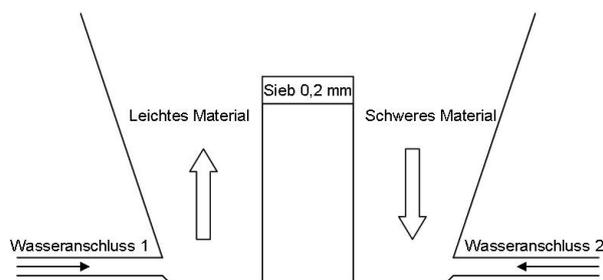


Abbildung 94: Wurzelwaschanlage

Das leichte Material, in dem Fall die Wurzeln verbunden mit feinem Bodenmaterial, schwimmt auf und sammelt sich in Anlehnung an die Methode von AMATO & PARDO (1994) in einem Sieb mit einer Maschenweite von 0,2 mm. Nach der Waschprozedur wurde der Eimer auf im Wasser verbliebene Wurzeln kontrolliert und es folgte die manuelle Auslese der Wurzeln aus dem Siebinhalt. Die selektierten Wurzeln wurden bei -18 °C eingefroren und ohne Unterbrechung der Kühlkette zum UFZ am Standort Halle transportiert.

Wurzelquantifizierung

Zur Bestimmung der Wurzelparameter der verschiedenen Pflanzen aus den jeweiligen beprobten Tiefenabschnitten wurden die eingefrorenen Wurzeln in einer mit destilliertem Wasser gefüllten Plexiglasschale aufgetaut und dabei ausgebreitet. Mit einem handelsüblichem Scanner EPSON Expression 10000XL 1.0 (32-32) wurden Schwarzweiß-Bilder mit einer Auflösung von 600 dpi (Pixelgröße 0,04 mm) aufgenommen. Anschließend wurden die Aufnahmen mittels der Software winRhizo© 2009 ausgewertet (Abbildung 95). Das Programm schätzt dabei das Wurzelvolumen anhand der Wurzellänge und -breite ab. Als Output erhält man neben dem Wurzelvolumen die Gesamtlänge und Gesamtoberfläche für vorher zu definierende Durchmesserklassen der Wurzeln. Die Wurzeloberfläche errechnet sich unter der Annahme eines idealen Zylinders unter Verwendung der vorhandenen Wurzellänge und der Radien. Dabei wurden für alle Proben die Parameter für

15 Wurzelklassen im Bereich von 0 - < 0,1 mm bis > 1,4 mm quantifiziert. Die Gesamtwurzellängen, -oberflächen und -volumina wurden durch die Aufsummierung der Ergebnisse der verschiedenen Wurzelklassen ermittelt.

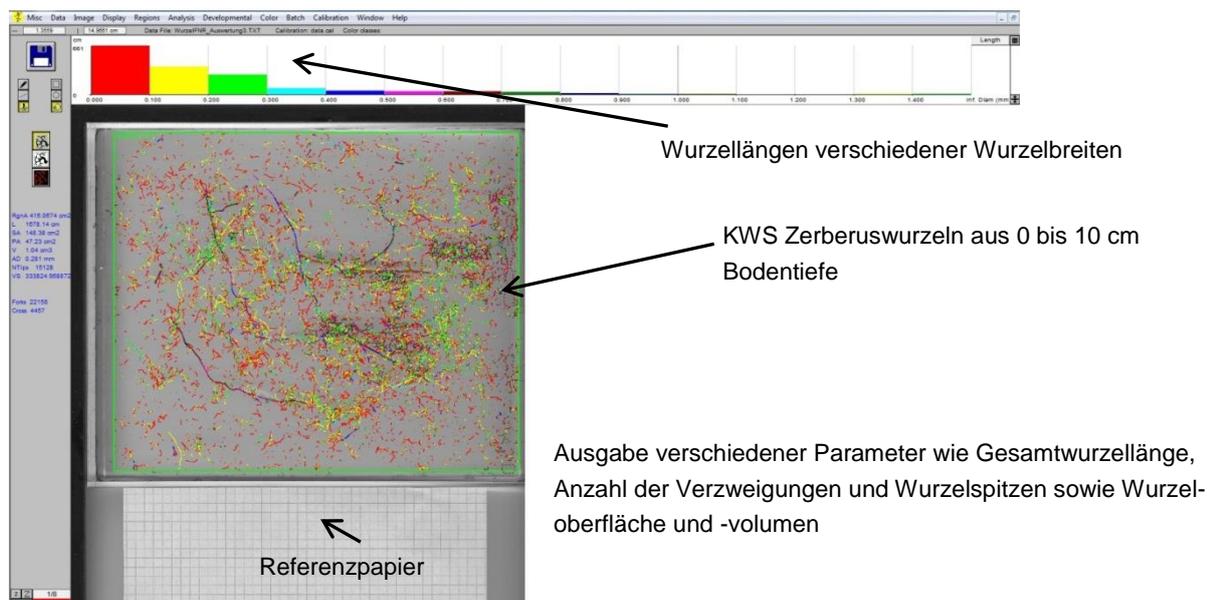


Abbildung 95: Wurzelanalyse von KWS Zerberus aus 0 bis 10 cm Tiefe mittels der Software „winRHIZO 2009“

Quantifizierung der Wurzelmasse

Die Quantifizierung der Wurzelmasse und deren Kohlenstoffmenge mit Hilfe der klassischen destruktiven Methode sind von der Problematik begleitet, dass Wurzelverluste und Zuckerauswaschung während des Auswaschungsprozesses auftreten (NOORDWIJK & FLORIS 1979; GRZEBISZ et al. 1989) und damit die exakte Wurzelmengebestimmung verfälschen. Dagegen bleibt das in verschiedenen Vortests quantifizierte Wurzelvolumen nach unterschiedlichen Auswaschungszeiträumen trotz gravierender Unterschiede im Verlust leichtlöslicher Zucker sehr stabil. Infolgedessen ist es möglich, die Frischmassen (m) der Wurzeln über die Dichte (ρ) und dem Volumen (V) nach Funktion (1) zu bestimmen.

$$m = V \cdot \rho \quad (\text{Fkt. 1})$$

Mit dem entsprechenden Trockenmassegehalt lässt sich dann auch das Trockenmassegewicht ermitteln.

Zur Dichte- und Trockenmassegehaltsbestimmung wurden 2012 und 2013 zusätzlich zu den Volumenproben mittels Handbohrer Wurzeln mit Hilfe einer Pinzette aus dem Boden selektiert. Diese Wurzeln wurden mit möglichst geringem Wasserkontakt (ca. 1 min Dauer) gereinigt, um den Gewichtsverlust zu minimieren. Die selektierten Wurzeln jeder Sorte wurden in 10 Teile aufgeteilt und davon das Frischmassegewicht ermittelt. Die Hälfte der Wurzeln wurde anschließend bei 60 °C getrocknet und der Trockenmassegehalt mit geringem Wasserkontakt für die fünf Teile quantifiziert. Für die andere Hälfte der Wurzeln wurden nach der Frischmassemittlung mit dem Scanner EPSON Expression 10000XL Wurzelbilder nach oben beschriebener Methode (siehe Wurzelquantifizierung) aufgenommen und das Wurzelvolumen ermittelt. Aus diesem Wurzelvolumen (V) wurde mit Hilfe des Frischgewichtes der Wurzeln (m) nach Funktion (2) die Dichte der Frischwurzeln bestimmt.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Fkt. 2})$$

Danach wurden diese Wurzeln ebenfalls bei 60 °C getrocknet und der Trockenmasseanteil nach ca. 11 min Wasserkontakt (1 min Spülen + 10 min Scannen) bestimmt. Zudem wurde für eine Auswahl der Proben der Trockenmasseanteil ermittelt, die der normalen Waschprozedur über 1 h ausgesetzt waren. Somit sind zu drei Zeitpunkten, nachdem die Wurzeln mit Wasser in Kontakt gekommen sind, Trockenmassegehalte bestimmt worden. Der theoretische Trockenmassegehalt ohne Wasserkontakt wurde mit Hilfe einer Funktionsanpassung an die Funktion (3) mit beschränktem exponentiellen Zerfall quantifiziert.

$$f(y) = a + b \cdot e^{-c \cdot x} \quad (\text{Fkt. 3})$$

Somit kann mit Hilfe der ermittelten Dichte der selektierten Wurzeln das Frischmassegewicht nach Funktion (1) und anschließend multipliziert mit dem Trockenmasseanteil aus Funktion (3) das Trockenmassegewicht ohne Zuckerverluste durch den Auswaschungsprozess errechnet werden.

Streufallen und Quantifizierung der Stoppel

Zur Quantifizierung der oberirdischen Ernterückstände wurden von jeweils 10 Pflanzen die Stoppeln bodengleich abgeschnitten. Davon wurden die TM und C- sowie N-Gehalte ermittelt. Über die Anzahl der Pflanzen pro m² wurde der mittlere Anfall an oberirdischer Stoppel pro Flächeneinheit berechnet.

Zudem wurden im Jahr 2013 für die drei beprobten Mais- und Hirsesorten Laubfallen der Größe Reihenabstand * 1 m aufgestellt und für den Vegetationszeitraum die angefallenen Streu aufgefangen. Die Streufallen wurden mehrfach geleert und die Streu bei 60 °C getrocknet, das Gesamtrockengewicht und die C- und N-Gehalte bestimmt.

Stoffanalysen

Die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte der Erntewurzelrückstände wurden an feingemahlene homogenisierte Proben mit einem vario EL Elementar-Analysator von elementar Hanau gemessen. Die Gesamtzuckerbestimmung erfolgte mit der LUFF-SCHOORL-Methode nach § 64 LFGB (Hrsg. BVL) analog der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren. Die Bestimmung der Parameter Rohzellulose, Rohhemizellulose und Rohlignin wurde mit der Methode von van Soest ermittelt (In: Methodensammlung Biogas).

Verteilung der Lagerungsdichte im Bodenprofil

Um die Wechselbeziehungen zwischen der Wurzelentwicklung im Bodenprofil und der Dichte des Bodens näher zu untersuchen, wurden im Jahr 2012 zwei Bodenprofile angelegt und die Lagerungsdichte des Bodens horizontweise bestimmt. Dazu wurden Stechzylinder der Größe von 100 cm³ (V) in den Boden geschlagen, anschließend bei 105 °C getrocknet, das Trockengewicht (m) und die Lagerungsdichte (ρ) bestimmt.

Inkubationsexperiment

Im November/Dezember 2012 wurde ein Inkubationsexperiment durchgeführt, bei dem Wurzelrockenmasse aus dem Versuchsjahr 2011 aller untersuchten Mais- und Hirsesorten mit Boden aus dem Versuchsstandort Buttelstedt bei 22 ° für 34 d inkubiert wurde (Abbildung 96). Dabei wurden gewonnene Wurzelmenngen aus dem Tiefenbereich 0–30 cm mit Oberboden und Wurzelmenngen aus dem Tiefenbereich 30–100 cm bzw. 100–170 cm mit Unterboden inkubiert. Zusätzlich wurden der Unter- und Oberboden separat inkubiert, um die Wurzelumsätze als Differenz zu der Wurzel/Bodenmischung und Boden für sich bilden zu können. Die Menge an emittiertem Kohlenstoffdioxid (CO₂) wurde mit einer Auflösung von 1 h automatisch aufgezeichnet.



Abbildung 96: Inkubationsexperiment mit Wurzeltrockenmasse aus dem Versuchsjahr 2011 in Kombination mit Ober- und Unterboden

(Foto: UFZ)

Das Ziel dieses Inkubationsversuches war es, die Umsatzgeschwindigkeit und das Reproduktionsvermögen für Kohlenstoff der Wurzeln der verschiedenen Mais- und Hirsesorten zu bestimmen. Dazu wurden die mit dem CANDY Modell (FRANKO 1995) simulierten C_{CO_2} Werte mit einem Optimierungstool an die gemessenen C_{CO_2} Werte aus dem Inkubationsversuch unter Bestimmung der k (Umsatzgeschwindigkeit) und η (Synthesekoeffizient) Werte für die einzelnen Fruchtarten gefittet.

Ableitung der Parameter für die Humusbilanz nach VDLUFA

Mit Hilfe eines quantitativ arbeitenden Modells zur Kohlenstoffdynamik – wie z. B. CCB (FRANKO et al. 2011), kann der Humushaushalt für Szenarien aus verschiedenen Kombinationen aus Fruchtart und organischer Düngung modelliert werden. Befindet sich der C_{org} -Vorrat für längere Zeit im Gleichgewicht, ist dieser Wert, die Bewirtschaftungsdaten und die Standortbedingungen wie Klima Textur und Lagerungsdichte bestimmt. Sind zwei verschiedene Szenarien im Gleichgewicht bei gleichem C_{org} -Vorrat, erwartet man für beide das gleiche Bilanz-Saldo:

$$PFLANZE_1 + OD_1 = PFLANZE_2 + OD_2$$

Die Bedarfswerte einer bisher nicht berücksichtigten Fruchtart lassen sich auf diesem Wege also auf bekannte Bedarfswerte und den Reproduktionsfaktor von organischen Düngern zurückführen. Dazu müssen für die neu zu parametrisierende Fruchtart folgende Parameter für die CCB-Modellierung bekannt sein:

- N-Menge der Ernte- und Wurzelnrückstände
- Synthesekoeffizient η
- Umsatzkonstante k
- C/N-Verhältnis

Für die hier betrachteten Fruchtarten werden die erforderlichen Parameter als gewogenes Mittel der entsprechenden Werte für Wurzeln und Stoppeln nach LETTAU & KUZYAKOV (1998) ermittelt. Dabei wurden weitestgehend die im Projekt vorliegenden Analyseergebnisse benutzt. Darüber hinaus bestehende Lücken wurden mit Literaturergebnissen geschlossen.

Statistik

Alle statistischen Analysen wurden mit dem R SystemVersion 2.7.1 (R Development Core Team, 2011) zusammen mit dem "agricolae"-Paket von DE MENDIBURU (2010) durchgeführt. Zunächst wurde der Ausschluss der Normalverteilung aller Wiederholungen der Wurzelparameter mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test untersucht. Für alle Fälle konnte die Normalverteilung nicht ausgeschlossen werden. Nach einer Varianzanalyse wurden Unterschiede zwischen den Varianten mit dem Duncan-Test getestet, womit die statistischen Klassen a,b,c, ... (mit höchstem Mittelwert bei a beginnend) ausgewiesen worden sind, wobei die Kombination von Buchstaben auf keine eindeutige Klassenzuordnung hinweist. Für alle Analysen wurde als Schwelle für die Fehlerwahrscheinlichkeit ein Wert von 0,05 angenommen.

6.2.5 Lysimeterversuch mit Kippenböden

Im Mai 2011 wurden am Standort Messfeld Grünewalde insgesamt acht Lysimetersäulen ausgewählt und die Lysimeter-Nr. 18–21 mit frisch verkipptem quartärem Kippsubstrat aus dem Tagebau Welzow Süd (QKS; Kipp-Kalklehmsand, oj-(c)ls) und die Lysimeter-Nr. 26–29 mit tertiärem Kippsubstrat (TKS; Kipp-Kohlelehmsand, oj-xls) befüllt bzw. die vorherigen Substrate ausgetauscht (Abbildung 97).

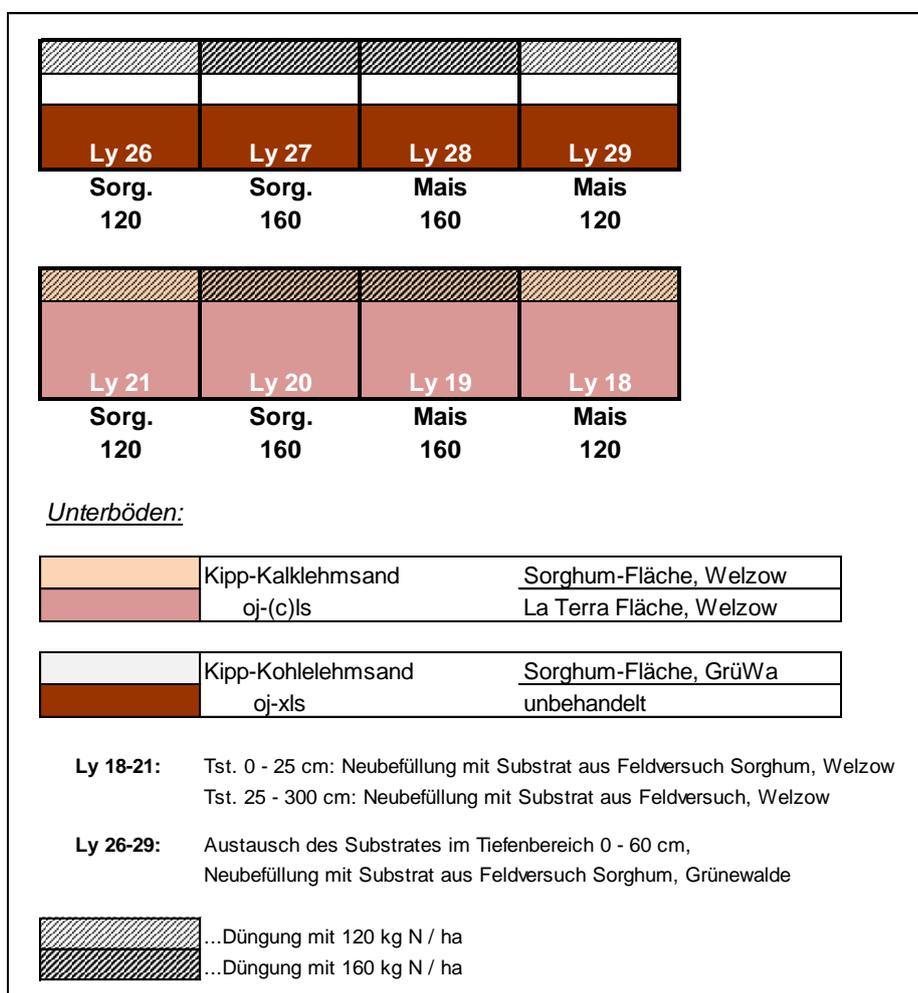


Abbildung 97: Lysimeterversuch zu Wasserverbrauch und Wassernutzungseffizienz von Sorghumhirse und Mais – Versuchsaufbau

Das TKS wurde von einer landwirtschaftlichen Nutzfläche in unmittelbarer Umgebung der Lysimeteranlage entnommen und unterliegt bereits seit mehreren Jahrzehnten einer landwirtschaftlichen Nutzung. Die Lysime-

ter sind 300 cm tief und weisen eine Oberfläche von 1 m² auf. Das Sickerwasser wird gravitativ über eine Filterstrecke aus Filterkies erfasst und in Sammelbehälter aufgefangen (Gesamtüberblick der Lysimeteranlage Grünewalde, siehe Anhang 84).

Die mit Kipp-Kohlelehmsand befüllten Lysimeter wurden bereits im Zeitraum 1995–2002 im Rahmen eines BMBF-geförderten F/E-Vorhabens genutzt und bildeten die Grundlage für Untersuchungen zu bodenverbessernden Substraten aus Massenabfällen für die landwirtschaftliche Rekultivierung (KATZUR et al. 2000; HAUBOLD-ROSAR et al. 2004). Die damals ermittelten bodenphysikalischen Eigenschaften des verwendeten tertiären Kippsubstrates (Tiefenstufe 0–300 cm) und die im Mai 2011 in dieselben Lysimeter eingebauten Bodenschichten (Substituierung der obersten 60 cm) sind in Tabelle 60 aufgeführt. Tabelle 61 enthält – tiefenstufenbezogen – wesentliche bodenphysikalische Parameter des in die Lysimeter-Nr. 18–21 neu eingebauten quaritären Kippsubstrates (oj-(c)ls).

Tabelle 60: Bodenphysikalische Eigenschaften des in den Lysimetern 26–29 eingesetzten Kipp-Kohlelehmsandes, oj-xls

Tiefenstufe [cm]	Lysimeter-Nr. 26–29 (Kipp-Kohlelehmsand; oj-xls)		
	F/E-Vorhaben (KATZUR et al. 2000) (01.02.1995 - 31.03.1999)		Sorghum-Projekt (Einbau: Mai 2011)
	60–100	100–300	0 - 60
Texturanalyse	k.A.	k.A.	St2
Trockenraumgewicht [g/cm ³]	1,28	1,33	1,33
Gesamporenvolumen [%]	49,4	46,8	47,4
Luftkapazität (pF < 1,8) [Vol.-%]	28,1	22,8	9,5
Feldkapazität (pF > 1,8) [Vol.-%]	21,3	24,0	37,9
Totwasser (pF > 4,2) [Vol.-%]	9,2	9,1	12,9
nFK (pF 1,8 – 4,2) [Vol.-%]	12,1	14,8	25,0
Gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/d]	173	186	350

St2 = schwach toniger Sand (Bodenartengruppe: Lehmsande)
nFK = nutzbare Feldkapazität

Tabelle 61: Bodenphysikalische Eigenschaften des in den Lysimetern 18–21 eingesetzten Kipp-Kalklehmsandes, oj-(c)ls

Tiefenstufe [cm]	Lysimeter-Nr. 18–21 (Kipp-Kalklehmsand; oj-(c)ls)					
	25	45	95	145	195	245
Texturanalyse	mSfs	SI2	SI2	SI2	SI2	SI2
Trockenraumgewicht [g/cm ³]	-	1,73	1,80	1,90	1,80	1,80
Gesamporenvolumen [%]	-	34,0	31,6	27,6	31,2	32,0
Luftkapazität (pF < 1,8) [Vol.-%]	-	18,1	16,3	11,4	15,6	16,6
Feldkapazität (pF > 1,8) [Vol.-%]	-	15,9	15,3	16,2	15,6	15,4
Totwasser (pF > 4,2) [Vol.-%]	-	6,1	5,6	6,1	5,8	6,2
nFK (pF 1,8 – 4,2) [Vol.-%]	-	9,9	9,8	10,2	9,8	9,2
Gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/d]	-	158	87	52	73	96

mSfs = mittelsandiger Feinsand (Bodenartengruppe: Reinsande)
SI2 = schwach lehmiger Sand (Bodenartengruppe: Lehmsande)

In Bezug auf Tabelle 60 ist anzumerken, dass das im Mai 2011 in die Lysimeter 26–29 eingebaute Kippsubstrat im Vergleich zum vorher genutzten Kippsubstrat (KATZUR et al. 2000) ein fast gleiches Trockenraumgewicht aufweist. Demgegenüber ergeben die ermittelten Bodenluft- und -wasserhaushaltsgrößen ein differenziertes Bild; so ist das im Mai 2011 eingebaute Kippsubstrat geringer belüftet (LK-Wert im Vergleich zu vorheriger Nutzung auf etwa ein Drittel verringert). Die entsprechenden Werte für Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität

zität und Totwasser sowie für die gesättigte Wasserleitfähigkeit sind im Vergleich zu dem von KATZUR et al. (2000) beschriebenen, in den Lysimetern genutzten Kippboden zum Teil wesentlich erhöht.

Werden die bodenphysikalischen Eigenschaften der im Mai 2011 in die Lysimeter eingebauten Kippsubstrate miteinander verglichen, kann konstatiert werden, dass – bezogen auf die Tiefenstufe 45 cm – der Kippkalklehmsand (QKS) im Vergleich zum Kipp-Kohlelehmsand (TKS) durch ein höheres Trockenraumgewicht, ein geringeres Gesamtporenvolumen, eine höhere Luftkapazität und eine verringerte nutzbare Feldkapazität gekennzeichnet ist. Somit ist insgesamt mit einem unterschiedlichen kippsubstratspezifischen Sickerwasserabflussverhalten, mit variierten Wasserspeichervermögen und daraus resultierenden Wasserverbräuchen sowie letztlich mit unterschiedlichen ökologischen Auswirkungen zu rechnen.

Im Weiteren soll auf wesentliche bodenchemische Eigenschaften der verwendeten Kippböden eingegangen werden; entsprechende Angaben enthält Tabelle 62.

Tabelle 62: Bodenchemische Eigenschaften der im Lysimeterversuch Grünwalde eingesetzten Kippböden Kipp-Kalklehmsand (Lys.-Nr. 18–21) und Kipp-Kohlelehmsand (Lys.-Nr. 26–29)

Kipp-Kalklehmsand oj-(c)ls (Lysimeter-Nr. 18–21)								
Probenkennung	Tiefenstufe [cm]	pH (CaCl ₂)	pH (H ₂ O)	C _{ges.} [%]	N _{ges.} [%]	C/N	S _{ges.} [%]	CaCO ₃ [%]
Ly18-21/25	25	5,8	6,4	0,23	0,022	10,5	<0,02	<0,1
Ly18-21/45	45	7,4	8,1	0,23	0,010	23,0	<0,02	1,1
Ly18-21/95	95	7,5	8,4	0,29	0,011	26,4	<0,02	0,9
Ly18-21/145	145	7,5	8,3	0,24	0,011	21,8	<0,02	1,0
Ly18-21/195	195	7,5	8,1	0,25	0,012	20,8	<0,02	0,4
Ly18-21/245	245	7,5	8,2	0,23	0,012	19,2	<0,02	0,7
Kipp-Kohlelehmsand oj-xls (Lysimeter-Nr. 26–29)								
Probenkennung	Tiefenstufe [cm]	pH (CaCl ₂)	pH (H ₂ O)	C _{ges.} [%]	N _{ges.} [%]	C/N	S _{ges.} [%]	CaCO ₃ [%]
Ly26-29/25	25	5,9	6,6	4,06	0,130	31,2	0,10	<0,1
Ly26-29/45	45	4,1	4,8	2,15	0,059	36,4	0,08	<0,1

Beim Vergleich ausgewählter bodenchemischer Eigenschaften der beiden verwendeten Kippsubstrate werden die – bedingt durch die enthaltenen tertiären Kohle-Kompartimente – wesentlich höheren C_{ges.}-Gehalte im Kipp-Kohlelehmsand deutlich (siehe Tabelle 62). Das führt insgesamt zu weiten C/N-Verhältnissen im Oberboden. Auch der Gesamtstickstoff- und Schwefelgehalt liegt im oj-xls auf wesentlich höherem Niveau als im oj-(c)ls. Demgegenüber wurde – bezogen auf die Tiefenstufe 45 cm – im Kipp-Kalklehmsand ein zehnfach höherer CaCO₃-Gehalt nachgewiesen; dies bedingt den sehr schwach alkalischen pH-Wert von 7,4 (Kipp-Kalklehmsand) im Gegensatz zum stark sauren pH-Wert von 4,1 (Kipp-Kohlelehmsand).

Bereits Anfang Juli 2011 wurden insgesamt sechs Bulkdepositionssammler in unmittelbarer Nähe zu den Lysimetern installiert, um den atmosphärischen Niederschlag quantitativ zu erfassen, laboranalytisch zu untersuchen und später in Bezug auf das Stoffeintragungsgeschehen zu bewerten. Seit Juni 2011 erfolgen zudem die quantitative Erfassung des Sickerwasserabflusses und monatlich die analytische Untersuchung des aus den acht Lysimetern austretenden Sickerwassers. Zur Saison 2013 wurde dann nach entsprechendem Düngeregime (120 N kg/ha bzw. 160 kg/ha) der Lysimeterboden mit Mais (Sorte: *Atletico*, Aussattermin: 27.04.13) und Sorghumhirse (Sorte: *KWS Zerberus*, Aussattermin: 16.05.13) bestellt.

6.3 Ergebnisse und Diskussion

6.3.1 Wasser-Ertrags-Beziehung von *S. bicolor* KWS Zerberus im Vergleich zu *S. bicolor* x *S. sudanense* Lussi (Modellversuch mit Kleinlysimetern)

Phänologie

Die Aufgangsgeschwindigkeit der Sorghumarten variierte in den Versuchsjahren witterungsbedingt. Günstige Bedingungen 2011 (warm, Ø 15 °C + Niederschlag nach Aussaat > 10 mm) und 2012 (sehr warm, Ø 18 °C) führten schon nach 6–8 Tagen zum Aufgang, auf dem Sand etwas zügiger als auf dem Löss. Die kühlen und nassen Bedingungen 2013 (Ø 10 °C) verzögerten den Aufgang, sodass die Pflanzen erst nach 16 Tagen aufgelaufen waren, der Aufgang war aufgrund von Staunässe unregelmäßiger (Anhang 75).

Das Einsetzen der differenzierten Wasserversorgung zwischen dem 9. und 11. Juli (ca. 50 Tage nach Aussaat) führte im weiteren Vegetationsverlauf sorten- und bodenartspezifisch zu Unterschieden in der Entwicklung der Bestandeshöhe. Im Mittel aller Varianten erreichte KWS Zerberus zur Ernte eine 14 cm höhere Bestandeshöhe als Lussi. Das größte Längenwachstum wurde unter potenziellen Verdunstungsbedingungen auf dem Löss erreicht. Im Mittel der Wasserstufen erzielten beide Sorten auf dem Löss 27 cm größere Bestandeshöhen als auf dem Sand. Abnehmende Wasserversorgung reduzierte das Längenwachstum auf beiden Böden, besonders stark war dieser Effekt bei KWS Zerberus auf dem Sand bei 0,2 PET ausgeprägt (Abbildung 98). Hier kam es auch zu Verzögerungen in der Abreife.

Der Bestockungsbeginn der Sudangrashybride Lussi fiel in die 2. Junidekade und setzte ca. 5 Tage früher ein als bei KWS Zerberus. Lussi bildete mit 3–6 Bestockungstrieben im Mittel je Pflanze doppelt so viele Seitentriebe wie KWS Zerberus. Die Persistenz der Seitentriebe variierte in Abhängigkeit von der Wasserversorgung. Unter potenziellen Verdunstungsbedingungen waren bei Lussi zum Erntetermin im Mittel ein bis drei ertragsrelevante Bestockungstriebe (> 100 cm) vorhanden, bei 0,2 PET gab es nur noch vereinzelt Bestockungstriebe, die zudem Vergilbungerscheinungen aufwiesen. Die *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus bildete bis Ende Juli im Mittel zwei bis drei Bestockungstriebe, die im weiteren Wachstumsverlauf wieder abstarben, zuerst in den Varianten mit niedrigster Wasserversorgung (0,2 PET). Ertragsrelevante Seitentriebe (> 100 cm) entwickelten sich lediglich 2012 an einzelnen Pflanzen (1,0 PET und 0,6 PET) auf den Lösslysimetern.

Bei der frühreifen Lussi setzte der Übergang in das generative Stadium im Mittel der Jahre 25 Tage früher ein als bei KWS Zerberus. Bis zur Erntereife waren bei Lussi 114 Aufwuchstage nötig, KWS Zerberus wies im Mittel der Jahre eine um 26 Tage längere Wachstumszeit bis zum Erreichen erntewürdiger TS-Gehalte auf.

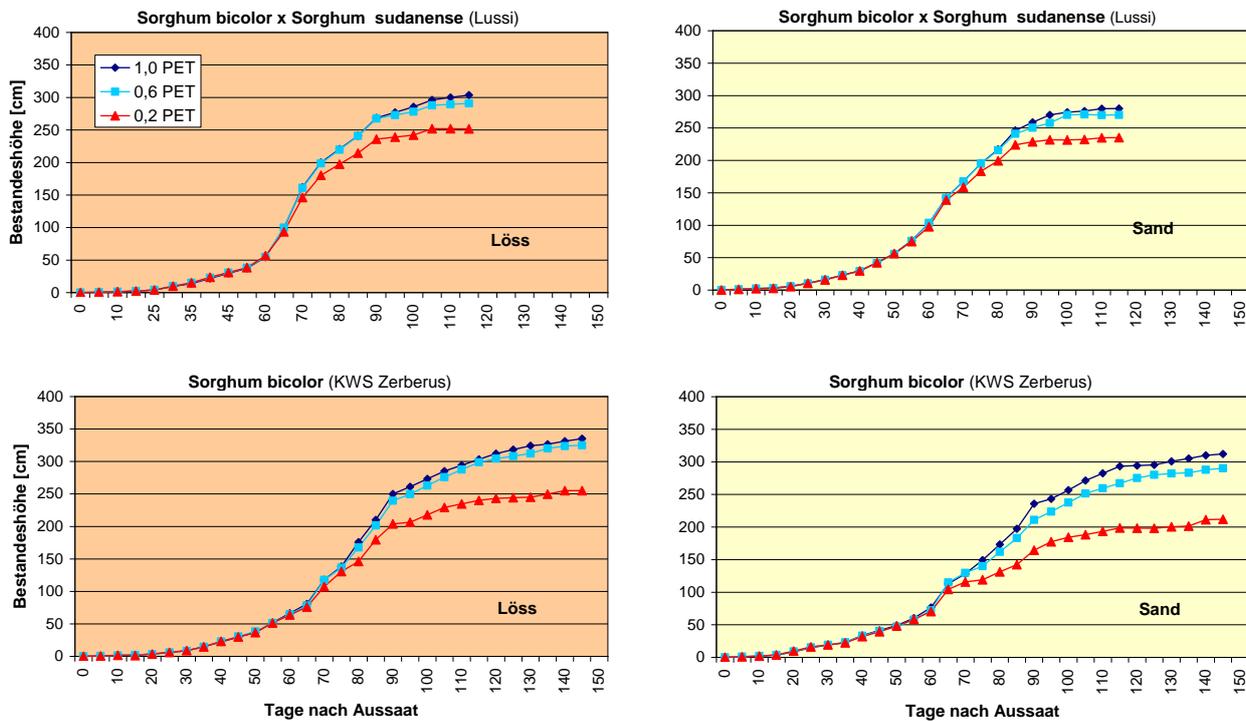


Abbildung 98: Wachstumsverlauf der beiden Sorghumarten im Modellversuch mit Kleinlysimeter in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung (Mittel 2011–2013)

Erträge und TS-Gehalte

Im Artenvergleich erreichte die *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus auf beiden Böden mit Ausnahme der 0,2 PET-Variante auf dem Sand höhere Erträge als die Sudangrasybride Lussi (Abbildung 99). Dabei war der Ertrag von KWS Zerberus gegenüber Lussi in den Einzeljahren auf dem Löss im Mittel um 30 % höher, in der 1,0 und 0,6 PET-Variante immer signifikant. Auf dem Sandboden fiel das Ertragsniveau von KWS Zerberus deutlich niedriger aus, hier bildete KWS Zerberus im Mittel 15 % mehr Trockenmasse als Lussi, der Unterschied war nur in der 1,0 PET-Wasserstufe signifikant. Die Futterhirse KWS Zerberus reagierte auf abnehmende Wasserversorgung mit einem stärkeren Ertragsrückgang als die Sudangrasybride Lussi, in der trockensten Sandvariante fiel der Ertrag sogar 10 % geringer aus als der von Lussi. Die TS-Gehalte beider Arten lagen zur Ernte in einem siliertechnisch günstigen Bereich.

Die Erträge der beiden Hirsen im Modellversuch waren bedingt durch den höheren Verdunstungsanspruch in den Jahren 2012 und 2013 im Mittel um 27 % höher als 2011, wobei Lussi in 2011 auf das abnehmende Wasserangebot mit einem geringeren Ertragsrückgang reagierte als in den Folgejahren (Anhang 77). Beide Arten erreichten jedoch nicht das Ertragsniveau der *S. bicolor*-Sorte Goliath und nur bedingt den Maisertrag (Atletico) aus dem Vorprojekt (2008–2010). Letzterer wurde auf dem Löss von KWS Zerberus in allen Wasserstufen und von Lussi unter potenziellen Verdunstungsbedingungen übertroffen, Signifikanz bestand jedoch nur bei KWS Zerberus bei hoher und mittlerer Wasserversorgung.

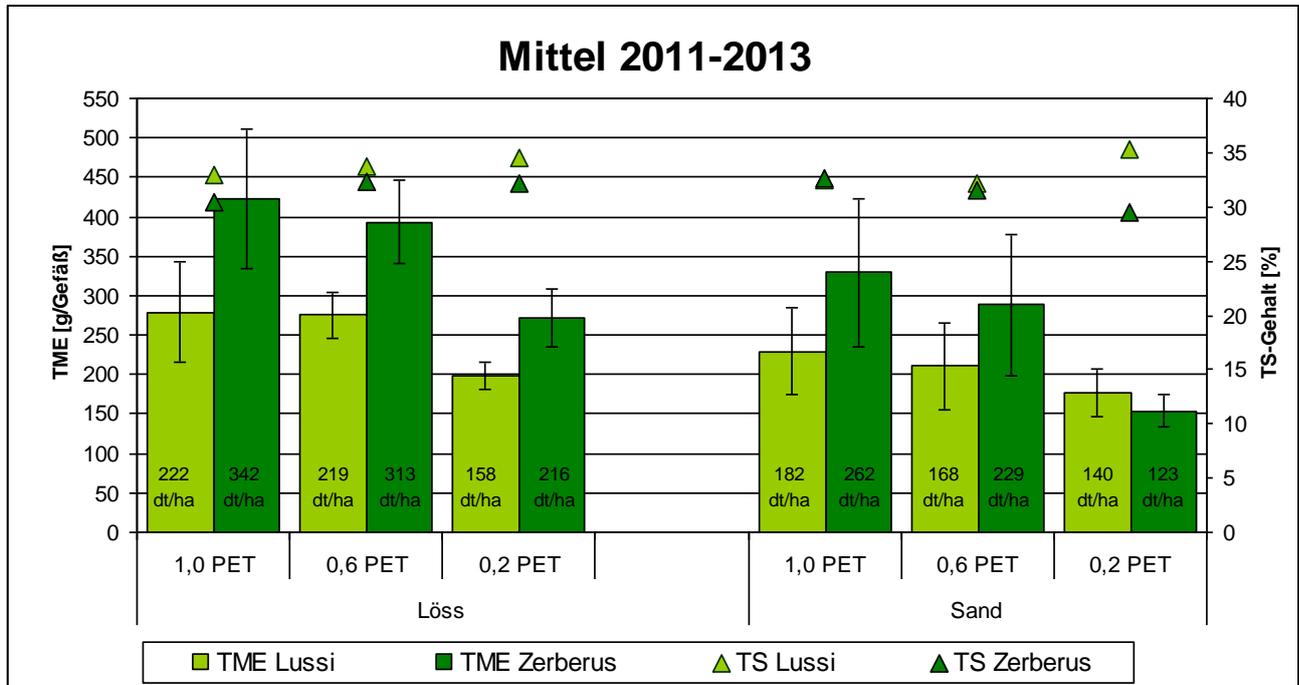


Abbildung 99: TM-Erträge und TS-Gehalte von Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*) und KWS Zerberus (*S. bicolor*) im Kleinlysimeterversuch (Mittel 2011–2013) in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung

Bodenwasserentzug

Der Bodenwasserentzug variierte in Abhängigkeit vom Auffüllungsgrad der Bodenwasserspeicher der Kleinlysimeter zu Vegetationsbeginn. In den Jahren 2011 und besonders 2012 mit weniger als 50 % des normalen Winterniederschlages waren die Wasserspeicher im Frühjahr nicht vollständig aufgefüllt. In den 0,2-PET-Wasserstufen fehlten 2011 auf dem Löss 70 mm und auf dem Sand 120 mm, im folgenden Jahr auf dem Löss 43 und dem Sand wiederum 120 mm (Anhang 78). Um im Frühjahr 2012 die heterogenen Anfangswassergehalte der einzelnen Kleinlysimeter anzugleichen, wurden daher im März den 0,6- und 0,2-PET-Kleinlysimetergefäßen zusätzliche Wassergaben verabreicht. Auf den Lösslysimetern konnte somit der Bodenwassergehalt der trockenen Kleinlysimeter in gewissem Maße angehoben werden, auf dem Sand mit seinem geringeren Wasserhaltevermögen blieb dieser Effekt aus, viel mehr kam es zu vermehrter Sickerwasserbildung. Im Frühjahr 2013 waren die Bodenwasserspeicher der Kleinlysimeter durch lange Schneebedeckung und reichliche Frühjahrsniederschläge gefüllt, mitunter kam es bei Vegetationsbeginn zu Staunässe. In diesem Jahr konnte das meiste Bodenwasser aufgenommen werden (Tabelle 63).

Tabelle 63: Mittlere Bodenfeuchteausschöpfung (Aufgang bis Ernte) der beiden Kulturen in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung in den drei Versuchsjahren

Boden	Wasserstufe	Mittlerer Bodenfeuchte-Entzug [mm]					
		2011		2012		2013	
		Lussi	KWS Zerberus	Lussi	KWS Zerberus	Lussi	KWS Zerberus
Löss	1,0 PET	0	23	24	5	0	74
Löss	0,6 PET	73	102	101	116	126	167
Löss	0,2 PET	119	129	140	163	178	198
Sand	1,0 PET	0	0	0	0	0	53
Sand	0,6 PET	52	42	65	31	91	92
Sand	0,2 PET	87	60	88	33	160	123

In der Wasserstufe 1,0 PET nahmen die zwei Sorghumarten das Bodenwasser auf beiden Böden entsprechend der bedarfsorientierten Wasserversorgung (S. bicolor, Sorte Goliath) kaum in Anspruch, mit Ausnahme von KWS Zerberus im Versuchsjahr 2013, indem zusätzlich zur hohen Beregnungsmenge auf dem Löss noch 74 mm und auf dem Sand 53 mm aufgenommen wurden. Dieser hohe Wasserverbrauch führte im Jahresvergleich zum größten Ertragsniveau. In den 0,6 PET- und 0,2 PET-Varianten nahm KWS Zerberus auf dem Löss in allen Versuchsjahren mehr Bodenwasser auf als Lussi. Auf dem Sand schien hingegen Lussi das Bodenwasser besser nutzen zu können.

Durch den unterschiedlichen Auffüllungsgrad der Bodenwasserspeicher der Sandlysimeter bei den 0,6 und 0,2 PET-Varianten zu Versuchsbeginn waren auch die aufgenommenen Bodenwassermengen unterschiedlich. Unter Steuerung auf 0,2 PET schöpften beide Arten in der Regel das gesamte pflanzenverfügbare Bodenwasser aus, in einigen Lysimetern jedoch nur bis in 80 cm Tiefe, darunter blieb ein Restwassergehalt. Wahrscheinlich sind dafür von der Wurzel kaum durchdringbare Lagen aus Fe-Konkretionen verantwortlich. Der höhere Entzug von 2013 in dieser Wasserstufe resultierte aus dem höheren Bodenwasseranfangsgehalt, bedingt durch die bessere Auffüllung des Bodenspeichers (Abbildung 100).

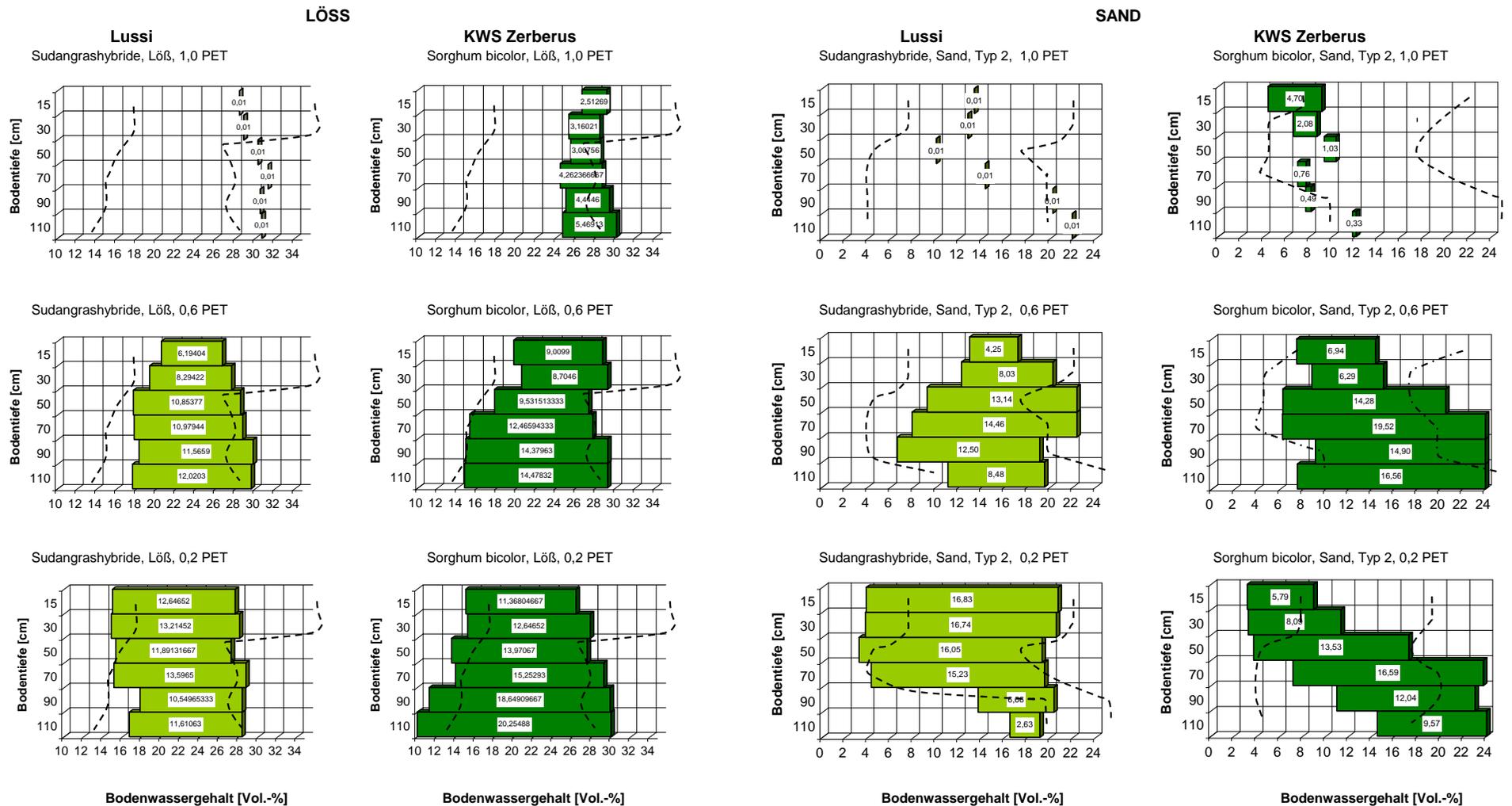


Abbildung 100: Bodenwasserentzug von Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*) und KWS Zerberus (*S. bicolor*) auf Löss und Sand 2013

Die gestrichelten Linien markieren den ÄWP und die FK bzw. den pflanzennutzbaren Bodenwasserbereich (Löss ... ÄWP abgeleitet aus Neutronensondenmessung und FK pF 2,5; Sand ... ÄWP pF 4,2 und FK 2,0).

Wasserverbrauch und Wassernutzungseffizienz

Die Abbildung 101 informiert über die Wasserzufuhr der Kleinlysimeter, bestehend aus natürlichem Niederschlag, der bis zum Beregnungsbeginn zugelassen wurde und der mit dem Verdunstungsmodell VERD berechneten Zusatzwassermenge. Beide Sorghumarten erhielten zu den Beregnungsterminen in den einzelnen Abstufungen identische Wassermengen. Die höheren Wassergaben bei KWS Zerberus gegenüber Lussi beruhen auf der im Jahresmittel 26 Tage längeren Vegetationszeit von KWS Zerberus.

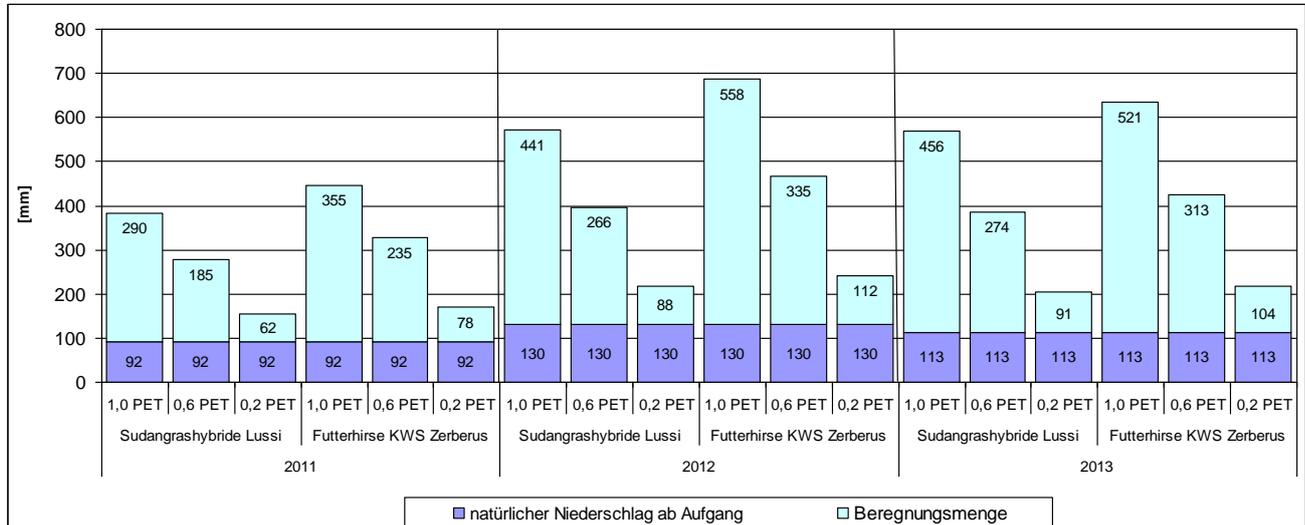


Abbildung 101: Wasserzufuhr im Kleinlysimeterversuch

Der Gesamtwasserverbrauch (Abbildung 102) ergibt sich aus den Parametern Niederschlag während der Jungpflanzenentwicklung, Zusatzwasser während der Hauptwachstumsperiode und Aufnahme von Bodenwasser. Im ertragsschwächsten Nutzungsjahr 2011 war der Gesamtwasserverbrauch im Mittel ca. 20 % niedriger als in den beiden folgenden Jahren, in denen die Unterschiede gering waren. Dieser höhere Wasserverbrauch gegenüber dem Jahr 2011 resultierte in erster Linie aus dem höheren Verdunstungsanspruch (besonders 2012) und aus der stärkeren Bodenwasseraufnahme. Letztere war 2013 am höchsten, weil hier zu Vegetationsbeginn die Bodenwasserspeicher aufgefüllt waren und in den wasserunterversorgten Varianten mehr Bodenwasser zur Verfügung stand. Der größere Verbrauch von KWS Zerberus gegenüber Lussi begründet sich neben der längeren Vegetationszeit mit fortgesetzter Beregnung auf dem Löss zudem noch aus der stärkeren Aufnahme von Bodenwasser. Auf dem Sand konnte Lussi das Bodenwasser besser nutzen, in der 0,2 PET-Variante war dadurch der Wasserverbrauch von Lussi etwas größer als der von KWS Zerberus (mehr Sand-KL mit besserem Wasserhaltevermögen).

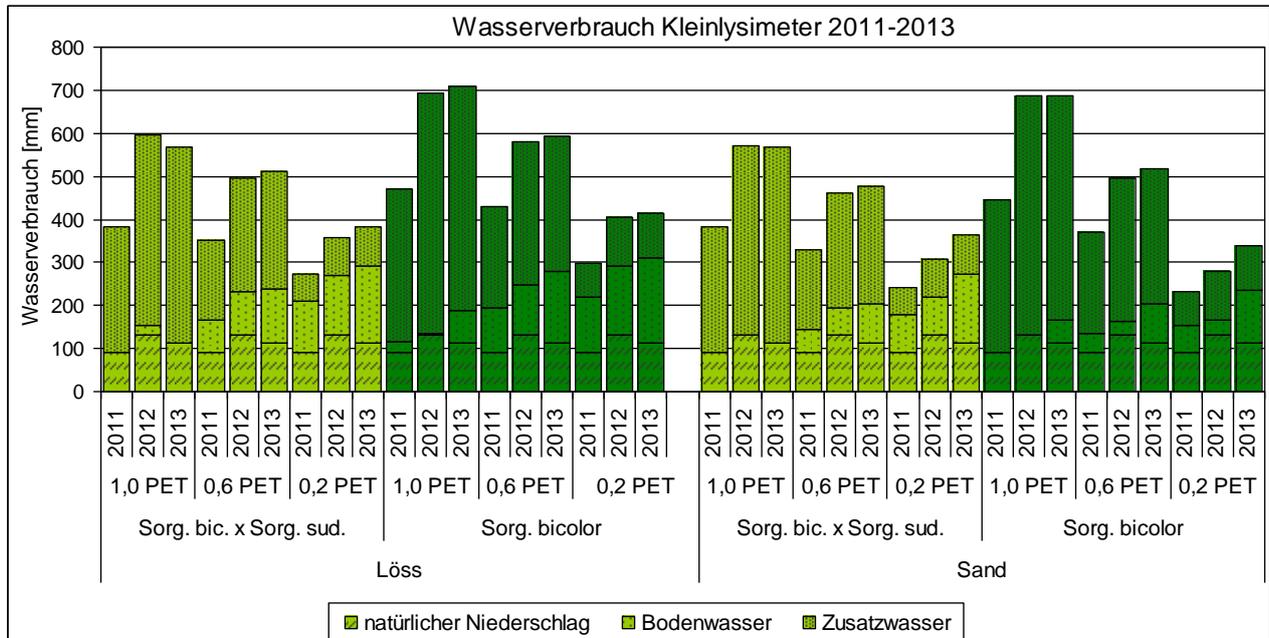


Abbildung 102: Wasserverbrauch von Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*) und KWS Zerberus (*S. bicolor*) im Kleinlysimeterversuch in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung in den drei Versuchsjahren

Die Abbildung 103 zeigt die Wassernutzungseffizienz beider Sorghumarten, ausgewiesen als Transpirationskoeffizient (kg Wasserverbrauch je kg Pflanzen-Trockenmasse). Im Mittel der Jahre wies KWS Zerberus mit Ausnahme der 0,2 PET-Variante auf dem Sand einen geringeren TK und damit eine bessere Wassernutzungseffizienz als Lussi auf. Der TK beider Hirsen war zumeist auf dem Löss besser als auf dem Sand, in Abhängigkeit von der Wasserversorgung ließ sich kein eindeutiger Trend erkennen. Auf dem Löss war die WUE bei 0,2 PET am höchsten, auf dem Sand hingegen in dieser Wasserstufe bei Lussi am geringsten.

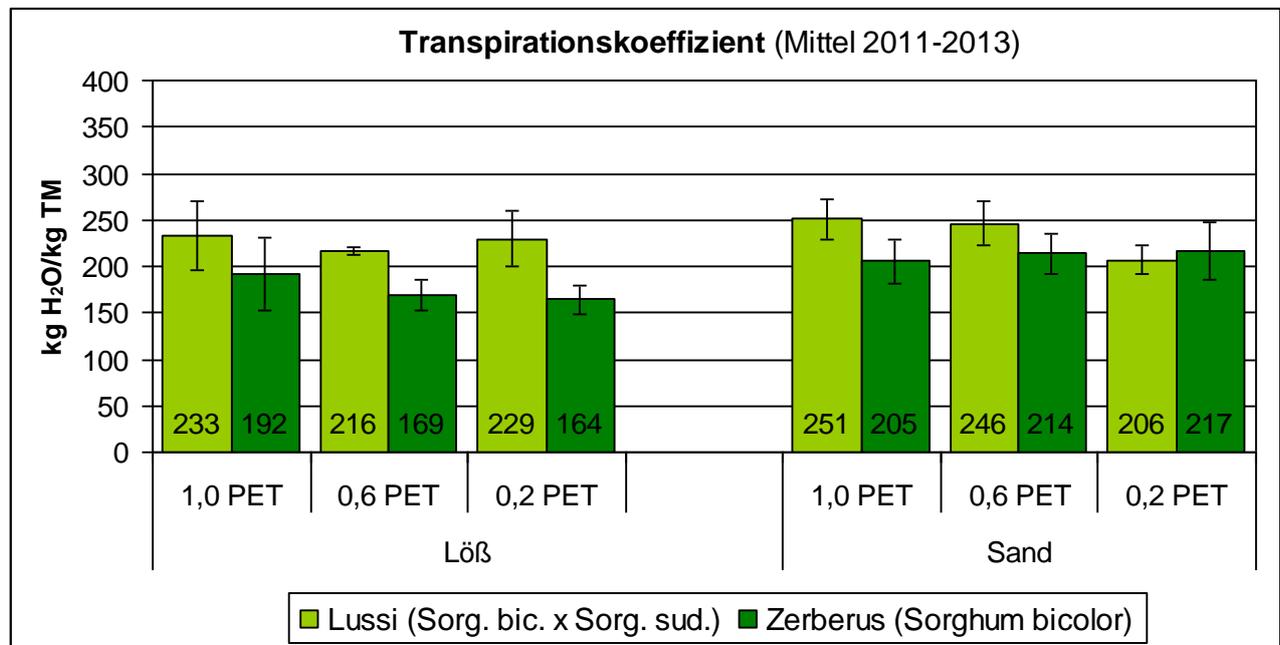


Abbildung 103: Wassernutzungskoeffizient (TK) der beiden Sorghumarten im Modellversuch mit Kleinlysimetern (2011–2013)

Die Abbildung 104 veranschaulicht den Ertrag der beiden Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Wasserangebot und zeigt Unterschiede in der Effizienz der Wassernutzung auf.

Zwischen Biomassebildung und Wasserverbrauch der Pflanzen besteht ein enger Zusammenhang. Bei Wassermangel kommt es zu einer Einschränkung der Transpiration und damit in der Regel zu einer linearen Verminderung der Stoffproduktion. Die Folge sind zwangsläufig Ertragseinbußen. Der Ertrag nahm bei beiden Kulturen proportional zum Wasserverbrauch zu, wobei KWS Zerberus besser in der Lage war, das angebotene Wasser in Biomasse umzusetzen als die Sudangrashybride Lussi. Obwohl KWS Zerberus durch die längere Vegetationszeit einen höheren Wasserbedarf aufweist, setzt diese *S. bicolor*-Sorte das Wasser effizienter zur Ertragsbildung ein. Bei geringem Wasserangebot (< 250 mm) verliert KWS Zerberus an Ertragsüberlegenheit und es wird ein der Sudangrashybride Lussi vergleichbarer Ertrag erzielt.

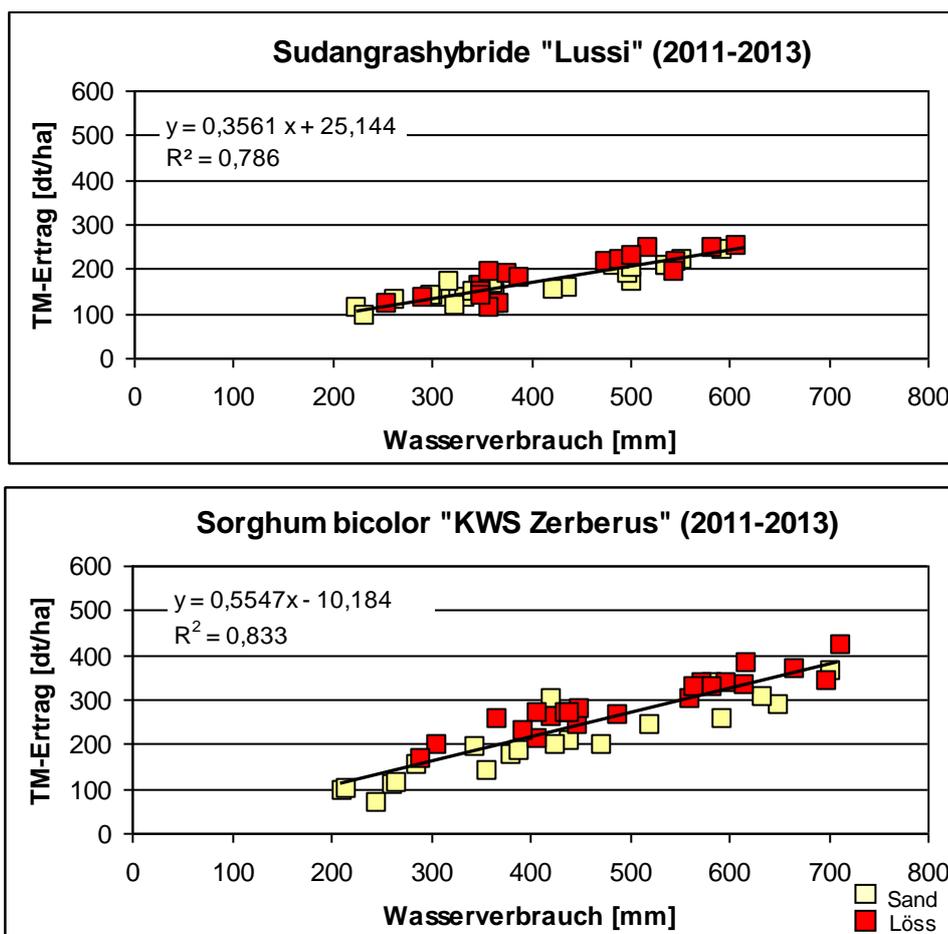


Abbildung 104: Wasser-Ertragsbeziehung der beiden Sorghumsorten im Modellversuch mit Kleinlysimetern (2011–2013)

N-Salden

Die Sudangrashybride Lussi wies im Variantenmittel mit 0,90 % N in der Trockenmasse etwas höhere N-Gehalte als die Futterhirse KWS Zerberus (0,74 %) auf, dennoch fielen ihre N-Entzüge aufgrund des geringeren Ertragsniveaus um 5 % niedriger aus. Die N-Entzüge auf dem Lössboden waren bei beiden Kulturen höher als auf dem Sand und nahmen auf beiden Böden mit sinkender Wasserversorgung ab.

Die N-Salden waren im Mittel auf dem Löss durchweg negativ und damit gewässerverträglich, auf dem Sand wurde der N-Saldo mit geringerem Wasserangebot ungünstiger entsprechend der geringer werdenden Erträge (Abbildung 105).

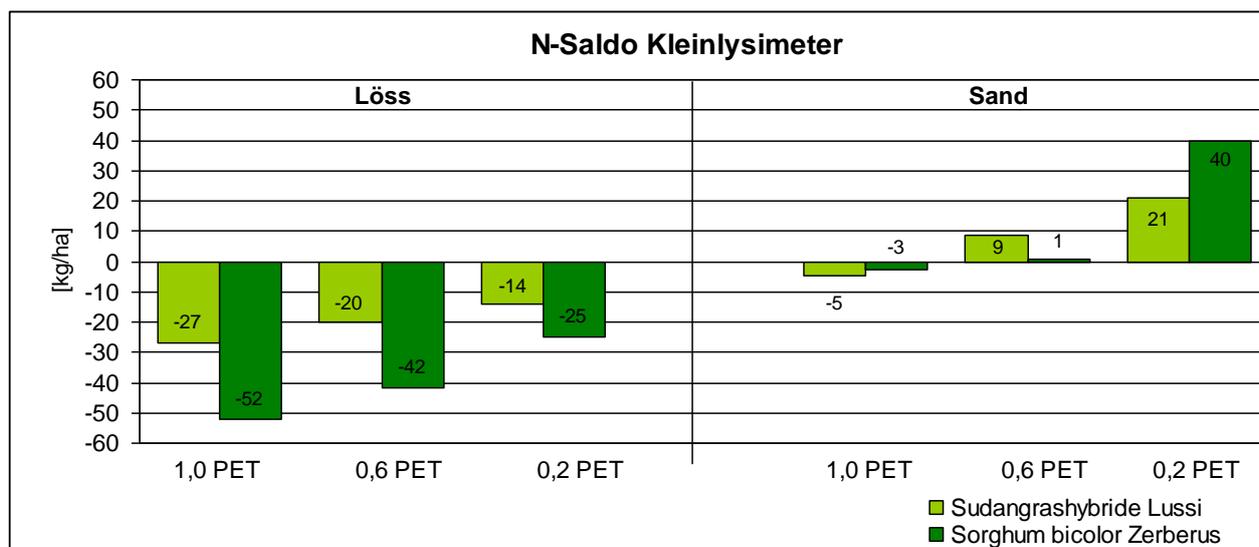


Abbildung 105: N-Salden von Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*) und KWS Zerberus (*S. bicolor*) im Modellversuch mit Kleinlysimeterversuch auf den beiden Böden in Abhängigkeit von der Wasserversorgung (Mittel 2011–2013)

Sickerwassermengen und N-Austrag

Die Sickerwassermengen und Nitratkonzentrationen im Sickerwasser der Kleinlysimeter variierten in Abhängigkeit von der Wasserversorgung und der unterschiedlichen Wasserspeicherfähigkeit bzw. -durchlässigkeit der beiden Böden (Tabelle 64).

Aufgrund des defizitären Niederschlagsaufkommens im Winterhalbjahr 2011/12 fiel die Sickerwassermenge im Jahr 2012 deutlich geringer aus als im Vor- und Folgejahr. Auf dem Löss wurde im Mittel die Hälfte und auf dem Sand 20 % der Vorjahresmenge gewonnen. In der Sickerwasserperiode 2013 fielen die Beträge beider Böden um über 50 % höher als im Vorjahr aus.

Tabelle 64: Sickerwassermengen und mittlere Nitratkonzentrationen des Sickerwassers der Löss- und Sandlysimeter (Mittel Sickerwasserperioden Nov. 2011–Okt. 2013)

Boden	Wasser-Stufe	Sickerwassermenge [mm]		Mittlere Nitratkonzentration [g/l]	
		<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i> (Lussi) ¹⁾	<i>S. bicolor</i> (KWS Zerberus) ²⁾	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i> (Lussi) ¹⁾	<i>S. bicolor</i> (KWS Zerberus) ²⁾
		[mm]		[mg/l]	
Löss	1,0 PET	54	42	6,6	4,9
	0,6 PET	63	39	8,7	5,8
	0,2 PET	26	25	38,4	23,0
	Ø	48	35	17,8	11,2
Sand	1,0 PET	159	146	19,1	30,3
	0,6 PET	75	90	47,3	51,9
	0,2 PET	31	139	91,0	91,6
	Ø	88	125	52,5	57,9

¹⁾ Vorfrucht Mais, Sorte Atletico (2008-2010),

²⁾ Vorfrucht *S. bicolor*, Sorte Goliath (2008-2010)

Auf dem durchlässigeren Sandboden versickerten knapp 60 % mehr Sickerwasser als auf dem Löss. Die geringsten Sickerwassermengen lieferten die 0,2 PET-Varianten. Eine Ausnahme bildete jedoch KWS Zerberus auf dem Sand bei 0,2 PET mit außergewöhnlich hoher Sickerwassermenge, wahrscheinlich bedingt durch die verhinderte Abschöpfung aufgrund verdichteter Bodenschichten.

Auf dem Löss entstand die jeweils geringere Sickerwassermenge nach Vorfrucht *S. bicolor*, Sorte KWS Zerberus. Auf dem Sand fiel die Sickerwassermenge bei 0,6 und 0,2 PET unter Lussi geringer aus, die Sudangrasyhybride konnte das Bodenwasser dieses Bodens besser abschöpfen. Das Wurzelwachstum von *S. bicolor* war durch die Ortssteinlagen im Sand vermutlich eingeschränkt, was erklärt, warum das Bodenwasser nicht so stark ausgeschöpft worden ist und die Sickerwasserspende ergiebiger ausfiel.

Auf dem Lössboden wurde der Nitratgrenzwert von 50 mg/l im Mittel der Jahre deutlich unterschritten. Unter der Vorfrucht Futterhirse waren die Nitratkonzentrationen auf diesem Boden geringer als bei Lussi. Der Sandboden bildete entsprechend der größeren Verlagerungsdisposition höhere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser. Der Nitratgrenzwert wurde nur in der Wassermangelvariante (0,2 PET) drastisch überschritten. Mit abnehmender Wasserversorgung stieg die Nitratkonzentration im Sickerwasser aufgrund des geringeren N-Entzuges (Ertragsabfall) an. Grundsätzlich nahm die jährliche Nitratkonzentration im Sickerwasser bis zum Versuchsende hin sukzessive ab.

Die Relationen der geprüften Varianten hinsichtlich des Nitrat-Austrages (Abbildung 106) sind ähnlich denen bei der Nitrat-Konzentration und stehen in gewisser Übereinstimmung mit der Ertragsdifferenzierung. Die N-Fracht ist bei beiden Sorghumarten unter Sand sichtlich höher als unter Löss. Auf dem Löss ist die N-Auswaschung unter *S. bicolor* im Vergleich zur Sudangrasyhybride um die Hälfte reduziert, auf dem Sand hingegen überwiegt die N-Fracht unter *S. bicolor* in allen Wasserstufen deutlich und kann im Zusammenhang mit der schwächeren Ertragsüberlegenheit und den größeren Sickerwassermengen unter dieser Kultur gesehen werden.

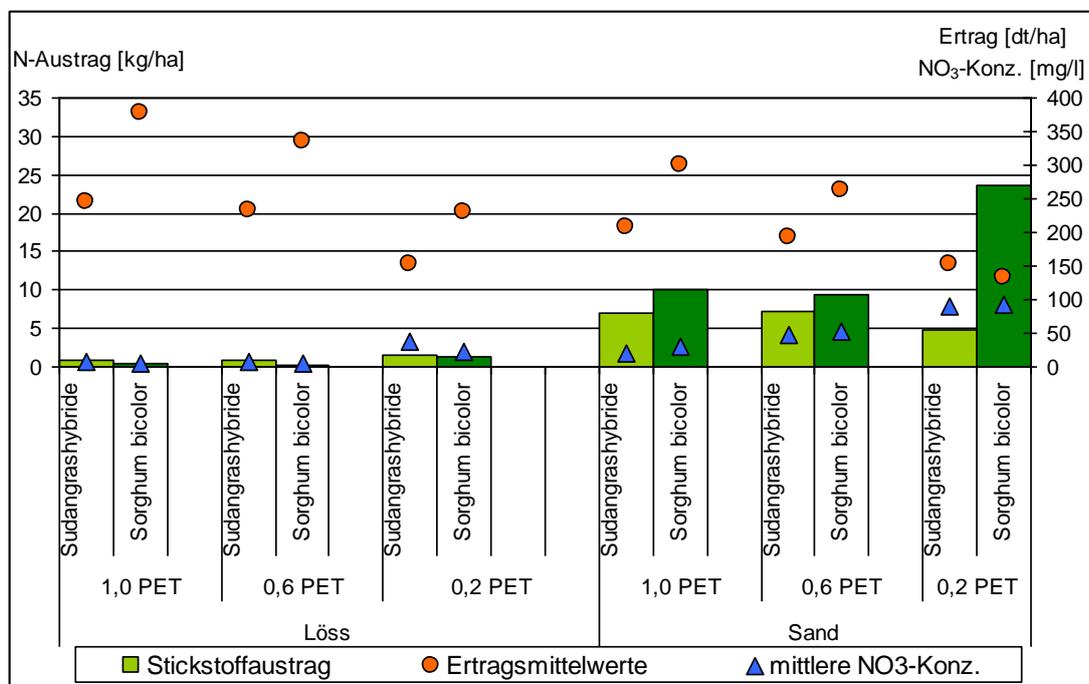


Abbildung 106: Stickstoffaustrag unter den Kulturen in Abhängigkeit von Boden und Wasserversorgung (Mittel Sickerwasserperioden Nov. 2011–Okt. 2013)

Die pH-Werte im Sickerwasser bewegten sich auf dem Löss zwischen 7,9 und 8,2, auf dem Sand zwischen 3,8 und 5,8. Die K-Konzentrationen lagen auf dem Löss infolge größerer Bindungskapazitäten unter 1 mg/l, auf dem Sandboden wurden 9,4 bis 12,8 mg/l gemessen. Die Kaliumauswaschung auf Sand erreichte deshalb mit 4,3 kg/ha deutlich höhere Werte als auf dem Löss mit 0,3 kg/ha (0,6 PET). In Abhängigkeit von der Wasserversorgung war kein Trend erkennbar (Tabelle 65).

Tabelle 65: Weitere Sickerwasserparameter der Löss- und Sandlysimeter (Mittel Sickerwasserperioden Nov. 2011–Okt. 2013)

Boden	Wasserstufe	pH-Wert		Mittlere Kaliumkonzentration	
		S. bicolor x S. sudanense (Lussi) ¹⁾	S. bicolor (KWS Zerberus) ²⁾	S. bicolor x S. sudanense (Lussi) ¹⁾	S. bicolor (KWS Zerberus) ²⁾
		[mm]		[mg/l]	
Löss	1,0 PET	7,9 – 8,0	8,0 – 8,1	0,44	0,71
	0,6 PET	8,0 – 8,1	8,0 – 8,1	0,56	0,91
	0,2 PET	8,0	8,0 – 8,2	0,73	0,85
	Ø	8,0	8,1	0,58	0,82
Sand	1,0 PET	4,2 – 4,8	3,9 – 4,2	11,96	8,06
	0,6 PET	3,8 – 4,7	3,9 – 4,6	7,05	10,52
	0,2 PET	5,0 – 5,8	4,3 – 4,8	19,25	9,64
	Ø	4,7	4,3	12,75	9,41

¹⁾ Vorfrucht Mais, Sorte Atletico (2008-2010),

²⁾ Vorfrucht S. bicolor, Sorte Goliath (2008-2010)

6.3.2 Bodenwasserausschöpfung von Sorghumarten und -sorten im Vergleich zu Energiemais (Feldversuche Butteltstedt, Güterfelde)

Pflanzliche Entwicklung

Die günstigen Witterungsbedingungen 2011 in Güterfelde (überdurchschnittlich warmer Sommer mit sehr hohem Niederschlagsaufkommen im Juli, > 200 % des vielj. Mittels) verkürzten die Aufwuchszeit der Kulturen im Vergleich zu Butteltstedt, bei Mais und den Sudangrasybriden um 21 Tage, bei den spät reifenden Futterhirsen um sechs Tage. Letztere wiesen zur Ernte im Mittel eine 35 cm größere Wuchshöhe auf als in Butteltstedt. In den folgenden beiden Versuchsjahren unterschied sich die Aufwuchsdauer an beiden Standorten kaum.

Die Hauptwachstumsphase bei dem im Mittel der Versuchsjahre 20 Tage früher ausgesäten Mais begann Mitte Juni, mit Beginn generativer Entwicklung endete die Wuchshöhenzunahme. Die beiden Maissorten behielten den Wachstumsvorsprung zu den in der Jugendperiode langsamer wachsenden Hirsen bis August bei. Erst danach erreichten vor allem die Futterhirsen größere Bestandeshöhen.

Der Witterungsverlauf in der Vegetationsperiode 2013 erwies sich für den Mais am Standort Butteltstedt als nachteilig. Der späte Vegetationsbeginn und die nachfolgend feuchtkalte Witterung (11,4 °C im Monatsmittel Mai) führten zu einer zögerlichen Jugendentwicklung. Erst im überdurchschnittlich warmen (18,9 °C) und sehr trockenen Juli (< 50 % des vielj. Mittels) setzte ein sprunghaftes Längenwachstum ein, welches infolge der anhaltend trockenen Witterung im August durch die Blüte gestoppt wurde, sodass im Vergleich zu den beiden Vorjahren deutlich niedrigere Bestände anzutreffen waren. In Güterfelde verlief die Jugendentwicklung des Mais aufgrund höherer Temperaturen etwas zügiger, auch fielen im Juli mehr Niederschläge, sodass der Mais zur Ernte 35 cm höher war als in Butteltstedt (Abbildung 107).

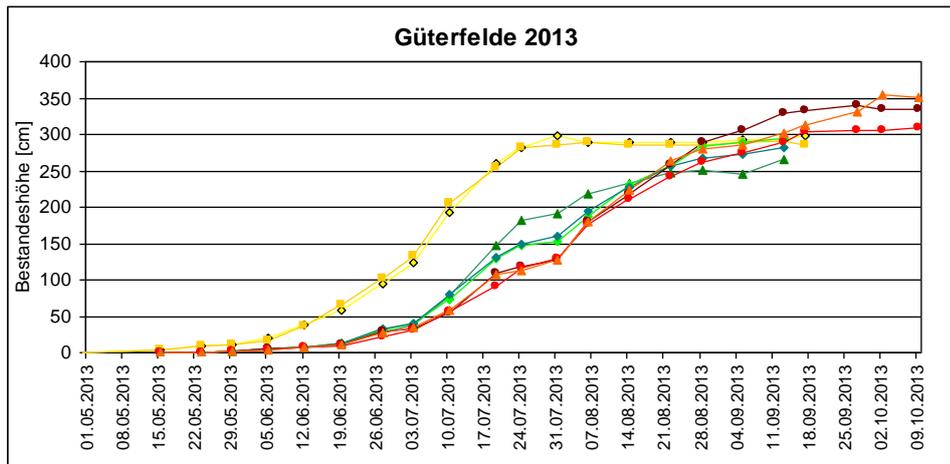
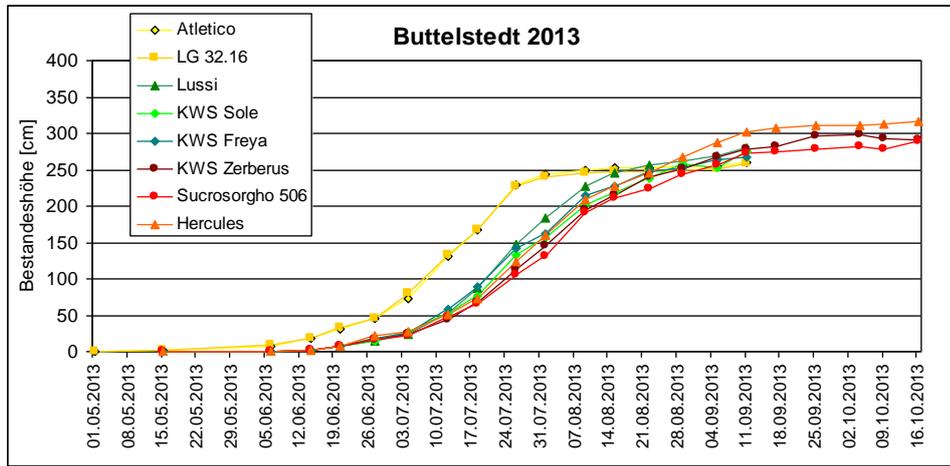


Abbildung 107: Wachstumsverlauf der Kulturen in den beiden Feldversuchen 2013

Erträge und TS-Gehalte

Die Abbildung 108 zeigt das Ertragsniveau und die TS-Einlagerung der drei Kulturen im Standortvergleich (3-jähriges Mittel).

Das Ertragsniveau der Mais- und Sudangrasybridsorten war in den Jahren 2011 und 2012 an beiden Standorten nahezu identisch. Im trockenen Sommer 2013 fiel der Maisertrag in Buttelstedt aber 20 % niedriger aus als im günstiger mit Niederschlägen versorgten Güterfelde. Die Sudangrasybriden- und Futterhirseerträge lagen 2013 hingegen nur geringfügig unter dem Niveau des Standortes Güterfelde.

Die Futterhirsen profitierten besonders von den warm-feuchten Witterungsbedingungen 2011 und erreichten in diesem Versuchsjahr die höchsten Erträge. In Güterfelde wurde im Mittel der Sorten der Maisertrag erreicht, die Sorte Biomass 150 war mit 245 dt/ha dem Maisertrag signifikant überlegen (118 %). Am Standort Buttelstedt mit geringerem Niederschlagsaufkommen in der Hauptwachstumsperiode erreichte Biomass 150 den gleichen Ertrag wie die Maissorte LG 32.16.

Im Versuchsjahr 2012 erreichten die beiden Maissorten die besten Ergebnisse, die Erträge waren signifikant größer als die aller Sudangrasybridsorten. Die Futterhirse Hercules erzielte den höchsten Sorghumertrag, am Standort Güterfelde erreichte sie mit 199 dt/ha knapp den Maisertrag (206 dt/ha) und war ertragsmäßig den drei Sudangrasybriden ebenfalls statistisch gesichert überlegen. Die Ursachen für die geringeren Hirseerträge im Versuchsjahr 2012 können in der kühleren und der besonders in Güterfelde deutlich trockeneren Witterung als 2011 gesehen werden. In Buttelstedt waren zudem die Bodenwasserspeicher nicht aufgefüllt.

Der im vorausgegangenen Kapitel beschriebene ungünstige Witterungsverlauf in der Vegetationsperiode 2013 führte bei allen drei Kulturen zu geringeren Erträgen als im Vorjahr, besonders betroffen waren die Maiserträge (-30 %) in Butteltstedt, die infolge der verkürzten Phase der Stengelstreckung mit 145-150 dt/ha ca. 50 dt/ha unter denen der Vorjahre lagen. Bei den Hirsen waren die Wachstumsrestriktionen durch die trocken-warme Witterung in Butteltstedt mit 15 % Ertragsverlust im Vergleich zum Vorjahr weniger stark ausgeprägt. In Güterfelde reagierten Mais und Sudangrashybriden mit 10 % und die Futterhirsen mit 15 % geringeren Erträgen. Die TM-Erträge der Einzeljahre beider Standorte finden sich in Anhang 79.

Hinsichtlich der TS-Einlagerung erreichten Mais und die frühreifen Sudangrashybridsorten (mit Ausnahme der nur 2011 geprüften Sorte Nutri Honey) in allen Jahren an beiden Standorten den Zielwert für eine sichere Silierung (28 - 32 %). Bei den später reifenden Futterhirsen konnte nur KWS Zerberus den siliertechnisch günstigen Bereich erzielen. Bei Hercules waren die TS-Gehalte in Butteltstedt etwas höher als in Güterfelde, erreichten jedoch auch hier nur 2012 den Zielwert. Sucrosorgho 506 blieb mit TS-Gehalten von durchschnittlich 22 % in Güterfelde und 24 % in Butteltstedt weit darunter.

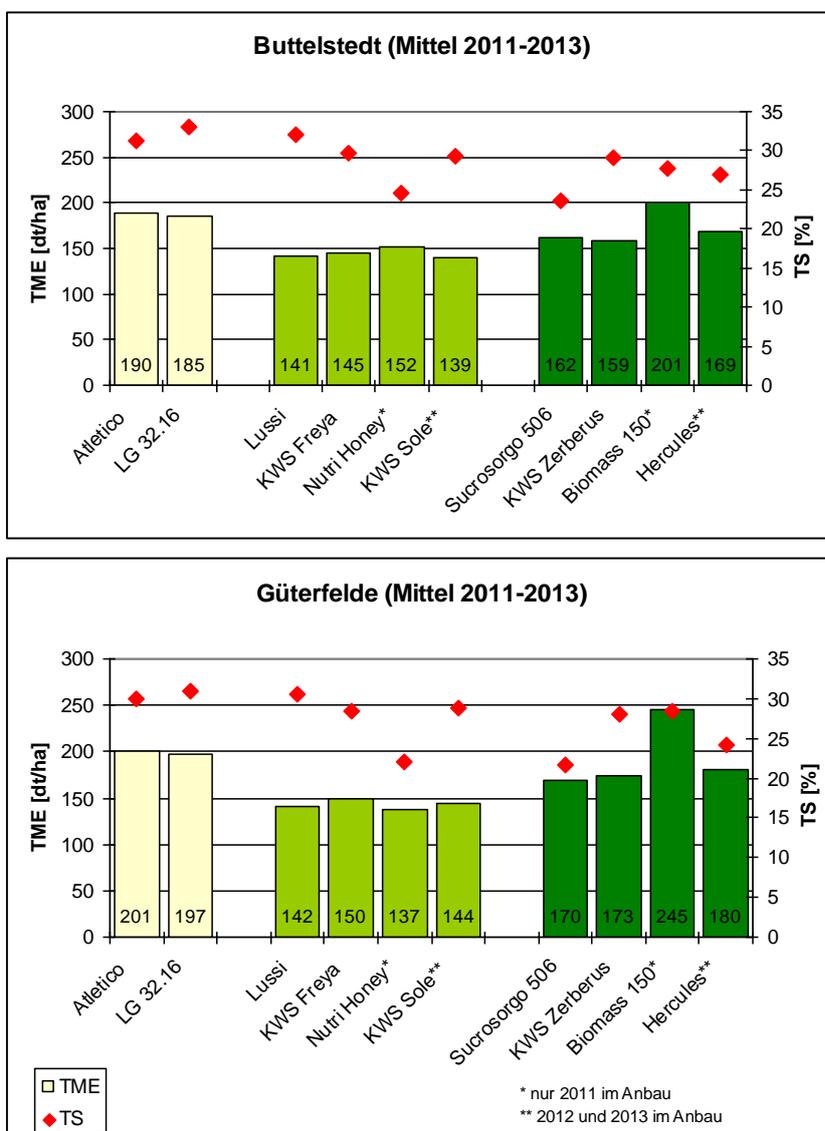


Abbildung 108: Erträge und TS-Gehalte der Kulturen an den Standorten Butteltstedt und Güterfelde (Mittel 2011–2013)

Bodenfeuchteausschöpfung

Mithilfe der Bodenfeuchte-Messsonden Sentek und Troxler (nur am Standort Buttelstedt) konnten Höhe und Verlauf der Bodenwasserinanspruchnahme der Fruchtarten abgebildet werden. Die Neutronensonde (Troxler) erweist sich aufgrund des größeren Messvolumens als etwas weniger störanfällige Messmethode, weil hier ein sich eventuell zwischen Messrohr und Boden entwickelnder Luftraum weniger Einfluss auf das Messergebnis besitzt als beim Sentek-System.

Die Abbildung 109 informiert über die mit dem Sentek-System ermittelte Bodenfeuchteausschöpfung der Kulturen in den drei Versuchsjahren. Es muss allerdings darauf verwiesen werden, dass im ersten Versuchsjahr 2011 durch die verzögerte Bereitstellung dieser Messtechnik der Messbeginn erst ab 20.07.11 möglich war und deshalb nicht der volle Umfang der Ausschöpfung dargestellt ist. Der Mais befand sich zum Messbeginn bereits im BBCH 50 und die Hirsen wiesen Entwicklungsstadien zwischen BBCH 31 und 34 auf. Daher werden für die Auswertung des Standortes Buttelstedt 2011 die ab Wachstumsbeginn der Kulturen mit der Neutronensonde (Troxler) ermittelten Messwerte herangezogen (Tabelle 66, Abbildung 110).

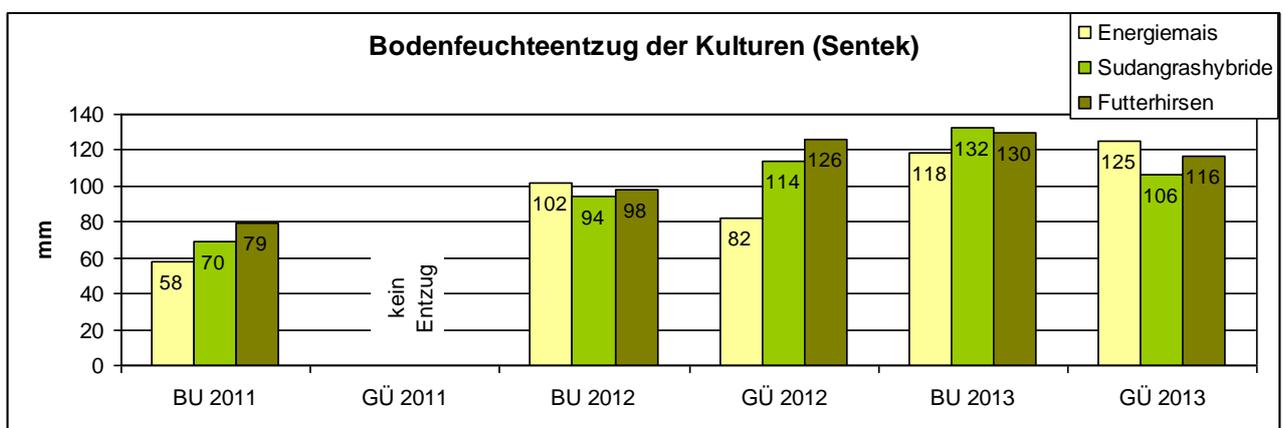


Abbildung 110: Bodenfeuchteausschöpfung der Kulturen in Buttelstedt und Güterfelde in den drei Versuchsjahren (Sentek)

Tabelle 66: Bodenfeuchteausschöpfung der Kulturen in Buttelstedt in den drei Versuchsjahren, 0–230 cm Tiefe (Neutronensonde, Troxler)

		Tiefe	2011 mm	2012 mm	2013 mm
Mais	Atletico	bis 200 cm ¹⁾	114,6	125,5	169,4
		bis 230 cm	118,6	126,4	179,8
	LG 32.16	bis 200 cm	105,9		
		bis 230 cm	111,5		
Sudangrashybride	Lussi	bis 200 cm	122,8	108,2	157,5
		bis 230 cm	126,1	111,9	161,9
Futterhirse	KWS Zerberus	bis 200 cm	114,8	115,8	169,0
		bis 230 cm	127,3	118,3	176,9

¹⁾ 200 cm Tiefe für Vergleich mit Sentek-Sonde, Troxler-Sonde misst bis in 230 cm Tiefe.

Tabelle 67: Bodenfeuchteausschöpfung der Kulturen in Buttelstedt in den drei Versuchsjahren, 40–120 und 120–200 cm Tiefe (Neutronensonde, Troxler)

	Entzug [mm] Troxler					
	2011		2012		2013	
	40-120 cm	120-200 cm	40-120 cm	120-200 cm	40-120 cm	120-200 cm
Atletico	49,8	13,0	64,1	12,4	85,2	27,9
LG 32.16	56,7	12,7				
Lussi	59,1	20,8	66,4	13,5	83,0	28,8
KWS Zerberus	56,0	22,0	66,4	18,3	79,2	39,2

Im Frühjahr 2011 war der Bodenwasserspeicher in Buttelstedt mit 27 ... 31 Vol.-% unterhalb 60 cm Tiefe in etwa aufgefüllt. Mais (Atletico, LG 32.16), die Sudangrashybride (Lussi) und die Futterhirse (KWS Zerberus) nahmen Bodenwasser bis aus 200 cm Tiefe auf. Bis in 120 cm Tiefe war der Bodenwasserentzug der Kulturen vergleichbar, aus dem tiefer liegenden Bereich unterhalb von 120 bis 200 cm Tiefe nahmen die Vertreter der beiden Sorghumarten Lussi und KWS Zerberus mit 20,8 mm und 22 mm mehr Bodenwasser auf als die beiden Maissorten (12,9 mm) (Tabelle 67). Lussi gelang das in einem kürzeren Wachstumszeitraum als KWS Zerberus.

Am Standort Güterfelde kam es 2011 aufgrund des ergiebigen und kontinuierlichen Niederschlagsaufkommens im Messzeitraum (222 % des vielj. Mittels im Juli) zu einer Zunahme des Bodenwassergehaltes im Vergleich zu den Werten bei Beginn der Messung (25.07.11). Dieser stieg bei Mais mit 80 mm Zunahme stärker an als bei den Sudangrashybriden (60 mm) und den Futterhirsen (40 mm), was auf eine stärkere Bodenwasserinanspruchnahme der Hirsen im Messzeitraum schließen lässt.

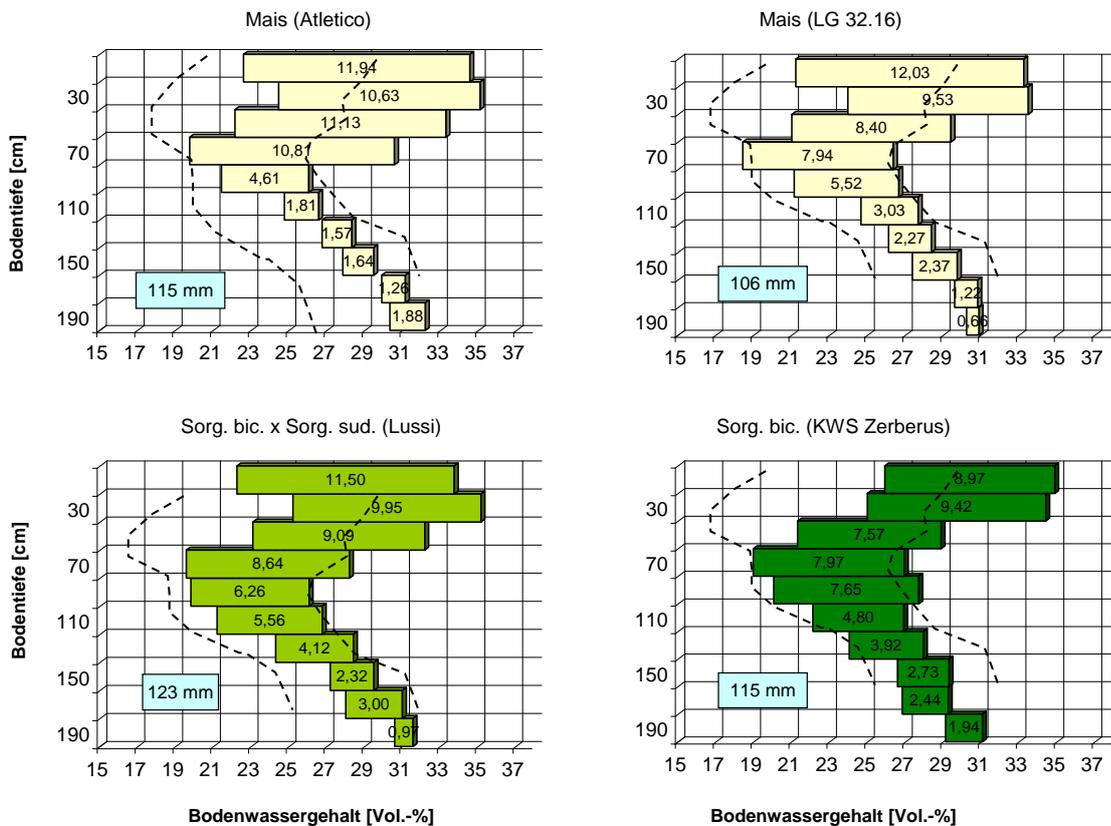


Abbildung 110: Bodenfeuchteauschöpfung (Troxler) von Atletico und LG 32.16 (Mais), Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*) und KWS Zerberus (*S. bicolor*) im Versuchsjahr 2011 auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löss

Durch das hohe Niederschlagsaufkommen 2011 (216 % Buttelstedt und 222 % Güterfelde des vielj. Mittels) und die gut gefüllten Bodenwasserspeicher konnten die Futterhirsen im Vergleich der Versuchsjahre ihre höchsten Erträge erreichen. Jedoch lagen an beiden Standorten die Erträge der Sudangrashybriden trotz hoher Bodenwasseraufnahme deutlich unter denen des Maises. In Buttelstedt erreichte aus dem Spektrum der Futterhirsen nur die Sorte Biomass 150 knapp das Maisniveau. Durch das höhere Wasserangebot in Güterfelde erreichte die Futterhirsesorte Biomass 150 dort einen um 40 dt/ha größeren Ertrag als der Mais.

Die Tabelle 68 zeigt die Bodenfeuchteausschöpfung (Sentek) der einzelnen Sorten in unterschiedlichen Tiefenbereichen in den Versuchsjahren 2012 und 2013 im Vergleich der Standorte. Dabei kommt zum Ausdruck, dass die Sortenunterschiede eher gering sind, jedoch die Unterschiede zwischen den Arten deutlicher hervortreten.

Tabelle 68: Bodenwasserentzug (Sentek) der Sorten in den Versuchsjahren 2012 und 2013

	2012				2013			
	Entzug [mm]				Entzug [mm]			
	Buttelstedt 40 - 120 cm	Güterfelde 40 - 120 cm	Buttelstedt 120 - 200 cm	Güterfelde 120 - 200 cm	Buttelstedt 40 - 120 cm	Güterfelde 40 - 120 cm	Buttelstedt 120 - 200 cm	Güterfelde 120 - 200 cm
Atletico	39,0	34,1	10,8	3,0	55,6	70,4	20,3	5,5
LG 32.16	44,2	35,5	3,2	1,6	59,7	46,4	14,6	6,3
Mais	41,6	34,8	7,0	2,3	57,6	58,4	17,4	5,9
Lussi	36,7	55,0	1,5	14,4	60,2	47,0	10,4	5,0
KWS Sole	51,3	50,8	2,1	4,5	57,1	50,3	11,6	3,7
KWS Freya	21,1	57,4	2,3	9,6	55,2	46,7	13,1	5,9
Sudangrashybride	36,4	54,4	1,9	9,5	57,5	48,0	11,7	4,9
KWS Zerberus	42,6	60,5	5,8	13,8	62,4	73,6	17,9	13,1
Sucrosorgho 506	38,2	67,4	10,8	12,2	61,1	52,1	17,6	9,6
Hercules	30,9	53,3	2,1	15,2	72,0	65,8	17,5	11,7
Futterhirsen	37,3	60,4	6,3	13,7	65,2	63,8	17,7	11,4

Im Versuchsjahr 2012 war der Boden in Buttelstedt infolge des defizitären Winterniederschlagsaufkommens nicht aufgefüllt, in der Bodenschicht unterhalb 1 bis 2 m bestand ein Defizit von etwa 40 mm (Anhang 80).

Am Standort Güterfelde kam es zu einer besseren Bodenspeicherauffüllung, weil hier im Zeitraum nach der Ernte 2011 bis zur Aussaat 2012 im Vergleich zu Buttelstedt deutlich höhere Niederschlagsmengen (+136 mm) zu verzeichnen waren. Die Sorghumhirsen nahmen mehr Bodenwasser als in Buttelstedt auf (Abbildung 109, Tabelle 68). Der Mais zeigte auf dem Löss im Bereich unter 120 cm mit 7 mm eine etwas stärkere Tiefenausschöpfung als der Mais in Güterfelde mit 2,3 mm. Die Maiserträge beider Standorte waren 2012 vergleichbar. Die Hirsen erzielten wiederum geringere Erträge als der Mais. In Buttelstedt schöpften sie den nicht aufgefüllten Bodenspeicher bis zum Welkepunkt aus (Troxler-Sonde, Anhang 80). Am Standort Güterfelde nahmen die Hirsen etwa 20 mm mehr Bodenwasser auf (Abbildung 111), im Unterschied zum Mais griffen sie stärker auf das Bodenwasser unter 120 cm zu (Sudangrashybriden 9,5 mm, Futterhirsen 13,7 mm). Während sich die Erträge der Sudangrashybriden standörtlich nicht unterschieden, profitierten die Futterhirsen vom höheren Wasserangebot in Güterfelde mit einem Mehrertrag von 10 dt/ha gegenüber Buttelstedt.

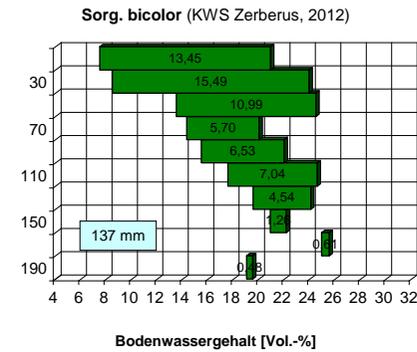
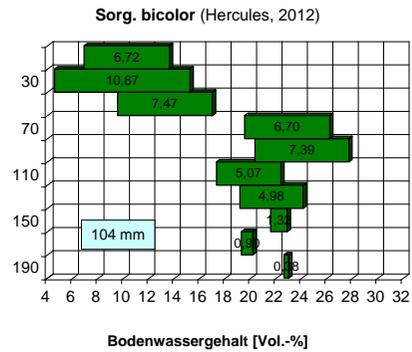
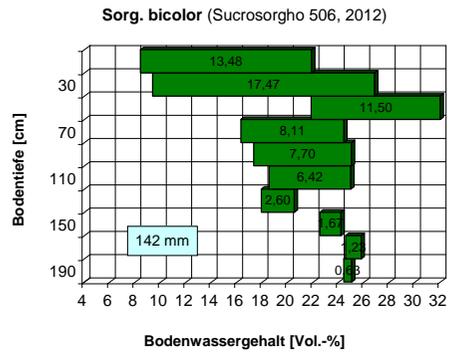
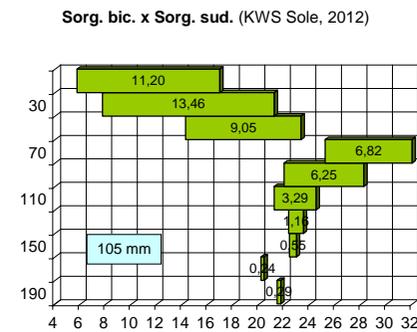
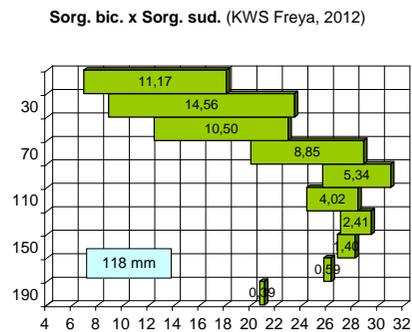
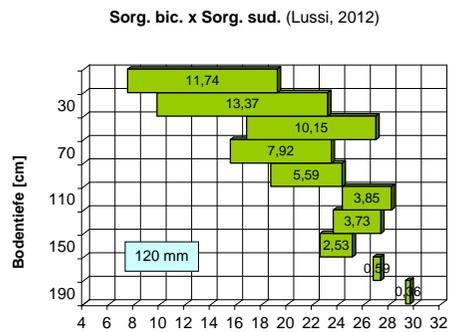
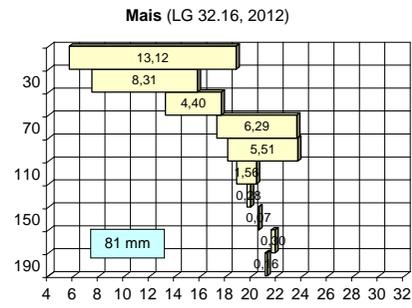
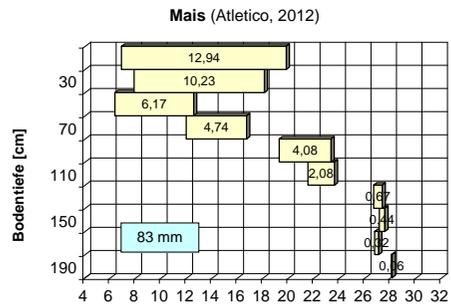


Abbildung 111: Bodenfeuchteausschöpfung Güterfelde 2012 (Sentek)

Nach langer Schneebedeckung und reichlichen Frühjahrsniederschlägen waren die Bodenspeicher in Buttstedt im Frühjahr 2013 aufgefüllt (Troxler-Sonde, Anhang 81). Unterhalb 60 cm Tiefe lagen die Anfangsgehalte mit 29 ... 33 Vol.-% noch höher als 2011. Bei gleichzeitig größerem Verdunstungsanspruch der Atmosphäre und trockenerer Sommerwitterung 2013 wurde das leichter verfügbare Bodenwasservolumen stärker in Anspruch genommen und der Bodenfeuchteentzug war bei allen Kulturen größer als 2011 und 2012. Wie im Jahr 2011 entnahmen Mais, Sudangrashybriden und Futterhirsen Bodenwasser bis aus 200 cm Tiefe.

Die Messung mit der Neutronensonde Troxler ergab, dass Mais (Atletico), die Sudangrashybride Lussi und die Futterhirse KWS Zerberus aus 40 ... 120 cm Tiefe in etwa die gleiche Wassermenge aufnahmen: 85 mm (Mais), 83 mm (Lussi), 80 mm (KWS Zerberus). Im Unterschied zu 2011 war die Ausschöpfung unterhalb 120 cm Tiefe von Mais und Lussi mit 28 und 29 mm in etwa vergleichbar. KWS Zerberus nahm 39 mm auf, begünstigt auch durch die längere Wachstumszeit. Allerdings war durch den höheren Anfangswassergehalt 2013 das Bodenwasser leichter verfügbar.

Die Sentek-Messungen in Buttstedt 2013 (Abbildung 112) belegen, dass es in der Ausschöpfung 40 ... 120 cm zwischen den Mais- und Sudangrashybrid-Sorten keine gravierenden Unterschiede gab. Die Futterhirsensorten nahmen aus dieser Schicht etwas mehr Bodenwasser auf, besonders Hercules (Tabelle 68). In den unteren Schichten von 120 ... 200 cm Tiefe war der Bodenfeuchteentzug von Mais und Futterhirsen mit 17,4 und 17,7 mm etwas höher als derjenige der Sudangrashybriden mit 11,7 mm.

In Güterfelde ergaben die Sentek-Messungen in der Bodenfeuchteausschöpfung in der Tiefe 40 ... 120 cm keine wesentlichen Unterschiede. Auch hier nahmen die Futterhirsen das meiste Bodenwasser auf, die Sudangrashybriden die geringste Menge. Unterhalb von 120 cm war die Bodenwasserausschöpfung in Güterfelde bei allen Kulturen geringer als in Buttstedt. Die Futterhirsen entzogen mit 11,4 mm deutlich mehr Bodenwasser als die Sudangrashybriden (4,9 mm) und der Mais (5,9 mm).

Obwohl der Mais in Buttstedt 2013 ebenso viel Bodenwasser aufnahm wie die Sorghumhirsen, erzielte er im Vergleich zu den beiden Vorjahren 50 dt/ha weniger Ertrag. Ursache waren die kühle Witterung in der Jugendentwicklung und ein rascher Übergang in die generative Phase infolge der trockenen Sommerwitterung. Zudem war Mais 2013 stark vom Maiszünsler befallen (Ertragsverlust ca. 10 %).

Auch der Ertrag der Futterhirsen lag um 20 dt/ha niedriger als in den beiden Vorjahren, konnte aber mit 144 ... 155 dt/ha an das witterungsbedingt niedrige Ertragsniveau der Maissorten mit 146 und 152 dt/ha heranreichen. Die Erträge der Sudangrashybriden blieben mit 123 ... 128 dt/ha darunter.

Alle Sorten senkten den Bodenwassergehalt nicht so stark wie 2011 (Troxler-Sonde, Abbildung 110, Anhang 81). Möglicherweise sind dafür die ungünstigen Witterungsbedingungen (kühle Temperaturen während der Jungpflanzenentwicklung, trockener warmer Sommer) verantwortlich.

Die Futterhirsen in Güterfelde zeigten wie in Buttstedt, dass sie aufgrund der längeren Wachstumszeit mehr Bodenwasser aus tieferen Schichten erschließen können. Trotzdem lagen hier die Erträge des Maises höher als die der Futterhirsen (184 im Vergleich zu 146 ... 161 dt/ha), das geringste Ertragsniveau wiesen auch hier die Sudangrashybriden auf (124 ... 135 dt/ha).

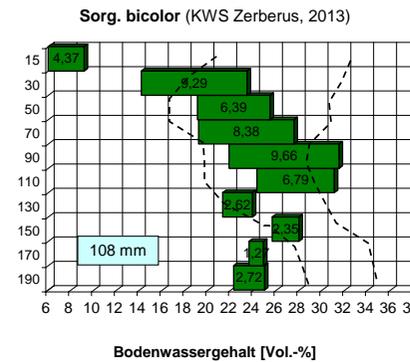
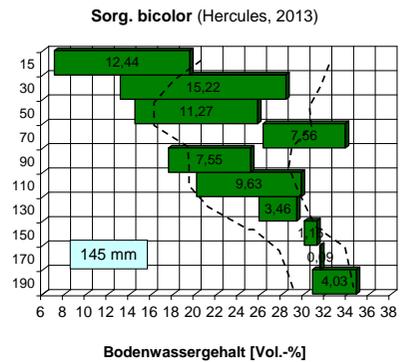
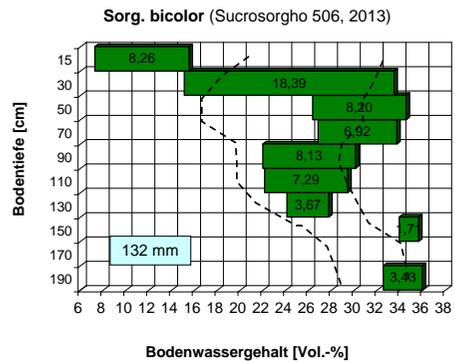
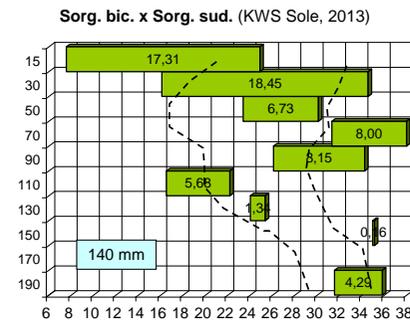
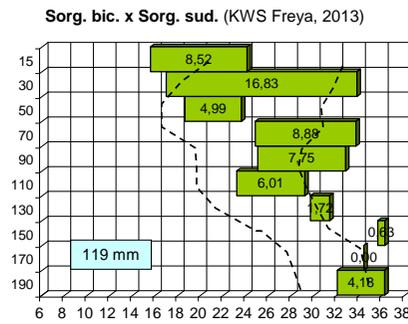
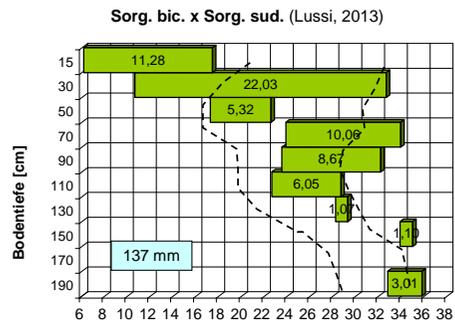
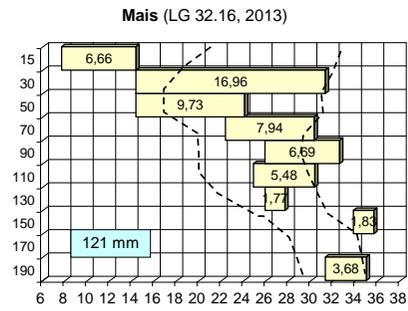
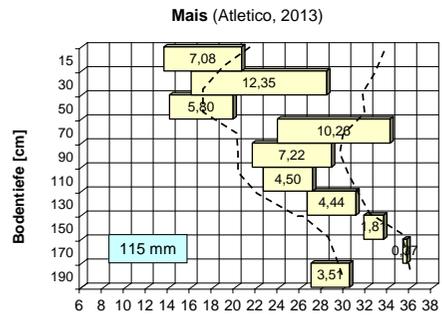


Abbildung 112: Bodenfeuchteausschöpfung Buttelstedt 2013 (Sentek)

Die Abbildung 113 zeigt den zeitlichen Verlauf der Tiefenausschöpfung des Bodenwassers der drei Kulturen im Sortenmittel im Versuchsjahr 2013, in Anhang 82 findet sich die Darstellung aller Jahre. Als Zugriff auf das Bodenwasser der entsprechenden Schicht galt dabei der Zeitpunkt, ab dem der Bodenwassergehalt zwischen den wöchentlichen Messterminen um 1 Vol.-% abgenommen hat und sich der abnehmende Trend im weiteren Verlauf fortsetzte.

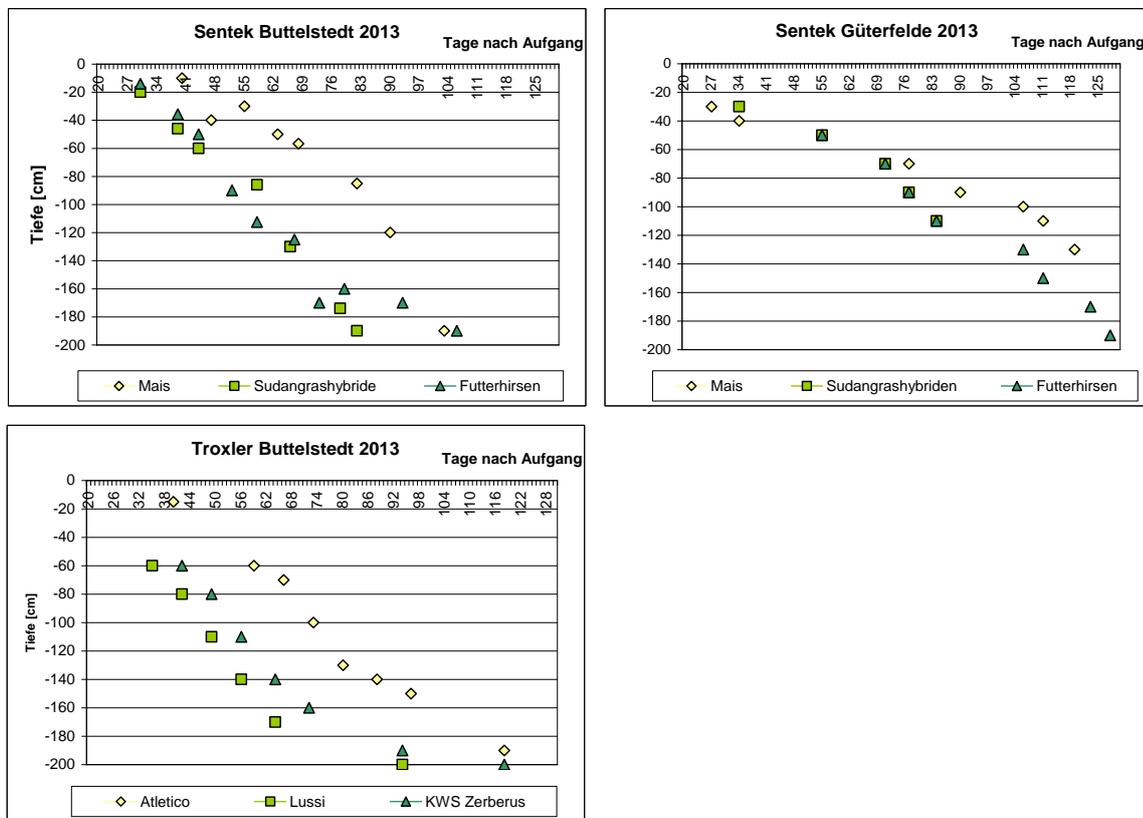


Abbildung 113: Tiefenausschöpfung des Bodenwassers durch die drei Kulturen 2013

Der zeitliche Verlauf der Tiefenausschöpfung zeigt, dass die später ausgesäten Hirsen schneller als der Mais auf das Bodenwasser tieferer Schichten zugreifen konnten. Nach dem Auflaufen trieben die Hirsen das Wurzelwachstum voran und richteten ihr Wurzelsystem schneller in die Tiefe aus als der Mais, der zu diesem Zeitpunkt die oberirdische Biomasse rascher bildete. Der Zeitpunkt der Inanspruchnahme des Wassers der tieferen Schichten war bei den beiden Hirsearten ähnlich, die Futterhirsen setzten aufgrund ihrer längeren Wachstumsdauer den Wasserentzug aus noch tieferen Bodenschichten fort. Mais erschloss auf dem tiefgründigen Löss 75 bis 80 d nach Auflaufen Bodenwasser unterhalb 70 cm, er befand sich bereits im generativen Entwicklungsstadium (BBCH 60) und hatte eine Wuchshöhe von etwa 200 cm erreicht. Die Hirsen begannen, das Bodenwasser unterhalb 70 cm Tiefe bereits 60 bis 70 d nach dem Auflaufen auszuschöpfen, etwa 10 bis 15 d eher als der Mais. Die Sudangrashybriden befanden sich zu diesem Zeitpunkt am Ende der Stengelstreckung und wiesen im Mittel der Jahre eine Wuchshöhe von 150 cm auf. Die spätreifenden Futterhirsen hingegen befanden sich erst am Beginn der Stengelstreckung (BBCH 32) und hatten eine Wuchshöhe von 120 cm erreicht.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Alle drei Kulturen Mais, Sudangrashybriden und Futterhirse sind in der Lage, Bodenwasser bis aus 200 cm Tiefe aufzunehmen.
- Zwischen 40 und 120 cm Tiefe war die Inanspruchnahme des Bodenwassers durch die drei Kulturen in den Jahren 2012 und 2013 auf beiden Standorten in etwa vergleichbar. Im Jahr 2011 wurde das Bodenwasser auf der Fahlerde aus Kryo-Decksand in Güterfelde aufgrund ergiebiger Niederschläge kaum in Anspruch genommen.
- Unterschiede hinsichtlich der Ausschöpfung zeichnen sich unterhalb 120 cm Tiefe ab.
- Im Jahr 2011 nahmen Lussi und KWS Zerberus auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löss in Buttelstedt aus diesem Bereich deutlich mehr Bodenwasser auf als Mais (Troxler-Sonde). Im Jahr 2012 zeigen die Futterhirsen in der Tendenz den stärkeren Tiefgang selbst bei nicht aufgefülltem Bodenspeicher des Lösses. Auch im Jahr 2013 mit den höchsten Anfangswassergehalten war der Bodenfeuchteentzug aus dieser Schicht unter den Futterhirsen höher, der von Sudangrashybriden hingegen weniger stark ausgeprägt und entspricht in etwa dem des Maises.
- In Güterfelde mit weitgehend aufgefülltem Bodenspeicher in allen drei Jahren wurde das Bodenwasser unterhalb 120 cm Tiefe durch die Futterhirsen 2012 und 2013 am stärksten in Anspruch genommen. Die Sudangrashybriden nahmen eine Mittelstellung ein. Mais war auf diesem Standort kaum in der Lage, Bodenwasser unterhalb 120 cm zu nutzen. Der tiefgründige Löss bot aufgrund seines Nadelstichporengefüges günstigere Bedingungen für die Durchwurzelung tieferer Schichten als die Fahlerde aus Kryo-Decksand in Güterfelde.
- Die tiefer gehende Bodenwasserausschöpfung durch Futterhirsen ist begünstigt durch die längere Wachstumszeit. Die etwa 25 Tage früher abreifenden Sudangrashybriden nehmen in etwa die gleiche Bodenwassermenge wie der Mais auf, sind dazu aber in einem kürzeren Zeitraum in der Lage.
- Obwohl die Futterhirsen mehr Bodenwasser aufnehmen können als der Mais, reichen die Niederschläge in Buttelstedt und Güterfelde (mitteldeutsche und nordostdeutsche Klimaverhältnisse) in der Regel nicht aus, um das Ertragsniveau des Maises zu erreichen.
- Unter der Bedingung normaler Niederschläge fällt damit die Wassernutzungseffizienz von Futterhirsen ungünstiger aus als die von Mais.
- Das Jahr 2011 in Güterfelde mit ergiebigen Sommerniederschlägen zeigt aber, dass Futterhirsen den Ertrag von Mais erreichen und übertreffen können.
- Im Jahr 2013 mit witterungs- und schaderregerbedingten Ertragsausfällen beim Mais (zu kühl während der Jugendperiode, sehr trocken während der generativen Phase) erschließt der Mais in etwa die gleiche Bodenwassermenge wie die Futterhirsen und ist die Wassernutzungseffizienz bei vergleichbaren Erträgen nicht mehr besser als die von Futterhirse.
- Die Sorghumhirsen entwickeln einen schnelleren Zugriff auf das Bodenwasser tieferer Schichten als Mais, sodass sie dessen Tiefgang trotz späterer Aussaat einholen und die Futterhirsen diesen noch übertreffen können.
- Sortenunterschiede in der Bodenwasserausschöpfung sind kaum zu erkennen. Die Unterschiede zwischen den Kulturarten sind größer.

Kaliumdüngung

Studien belegen, dass Kalium die Wassereffizienz, also den Ertrag pro Einheit Wasser, erhöht. Hierbei besteht eine wasserregulierende Wirkung dieses Nährstoffes sowohl im Boden als auch in der Pflanze (ELFRICH & FUHRS 2012; REEB 2011). Im ersten Jahr ohne Kaliumdüngung (2012) zeigten sich im Vergleich zur gedüngten Variante hinsichtlich Ertragsbildung und Bodenwasserausschöpfung kaum Unterschiede. Im Folgejahr fiel der TM-Ertrag ohne K-Düngung etwas geringer aus, aber nicht signifikant (Abbildung 114).

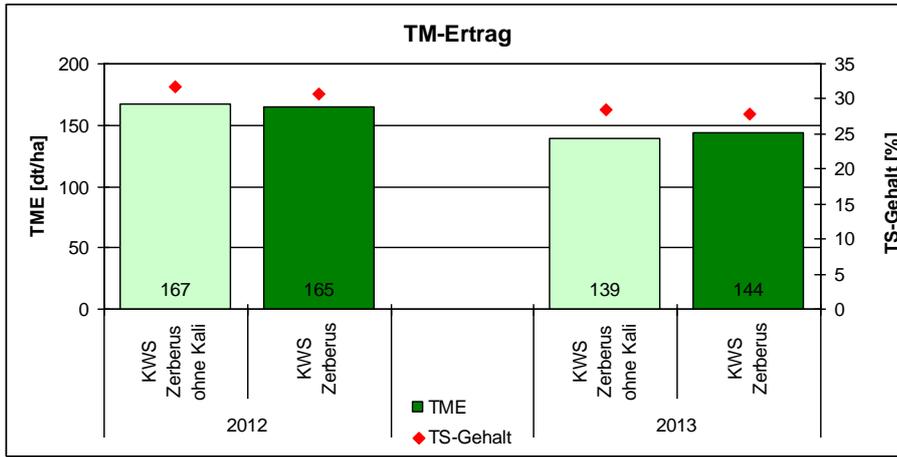


Abbildung 114: TM-Erträge mit und ohne Kalium-Düngung

Jedoch gab es in 2013 deutliche Unterschiede hinsichtlich der Bodenwasserinanspruchnahme. In der mit K ungedüngten Variante wurden im Mittel 30 mm mehr Bodenwasser aufgenommen, das aber nicht in Ertrag umgesetzt werden konnte. Somit zeigt sich die Tendenz, dass sich die Wassernutzungseffizienz ohne K-Düngung verschlechtert (Abbildung 115).

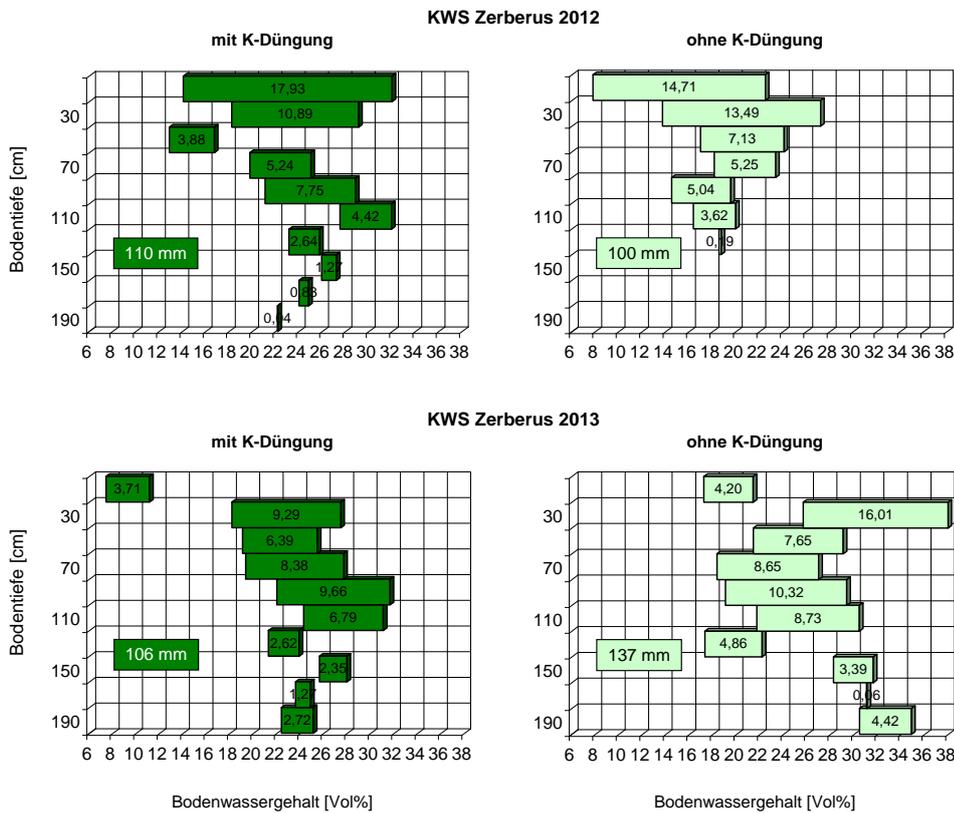
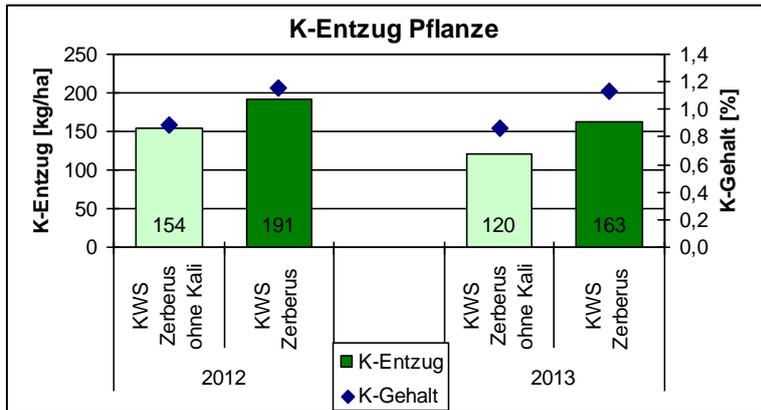


Abbildung 115: Bodenfeuchte-Ausschöpfung (MW) von KWS Zerberus mit und ohne K-Düngung in den Jahren 2012 und 2013 am Standort Buttelstedt

Die fehlende K-Düngung führte in beiden Jahren sowohl in den K-Gehalten als auch in den K-Entzügen der Zerberuspflanzen zu signifikant geringeren Beträgen im Vergleich zur gedüngten Variante. Auch die Boden-gehalte an Kalium reduzierten sich deutlich (Abbildung 116).



Entnahme- datum	KWS Zerberus	
	mit Kali	ohne Kali
	mg/100 g Boden	
02.05.11	13 (GK C)	
26.03.12	13 (GK C)	11 (GK C)
19.10.12	17 (GK C)	8 (GK B)
12.09.13	14 (GK C)	7 (GK B)

Abbildung 116: K-Entzüge von KWS Zerberus mit und ohne K-Düngung und Entwicklung des Bodenkaliumpotentiales unter KWS Zerberus mit und ohne K-Düngung

Stickstoffbilanz am Standort Butteltstedt

Die N-Düngung erfolgte nach den Vorgaben der SBA-Düngeempfehlung (Sollwert 220 kg/ha N, Anrechnung des Boden-Nmin-Gehaltes im Frühjahr). Sowohl der Mais als auch die Hirsen wiesen eine gute Verwertung des N-Düngers auf. Die mittleren Entzüge aller Sorten lagen über der Zufuhr und führten teilweise zu negativen N-Salden am Standort Butteltstedt (Abbildung 117). Die blattreichen Sudangrashybriden wiesen den höchsten N-Gehalt im Pflanzenmaterial auf (1,27 %), gefolgt vom Mais (1,17 %) und den *S. bicolor*-Sorten (1,10 %). Auch am Standort Güterfelde wurden im Mittel der Jahre 2011 und 2012 negative N-Salden festgestellt von -114 kg/ha N bei den Sudangrashybriden bis -147 kg/ha N bei den Futterhirsen (Anhang 83).

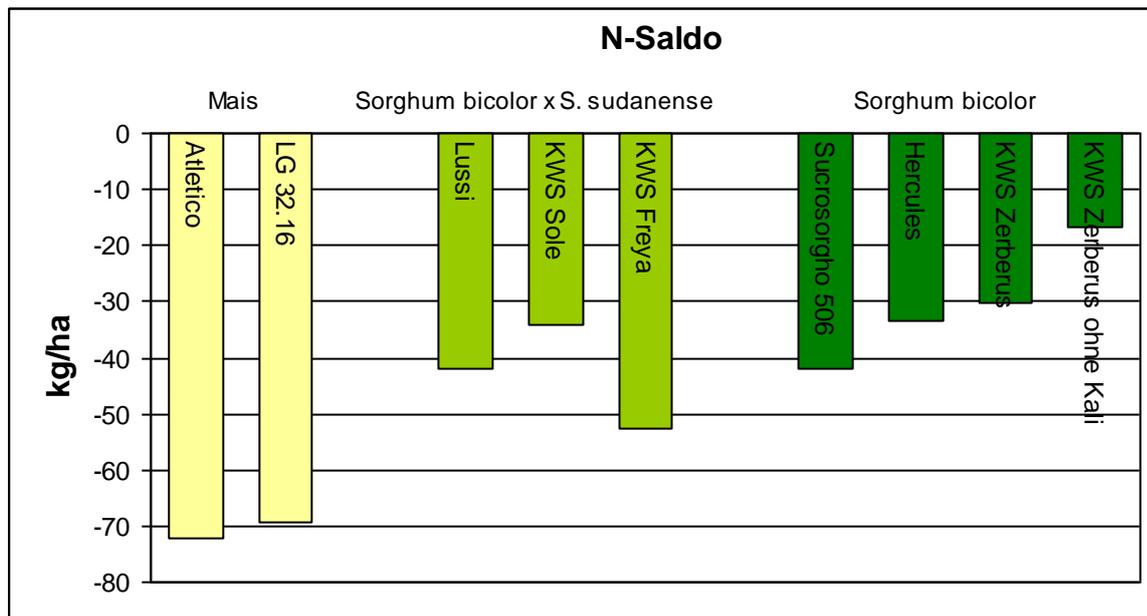


Abbildung 117: N-Salden des Feldversuches am Standort Butteltstedt (Mittel drei Jahre)

6.3.3 Wurzelbiomasse und Humusproduktion von Sorghumhirsen im Vergleich zu Mais

Quantifizierung der Wurzelparameter

In Abbildung 118a–c sind die ermittelten mittleren Gesamtwurzellängen aller beprobten Sorten für einen Quadratmeter aufsummiert im Bodenprofil von 0–200 cm für die Jahre 2011 bis 2013 dargestellt.

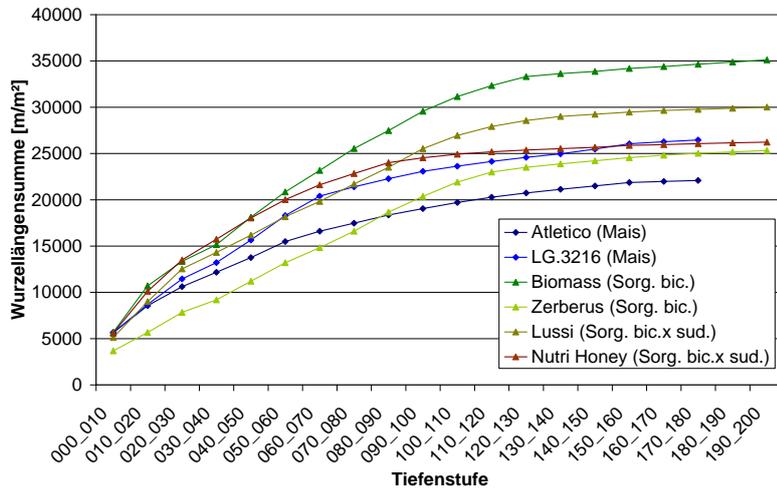
Die einzelnen Punkte entsprechen dem aufsummierten Mittelwert aus der 10-fachen Wiederholung für die jeweilige Sorte (5 auf der Reihe und 5 zwischen der Reihe beprobt). Im Jahr 2011 (Abbildung 118a) wurde generell für alle untersuchten Sorten eine geringere Wurzellängenausbildung ermittelt als für die Jahre 2012 (Abbildung 118b) und 2013 (Abbildung 118c). Das mit Abstand höchste Wurzellängenwachstum für das Gesamtprofil im Jahr 2011 weist die ertragsstärkste *S. bicolor*-Sorte Biomass 150 und das niedrigste die Maissorte Atletico auf (Abbildung 118a). Die *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus bildete im oberen Bodenprofil bis zu einer Tiefe von ca. 80 cm deutlich weniger Wurzeln aus als die anderen beprobten Sorten. In tieferen Schichten wurden aber mehr Wurzeln ausgebildet, sodass das Niveau der Gesamtwurzellänge für das gesamte Bodenprofil gleich der *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorte Nutri Honey und der Maissorte LG 32.16 liegt. Im Jahr 2012 zeigt sich eine deutliche Differenzierung ab einer Tiefe von 80 cm zwischen den *S. bicolor*-Sorten Hercules und KWS Zerberus mit den beträchtlichsten Wurzellängen, den *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorten Lussi und KWS Freya mit mittleren Wurzellängen und den Maissorten Atletico und LG 32.16 mit den geringsten ermittelten Gesamtwurzellängen (Abbildung 118b). Ähnliche Ergebnisse wurden auch für das Jahr 2013 erzielt, wobei mit der *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus, *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorte Lussi und der Maissorte Atletico nur jeweils eine Sorte beprobt wurde. Diese Differenzierung könnte neben der spezifischen Pflanzencharakteristik auf die verschiedenen Erntezeitpunkte zurückzuführen sein, wobei die *S. bicolor*-Sorten am spätesten und die Maissorten am frühesten geerntet werden.

In Abbildung 119a-c sind die Summenkurven der Wurzeloberflächen dargestellt. Für das Jahr 2011 zeigen die Ergebnisse der ermittelten Gesamtoberflächen für das Gesamtprofil ein ähnliches Bild wie für die Wurzellängen. Drei der vier untersuchten Hirsesorten weisen eine höhere Gesamtwurzeloberfläche auf als die Maissorten. Nur die *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus, die im oberen Bodenprofil ein geringeres Wurzelnetzwerk ausgebildet zu haben scheint, liegt auf dem Niveau der Maissorte LG 32.16. Die geringste Wurzeloberfläche für das Jahr 2011 weist die Maissorte Atletico auf. Im Jahr 2012 zeigt sich im Bodenprofil bis ca. 110 cm eine deutliche Differenzierung zwischen den Maissorten Atletico und LG 32.16 mit den höchsten Wurzeloberflächen-summen, den *S. bicolor*-Sorten Hercules und KWS Zerberus mit mittleren Werten und den *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorten Lussi und KWS Freya mit der geringsten Wurzeloberfläche im Bodenprofil bis 100 cm. Diese Ergebnisse konnten im Jahr 2013 wiederum reproduziert werden. Die deutlich höhere ermittelte Wurzeloberfläche der Maissorten im Bereich 30 und 80 cm, aber keine erhöhten Werte für die Wurzellängen deuten auf eine verstärkte Ausbildung von Grobwurzeln in diesem Tiefenbereich hin, die bei gleicher Länge einen höheren Beitrag zur Oberfläche leisten.

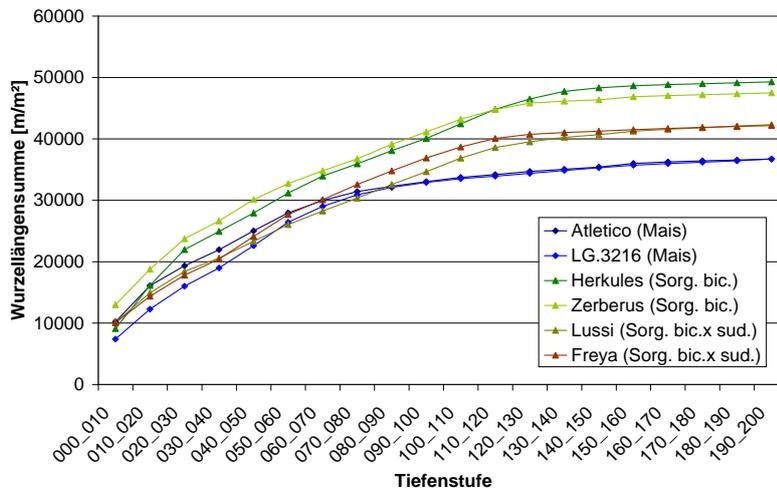
Die aufsummierten Gesamtwurzelvolumen für das jeweils untersuchte Bodenprofil von 0-200 cm ist für die Jahre 2011 bis 2013 in den Abbildung 120a-c dargestellt. Die für das Jahr 2011 ermittelten Wurzelvolumen zeigen keine eindeutige Trennung zwischen Mais- und Hirsesorten. Es bilden zwar 3 der 4 Hirsesorten mehr Wurzelvolumen als Mais aus, aber die eine *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus liegt im Bereich zwischen den zwei Maissorten. Das höchste Wurzelvolumen wurde von der *S. bicolor* x *sudanense*-Sorte Lussi und das geringste Wurzelvolumen von der Maissorte Atletico für das Jahr 2011 ermittelt. Die Jahre 2012 und 2013 zeigen wieder ein anderes Ergebnis. Die höchsten Gesamtwurzelvolumen wurden dabei im Jahr 2012 von den Maissorten Atletico und LG 32.16 sowie von der *S. bicolor*-Sorte Hercules und das geringste Wurzelvolumen von der *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorte KWS Freya ausgebildet. Im Jahr 2013 wies wiederum die Maissorte Atletico

das höchste Wurzelvolumen auf. Aber auch die im Jahr 2012 mit mittlerem Wurzelvolumen charakterisierte *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus hat im Jahr 2013 im oberen Bodenprofil bis 30 cm und im unteren Bodenprofil ab 140 cm ein besonders hohes Gesamtwurzelvolumen ausgebildet. Das geringste Wurzelvolumen wurde im Jahr 2013 für die *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorte Lussi gemessen. Tendenziell bilden die Maissorten im Bodenprofil zwischen 30 und 80 cm mehr Wurzelvolumen aus.

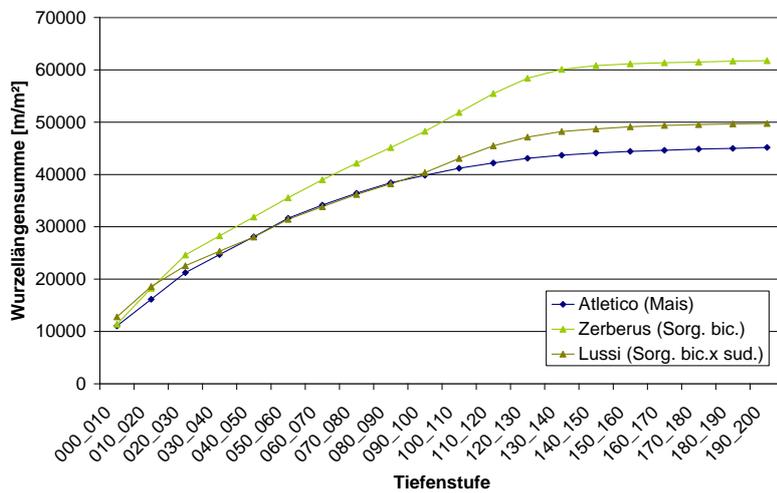
Den in den Jahren 2012 und 2013 erzielten Ergebnissen kann wahrscheinlich höhere Glaubwürdigkeit geschenkt werden als denen von 2011. Dies kann mit der erhöhten Praxiserfahrung in Bezug auf die Wurzelprobenahme, -selektion und -bestimmung begründet werden. Die Reproduktion der Ergebnisse von 2012 und 2013 sichern die gewonnenen Erkenntnisse besser ab, als die einmalig erzielten Ergebnisse aus dem Jahr 2011.



a) 2011

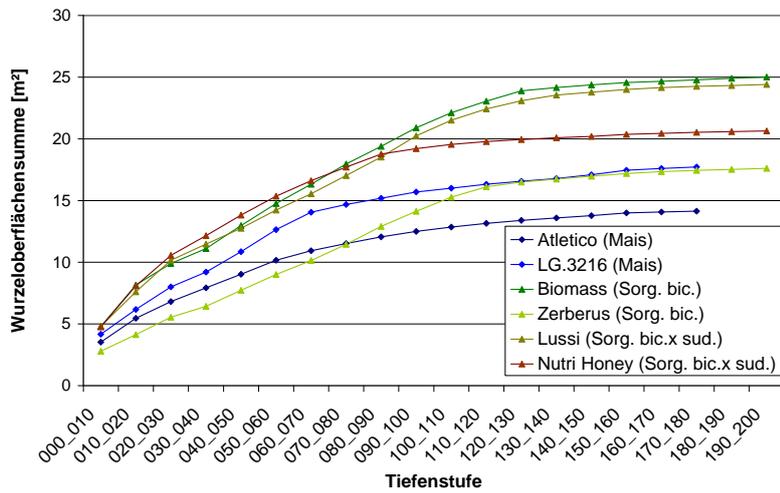


b) 2012

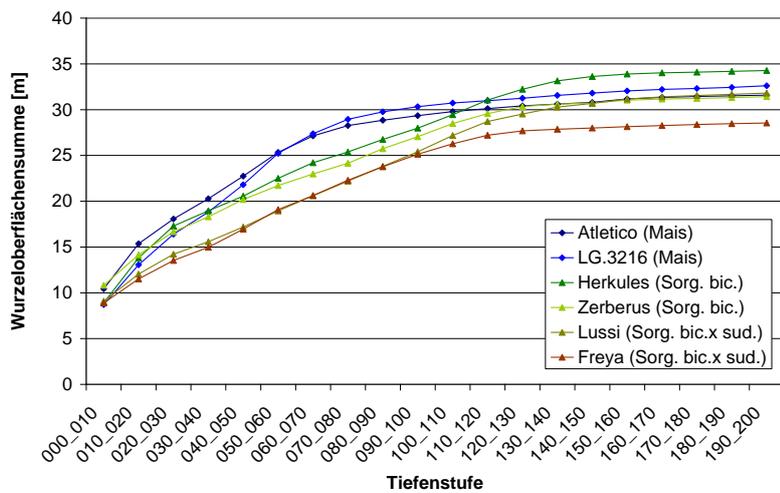


c) 2013

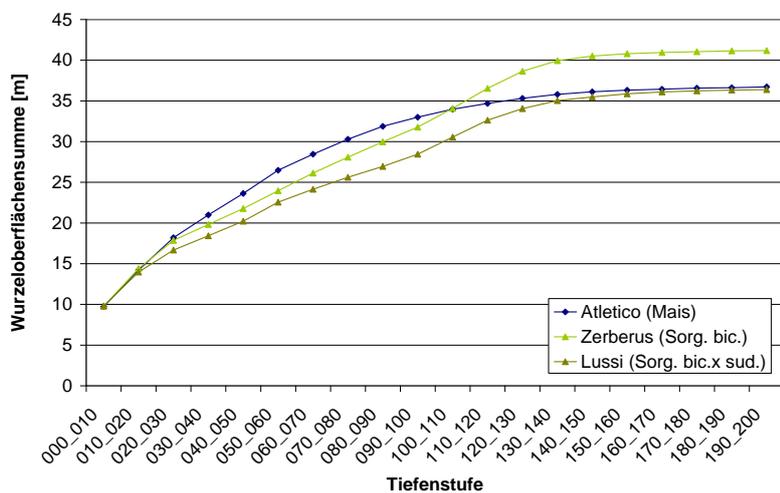
Abbildung 118: Gesamtwurzellängensumme für 1 m² im Profil von 0–200 cm



a) 2011

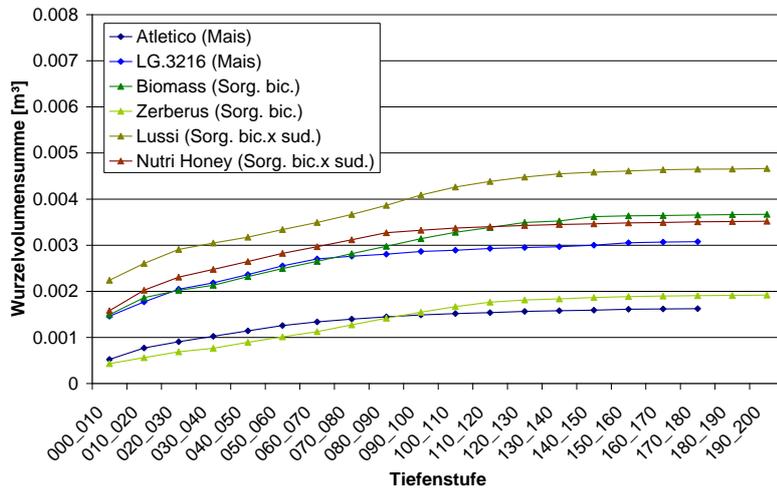


b) 2012

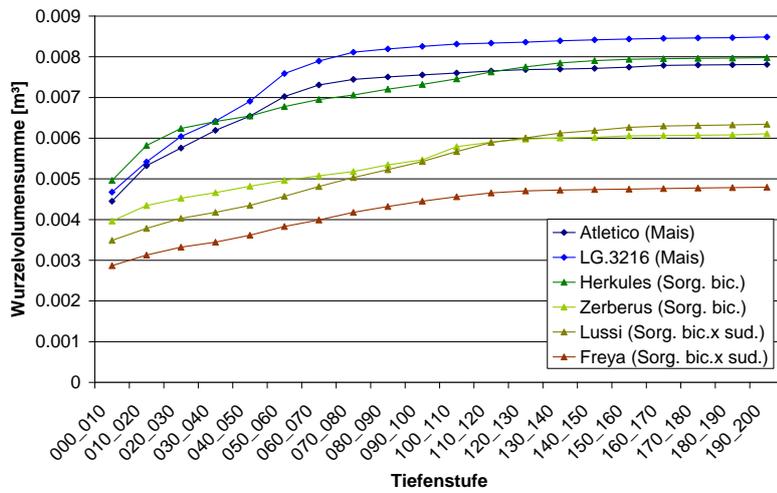


c) 2013

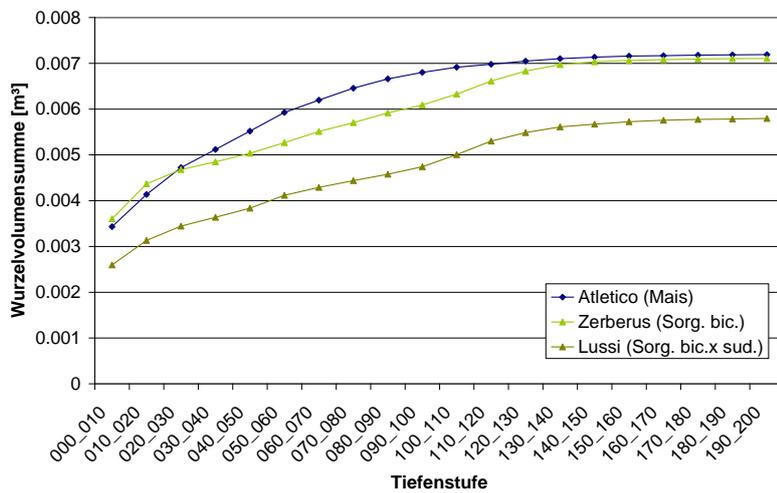
Abbildung 119: Gesamtwurzeloberflächensumme für 1 m² im Profil 0–200 cm



a) 2011



b) 2012



c) 2013

Abbildung 120: Gesamtwurzelvolumensumme für 1 m² im Profil 0–200 cm

In Abbildung 121 bis Abbildung 125 sind die Box-Whisker-Plots der Mittelwerte für die Wurzellängendichte, -oberflächendichte und -volumendichte für die 5 Tiefenklassen a) 0–30 cm; b) 30–80 cm; c) 80–130 cm; d) 130–180 cm und e) 180–200 cm inklusive der berechneten Statistikklasse dargestellt. Im Bodenprofil von 0–30 cm (Abbildung 121) wurden für das Jahr signifikant geringere Werte für alle Parameter für die *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus ermittelt. In den Jahren 2012 und 2013 wurden größtenteils keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten festgestellt. Nur die Wurzellängendichte der *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus ist 2012 signifikant erhöht und die der Maissorte LG 32.16 signifikant niedriger. Im Bodenprofil von 30–80 cm (Abbildung 122) wurden in den Jahren 2012 und 2013 signifikant höhere Wurzeloberflächendichten und -volumendichten für die Maissorten festgestellt.

Der deutlichste Unterschied zwischen den Mais- und Hirsesorten für die ermittelten Parameter tritt im Bodenprofil in der Schicht zwischen 80–130 cm (Abbildung 122) auf. Für alle Jahre und fast alle Parameter wurden signifikant niedrigere Wurzellängendichten, -oberflächendichten und -volumendichten für die Maissorten gemessen. Nur für 2013 konnte kein signifikanter Unterschied in der Wurzelvolumendichte nachgewiesen werden, wobei die mittlere Volumendichte der Maissorte Atletico trotzdem am kleinsten ist.

Diese Ergebnisse sind vermutlich auf die verschiedenen Wuchsformen der beiden Energiepflanzenarten Mais und Hirse zurückzuführen. Dabei gehört die Hirse dem allorhizen Bewurzelungstyp an. Dieser bildet eine Hauptwurzel mit ausgeprägten Seitenwurzeln aus, wodurch das Seitenwachstum stark gefördert wird. Die Wurzeln der Maissorten sind homorhiz und bilden überwiegend Hauptwurzeln ohne radial verlaufende Seitenwurzeln aus. Bis in eine Bodentiefe von ca. 80 cm liegen die Wurzellängendichten und -oberflächendichten aller Energiepflanzen auf einem ähnlichen Niveau mit erhöhten Wurzelvolumendichten der Maissorten im Bodenprofil von 30–80 cm. Mit weiter zunehmender Tiefe (>80 cm) ist eine geringere Wurzelentwicklung der Maissorten festzustellen. Ab 130 cm Bodentiefe gleichen sich die Wurzelparameter aller Energiepflanzen an und nehmen mit zunehmender Tiefe stark ab. Abbildung 123 und Abbildung 124 zeigen die ermittelten Wurzelparameter für die Tiefenstufen 130–180 cm bzw. 180–200 cm, in denen keine nennenswerten Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten gefunden werden konnten. Es konnten allerdings für alle untersuchten Sorten Wurzeln im Bereich von 180–200 cm nachgewiesen werden.

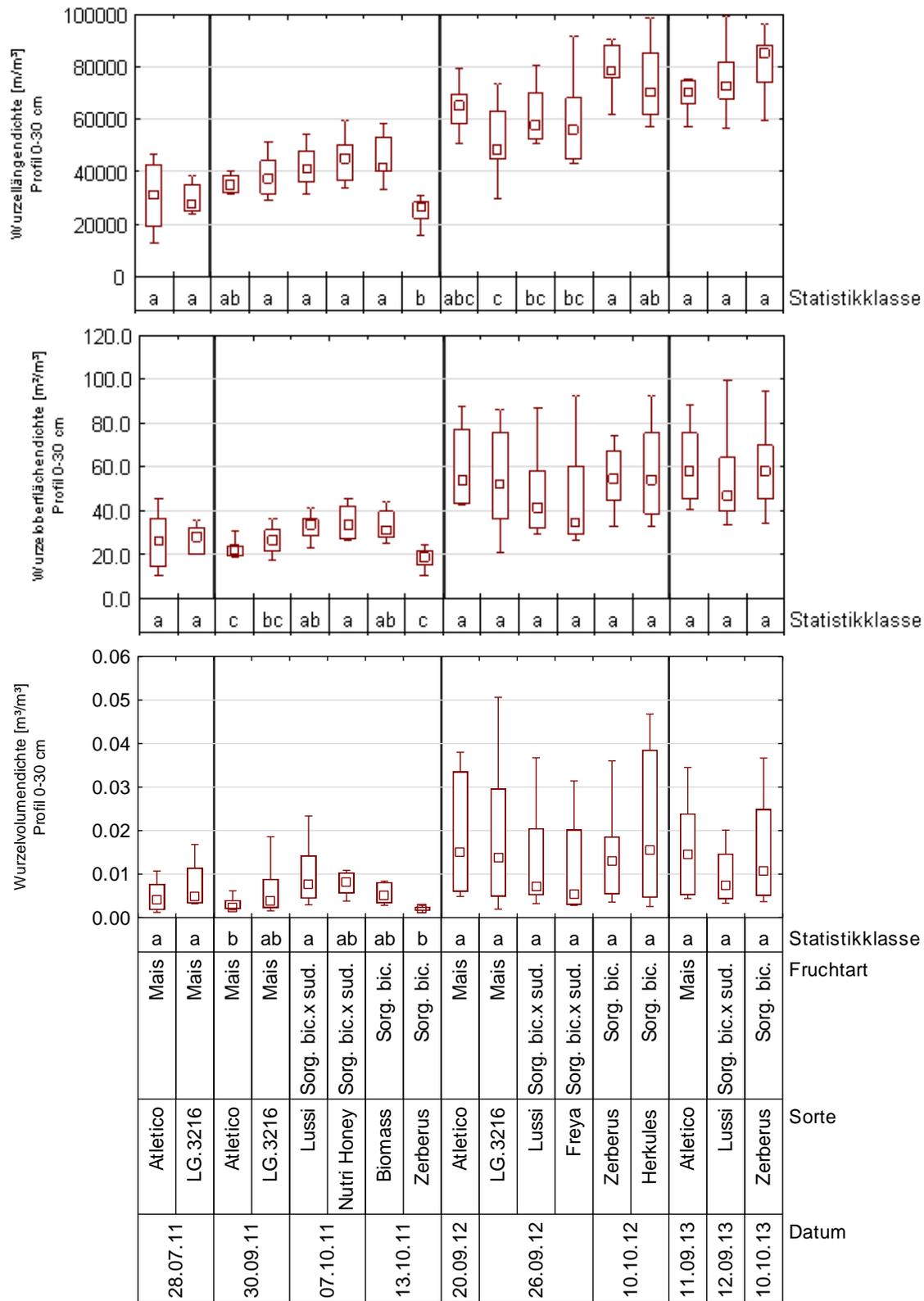


Abbildung 121: Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzolvolumendichte im Profil von 0–30 cm

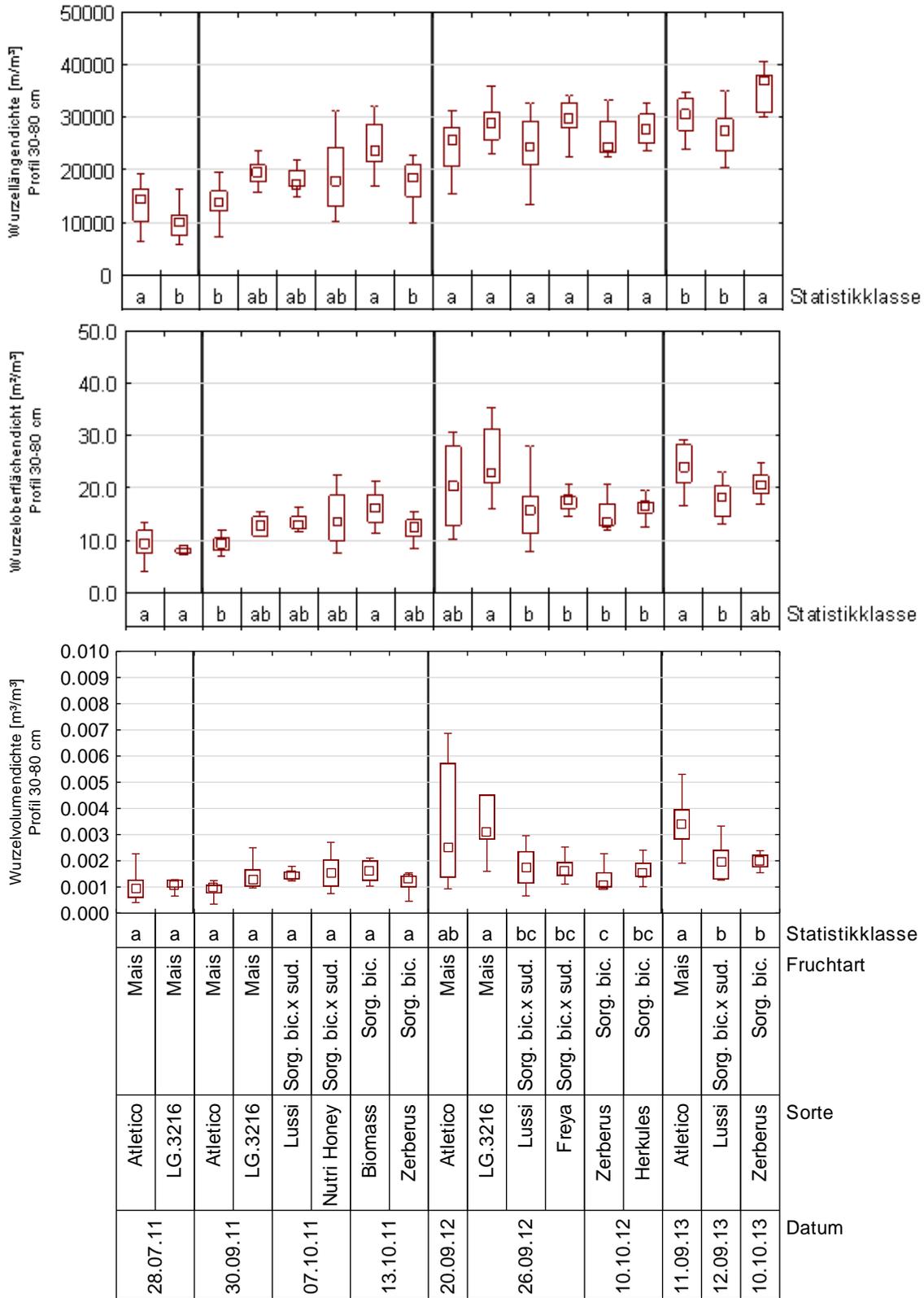


Abbildung 122: Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzelvolumendichte im Profil 30–80 cm

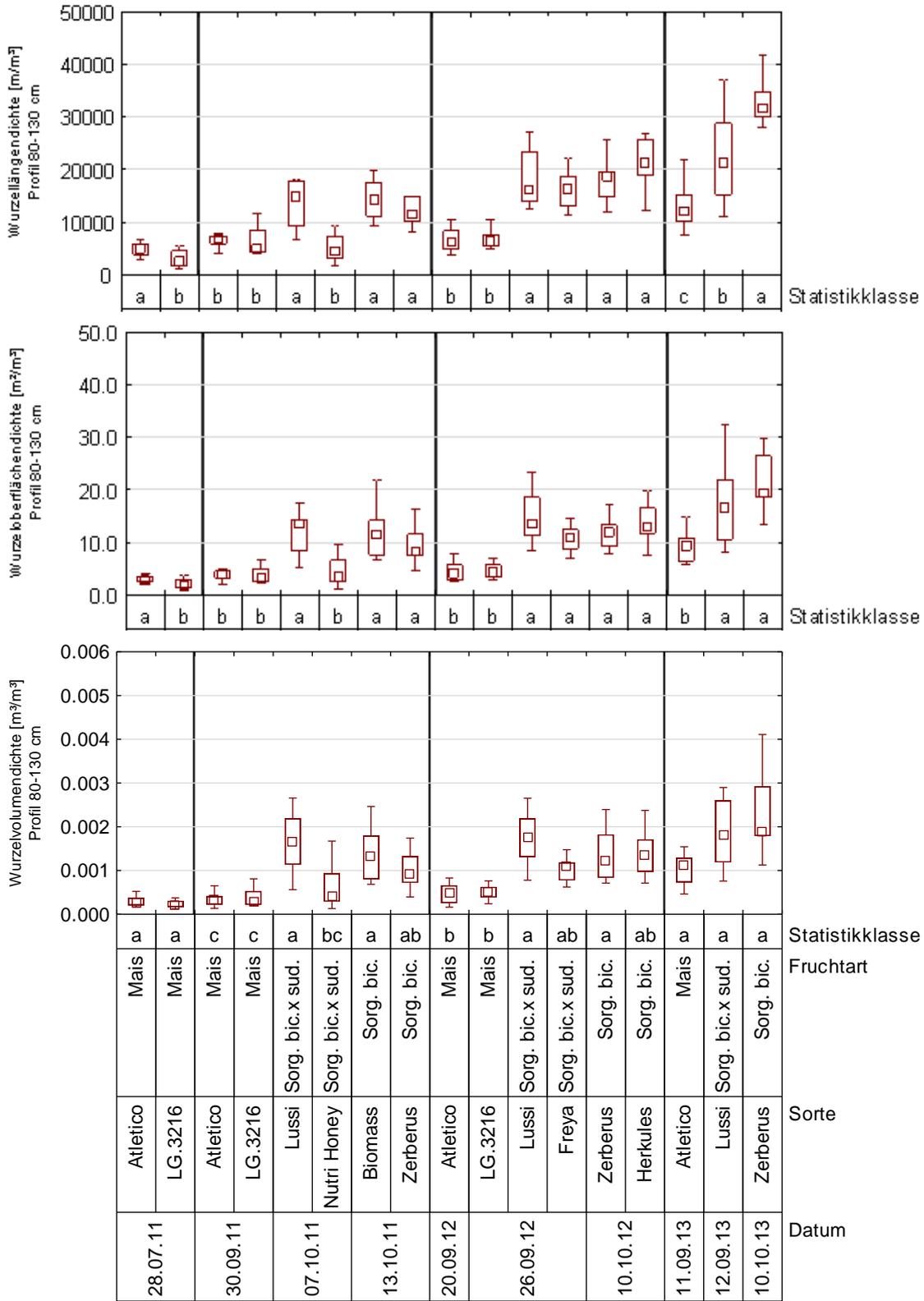


Abbildung 123: Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzolvolumendichte im Profil 80–130 cm

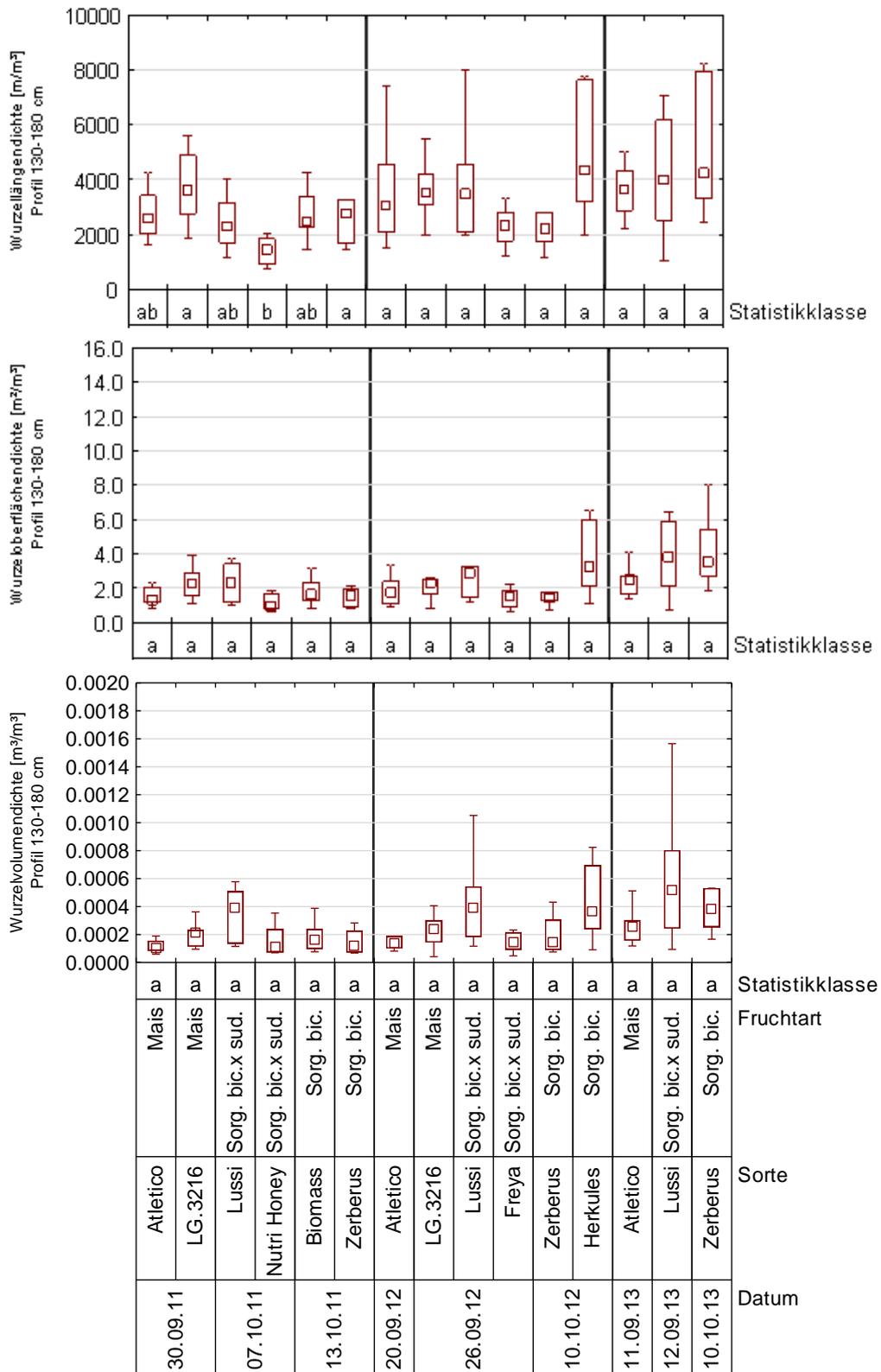


Abbildung 124: Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzelvolumendichte im Profil 130–180 cm

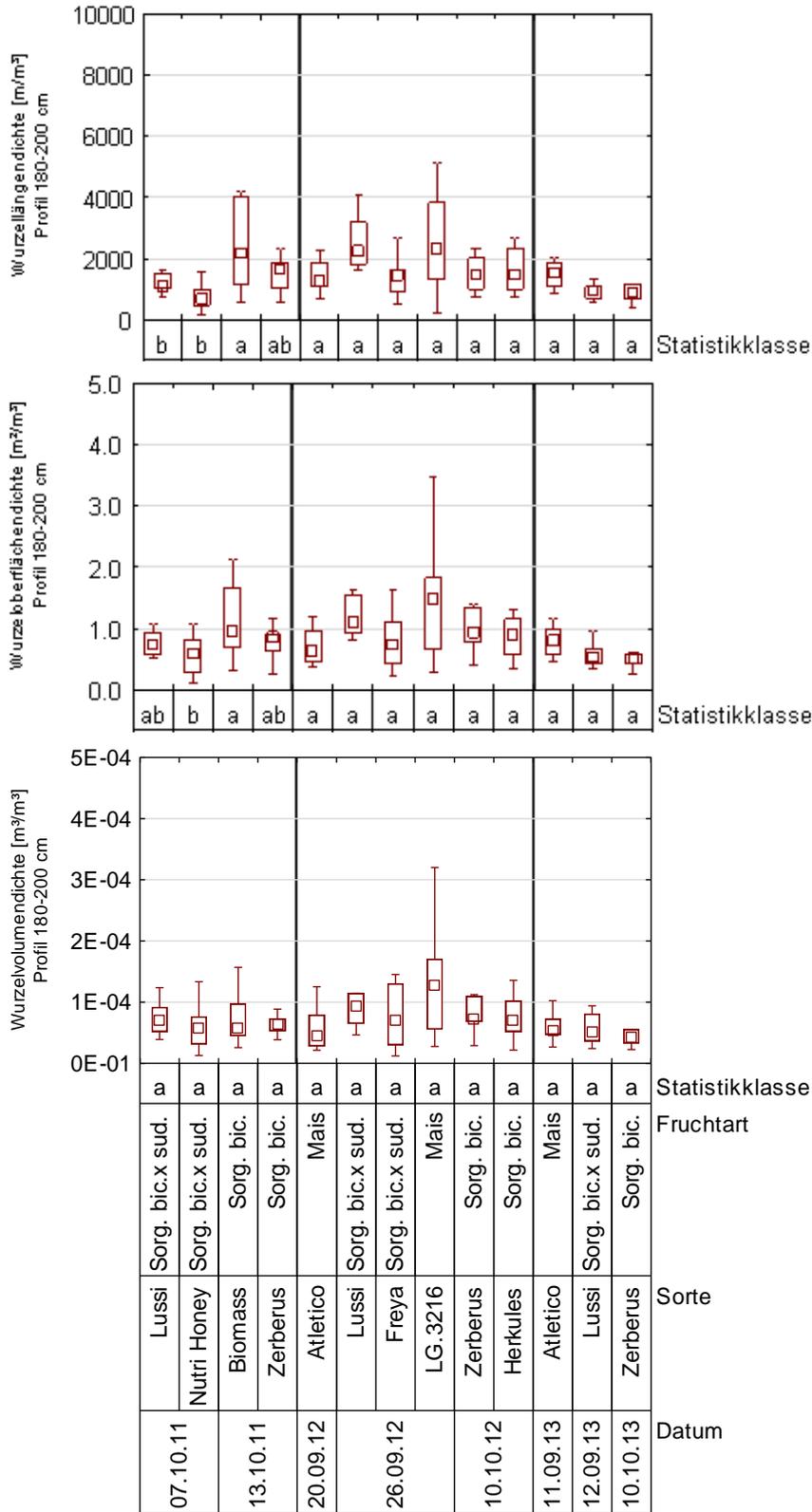


Abbildung 125: Wurzellängen-, Wurzeloberflächen- und Wurzelvolumendichte im Profil 180–200 cm

Stoffanalytik

Mit Hilfe des Wurzelvolumens und der Dichte der selektiv gesammelten Wurzeln ist es möglich, die entsprechende Frischmasse an Wurzeln zu berechnen. In Tabelle 69 sind diese ermittelten Frischmassedichten aufgeführt. Die höchsten Dichten mit durchschnittlich 0,99 g/cm³ weisen die *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorten auf. Die *S. bicolor*- und Maissorten haben mit 0,57 g/cm³ bzw. 0,60 g/cm³ vergleichbare Dichten.

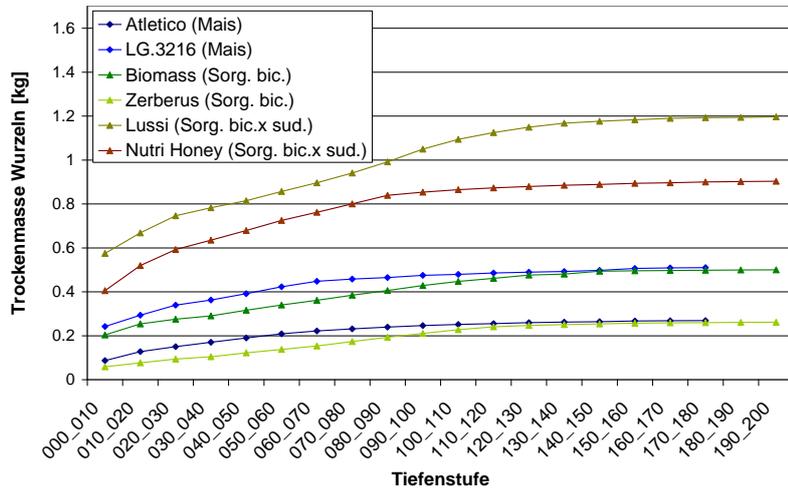
Tabelle 69: An selektiv gesammelten frischen Wurzeln bestimmte Dichte und deren Standardabweichung

Jahr	Sorte	Dichte [g/cm ³]	σ Dichte [g/cm ³]
2012	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.96	0.07
	KWS Freya (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.99	0.10
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	0.59	0.13
	Hercules (<i>S. bicolor</i>)	0.28	0.06
	Atletico (Mais)	0.61	0.14
	LG 32.16 (Mais)	0.52	0.05
2013	Atletico (Mais)	0.67	0.10
	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	1.02	0.10
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	0.84	0.12
	MW (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.99	0.03
	MW (<i>S. bicolor</i>)	0.57	0.23
	MW (Mais)	0.60	0.06

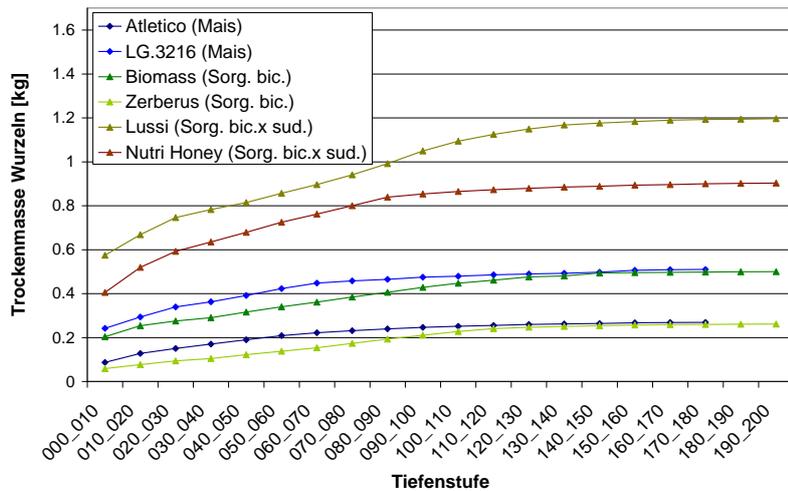
In Tabelle 70 sind die berechneten Frischmassen pro m² für das Bodenprofil bis 30 cm aufgeführt, die für die C-Input Berechnung für die Humusreproduktion herangezogen werden. In Abbildung 126a-c sind zudem die berechneten Frischmassen der Wurzeln von 0–200 cm dargestellt. Aufgrund der hohen Frischmassedichte weist in allen Jahren die *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorte Lussi die höchsten Frischmassegewichte und die *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus aufgrund der geringeren Dichte die geringsten Frischmassegewichte auf.

Tabelle 70: Berechnete Frischmasse (FM) der Wurzeln für einen Quadratmeter im Bodenprofil 0–30 cm

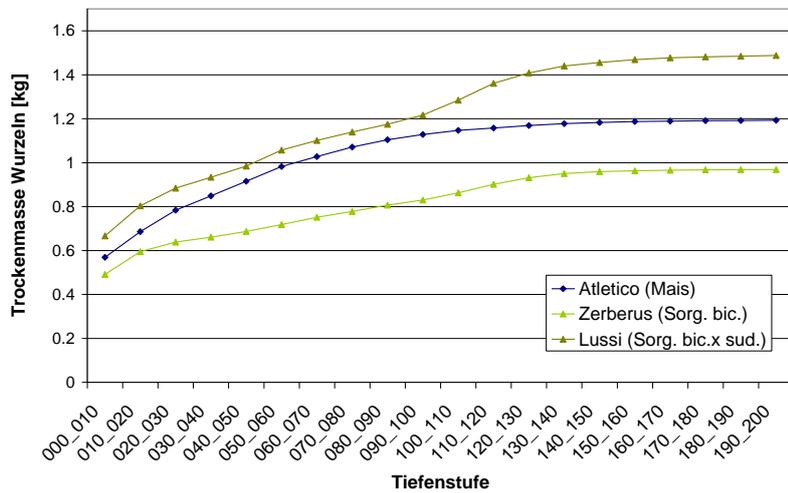
Jahr	Sorte	FM [kg]
2011	Atletico (Mais)	0.54
	LG 32.16 (Mais)	1.23
	Biomass 150 (<i>S. bicolor</i>)	1.15
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	0.39
	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	2.88
	Nutri Honey (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	2.28
2012	Atletico (Mais)	3.45
	LG 32.16 (Mais)	3.62
	Hercules (<i>S. bicolor</i>)	3.56
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	2.58
	KWS Freya (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	3.29
	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	3.99
2013	Atletico (Mais)	2.83
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	2.67
	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	3.41



a) 2011



b) 2012



c) 2013

Abbildung 126: Berechnete Trockenmassensummen für 1 m² für das Bodenprofil 0–200 cm

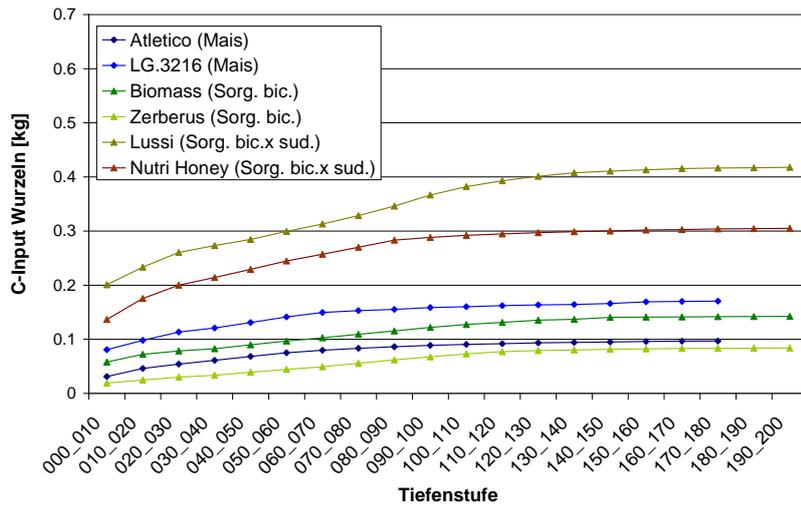
Zur Berechnung des eigentlichen C- und N-Inputs wird der C- und N-Gehalt aller Bestandteile der Ernte- und Wurzelrückstände benötigt. Diese Werte sind in Tabelle 71 aufgeführt. Mit Hilfe der Trockenmasse und dem entsprechendem C- bzw. N-Gehalt der Wurzeln, Stoppeln und Streu wurde der C- und N-Input für den Oberboden (0–30 cm) kalkuliert, der in Tabelle 72 aufgeführt ist. Den höchsten Beitrag mit ca. 70 % an der Humusreproduktion leisten die Wurzelrückstände. Die Stoppeln haben mit ca. 25 % den zweithöchsten Anteil und die Streu trägt zu ca. 5 % zur Humusreproduktion bei. In Abbildung 127 ist der C-Input über das gesamte Bodenprofil dargestellt. Auffallend ist, dass bis zu einer Tiefe von ca. 130 cm ein deutlicher C-Input in den Boden zu verzeichnen ist.

Tabelle 71: Stickstoff (N)-, Kohlenstoffgehalte (C)- und C/N-Verhältnisse von Wurzeln, Stoppeln und Streu

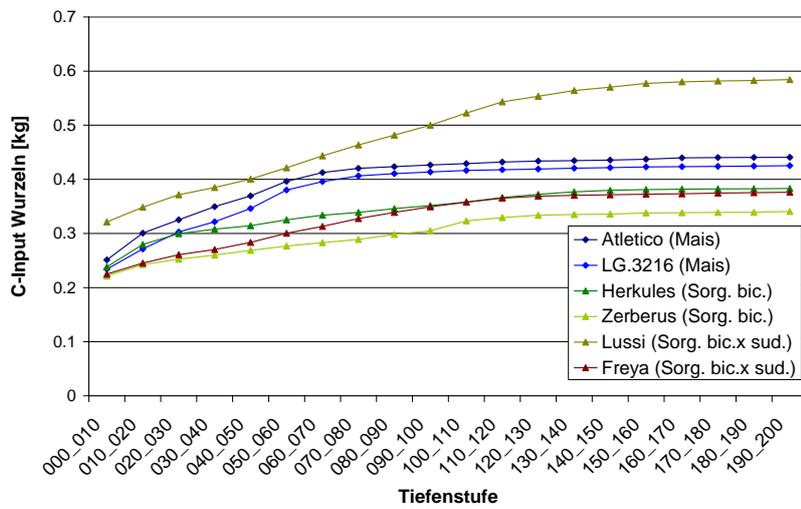
Jahr	Sorte	Art	N [%]	N [%] ^σ	C [%]	C [%] ^σ	C/N	C/N ^σ
2011	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	0.80	0.01	34.91	1.28	43.57	1.53
2011	Nutri Honey (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	0.86	0.10	33.75	3.03	40.32	7.79
2011	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Wurzeln	0.79	0.02	32.07	3.28	40.59	3.22
2011	Biomass 150 (<i>S. bicolor</i>)	Wurzeln	0.83	0.07	28.44	9.07	32.64	9.55
2011	Atletico (Mais)	Wurzeln	1.14	0.01	35.97	1.53	31.69	1.66
2011	LG 32.16 (Mais)	Wurzeln	1.01	0.07	33.39	3.17	33.39	5.36
2012	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	0.86	0.00	35.89	0.00	41.63	0.00
2012	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Wurzeln	0.95	0.03	40.91	0.03	43.06	0.03
2012	KWS Freya (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	0.71	0.02	30.55	0.02	43.14	0.02
2012	Hercules (<i>S. bicolor</i>)	Wurzeln	0.85	0.01	35.21	0.01	41.62	0.01
2012	Atletico (Mais)	Wurzeln	0.78	0.01	34.03	0.01	43.59	0.01
2012	LG 32.16 (Mais)	Wurzeln	0.78	0.01	30.21	0.01	38.70	0.01
2013	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	1.04	0.15	32.42	1.84	31.62	4.26
2013	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Wurzeln	1.07	0.12	35.18	0.06	33.25	4.01
2013	Atletico (Mais)	Wurzeln	0.95	0.17	33.12	2.74	35.61	4.77
2011	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Stoppel	1.38	0.07	41.36	0.24	30.06	1.70
2011	Nutri Honey (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Stoppel	1.77	0.00	38.29	0.97	21.69	0.54
2011	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Stoppel	1.32	0.05	37.98	0.06	28.78	1.10
2011	Biomass 150 (<i>S. bicolor</i>)	Stoppel	1.11	0.05	37.96	0.25	34.17	1.24
2011	Atletico (Mais)	Stoppel	0.34	0.04	39.46	0.21	116.34	13.55
2011	LG 32.16 (Mais)	Stoppel	0.43	0.04	37.17	0.59	86.22	6.37
2012	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Stoppel	1.29	0.04	37.72	0.10	29.19	0.84
2012	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Stoppel	0.83	0.02	38.84	0.01	47.06	1.15
2012	KWS Freya (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Stoppel	1.66	0.01	37.11	0.13	22.39	0.14
2012	Hercules (<i>S. bicolor</i>)	Stoppel	0.84	0.06	37.53	0.26	44.59	3.23
2012	Atletico (Mais)	Stoppel	0.67	0.00	39.27	0.06	58.40	0.51
2012	LG 32.16 (Mais)	Stoppel	0.73	0.01	38.77	0.25	53.41	1.02
2013	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Stoppel	0.61	0.02	34.67	0.21	56.47	2.44
2013	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Stoppel	0.85	0.01	39.42	0.46	46.46	1.30
2013	Atletico (Mais)	Stoppel	0.43	0.01	39.95	0.31	92.26	3.38
2013	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Streu	1.15	0.10	41.16	1.52	36.04	4.19
2013	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Streu	1.28	0.42	38.54	2.14	33.33	10.19
2013	Atletico (Mais)	Streu	1.15	0.14	32.66	1.49	28.67	2.19

Tabelle 72: Quantifizierter C- und N-Input der Ernte- und Wurzelrückstände für 1 m² in den Oberboden (0–30 cm)

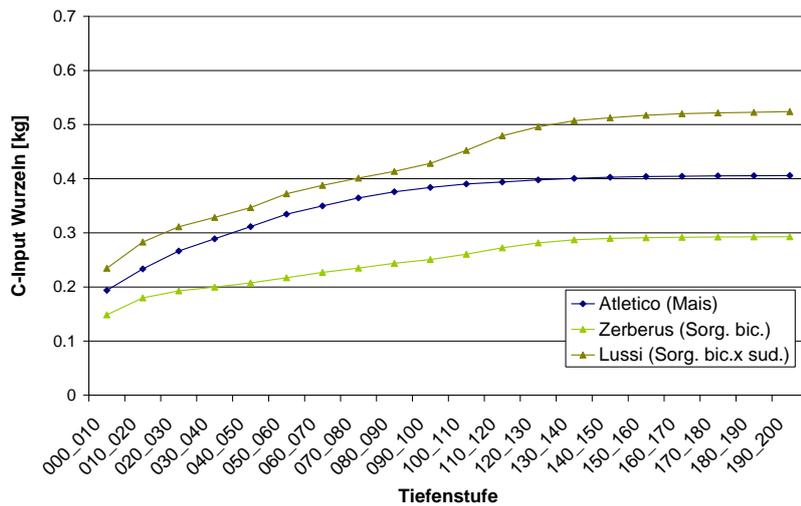
Jahr	Sorte	C-Input	N-Input	C-Input	N-Input	C-Input	N-Input	C-Input	N-Input
		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
		Wurzeln		Stoppeln		Streu		Gesamt o. Streu	
2011	Atletico (Mais)	0.0541	0.0017	0.0358	0.0003			0.0899	0.0020
	LG 32.16 (Mais)	0.1132	0.0034	0.0289	0.0003			0.1421	0.0037
	Biomass150 (<i>S. bicolor</i>)	0.0783	0.0023	0.1659	0.0055			0.2442	0.0078
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	0.0300	0.0007	0.0628	0.0029			0.0928	0.0036
	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.2605	0.0060	0.1118	0.0039			0.3723	0.0099
	Nutri Honey (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.1998	0.0051	0.0572	0.0017			0.2570	0.0068
2012	Atletico (Mais)	0.3249	0.0074	0.0272	0.0005			0.3521	0.0079
	LG 32.16 (Mais)	0.3025	0.0078	0.0203	0.0004			0.3228	0.0082
	Hercules (<i>S. bicolor</i>)	0.2995	0.0072	0.1216	0.0042			0.4211	0.0114
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	0.2523	0.0059	0.0903	0.0040			0.3426	0.0099
	KWS Freya (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.2605	0.0061	0.0530	0.0011			0.3135	0.0072
	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.3713	0.0089	0.0610	0.0014			0.4323	0.0103
								Gesamt mit Streu	
2013	Atletico (Mais)	0.2664	0.0074	0.0119	0.0001	0.0064	0.0002	0.2847	0.0077
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	0.1927	0.0068	0.0906	0.0016	0.0293	0.0010	0.3126	0.0094
	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.3112	0.0092	0.0746	0.0016	0.0145	0.0004	0.4003	0.0112



a) 2011



b) 2012



c) 2013

Abbildung 127: Berechneter C-Input für 1 m² für das Bodenprofil 0–200 cm

In Tabelle 73 sind die Ergebnisse der Stoffanalytik zur Rohzellulose, -hemizellulose, -lignin und Gesamtzuckerwerte dargestellt, die hauptsächlich an Wurzeln und für 2013 auch an Stoppeln bestimmt worden. Der Unterschied zwischen Mais- und Hirsesorten besteht für die Parameter Rohzellulose, -lignin und Zucker. Für die Mais sind die Rohzellulose, -ligninwerte höher und für Zucker niedriger.

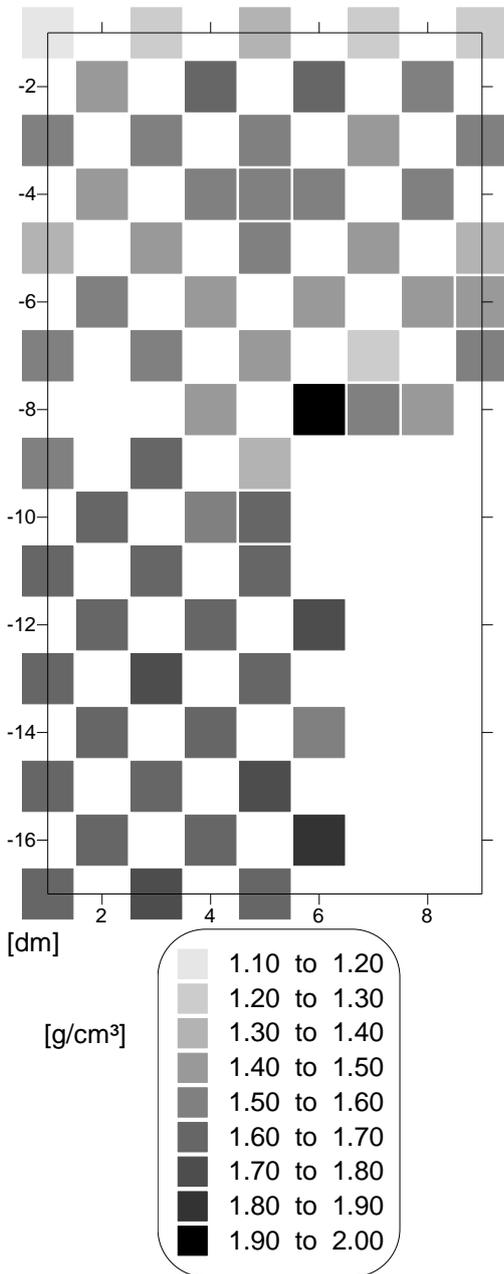
Tabelle 73: Rohzellulose, -hemizellulose, -lignin und Gesamtzuckerwerte an Wurzeln (2011–2013) und Stoppeln (2013)

Jahr	Pflanze	Art	Rohzellulose [g/kgTS]	Rohhemizellulose [g/kgTS]	Rohlignin [g/kgTS]	Gesamtzucker [g/100g]
2011	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	213.2	303.7	114.8	
	Nutri Honey (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	197.4	293.6	109.5	
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Wurzeln	235.0	224.5	158.1	
	Biomass 150 (<i>S. bicolor</i>)	Wurzeln	264.3	286.5	138.5	
	Atletico (Mais)	Wurzeln	279.3		140.6	
	LG 32.16 (Mais)	Wurzeln	258.8		153.8	
	2012	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	322.4	219.6	77.2	0.9
KWS Freya (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)		Wurzeln	306.4	232.3	70.1	2.8
KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)		Wurzeln	276.8	226.6	63.2	4.8
Hercules (<i>S. bicolor</i>)		Wurzeln	278.9	202.4	67.2	1.7
Atletico (Mais)		Wurzeln	374.7	217.3	81.1	<0.5
LG 32.16 (Mais)		Wurzeln	366.5	259.0	79.8	<0.5
2013		Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	279.4	162.1	80.1	3.5
	Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Stoppel	338.2	168.8	96.5	
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Wurzeln	222.5	151.2	60.8	4.1
	KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	Stoppel	286.9	199.4	65.8	
	Atletico (Mais)	Wurzeln	353.7	236.8	91.0	2.3
	Atletico (Mais)	Stoppel	296.3	166.7	70.4	
	MW (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	Wurzeln	263.8	242.3	90.3	2.4
	MW (<i>S. bicolor</i>)	Wurzeln	255.5	218.2	97.6	3.5
	MW (Mais)	Wurzeln	326.6	237.7	109.3	2.3

Dichteverteilung

Die ermittelte Verteilung der Lagerungsdichte (Abbildung 128) am Standort Buttelstedt zeigt eine deutliche Zunahme in tiefere Bodenschichten, wobei ein deutlicher Anstieg ab 1 m zu verzeichnen ist, der auch mit der Abnahme der unterhalb dieser Grenze quantifizierten Wurzelmenngen insbesondere für die Maissorten korreliert.

PN 26.09.2012



PN KWS Zerberus *S. bicolor* (10.10.13)

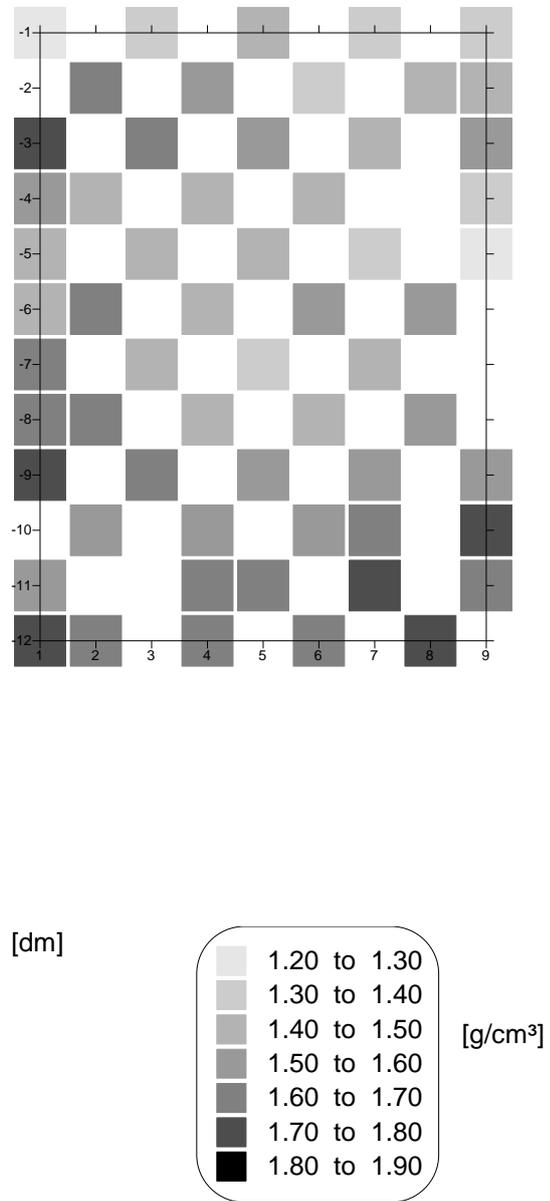


Abbildung 128: Verteilung der Lagerungsdichte in zwei Bodenprofilen

Ergebnisse Inkubationsexperiment

Die Ernte- und Wurzelrückstände werden durch die aktive mikrobielle Biomasse im Boden umgesetzt und damit in organische Bodensubstanz (OBS) überführt. Die Ernte- und Wurzelrückstände von den angebauten Fruchtarten stellen somit eine wesentliche Quelle für den Aufbau des Bodenkohlenstoffs dar. Der dem Boden zugeführte C-Input der Ernte- und Wurzelrückstände wird, bevor der mikrobielle Umsatz im Boden beginnt, als organische Primärschubstanz (OPS) bezeichnet. Diese würde der in Tabelle 18 aufgeführten Gesamtmenge an C-Input entsprechen. Im CANDY-Modell werden alle OPS-Quellen neben der jeweiligen C-Menge durch ein C/N-Verhältnis, einen Abbaukoeffizienten (k) und einen Synthesekoeffizienten (eta) charakterisiert. Der Abbaukoeffizient gibt die Reaktionsgeschwindigkeit des Abbauprozesses an und eta beschreibt, wie viel Kohlenstoff pro Einheit abgebauten OPS-C durch mikrobielle Aktivität in OBS-C umgewandelt wird, wobei der Rest als CO₂ an die Atmosphäre abgegeben wird.

In Tabelle 74 sind die mit einem Inkubationsexperiment ermittelten Abbaukoeffizienten (k) und Synthesekoeffizienten (eta) aufgelistet. Bei gleichem Input an OPS der Wurzeln würden die Maissorten mit einem eta von 0,78 den höchsten Beitrag an OBS-Aufbau leisten. Dabei ist die Umsatzgeschwindigkeit mit einem k von 0,41 deutlich schneller als von den Hirsesorten. Diese tragen mit einem eta von 0,73 zu einem nur etwas niedrigeren Anteil zum OBS-Aufbau teil, der mit einer geringeren Geschwindigkeit von 0,35 für die *S. bicolor* x *S. sudanense* Sorten bzw. 0,27 für die *S. bicolor*-Sorten einhergeht. Diese Ergebnisse deuten auf einen Zusammenhang mit den höheren Gehalten an Rohzellulose und -lignin für die Maissorten gegenüber den Hirsesorten hin.

Tabelle 74: Ermittelte Abbaukoeffizienten (k) und Synthesekoeffizienten (eta) inklusive Standardabweichung (σ) (n = 5)

Sorte	k	σ k	eta	σ eta
Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.38	0.06	0.77	0.02
Nutri Honey (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>)	0.31	0.07	0.70	0.05
KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>)	0.26	0.02	0.74	0.02
Biomass 150 (<i>S. bicolor</i>)	0.27	0.03	0.73	0.03
Atletico (Mais)	0.44	0.02	0.80	0.02
LG 32.16 (Mais)	0.38	0.05	0.76	0.01
MW (Sorg. bic. x S. sud.)	0.35	0.04	0.73	0.03
MW (Sorg. bic.)	0.27	0.00	0.73	0.01
MW (Mais)	0.41	0.03	0.78	0.02

Humusbilanz nach VDLUFA

Als Referenz-Fruchtarten wurde Winterweizen (WW: 85 dt/ha) und Zuckerrübe (ZR: 600 dt/ha) jeweils mit Stallmistdüngung sowie Dauergrünland (800 dt/ha) betrachtet. Die Stallmistparameter für die Modellierung waren:

- TS-Gehalt: 0.27
- C-Gehalt in der TS: 0.36
- Eta: 0.64
- K: 0.06
- VDLUFA-HÄQ: 40 häq/t

In Tabelle 75 sind die verwendeten Modellparameter aufgelistet.

Tabelle 75: Verwendete Modellparameter

Fruchtart	N-Menge in EWR		C/ N Verhältnis	Reproduktion ETA	Stabilität k	VDLUFA HÄQ
	Konstante	Faktor				
Energie-Mais	60.6	0.000	40	0.463	0.4	-140
<i>S. bicolor</i>	93.9	0.000	32	0.535	0.4	+140
<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>	92.3	0.000	39	0.486	0.4	+260
Winterweizen	18.81	0.078	50	0.550	0.1	-280
Zuckerrübe	0.34	0.073	20	0.350	0.4	-760
Grünland	35.31	0.264	35	0.550	0.2	+600

Für die Standortbedingungen in Buttelstedt ergeben die folgenden Kombinationen jeweils das gleiche Fließgleichgewicht von 2.4 % C_{org} bei 30 Jahren Simulationsdauer:

Referenz:

■ ZR + 290 dt STM/ha → -760 häq+1160 häq = 400 häq

■ WW + 175 dt STM/ha → -280 häq+ 700 häq= 420 häq

Unter Berücksichtigung der hohen Unsicherheiten folgt hieraus ein Referenzwert von rund **400 häq**.

Energie-Fruchtarten (EWR-Mengen immer unabhängig vom Ertrag):

■ Energie-Mais (EM)

EM + 135 dt STM/ha → x häq + 540 häq = 400 häq → Humusbedarf: **-140 häq**

■ *S. bicolor* (FH)

FH + 65 dt STM/ha → x häq + 260 häq = 400 häq → Humusgewinn: **+ 140 häq**

■ *S. bicolor* x *S. sudanense* (SD)

SD + 35 dt STM/ha → x häq + 140 häq = 400 häq → Humusgewinn: **+ 260 häq**

Dieser Wert wurde durch eine weitere Referenz zu Dauergrünland bestätigt:

Dauergrünland → Humusgewinn: 600 häq (Gleichgewicht: 2.695 %C_{org})

6.3.4 Wasserhaushalt und Nährstoffauswaschung von Sorghumhirsen im Vergleich zu Mais auf Kippenböden

Sickerwassermenge

Im Jahr 2013 wurden an der ca. 15 km von der Lysimeteranlage Grünwalde entfernten DWD-Station Doberlug-Kirchhain 614,2 mm Niederschlag (langjähriges Mittel: 568,0 mm) registriert, davon entfielen auf die Vegetationszeit (April–Oktober) 417,2 mm (langjähriges Mittel: 372,5 mm). Die Vegetationszeit 2013 war von starken Niederschlagsperioden im Mai/Juni und von Trockenheit im Juli/August geprägt (vgl. Abbildung 129). Die mittlere Lufttemperatur lag an der Wetterstation Grünwalde mit 8,99 °C um 0,17 K und während der Vegetationszeit mit 14,54 °C sogar um 0,72 K höher als im langjährigen Mittel (13,82 °C); vgl. Anhang 86).

Demgegenüber erwies sich das Jahr 2012 mit einer Niederschlagssumme von 630 mm (davon entfielen auf die Vegetationszeit 369 mm) als relativ feuchtes Jahr. Die mittlere Lufttemperatur lag 2012 mit 9,31 °C um 0,49 K und während der Vegetationszeit mit 14,39 °C im Vergleich zum langjährigen Mittel um 0,57 K höher. Im Vergleich dazu wurden im ersten Versuchsjahr 2011 an der meteorologischen Station Grünwalde 548 mm Niederschlag registriert, wovon 440 mm auf die Vegetationszeit entfielen. Die an der meteorologischen Station

Grünwalde registrierte mittlere Lufttemperatur lag 2011 mit 9,84 °C um 1,02 K und während der Vegetationszeit mit 14,99 °C sogar um 1,20 K höher als im langjährigen Mittel (Anhang 86).

Während an den mit tertiärem Kippsubstrat (TKS) befüllten Lysimetern bereits ab Juni 2011 ein entsprechender Sickerwasserabfluss registriert wurde, war das bei den mit quartärem Kippsubstrat (QKS) befüllten Lysimetern nicht der Fall. Hier kam es infolge der vollständigen Neubefüllung zu einer verzögerten Sickerwasserbildung und es konnte erst ab Mitte Januar 2012 Sickerwasserabfluss nachgewiesen werden. Wesentliche Ergebnisse hierzu sind in Abbildung 129 aufgeführt.

In Bezug auf Abbildung 129 ist anzumerken, dass etwa ab April 2013, nachdem der Bodenwasserspeicher aufgefüllt war, in den darauffolgenden Monaten kippsubstrat- und fruchtartunabhängig ähnliche Sequenzen im Sickerwasserabflussverhalten erkennbar sind. Insgesamt gesehen lag die Sickerwassermenge – bezogen auf den Zeitraum 01.06.2011 bis 31.03.2014 – aber bei den mit QKS befüllten Lysimetern (im Mittel: 580,7 mm) höher als bei den mit TKS befüllten Lysimetern (im Mittel: 508,3 mm). Eine detaillierte dekadenweise Darstellung des Sickerwasserabflusses in Bezug auf den Zeitraum 04/2013–03/2014 und des entsprechenden Niederschlages findet sich in Abbildung 130.

Bedingt durch die im Mai/Juni 2013 registrierten Niederschläge und durch den Fakt, dass die Kulturen Mais und Sorghumhirse zu den eher spätentwickelnden Kulturen zählen, fällt bei allen acht Lysimetersäulen auch noch im Juli 2013 eine relativ hohe Sickerwassermenge an (Abbildung 130), was zu diesem Zeitpunkt wiederum auf einen noch geringen pflanzlichen Wasserverbrauch schließen lässt. Erst im August/September zeichnet sich aufgrund des höheren Wasserverbrauches ein sich aufbauendes Bodenwasserdefizit ab (siehe Abbildung 129, Abbildung 130), welches i. d. R. durch Niederschläge in der vegetationslosen Zeit wieder aufgefüllt wird.

Darüber hinaus sind in Tabelle 76 (Bezugszeitraum: 01.04.2012–31.03.2013) und in Tabelle 77 (Bezugszeitraum: 01.04.2013–31.03.2014) neben den an der Messstation Grünwalde registrierten Niederschlagsmengen auch die auf die einzelnen Lysimeter bezogenen Sickerwasserabflussmengen aufgeführt, um den vegetationsbedingten Wasserverbrauch (Differenz) abzuschätzen.

Bezogen auf die Tabelle 76 und Tabelle 77 ist anzumerken, dass unter *Sorghumhirse* im Wesentlichen ein höherer Sickerwasserabfluss anfällt als unter *Mais*. So lag der Sickerwasserabfluss auf den mit TKS befüllten Lysimetern im Zeitraum 04/2012 bis 03/2013 unter *Sorghumhirse* um 6,0 mm (+3,4 %) höher als unter *Mais*. Auch in den darauffolgenden 12 Monaten floss unter *Sorghumhirse* 6,3 mm (+3,4 %) mehr Sickerwasser ab als unter *Mais*. Demgegenüber wurden auf QKS im Untersuchungszeitraum 04/2012 bis 03/2013 unter *Sorghumhirse* 5,9 mm weniger Sickerwasser (-2,8 %) und im Folgejahr 22,1 mm (+10,2 %) mehr Sickerwasser registriert als unter *Mais*. Als Ursache hierfür könnte das Alter der Kippsubstrate, verbunden mit den unterschiedlichen bodenphysikalischen Eigenschaften, genannt werden. So reagiert das relativ junge, erst im Mai 2011 eingebaute QKS hinsichtlich des Wasserhaushaltes noch recht uneinheitlich im Gegensatz zum etablierten TKS, das bereits vor der Verwendung in den Lysimetern mehrere Jahrzehnte einer landwirtschaftlichen Bearbeitung unterlag (vgl. Kapitel 6.2.5).

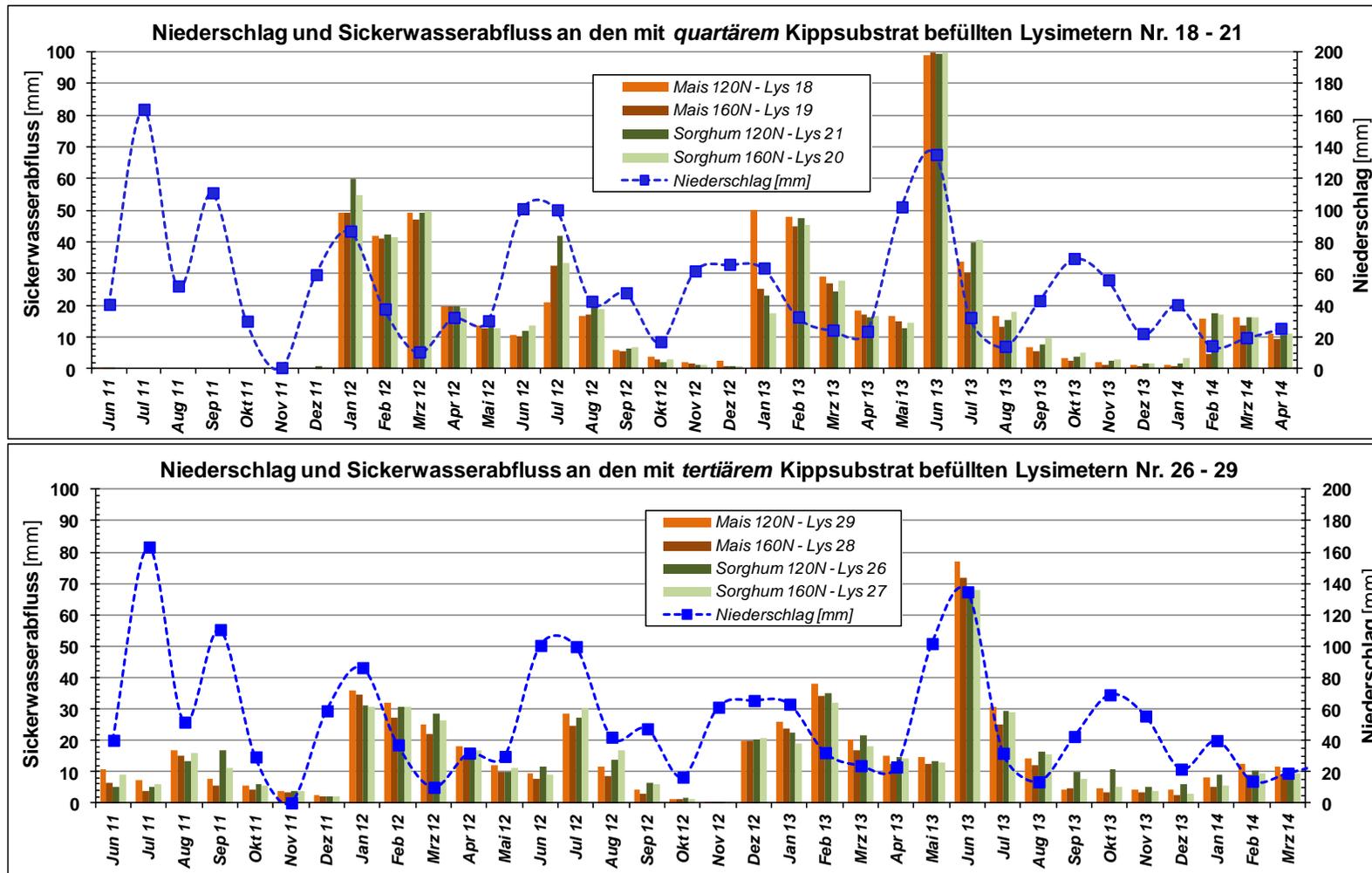


Abbildung 129: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassermengen im Zeitraum Juni 2011–April 2014

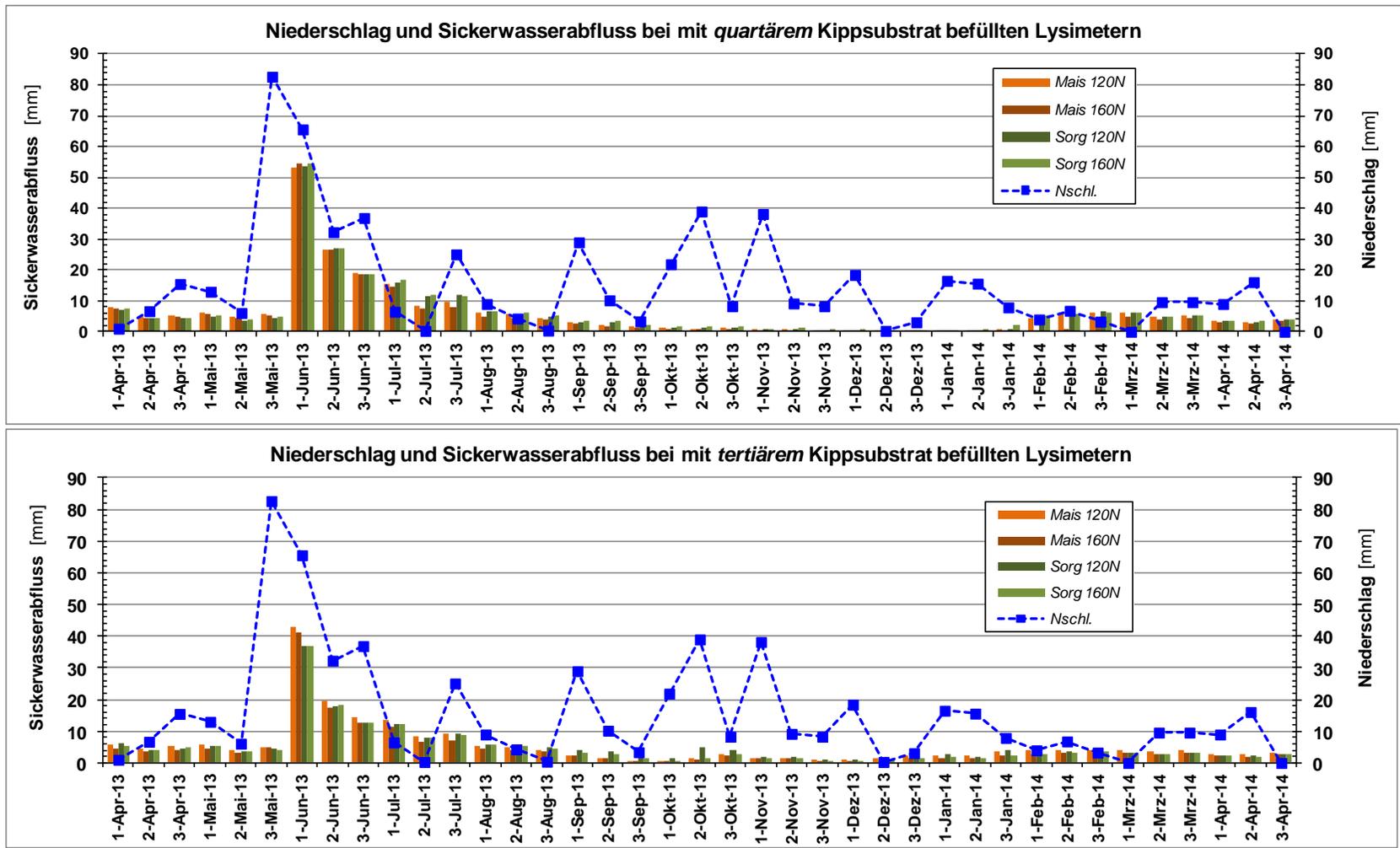


Abbildung 130: Dekadenweise Darstellung der an mit QKS und TKS befüllten Lysimetern registrierten Sickerwassermengen (04/2013–04/2014)

Tabelle 76: Niederschlags- und Sickerwasserabflussmengen im Lysimeterversuch Grünewalde (Zeitraum April 2012–März 2013)

<i>mit Kipp-Kallehmsand (QKS) befüllte Lysimeter (Lys-Nr. 18-21)</i>														
Monat	Apr 12	Mai 12	Jun 12	Jul 12	Aug 12	Sep 12	Okt 12	Nov 12	Dez 12	Jan 13	Feb 13	Mrz 13	04/12-03/13	
Niederschlag [mm]	32,0	29,9	100,6	99,9	42,2	47,5	16,7	61,3	65,5	63,2	32,3	24,0	615,1	
SW-Abfluss [mm]														Differenz [mm]
<i>Mais 120N-Lys 18</i>	19,8	13,6	10,8	21,0	16,5	6,0	3,6	2,0	2,6	50,2	47,9	29,2	223,2	391,9
<i>Mais 160N-Lys 19</i>	19,6	12,6	10,2	32,4	17,0	5,6	2,9	1,5	0,9	25,2	45,0	26,7	199,6	415,5
<i>Hirse 120N-Lys 21</i>	19,8	13,0	12,1	42,1	20,5	6,4	2,0	1,1	0,7	23,1	47,3	24,1	212,0	403,1
<i>Hirse 160N-Lys 20</i>	19,2	12,7	13,6	33,4	18,6	6,7	2,8	1,2	0,6	17,6	45,2	27,6	199,1	416,0
<i>Mittel</i>	19,6	13,0	11,7	32,2	18,1	6,2	2,8	1,5	1,2	29,0	46,3	26,9	208,5	
Input [mm]	32,0	29,9	100,6	99,9	42,2	47,5	16,7	61,3	65,5	63,2	32,3	24,0	615,1	
Output [mm]	19,6	13,0	11,7	32,2	18,1	6,2	2,8	1,5	1,2	29,0	46,3	26,9	208,5	
Differenz [mm]	12,4	16,9	88,9	67,7	24,1	41,3	13,9	59,8	64,3	34,2	-14,0	-2,9	406,6	
<i>mit Kipp-Kohlelehmsand (TKS) befüllte Lysimeter (Lys-Nr. 26-29)</i>														
Monat	Apr 12	Mai 12	Jun 12	Jul 12	Aug 12	Sep 12	Okt 12	Nov 12	Dez 12	Jan 13	Feb 13	Mrz 13	04/12-03/13	
Niederschlag [mm]	32,0	29,9	100,6	99,9	42,2	47,5	16,7	61,3	65,5	63,2	32,3	24,0	615,1	
SW-Abfluss [mm]														Differenz [mm]
<i>Mais 120N-Lys 29</i>	18,0	12,1	9,4	28,7	11,8	4,1	1,2	0,2	19,9	25,9	38,0	20,3	189,3	425,8
<i>Mais 160N-Lys 28</i>	15,1	9,7	7,6	24,4	8,7	3,2	1,2	0,3	19,7	23,8	34,3	16,6	164,6	450,5
<i>Hirse 120N-Lys 26</i>	14,2	10,1	11,8	27,3	13,9	6,4	1,6	0,1	20,2	22,6	35,2	21,5	184,8	430,3
<i>Hirse 160N-Lys 27</i>	16,8	11,1	8,8	30,4	16,9	6,1	1,0	0,0	20,9	18,9	31,8	18,2	181,0	434,1
<i>Mittel</i>	16,0	10,7	9,4	27,7	12,8	4,9	1,3	0,1	20,2	22,8	34,8	19,1	179,9	
Input [mm]	32,0	29,9	100,6	99,9	42,2	47,5	16,7	61,3	65,5	63,2	32,3	24,0	615,1	
Output [mm]	16,0	10,7	9,4	27,7	12,8	4,9	1,3	0,1	20,2	22,8	34,8	19,1	179,9	
Differenz [mm]	16,0	19,2	91,2	72,2	29,4	42,6	15,4	61,2	45,3	40,4	-2,5	4,9	435,2	

Tabelle 77: Niederschlags- und Sickerwasserabflussmengen im Lysimeterversuch Grünewalde (Zeitraum April 2013–März 2014)

<i>mit Kipp-Kalklehmsand (QKS) befüllte Lysimeter (Lys-Nr. 18-21)</i>														
Monat	Apr 13	Mai 13	Jun 13	Jul 13	Aug 13	Sep 13	Okt 13	Nov 13	Dez 13	Jan 14	Feb 14	Mrz 14	04/13-03/14	
Niederschlag [mm]	23,2	101,8	134,8	31,9	13,7	42,6	69,2	55,7	21,8	40,0	14,1	19,2	568,0	
SW-Abfluss [mm]														Differenz [mm]
<i>Mais 120N-Lys 18</i>	18,3	16,7	98,9	33,7	16,4	6,8	3,3	2,0	1,4	1,4	15,7	16,1	230,6	337,4
<i>Mais 160N-Lys 19</i>	16,8	14,8	99,6	30,5	13,3	5,4	2,4	1,4	0,8	0,6	4,6	13,5	203,6	364,4
<i>Hirse 120N-Lys 21</i>	16,0	12,9	99,1	39,6	15,5	7,8	3,7	2,3	1,5	1,7	17,4	16,3	233,8	334,2
<i>Hirse 160N-Lys 20</i>	16,5	14,3	99,9	40,4	17,9	9,6	4,9	2,8	1,8	3,4	17,0	16,3	244,6	323,4
SW-Mittel	16,9	14,7	99,4	36,0	15,8	7,4	3,5	2,1	1,4	1,8	13,7	15,5	228,1	
Input [mm]	23,2	101,8	134,8	31,9	13,7	42,6	69,2	55,7	21,8	40,0	14,1	19,2	568,0	
Output [mm]	16,9	14,7	99,4	36,0	15,8	7,4	3,5	2,1	1,4	1,8	13,7	15,5	228,1	
Differenz [mm]	6,3	87,1	35,4	-4,1	-2,1	35,2	65,7	53,6	20,4	38,2	0,4	3,7	339,9	
<i>mit Kipp-Kohlelehmsand (TKS) befüllte Lysimeter (Lys-Nr. 26-29)</i>														
Monat	Apr 13	Mai 13	Jun 13	Jul 13	Aug 13	Sep 13	Okt 13	Nov 13	Dez 13	Jan 14	Feb 14	Mrz 14	04/13-03/14	
Niederschlag [mm]	23,2	101,8	134,8	31,9	13,7	42,6	69,2	55,7	21,8	40,0	14,1	19,2	568,0	
SW-Abfluss [mm]														Differenz [mm]
<i>Mais 120N-Lys 29</i>	15,3	14,8	77,0	30,7	14,3	4,5	4,6	4,2	4,3	8,3	12,5	11,7	202,1	365,9
<i>Mais 160N-Lys 28</i>	12,3	12,5	71,7	25,0	12,0	4,6	3,3	3,3	2,7	5,1	9,1	9,1	170,7	397,3
<i>Hirse 120N-Lys 26</i>	14,7	13,4	67,6	29,2	16,5	9,9	10,7	5,0	5,9	8,9	10,2	9,5	201,6	366,4
<i>Hirse 160N-Lys 27</i>	14,1	13,0	68,0	29,1	15,5	7,6	5,1	3,8	3,0	5,6	9,6	9,4	183,8	384,2
SW-Mittel	14,1	13,4	71,1	28,5	14,6	6,7	5,9	4,1	4,0	7,0	10,4	9,9	189,6	
Input [mm]	23,2	101,8	134,8	31,9	13,7	42,6	69,2	55,7	21,8	40,0	14,1	19,2	568,0	
Output [mm]	14,1	13,4	71,1	28,5	14,6	6,7	5,9	4,1	4,0	7,0	10,4	9,9	189,6	
Differenz [mm]	9,1	88,4	63,7	3,4	-0,9	35,9	63,3	51,6	17,8	33,0	3,7	9,3	378,4	

SW-Abluss = Sickerwasserabfluss

Wasserverbrauch, abgeleitet aus der Wasserbilanz

Die mit TKS befüllten Lysimeter waren – bezogen auf den Zeitraum 04/2012 bis 03/2013 – durch eine höhere Differenz zwischen Niederschlag und Sickerwassermenge (Wasserverbrauch um 28,6 mm im Mittel höher) gekennzeichnet als die mit QKS befüllten Lysimeter (Tabelle 76). Im darauffolgenden Zeitraum lag die Differenz zwischen Niederschlag und Sickerwassermenge bei den mit TKS befüllten Lysimetern mit 38,6 mm noch höher (Tabelle 77). Dies könnte vor allem in divergierenden bodenphysikalischen Eigenschaften (u. a. unterschiedlicher Tonanteil an der Bodentextur, divergierende Bodenfarbe) beider verwendeten Kippsubstrate begründet sein. Einen detaillierten Einblick in die saisonale Wasserbilanz der untersuchten Energiepflanzen ermöglicht Tabelle 78.

Tabelle 78: Wasserbilanz von Mais und Sorghumhirse während der Vegetationszeit 2013

<i>Mais</i>	<i>Lysimeter mit QKS befüllt</i>			<i>Lysimeter mit TKS befüllt</i>		
	Σ Jan-Dez	Saison*	außerhalb Saison	Σ Jan-Dez	Saison*	außerhalb Saison
Nschl. [mm]	614,2	329,3	284,9	614,2	329,3	284,9
<i>SWA Mais – 120N</i>	324,7	172,7	152,0	253,7	142,7	111,0
<i>SWA Mais – 160N</i>	281,9	164,2	117,6	222,1	126,6	95,6
SWA-Mittel [mm]	303,3	168,5	134,8	237,9	134,6	103,3
Input [mm]	614,2	329,3	284,9	614,2	329,3	284,9
Output [mm]	303,3	168,5	134,8	237,9	134,6	103,3
Differenz [mm]	310,9	160,8	150,1	376,3	194,7	181,6

<i>Sorghum</i>	<i>Lysimeter mit QKS befüllt</i>			<i>Lysimeter mit TKS befüllt</i>		
	Σ Jan-Dez	Saison [#]	außerhalb Saison	Σ Jan-Dez	Saison [#]	außerhalb Saison
Nschl. [mm]	614,2	310,6	303,6	614,2	310,6	303,6
<i>SWA Hirse – 120N</i>	292,8	168,6	124,2	252,3	129,9	122,4
<i>SWA Hirse – 160N</i>	298,2	175,2	123,0	228,2	126,8	101,3
SWA-Mittel [mm]	295,5	171,9	123,6	240,3	128,4	111,9
Input [mm]	614,2	310,6	303,6	614,2	310,6	303,6
Output [mm]	295,5	171,9	123,6	240,3	128,4	111,9
Differenz [mm]	318,7	138,7	180,0	374,0	182,3	191,7

SWA = Sickerwasserabfluss [mm]

*) Standzeit Mais auf den Lysimetern: 26.04.–16.09.13 (144 Tage)

#) Standzeit Sorghum auf den Lysimetern: 14.05.–27.09.13 (137 Tage)

Bezüglich der Wasserbilanz 2013 ist anzumerken, dass am 16.09.13 zur Ernte des Maises mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Bodenfeuchtedefizit im Ergebnis vorangegangener Verdunstung bzw. negativer Wasserbilanz bestand. Die nachfolgenden Monatswerte des Niederschlages und des Sickerwasserabflusses bestätigen dies. So lag zwischen Oktober 2013 und Januar 2014 die registrierte Niederschlagsmenge deutlich höher als die Sickerwassermenge, letztere nimmt sogar bis Dezember 2013 ab. Erst ab Februar 2014 steigt sie an, was darauf hinweist, dass der Bodenwasserspeicher beginnt, Feldkapazität zu erreichen. Ende März 2014 könnte dies der Fall sein, denn Niederschlags- und Sickerwassermenge sind zumindest bezüglich der mit QKS befüllten Lysimeter in etwa gleich groß. Die Differenz vom 1. April bis 31. März des Folgejahres (Tabelle 76,

Tabelle 77) kommt deshalb dem Verdunstungswert des Pflanzenbewuchses näher. Allerdings ist in diesem Wert auch die Verdunstung des baren Bodens nach Ernte bis 31. März mit enthalten.

Anhand von Tabelle 78 wird deutlich, dass während der Vegetationszeit 2013, die von hohen Niederschlägen im Mai/Juni und Wassermangelsituationen im Juli/August gleichermaßen geprägt war, auf den mit *Sorghum* bestellten Lysimetern im Vergleich zu *Mais* eine geringere Differenz zwischen Input und Output und damit verbunden ein verminderter Wasserverbrauch ermittelt wurde. So lag der Wasserverbrauch bei *Sorghum* im Vergleich zu *Mais* auf den mit QKS befüllten Lysimetern um 16,0 % niedriger (absolut -22,1 mm) und auf den mit TKS befüllten Lysimetern um 6,8 % geringer (absolut -12,4 mm). Im Gegensatz hierzu wurde für die Vegetationszeit 2012, die durch ein relativ ausgeglichenes Niederschlagsdargebot über die gesamte Saison hinweg gekennzeichnet war, ein Mehrverbrauch an Wasser bei *Sorghum* im Vergleich zu *Mais* ermittelt. Dieser Mehrverbrauch lag bezüglich der mit QKS befüllten Lysimeter um 10,5 % höher (absolut +24,0 mm) und bei den mit TKS befüllten Lysimetern um 11,9 % höher (absolut +29,0 mm). Allerdings ist hierbei kritisch anzumerken, dass bei der Berechnung der Differenz zwischen In- und Output über zu kurze Zeiträume hinweg die Bodenfeuchteausschöpfung unberücksichtigt gelassen wird.

Darüber hinaus muss an dieser Stelle einschränkend darauf hingewiesen werden, dass die Sickerwasserbildung aus sich teilweise überlagernden Teilprozessen wie Aufbau und Abfluss von Sickerwasser sowie Bodenwasserentzug besteht und somit generell ein hochkomplexes Geschehen beinhaltet. So wird der Sickerwasserbildungsprozess besonders während der Hauptwachstumsphase der Feldkulturen durch vegetationsbedingten Bodenwasserentzug temporär unterbrochen und setzt mitunter auch nach ergiebigen Niederschlägen erst – mit einer gewissen Verzögerung – wieder ein. Darüber hinaus ist das am Standort Grünewalde etablierte Lysimetersystem noch recht „jung“ und es bedarf weitergehender Untersuchungen, sodass vorerst nur eine eingeschränkte Auswertung möglich und sinnvoll ist.

Sickerwasserqualität

Im Weiteren soll näher auf die im Sickerwasser insbesondere während der Versuchsjahre 2012 und 2013 auftretenden Stoffkonzentrationen von NPK-Komponenten eingegangen werden; entsprechende Angaben hierzu sind in Tabelle 79 und Tabelle 80 enthalten.

Tabelle 79: Qualität von Niederschlagswasser und Sickerwässern der mit Kipp-Kalklehmsand (QKS) befüllten Lysimeter – Vergleich der Vegetationszeiten 2012 und 2013

		pH	elektr. LF [mS/cm]	NO ₃ [mg/l]	NH ₄ [mg/l]	o-PO ₄ [mg/l]	K [mg/l]
Sickerwasser Lysimeter <i>Hirse</i>	05-09/2012	7,5	0,72	61,51	0,06	0,04	1,82
	05-09/2013	7,5	0,71	38,09	0,03	0,02	1,99
Sickerwasser Lysimeter <i>Mais</i>	05-09/2012	7,5	0,68	95,61	0,06	0,02	1,59
	05-09/2013	7,4	0,76	31,78	0,03	0,03	2,02
Niederschlag	05-09/2012	6,3	0,04	7,09	2,61	1,27	1,16
	05-09/2013	5,0	0,02	3,68	0,61	0,03	0,15

Tabelle 80: Qualität von Niederschlagswasser und Sickerwässern der mit Kipp-Kohlelehmsand (TKS) befüllten Lysimeter – Vergleich der Vegetationszeiten 2012 und 2013

		pH	elektr. LF [mS/cm]	NO ₃ [mg/l]	NH ₄ [mg/l]	o-PO ₄ [mg/l]	K [mg/l]
Sickerwasser Lysimeter <i>Hirse</i>	05-09/2012	3,1	3,38	3,15	8,69	0,06	18,32
	05-09/2013	3,1	3,40	11,24	10,39	0,06	21,49
Sickerwasser Lysimeter <i>Mais</i>	05-09/2012	3,2	3,48	4,14	11,59	0,07	4,71
	05-09/2013	3,2	3,38	19,68	13,93	0,06	4,87
Niederschlag	05-09/2012	6,3	0,04	7,09	2,61	1,27	1,16
	05-09/2013	5,0	0,02	3,68	0,61	0,03	0,15

Sickerwasser, das aus den mit QKS befüllten Lysimetern austritt, liegt hinsichtlich des pH-Wertes im sehr schwach alkalischen Bereich und weist hohe Nitratgehalte auf (Tabelle 79).

Im Gegensatz dazu sind die analysierten Sickerwässer der mit TKS befüllten Lysimeter durch extrem saure pH-Werte gekennzeichnet (Tabelle 80). Unabhängig von der angebauten Feldfrucht wurden in den Sickerwässern aller Lysimeter mit tertiärem Kippsubstrat hohe Ammoniumgehalte und hohe Kaliumkonzentrationen nachgewiesen. Hohe NH₄-Konzentrationen liegen systemimmanent im verwendeten Kipp-Kohlelehmsand vor und können durch den in das Substrat eindringenden Niederschlag in z. T. hohen Konzentrationen ausgewaschen werden. GAST et al. (2002) und HAUBOLD-ROSAR et al. (2001) berichten über ähnlich hohe NH₄-Gehalte in Sickerwässern von Lysimetern, die mit tertiärem Kippsubstrat (Kipp-Kohlelehmsand, oj-(x)ls) befüllt waren.

Im Weiteren soll detailliert auf die Entwicklung der Nitrat- bzw. Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der entsprechenden Lysimeter, in Abhängigkeit von verwendetem Kippsubstrat und angebauter Feldfrucht, eingegangen werden. Dazu sind in Abbildung 131 die entsprechenden NO₃-Konzentrationen und in Abbildung 132 die diesbezüglichen NH₄-Gehalte der Sickerwässer sowie die im Niederschlagswasser (Bulk-Deposition) analysierten N-Komponenten für den Zeitraum Januar 2012–April 2014 dargestellt.

Hinsichtlich der bereits erwähnten hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser der mit QKS befüllten Lysimeter (siehe Abbildung 131) ist die Beeinflussung der Düngemenge ersichtlich. So weisen jeweils die mit 160 kg N/ha gedüngten Lysimeterböden höhere Nitratgehalte im Sickerwasser auf als die mit 120 kg N/ha gedüngten. Hierbei ist anzumerken, dass dieser Effekt bei *Mais* deutlicher zutage tritt als bei *Sorghum*.

Allerdings wird der Düngeeinfluss bei den mit QKS befüllten Lysimetern im zweiten und auch dritten Wirtschaftsjahr vermutlich noch stark durch N-Mineralisierungsprozesse infolge der Neubefüllung überprägt. In Bezug auf die Ammoniumkonzentrationen im Sickerwasser ergibt sich ein gegensätzliches Bild: Hier liegen die analysierten NH₄-Konzentrationen im Sickerwasser der mit TKS befüllten Lysimeter auf einem wesentlich höheren Niveau als bei den mit QKS befüllten Lysimetern (Abbildung 132). Darüber hinaus konnte auch hier insbesondere für *Mais* ein klarer Düngeeinfluss nachgewiesen werden, d. h. die mit 160 kg N/ha gedüngten Lysimeterböden sind im Mittel durch eine höhere Ammoniumkonzentration im Sickerwasser gekennzeichnet als die mit 120 kg N/ha gedüngten Lysimeterböden.

NO₃-Gehalte im Sickerwasser der mit *Mais* und *Sorghum* bestellten Lysimeter (Jan 2012-April 2013)

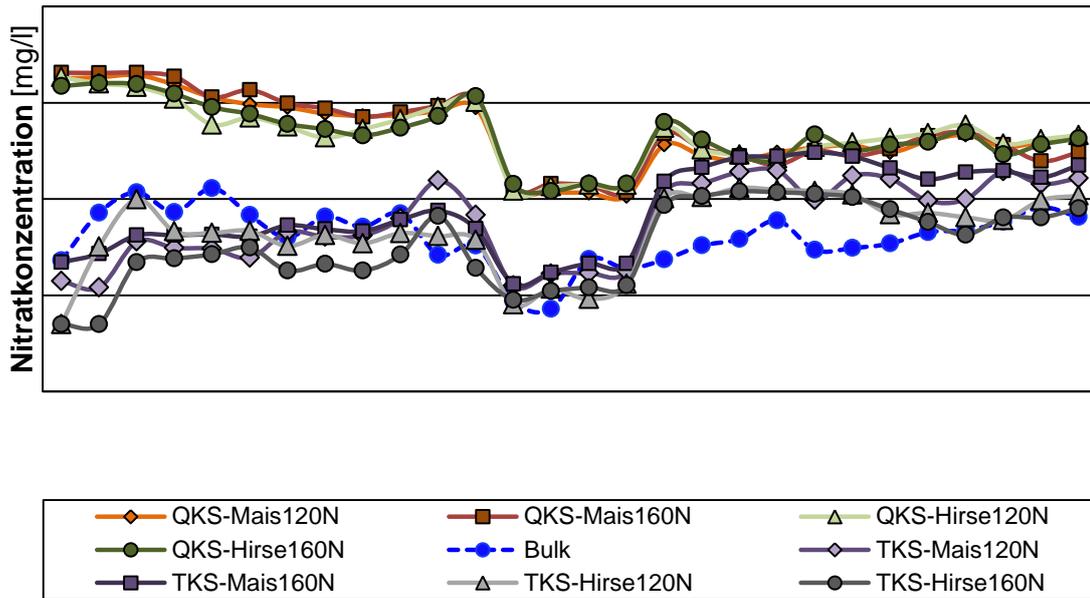


Abbildung 131: Nitratkonzentration im Sickerwasser der mit unterschiedlichen Kippsubstraten befüllten Lysimeter und Nitratgehalte im Niederschlagswasser – Lysimeterstation Grünewalde (01/2012–04/2014)

NH₄-Gehalte im Sickerwasser der mit *Mais* und *Sorghum* bestellten Lysimeter (Jan 2012-Apr 2014)

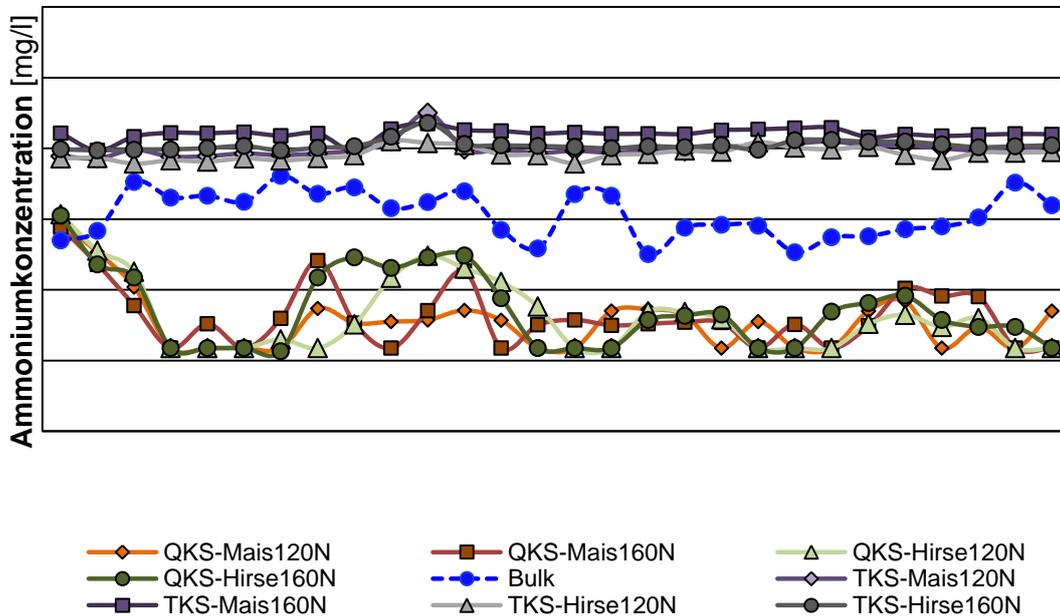


Abbildung 132: Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der mit unterschiedlichen Kippsubstraten befüllten Lysimeter und Ammoniumgehalte im Niederschlagswasser – Lysimeterstation Grünewalde (01/2012–04/2014)

Im Folgenden soll auf den Austrag von N-Komponenten aus den Lysimeterböden in Abhängigkeit von verwendetem Kippsubstrat und der angebauten Feldfrucht eingegangen werden. Dabei wurde der N-Austrag auf das entsprechende hydrologische Jahr (01.11.2011–31.10.2012 bzw. 01.11.2012–31.10.2013) bezogen, um einen standardisierten Zeitbezug zu gewährleisten; entsprechende Angaben hierzu sind in Tabelle 81 und Tabelle 82 aufgeführt.

Bezug nehmend auf Tabelle 82 kann konstatiert werden, dass die mit quartärem Kippsubstrat befüllten Lysimeter (im Mittel: 16,9 kg/ha) etwas geringere N-Austragsraten aufweisen als die mit tertiärem Kippsubstrat befüllten Lysimeter (im Mittel: 27,5 kg/ha). Im Vergleich zum Vorjahreszeitraum (01.11.11–31.10.12) (Tabelle 81) haben sich hier die Relationen beträchtlich verschoben. So lagen die N-Austragsraten bei den mit QKS befüllten Lysimetern damals mit durchschnittlich 78,7 kg N/ha im Gegensatz zu den mit TKS befüllten noch mehr als fünffach so hoch (vgl. LANGE 2013).

Des weiteren lag der Austrag von Stickstoffkomponenten in Abhängigkeit vom Kippsubstrat im Zeitraum 01.01.12–31.10.13 auf QKS bei den mit *Sorghum* bestellten Lysimetern (N-Austrag: 18,2 kg/ha) um ca. 16 % höher als bei den mit *Mais* bestellten Lysimetern (N-Austrag: 15,7 kg/ha) und auf TKS um ca. 27 % geringer (N-Austrag unter *Sorghum* 23,2 kg/ha und unter *Mais* 31,8 kg/ha) (Tabelle 82). Im Gegensatz dazu wurde im Vorjahreszeitraum (Tabelle 81) noch – unabhängig vom Kippsubstrat – bei den mit *Sorghum* bestellten Lysimetern ein um ca. 17 % verringerter N-Austrag registriert als bei den mit *Mais* bestellten Lysimetern.

Tabelle 81: N-Austrag (kg/ha) durch Sickerwasserabfluss bei mit unterschiedlichen Kippsubstraten befüllten Lysimetern – Lysimeterversuch Grünwalde 01.11.11–31.10.12

	Lysimeter mit quartärem Kippsubstrat				Lysimeter mit tertiärem Kippsubstrat			
	Mais 120 N	Mais 160 N	Hirse 160 N	Hirse 120 N	Mais 120 N	Mais 160 N	Hirse 160 N	Hirse 120 N
Nov 11					0,29	0,50	0,34	0,30
Dez 11					0,17	0,34	0,21	0,19
Jan 12	20,23	23,13	18,90	25,49	2,30	4,59	2,35	1,77
Feb 12	17,56	18,96	14,93	15,18	1,86	2,13	2,27	1,96
Mrz 12	21,50	21,71	17,51	16,33	2,08	2,74	2,11	1,97
Apr 12	6,88	8,27	5,37	4,91	1,20	2,09	1,35	0,89
Mai 12	3,49	3,24	2,59	1,74	0,81	1,34	0,94	0,61
Jun 12	2,36	3,13	2,34	1,91	0,67	1,07	0,80	0,79
Jul 12	4,24	7,22	4,54	5,35	2,08	3,15	2,33	1,64
Aug 12	2,88	3,39	2,24	2,01	0,88	1,20	1,42	0,92
Sep 12	0,99	0,90	0,71	0,77	0,33	0,26	0,53	0,45
Okt 12	0,61	0,53	0,35	0,31	0,13	0,19	0,12	0,18
Summe	80,75	90,48	69,48	73,99	12,81	19,58	14,77	11,67
Mittel	Mais:	85,61	Hirse:	71,73	Mais:	16,20	Hirse:	13,22
[%]		100,00		83,79		100,00		81,60

Tabelle 82: N-Austrag (kg/ha) durch Sickerwasserabfluss bei mit unterschiedlichen Kippsubstraten befüllten Lysimetern – Lysimeterversuch Grünwalde 01.11.12–31.10.13

	Lysimeter mit quartärem Kippsubstrat				Lysimeter mit tertiärem Kippsubstrat			
	Mais 120 N	Mais 160 N	Hirse 160 N	Hirse 120 N	Mais 120 N	Mais 160 N	Hirse 160 N	Hirse 120 N
Nov 12	0,37	0,32	0,20	0,22	0,04	0,07	0,00	0,01
Dez 12	0,51	0,22	0,17	0,16	1,79	3,00	1,96	1,92
Jan 13	1,50	0,75	0,58	0,66	2,01	3,32	1,65	1,48
Feb 13	1,28	1,48	1,24	1,46	2,68	4,46	2,76	2,29
Mrz 13	0,76	0,85	0,90	0,77	1,53	2,25	1,53	1,07
Apr 13	0,45	0,45	0,53	0,51	1,09	1,59	1,14	0,96
Mai 13	1,39	1,60	2,04	1,61	1,47	2,00	1,34	1,18
Jun 13	6,35	7,54	9,36	7,33	7,95	12,32	7,15	6,50
Jul 13	1,91	1,93	2,56	2,58	3,84	5,04	3,28	2,90
Aug 13	1,13	0,68	1,01	0,92	1,82	2,48	1,57	2,03
Sep 13	0,52	0,39	1,01	0,61	0,50	1,02	0,96	1,06
Okt 13	0,27	0,15	0,35	0,32	0,63	0,71	0,64	1,07
Summe	15,56	15,81	19,58	16,76	25,34	38,27	23,99	22,46
Mittel	Mais:	15,69	Hirse:	18,17	Mais:	31,81	Hirse:	23,23
[%]		100,00		115,83		100,00		73,02

Wird insgesamt gesehen ein zweijähriger Zeitraum (01.11.11–31.10.13), der etwa zwei Drittel der gesamten Projektzeit widerspiegelt, zugrunde gelegt, ergibt sich – unabhängig vom Kippsubstrat – wieder ein verminderter N-Austrag unter Sorghumhirse im Vergleich zu Mais. So war auf QKS der N-Austrag unter Sorghum im Vergleich zu Mais um 11,7 kg/ha (-11,5 %) und auf TKS um 11,6 kg/ha (-24,1 %) vermindert. Daher wird deutlich, dass die angebaute Fruchtart einen wesentlichen Einfluss auf den Austrag an Gesamtstickstoff ausübt. Dabei ist anzumerken, dass – bezogen auf den Zeitraum 01.11.11 bis 31.10.13 – auf QKS unter Sorghumhirse im Vergleich zu Mais eine um 4,1 % höhere Sickerwassermenge und auf TKS eine um 3,5 % verminderte Sickerwassermenge registriert wurde. Somit ist der unter Mais im Vergleich zu Sorghumhirse ermittelte höhere N-Austrag in dem genannten Zeitraum offensichtlich von der entsprechenden Fruchtart abhängig und ergibt sich nicht per se durch eine erhöhte Sickerwassermenge. Über höhere N-Austragsraten bei Mais im Vergleich zu Sorghumhirse berichten auch WAGNER & KNOBLAUCH (2011). Letztgenannte Autoren konnten mit Hilfe von Kleinlysimeterversuchen nachweisen, dass auf Löss- bzw. Sandböden wachsender Mais höhere N-Austragsraten zeigt als Sorghumhirse.

Nährelementgehalte im Pflanzenmaterial

Von dem im Herbst 2013 anfallenden Erntegut wurden Pflanzenproben entsprechend der Versuchsvarianten entnommen, getrocknet, im Labor der TLL aufbereitet und hinsichtlich wichtiger Nährelemente analysiert. Tabelle 83 gibt einen Überblick der Analyseergebnisse.

Anhand von Tabelle 83 wird u. a. deutlich, dass – wie schon für den Austrag von Stickstoffkomponenten über den Sickerwasserabfluss gezeigt – wieder ein deutlicher Düngeneffekt nachweisbar ist. So wurden unabhängig von verwendetem Kippsubstrat und Fruchtart im untersuchten Pflanzenmaterial der Düngewariante 160 kg N/ha generell höhere N_{ges} -Gehalte als im Pflanzenmaterial der Düngewariante 120 kg N/ha nachgewiesen. Darüber hinaus war das geerntete Pflanzenmaterial der Sorghumhirsens insgesamt gesehen durch diesbezüglich höhere N_{ges} -, P-, K- und Mg-Gehalte im Vergleich zu Mais gekennzeichnet. So lagen insbesondere auf QKS bei Hirse im Vergleich zu Mais die N_{ges} -Gehalte um 42,6 %, die P-Gehalte um 46,6 %, die K-Gehalte um 43,9 % und die Mg-Gehalte um 9,4 % höher. Somit ist beim Anbau von Sorghumhirsens auf Kippsubstraten im Vergleich zum Maisanbau generell auch mit höheren Entzügen der Makronährstoffe NPK zu rechnen.

Tabelle 83: Nährelementgehalte im Erntegut von *Mais* und *Sorghumhirse* – Lysimeterversuch 2013

	Einheit	Lysimeter mit QKS befüllt				Lysimeter mit TKS befüllt			
		<i>Mais</i> 120N	<i>Mais</i> 160N	<i>Hirse</i> 160N	<i>Hirse</i> 120N	<i>Mais</i> 120N	<i>Mais</i> 160N	<i>Hirse</i> 160N	<i>Hirse</i> 120N
N_{ges}	% der TM	0,55	0,60	0,91	0,73	0,66	0,80	0,95	0,91
Ca (RFA)	% der TM	0,33	0,49	0,47	0,41	0,27	0,28	0,30	0,29
P (RFA)	% der TM	0,11	0,10	0,16	0,15	0,09	0,08	0,11	0,09
Na (RFA)	mg/kg TM	35,20	<35,0	<35,0	<35,0	<35,0	<35,0	<35,0	<35,0
Mg (RFA)	% der TM	0,20	0,21	0,25	0,19	0,25	0,26	0,29	0,25
K (RFA)	% der TM	0,87	0,82	1,26	1,17	1,00	1,01	1,11	1,25
Cu (RFA)	mg/kg TM	2,91	2,46	3,16	3,06	2,86	2,51	4,60	4,59
Mn (RFA)	mg/kg TM	36,40	53,70	38,00	37,50	19,10	19,80	18,80	19,10
Zn (RFA)	mg/kg TM	8,60	8,90	15,40	14,60	25,60	22,00	34,70	46,30
Fe (RFA)	mg/kg TM	174,00	86,20	89,40	85,50	95,60	99,20	99,00	101,00
S (RFA)	% der TM	0,05	0,05	0,08	0,07	0,07	0,08	0,11	0,11

Trockensubstanzgehalt und Trockenmasseertrag von *Mais* und *Sorghumhirse*

Der Mais (Sorte: Atletico) wurde am 26.04.13 ausgesät und am 14.05.13 erfolgte die Aussaat der Sorghumhirse (Sorte: Zerberus). Nach 20 Wochen Standzeit wurden der Mais am 16.09. und die Energiehirse nach 19 Wochen Standzeit am 27.09.13 geerntet. Weitere Informationen insbesondere zu phänologischen Daten und zu den Ergebnissen der BBCH-Bonitur etc. finden sich im Anhang 87 bis Anhang 89.

Sowohl die nach der Ernte der Energiepflanzen im Herbst 2013 ermittelten Trockensubstanzgehalte (TS) als auch die daraus resultierenden Trockenmasseerträge lagen insbesondere bei Sorghum auf wesentlich niedrigerem Niveau als in den vorangegangenen Versuchsjahren; in Tabelle 84 sind entsprechende Angaben enthalten.

Tabelle 84: Trockensubstanzgehalte [%] und Trockenmasseerträge [dt/ha] von *Mais* und *Sorghumhirse* nach Anbau auf mit quartärem bzw. tertiärem Kippsubstrat befüllten Lysimetern

Kipp-substrat	Versuchs-variante	2011		2012		2013		Mittel (2011-2013)	
		TS* [%]	TM [dt/ha]	TS* [%]	TM [dt/ha]	TS* [%]	TM [dt/ha]	TS* [%]	TM Ertrag [dt/ha]
QKS	Mais-120N	29,3	159	33,2	192	29,1	119	30,5	157
QKS	Mais-160N	28,7	179	33,8	222	31,7	108	31,4	170
QKS	Hirse-160N	28,7	200	30,0	177	22,7	104	27,1	160
QKS	Hirse-120N	27,7	184	29,5	173	24,5	107	27,2	154
TKS	Mais-120N	27,7	250	31,8	204	29,9	120	29,8	191
TKS	Mais-160N	27,9	239	33,8	231	29,3	122	30,3	197
TKS	Hirse-160N	27,5	214	29,8	203	23,7	124	27,0	180
TKS	Hirse-120N	26,5	185	28,2	178	22,6	101	25,8	155

Als Ursache für die verminderten Trockensubstanzgehalte als auch wesentlich verringerten Trockenmasseerträge des Versuchsjahres 2013 im Vergleich mit den Vorjahren (Tabelle 84) ist vor allem der Witterungsverlauf anzusehen (verzögerter Feldaufgang aufgrund des kühlen Frühjahrs; hohe Niederschlagsintensität im Frühsommer, gefolgt von Trockenheiten im Juli/August).

Unter Einbeziehung der entsprechenden Kippsubstrate ergibt sich im Mittel der drei Versuchsjahre die nachstehende Rangfolge für die Trockensubstanzgehalte (%):

Mais (oj-(c)ls) 31,0 % > Mais (oj-xls) 30,1 % > Hirse (oj-(c)ls) 27,2 % > Hirse (oj-xls) 26,4 %

Somit liegen die TS-Gehalte für *Mais* erwartungsgemäß höher als die der *Hirse*; auf den mit QKS (oj-(c)ls) befüllten Lysimetern waren die TS-Gehalte von *Mais* und *Sorghumhirse* gering höher als auf dem verwendeten tertiären Kippsubstrat (oj-xls).

Analog ergibt sich unter Berücksichtigung des eingesetzten Kippsubstrates folgendes Ranking für die gemittelten Trockenmasseerträge (dt/ha):

Mais (oj-xls) 194 > Hirse (oj-xls) 190 > Mais (oj-(c)ls) 163 > Hirse (oj-(c)ls) 157

Demnach wurden auf dem in den Lysimetern 26–29 verwendeten Kippsubstrat Kipp-Kohlelehmsand (TKS) sowohl in Bezug auf *Mais* als auch auf *Sorghumhirse* im Mittel der drei Versuchsjahre höhere TM-Erträge erzielt als auf dem Kipp-Kalklehmsand (QKS), siehe Tabelle 84.

Werden die Ernteerträge aus dem Lysimeterversuch mit den Ernteerträgen aus den entsprechenden Praxiserhebungen verglichen (vgl. MÄRTIN & BARTHELMES 2014), so wird ein deutlich höheres Ertragsniveau der auf Lysimetern – unter idealen Bedingungen – wachsenden Kulturpflanzen deutlich.

Weiterhin besteht ein klarer Zusammenhang zwischen Höhe der Düngergabe und Ertrag. So weisen beide hier untersuchten Feldkulturen, kippsubstratunabhängig, bei einer Düngergabe von 160 kg N/ha auch einen diesbezüglich höheren Ernteertrag auf als bei einer Düngergabe von 120 kg N/ha; ein diesbezügliches Maximum ergab sich für Hirse auf TKS (Mehrertrag: 25,5 dt/ha, das entspricht +16,46 %). Allerdings ist zu beachten, dass diese Ergebnisse zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht verallgemeinert werden sollten, weil erst Informationen von drei Vegetationsperioden vorliegen und zukünftig noch weiterer Forschungsbedarf besteht.

Abschätzung der Wassernutzungseffizienz von Sorghumhirse im Vergleich zu Mais

Unter Berücksichtigung des saisonalen Wasserverbrauchs und des jeweiligen Trockenmasseertrages der untersuchten Energiepflanzen kann die Wassernutzungseffizienz (WNE) abgeschätzt werden. Dies dient u. a. dazu, um weitere Erkenntnisse zur Optimierung des Wasserbedarfs insbesondere während Trockenheiten zu gewinnen und so die Betriebsökonomie zu verbessern.

In Tabelle 85 sind entsprechende Angaben zur saisonalen Wasserbilanz (vgl. Tabelle 78) und zum Trockenmasseertrag der auf mit unterschiedlichen Kippsubstraten befüllten Lysimeter angebauten Energiepflanzen enthalten. Zu beachten ist, dass der Wasserverbrauch nicht wie üblich durch Wägung ermittelt, sondern durch Abschätzung über die Wasserbilanz während der Saison errechnet wurde.

Im Vergleich der Versuchsjahre 2012 und 2013 kann festgestellt werden (siehe Tabelle 85), dass bei besserem Wasserangebot während der Wachstumsperiode, wie für das Versuchsjahr 2012 belegt, Hirse gegenüber Mais eine geringere Wassernutzungseffizienz aufweist. So mussten unabhängig vom Kippsubstrat während der Saison 2012 bei Hirse im Mittel ca. 30 l Wasser mehr bereitgestellt werden, um 1 kg Trockenmasse zu erzeugen. Bezogen auf das Versuchsjahr 2013, das, wie schon mehrfach erwähnt, durch sommerliche Trockenheit im Juli/August und damit verbundenem Wassermangel gekennzeichnet war, ergibt sich ein anderes Bild. Demnach lag auf TKS die Wassernutzungseffizienz beider Fruchtarten auf etwa gleichem Niveau und auf QKS wurde für Hirse im Vergleich zu Mais eine höhere WNE berechnet. So musste während der Vegetationsperiode 2013 für Hirse im Mittel ca. 10 l Wasser weniger aufgewendet werden, um 1 kg Trockenmasse zu erzeugen, als für Mais.

Tabelle 85: Abschätzung der Wassernutzungseffizienz von auf unterschiedlichen Kippsubstraten angebauter Sorghumhirse und Mais im Vergleich der Versuchsjahre 2012 und 2013

Versuchsjahr 2012					
Kipp-Substrat	Dünge-Regime	WV [l/m ²]	TM-Ertrag [kg/m ²]	WNE *	WNE * (Mittel)
QKS	Mais-120 N	208,7	1,92	108,66	99,02
QKS	Mais-160 N	198,5	2,22	89,39	
QKS	Hirse-120 N	223,2	1,73	128,84	129,94
QKS	Hirse-160 N	232,0	1,77	131,03	
TKS	Mais-120 N	209,3	2,04	102,78	99,33
TKS	Mais-160 N	221,2	2,31	95,88	
TKS	Hirse-120 N	246,0	1,78	138,02	128,89
TKS	Hirse-160 N	242,7	2,03	119,76	
Versuchsjahr 2013					
Kipp-Substrat	Dünge-Regime	WV [l/m ²]	TM-Ertrag [kg/m ²]	WNE *	WNE * (Mittel)
QKS	Mais-120 N	156,6	1,19	131,36	141,97
QKS	Mais-160 N	165,1	1,08	152,58	
QKS	Hirse-120 N	142,0	1,07	133,31	131,81
QKS	Hirse-160 N	135,4	1,04	130,31	
TKS	Mais-120 N	186,6	1,20	155,65	160,98
TKS	Mais-160 N	202,7	1,22	166,32	
TKS	Hirse-120 N	180,7	1,01	178,20	163,08
TKS	Hirse-160 N	183,8	1,24	147,96	

*) WNE = Wassernutzungseffizienz; Wassermenge [l], die pro m² Ackerfläche eingesetzt werden muss, um 1 kg TM zu erzeugen

Insgesamt gesehen kann davon ausgegangen werden, dass Sorghumhirse gerade während Wassermangelsituationen, wie sie u. a. auch für die Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft prognostiziert werden (KNOCHE et al. 2012), aufgrund pflanzenphysiologischer Vorteile, die sie aufgrund evolutiver Anpassung im Herkunftsgebiet Ostafrika erworben hat, das wenige zur Verfügung stehende Wasser effizienter nutzen kann. Daher empfiehlt sich gerade diese Energiepflanze unter Berücksichtigung weiterer Aspekte zum Anbau auf rekultivierten Ackerflächen im Lausitzer Braunkohlenrevier.

6.4 Zusammenfassung

Wasser-Ertrags-Beziehungen

- Die dreijährigen Ertragsergebnisse der beiden Hirsearten im Modellversuch bestätigen das höhere Biomassebildungspotenzial von *S. bicolor* KWS Zerberus im Vergleich zur Sudangrashybride Lussi bei guter Wasserversorgung.
- Im Vergleich beider Sorten fiel der Ertrag von KWS Zerberus gegenüber Lussi auf Löss um 30 % und auf Sand um 15 % höher aus. Auf dem Sandboden bewegten sich die Erträge beider Sorten generell auf einem niedrigeren Niveau.
- KWS Zerberus setzte das zugeführte Wasser effektiver in die Trockenmassebildung um als Lussi und wies damit eine bessere Wassernutzungseffizienz aus.

- Jedoch reagierte die *S. bicolor*-Sorte KWS Zerberus auf abnehmende Wasserversorgung mit einer stärkeren Ertragsreduktion als die Sudangrashybride Lussi. Bei geringem Wasserangebot gleichen sich die Erträge an.

Bodenwasserausschöpfung (Feldversuche)

- Die Beträge der Bodenfeuchteausschöpfung der drei Jahre variierten in Abhängigkeit vom Wasserdargebot des Standortes und der Niederschlagsverteilung.
- Mais, Futterhirsen und Sudangrashybride nahmen auf beiden Standorten (Braunerde-Tschernosem aus Löss, Fahlerde aus Kryodecksand) Bodenwasser bis aus 2 m Tiefe auf.
- Zwischen 40 und 120 cm Tiefe war der Bodenwasserentzug durch die drei Kulturen auf beiden Standorten in etwa vergleichbar.
- Unterschiede in der Bodenwasserausschöpfung zeichneten sich in der Bodenzone unterhalb 120 cm Tiefe ab. Futterhirsen nahmen aus diesem Tiefenbereich in der Regel mehr Bodenwasser auf als Mais und Sudangrashybride. Im Jahr 2011 zeigten die Sudangrashybriden auf dem tiefgründigen Löss einen den Futterhirsen vergleichbaren Tiefenentzug. In den beiden Folgejahren war die Bodenwasseraufnahme der Sudangrashybride weniger stark ausgeprägt und entsprach der des Maises.
- Obwohl die Sorghumhirsen etwa 25 d Tage später zur Aussaat kamen, holten sie den Wurzeltiefgang von Mais ab Mitte August ein. Im weiteren Wachstumsverlauf übertrafen die Futterhirsen den Wurzeltiefgang von Mais und in der Regel auch den der Sudangrashybride. Sie benötigen für ihre Entwicklung aber auch einen längeren Zeitraum als die schneller abreifenden Sudangrashybriden und Mais.
- Die Sudangrashybriden erzielten die geringsten Erträge, waren aber durch ihren im Vergleich zu Mais schnelleren Wurzeltiefgang in der Lage, sich in einem deutlich kürzeren Zeitraum in etwa die gleiche Bodenwassermenge zu erschließen und das für die Silierung erforderliche Entwicklungsstadium mit einem TS-Gehalt >28% zu erzielen. Bei geringem Wasserangebot sind sie den Wasser-Ertrags-Beziehungen zufolge nicht mehr wesentlich dem Ertrag der Futterhirsen unterlegen und deshalb vor allem für den Anbau in niederschlagsarmen Regionen auf mittel- bis flachgründigen Böden und als Zweitfrucht geeignet.
- Futterhirsen weisen ein höheres Ertragspotenzial auf. Sie sind daher besonders auf Standorten mit guter Wasserversorgung anbauwürdig und können an den Ertrag des Maises heranreichen.
- In den drei Versuchsjahren gelang es unter feuchter Witterung vereinzelt ertragsstarken Futterhirsesorten (Biomass 150, Hercules), das Ertragsniveau des Maises zu erreichen und zu übertreffen. In der Regel reichte das zur Verfügung stehende Wasserdargebot nicht aus, um das Ertragspotenzial der Futterhirsen voll auszuschöpfen.
- Das Ergebnis des Vorprojektes hinsichtlich der besseren Wassernutzungseffizienz von Mais unter dem Wasserangebot im Thüringer Becken wurde bestätigt. Die im Vergleich zu Mais derzeit noch geringere Kältetoleranz der Sorghumhirsen trägt dazu mit hoher Wahrscheinlichkeit bei.
- Mais reagierte auf ungünstige Bedingungen der Durchwurzelung in tieferen Bodenbereichen scheinbar empfindlicher als die Hirsen. Das zeigte sich am Standort Güterfelde in den Jahren 2012 und 2013, in denen das tiefer liegende Bodenwasser (<120 cm Tiefe) kaum erschlossen wurde.
- Sortenunterschiede in der Bodenwasserausschöpfung waren kaum zu erkennen. Die Unterschiede zwischen den Kulturen waren größer.

Nährstoffauswaschung

- Das Nitrataustragspotenzial unter Sorghum war geringer als unter Mais. Nur in den Varianten mit geringster Wasserversorgung (0,2 PET) auf den Sandböden mit geringer Abschöpfung durch die reduzierte Pflanzenbiomassebildung wurde der Grenzwert von 50 mg/l deutlich überschritten. Bei potenzieller Wasserversorgung lag der Nitrataustrag der Hirsen deutlich unter dem Grenzwert (\varnothing 5 mg/l auf Löss, 27 mg/l auf Sand).

- Die N-Salden sind bei guter Wasserversorgung durchweg negativ und damit gewässerverträglich. Mit geringerem Wasserangebot wird der N-Saldo ungünstiger entsprechend der geringer werdenden Erträge.
- Auch im Feldversuch auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löss lagen die N-Salden im Mittel von drei Jahren mit -36 (Futterhirsen), -42 (Sudangrashybride) und -70 kg N/ha (Mais) unter der Bedingung eines N-Sollwertes von 220 kg/ha und Anrechnung des Boden-N_{min}-Gehaltes durchweg im negativen Bereich.
- Die Auswaschung von K belief sich auf den Sandböden auf durchschnittlich 4 kg/ha *a und auf dem Lössboden entsprechend der größeren K-Bindungskapazität auf 0,3 kg/ha *a.

Wurzelbiomasse und Humusreproduktion

- In diesem Projekt wurden in diesem Umfang selten erfasste Parameter zur Wurzellänge, -dichte, -oberflächendichte und -volumendichte im Bodenprofil von 0–200 cm bzw. deren Summen über das Gesamtprofil von 2 Sorten *S. bicolor* x *S. sudanense* (Sudangrashybride), 2 Sorten *S. bicolor* (Futterhirse) und 2 Sorten Mais für die Jahre 2011–2013 erfasst.
- Die im Jahr 2011 ermittelten Wurzelparameter sind deutlich geringer als in den Folgejahren, was eine Folge der Änderung der klimatischen Verhältnisse, Züchtungsfortschritte oder aber auch zum Teil der gewachsenen Expertise bezüglich der Untersuchungsmethoden nach dem ersten Versuchsjahr geschuldet sein kann.
- Im Oberboden von 0–30 cm wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fruchtarten bezüglich der Wurzelparameter festgestellt. Nur die *S. bicolor*-Sorte „KWS Zerberus“ wies im Jahr 2011 signifikant weniger Wurzeln im Oberboden auf, was in den darauf folgenden Untersuchungsjahren aber nicht verifiziert wurde. Im Bereich unterhalb von 30 cm wurden 2012 und 2013 deutlich erhöhte Werte der Wurzellängensumme für die untersuchten *S. bicolor*-Sorten gegenüber den anderen Sorten festgestellt. Unterhalb von 80 cm weisen die *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorten immer noch deutlich niedrigere Werte als die *S. bicolor*-Sorten aber deutlich erhöhte Wurzellängensummen als die Maissorten auf, die über das Gesamtprofil betrachtet, die geringsten Wurzellängen ausbilden. Dies korrespondiert mit der Vegetationszeit der verschiedenen Fruchtarten.
- Im Bodenprofil von 30–80 cm weisen die Maissorten eine höhere Wurzeloberflächendichte und -volumendichte, jedoch keine erhöhten Werte der Wurzellängendichte auf, was auf die verstärkte Ausbildung von Grobwurzeln in diesem Tiefenbereich im Gegensatz zu den Sorghumsorten schließen lässt. Dieses Ergebnis stützt die Aussage zu den Charaktereigenschaften des homorhizen Bewurzelungstypus der Maissorten mit der vorwiegenden Ausbildung von Hauptwurzeln ohne radial verlaufende Seitenwurzeln.
- Mit Beginn des Ck1 Horizontes ab 80 cm bis zu einer Tiefe von 130 cm ist eine deutliche Zunahme der Lagerungsdichte festgestellt worden. In diesem Tiefenbereich wurden für alle Jahre und für fast alle Parameter signifikant höhere Werte zur Wurzellängendichte, -oberflächendichte und -volumendichte für die Sorghumsorten gegenüber den Maissorten ermittelt. Aufgrund des allorhizen Bewurzelungstypus der Sorghumsorten werden neben einer Hauptwurzel zahlreiche Seitenwurzeln ausgebildet, die in diesem Tiefenbereich scheinbar besonders ausgeprägt sind.
- In tieferen Bodenschichten von 130 bis 200 cm nimmt die Wurzelentwicklung stark ab. Für alle untersuchten Sorten wurden aber bis zu einer Tiefe von 200 cm Wurzeln gefunden, die sich quantitativ nicht untereinander unterscheiden.
- Mit Hilfe von selektiv gesammelten Wurzeln wurden die Frischmassedichte ohne Zuckerverlust beim Auswaschungsprozess und der Trockenmassegehalt ermittelt. Die Frischmassedichten von den *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorten sind im Vergleich zu den *S. bicolor*- und Maissorten fast doppelt so hoch, wohingegen die Trockenmassegehalte sich nur geringfügig unterscheiden. Aufgrund dessen ist der berechnete Input an Wurzeltrockenmasse der *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorten im oberen, der Maissorten im mittleren und der *S. bicolor* im unteren Bereich anzusetzen. Eine Ausnahme bildet die *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorte ‚KWS Freya‘, die nur im mittleren Bereich zum Input an Wurzeltrockenmasse beiträgt. Mit Hilfe des C-Gehaltes wurde der Input an Kohlenstoff für das Gesamtprofil bis 200 cm zwischen 0.1 kg/m² und 0.6 kg/m² je nach

Fruchtart und Sorte ermittelt. Den mit Abstand größten Anteil zur Humusreproduktion tragen die Wurzeln bei, gefolgt von den Stoppeln und der Streu.

- Wie viel an Kohlenstoff aus den Wurzelrückständen in den Boden zum Aufbau der organischen Bodensubstanz (OBS) gelangt und mit welcher Geschwindigkeit dies erfolgt, wurde mit einem Inkubationsexperiment ermittelt. Der höchste Anteil an verfügbarer Wurzelmasse gelangt von den Maissorten in den Boden. Die Ursache könnte in den höheren Gehalten an Rohzellulose und -lignin begründet liegen.
- Bei Gesamtbetrachtung von Wurzel- und Stoppelrückständen wird die Reproduktion an organischer Bodensubstanz von der Menge der Stoppelrückstände und deren C und N-Gehalte dominiert, die wiederum eng mit der Aussaatstärke korreliert. Die höchste Humusreproduktionsleistung weisen mit +260 häq die *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorten auf, was einer Reproduktion nach VDLUFA vergleichbar mit den Körnerleguminosen entspricht. Deutlich weniger aber mit +140 häq auch eine positive Reproduktion vergleichbar mit dem Anbau von Erbsen wird mit den *S. bicolor* erzielt. Der Energiemais hat mit -140 häq eine negative Bilanz, aber schneidet nach VDLUFA besser als Silo- oder Körnermais ab.

Wasserverbrauch und Nährstoffauswaschung auf Kippenböden

- Resümierend aus den Ergebnissen der drei Versuchsjahre kann konstatiert werden, dass sowohl die Trockensubstanzgehalte als auch die Trockenmasseerträge von Mais im Vergleich zu Sorghumhirse erwartungsgemäß auf höherem Niveau liegen. So wurden für Mais mittlere TS-Gehalte zwischen 30,1 ... 31,0 % und mittlere TM-Erträge zwischen 163 ... 194 dt/ha ermittelt. Im Vergleich dazu lagen die mittleren TS-Gehalte bei Sorghumhirse zwischen 26,4 ... 27,2 % und die TM-Erträge im Mittel zwischen 157...168 dt/ha. Beide hier untersuchten Feldkulturen weisen, kippsubstratunabhängig, bei einer Düngergabe von 160 kg N/ha im Vergleich zu einer Düngergabe von 120 kg N/ha einen diesbezüglich höheren Ernteertrag auf (Maximum: Hirse auf TKS, Mehrertrag 16,4 %).
- Während bei den mit TKS befüllten Lysimetern bereits ab Juni 2011 Sickerwasserabfluss registriert wurde, konnte bei den mit QKS bestückten Lysimetern erst ab Mitte Januar 2012 eine entsprechende Sickerwassermenge festgestellt werden.
- Die mit TKS befüllten Lysimeter waren – bezogen auf den Zeitraum 04/2013 bis 03/2014 – durch eine höhere Differenz (Wasserverbrauch um 38,5 mm im Mittel höher) gekennzeichnet als die mit QKS befüllten Lysimeter. Auch im Vorjahreszeitraum (04/2012 bis 03/2013) wurde eine höhere Differenz (Wasserverbrauch um 32,3 mm im Mittel höher) bei den mit TKS befüllten Lysimetern nachgewiesen. Dies könnte vor allem in divergierenden bodenphysikalischen Eigenschaften (u. a. unterschiedlicher Tonanteil in der Bodentextur, divergierende Bodenfarbe) beider verwendeten Kippsubstrate begründet sein.
- Darüber hinaus wurde auf den mit Sorghum bestellten Lysimetern im Vergleich zu Mais in Bezug auf die Vegetationszeit 2013 eine geringere Differenz zwischen Input und Output und damit verbunden eine verminderte Wasserbilanz ermittelt. So lag die Wasserbilanz bei Sorghum im Vergleich zu Mais auf den mit QKS befüllten Lysimetern um 15,9 % niedriger (absolut -22,1 mm) und auf den mit TKS befüllten Lysimetern um 6,9 % geringer (absolut -12,1 mm). Im Gegensatz hierzu wurde für die Vegetationszeit 2012, welche durch ein relativ ausgeglichenes Niederschlagsdargebot über die gesamte Saison hinweg gekennzeichnet war, ein Mehrverbrauch an Wasser bei Sorghum im Vergleich zu Mais ermittelt. Dieser Mehrverbrauch lag bezüglich der mit QKS befüllten Lysimetern um 10,5 % höher (absolut +24,0 mm) und bei den mit TKS befüllten Lysimetern um 11,9 % höher (absolut +29,0 mm).
- Sickerwasser, das aus den mit QKS befüllten Lysimetern austritt, liegt hinsichtlich des pH-Wertes im sehr schwach alkalischen Bereich und ist durch hohe Nitratkonzentrationen gekennzeichnet. Dabei fällt auf, dass die Nitratgehalte im Sickerwasser während der Vegetationsperiode aufgrund der Zehrung durch die angebauten Kulturen absinken und nach der Ernte wieder leicht ansteigen.
- Im Gegensatz dazu sind die analysierten Sickerwässer der mit TKS befüllten Lysimeter durch extrem saure pH-Werte gekennzeichnet. Unabhängig von der angebauten Feldfrucht wurden in den Sickerwässern aller

Lysimeter mit tertiärem Kippsubstrat hohe Ammoniumgehalte und hohe Kaliumkonzentrationen nachgewiesen. Hohe NH_4 -Konzentrationen liegen systemimmanent im verwendeten Kipp-Kohlelehmsand vor und können durch den in das Substrat eindringenden Niederschlag in z. T. hohen Konzentrationen ausgewaschen werden.

- Die bereits erwähnten hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser der mit QKS befüllten Lysimeter werden durch die Höhe der Düngergabe beeinflusst, so weisen die mit 160 kg N/ha gedüngten Lysimeterböden jeweils höhere Nitratgehalte im Sickerwasser auf als die mit 120 kg N/ha gedüngten. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass der Düngeeinfluss bei den mit QKS befüllten Lysimetern im dritten Wirtschaftsjahr noch immer durch N-Mineralisierungsprozesse überprägt wird.
- In Bezug auf die Ammoniumkonzentrationen im Sickerwasser ergibt sich ein gegensätzliches Bild: Hier liegen die analysierten Ammoniumgehalte im Sickerwasser der mit TKS befüllten Lysimeter auf einem wesentlich höheren Niveau als bei den mit QKS befüllten Lysimetern. Auch hier wurde ein klarer Düngeeinfluss nachgewiesen.
- Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass bezogen auf den Zeitraum November 2011–Oktober 2013, unabhängig vom Kippsubstrat, ein verminderter N-Austrag unter Sorghumhirse im Vergleich zu Mais stattfindet. So war der N-Austrag auf QKS unter Sorghum im Vergleich zu Mais um 11,7 kg/ha (-11,5 %) und auf TKS um 11,6 kg/ha (-24,1 %) vermindert. Daher wird deutlich, dass die angebaute Fruchtart einen wesentlichen Einfluss auf den Austrag an Gesamtstickstoff ausübt.
- Anhand von Nährstoffanalysen, die an Pflanzenmaterialproben der im Herbst 2013 geernteten Energiepflanzen durchgeführt wurden, war – wie schon für den N-Austrag über den Sickerwasserabfluss gezeigt – wieder ein deutlicher Düngeeffekt nachweisbar. So wurden unabhängig von verwendetem Kippsubstrat und Fruchtart in Pflanzenmaterial der Düngervariante 160 kg N/ha generell höhere N-Gehalte nachgewiesen als in Pflanzenproben der Düngervariante 120 kg N/ha. Darüber hinaus war das geerntete Pflanzenmaterial der Sorghumhirsen insgesamt gesehen durch diesbezüglich höhere N-Ges-, P-, K- und Mg-Gehalte im Vergleich zu Mais gekennzeichnet. Somit ist beim Anbau von Sorghumhirsen auf Kippsubstraten im Vergleich zum Maisanbau generell auch mit höheren Entzügen der Makronährstoffe NPK zu rechnen.
- Hinsichtlich der abgeschätzten Wassernutzungseffizienz (WNE) wurde im Vergleich der Versuchsjahre 2012 und 2013 festgestellt, dass unter günstigeren Bedingungen der Wasserbereitstellung während der Wachstumsperiode, wie für das Versuchsjahr 2012 belegt, Hirse gegenüber Mais eine geringere Wassernutzungseffizienz aufweist. Im Gegensatz dazu lag die Wassernutzungseffizienz auf TKS im Versuchsjahr 2013 bei der Fruchtarten auf etwa gleichem Niveau und auf QKS wurde für Hirse im Vergleich zu Mais eine höhere WNE abgeschätzt. So musste während der Vegetationsperiode 2013 für Hirse im Mittel ca. 10 l Wasser weniger zur Produktion von 1 kg Trockenmasse aufgewandt werden als für Mais. Daher kann neben anderen positiven Aspekten der Anbau von Sorghumhirse gerade im Hinblick zukünftiger Wasserverknappung, wie sie unter anderem auch für die Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft prognostiziert wird, empfohlen werden.

7 Schlussfolgerungen für die Praxis

Im Verbundvorhaben wurden umfangreiche Erfahrungen zu Anbaupotenzialen von Sorghumhirsen unter verschiedenen bodenklimatischen Bedingungen Deutschlands, zur standortangepassten Produktionstechnik sowie zu ökonomischen und ökologischen Aspekten des Anbauverfahrens gesammelt. Ausgewählte Gesichtspunkte sollen im Folgenden skizziert werden.

Anbaupotenziale

- In den länderübergreifenden Anbauversuchen hat sich gezeigt, dass Sorghumhirsen aufgrund ihres hohen Wärmebedarfs und der guten Trockentoleranz vor allem auf den warmen, sandigen und zur Vorsommertrockenheit neigenden Standorten in Mittel- und Ostdeutschland (einschließlich der Rekultivierungsstandorte) eine sinnvolle Ergänzung als Energiepflanze in der Fruchtfolge darstellen können. Bei angepasster Bestandesführung ist unter diesen Anbaubedingungen mit stabilen Erträgen zu rechnen, welche im Mittel der Jahre an das Niveau des Mais heranreichen bzw. dieses in witterungsbegünstigten Jahren auch übertreffen können. Dieses Potenzial besitzen vor allem die massewüchsigen Futterhirsen, die jedoch für den Ausbau ihrer höheren Ertragsfähigkeit mehr Wasser als die Sudangrashybriden benötigen und daher für Regionen mit mittleren Niederschlägen und tiefgründigen Böden anbauwürdiger sind. Auf den Gunststandorten in Bernburg und Straubing zeigten sich die besten Futterhirsensorten trotz hoher Ertragsleistungen beim Mais annähernd konkurrenzfähig. Die Sudangrashybriden stellen wegen ihres rasch in die Bodentiefe wachsenden Wurzelsystems in niederschlagsarmen Regionen und auf leichten bis mittleren Böden eine Anbaualternative zum Mais dar, erreichen jedoch dessen Ertragsleistung in der Regel nicht. Unter vergleichsweise kühleren Anbaubedingungen in den nördlichen Anbauregionen wies Sorghum gegenüber Mais deutliche Ertragsnachteile auf.
- Wie sich in Batchuntersuchungen gezeigt hat, weisen Sorghumhirsen aufgrund der höheren Faseranteile im Durchschnitt eine um 12 % geringere Methanausbeute als der Mais auf. Folglich können sie den Mais selbst bei Ertragsgleichheit hinsichtlich Flächeneffizienz und Wirtschaftlichkeit nicht 1 : 1 als Substrat in der Biogasanlage ersetzen. Annähernd wirtschaftlich konkurrenzfähig gegenüber Mais waren die Sorghumhirsen nur in Einzelfällen, unter für Sorghum sehr günstigen Anbaubedingungen und bei deutlichen Mehrerträgen sowie unter schwierigen Anbaubedingungen für den Mais auf dem Rekultivierungsstandort in Welzow.
- Sorghumhirsen können erwartungsgemäß ökonomisch noch nicht voll mit dem Mais mithalten. Dennoch stellen sie insbesondere unter trockenen Anbaubedingungen eine vielversprechende Anbauoption dar, vor allem für Betriebe, die nur begrenzt Mais in der Biogasanlage einsetzen können.
- In die Gesamtbewertung der Kultur sollten neben rein wirtschaftlichen Überlegungen weitere Kriterien, wie Fruchtfolgeeffekte und Arbeitswirtschaft einfließen. Aufgrund der fehlenden oder nur minimalen Wirtseignung für den westlichen Maiswurzelbohrer, bietet Sorghum gerade in Befallsgebieten oder Gegenden mit hoher Maisanbaukonzentration, eine Chance hohe Biomasseerträge mit einer effektiven Reduktion der Populationsdichte des Schaderregers zu verbinden (GLOYNA et al. 2012). Hinzu kommen die geringere Befallshäufigkeit durch den Maiszünsler und die offenbar geringere Attraktivität für Wildschweine wegen des fehlenden Kolbens. Weil Aussaat und Ernte von Sorghum in der Regel später anstehen als bei Mais, können vor allem in größeren Betrieben Arbeitsspitzen entzerrt werden. Auf besseren Böden besteht zudem die Möglichkeit, Sorghum als Zweitfrucht nach Grünroggen oder GPS-Getreide anzubauen.
- Die Züchtung von Sorghum für die Nutzung als Biogassubstrat erfolgt in Deutschland erst seit einigen Jahren. Neue Sorten und optimierte Anbauverfahren lassen eine verbesserte Wettbewerbsfähigkeit von Sorghum erwarten.

Produktionstechnik

■ Weil sich das Produktionsverfahren von Sorghum nicht grundlegend von dem des Maises unterscheidet, kann für den Anbau auf die ohnehin in den Betrieben vorhandene Technik zurückgegriffen werden.

■ Die Sorghumzüchtung hat in den letzten Jahren Sorten hervorgebracht, die deutliche Verbesserungen in den Merkmalen Trockenmasseertrag, Abreife und Standfestigkeit zeigen. Inzwischen wurden in Deutschland erstmals sechs Sorghumsorten in die Zulassungsliste des Bundessortenamts aufgenommen.

■ Die spätreifen, ertragreichen Futterhirsen eignen sich vorrangig für den Hauptfruchtanbau mit Aussaat Mitte Mai. Unter günstigen Bedingungen können die besten Futterhirsesorten ertraglich an den Mais heranreichen und ihn in Einzelfällen auch übertreffen. Zu beachten ist jedoch, dass eine sichere Abreife dieser Sorten (28 % TS) auch bei langer Standzeit von 130–160 Tagen nicht immer gewährleistet ist. Für den Anbau der Folgefrucht sollte bedacht werden, dass sich die Ernte unter Umständen bis Mitte Oktober bzw. bis zum ersten Frost hinauszögern kann. Zu den empfehlungswerten, im Projekt mehrjährig geprüften Sorten gehören vor allem Hercules, KWS Zerberus, Amiggo und KWS Tarzan.

Die früh abreifenden Sudangrashybridsorten erzielten in einer vergleichsweise kürzeren Vegetationszeit von 110–130 Tagen den optimalen TS-Gehaltsbereich in der Regel sicher. Aufgrund der zügigen Abreife eignen sich diese sowohl für den Hauptfruchtanbau bei zeitiger Ernte (v. a. für kühlere Standorte) als auch für den Zweitfruchtanbau nach Grünschnittroggen oder Ganzpflanzengetreide. Der Zweitfruchtanbau ist auf zur Trockenheit neigenden Standorten oder in sehr kühlen Anbaulagen jedoch nicht zu empfehlen. Die besten Sorten im Projekt waren Lussi, KWS Freya und KWS Sole.

■ Der optimale Saattermin für Sorghum im Hauptfruchtanbau liegt Mitte Mai. Eine frühere Saat kann bei spätreifen Sorten Vorteile in Ertrag und Abreife bringen, kommt jedoch nur für warme, nicht spätfrostgefährdete Standorte mit geringem Unkrautdruck in Frage.

Im Zweitfruchtanbau ist mit zunehmender Verschiebung des Saattermins in den Juni mit einer Abnahme der Ertragsleistung und einer Erhöhung des witterungsbedingten Anbaurisikos zu rechnen. Die Aussaat sollte spätestens Mitte Juni abgeschlossen sein.

■ In der Praxis gibt es für Sorghum keine spezielle Aussaattechnik. Sowohl Drill- als auch Einzelkornsaat, bei Reihenabständen zwischen 25 und 75 cm, sind möglich. Eine für Sorghum angepasste Ablage und Rückverfestigung, insbesondere bei Einzelkornablage, fördert jedoch den Aufgang und die Etablierung homogener und dichter Bestände. Angesichts der oftmals beobachteten Probleme im Feldaufgang kann es bei der Bemessung der Saatstärke zweckmäßig sein, Saatgutaufschläge von 10 % vorzunehmen, um die Zielbestandesdichten (Futterhirse: 25 Pflanzen/m², Sudangrashybride: 40 Pflanzen/m²) zu erreichen.

■ Die optimale Stickstoffmenge für Sorghum, um den maximalen Ertrag zu erreichen, liegt bei ≤ 150 kg N/ha unter Anrechnung von N_{\min} . Nur auf sehr ertragreichen Standorten kann der N-Sollwert etwas höher, bis 200 kg N/ha, angesetzt werden. Höhere N-Aufwendungen sind in Regel nicht wirtschaftlich und können sich negativ auf die Substratqualität (überhöhte Nitratwerte) auswirken.

In Bezug auf die Nährstoffaneignung von Sorghum muss auf den im Vergleich zu Mais höheren Kalium- und Calcium-Entzug (1,5 kg bzw. 0,33 kg/dt TM im Vergleich zu 1,05 kg bzw. 0,24 kg/dt TM), insbesondere der massewüchsigen Futterhirsen, hingewiesen werden. Dieser ist bei der Planung der Düngung zu Sorghum, aber auch zur Nachfrucht zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für leichte sorptionsschwache Böden, auf denen Sorghum vorrangig angebaut wird.

■ Aufgrund der geringen Konkurrenzfähigkeit von Sorghum im Jugendstadium gegenüber Unkräutern und Ungräsern ist die Anwendung von Herbiziden unerlässlich. Der Herbizideinsatz nimmt starken Einfluss auf eine zügige und homogene Bestandesentwicklung und somit auf die Ertragsbildung. Ein Großteil der häufig vorkommenden Unkrautarten wird von dem kleinen für Sorghum genehmigten Herbizidspektrum gut erfasst. Die Präparate Arrat, B 235, Mais-Banvel WG und Stomp decken die Bekämpfung eines breiten dikotylen Unkrautspektrums ab. Die Bekämpfung der Ungräser, insbesondere der Schadhirsens, kann sich aufgrund

der verwandtschaftlichen Beziehung zu Sorghum als schwierig erweisen. Zulässige Präparate sind Gardo Gold und Spectrum. Der Anwendungstermin nimmt dabei großen Einfluss auf den Bekämpfungserfolg. Sobald Sorghum das 3-Blatt-Stadium erreicht hat (BBCH 13), sollte die Behandlung erfolgen, weil die Unkräuter und Schadhirsens nur bis zu einem bestimmten Stadium erfolgreich bekämpft werden können. Es ist dabei auf die Wirkweise der Herbizide zu achten (Aufnahme über Boden und/oder Blatt). Die Durchführung einer mechanischen Unkrautbekämpfung ist möglich. Problematische Schadhirsensstandorte sind zu meiden. In Sorghum genehmigte Fungizide oder Insektizide für eine direkte Anwendung gibt es zurzeit nicht. Jedoch ist die Verwendung von Saatgut mit einer Beizung gegen samenbürtige Pilze zu empfehlen. Ungebeiztes Saatgut führt unter ungünstigen Bedingungen zu stark verminderten Feldaufgängen. In der Regel wird das Saatgut bereits gebeizt angeboten.

Auch der Befall durch tierische Schaderreger ist möglich (Blattläuse, Maiszünsler, Fritfliege, nach Grünlandumbruch auch Drahtwürmer). Zugelassene Bekämpfungsmittel gibt es dafür nicht. In Ausnahmefällen können Anträge für die Genehmigung im Einzelfall nach § 22 Abs. 2 PflSchG (ehem. § 18 a und b PflSchG) bei der zuständigen Behörde gestellt werden.

- Diskussionspunkt unter Praktikern ist auch die teilweise mangelnde Einzugstechnik an Häckslerschneidwerken. Bei hohen und dichten Beständen kommt es vor, dass sich die Pflanzen zu großen Paketen bündeln und durch seitliches Wegdrehen nicht eingezogen, sondern zusammengeschoben werden. Eine weitere Schwierigkeit kann bei der Beerntung der faserreicheren und dünnstängeligeren Sudangrasybriden auftreten. Diese können sich unter ungünstigen Bedingungen um die rotierende Schneid- bzw. Einzugstechnik wickeln, sodass die Beerntung unmöglich wird. Lösungsansätze dafür müssen von den Landmaschinenherstellern bearbeitet werden, da sich reibungslos funktionierende Produktionstechnik positiv auf die Etablierung des Sorghumanbaus auswirkt.
- Im Hinblick auf eine hohe Transportwürdigkeit und damit gute Wirtschaftlichkeit von Sorghum ist bei der Ernte ein TS-Gehalt von mindestens 28 % anzustreben. Erfahrungsgemäß ist dieser ab Beginn der Kornfüllung (BBCH 71) erreicht. Bei den frühreifen Sudangrasybridsorten ist darauf zu achten, dass diese nicht zu stark abreifen, um Einbußen in der Methanausbeute zu vermeiden. Zudem nimmt bei diesen Sorten auch die Lageranfälligkeit zu, weil die Rispen mit fortschreitender Kornfüllung zunehmend schwerer werden.

Ökologische Aspekte des Anbaus

- Im Vergleich zu Mais richten Sorghumhirsen ihr Wurzelsystem rascher in die Tiefe aus, was sich in Trockenperioden als vorteilhaft erweisen kann. Obgleich Sudangrasybriden zwei bis drei Wochen später zur Aussaat gelangen, erreichen sie in etwa den gleichen Tiefgang wie Mais und nehmen in etwa die gleiche Menge an Bodenwasser auf. Die Wassernutzungseffizienz fällt im Vergleich zu Mais unter den Niederschlagsverhältnissen in Mittel- und Nordostdeutschland allerdings ungünstiger aus. Futterhirsen können tiefer als Mais und Sudangrasybride Bodenwasser entziehen. Die Wassernutzungseffizienz ist günstiger als bei den Sudangrasybriden. Gegenüber Mais konnte auf verschiedenen Böden und in unterschiedlichen Jahren allerdings keine einheitliche Aussage getroffen werden. Bei den Futterhirsensorten reichte in der Regel das zur Verfügung stehende Wasserdargebot nicht aus, um das Ertragspotenzial voll auszuschöpfen.
- N-Düngung nach N-Sollwert und unter Anrechnung des Boden-N_{min}-Gehaltes ist eine wesentliche Voraussetzung für niedrige N-Auswaschung. Sorghumhirsen mit ihrem bis in tiefere Bodenschichten reichenden Wurzelsystem tragen durch Aufnahme des im Wurzelraum verlagerten Stickstoffs zur weiteren Minderung der N-Auswaschung bei. Im Lysimeterversuch vermochten sie die N-Auswaschung stärker als Mais zu senken. Auch Ergebnisse der Düngeversuche zeigen, dass bei einer an den Standort und die Ertragserwartung angepassten N-Düngung nicht mit überhöhten N_{min}-Werten nach der Ernte bzw. positiven N-Salden zu rechnen ist.

- Im Vergleich zu den untersuchten Maissorten haben die Hirsesorten eine positive Reproduktionsleistung an organischer Bodensubstanz und eignen sich daher besonders gut nach Fruchtfolgefeldern mit humuszehrender Wirkung.
- Als weitere positive Besonderheit der Hirsesorten gegenüber Energiemaissorten ist die signifikant höhere Ausbildung an Wurzeln, insbesondere Feinwurzeln, in verdichteten tieferen Bodenschichten zu erwähnen, die womöglich für eine Tiefenauflockerung schadverdichteter Böden genutzt werden kann.

Austausch/Kontakt mit der Praxis

- Der Kontakt und Austausch zwischen Praxis und Forschung ist ein wichtiges Bindeglied für die erfolgreiche Etablierung von Sorghum in der Fruchtfolge. Umfrageergebnisse zeigten, dass das Wissen um die Anbaumaßnahmen von Sorghum in der Praxis zunahm und zum erfolgreichen Anbau beitrug. In vielen Betrieben hat sich Sorghum bereits als fester Bestandteil der Fruchtfolge etabliert.
- Dennoch gibt es Wissenslücken, die erschlossen werden müssen. Deshalb sind eine intensive Öffentlichkeitsarbeit sowie die Kommunikation der Erfahrungen und Projektergebnisse weiterhin wichtig.

8 Ausblick

Sorghum hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Ein Beleg dafür ist u. a. die in Deutschland erstmalige Aufnahme von sechs Sorghumsorten in die Zulassungsliste des Bundessortenamts im März 2014. Nach drei Versuchsjahren haben sich im Teilvorhaben Sortenprüfung einige vielversprechende Sorten, die z. T. auch in der Wertprüfung standen, als praxistauglich erwiesen und dementsprechend auch am Markt etabliert.

Während die vom Bundessortenamt durchgeführten Prüfungen in erster Linie die Trockenmasseertragsleistungen zu einem gemeinsamen Erntetermin erheben, wurde im hier dargestellten Projekt eine Einteilung der Sorten in unterschiedliche Reifegruppen vorgenommen. Innerhalb dieser Gruppen zeigten sich ebenfalls Differenzierungen im Abreifeverhalten der Sorten. Um eine praxisnahe Qualitätsbeurteilung der Sorten zu ermöglichen, sollen in einem Folgeprojekt die unterschiedlich abreifenden Sortentypen zu verschiedenen Ernteterminen geprüft werden, um durch eine Optimierung des Erntetermins die bestmögliche Kombination aus hoher Biogasausbeute und hohen TM-Erträgen pro ha bei gleichzeitig guter Silierbarkeit zu ermitteln.

Die Züchtung ist weiterhin gefordert, die Anbausicherheit von Sorghum voranzutreiben. Dabei stehen nach wie vor Verbesserungen in den Merkmalen Trockenmasseertrag, Kältetoleranz, Abreife und Standfestigkeit im Vordergrund. Auch bei der Saatgutproduktion bestehen noch erhebliche Reserven. Die dauerhafte Bereitstellung qualitativ hochwertigen Saatguts (wie bei Mais) ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche Etablierung von Sorghum in der Praxis.

Die Produktionstechnik ist für Sorghum noch nicht hinreichend ausgereift. Optimierungsbedarf für die Praxis besteht vor allem in der Saat- und z. T. in der Erntetechnik. In der Praxis ist häufig festzustellen, dass sich keine optimalen Bestände etabliert haben. Negative Bestandesentwicklungen bei dieser kleinsamigen Kultur sind oftmals die Folge nicht angepasster Bodenbearbeitung, einer nicht optimierten Saatgutqualität und einer noch nicht voll angepassten Aussaattechnik. Die Möglichkeiten einer optimierten Bestandesetablierung von Sorghum sollten in einem Folgeprojekt durch Erprobung verschiedener Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren genauer untersucht werden, um diesbezüglich verlässliche Beratungsgrundlagen für die Praxis zu schaffen.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird mit einer Zunahme von Wetterextremen gerechnet. Besonders länger anhaltende Trockenperioden mit hohen Temperaturen werden zunehmen. Unter diesen Bedingungen könnten Sorghumhirsen Vorteile haben, weil sie sich nach lang anhaltenden Trockenphasen besser regenerieren können als der Mais. Zur Risikoabsicherung im Betrieb ist es vorteilhaft, das witterungsbedingte Anbau-
risiko auf mehrere Kulturen zu verteilen, weil nicht alle Kulturen in gleichem Maße von Witterungsextremen betroffen sind. Bei fruchtart- und standortangepasster Produktionstechnik kann Sorghum diesbezüglich einen wertvollen Beitrag leisten.

9 Veröffentlichungen

Verbundübergreifend

Veröffentlichungen/print

FNR (2012): Sorghumhirsen – Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenpektrums. Broschüre. Gülzow

LfULG (2012): Energiepflanze Sorghum. Inhalte und Ziele des Verbundvorhabens. Faltblatt. Leipzig

Teilvorhaben 1 – Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Veröffentlichungen/print

GLAUERT, T. (2013): Hirse: Eine Kultur mit Potenzial, Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen-Lippe, 19/2013

RIECKMANN, C., GLAUERT, T. (2012): Energiepflanzen für Biogasanlagen, Niedersachsen, Kap. 2.4, Sorghum-Arten, Futter-/Zuckerhirse und Sudangras, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2012

Vorträge

GLAUERT, T. (2012): Pflanzenbauliche, Ökonomische und Ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen - Teilvorhaben 1: Ergebnisse zum Sortenversuch, Evaluierung von Standort, Fruchtart und Sorte, Projekttagung Leipzig, 25./26.01.2012

GLAUERT, T. (2013): Pflanzenbauliche, Ökonomische und Ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen - Teilvorhaben 1: Ergebnisse zum Sortenversuch, Evaluierung von Standort, Fruchtart und Sorte, Projekttagung Weimar, 16./17.01.2013

Poster

HARTMANN, A.; FRITZ, M.; GLAUERT, T.; RIECKMANN, C. (2013): Ertragspotential von Sorghum an unterschiedlichen Standorten in Deutschland. In: PEKRUN, C.; FRANCKE-WELTMANN, M. (Hrsg.): Nachhaltige Erzeugung von Nachwachsenden Rohstoffen. Kurzfassung der Vorträge und Poster. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. mit der Technischen Universität München, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und dem Technologie- und Förderzentrum Straubing. Weißenstephan, 04.-06. September. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nr. 25. Göttingen: Liddy Halm, S. 235–236, ISSN 0934-5116

Teilvorhaben 2 – TFZ Straubing

Veröffentlichungen/print

Broschüren

ZEISE, K.; HARTMANN, A.; HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2012): Sorghum – Der universelle Rohstofflieferant. Broschüre. TFZ Reihe „Kompakt“, Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum. (TFZ).

(http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/tfz_kompakt_4_sorghum.pdf)

Fachartikel

BRÖKER, M. (2013): Biogas aus Sorghum. Top Agrar, Jg. 41, Nr. 5, S. 70–73. Experten-Mitarbeit: HARTMANN, A.; ZEISE, K.

FRITZ, M.; HARTMANN, A.; ZEISE, K. (2012): Sorghumanbau in Deutschland. Fortschritte in der Züchtung und der Produktionstechnik. Mais - die Fachzeitschrift für Spezialisten, Jg. 39, Nr. 4, S. 178–181

HARTMANN, A. (2013): Die Sorte muss zur Saatzeit passen. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Jg. 203, Nr. 17, S. 51–53

HARTMANN, A. (2012): Misanbau verschiedener Sorghumtypen zur Kontrolle von Lagerverlusten. 2.6. In: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Bayern. Gülzow-Prüzen, S. 28

ZEISE, K.; HARTMANN, A. (2012): Sorghum ergänzt Mais. Dlz-Agrarmagazin, Jg. 63, Nr.12, S. 47–51

Tagungsbeiträge

HARTMANN, A. (2014): Sorghum used for biogas production – sowing date and choice of variety. Proceedings. 4. Mitteleuropäische Biomassekonferenz. Graz, 15. bis 18. Jänner. Wien: Österreichischer Biomasse-Verband (ÖBV), S. 199

HARTMANN, A. (2013): Sorghum zur Biogasnutzung - Saatzeitpunkt und Sortenwahl. In: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (Hrsg.): 4. Symposium Energiepflanzen. Berlin, 22.-23. Oktober, S. 425

HARTMANN, A.; FRITZ, M.; GLAUERT, T.; RIECKMANN, C. (2013): Ertragspotential von Sorghum an unterschiedlichen Standorten in Deutschland. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nr. 25. S. 235–236, ISSN 0934-5116

HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2013): Biogas aus Sorghum - Saatzeitpunkt und Sortenwahl. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nr. 25, S. 56–57, ISSN 0934-5116

HARTMANN, A. (2012): Sorghum als Biogassubstrat. Ertragspotential bei optimaler und reduzierter Wasserverfügbarkeit. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nr. 24, S. 238–239, ISSN 08934-5116

HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2012): Biomass production and bioenergy potential of sweet sorghum in South Germany. Proceedings. 20th European Biomass Conference and Exhibition. Mailand, Italien, 18.-22. Juni

Vorträge

Biogas aus Sorghum - Saatzeitpunkt und Sortenwahl. 56. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (Weihenstephan 04.-06.09.2013)

Sorghum als Biogassubstrat. FÜAK Seminar (Staatliche Führungsakademie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten): „Aktuelles im Pflanzenbau für die Verbundberatung“. (Triesdorf: 13.06.2012)

Alternative/Neue Energie- und Rohstoffpflanzen. FÜAK Seminar (Staatliche Führungsakademie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten): „Aktuelles im Pflanzenbau für die Verbundberatung“. (Niederaltich: 12.11.2012)

Poster

HARTMANN, A. (2014): Sorghum used for biogas production – sowing date and choice of variety. 4. Mitteleuropäische Biomassekonferenz (Graz, 15.-18.01.2014)

HARTMANN, A. (2013): Sorghum zur Biogasnutzung - Saatzeitpunkt und Sortenwahl. In: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (Hrsg.): 4. Symposium Energiepflanzen (Berlin, 22.-23.10.2013)

HARTMANN, A.; FRITZ, M.; GLAUERT, T.; RIECKMANN, C. (2013): Ertragspotential von Sorghum an unterschiedlichen Standorten in Deutschland. 56. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (Weihenstephan 04. - 06.09.2013)

HARTMANN, A. (2012): Sorghum als Biogassubstrat. Ertragspotential bei optimaler und reduzierter Wasserverfügbarkeit. 55. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (Berlin 24. - 27.09.2012)

HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2012): Biomass production and bioenergy potential of sweet sorghum in South Germany. 20th European Biomass Conference and Exhibition (Mailand, Italien, 18.-22.06.2012)

HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2011): Verbundprojekt „Pflanzenbauliche, Ökonomische und Ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen“ (Berlin, 02.-03.11.2011)

Teilvorhaben 3 – LELF Brandenburg

Veröffentlichungen/print

- BARTHELMES, G. (2011): Sorghum als Ergänzung zu Mais in der Biogaserzeugung. Bauernzeitung, 52. Jahrgang, 5/2011 - S. 8
- BARTHELMES, G.; MÄRTIN, M. (2014): Sortenratgeber 2014 – Silomais, Körnermais, Sorghum. LELF, Güterfelde
- BARTHELMES, G.; MÄRTIN, M. (2012): Sortenratgeber 2012 – Silomais, Körnermais, Sorghum. LELF, Güterfelde
- BARTHELMES, G.; MÄRTIN, M. (2013): Sortenratgeber 2013 – Silomais, Körnermais, Sorghum. LELF, Güterfelde
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2011): Abschlussbericht zum Verbundvorhaben „Anbautechnik Sorghumhirsen – Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenspektrums“ – Teilprojekt 3: Evaluierung von Saatzeiten, Herbizideinsatz, Anbau auf rekultivierten Flächen sowie Praxiserhebungen zum Sorghumanbau. Berichtszeitraum 2008-2011 – 96 S., Güterfelde
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2011): Alternativen statt Ertragsschwäche. Bauernzeitung, Berlin 52. Jahrgang, 17/2011 - S. 22-25
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2011): Sorghumarten und -sorten – Anbaueignung auf Brandenburger Böden. KTBL-Schrift 488, Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven, FNR/KTBL-Kongress vom 20. Bis 21. September 2011 in Göttingen, KTBL, Darmstadt, 2011 - S. 286-287
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2012): Aktueller Pflanzenbaurat. Bauernzeitung, Berlin 53. Jahrgang, 18/2012 – S. 8
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2012): Herbizidprüfung, Anbau auf Rekultivierungsflächen, Praxisumfrage zum Sorghumanbau. In: Energiepflanze Sorghum – Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung Mai 2011 bis April 2014, Verbundflyer, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2012): Anbau auf Rekultivierungsflächen, Optimierung der Saatzeit, Herbizidprüfung, Praxisumfrage zum Sorghumanbau. In: Sorghumhirsen - Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenspektrums. Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- MÄRTIN, M.; EBEL, G.; BARTHELMES, G.; ADAM, L. (2012): Sorghumhirsen. In: Energiepflanzen für Biogasanlagen. Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow, S. 11-15
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2013): Aktueller Pflanzenbaurat. Bauernzeitung, Berlin 54. Jahrgang, 18/2013 - S. 10
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2013): Anbaueignung von Sorghum auf Standorten in Brandenburg. Kurzfassung der Referate zum 125. VDLUFA-Kongress am 17.-20.09.2013 in Berlin. VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Vorträge

- BARTHELMES, G. (2012): Ergebnisse der LSV Mais und Raps 2010 – 2012 sowie Hinweise zur Sortenwahl. Berkenbrück, 29.11.2012
- MÄRTIN, M. (2011): Ergebnisse zum Sorghumanbau auf leichten Böden – 3-jährige Versuchsergebnisse. Fachveranstaltung Energiepflanzen, Körnermais und Sonnenblumen, Güterfelde, 24.08.2011.
- MÄRTIN, M. (2011): Ergebnisse zum Sorghumanbau auf leichten Böden – 3-jährige Versuchsergebnisse. Fachveranstaltung Energiepflanzen für Praktiker, Seddiner See, 20.10.2011

- MÄRTIN, M. (2012): Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen; Teilvorhaben 3: Herbizidprüfung, Anbau auf Rekultivierungsstandorten und Praxiserhebung. Projekttreffen, Leipzig, 25.01.2012.
- MÄRTIN, M. (2012): Sorghum - eine Anbaualternative für die Biogaserzeugung auf ertragsschwachen Standorten. Fachkolloquium 20 Jahre Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften (FIB) e.V., Finsterwalde, 14.06.2012.
- MÄRTIN, M. (2012): Sorghum auf leichten Böden – mehrjährige Ergebnisse. Fachveranstaltung Energiepflanzen und Körnermais, Güterfelde, 23.08.2012.
- EBEL, G.; MÄRTIN, M. (2012): Fruchtfolgen mit Energiepflanzen im Land Brandenburg – Chancen für Sorghumhirsen. Winterschulung des Kreisbauernverbandes Elbe-Elster: Energiepflanzenanbau in Südbrandenburg, Duben 05.12.2012.
- MÄRTIN, M. (2013): Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen; Teilvorhaben 3: Vorläufige Ergebnisse 2012 zum Herbizideinsatz, Anbau auf Rekultivierungsstandorten und zur Praxiserhebung. Projekttreffen, Weimar, 16.01.2013.
- MÄRTIN, M. (2013): Sorghumanbau in der Praxis im Land Brandenburg; Ergebnisse der Praxiserhebung aus den Verbundprojekten Sorghum 2008-2012. Fachveranstaltung Energiepflanzen, Körnermais und Körnersonnenblumen, Güterfelde, 22.08.2013.
- MÄRTIN, M. (2014): Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen; Vorläufige Ergebnisse 2013 zum Teilvorhaben 3: Herbizideinsatz, Anbau auf Rekultivierungsstandorten und zur Praxiserhebung. Projekttreffen, Hannover, 04.02.2014.

Poster/Flyer

- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2012): Verträglichkeitsprüfung ausgewählter Herbizide in Sorghum - Ergebnisse 2011. Poster, LELF, Güterfelde
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2013): Anbaueignung von Sorghum auf Standorten in Brandenburg. Poster, LELF, Güterfelde
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2013): Verträglichkeitsprüfung ausgewählter Herbizide in Sorghum - Ergebnisse 2012. Poster, LELF, Güterfelde
- WAGNER, M.; MÄRTIN, M.; KNOBLAUCH, S. (2013): Wassernutzungseffizienz und Bodenwasserausschöpfung von Sorghum im Vergleich zu Mais. Poster, TLL, Buttelstedt

Internet

- BARTHELMES, G.: Sortenratgeber 2014 – Silomais, Körnermais, Sorghum.
http://www.isip.de/isip/servlet/page/deutschland/regionales/brandenburg/fachinfo_landwirtschaft/sortenratgeber
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G.: Sorghumarten und -sorten – Anbaueignung auf Brandenburger Böden.
<http://lelf.brandenburg.de/sixcms/detail.php/544108>
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G.: Ergebnisse der Praxiserhebung zum Anbau von Sorghum – Anbaujahr 2011
http://lelf.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/Umfrage_Sorghumanbau_Anbau2011.pdf
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G.: Praxiserhebung zum Sorghumanbau - Ergebnisse Anbaujahr 2012
<http://lelf.brandenburg.de/sixcms/detail.php/630516>
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G.: Sorghumanbau in der Praxis im Land Brandenburg; Ergebnisse der Praxiserhebung aus den Verbundprojekten Sorghum 2008-2012.
<http://lelf.brandenburg.de/sixcms/detail.php/620889>

Teilvorhaben 4 - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Veröffentlichungen/print

- JÄKEL, K.; ZANDER, D. (2012): Sorghum kontra Mais. Bauernzeitung 14. Woche (5.4.2012), 31 – 33
- ZANDER, D.; JÄKEL, K. (2012): Ergebnisse mehrjähriger Sortenversuche Sorghumhirsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Schriftenreihe, Heft 24/2012
- THEIß, M.; JÄKEL, K. (2013): Sortenempfehlungen zu Sorghum für das Anbaujahr 2013. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Faltblatt

Tagungsbeiträge

- THEIß, M.; PÖTZSCHKE, K.; JÄKEL, K. (2013): Untersuchungen zum stofflichen Gasbildungspotenzial von Sorghum und Mais. FNR/KTBL-Kongress Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. Kassel, 10. bis 11. September 2013, S. 324 – 326
- JÄKEL, K.; THEIß, M.; PÖTZSCHKE, K.; RIECKMANN, C.; GLAUERT, T.; FRITZ, M.; HARTMANN, A.; BARTHELMES, G.; MÄRTIN M.; KNOBLAUCH, S.; WAGNER, M.; GURGEL, A.; BOESE, L.; LANGE, C.; GOLTZ, U. (2013): Sorghumhirse als Anbaualternative zum Mais. 7. Rostocker Bioenergieforum, 20.–21. Juni 2013, S. 28, 9-294

Vorträge

- JÄKEL, K.; ZANDER, D. (2011): Verbundvorhaben: Ergebnisse des zweiten Projektes Sorghumhirse. 3. Symposium Energiepflanzen in Berlin, 2.-3. November 2011
- ZANDER, D.; JÄKEL, K. (2011): Ergebnisse aus Sorghumanbauversuchen. Fachveranstaltung Energiepflanzen für die Biogasproduktion in Trossin, 1. September 2011 28
- ZANDER, D. (2011): Sorghum – Aufholjagd von 40 Jahren Maiszüchtung. Fachgespräch Energiepflanzen/Nawaro in Jena, 5. September 2011
- ZANDER, D. (2012): Neue Energiepflanzen zur Biogasproduktion. Hirse und Durchwachsene Silphie. Fachveranstaltung: Strategien zur Anpassung des Pflanzenbaus an den Klimawandel in Ostritz, 27.02.2012
- JÄKEL, K.; THEIß, M. (2012): Sorghumhirsen – Alternative C4-Pflanzen mit viel Potenzial. 3. Forum Energiepflanzen in Jena, 4.–5. Juli 2012
- THEIß, M.; JÄKEL, K. (2012): Anbau von Sorghumhirsen auf Trockenstandorten. Ergebnisse aus dem Versuchsjahr 2011. Fachveranstaltung Energiepflanzen für die Biogasproduktion in Trossin, 29. August 2012
- JÄKEL, K.; THEIß, M. (2013): Sorghumhirsen als Anbaualternative zum Mais. 7. Rostocker Bioenergieforum, 20.06.2013
- THEIß, M.; PÖTZSCHKE, K.; JÄKEL, K. (2013): Stoffliche Zusammensetzung, Biogaspotenzial und Wirtschaftlichkeit von Sorghum im Vergleich zu Mais. Fachveranstaltung Energiepflanzen, Körnermais und Körner Sonnenblumen in Güterfelde, 22. August 2013
- JÄKEL, K.; THEIß, M. (2013): Anbauvergleich Mais und Sorghum. Fachveranstaltung Energiepflanzen für die Biogasproduktion in Trossin, 28. August 2013
- THEIß, M.; PÖTZSCHKE, K.; JÄKEL, K. (2013): Stoffliche Zusammensetzung, Biogaspotenzial und Wirtschaftlichkeit von Sorghum im Vergleich zu Mais. Fachveranstaltung Energiepflanzen für die Biogasproduktion in Trossin, 28. August 2013

Poster

- THEIß, M.; PÖTZSCHKE, K.; JÄKEL, K. (2013): Untersuchungen zum Gasbildungspotenzial von Sorghum und Mais (Stand Mai 2012). Gezeigt auf dem Biogaskongress in Kassel, 10./11. September

- THEIß, M.; PÖTZSCHKE K.; JÄKEL, K. (2013): Untersuchungen zum Gasbildungspotenzial von Sorghum und Mais (Stand August 2012). Gezeigt bei der Sächsischen Biogastagung in Nossen, 8. Oktober 2013 sowie beim 4. Symposium Energiepflanzen in Berlin, 22./23. Oktober
- THEIß, M.; JÄKEL, K. (2013): Wirtschaftlichkeit von Sorghum unter verschiedenen bodenklimatischen Bedingungen im Vergleich zu Mais. Gezeigt bei der Sächsischen Biogastagung in Nossen, 8. Oktober 2013 sowie beim 4. Symposium Energiepflanzen in Berlin, 22./23. Oktober

Teilvorhaben 5 - Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Veröffentlichungen/print

- WAGNER, M.; KNOBLAUCH, S. (2011): Wassernutzungseffizienz und Wasserverbrauch von Sorghum bicolor im Vergleich zum Energiemais, 14. Gumpensteiner Lysimetertagung am 03./04.05.2011: „Lysimeter in der Klimaforschung und Wasserwirtschaft“
- WAGNER, M.; KNOBLAUCH, S. (2012): Energiepflanzen für Biogasanlagen, Thüringen, Kap. 2.3, Sorghum, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2012

Vorträge

- WAGNER, M. (2011): Untersuchungsergebnisse zum Wasserverbrauch von Zuckerhirse, Bewässerungstag Thüringen/Sachsen, TLL Jena, 04.11.10
- WAGNER, M. (2011): Vorstellung Hirse-Verbundvorhaben und N-Düngungsversuch, Sommerfeldtag Versuchstation Kirchengel, 17.06.11
- WAGNER, M. (2011): Vorstellung des Hirse-Verbundvorhabens und der Sorghum-Sortenversuche, Energiepflanzentag Dornburg, 07.07.11
- WAGNER, M. (2011): Wasser- und Nährstoffnutzungseffizienz von Sorghum und Mais im Modellversuch Kleinlysimeter, Lysimeterstation Buttstedt, Studentenexkursion FSU Jena, 08.07.11
- WAGNER, M. (2011): Wassernutzungseffizienz von Mais und Sorghum, Fachgespräch Energiepflanzen, TLL Jena, 05.09.2011
- WAGNER, M. (2012): Verbundvorhaben Sorghum II und Ergebnisse zum Wasserverbrauch der Sorghumhirschen, Lysimeterstation Buttstedt, Seminar zur Winterschulung Landwirte der Fachschule für Agrarwirtschaft und Hauswirtschaft Stadtroda, 06.03.12
- WAGNER, M. (2012): Vorstellung Kleinlysimeterversuch und Ergebnispräsentation aus Sorghum I und II, Lysimeterstation Buttstedt, Studentenexkursion Georg-August-Universität Göttingen; Agrarwissenschaften, 15.03.12
- WAGNER, M. (2012): Vorstellung Kleinlysimeteranlage und Ergebnisse zum Wasserhaushalt von Mais und Sorghumhirschen, Lysimeterstation Buttstedt, Studentenexkursion Fachhochschule Erfurt, Fachrichtung Gartenbau, 13.06.12
- WAGNER, M. (2012): Verbundvorhaben Sorghum II und Wasserverbrauch Mais/Sorghum auf den Kleinlysimetern, Vorstellung der Untersuchungen zum Wasserverbrauchs von Mais und Sorghum im Feldbestand, Praxistag Lysimeter in der Lysimeterstation Buttstedt, 26.06.2012
- WAGNER, M. (2012): Vorstellung des Hirse-Verbundvorhabens und der Sorghum-Sortenversuche, Energiepflanzentag Dornburg, 12.07.12
- WAGNER, M. (2012): Vorstellung Kleinlysimeterversuch und Ergebnispräsentation aus Sorghum I und II, Lysimeterstation Buttstedt, Studentenexkursion Goethe-Uni Frankfurt, FB Geografie, 25.07.12
- WAGNER, M. (2013): Vorstellung des Hirse-Verbundvorhabens und der Sorghum-Sortenversuche, Energiepflanzentag Dornburg, 11.07.13
- WAGNER, M. (2013): Vorstellung Kleinlysimeterversuch und Ergebnispräsentation aus Sorghum I und II, Lysimeterstation Buttstedt, Fachexkursion Hessischer Pflanzenbauberater, 12.06.2013

KNOBLAUCH, S. (2013): Wasserverbrauch und Wassernutzungseffizienz von Sorghumhirsen, 9. Leipziger Tag der Agrarneteorologie, 15.1.2013

KNOBLAUCH, S. (2013): Wassernutzungseffizienz von Sorghum sp. im Vergleich zu Mais Fachveranstaltung Energiepflanzen für Biogasanlagen, Trossin, LFULG, 28.08.13

Poster

WAGNER, M.; KNOBLAUCH, S. (2012): Wassernutzungseffizienz von Sorghumhirsen im Vergleich zu Energie-
mais 34

KNOBLAUCH, S.; WAGNER, M. (2012): FNR-Verbundvorhaben Sorghum II, Wassernutzungseffizienz und ökolo-
gische Auswirkungen

WAGNER, M.; MÄRTIN, M.; KNOBLAUCH, S. (2013): Wassernutzungseffizienz und Bodenwasserausschöpfung
von Sorghum sp. im Vergleich zu Mais

10 Literatur

- Anonym (2012): Grain Sorghum Herbicide Management Strategies. Aus: Weed Control Principles, S. 78-93. Ohio State University. In: <http://ohioline.osu.edu/b789/pdf/04.pdf>. Abgerufen am: 06.02.2012
- AURBACHER, J.; KORNATZ, P., MÜLLER, J. (2014): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands - Teilvorhaben 3: Ökonomische Bewertung des Anbaus und der Nutzung von Energiepflanzen. Abschlussbericht. Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft, Justus-Liebig-Universität Gießen (Stand: 31.03.2014)
- BARTHELMES, G.; MÄRTIN, M. (2014): Sortenratgeber 2014 – Silomais, Körnermais, Sorghum. Fachinformation Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Güterfelde
- BÄR, H.; DITTRICH, R.; ENGELHARDT, M.; GÖßNER, K.; GÖTZ, R.; HAHN, U.; KRAATZ, M.; KRUEGER, B.; KUPFER, S.; MEINLSCHMIDT, E.; NAUJOK, M.; PÖLITZ, B.; SCHRÖDER, G.; THATE, A.; TÜMMLER, C.; ULRICH, M.; VIEHWEGER, G.; WEISKE, E. (2011): 2011 - Hinweise zum sachkundigen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau und auf Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, 2011.
- BÄR, H.; BERGMANN, E.; DITTRICH, R.; ENGELHARDT, M.; EWERT, K.; GÖßNER, K.; GÖTZ, R.; HAHN, U.; HENNING, A.; KRAATZ, M.; KUPFER, S.; MEINLSCHMIDT, E.; NAUJOK, M.; PÖLITZ, B.; ROSENAU, R.; SCHRÖDER, G.; SPERLING, U.; THATE, A.; TÜMMLER, C.; WEISKE, E.; WOLFF, C. (2011): 2012 - Hinweise zum sachkundigen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau und auf Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, 2011.
- BÖTTGER, H.; BREIDING, M.; BRINK, A.; BROSCHEWITZ, B.; EGGERS, T.; HEIDLER, G.; NORDMEYER, H.; SCHÖNHAMMER, A.; STECK, UL, TRÖLTZSCH, C.-M.; ZWARGER, P. (1999): EPPO-Richtlinie PP 1/50 Unkräuter in Mais. Herausgeber: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Bundesrepublik Deutschland, Braunschweig, 1999.
- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2011): Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis 2014. Teil 1 Ackerbau – Wiesen und Weiden, Hopfenbau – Nichtkulturland. 59. Auflage, S.164-317. Braunschweig, 2014.
- http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_verz_1.pdf?__blob=publicationFile&v=8 Abgerufen am: Februar 2014.
- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2011-2013): Online-Datenbank zugelassener Pflanzenschutzmittel. In: www.bvl.bund.de. Abgerufen am: 2011 bis 2013
- Bundessortenamt (BSA) (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen, Landbuch Verlag, Hannover, 2000
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011): Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – Biomass e.V.) , Konsolidierte (unverbindliche) Fassung des Verordnungstextes in der ab 1. Januar 2012 geltenden Fassung (Grundlage: Entwurf der Bundesregierung vom 6. Juni 2011 – BT-Drucks. 17/6071 und Beschluss des Deutschen Bundestages vom 30. Juni 2011 – BT-Drucks. 17/6363)
- DE MENDIBURU, F. (2010): agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. Rpackage version 1.0-9, URL <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
- ELFRICH, R.; FUHRS, H. (2012): Ausgewogene Düngung für gute Erträge. Kartoffelbau 4/2012 (63. Jg.)
- EBEL, G; BARTHELMES, G.; ADAM, L. (2009): Energie aus Getreide. Neue Landwirtschaft. Nr. 7, S. 50-51

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2012): Basisdaten Bioenergie Deutschland
- FJELL, D.; BLASI, D.; TOWNE, G. (1991): Nitrate and Prussic Acid Toxicity in Forage - Causes, Prevention, and Feeding Management. Cooperative Extension Service, Kansas State University Manhattan, MF-1018
- FRANKO, U., OELSCHLÄGEL, B.; SCHENK, S. (1995): Simulation of temperature-, water- and nitrogen dynamics using the model CANDY. *Ecological Modelling* 81: 213-222.
URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3800\(94\)00172-E](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3800(94)00172-E)
- FRANKO, U., KOLBE, H., THIEL, E., LIESS, E. (2011): Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data, *Geoderma* 166 (1), 119 - 134
- FRÖHLICH, G. (1974): Pflanzenschutz in den Tropen. 2. neubearbeitete und erweiterte deutsche Auflage. VOB Kunst- und Verlagsbuchbinderei Leipzig.
- GAST, M., HAUBOLD-ROSAR, M., KATZUR, J. (2002): Auswirkungen des Komposteinsatzes bei der Rekultivierung von Kipp-Rohböden auf die N-Verlagerung mit dem Sickerwasser. In Klotz, D. (Hrsg.): Untersuchungen zur Schadstoff-Migration in Lysimetern. GSF-Bericht 05/02. S. 31-36
- GERIK, T.; BEAN, B.; VANDERLIP, R. L. (2003): Sorghum Growth and Development. Hg. v. Texas A. & M. University System Texas Cooperative Extension. University of Texas (B-6137 7-03)
- GLOYNA, K.; THIEME, T.; ZELLNER, M. (2012): Eignung von Energiepflanzen als alternative Nahrungspflanzen für Larven von *Diabrotica virgifera virgifera*. Kurzfassung der mehrjährigen Ergebnisse. Stand: 24.04.2012
URL: http://diabrotica.jki.bund.de/dokumente/upload/eeffe_kurzfassung_energiepflanzen.pdf
- HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2011): Anbautechnik Sorghumhirse – Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenspektrums. Abschlussbericht (unveröffentlicht). Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 69 Seiten
- HAUBOLD-ROSAR, M.; GAST, M.; TONDER, K. (2004): Bodenverbessernde Substrate aus Massenabfällen für die landwirtschaftliche Rekultivierung – Langzeitwirkungen und Handlungsempfehlungen für die Praxis. Abschlussbericht zum BMBF-geförderten F/E-Vorhaben (Laufzeit: 01.01.2001 – 30.11.2003), FKZ: 03399646B
- HAUBOLD-ROSAR, M.; GAST, M.; KATZUR, J. (2001): Auswirkungen des Klärschlammeinsatzes bei der Rekultivierung tertiärer Kippsubstrate auf die N-Verlagerung mit dem Sickerwasser – Ergebnisse von Lysimeteruntersuchungen. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 96 (1), S. 27-30
- HELFFRICH, D.; OECHSNER, H. (2003): Hohenheimer Biogasertragstest. Vergleich verschiedener Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse. *Agrartechnische Forschung* 9 (2003) Heft 3, S. 27 - 30
- Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) (2005): Classification of Herbicides According to Site of Action. In: www.hracglobal.com. Abgerufen in den Jahren 2011 bis 2013.
- HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C. (2012): In: Energiepflanzen für Biogasanlagen. Regionalbroschüre Sachsen, S. 80 - 81. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- HEUWINKEL, H.; ASCHMANN, A.; GERLACH, R.; GRONAUER, A. (2009): Die Genauigkeit der Messung des Gasertragspotenzials von Substraten mit der Batchmethode.
- HORSTMANN, F.; EDER, J.; HEUWINKEL, H.; RIECKMANN, C. (2010): Biogasmais - welchen Einfluss hat der Kolben? In: *Forum New Power*, JG. 4, S. 2-3
- JÄGER, F. (2008): Saatgutqualität und Feldaufgang von Sorghum. *Sorghum Aktuell* 4/2008. Aus Zusammenstellung Infomaterial Fachtagung Sorghum 2009.
- JEROCH, H.; DROCHNER, W.; SIMON, O. (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

- KATZUR, J, HAUBOLD-ROSAR, M., LIEBNER, C. (2000): Wissenschaftlicher Vorlauf für die Rekultivierung im Lausitzer Braunkohlenrevier, Teilvorhaben 2: Bodenverbessernde Substrate aus Massenabfällen für die landwirtschaftliche Rekultivierung. Abschluss-bericht BMBF-Projekt (Laufzeit: 01.02.1995 – 31.03.1999), FKZ: 1470933.
- KNOCHE, D., ERTLE, C., SCHERZER, J., SCHULTZE, B. (2012): Kippenwälder des Lausitzer Braunkohlenreviers im Klimawandel. Teil I: Klimazenario der fernen Zukunft und Baumarteneignung. Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol., 46, 4, S.145-151
- KORNATZ, P. (2012): In: Energiepflanzen für Biogasanlagen. Regionalbroschüre Sachsen, S. 82 - 84. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2012): Stickstoffdüngung im Getreide. <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/getreide/getreide-n-duengung.pdf> (Stand: 24.04.2014)
- LANGE, CH. (2013): FNR-Verbundvorhaben Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen, Teilvorhaben 5: „Wasserverbrauch und -nutzungseffizienz von Sorghumhirsen sowie ökologische Auswirkungen des Sorghumanbaus“. Zwischenbericht 29.04.2013, unveröff.
- LASER, H. (2005): Vergleichbarkeit der Rohproteinbestimmung nach DUMAS und nach KJELDAHL bei unterschiedlichen Weideaufwüchsen. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 7, 146-149
- LEURS, K. (2005): Einfluss von Häcksellänge, Aufbereitungsgrad und Sorte auf die Siliereigenschaften von Mais. Dissertation. Institut für Landtechnik, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- LETTAU, T., KUZJAKOV, Y. (1999): Verwertung organischer Substanzen durch mikrobielle Bodenbiomasse als eine Funktion chemisch-thermodynamischer Parameter. J. Plant Nutr. Soil Sci., 162, 171-177
- LUFF-SCHOORL-Methode analog der Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, §35 vorläufiges Tabakgesetz, §28b GentTG. Herausgeber und Redaktion: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). Beuth Verlag GmbH, Berlin
- MARSALIS, M.; BEAN, B. (2010): Western Forage Production Guide. United Sorghum Checkoff Program, Texas.
In: http://amarillo.tamu.edu/files/2010/11/WesternForageGuide_FINAL.pdf. Abgerufen am: 20.03.2012
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2011): Endbericht Verbundvorhaben „Anbautechnik Sorghumhirsen – Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenspektrums“, Teilvorhaben 3: Evaluierung von Saatzeiten, Herbizideinsatz, Anbau auf rekultivierten Flächen sowie Praxiserhebungen zum Sorghumhirseanbau. Teilbericht: Ergebnisse 2008–2011. Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Güterfelde
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2012): Zwischenbericht Verbundvorhaben „Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanze“ Teilvorhaben 3: Herbizidprüfung, Anbau auf Rekultivierungsstandorten und Praxisumfrage zum Sorghumanbau. Teilbericht: Ergebnisse 2011. Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Güterfelde
- MÄRTIN, M.; BARTHELMES, G. (2014): FNR-Verbundvorhaben Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen, Teilvorhaben 3: Herbizideinsatz, Anbau auf Rekultivierungsstandorten, Praxiserhebung. Vortrag zum Sorghum-Projekttreffen in Hannover, 04.-05.02.2014.

- Methodensammlung Biogas ((ISSN 2192-1806), angelehnt an die VDLUFA-Vorschriften der Futtermittelanalyse (Naumann & Bassler (1976–2012); VDLUFA-Methodenhandbuch Band III; Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Dritte Auflage mit Ergänzungsbänden.
- MILLER, F. R.; STROUP, J. A. (2003): Brown Midrib Forage Sorghum, Sudangrass, And Corn: What Is The Potential? 33rd California Alfalfa & Forage Symposium, 17-19. December 2003, Monterey, California. In: <http://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2003/03-143.pdf>. Abgerufen am: 07.04.2014
- MUKENGELE, M.; OECHSNER, H. (2007): Einfluss der Silierung auf den spezifischen Methanertrag bei Mais. Landtechnik 62/1, S. 20 - 21
- NUSSBAUM, H. (2013): Gute Silage braucht Nitrat zur Gärung. <http://www.lazbw.de/pb/,Lde/Startseite/Gruenlandwirtschaft+und+Futterbau/Gaerprozesse+und+Fehlgaerungen> (Stand 12.05.2014)
- PLENÉT, D.; CRUZ, P. (1997): The Nitrogen Requirement of Major Agricultural Crops: Maize and Sorghum. In: G. Lemaire (Hg.): Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, S. 93–107
- PREDIGER, G.; TIGGEMANN, B.; SCHMIDT, I. (2007a): Der Feldversuch – Durchführung und Technik. Teil 1 : Grundlagen – Literaturverzeichnis. Selbstverlag Fritz Wagner, 3. Auflage
- PREDIGER, G.; TIGGEMANN, B.; SCHMIDT, I. (2007b): Der Feldversuch – Durchführung und Technik. Teil 2 : Spez. Versuchsdurchführung – Berechnungen Tabellen - Bezugsquellen. Selbstverlag Fritz Wagner, 3. Auflage
- R Development Core Team (2011): R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- REEB, D. (2011): Einfluss der Kaliumdüngung auf das Wachstum und die Wassernutzungseffizienz von Ackerbohne (*Vicia faba*), Sommerweizen (*Triticum aestivum*) und Tomate (*Solanum lycopersicum*) unter Kontroll-, Trockenstress- bzw. Salinitätsbedingungen. Giessen, VVB Lauferweiler, 2011
- REHM, S.; ESPIG, G. (1996): Sorghum. In: S. Rehm und G. Espig (Hg.): Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen. Anbau, wirtschaftliche Bedeutung, Verwertung; 55 Tabellen. 3. Aufl. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer, S. 31–37
- REICH, J. M. (2005): Utilizing The BMR Trait In Sudangrass And Sorghums. 35th California Alfalfa & Forage Symposium, 12-14. December 2005, Visalia, California. In: <http://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2005/05-159.pdf>. Abgerufen am: 07.04.2014
- REUS, D. (2011): Vergleichskriterium Deckungsbeitrag. Methodenbeschreibung auf der EVA-Homepage
- RIEDEL, M. (2011): Laborbefund, LELF Brandenburg.
- RÖHRICHT, CH.; ZANDER, D. (2009): Anbautechnik Sorghumhirsen – Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenspektrums. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Heft 36/2009. www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/4561_1.pdf (Stand: 29.02.2012)
- ROLLER, A.; BLOCH, D.; STICKSEL, E.; FRITZ, M. (2012): Sorghumhirse als Nachwachsender Rohstoff. Sortenscreening und Anbauszenarien. Berichte aus dem TFZ, Nr. 28. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 158 Seiten, ISSN 1614-1008
- UCHINO, H.; WATANABE, T.; RAMU, K.; SAHRAWAT, K.L.; MARIMUTHU, S.; WANI, S.P.; ITO, O. (2013): Effects of Nitrogen Application on Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the Semi-Arid Tropical Zone of India
- VOIT, B.; WUTZ, S.; STICKSEL, E.; ROLLER, A.; KILLERMANN, B. (2008): Keimfähigkeit, Triebkraft und Feldaufgang bei Sorghumhirse. Vortrag: TFZ-Workshop „Sorghumhirse“, Straubing 2008
- VON BUTTLAR, C. (2012): Wasserrahmenrichtlinie und Energiepflanzenbau – Ansätze für den praktischen Gewässerschutz in Kooperation mit der Landwirtschaft. Vortrag im Rahmen des 3. Forums Energiepflanzen, 04..05.06.2012 in Jena
- VON WULFFEN, U.; ROSCHKE, M.; KAPE, H.-E. (2008): Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV) - Gemeinsame Hinweise der Länder Branden-

- burg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt. Bern-burg, Güterfelde, Rostock . Fachinformation LVL Brandenburg
- VOS, J.; BIEMOND, H. (1992): Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant: I. Leaf appearance, expansion, growth, life span of the leaves and stem branching. In: *Annals of Botany* 70, S. 27–35
- WAGNER, M.; KNOBLAUCH, S. (2011): FNR-Verbundvorhaben Anbautechnik Sorghumhirse – Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenspektrums, Teilvorhaben 2: Ökologische Untersuchungen zum Energiehirseanbau (Wasser- und Nährstoffeffizienz) und Gärrestverwertung. Abschlussbericht. 88 S.
- WEIßBACH, F.; KUHLA, S. (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter. Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. *Übersicht Tierernährung* 23, S. 189 - 214
- WEIßBACH, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffe. In: *Landtechnik*, Jg. 6, Nr. 63, S. 356-358a
- WEIßBACH, F. (2009): Das Gasbildungspotenzial von Halm- und Körnerfrüchten bei der Biogasgewinnung. *Landtechnik* 5/2009, S. 317 – 321
- ZANDER, D., RÖHRICHT, CH. (2008): Anbau und Nutzung von Energiehirse als Alternative für ertragsschwache Standorte in Trockengebieten Deutschlands. *Schriftenreihe der Sächsisches Landesanstalt für Landwirtschaft*, Heft 2/2008
- ZANDER, D., JÄKEL, K. (2012): Sorghumhirsens – Sorten- und Anbauversuche. *Schriftenreihe des LfULG*, Heft 31/2012
- ZEISE, K.; FRITZ, M. (2012): Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik. *Berichte aus dem TFZ*, Nr. 29. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 118 Seiten, ISSN 1614-1008
- ZEISE, K. (2012): Wann muss die Hirse vom Feld? Auch für Sorghum helfen Schätzmethode, um die Siloreife zu erkennen. *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt*, Jg. 202, Nr. 41, S. 32–33

11 Anhang

Anhang 1:	Temperaturen (Monatsmittel) der Jahre 2011–2013 zur Vegetationszeit (Apr.–Okt.) und in den Sommermonaten (Jun.–Aug.) im Vergleich zum langjährigen Mittel am Standort	262
Anhang 2:	Niederschläge (Monatsmittel) der Jahre 2011–2013 zur Vegetationszeit (Apr.–Okt.) und in den Sommermonaten (Jun.–Aug.) im Vergleich zum langjährigen Mittel am Standort	263
Anhang 3:	Temperaturen (Monatsmittel) für Juli bis August an den Versuchsstandorten im Prüfzeitraum 2011–2013.....	264
Anhang 4:	Niederschlag (Monatssumme) für Juli bis August an den Versuchsstandorten im Prüfzeitraum 2011–2013.....	265
Anhang 5:	Bodenparameter vor Aussaat an den Standorten des Sortenversuchs (* = Bodenschicht 0–60 cm, ** = Bodenschicht 0–30 cm).....	266
Anhang 6:	Agrotechnische Maßnahmen in den Sortenversuchen	267
Anhang 7:	Anbauregion Nord, TM-Erträge und -Gehalte, Ergebnisse 2011–2013	268
Anhang 8:	Anbauregion Löss, TM-Erträge und -Gehalte, Ergebnisse 2011–2013	269
Anhang 9:	Anbauregion D-Süd, TM-Erträge und -Gehalte, Ergebnisse 2011–2013.....	270
Anhang 10:	Reifeeinstufung der Sorghumsorten	271
Anhang 11:	Anzahl Vegetationstage von Mais und Sorghum in den Sortenversuchen.....	271
Anhang 12:	Ertragsstärkste Sorten (dt TM/ha), 2011	272
Anhang 13:	Ertragsstärkste Sorten (dt TM/ha), 2012	273
Anhang 14:	Ertragsstärkste Sorten (dt TM/ha), 2013	274
Anhang 15:	Alle Standorte, 3-jährig geprüfte Sorten, Mittel 2011–2013.....	275
Anhang 16:	Alle Anbauregionen, 3-jährig geprüfte Sorten, Mittel 2011–2013.....	276
Anhang 17:	Produktionstechnische Maßnahmen auf den Standorten des Saatzeitenversuches	277
Anhang 18:	Bodenparameter vor Aussaat auf den Standorten des Saatzeitenversuches.....	277
Anhang 19:	Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2011 auf den Standorten des Saatzeitenversuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4.....	278
Anhang 20:	Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2012 auf den Standorten des Saatzeitenversuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4.....	279
Anhang 21:	Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2013 auf den Standorten des Saatzeitenversuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4.....	280
Anhang 22:	Methanhektarertrag auf den Standorten des Saatzeitenversuches, Mittelwerte 2011 bis 2013 \pm Standardabweichung, n = 4	281
Anhang 23:	BBCH-Stadium und Lager zur Ernte von Sorghum im Saatzeitenversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013	282
Anhang 24:	Pflanzen je Quadratmeter nach Auflaufen und Bestandeshöhe zur Ernte von Sorghum im Saatzeitenversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013	283
Anhang 25:	Deckungsbeitrag von Sorghum und Mais im Saatzeitenversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 \pm Standardabweichung, n = 3	284
Anhang 26:	Produktionstechnische Maßnahmen auf den Standorten des Düngeversuches.....	285
Anhang 27:	Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2011 auf den Standorten des Düngeversuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4.....	286
Anhang 28:	Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2012 auf den Standorten des Düngeversuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4.....	287
Anhang 29:	Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2013 auf den Standorten des Düngeversuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4.....	288

Anhang 30:	Relativer Trockenmasseertrag auf den Standorten des Düngeversuches, Kontrolle ohne N-Düngung N0 = 100 %	289
Anhang 31:	Regressionsparameter und Signifikanz sowie Maxima der unabhängigen Variablen der Stickstoff-Ertragsfunktionen, $y = \text{Achsenabschnitt} + B1 \cdot x + B2 \cdot x^2$	290
Anhang 32:	Bestandeshöhe und BBCH-Stadium zur Ernte von Sorghum im Düngeversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013	291
Anhang 33:	Lager zur Ernte und Boniturwerte optischer Stickstoff-Mangel bei Anschluss des Längenwachstums von Sorghum im Düngeversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013.....	292
Anhang 34:	Deckungsbeitrag von Sorghum auf den Standorten des Düngeversuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, $n = 2$	293
Anhang 35:	Produktionstechnische Maßnahmen an den Standorten des Herbizidversuches	294
Anhang 36:	Bodenparameter vor Aussaat an den Standorten des Herbizidversuchs.....	294
Anhang 37:	Produktionstechnische Maßnahmen an den Standorten zum Anbau auf Rekultivierungs-standorten.....	295
Anhang 38:	Bodenparameter vor Aussaat an den Standorten zum Anbau auf Rekultivierungs-standorten	295
Anhang 39:	Übersicht über Aufwandmenge, Einsatztermin, Wirkstoffe, Wirkstoffmengen und Wirkorte der geprüften Herbizide	296
Anhang 40:	Standortbedingungen zur Applikation und Unkrautspektrum	297
Anhang 41:	Gesamtwirkung (%) der Herbizide auf die Unkräuter an den Standorten (2011–2013).....	298
Anhang 42:	Trockenmasseertrag (dt/ha) der Herbizidvarianten relativ zur unbehandelten Kontrolle (2011–2013)	299
Anhang 43:	Trockensubstanzgehalt (%) der Herbizidvarianten (2011–2013).....	300
Anhang 44:	Phytotoxizität der Herbizide (2011–2013).....	301
Anhang 45:	Detailübersicht – Merkmale einzelner Sorten aller Jahre am Standort Güterfelde.....	302
Anhang 46:	Detailübersicht – Merkmale einzelner Sorten aller Jahre am Standort Drözig	303
Anhang 47:	Detailübersicht – Merkmalsdaten einzelner Sorten aller Jahre am Standort Grünwalde	304
Anhang 48:	Detailübersicht – Merkmalsdaten einzelner Sorten aller Jahre am Standort Welzow.....	305
Anhang 49:	Praxiserhebung – Fragebogen.....	306
Anhang 50:	Übersicht über untersuchte Inhaltsstoffe und angewandte Analysemethoden zur Erstellung der NIRS-Kalibration für Sorghum.....	307
Anhang 51:	NIRS-Kalibration für Sorghum, erstellt aus dem Probenmaterial der Jahre 2011–2013	307
Anhang 52:	Erläuterungen zum Hohenheimer Biogastester (HBT)	307
Anhang 53:	Kostenansätze für Arbeitsgänge (Maschinenringsätze, KTBL-Daten) – Praxisbetriebe	308
Anhang 54:	Unterstellte Nährstoffgehalte in organischen Düngemitteln – Praxisbetriebe	308
Anhang 55:	Kosten für organische Düngung in Anlehnung an N-Wirkung im Ausbringungsjahr – Praxisbetriebe	308
Anhang 56:	Durchschnittlicher Pachtzins (€/ha) und Betriebsprämie (€/ha) in den Bundesländern (KTBL, 2012/2013) – Auswertung Praxisbetriebe	308
Anhang 57:	Makronährstoffgehalte und -entzüge von Mais und Sorghum in der Anbauregion D-Nord und D-Süd – Kernsortiment, Mittelwerte 2011–2013 bei Mais und Futtersorghum bzw. Mittelwerte 2012/13 bei Körnerhirse.....	309
Anhang 58:	Makronährstoffgehalte und -entzüge von Mais und Sorghum auf den K- und Lössstandorten – Kernsortiment, Mittelwerte 2011–2013 bei Mais und Futtersorghum bzw. Mittelwerte 2012/13 bei Körnerhirse (* = Mittel der Jahre 2011/12 bzw. Jahr 2012).....	310
Anhang 59:	Stoffliche Zusammensetzung, Methanausbeute und -hektarertrag von Mais und Sorghum in der Anbauregion D-Nord und D-Süd – Kernsortiment, Mittelwerte 2011–2013 bei Mais und Futtersorghum bzw. Mittelwerte 2012/13 bei Körnerhirse (* = ermittelt nach WEIßBACH 2008, keine NIRS-Messung bei Futtersorghum möglich, weil Stärkegehalte in der Regel unterhalb der Nachweisgrenze lagen).....	311
Anhang 60:	Stoffliche Zusammensetzung, Methanausbeute und -hektarertrag von Mais und Sorghum auf den K- und Lössstandorten – Kernsortiment, Mittelwerte 2011–2013 bei Mais und Futtersorghum bzw. Mittelwerte 2012/13 bei Körnerhirse (* = ermittelt nach WEIßBACH, ** = Mittel 2011/12 bzw. 2012,	

	keine NIRS-Messung bei Futtersorghum möglich, weil Stärkegehalte in der Regel unterhalb der Nachweisgrenze lagen)	312
Anhang 61:	Methanausbeute und Hektarertrag von Körnersorghum im Vergleich zu Futtersorghum, Sortenversuch 2012/13	313
Anhang 62:	Deckungsbeiträge (€/ha) der geprüften Mais- und Sorghumsorten an den Versuchsstandorten im Zeitraum 2011–2013.....	314
Anhang 63:	Erlöse (€/ha) der geprüften Mais- und Sorghumsorten an den Versuchsstandorten im Zeitraum 2011–2013.....	315
Anhang 64:	Direkt- und Arbeitserledigungskosten (€/ha) der geprüften Mais- und Sorghumsorten an den Versuchsstandorten im Zeitraum 2011–2013.....	316
Anhang 65:	Auswertung Praxisbetriebe Hauptfruchtanbau 2011–2013, Teil 1 (Betriebe nach Erntejahr und absteigend nach Höhe der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung sortiert, Berechnung durch SCHAERFF & THEIß)	317
Anhang 66:	Auswertung Praxisbetriebe Hauptfruchtanbau 2011–2013, Teil 2 (Betriebe nach Erntejahr und absteigend nach Höhe der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung sortiert, Berechnung durch SCHAERFF & THEIß)	318
Anhang 67:	Auswertung Praxisbetriebe Zweitfruchtanbau 2011–2013, Teil 1 (Betriebe nach Erntejahr und absteigend nach Höhe der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung sortiert, Berechnung durch SCHAERFF & THEIß)	319
Anhang 68:	Auswertung Praxisbetriebe Zweitfruchtanbau 2011–2013, Teil 2 (Betriebe nach Erntejahr und absteigend nach Höhe der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung sortiert, Berechnung durch SCHAERFF & THEIß)	320
Anhang 69:	Vergleich der Betriebsergebnisse von Sorghum im Hauptfruchtanbau bei Leistungsbewertung über Methan- bzw. Silagepreis	321
Anhang 70:	Vergleich der Betriebsergebnisse von Sorghum im Zweitfruchtanbau bei Leistungsbewertung über Methan- bzw. Silagepreis	321
Anhang 71:	Modellkalkulation Silomais und Sorghum bei unterschiedlichem Ertrags- und Silagepreisniveau und unterstelltem Pachtzins von 80 €/ha	322
Anhang 72:	Modellkalkulation Silomais und Sorghum bei unterschiedlichem Ertrags- und Silagepreisniveau und unterstelltem Pachtzins von 175 €/ha	323
Anhang 73:	Modellversuch mit Kleinlysimetern in Buttelstedt	324
Anhang 74:	Messprogramm im Modellversuch mit Kleinlysimetern	324
Anhang 75:	Übersicht ausgewählter anbautechnischer und phänologischer Daten im Modellversuch mit Kleinlysimetern	325
Anhang 76:	Produktionstechnische Maßnahmen am Standort Buttelstedt	325
Anhang 77:	Trockenmasseertrag und TS-Gehalt im Modellversuch mit Kleinlysimetern 2011–2013	326
Anhang 78:	Bodenwasserentzug ausgewählter Kleinlysimeter von Lussi (<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>) und KWS Zerberus (<i>S. bicolor</i>) auf Löss und Sand 2011.....	327
Anhang 79:	Trockenmasseertrag und TS-Gehalt der Kulturen in den Feldversuchen 2011–2013	328
Anhang 80:	Bodenfeuchteausschöpfung 2012 im Bodenfeuchtefeldversuch Buttelstedt (Troxler)	328
Anhang 81:	Bodenfeuchteausschöpfung 2013 im Bodenfeuchtefeldversuch Buttelstedt (Troxler)	329
Anhang 82:	Tiefenausschöpfung des Bodenwassers durch die drei Kulturen 2013 in den Feldversuchen Buttelstedt und Güterfelde	330
Anhang 83:	N-Saldo am Standort Güterfelde (Mittel der Jahre 2011/12)	331
Anhang 84:	Überblick Lysimeteranlage Grünwalde	331
Anhang 85:	Prüfberichte Lysimeteranlage Grünwalde, FIB e. V.....	332
Anhang 86:	Mittlerer Niederschlag und mittlere Lufttemperatur während der Versuchsjahre 2011, 2012 und 2013 am Standort Grünwalde	334
Anhang 87:	BBCH-Bonitur, phänologische Informationen und Ertragsdaten 2011, Lysimeterversuch Grünwalde	335

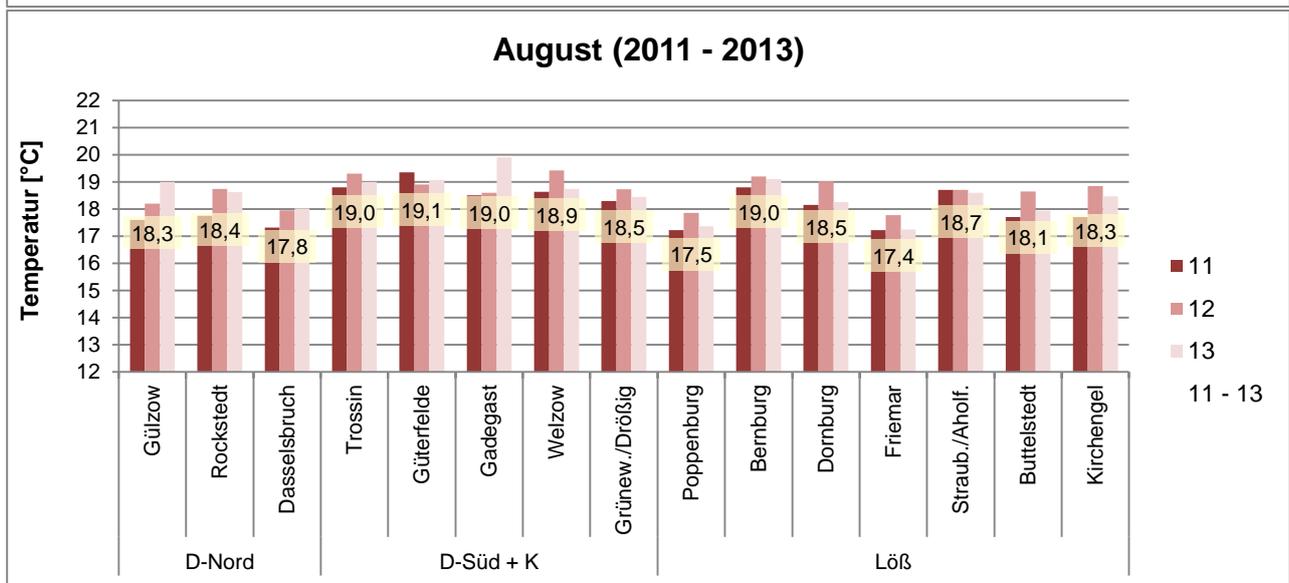
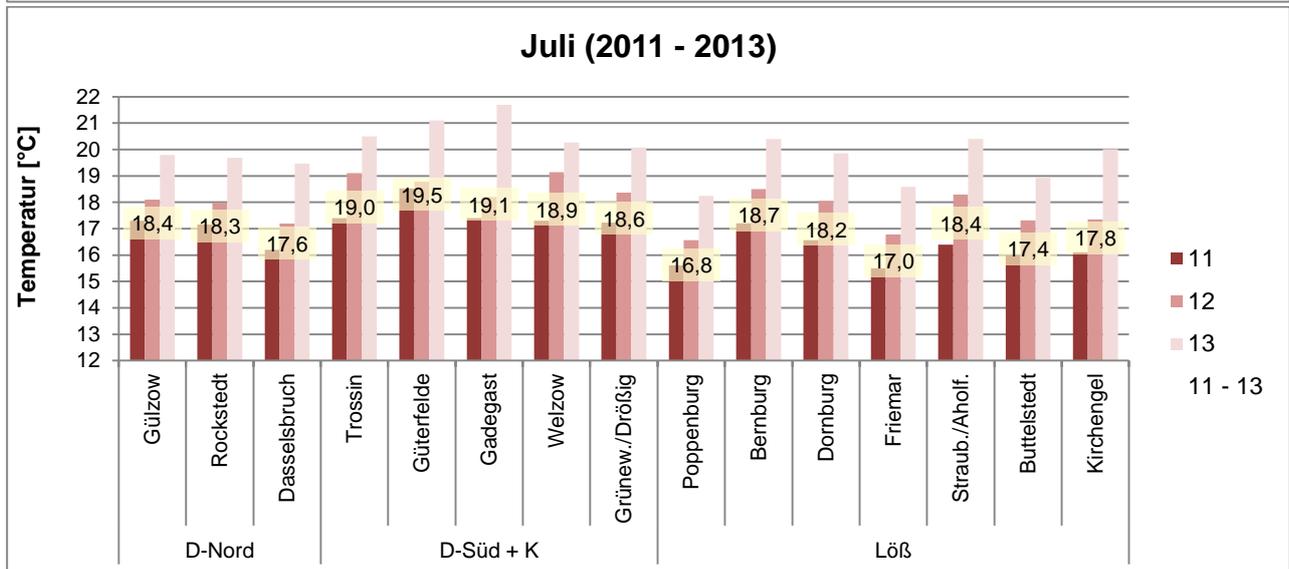
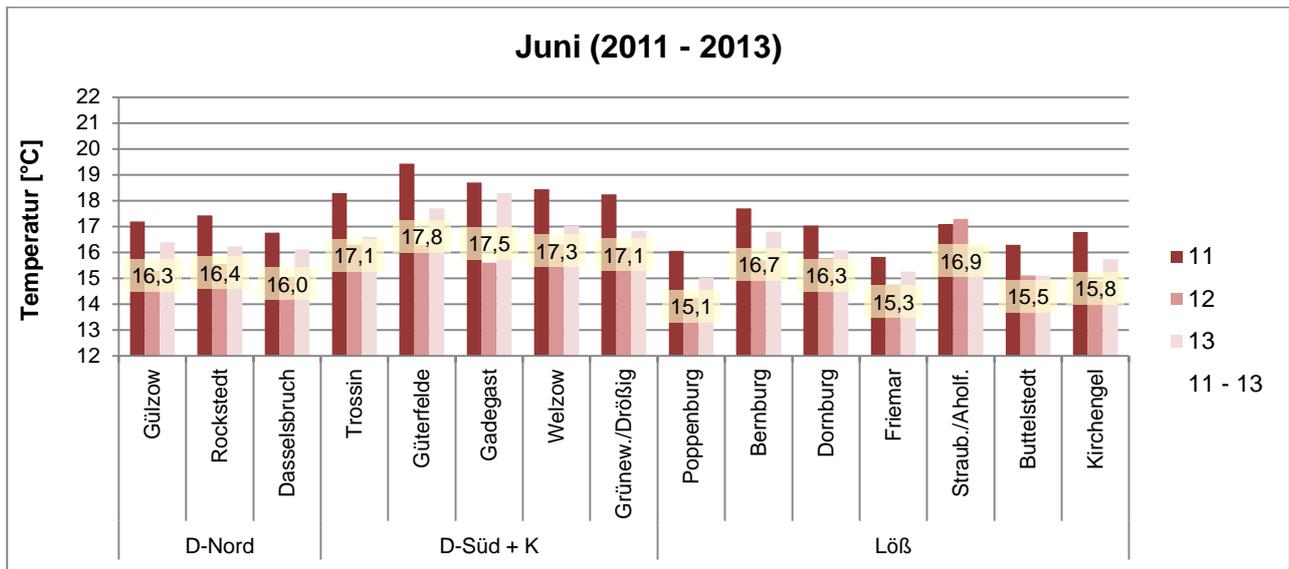
Anhang 88: BBCH-Bonitur, phänologische Informationen und Ertragsdaten 2012, Lysimeterversuch Grünewalde	336
Anhang 89: BBCH-Bonitur, phänologische Informationen und Ertragsdaten 2013, Lysimeterversuch Grünewalde	337

Anhang 1: Temperaturen (Monatsmittel) der Jahre 2011–2013 zur Vegetationszeit (Apr.–Okt.) und in den Sommermonaten (Jun.–Aug.) im Vergleich zum langjährigen Mittel am Standort

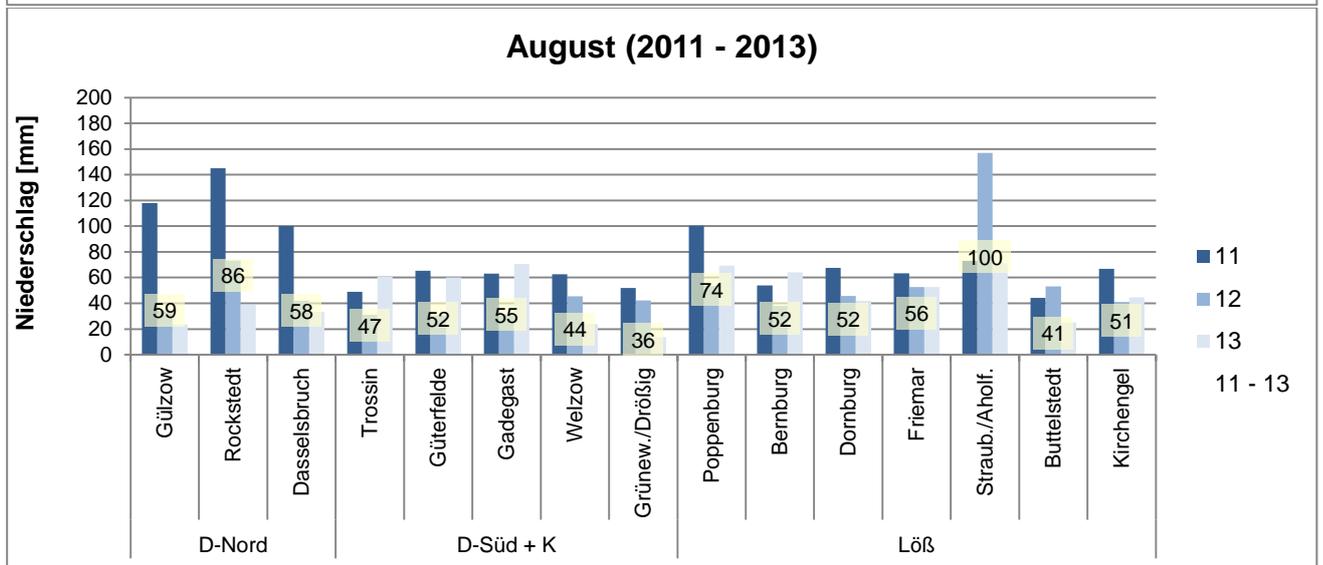
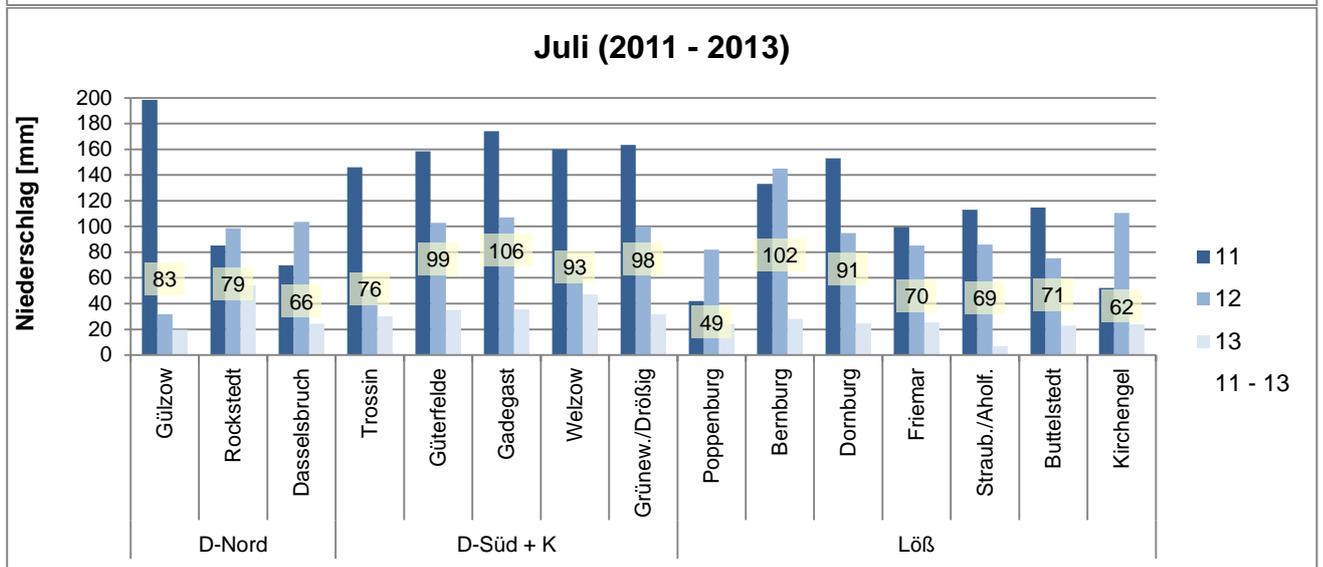
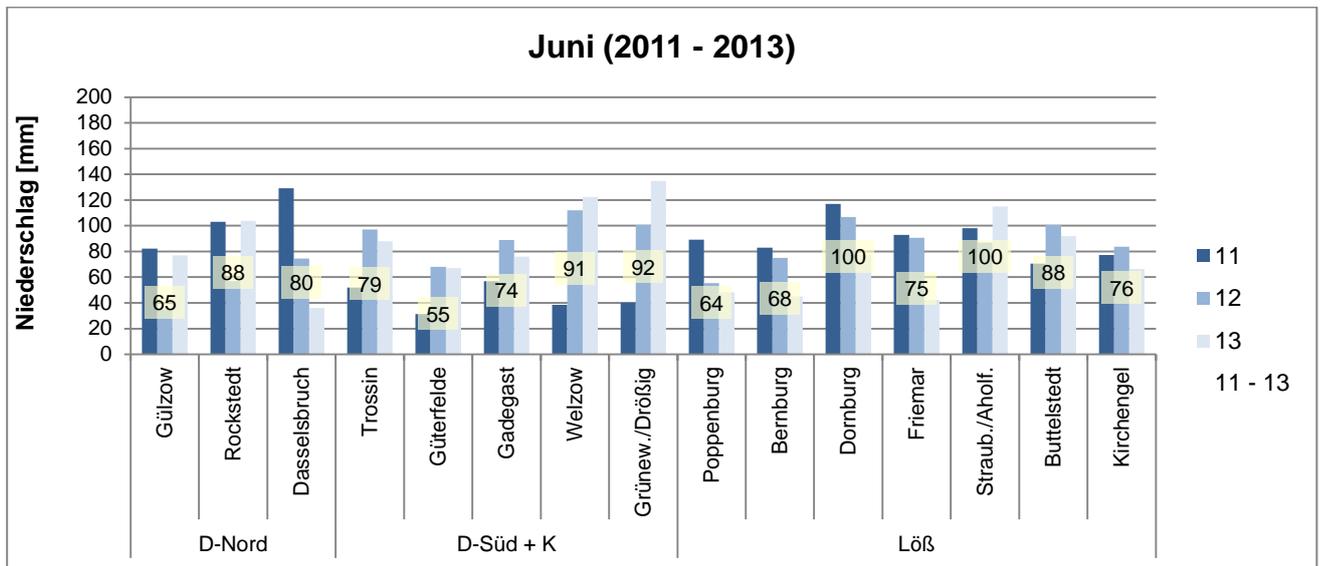
Standort	Temperatur [°C]	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Apr.-Okt.	Jun.-Aug.
Gülzow	Ij. Mittel	8,0	12,4	15,3	17,9	17,4	13,6	9,1	13,4	16,9
	2011	11,5	13,8	17,2	17,3	17,6	15,4	10,0	14,7	17,4
	2012	7,9	13,9	15,3	18,1	18,2	14,1	9,3	13,8	17,2
	2013	7,9	13,9	16,4	19,8	19,0	13,4	11,1	14,5	18,4
Rockstedt	Ij. Mittel	8,4	12,6	15,2	17,6	17,2	13,8	9,8	13,5	16,7
	2011	12,9	14,7	17,4	17,2	17,7	15,8	10,9	15,2	17,4
	2012	8,6	14,7	15,6	18,0	18,7	14,3	10,0	14,3	17,4
	2013	8,4	13,0	16,2	19,7	18,6	14,2	12,0	14,6	18,2
Dasselsbruch	Ij. Mittel	9,0	13,7	16,3	18,7	18,1	14,1	9,6	14,2	17,7
	2011	11,7	13,6	16,8	16,2	17,3	14,8	9,4	14,2	16,8
	2012	8,3	14,9	15,1	17,2	18,0	13,2	9,1	13,7	16,7
	2013	8,3	12,4	16,1	19,5	18,0	13,3	11,1	14,1	17,9
Trossin	Ij. Mittel	8,1	14,0	17,1	19,5	19,1	14,7	10,2	14,7	18,6
	2011	12,0	14,5	18,3	17,4	18,8	16,0	10,0	15,3	18,2
	2012	8,8	15,1	16,3	19,1	19,3	15,2	9,3	14,7	18,2
	2013	8,9	12,9	16,6	20,5	19,0	13,8	11,0	14,7	18,7
Güterfelde	Ij. Mittel	8,8	13,8	16,4	18,0	18,4	13,9	9,2	14,1	17,6
	2011	13,2	15,7	19,4	18,5	19,4	16,5	10,5	16,2	19,1
	2012	9,3	15,6	16,3	18,8	18,9	14,8	9,0	14,7	18,0
	2013	9,0	14,1	17,7	21,1	19,1	13,6	11,0	15,1	19,3
Gadegast	Ij. Mittel	8,0	13,0	16,9	18,0	17,4	13,5	9,0	13,7	17,4
	2011	12,2	15,3	18,7	17,4	18,5	15,2	9,3	15,2	18,2
	2012	8,8	15,3	15,6	18,2	18,6	14,9	8,1	14,2	17,5
	2013	8,9	13,4	18,3	21,7	19,9	14,2	11,8	15,5	20,0
Welzow	Ij. Mittel	8,7	13,8	17,2	18,9	18,2	14,1	9,5	14,3	18,1
	2011	11,9	14,6	18,4	17,3	18,6	15,5	9,7	15,2	18,1
	2012	9,2	15,5	16,3	19,1	19,4	14,8	8,8	14,7	18,3
	2013	8,8	13,5	17,0	20,3	18,7	13,3	11,1	14,7	18,7
Grünwalde/ Dröbzig	Ij. Mittel	8,2	13,1	16,5	18,2	17,7	13,8	9,2	13,8	17,5
	2011	11,8	14,6	18,2	17,2	18,3	15,2	9,5	15,0	17,9
	2012	9,3	15,3	16,2	18,4	18,7	14,3	8,5	14,4	17,8
	2013	8,9	13,3	16,8	20,1	18,4	13,3	10,9	14,5	18,5
Poppenburg	Ij. Mittel	8,9	13,4	16,0	18,4	17,9	14,1	9,9	14,1	17,4
	2011	11,2	13,2	16,1	15,6	17,2	15,0	9,4	14,0	16,3
	2012	8,0	13,7	14,2	16,6	17,9	13,2	8,4	13,2	16,2
	2013	7,9	11,4	15,0	18,2	17,4	12,7	10,6	13,3	16,9
Bernburg	Ij. Mittel	8,3	13,4	16,6	18,2	17,7	14,3	9,8	14,0	17,5
	2011	12,6	14,7	17,7	17,2	18,8	16,3	10,2	15,4	17,9
	2012	9,0	15,2	15,7	18,5	19,2	15,1	9,4	14,6	17,8
	2013	9,0	13,1	16,8	20,4	19,1	14,0	11,3	14,8	18,8
Dornburg	Ij. Mittel	7,2	12,2	15,4	17,2	17,0	13,8	9,2	13,2	16,6
	2011	11,6	14,3	17,0	16,6	18,2	15,4	9,2	14,6	17,2
	2012	8,6	14,8	15,8	18,1	19,0	13,9	8,3	14,1	17,6
	2013	8,4	12,1	16,1	19,9	18,3	13,3	10,6	14,1	18,1
Friemar	Ij. Mittel	7,2	12,0	15,2	16,9	16,7	13,5	9,0	13,0	16,3
	2011	10,5	12,8	15,8	15,5	17,2	14,7	8,5	13,6	16,2
	2012	7,9	14,0	14,8	16,8	17,8	12,8	7,7	13,1	16,4
	2013	7,7	11,2	15,3	18,6	17,2	12,6	9,9	13,2	17,0
Straubing/ Aholting	Ij. Mittel	9,0	14,2	17,0	18,4	18,1	13,5	8,9	14,2	17,8
	2011	11,6	14,6	17,1	16,4	18,7	15,3	8,5	14,6	17,4
	2012	9,5	15,1	17,3	18,3	18,7	13,8	7,9	14,4	18,1
	2013	9,1	12,1	16,2	20,4	18,6	13,4	9,4	14,2	18,4
Buttelstedt	Ij. Mittel	7,5	12,3	15,5	17,2	17,0	13,8	9,3	13,3	16,6
	2011	11,1	13,6	16,3	16,0	17,7	15,2	9,1	14,1	16,7
	2012	8,2	14,3	15,1	17,3	18,6	13,9	8,3	13,7	17,0
	2013	8,0	11,4	15,1	18,9	17,9	13,0	10,2	13,5	17,3
Kirchengel	Ij. Mittel	6,7	11,4	14,5	16,0	16,0	12,9	8,7	12,4	15,5
	2011	12,1	14,2	16,8	16,1	17,7	15,6	9,4	14,6	16,9
	2012	8,2	14,7	14,9	17,4	18,8	13,8	8,2	13,7	17,0
	2013	7,9	11,6	15,7	20,0	18,5	13,0	10,0	13,8	18,1

Anhang 2: Niederschläge (Monatsmittel) der Jahre 2011–2013 zur Vegetationszeit (Apr.–Okt.) und in den Sommermonaten (Jun.–Aug.) im Vergleich zum langjährigen Mittel am Standort

Standort	Nieder- schlag [mm]	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Summe Apr.- Okt.	Summe Jun.- Aug.
Gülzow	Ij. Mittel	34	50	72	65	66	48	42	377	203
	2011	17	36	82	198	118	26	29	506	399
	2012	20	21	35	32	34	37	50	229	101
	2013	23	98	77	20	24	82	60	383	120
Rockstedt	Ij. Mittel	41	53	73	79	72	70	69	457	224
	2011	0	25	103	85	145	56	67	481	333
	2012	42	53	57	99	73	46	66	435	229
	2013	30	111	104	54	39	67	90	495	197
Dasselsbruch	Ij. Mittel	43	53	60	67	67	56	57	402	194
	2011	41	18	129	70	100	37	52	447	299
	2012	24	33	75	104	42	39	68	384	220
	2013	26	157	36	24	33	49	48	374	94
Trossin	Ij. Mittel	33	48	41	75	50	50	27	324	166
	2011	26	26	52	146	49	79	29	407	247
	2012	18	42	97	51	31	25	16	280	179
	2013	49	116	88	30	61	32	14	390	179
Güterfelde	Ij. Mittel	31	53	47	71	53	46	51	352	171
	2011	34	14	31	158	65	62	34	398	255
	2012	23	28	68	103	31	26	26	305	201
	2013	22	78	67	35	60	43	56	361	162
Gadegast	Ij. Mittel	39	53	65	59	68	44	43	371	192
	2011	20	24	57	174	63	84	48	469	294
	2012	25	38	89	107	32	20	19	329	228
	2013	28	101	76	36	71	55	77	441	182
Welzow	Ij. Mittel	39	56	57	73	67	48	38	379	198
	2011	19	29	38	160	63	75	45	429	261
	2012	31	24	112	70	45	59	18	359	228
	2013	14	87	123	47	24	35	41	371	194
Grünwalde/ Drößig	Ij. Mittel	39	53	62	68	66	47	39	373	195
	2011	25	20	40	163	52	111	30	440	255
	2012	32	30	101	100	42	48	17	369	243
	2013	23	102	135	32	14	43	69	417	180
Poppenburg	Ij. Mittel	40	56	59	61	70	57	54	396	190
	2011	38	29	89	42	100	31	37	366	232
	2012	21	50	56	82	54	25	48	335	191
	2013	35	172	48	24	69	42	71	462	142
Bernburg	Ij. Mittel	37	50	56	48	60	37	30	318	164
	2011	24	22	83	133	54	85	21	422	270
	2012	16	54	75	145	38	22	23	373	258
	2013	37	105	45	28	64	63	56	398	137
Dornburg	Ij. Mittel	56	60	78	57	68	42	39	399	203
	2011	22	31	117	153	68	72	37	499	338
	2012	18	48	107	95	46	40	22	374	247
	2013	50	173	77	25	42	53	62	482	144
Friemar	Ij. Mittel	53	59	67	52	54	39	38	362	173
	2011	31	17	93	100	63	25	48	377	256
	2012	16	50	91	85	53	31	23	349	229
	2013	38	202	42	25	53	58	52	470	120
Straubing/ Aholting	Ij. Mittel	40	69	75	85	64	68	57	459	225
	2011	23	111	98	113	73	50	49	517	284
	2012	50	49	87	86	157	42	31	502	330
	2013	38	139	115	7	71	58	55	483	193
Buttelstedt	Ij. Mittel	49	56	74	53	62	42	37	373	189
	2011	18	29	71	115	44	33	24	334	230
	2012	11	51	101	75	53	32	19	342	229
	2013	40	131	92	23	25	50	40	401	140
Kirchengel	Ij. Mittel	44	52	63	54	59	41	36	349	176
	2011	23	16	77	52	67	76	26	337	196
	2012	17	40	84	111	41	31	22	345	235
	2013	45	192	66	24	45	58	91	519	135



Anhang 3: Temperaturen (Monatsmittel) für Juli bis August an den Versuchsstandorten im Prüfzeitraum 2011–2013



Anhang 4: Niederschlag (Monatssumme) für Juli bis August an den Versuchsstandorten im Prüfzeitraum 2011–2013

Anhang 5: Bodenparameter vor Aussaat an den Standorten des Sortenversuchs (* = Bodenschicht 0–60 cm, ** = Bodenschicht 0–30 cm)

Standort	Jahr	N _{min} in kg/ha*	pH	Gehaltsstufe		
				P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Rockstedt	2011	27,0	5,2	B	B	D
	2012	38,0	5,0	B	B	B
	2013	29,0	5,4	B	B	B
Dasselsbruch	2011	44,0	5,3	B	C	D
	2012	46,0	5,1	B	A	D
	2013	43,0	5,2	B	B	C
Gülzow	2011	69,0	7,0	C	C	D
	2012	124,1	5,4	E	D	E
	2013	64,5	6,4	D	C	E
Poppenburg	2011	78,0	6,5	B	B	D
	2012	85,0	6,5	B	B	C
	2013	60,0	6,9	C	B	C
Bernburg	2011	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
	2012	67,0	7,0	B	C	D
	2013	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Friemar	2011	68,0	7,1	E	D	E
	2012	52,0	6,6	E	E	E
	2013	57,0	7,0	A	C	E
Dornburg	2011	64,0	6,8	D	D	E
	2012	68,0	7,5	D	D	D
	2013	41,0	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Straubing	2011	125,0	6,3	B	C	E
	2012	130,0	7,0	B	C	D
	2013	48,0	7,1	B	B	E
Güterfelde	2011	47,0	5,7	B	B	D
	2012	50,0	5,5	C	D	C
	2013	27,0	6,4	C	C	E
Drößig	2011	46,0	5,9	B	B	C
	2012	57,0	5,2	B	C	C
	2013	46,0	6,1	D	D	E
Gadegast	2011	29,0	5,7	C	B	E
	2012	226,6	5,3	D	D	E
	2013	153,5	6,6	D	D	E
Trossin	2011	61,0	6,0	C	B	D
	2012	139,4	6,5	D	D	E
	2013	54,0	5,8	D	C	D

Anhang 6: Agrotechnische Maßnahmen in den Sortenversuchen

Standort	Jahr	Vorfrucht	Bodenbearbeitung	Saatbettbereitung	N-Düngung	Pflanzenschutz
Rockstedt	2011	Mais	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2012	Mais	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2013	Winterroggen	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
Dasselsbruch	2011	Brache	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2012	Mais	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2013	Sorghum	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
Gülzow	2011	Winterweizen	Pflug/Herbst	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold/Bromotril 225
	2012	Winterweizen	Pflug/Herbst	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold/Bromotril 225
	2013	Wintergerste	Pflug/Herbst	Saatbettkomb.	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold/Bromotril 225
Poppenburg	2011	Zuckerrüben	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2012	Zuckerrüben	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2013	Zuckerrüben	Pflug/Frühjahr	Grubber	110 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
Bernburg	2011		Pflug/Frühjahr	Grubber	90 kg N/ha KAS vor Saat 90 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2012		Pflug/Frühjahr	Grubber	90 kg N/ha KAS vor Saat 90 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2013		Pflug/Herbst	Grubber	90 kg N/ha KAS vor Saat 90 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2013		Pflug/Herbst	Grubber	90 kg N/ha KAS vor Saat 90 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
Friemar	2011	Sommerweizen	Pflug/Herbst	Grubber	110 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2012	Somergerste	Pflug/Herbst	Grubber	150 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2013	Wintergerste	Pflug/Herbst	Grubber	140 kg N/ha DMA N 24 nach Saat	Gardo Gold
Dornburg	2011	Winterraps	Pflug/Herbst	Grubber	110 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2012		Pflug/Herbst	Grubber	130 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
	2013	Getreide-Legum.-Gem.	Pflug/Herbst	Grubber	120 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold
Straubing	2011	Winterweizen	Pflug/Frühjahr	Grubber	70 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold/Certrol B
	2012	Winterweizen	Pflug/Frühjahr	Grubber	60 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold/Certrol B
	2013	Winterweizen	Pflug/Herbst	Kreiselegge	85 kg N/ha KAS nach Saat	Gardo Gold/Certrol B
Güterfelde	2011	Kleegras	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Gardo Gold/Certrol B
	2012	Kleegras	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Gardo Gold/Arrat+Dash
	2013	Kleegras	Pflug/Frühjahr	Saatbettkomb.	120 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Gardo Gold/Certrol B
Drößig	2011	Gelbsenf	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Gardo Gold
	2012	Grünlandbrache	Pflug/Herbst	Grubber	120 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Gardo Gold
	2013	Kleegras	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Gardo Gold
Gadegast	2011	Wintertriticale	Pflug/Frühjahr	Grubber	140 kg N/ha Piamon S nach Saat	Gardo Gold/Arrat+Dash
	2012		Pflug/Frühjahr	Grubber	140 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Gardo Gold
	2013	Ackergras	Pflug/Herbst	Grubber	140 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Gardo Gold
Trossin	2011	Weidelgras	Pflug/Frühjahr	Grubber	120 kg N/ha nach Saat	Gardo Gold/Certrol B
	2012	Weidelgras	Pflug/Frühjahr	Grubber	90 kg N/ha nach Saat	Gardo Gold
	2013	Ackergras	Pflug/Frühjahr	Grubber	100 kg N/ha nach Saat	Gardo Gold

Anhang 9: Anbauregion D-Süd, TM-Erträge und -Gehalte, Ergebnisse 2011–2013

Sorte	2011 D-SÜD								2012 D-SÜD								2013 D-SÜD								
	Drößig		Gadegast		Güterfelde		Trossin		Drößig		Gadegast		Güterfelde		Trossin		Drößig		Gadegast		Güterfelde		Trossin		
	TM- Ertrag [dt/ha]	TM- Gehalt [%]																							
Mais																									
Atletico S280	137,9	35,2	205,1	33,7	211,5	32,1	172,7	32,2	163,9	33,1	238,5	45,4	206,3	28,5	146,7	34,0	121,0	32,7	124,6	34,1	184,0	29,2	117,0	31,8	
LG 32.16 S260	161,9	35,6	201,2	34,3	201,5	33,0	190,3	31,0	164,2	35,1	243,7	44,2	205,7	30,1	137,6	39,8	128,1	31,7	122,0	31,7	183,9	29,8	128,0	30,7	
Sorghum früh																									
Lussi	158,6	29,2	154,0	35,2	160,2	30,6	110,3	26,0	159,4	36,7	184,7	46,6	141,0	29,6	114,3	36,8	92,2	31,0	64,1	32,9	123,6	31,2	104,5	33,6	
KWS Freya	171,7	28,1	176,0	32,6	171,8	29,4	138,7	26,1	175,3	31,8	179,7	37,6	144,8	26,8	120,2	30,3	96,6	29,8	60,3	26,6	132,0	28,9	94,0	28,0	
Nutri Honey	111,7	21,6	139,2	26,3	137,3	22,1	105,5	19,9																	
KWS Sole									152,7	33,4	185,7	39,0	152,1	28,3	112,2	32,1	97,2	30,0	66,2	28,5	135,1	29,4	75,7	29,5	
Farmsugro 180									82,0	23,0	123,6	29,8	78,4	20,4	122,2	32,7									
Sorghum spät																									
Sucrosorgo 506	206,8	25,5	178,3	25,8	179,5	22,1	166,5	25,0	118,5	21,4	157,5	26,4	168,3	20,4	129,1	23,6									
Hercules	184,2	26,6	200,7	30,0	226,4	28,0	258,0	40,4	129,5	22,5	152,8	27,6	198,9	23,9	126,8	24,1	95,2	22,5	72,2	21,0	161,4	24,6	85,5	19,2	
BMR 201	98,0	20,1	125,3	24,3	111,7	20,6	83,0	19,6																	
Super Dolce	100,9	21,7	148,6	27,1	125,8	22,6	143,7	28,7																	
KWS Zerberus	188,0	28,6	192,8	31,3	198,7	29,3	189,0	33,3	143,9	27,3	158,7	32,5	175,4	26,8	119,1	28,0	93,9	24,8	71,4	25,7	146,0	27,9	87,5	22,2	
KWS Odin	232,6	32,5	201,3	31,2	203,9	29,6	191,1	33,3																	
Amiggo	200,4	31,1	182,9	31,0	193,9	29,8	194,8	35,8	167,1	27,6	151,0	32,5	184,3	27,8	118,9	27,5	101,2	26,1	72,4	25,9	153,8	29,7	80,1	22,4	
KWS Merlin									140,5	26,0	160,6	32,1	182,6	25,7	124,3	26,4	106,9	24,5	77,8	23,7	157,2	27,6	78,2	21,6	
KWS Tarzan									156,6	25,0	160,0	32,9	201,6	27,9	119,7	27,9	108,7	24,6	70,6	24,7	149,9	28,9	65,1	22,7	
Farmsugro 180																	57,3	24,5	38,9	28,4	109,8	29,1	67,5	22,1	
Joggy																	99,3	22,6	65,6	20,5	152,0	25,2	72,3	17,7	
Uluru									157,7	24,1	151,1	29,1	*	*	111,0	29,5									
Kylie									143,3	20,6	153,0	26,1	*	*	112,6	23,6									
EUG 221 F									158,0	22,1	151,6	27,5	202,9	23,9	113,1	24,3	106,1	23,0	74,5	21,7	160,1	24,8	64,2	17,7	
Zeus																	103,6	22,0	77,1	22,0	159,6	24,1	59,9	17,7	
PR823F																	110,2	24,1	78,0	22,3	158,1	26,4	78,1	18,4	
Biomass 150	266,0	31,3	226,2	30,9	244,9	28,4	216,4	35,1																	
Niagara 2	117,4	19,5	156,4	23,8	145,0	21,5	160,5	26,2																	
Latte	157,5	25,3	165,9	27,0	158,5	24,0	179,8	32,0																	

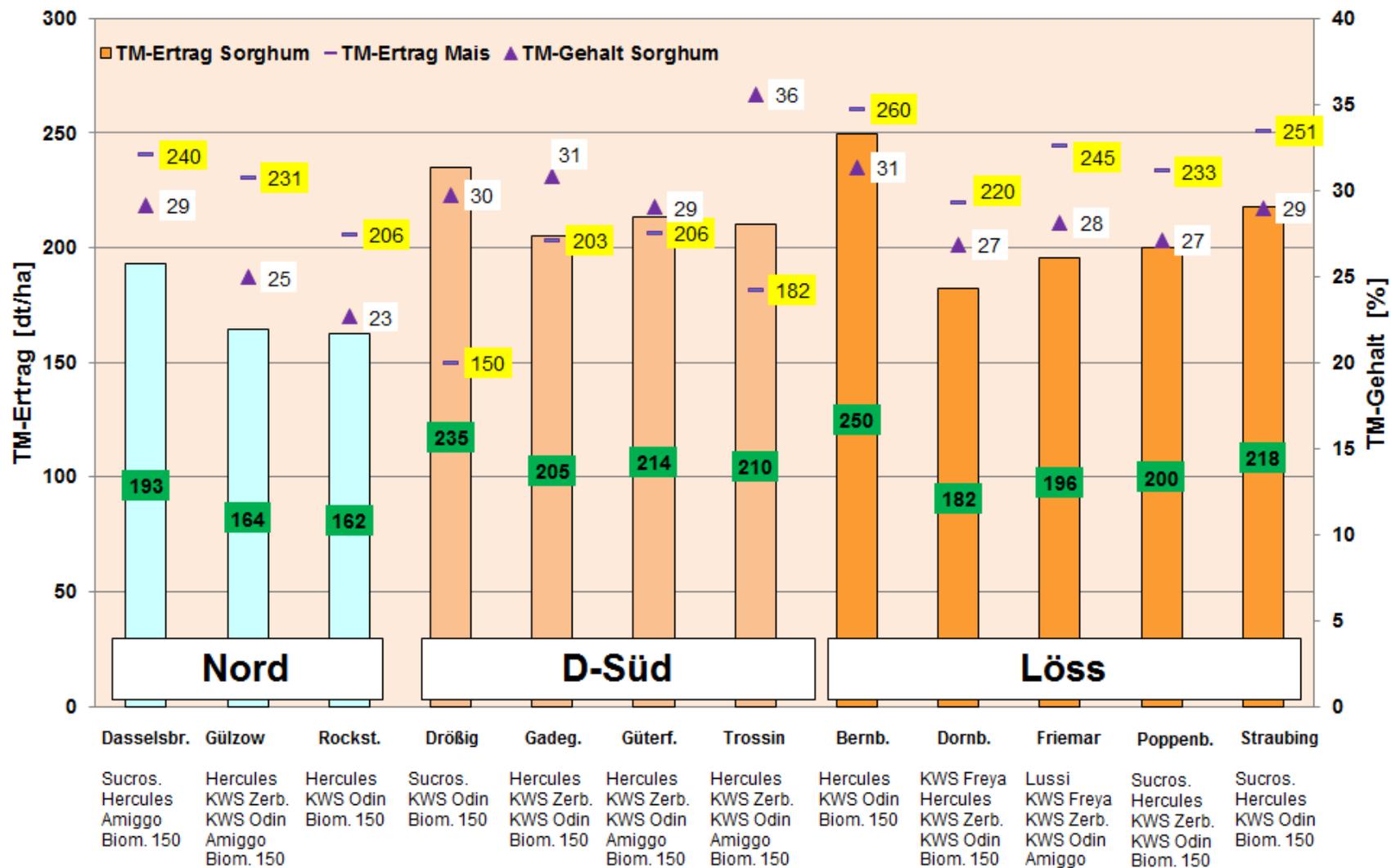
* = kein auswertbares Ergebnis aufgrund vertauschter Aussaatmengen

Anhang 10: ReifeEinstufung der Sorghumsorten

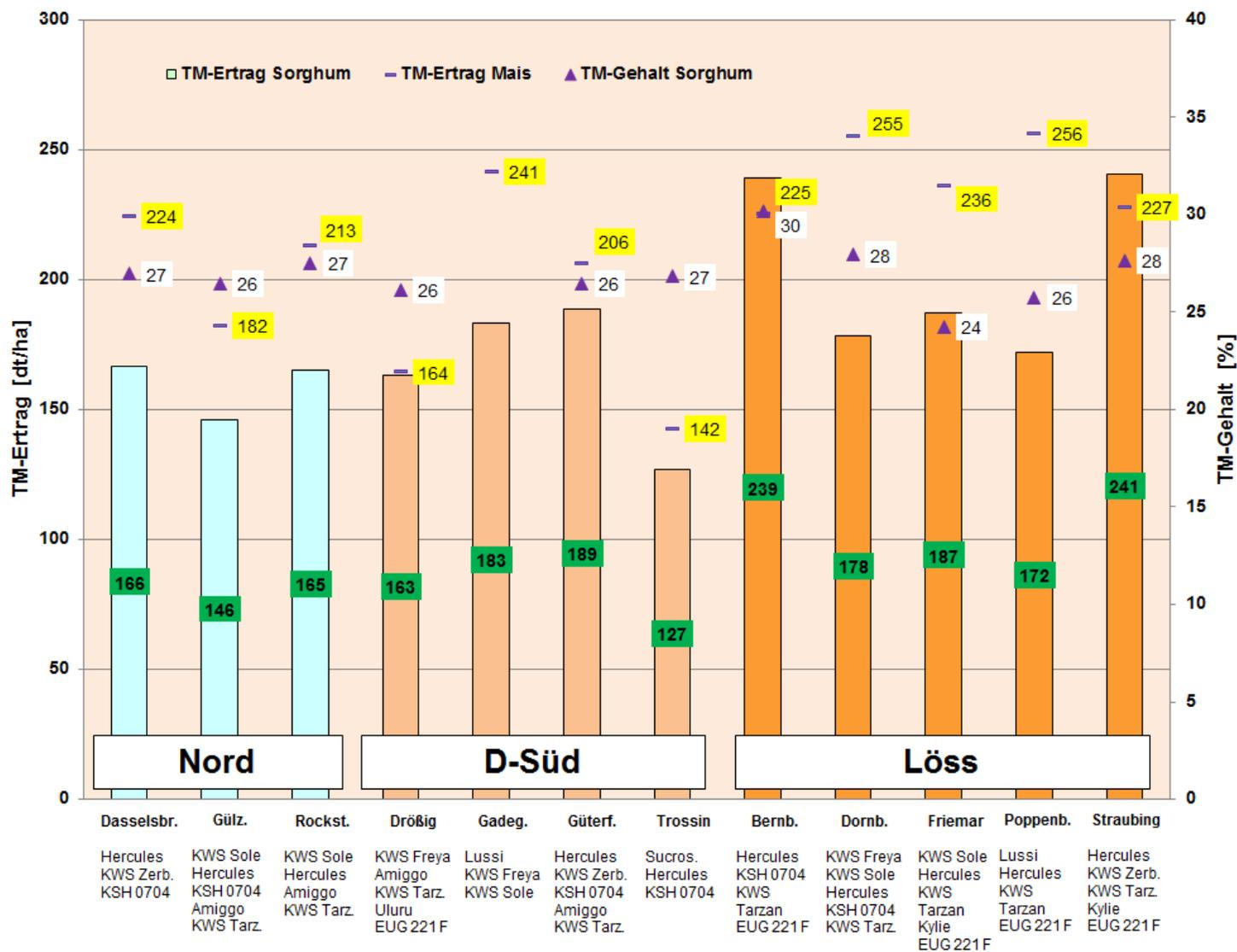
Fruchtart	Sorte	ReifeEinstufung
Sorghum bicolor x Sorghum sudanense	Lussi	früh
	KWS Freya	früh
	Nutri Honey	mittelfrüh
Sorghum bicolor	KWS Sole	früh
	Sucrosorgo 506	spät
	Hercules	spät
	BMR 201	mittelspät
	Super Dolce	mittelfrüh
	KWS Zerberus	mittelfrüh
	KWS Odin	mittelfrüh
	Amiggo	mittelfrüh
	KWS Merlin	mittelfrüh
	KWS Tarzan	mittelfrüh
	Farmsugro 180	mittelfrüh
	Joggy	mittelspät
	Uluru (NUS-F-17)	mittelspät
	Kylie	mittelspät
	EUG 221 F	mittelspät
	Zeus	mittelspät
	PR823F	mittelfrüh
Biomass 150	mittelfrüh	
Niagara 2	spät	
Latte	mittelspät	

Anhang 11: Anzahl Vegetationstage von Mais und Sorghum in den Sortenversuchen

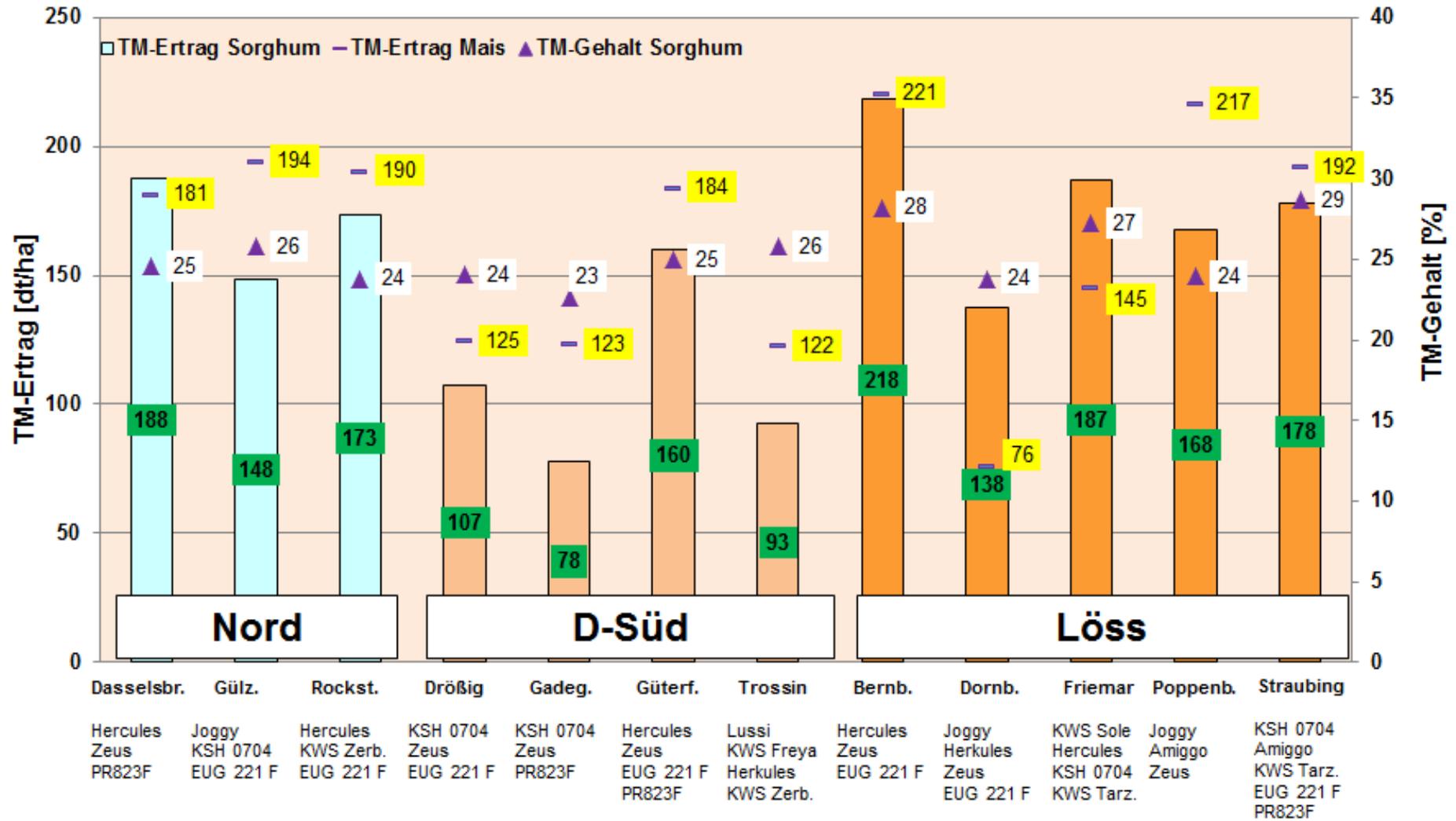
Anbau region	Standort	2011 Vegetationstage			2012 Vegetationstage			2013 Vegetationstage		
		Mais	Sorghum früh	Sorghum spät	Mais	Sorghum früh	Sorghum spät	Mais	Sorghum früh	Sorghum spät
Nord	Rockstedt	154	140	158	174	124	153	170	126	160
	Dasselsbruch	158	128	155	140	120	147	156	123	157
	Gülzow	161	108	140	147	135	135	158	146	146
Löss	Poppenburg	159	128	155	170	114	143	170	141	161
	Bernburg	147	118	138	140	131	146	139	128	139
	Friemar	136	126	133	136	118	125	143	132	137
	Dornburg	150	140	140	146	122	143	158	124	124
	Straubing	157	128	150	132	144	144	152	132	144
D-Süd	Güterfelde	134	119	147	132	112	149	139	121	147
	Drößig	139	120	135	132	114	147	136	129	150
	Gadegast	138	143	151	136	135	135	143	117	160
	Trossin	133	128	161	131	117	143	126	117	147



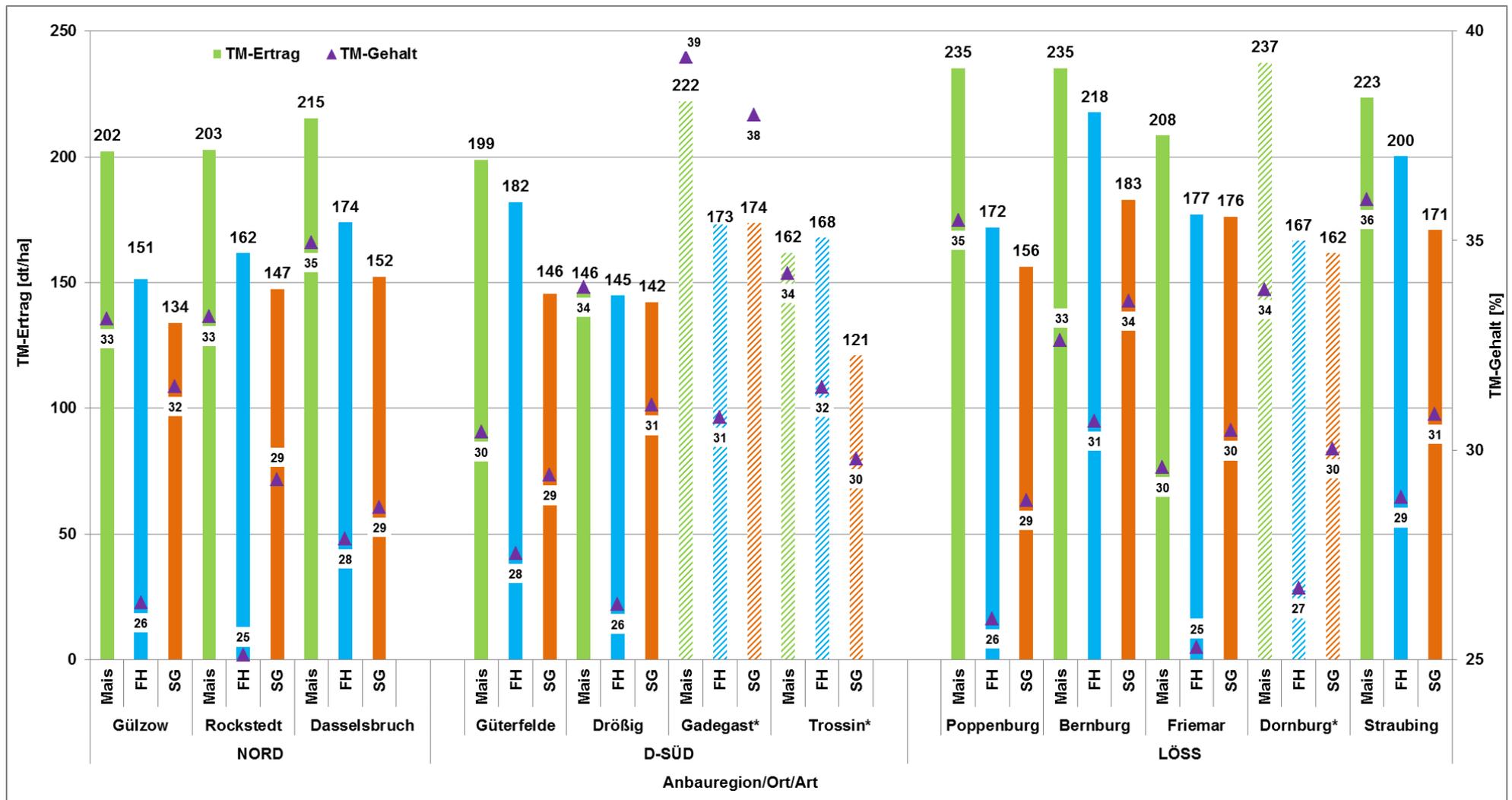
Anhang 12: Ertragsstärkste Sorten (dt TM/ha), 2011



Anhang 13: Ertragsstärkste Sorten (dt TM/ha), 2012



Anhang 14: Ertragsstärkste Sorten (dt TM/ha), 2013

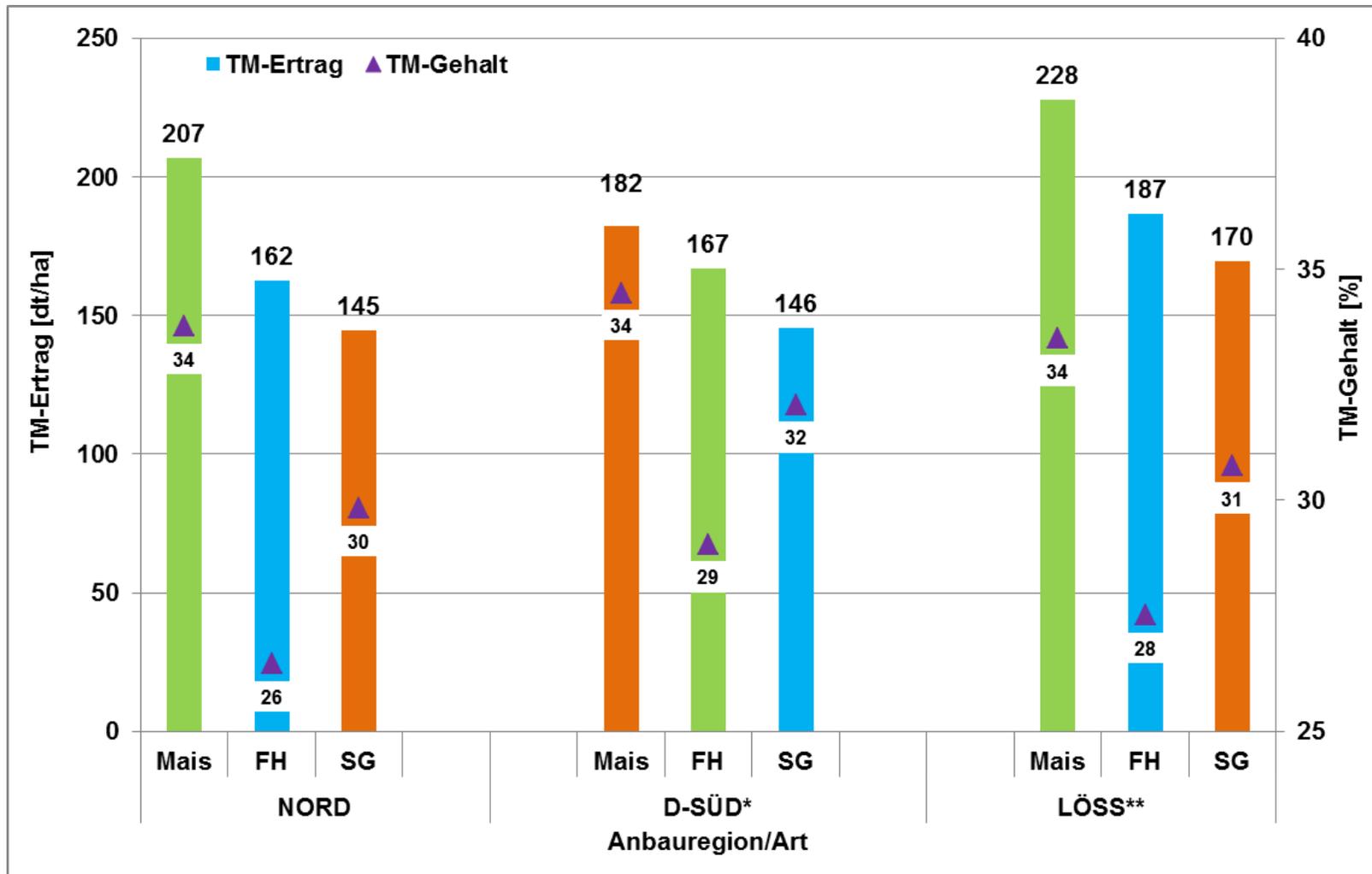


Anhang 15: Alle Standorte, 3-jährig geprüfte Sorten, Mittel 2011–2013

FH = Futterhirse

SG = Sudangrashybride

* = ohne Ergebnisse 2013



Anhang 16: Alle Anbauregionen, 3-jährig geprüfte Sorten, Mittel 2011–2013

FH = Futterhirse

SG = Sudangrashybride

* = ohne Ergebnisse 2013 (Gadegast und Trossin)

** = ohne Ergebnisse 2013 (Dornburg)

Teilvorhaben 2

Anhang 17: Produktionstechnische Maßnahmen auf den Standorten des Saatzeitenversuches

Standort	Jahr	Vorfrucht	Bodenbearbeitung	Saatbettbereitung	N-Düngung (Sorghum/Mais)	Pflanzenschutz
Aholting	2011	Zuckerrübe	Pflug/Herbst	Kreiselegge + Packerwalze	120/140	Certrol B; G.Gold
	2012	Kartoffel	Pflug/Herbst	Kreiselegge + Packerwalze	94/134	Certrol B; G.Gold
	2013	Kartoffel	Pflug/Herbst	Kreiselegge + Packerwalze	95/125	Certrol B; G.Gold
Dasselsbruch	2011	Brache	Pflug/Frühjahr	Kreiselgrubber	100/80	Gardo Gold
	2012	Mais	Pflug/Frühjahr	Kreiselgrubber	100/100	Gardo Gold
	2013	Sorghum	Pflug/Frühjahr	Feingrubber	80/80+ je 18 UFD	Gardo Gold
Güterfelde	2011	Kleegrass	Pflug/ Frühjahr	Saatbettkombi	120/120	Certrol B; G.Gold; Karate Zeon
	2012	WiGe	Pflug/ Frühjahr	Saatbettkombi	120/120	G.Gold; Arrat; Dash; Karate Zeon
	2013	Kleegrass	Pflug/ Frühjahr	Saatbettkombi	120/120	Gardo Gold; Karate Zeon
Gülzow	2011	WW	Pflug/Herbst	Kompaktor Lemken	120/120	Certrol B; G.Gold; Karate Zeon
	2012	WW	Pflug/Herbst	Kompaktor Lemken	120/120	Bromotril 225; G.Gold
	2013	WiGe	Pflug/Herbst	Kompaktor Lemken	120/120	Bromotril 225; G.Gold, Karate Zeon
Trossin	2011	Weidelgras	Pflug/April	Grubber	100/100	Gardo Gold
	2012	Weidelgras	Pflug + Scheibenegge/Frühj.	Kreiselegge	90/72	Gardo Gold
	2013	Weidelgras	Pflug/ Frühjahr	Kreiselegge	100/100	Gardo Gold
Straubing	2011	WW	Pflug/Herbst	Kreiselegge + Packerwalze	70/90	Certrol B; G.Gold
	2012	WW	Pflug/Herbst	Kreiselegge + Packerwalze	60/100	Certrol B; G.Gold
	2013	WW	Pflug/Herbst	Kreiselegge + Packerwalze	85/115	Certrol B; G.Gold

Anhang 18: Bodenparameter vor Aussaat auf den Standorten des Saatzeitenversuches

Standort	Jahr	N _{min} * vor Saat in kg/ha Saat 1/2/3/4	pH**	P ₂ O ₅ in kg/ha**	K ₂ O in kg/ha**	Mg in kg/ha**
Aholting	2011	42 / 77 / 155 / 101	6,3	24,0 D	7,2 B	9,6 B
	2012	56 / 160 / 242 / 128	6,1	18,0 C	28,0 D	10,0 C
	2013	114 / 90 / 57 / 44	6,3	30,0 D	32 E	9,5 C
Dasselsbruch	2011	44 / - / - / -	5,3	13,7 C	7,2 C	8,0 C
	2012	43 / - / - / -	5,1	21,0 D	2,0 A	5,0 B
	2013	43 / 43 / 43 / 43	-	-	-	-
Güterfelde	2011	81 / 110 / 131 / 153	6,0	13,5 C	10,8 C	7,2 B
	2012	48 / 58 / 91 / 80	6,1	12,0 C	15,0 C	4,0 B
	2013	30 / 51 / 116 / 170	6,3	19,2 C	15,6 C	19,2 C
Gülzow	2011	83 / 81 / 224 / 96	7,0	29,6 D	17,6 C	5,9 B
	2012	107 / 99 / 146 / 266	5,3	25,0 D	14,7 C	15,0 C
	2013	- / - / - / -	-	-	-	-
Trossin	2011	84 / 98 / 242 / 147	6,0	11,0 C	10,6 C	10,3 C
	2012	88 / - / - / -	6,5	19,0 C	13,0 C	13,0 C
	2013	63 / 137 / 156 /	6,1	16,9 C	9,7 C	12,1 C
Straubing	2011	55 / 125 / 155 / 151	6,4	16,0 C	14,5 C	23,5 D
	2012	91 / 130 / 154 / 180	7,3	22,0 D	15,0 C	9,0 C
	2013	123 / 103 / 67 / 112	7,1	15,0 C	9,0 B	13,1 C

**Anhang 19: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2011 auf den Standorten des Saatzeite-
versuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4**

Ort	Sorte	Trockenmasseertrag in dt/ha				Trockensubstanzgehalt in %			
		Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Ahofing	KWS Freya	235 \pm 13	210 \pm 14	216 \pm 25	135 \pm 11	31 \pm 1	27 \pm 1	28 \pm 2	26 \pm 2
	Hercules	291 \pm 31	235 \pm 27	202 \pm 41	132 \pm 20	27 \pm 2	23 \pm 1	23 \pm 1	22 \pm 1
	Lussi	209 \pm 23	220 \pm 26	226 \pm 17	134 \pm 21	30 \pm 1	29 \pm 1	30 \pm 4	27 \pm 1
	Zerberus	252 \pm 40	215 \pm 22	240 \pm 27	116 \pm 23	27 \pm 2	25 \pm 1	26 \pm 1	24 \pm 2
	Mais	276 \pm 8	215 \pm 14	199 \pm 12	187 \pm 6	38 \pm 2	31 \pm 1	29 \pm 1	30 \pm 1
Dasselsbruch	KWS Freya	175 \pm 12	154 \pm 9	141 \pm 5	74 \pm 16	36 \pm 1	34 \pm 2	31 \pm 2	23 \pm 1
	Hercules	198 \pm 14	167 \pm 20	148 \pm 4	82 \pm 16	32 \pm 1	30 \pm 5	25 \pm 1	20 \pm 2
	Lussi	158 \pm 12	161 \pm 18	137 \pm 11	76 \pm 16	35 \pm 2	33 \pm 2	35 \pm 2	26 \pm 1
	Zerberus	175 \pm 14	156 \pm 5	147 \pm 5	79 \pm 10	30 \pm 1	31 \pm 1	29 \pm 1	24 \pm 1
	Mais	229 \pm 11	206 \pm 6	169 \pm 12	168 \pm 12	38 \pm 2	38 \pm 2	33 \pm 2	33 \pm 2
Güterfelde	KWS Freya	162 \pm 9	168 \pm 5	159 \pm 14	123 \pm 3	31 \pm 1	30 \pm 1	32 \pm 2	28 \pm 1
	Hercules	199 \pm 7	192 \pm 9	151 \pm 9	117 \pm 6	27 \pm 1	26 \pm 2	25 \pm 1	23 \pm 1
	Lussi	164 \pm 5	156 \pm 6	142 \pm 7	121 \pm 7	33 \pm 1	30 \pm 1	32 \pm 1	33 \pm 1
	Zerberus	181 \pm 3	180 \pm 8	162 \pm 5	126 \pm 14	29 \pm 1	28 \pm 1	29 \pm 1	26 \pm 1
	Mais	177 \pm 3	177 \pm 8	165 \pm 12	144 \pm 12	33 \pm 1	31 \pm 1	34 \pm 1	26 \pm 2
Gülzow	KWS Freya	172 \pm 5	141 \pm 13	159 \pm 4	75 \pm 14	28 \pm 2	26 \pm 1	30 \pm 1	24 \pm 1
	Hercules	195 \pm 18	158 \pm 24	164 \pm 3	62 \pm 10	23 \pm 1	22 \pm 0	24 \pm 1	21 \pm 1
	Lussi	142 \pm 9	152 \pm 8	155 \pm 17	74 \pm 15	27 \pm 1	29 \pm 2	32 \pm 2	27 \pm 2
	Zerberus	160 \pm 26	123 \pm 3	157 \pm 8	55 \pm 6	26 \pm 0	25 \pm 0	27 \pm 1	22 \pm 0
	Mais	253 \pm 14	248 \pm 14	196 \pm 6	129 \pm 11	30 \pm 1	28 \pm 1	31 \pm 1	24 \pm 1
Straubing	KWS Freya	208 \pm 3	192 \pm 24	147 \pm 24	142 \pm 15	34 \pm 1	32 \pm 1	29 \pm 1	27 \pm 1
	Hercules	230 \pm 22	223 \pm 34	155 \pm 21	137 \pm 18	30 \pm 1	30 \pm 4	25 \pm 1	24 \pm 2
	Lussi	197 \pm 4	189 \pm 21	124 \pm 10	122 \pm 10	34 \pm 1	33 \pm 2	29 \pm 3	30 \pm 0
	Zerberus	212 \pm 13	192 \pm 24	163 \pm 34	144 \pm 17	30 \pm 2	29 \pm 1	27 \pm 1	26 \pm 1
	Mais	257 \pm 19	241 \pm 2	179 \pm 3	194 \pm 6	37 \pm 2	32 \pm 1	27 \pm 1	30 \pm 1
Trossin	KWS Freya	205 \pm 12	193 \pm 18	136 \pm 29	94 \pm 20	33 \pm 1	29 \pm 1	28 \pm 2	23 \pm 1
	Hercules	235 \pm 16	210 \pm 23	108 \pm 20	76 \pm 22	27 \pm 1	25 \pm 1	23 \pm 1	16 \pm 1
	Lussi	219 \pm 24	178 \pm 15	111 \pm 19	81 \pm 16	28 \pm 1	28 \pm 1	30 \pm 2	27 \pm 0
	Zerberus	214 \pm 17	202 \pm 17	127 \pm 17	101 \pm 10	30 \pm 1	24 \pm 1	27 \pm 1	21 \pm 0
	Mais	216 \pm 17	223 \pm 16	166 \pm 12	123 \pm 12	37 \pm 2	33 \pm 1	32 \pm 2	26 \pm 1

**Anhang 20: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2012 auf den Standorten des Saatzeite-
versuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4**

Ort	Sorte	Trockenmasseertrag in dt/ha				Trockensubstanzgehalt in %			
		Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholfing	KWS Freya	214 \pm 15	207 \pm 7	192 \pm 15	176 \pm 6	35 \pm 1	33 \pm 1	32 \pm 1	29 \pm 1
	Hercules	240 \pm 11	257 \pm 7	214 \pm 6	202 \pm 17	29 \pm 1	27 \pm 0	27 \pm 1	24 \pm 0
	Lussi	198 \pm 5	206 \pm 10	194 \pm 14	173 \pm 19	35 \pm 1	34 \pm 1	34 \pm 1	31 \pm 0
	Zerberus	222 \pm 13	226 \pm 11	200 \pm 6	176 \pm 14	31 \pm 0	29 \pm 0	29 \pm 1	26 \pm 1
	Mais	246 \pm 10	262 \pm 12	209 \pm 4	183 \pm 12	39 \pm 1	40 \pm 2	37 \pm 3	29 \pm 2
Dasselsbruch	KWS Freya	155 \pm 10	136 \pm 11	138 \pm 9	119 \pm 9	30 \pm 1	27 \pm 0	29 \pm 1	26 \pm 1
	Hercules	167 \pm 5	138 \pm 7	141 \pm 5	112 \pm 7	23 \pm 1	21 \pm 1	22 \pm 1	21 \pm 1
	Lussi	151 \pm 10	132 \pm 10	127 \pm 18	107 \pm 12	32 \pm 0	31 \pm 2	32 \pm 1	28 \pm 1
	Zerberus	164 \pm 21	136 \pm 11	130 \pm 8	117 \pm 15	26 \pm 1	24 \pm 1	25 \pm 1	22 \pm 1
	Mais	196 \pm 5	195 \pm 10	152 \pm 2	127 \pm 4	35 \pm 1	33 \pm 1	30 \pm 0	27 \pm 1
Güterfelde	KWS Freya	161 \pm 3	160 \pm 12	131 \pm 6	113 \pm 11	37 \pm 1	34 \pm 2	28 \pm 1	28 \pm 1
	Hercules	193 \pm 12	180 \pm 11	142 \pm 4	110 \pm 6	30 \pm 1	26 \pm 0	21 \pm 0	20 \pm 1
	Lussi	160 \pm 10	159 \pm 11	134 \pm 2	110 \pm 13	39 \pm 1	38 \pm 2	32 \pm 1	31 \pm 1
	Zerberus	162 \pm 8	162 \pm 2	126 \pm 5	109 \pm 12	32 \pm 1	30 \pm 1	25 \pm 1	23 \pm 0
	Mais	172 \pm 13	154 \pm 5	123 \pm 9	117 \pm 5	36 \pm 2	39 \pm 2	32 \pm 1	27 \pm 1
Gülzow	KWS Freya	133 \pm 21	143 \pm 17	85 \pm 17	69 \pm 21	29 \pm 1	28 \pm 1	28 \pm 1	24 \pm 0
	Hercules	130 \pm 24	122 \pm 15	69 \pm 9	60 \pm 11	24 \pm 1	22 \pm 1	20 \pm 2	19 \pm 1
	Lussi	125 \pm 13	126 \pm 15	86 \pm 7	77 \pm 13	32 \pm 0	31 \pm 1	31 \pm 1	29 \pm 1
	Zerberus	137 \pm 29	127 \pm 13	66 \pm 11	74 \pm 17	26 \pm 1	25 \pm 1	24 \pm 1	21 \pm 1
	Mais	179 \pm 26	200 \pm 21	117 \pm 20	96 \pm 13	34 \pm 1	31 \pm 1	28 \pm 1	21 \pm 1
Straubing	KWS Freya	197 \pm 9	206 \pm 13	196 \pm 20	182 \pm 10	30 \pm 1	33 \pm 1	31 \pm 4	29 \pm 0
	Hercules	221 \pm 6	248 \pm 9	221 \pm 6	203 \pm 12	23 \pm 0	28 \pm 1	27 \pm 1	25 \pm 1
	Lussi	190 \pm 8	187 \pm 16	208 \pm 19	156 \pm 26	31 \pm 1	36 \pm 1	35 \pm 1	31 \pm 0
	Zerberus	206 \pm 12	236 \pm 12	218 \pm 12	171 \pm 11	25 \pm 0	29 \pm 1	28 \pm 1	26 \pm 0
	Mais	232 \pm 7	270 \pm 29	243 \pm 5	198 \pm 12	34 \pm 2	38 \pm 3	40 \pm 2	31 \pm 1
Trossin	KWS Freya	102 \pm 11	107 \pm 5	101 \pm 14	72 \pm 10	33 \pm 2	31 \pm 1	29 \pm 1	25 \pm 1
	Hercules	103 \pm 14	105 \pm 7	108 \pm 7	51 \pm 6	22 \pm 1	21 \pm 0	23 \pm 0	20 \pm 0
	Lussi	109 \pm 9	110 \pm 4	112 \pm 6	106 \pm 24	37 \pm 1	36 \pm 1	34 \pm 1	30 \pm 1
	Zerberus	116 \pm 6	103 \pm 12	102 \pm 6	57 \pm 10	28 \pm 0	26 \pm 2	26 \pm 1	22 \pm 1
	Mais	129 \pm 9	105 \pm 4	66 \pm 5	*	57 \pm 3	34 \pm 1	38 \pm 4	29 \pm 1

* Ausfall

**Anhang 21: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2013 auf den Standorten des Saatzeite-
versuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4**

Ort	Sorte	Trockenmasseertrag in dt/ha				Trockensubstanzgehalt in %			
		Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholting	KWS Freya	85 \pm 16	81 \pm 14	74 \pm 10	98 \pm 28	33 \pm 1	30 \pm 1	28 \pm 2	25 \pm 2
	Hercules	116 \pm 10	93 \pm 12	90 \pm 7	96 \pm 7	23 \pm 0	22 \pm 1	21 \pm 1	19 \pm 1
	Lussi	91 \pm 11	92 \pm 19	86 \pm 11	95 \pm 2	34 \pm 0	33 \pm 0	32 \pm 2	30 \pm 1
	KWS Zerb.	84 \pm 6	83 \pm 6	74 \pm 12	77 \pm 6	28 \pm 1	27 \pm 0	25 \pm 2	22 \pm 1
	Mais	68 \pm 3	98 \pm 4	107 \pm 9	78 \pm 8	49 \pm 3	42 \pm 2	38 \pm 1	27 \pm 1
Dasselsbruch	KWS Freya	148 \pm 11	165 \pm 24	156 \pm 10	114 \pm 9	30 \pm 2	34 \pm 2	32 \pm 1	28 \pm 1
	Hercules	145 \pm 15	182 \pm 28	160 \pm 11	109 \pm 12	22 \pm 1	25 \pm 1	24 \pm 0	23 \pm 0
	Lussi	148 \pm 20	165 \pm 9	156 \pm 18	114 \pm 11	30 \pm 2	37 \pm 1	36 \pm 2	31 \pm 2
	KWS Zerb.	145 \pm 5	182 \pm 7	160 \pm 34	109 \pm 15	26 \pm 2	29 \pm 1	25 \pm 2	24 \pm 1
	Mais	173 \pm 12	155 \pm 17	151 \pm 15	122 \pm 9	36 \pm 1	47 \pm 3	36 \pm 1	25 \pm 1
Güterfelde	KWS Freya	165 \pm 16	163 \pm 8	150 \pm 3	138 \pm 5	36 \pm 2	33 \pm 2	32 \pm 1	27 \pm 0
	Hercules	192 \pm 7	174 \pm 9	171 \pm 9	137 \pm 4	29 \pm 1	26 \pm 1	24 \pm 0	19 \pm 0
	Lussi	162 \pm 15	171 \pm 15	137 \pm 6	131 \pm 8	38 \pm 2	36 \pm 1	34 \pm 1	30 \pm 1
	KWS Zerb.	188 \pm 8	186 \pm 11	162 \pm 3	143 \pm 5	31 \pm 1	31 \pm 2	27 \pm 1	21 \pm 1
	Mais	178 \pm 6	191 \pm 11	153 \pm 3	130 \pm 12	36 \pm 1	32 \pm 0	33 \pm 0	25 \pm 1
Gülzow	KWS Freya	145 \pm 4	137 \pm 12	131 \pm 10	115 \pm 3	34 \pm 1	33 \pm 1	35 \pm 1	30 \pm 1
	Hercules	160 \pm 10	147 \pm 7	142 \pm 7	125 \pm 10	28 \pm 1	26 \pm 1	26 \pm 1	24 \pm 1
	Lussi	141 \pm 6	122 \pm 9	107 \pm 13	106 \pm 3	39 \pm 1	36 \pm 1	39 \pm 0	35 \pm 2
	KWS Zerb.	144 \pm 9	143 \pm 7	140 \pm 11	123 \pm 3	31 \pm 2	30 \pm 1	31 \pm 1	27 \pm 0
	Mais	208 \pm 8	188 \pm 9	154 \pm 3	121 \pm 9	40 \pm 1	36 \pm 1	45 \pm 1	36 \pm 2
Straubing	KWS Freya	182 \pm 9	153 \pm 15	164 \pm 16	114 \pm 26	35 \pm 1	33 \pm 1	31 \pm 1	28 \pm 1
	Hercules	206 \pm 11	188 \pm 14	179 \pm 10	148 \pm 10	26 \pm 1	25 \pm 1	24 \pm 0	21 \pm 0
	Lussi	181 \pm 6	160 \pm 9	136 \pm 16	129 \pm 4	38 \pm 2	36 \pm 1	34 \pm 1	30 \pm 1
	KWS Zerb.	185 \pm 9	170 \pm 13	142 \pm 17	81 \pm 24	29 \pm 1	28 \pm 1	28 \pm 0	25 \pm 1
	Mais	218 \pm 6	213 \pm 12	186 \pm 5	*	43 \pm 0	42 \pm 1	38 \pm 0	30 \pm 1
Trossin	KWS Freya	104 \pm 17	113 \pm 15	114 \pm 9	110 \pm 9	37 \pm 1	32 \pm 2	30 \pm 2	28 \pm 1
	Hercules	120 \pm 18	76 \pm 8	126 \pm 7	112 \pm 6	26 \pm 1	21 \pm 2	22 \pm 0	20 \pm 1
	Lussi	105 \pm 5	102 \pm 10	121 \pm 7	105 \pm 8	43 \pm 1	36 \pm 2	34 \pm 2	30 \pm 1
	KWS Zerb.	124 \pm 25	93 \pm 18	123 \pm 10	109 \pm 5	30 \pm 1	25 \pm 2	26 \pm 1	22 \pm 1
	Mais	114 \pm 13	121 \pm 6	105 \pm 11	95 \pm 11	46 \pm 3	47 \pm 1	49 \pm 4	33 \pm 2

* Ausfall

Anhang 22: Methanhektarertrag auf den Standorten des Saatzeitenversuches, Mittelwerte 2011 bis 2013 ± Standardabweichung, n = 4

Ort	Sorte	Nm ³ Methan/ha			
		Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholfing*	KWS Freya	4920 ± 333	4398 ± 88	4524 ± 302	3459 ± 591
	Hercules	5638 ± 882	5003 ± 920	4326 ± 519	3656 ± 1083
	Lussi	4152 ± 62	4294 ± 198	4499 ± 599	3346 ± 589
	KWS Zerberus	5139 ± 373	4714 ± 211	4693 ± 228	3420 ± 1053
	Mais	7070 ± 465	6566 ± 994	5600 ± 274	5111 ± 14
Dasselsbruch	KWS Freya	3520 ± 244	3329 ± 519	3209 ± 344	2287 ± 657
	Hercules	3708 ± 462	3486 ± 460	3300 ± 248	2239 ± 449
	Lussi	3283 ± 165	3171 ± 441	2942 ± 234	2156 ± 466
	KWS Zerberus	3584 ± 166	3275 ± 313	3118 ± 169	2286 ± 522
	Mais	5414 ± 844	5010 ± 781	4288 ± 245	3765 ± 649
Gülzow	KWS Freya	3547 ± 484	3108 ± 234	2862 ± 878	2057 ± 820
	Hercules	3613 ± 820	3004 ± 455	2790 ± 1192	1887 ± 993
	Lussi	3215 ± 513	2903 ± 148	2626 ± 736	1908 ± 490
	KWS Zerberus	3236 ± 334	2880 ± 394	2739 ± 1127	1951 ± 924
	Mais	6009 ± 1001	5869 ± 781	4302 ± 1041	3132 ± 437
Güterfelde	KWS Freya	3685 ± 167	3671 ± 24	3260 ± 461	2612 ± 320
	Hercules	4204 ± 253	3805 ± 234	3327 ± 249	2565 ± 291
	Lussi	3446 ± 79	3574 ± 281	3018 ± 116	2498 ± 281
	KWS Zerberus	3763 ± 467	3750 ± 181	3167 ± 419	2649 ± 343
	Mais	4835 ± 28	4873 ± 372	4067 ± 565	3495 ± 326
Straubing	KWS Freya	4296 ± 108	4083 ± 530	3742 ± 602	3228 ± 697
	Hercules	4857 ± 129	4808 ± 640	4081 ± 877	3661 ± 913
	Lussi	4047 ± 108	3859 ± 253	3364 ± 953	2941 ± 404
	KWS Zerberus	4473 ± 219	4455 ± 611	3742 ± 927	2917 ± 932
	Mais	6379 ± 360	6756 ± 750	5725 ± 1038	3631 ± 3146
Trossin [#]	KWS Freya	4571	4332	2994	1949
	Hercules	5000	4320	2269	1623
	Lussi	4783	3751	2470	1764
	KWS Zerberus	4777	4363	2806	2177
	Mais	5607	5821	4411	3309

* 2011–2012; # 2011

Anhang 23: BBCH-Stadium und Lager zur Ernte von Sorghum im Saatzeitenversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013

Ort	Sorte	BBCH				Lager			
		Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholfing*	Lussi	84	82	82	77	4	3	4	4
	KWS Freya	84	83	80	74	4	4	3	3
	KWS Zerberus	77	73	73	69	1	1	2	3
	Hercules	74	72	67	64	2	2	2	3
	Mais	87	86	84	83	1	1	1	1
Dasselsbruch	Lussi	84	85	80	73	4	4	3	5
	KWS Freya	85	84	81	72	3	5	5	3
	KWS Zerberus	74	74	70	64	2	1	2	2
	Hercules	75	73	64	61	2	2	2	3
	Mais	88	88	87	86	1	1	1	1
Güterfelde	Lussi	83	84	81	70	4	4	3	2
	KWS Freya	83	82	80	69	3	3	2	3
	KWS Zerberus	75	71	64	54	1	1	1	2
	Hercules	68	62	56	46	1	2	3	3
	Mais	85	84	84	78	1	1	1	1
Gülzow	Lussi	75	74	71	66	2	3	2	2
	KWS Freya	71	70	68	62	2	3	2	1
	KWS Zerberus	67	65	62	49	1	2	1	1
	Hercules	56	53	49	46	2	2	1	1
	Mais	86	84	82	76	1	1	1	1
Straubing	Lussi	86	85	85	76	3	5	5	4
	KWS Freya	85	82	82	73	5	5	4	5
	KWS Zerberus	73	73	70	64	1	2	4	4
	Hercules	70	67	63	58	2	2	2	3
	Mais	87	87	85	78	1	1	1	1
Trossin [#]	Lussi	75	73	73	58	1	1	1	1
	KWS Freya	83	83	74	55	1	1	1	1
	KWS Zerberus	-	83	75	66	1	1	1	1
	Hercules	83	83	75	55	1	1	1	1
	Mais	85	85	83	75	1	1	1	1

* 2011–2012; [#] 2011

Anhang 24: Pflanzen je Quadratmeter nach Auflaufen und Bestandeshöhe zur Ernte von Sorghum im Saatzeitenversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013

Ort	Sorte	Höhe in cm				Pflanzen je m ²			
		Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4	Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholfing*	Lussi	308	325	351	335	31	31	30	28
	KWS Freya	323	343	376	361	26	29	27	25
	KWS Zerb.	341	356	367	348	18	21	21	16
	Hercules	366	415	406	379	16	19	17	15
	Mais	273	279	278	299				
Dasselsbruch	Lussi	322	312	308	279	46	44	46	47
	KWS Freya	331	326	311	279	42	39	46	48
	KWS Zerb.	352	323	309	271	27	27	29	31
	Hercules	348	346	332	279	23	24	25	28
	Mais	285	291	287	289				
Güterfelde	Lussi	307	294	284	285	37	29	36	40
	KWS Freya	307	321	316	304	35	28	37	38
	KWS Zerb.	344	354	340	302	22	17	21	22
	Hercules	380	376	349	309	25	17	22	22
	Mais	263	258	247	260				
Gülzow	Lussi	261	274	258	210	43	36	43	41
	KWS Freya	260	283	261	202	31	32	33	35
	KWS Zerb.	270	282	258	202	21	22	20	23
	Hercules	283	289	260	196	21	20	20	21
	Mais	245	253	218	220				
Straubing	Lussi	314	325	323	331	28	27	29	34
	KWS Freya	337	346	353	335	27	28	29	30
	KWS Zerb.	345	355	343	336	17	19	19	20
	Hercules	385	403	392	356	16	18	17	20
	Mais	265	269	271	296				
Trossin [#]	Lussi	365	325	345	285	27	18	8	22
	KWS Freya	363	373	373	310	30	26	9	23
	KWS Zerb.	350	370	365	290	22	21	5	22
	Hercules	375	418	410	293	22	13	10	20
	Mais	240	273	255	233				

* 2011–2012; [#] 2011

Anhang 25: Deckungsbeitrag von Sorghum und Mais im Saatzeitenversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013 ± Standardabweichung, n = 3

Ort	Sorte	Euro/ha			
		Saat 1	Saat 2	Saat 3	Saat 4
Aholfing*	Hercules	1019 ± 164	859 ± 133	629 ± 166	439 ± 247
	KWS Freya	770 ± 45	647 ± 48	614 ± 41	358 ± 162
	KWS Zerberus	828 ± 68	709 ± 76	722 ± 121	328 ± 206
	Lussi	732 ± 10	776 ± 5	768 ± 83	454 ± 156
	Mais	1318 ± 134	1130 ± 282	882 ± 104	724 ± 29
Dasselsbruch	Hercules	391 ± 208	347 ± 155	264 ± 64	9 ± 81
	KWS Freya	312 ± 108	269 ± 113	226 ± 60	-25 ± 133
	KWS Zerberus	338 ± 73	272 ± 104	200 ± 65	-26 ± 74
	Lussi	374 ± 42	365 ± 95	301 ± 57	76 ± 114
	Mais	777 ± 188	683 ± 120	477 ± 73	318 ± 201
Gülzow	Hercules	273 ± 132	183 ± 99	82 ± 249	-135 ± 203
	KWS Freya	118 ± 97	116 ± 13	26 ± 197	-195 ± 158
	KWS Zerberus	108 ± 82	100 ± 48	26 ± 256	-185 ± 200
	Lussi	235 ± 59	250 ± 83	134 ± 166	-29 ± 127
	Mais	792 ± 153	775 ± 140	445 ± 260	132 ± 157
Güterfelde	Hercules	544 ± 10	435 ± 53	252 ± 85	49 ± 46
	KWS Freya	332 ± 34	314 ± 6	212 ± 91	71 ± 54
	KWS Zerberus	389 ± 101	395 ± 65	236 ± 123	65 ± 65
	Lussi	431 ± 19	415 ± 68	275 ± 17	176 ± 44
	Mais	583 ± 26	559 ± 86	390 ± 142	212 ± 72
Straubing	Hercules	604 ± 106	628 ± 177	424 ± 177	271 ± 181
	KWS Freya	469 ± 69	401 ± 140	303 ± 132	164 ± 163
	KWS Zerberus	480 ± 79	488 ± 167	347 ± 198	115 ± 226
	Lussi	536 ± 44	487 ± 77	352 ± 254	225 ± 90
	Mais	976 ± 120	1008 ± 178	733 ± 283	636 ± 17
Trossin [#]	Hercules	680	500	-7	-227
	KWS Freya	493	380	98	-151
	KWS Zerberus	557	390	86	-105
	Lussi	569	373	78	-84
	Mais	823	828	461	134

* 2011–2012; # 2011

Anhang 26: Produktionstechnische Maßnahmen auf den Standorten des Düngerversuches

Standort	Jahr	Vorfrucht	Bodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Pflanzenschutz
Aholting	2011	Silomais	Pflug/Herbst	Kreiselegge + Packer	Certrol B; Gardo Gold
	2012	WiGe	Grubber/Frühjahr	Kreiselegge + Packer	Gardo Gold
	2013	GrünRo	Grubber/Frühjahr	Kreiselegge + Packer	Certrol B
Dasselsbruch	2011	Brache	Pflug/Frühjahr	Grubber	Gardo Gold
	2012	Brache	Pflug/Frühjahr	Kreiselgrubber	Gardo Gold
	2013	Silomais	Pflug/Frühjahr	Feingrubber	Gardo Gold
Kirchengel	2011	WW	Pflug/Herbst	Saatbettkombi	
	2012	WiRaps	Pflug/Herbst	Feingrubber	Bromotril 225
	2013	WW	Pflug/Herbst	Kurzscheibenege	
Gülzow	2011	WW	Pflug/Herbst	Lemken Kompaktor	G.Gold; Certrol B; Karate Zeon
	2012	Weidelgras	Pflug/Herbst	Lemken Kompaktor	G.Gold; Certrol B
	2013	WiGe	Pflug/Herbst	Lemken Kompaktor	G.Gold, Bromotril 225; Karate Zeon
Trossin	2011	Weidelgras	Pflug/Frühjahr	Grubber	Gardo Gold
	2012	Möhren	Pflug+Scheibenege/Frühjahr	Grubber + Kreisel	Gardo Gold
	2013	WiGe	Pflug/Herbst	Grubber + Kreisel	G.Gold; Karate Zeon
Straubing	2011	-	-	-	-
	2012	GrünRo	Grubber/Frühjahr	Kreiselegge + Packer	G.Gold; Certrol B
	2013	GrünRo	Grubber/Frühjahr	Kreiselegge + Packer	Certrol B

**Anhang 27: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2011 auf den Standorten des Düngerver-
suches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 4**

Ort	Sorte	Trockenmasseertrag in dt/ha					Trockensubstanzgehalt in %				
		N0	N100	N150	N200	N250	N0	N100	N150	N200	N250
Aholting	KWS Freya	156 \pm 10	170 \pm 9	192 \pm 8	199 \pm 6	194 \pm 8	38 \pm 1	36 \pm 1	38 \pm 1	37 \pm 1	34 \pm 0
	Hercules	181 \pm 13	194 \pm 7	200 \pm 4	200 \pm 10	222 \pm 20	30 \pm 1	30 \pm 1	29 \pm 1	28 \pm 1	28 \pm 3
	Lussi	149 \pm 10	160 \pm 10	162 \pm 10	176 \pm 14	180 \pm 12	38 \pm 2	38 \pm 2	37 \pm 1	36 \pm 0	36 \pm 2
	KWS Zerb.	162 \pm 8	174 \pm 7	180 \pm 9	183 \pm 10	194 \pm 5	32 \pm 0	32 \pm 0	30 \pm 1	31 \pm 2	30 \pm 1
Dasselsbruch	KWS Freya	101 \pm 5	146 \pm 7	151 \pm 3	159 \pm 8	160 \pm 6	29 \pm 1	30 \pm 1	29 \pm 0	29 \pm 1	28 \pm 1
	Hercules	123 \pm 13	171 \pm 14	170 \pm 10	181 \pm 11	178 \pm 11	29 \pm 1	31 \pm 0	30 \pm 1	29 \pm 0	29 \pm 1
	Lussi	98 \pm 2	140 \pm 6	148 \pm 10	146 \pm 6	145 \pm 7	31 \pm 1	32 \pm 1	32 \pm 1	31 \pm 0	31 \pm 1
	KWS Zerb.	109 \pm 5	162 \pm 15	164 \pm 6	168 \pm 19	172 \pm 13	30 \pm 2	32 \pm 1	31 \pm 1	30 \pm 0	30 \pm 2
Kirchengel	KWS Freya	128 \pm 18	136 \pm 14	149 \pm 8	155 \pm 10	158 \pm 9	27 \pm 0	29 \pm 1	30 \pm 1	31 \pm 1	29 \pm 0
	Hercules	166 \pm 10	173 \pm 14	189 \pm 16	170 \pm 17	175 \pm 22	26 \pm 1	27 \pm 2	30 \pm 2	27 \pm 1	26 \pm 1
	Lussi	128 \pm 13	129 \pm 18	141 \pm 17	133 \pm 14	144 \pm 3	30 \pm 1	30 \pm 1	32 \pm 0	32 \pm 1	32 \pm 1
	KWS Zerb.	144 \pm 17	151 \pm 7	158 \pm 19	160 \pm 15	148 \pm 19	27 \pm 1	28 \pm 1	28 \pm 1	29 \pm 2	28 \pm 0
Trossin	KWS Freya	141 \pm 6	147 \pm 11	160 \pm 4	167 \pm 8	167 \pm 6	30 \pm 0	28 \pm 1	29 \pm 1	29 \pm 1	27 \pm 1
	Hercules	163 \pm 6	176 \pm 9	193 \pm 14	191 \pm 17	177 \pm 7	28 \pm 0	28 \pm 1	27 \pm 1	26 \pm 0	26 \pm 1
	Lussi	148 \pm 7	147 \pm 5	145 \pm 9	156 \pm 2	151 \pm 6	33 \pm 1	31 \pm 1	29 \pm 0	29 \pm 1	29 \pm 1
	KWS Zerb.	164 \pm 16	173 \pm 6	171 \pm 6	177 \pm 19	166 \pm 13	30 \pm 1	29 \pm 1	28 \pm 1	29 \pm 1	27 \pm 1
Gülzow	KWS Freya	111 \pm 10	127 \pm 14	119 \pm 15	137 \pm 7	134 \pm 19	30 \pm 1	29 \pm 2	28 \pm 2	28 \pm 2	28 \pm 1
	Hercules	123 \pm 18	123 \pm 20	140 \pm 11	138 \pm 19	153 \pm 12	23 \pm 3	24 \pm 1	24 \pm 2	24 \pm 5	24 \pm 2
	Lussi	102 \pm 10	95 \pm 8	115 \pm 24	120 \pm 8	140 \pm 10	31 \pm 2	31 \pm 2	32 \pm 2	29 \pm 3	31 \pm 2
	KWS Zerb.	114 \pm 7	110 \pm 17	93 \pm 15	127 \pm 23	111 \pm 24	27 \pm 1	28 \pm 2	27 \pm 1	26 \pm 1	25 \pm 1

**Anhang 28: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2012 auf den Standorten des Düngerver-
suches, Mittelwert ± Standardabweichung, n = 4**

Ort	Sorte	Trockenmasseertrag in dt/ha						Trockensubstanzgehalt in %					
		N0	N100	N150	N200	N250	N300	N0	N100	N150	N200	N250	N300
Aholting	KWS Freya	128±24	-	176±15	183±17	182±14	183±7	28±1	-	29±0	28±0	28±0	28±1
	Hercules	145±10	-	189±13	191±17	201±11	190±11	26±0	-	26±0	26±2	25±1	25±1
	Lussi	116±23	-	171±6	176±13	182±11	177±12	29±1	-	31±0	30±0	30±0	30±1
	KWS Zerb.	140±17	-	173±9	187±11	184±21	187±11	28±1	-	28±1	28±1	28±0	27±1
Dasselsbruch	KWS Freya	86±20	123±9	131±6	147±11	138±7	-	27±1	29±1	29±1	29±1	28±1	-
	Hercules	95±13	133±9	148±7	154±6	152±9	-	24±1	26±1	25±1	25±0	25±1	-
	Lussi	85±16	127±12	132±7	133±5	139±6	-	30±1	33±1	33±1	33±1	32±1	-
	KWS Zerb.	90±8	130±11	144±10	148±6	144±16	-	28±1	30±0	30±1	29±1	27±0	-
Kirchengel	KWS Freya	102±6	106±11	110±22	107±28	105±28	-	25±1	26±2	26±2	29±2	26±2	-
	Hercules	107±21	108±17	104±16	119±38	101±21	-	21±2	20±2	20±1	22±3	21±2	-
	Lussi	101±5	87±11	85±13	79±11	80±8	-	30±1	28±2	28±1	27±1	27±4	-
	KWS Zerb.	108±21	100±20	101±21	115±19	108±9	-	24±2	23±1	22±1	24±3	23±1	-
Trossin	KWS Freya	121±9	-	122±6	112±10	111±5	-	31±2	-	32±2	30±1	29±0	-
	Hercules	122±9	-	117±15	112±7	113±21	-	24±1	-	24±1	22±1	21±2	-
	Lussi	121±9	-	114±9	112±6	116±11	-	38±1	-	37±1	35±1	37±1	-
	KWS Zerb.	113±12	-	112±10	114±7	113±5	-	29±2	-	27±1	27±1	26±2	-
Straubing	KWS Freya	102±6	-	153±9	163±7	157±5	161±7	27±0	-	28±0	28±1	27±1	27±1
	Hercules	108±18	-	156±13	164±15	169±6	165±13	22±1	-	24±0	23±1	23±1	23±1
	Lussi	94±7	-	144±4	156±11	159±9	161±4	27±0	-	30±1	29±0	29±1	29±1
	KWS Zerb.	105±13	-	145±12	149±13	166±14	147±15	27±2	-	27±1	26±0	26±1	25±1
Gülzow	KWS Freya	117±7	117±5	122±11	124±8	121±15	-	32±1	31±1	29±1	31±1	30±1	-
	Hercules	123±27	125±11	127±14	130±10	131±13	-	25±0	24±1	23±1	24±1	24±1	-
	Lussi	116±11	126±12	129±5	126±12	123±11	-	36±0	32±2	32±1	34±2	34±1	-
	KWS Zerb.	129±18	130±9	132±10	127±10	128±7	-	29±1	27±0	26±0	27±1	27±1	-

- nicht durchgeführt

**Anhang 29: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt 2013 auf den Standorten des Düngerver-
suches, Mittelwert ± Standardabweichung, n = 4**

Ort	Sorte	Trockenmasseertrag in dt/ha						Trockensubstanzgehalt in %					
		N0	N100	N150	N200	N250	N300	N0	N100	N150	N200	N250	N300
Aholting	KWS Freya	63±3	79±9	83±4	83±4	89±6	-	26±1	25±2	25±1	24±0	25±1	-
	Hercules	58±3	76±9	82±11	77±17	87±8	-	20±0	20±0	19±1	18±0	19±0	-
	Lussi	68±7	84±5	87±8	91±10	88±10	-	28±1	29±1	29±1	28±1	28±1	-
	KWS Zerb.	53±6	77±6	78±9	82±8	77±9	-	23±0	23±0	22±1	22±1	22±1	-
Dasselsbruch	KWS Freya	90±19	124±8	145±6	144±17	144±12	-	23±1	26±1	26±2	26±1	25±1	-
	Hercules	82±11	135±20	151±9	144±13	147±24	-	20±1	22±0	22±0	21±1	21±1	-
	Lussi	86±19	134±6	141±10	140±3	141±15	-	25±1	29±1	29±1	29±2	28±1	-
	KWS Zerb.	78±8	140±20	142±15	148±12	149±4	-	23±2	25±1	24±1	24±1	23±1	-
Kirchengel	KWS Freya	98±4	-	90±10	101±6	110±10	101±11	25±2	-	25±1	25±1	27±2	24±1
	Hercules	89±5	-	94±5	98±4	92±4	90±6	18±1	-	18±1	18±1	18±1	18±1
	Lussi	94±3	-	99±8	95±7	95±10	88±8	28±1	-	29±1	27±1	28±1	27±0
	KWS Zerb.	82±4	-	87±7	85±6	92±7	87±7	21±2	-	20±1	20±1	20±0	19±2
Straubing	KWS Freya	78±12	96±5	104±10	103±4	101±11	-	26±1	26±1	26±2	26±1	25±2	-
	Hercules	83±18	112±6	117±19	121±7	124±14	-	20±2	20±0	19±1	19±1	19±1	-
	Lussi	67±7	91±25	95±19	107±23	116±10	-	26±1	30±1	29±2	30±1	29±1	-
	KWS Zerb.	73±7	96±4	113±4	128±8	113±10	-	23±0	23±0	24±1	23±2	22±2	-
Trossin	KWS Freya	90±16	103±10	99±8	98±11	100±8	-	30±1	30±1	29±1	29±1	29±1	-
	Hercules	89±4	102±10	109±7	95±19	108±21	-	22±1	22±0	22±1	21±1	22±1	-
	Lussi	93±9	112±10	109±8	108±14	119±7	-	34±1	35±0	34±2	33±2	33±1	-
	KWS Zerb.	70±5	84±37	81±16	84±27	80±31	-	26±1	25±1	25±1	24±3	25±1	-
Gülzow	KWS Freya	122±16	131±7	139±2	132±2	139±4	-	33±1	34±1	34±0	33±1	33±1	-
	Hercules	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lussi	126±5	133±9	136±9	136±2	134±12	-	38±2	38±1	38±0	38±1	38±1	-
	KWS Zerb.	141±1	151±12	157±8	158±11	156±10	-	30±1	32±1	32±1	30±1	30±1	-

- nicht durchgeführt

Anhang 30: Relativer Trockenmasseertrag auf den Standorten des Düngeversuches, Kontrolle ohne N-Düngung N0 = 100 %

Sorte	TM-Ertrag in % 2011					TM-Ertrag in % 2012						TM-Ertrag in % 2013					
	N0	N100	N150	N200	N250	N0	N100	N150	N200	N250	N300	N0	N100	N150	N200	N250	N300
Aholting																	
KWS Freya	100	109	123	127	124	100	-	137	143	142	142	100	126	133	133	142	-
Lussi	100	107	111	111	123	100	-	130	131	139	131	100	130	142	133	151	-
Hercules	100	108	109	118	121	100	-	147	152	157	152	100	123	127	133	129	-
KWS Zerb.	100	107	111	113	120	100	-	123	134	131	134	100	145	146	155	145	-
Dasselsbruch																	
KWS Freya	100	144	149	157	158	100	144	153	171	160	-	100	139	161	161	160	-
Lussi	100	139	139	148	145	100	140	156	162	160	-	100	165	183	175	179	-
Hercules	100	143	151	149	148	100	149	155	157	163	-	100	157	165	164	164	-
KWS Zerb.	100	148	150	154	158	100	144	160	164	160	-	100	179	181	189	191	-
Gülzow																	
KWS Freya	100	114	107	124	121	100	100	105	106	103	-	100	107	114	109	114	-
Lussi	100	93	113	118	137	100	109	111	108	106	-	100	105	107	107	106	-
Hercules	100	100	113	112	124	100	102	104	106	107	-	-	-	-	-	-	-
KWS Zerb.	100	97	82	112	98	100	100	102	99	99	-	100	107	111	112	111	-
Kirchengel																	
KWS Freya	100	106	116	121	123	100	103	107	105	102	-	100	-	92	103	112	104
Lussi	100	104	114	102	105	100	101	97	111	94	-	100	-	106	110	103	102
Hercules	100	100	110	104	113	100	87	85	79	80	-	100	-	106	102	101	93
KWS Zerb.	100	105	109	111	103	100	93	94	106	100	-	100	-	106	103	112	106
Trossin																	
KWS Freya	100	105	114	119	118	100	-	101	92	91	-	100	115	110	110	111	-
Lussi	100	109	118	118	109	100	-	96	92	93	-	100	115	123	107	122	-
Hercules	100	99	98	106	102	100	-	94	92	96	-	100	121	118	117	129	-
KWS Zerb.	100	106	104	108	101	100	-	99	101	100	-	100	119	115	119	114	-
Straubing																	
KWS Freya	-	-	-	-	-	100	-	150	159	154	158	100	123	134	133	130	-
Lussi	-	-	-	-	-	100	-	145	152	157	153	100	136	141	146	150	-
Hercules	-	-	-	-	-	100	-	153	166	169	171	100	136	141	159	174	-
KWS Zerb.	-	-	-	-	-	100	-	138	141	158	140	100	132	155	176	155	-

- nicht durchgeführt

Anhang 31: Regressionsparameter und Signifikanz sowie Maxima der unabhängigen Variablen der Stickstoff-Ertragsfunktionen, $y = \text{Achsenabschnitt} + B1 \cdot x + B2 \cdot x^2$

Art	2011				2012				2013			
	p-Wert Modell	X bei Y-Max	Y-Max	R ²	p-Wert Modell	X bei Y-Max	Y-Max	R ²	p-Wert Modell	X bei Y-Max	Y-Max	R ²
Ahofling												
<i>S. bic.</i>	<0,0001	#		0,40	<0,0001	249	192	0,67	<0,0001	200	83	0,53
<i>S. bic. x S. sud.</i>	<0,0001	225	188	0,51	<0,0001	242	184	0,73	<0,0001	212	89	0,60
Dasselsbruch												
<i>S. bic.</i>	<0,0001	199	178	0,72	<0,0001	200	153	0,84	<0,0001	193	153	0,76
<i>S. bic. x S. sud.</i>	<0,0001	195	156	0,85	<0,0001	203	141	0,78	<0,0001	195	147	0,76
Kirchengel												
<i>S. bic.</i>	0,26			0,07	0,85			0,01	0,08			0,13
<i>S. bic. x S. sud.</i>	0,02	254	150	0,28	0,63			0,02	0,54			0,03
Trossin												
<i>S. bic.</i>	0,004	167	183	0,25	0,56			0,03	0,35			0,05
<i>S. bic. x S. sud.</i>	0,0004	#		0,35	0,02	#		0,18	0,02	214	107	0,20
Straubing												
<i>S. bic.</i>	-	-	-	-	<0,0001	255	163	0,71	<0,0001	212	122	0,69
<i>S. bic. x S. sud.</i>	-	-	-	-	<0,0001	262	163	0,91	<0,0001	253	108	0,47
Gülzow												
KWS Zerberus	0,73			0,03	0,93			0,008	0,02	198	158	0,39
Hercules	0,02	#		0,36	0,69			0,04	-			-
Freya	0,06			0,29	0,57			0,06	0,03	212	138	0,34
Lussi	0,0004	#		0,60	0,18			0,18	0,17			0,19

- nicht durchgeführt; # = kein Maximum der Funktion

Anhang 32: Bestandeshöhe und BBCH-Stadium zur Ernte von Sorghum im Düngeversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013

Ort	Sorte	Bestandeshöhe zur Ernte						BBCH zur Ernte					
		N0	N100	N150	N200	N250	N300	N0	N100	N150	N200	N250	N300
Aholting	KWS Freya	302	277	315	308	310	378	75	78	77	78	77	75
	Hercules	320	290	320	336	333	384	62	54	60	63	61	69
	Lussi	282	258	294	295	290	360	76	79	78	78	78	75
	KWS Zerb.	278	260	290	273	280	323	68	71	70	67	67	69
Dasselsbruch	KWS Freya	291	318	321	311	313	-	72	75	76	76	76	-
	Hercules	289	320	337	320	316	-	69	70	71	70	70	-
	Lussi	296	322	316	309	308	-	72	75	81	80	81	-
	KWS Zerb.	294	315	320	305	316	-	69	73	72	72	73	-
Kirchengel	KWS Freya	278	279	274	269	263	257	74	71	74	74	74	80
	Hercules	285	292	287	286	281	274	73	71	72	72	72	75
	Lussi	271	258	263	263	260	273	77	75	77	77	77	80
	KWS Zerb.	273	274	264	263	273	253	71	69	71	71	70	75
Straubing [#]	KWS Freya	308	298	313	325	329	355	69	64	71	70	70	75
	Hercules	315	315	349	358	358	365	53	40	53	53	53	65
	Lussi	286	305	314	329	329	336	69	67	70	70	70	75
	KWS Zerb.	295	318	330	324	336	328	61	54	62	62	62	69
Trossin	KWS Freya	267	291	280	272	268	-	77	74	75	74	73	-
	Hercules	271	321	289	275	286	-	65	68	66	65	65	-
	Lussi	269	294	274	272	271	-	74	76	74	73	72	-
	KWS Zerb.	241	309	261	267	260	-	70	74	70	68	68	-
Gülzow	KWS Freya	243	251	253	244	247	-	69	68	67	68	68	69
	Hercules*	258	258	262	263	256	-	51	52	52	52	52	51
	Lussi	244	247	246	247	236	-	70	71	71	72	71	70
	KWS Zerb.	246	244	251	251	247	-	63	63	63	63	63	63

* 2011–2012; # 2012–2013; - nicht durchgeführt

Anhang 33: Lager zur Ernte und Boniturwerte optischer Stickstoff-Mangel bei Anschluss des Längenwachstums von Sorghum im Düngeversuch, Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013

Ort	Sorte	Lager zur Ernte						Optischer N-Mangel bei Abschluss Längenwachstum					
		N0	N100	N150	N200	N250	N300	N0	N100	N150	N200	N250	N300
Aholting	KWS Freya	2	2	1	1	1	1	5	3	2	1	1	1
	Hercules	2	1	1	1	1	1	6	4	2	1	1	1
	Lussi	3	2	2	2	2	1	5	3	3	1	1	1
	KWS Zerb.	1	1	1	1	1	1	6	4	2	1	1	1
Dasselsbruch	KWS Freya	3	3	3	3	2	-	7	5	3	2	1	-
	Hercules	3	3	3	3	3	-	5	5	5	5	4	-
	Lussi	3	2	2	3	2	-	6	6	4	2	2	-
	KWS Zerb.	3	2	2	2	3		5	5	4	4	3	-
Kirchengel	KWS Freya	2	3	3	2	2	2	3	2	2	1	1	1
	Hercules	2	2	2	2	2	1	3	2	1	1	1	1
	Lussi	2	3	3	2	2	2	3	2	1	1	1	1
	KWS Zerb.	2	2	2	3	2	2	4	2	2	1	1	1
Straubing#	KWS Freya	2	4	2	2	3	1	6	3	2	2	1	1
	Hercules	3	1	2	3	1	2	6	3	2	1	1	1
	Lussi	2	6	3	3	3	1	7	3	3	2	1	1
	KWS Zerb.	1	2	2	2	1	2	6	3	2	1	1	1
Trossin	KWS Freya	1	1	1	1	1	-	7	5	4	3	2	-
	Hercules	1	1	1	1	1	-	4	3	3	2	1	-
	Lussi	1	1	1	1	1	-	8	6	5	3	2	-
	KWS Zerb.	1	1	1	1	1	-	4	3	3	3	2	-
Gülzow	KWS Freya	3	3	3	3	3	-	4	3	2	1	1	4
	Hercules*	1	1	1	1	1	-	4	3	2	1	1	4
	Lussi	4	4	4	3	3	-	4	3	2	1	1	4
	KWS Zerb.	4	3	2	2	2	-	4	3	2	1	1	4

* 2011–2012; # 2012–2013; - nicht durchgeführt

Anhang 34: Deckungsbeitrag von Sorghum auf den Standorten des Düngeversuches, Mittelwert \pm Standardabweichung, n = 2

Ort	N-Stufe	2011			2012			2013		
		<i>S. bicolor</i>			<i>S. bicolor x S. sudanense</i>					
Aholting	N0	755 \pm 99	507 \pm 36	72 \pm 96	687 \pm 31	395 \pm 20	-10 \pm 36			
	N100	780 \pm 104	-	84 \pm 106	710 \pm 33	-	12 \pm 3			
	N150	745 \pm 107	595 \pm 73	48 \pm 100	736 \pm 78	583 \pm 68	-34 \pm 14			
	N200	696 \pm 72	583 \pm 23	-1 \pm 120	741 \pm 47	558 \pm 56	-70 \pm 7			
	N250	736 \pm 137	546 \pm 65	-45 \pm 80	668 \pm 20	515 \pm 86	-137 \pm 41			
	N300	-	458 \pm 15	-	-	446 \pm 56	-			
Dasselbruch	N0	272 \pm 83	99 \pm 23	-8 \pm 21	171 \pm 63	73 \pm 79	52 \pm 62			
	N100	517 \pm 66	265 \pm 17	239 \pm 20	356 \pm 59	250 \pm 104	240 \pm 133			
	N150	455 \pm 46	292 \pm 7	215 \pm 31	333 \pm 76	232 \pm 95	264 \pm 76			
	N200	437 \pm 79	252 \pm 18	156 \pm 16	294 \pm 25	234 \pm 33	198 \pm 78			
	N250	383 \pm 52	176 \pm 35	102 \pm 19	231 \pm 23	156 \pm 95	139 \pm 82			
Gülzow	N0	122 \pm 53	195 \pm 7	313	102 \pm 66	198 \pm 111	283 \pm 142			
	N100	34 \pm 72	93 \pm 10	316	42 \pm 26	124 \pm 134	259 \pm 127			
	N150	-21 \pm 213	32 \pm 5	294	25 \pm 100	72 \pm 146	238 \pm 105			
	N200	14 \pm 82	-13 \pm 28	229	112 \pm 164	27 \pm 122	159 \pm 140			
	N250	-57 \pm 198	-65 \pm 33	162	30 \pm 151	-49 \pm 128	121 \pm 102			
Kirchengel	N0	644 \pm 109	275 \pm 4	154 \pm 28	498 \pm 82	294 \pm 91	283 \pm 68			
	N100	660 \pm 108	228 \pm 56	-81 \pm 28	495 \pm 50	227 \pm 4	30 \pm 29			
	N150	694 \pm 179	159 \pm 35	96 \pm 34	532 \pm 52	172 \pm 17	204 \pm 125			
	N200	576 \pm 55	196 \pm 22	42 \pm 46	475 \pm 26	129 \pm 92	162 \pm 57			
	N250	484 \pm 118	60 \pm 18	-	455 \pm 27	35 \pm 21	-			
	N300	-	-	-5 \pm 6	-	-	145 \pm 6			
Straubing	N0	-	180 \pm 4	-13 \pm 45	-	149 \pm 33	-8 \pm 20			
	N100	-	-	32 \pm 60	-	-	8 \pm 28			
	N150	-	304 \pm 42	48 \pm 3	-	336 \pm 42	-7 \pm 20			
	N200	-	276 \pm 61	23 \pm 42	-	342 \pm 53	35 \pm 159			
	N250	-	288 \pm 7	-74 \pm 22	-	274 \pm 95	-46 \pm 160			
	N300	-	160 \pm 74	-	-	233 \pm 86	-			
Trossin	NN0	498 \pm 1	157 \pm 44	-65 \pm 39	399 \pm 116	245 \pm 80	25 \pm 92			
	NN100	476 \pm 28	0 \pm 0	-140 \pm 72	312 \pm 84	0 \pm 0	18 \pm 127			
	NN150	447 \pm 108	83 \pm 21	-180 \pm 112	283 \pm 4	165 \pm 51	-59 \pm 132			
	NN200	406 \pm 59	2 \pm 22	-305 \pm 88	282 \pm 20	62 \pm 91	-125 \pm 124			
	NN250	262 \pm 59	-70 \pm 14	-293 \pm 111	208 \pm 17	16 \pm 128	-140 \pm 172			

- nicht durchgeführt

Teilvorhaben 3

Anhang 35: Produktionstechnische Maßnahmen an den Standorten des Herbizidversuches

Standort	Jahr	Vorfrucht	Bodenbearbeitung	Saatbettbereitung	N-Düngung	Pflanzenschutz
Güterfelde	2011	Wintergetreide + Biomax	Pflug/Frühjahr	Kerner Multicracker	120 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Herbizid lt. Plan, kein Insektizid
	2012	Sonnenblumen/Biomax				
	2013	Klee gras				
Trossin	2011	Weidelgras	Pflug/Frühjahr	Grubber	keine N-Düngung nach Saat	Herbizid lt. Plan, kein Insektizid
	2012	Weidelgras	Scheibenegge + Pflug/Frühjahr	Grubber + Kreisel egge		
	2013	Weidelgras	Pflug/Frühjahr	Grubber			85 kg N/ha KAS nach Saat
Ahol fing	2011	Zuckerrübe	Pflug/Herbst	Kreiselegge + Packerwalze	120 kg N/ha KAS nach Saat	Herbizid lt. Plan, kein Insektizid
	2012	Frühkartoffel + Ramtillkraut	Grubber + Pflug/Herbst	Saatbettkombination	94 kg N/ha KAS nach Saat	
	2013	Kartoffel	Pflug/Herbst	Saatbettkombination	95 kg N/ha KAS nach Saat	
Gülzow	2011	Winterweizen	Pflug/Herbst Drehpflug „Överum“	Kompaktor „Lemken“	120 kg N/ha KAS nach Saat	Herbizid lt. Plan, kein Insektizid
	2012	Gras				
	2013	Wintergerste				

Anhang 36: Bodenparameter vor Aussaat an den Standorten des Herbizidversuchs

Standort	Jahr	N _{min} * in kg/ha	pH**	Gehaltsstufe **		
				P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Güterfelde	2011	67	6,1	D	D	C
	2012	71	6,3	D	C	C
	2013	24	6,7	D	C	E
Trossin	2011	-	6,0	C	B	D
	2012	139	6,5	D	D	E
	2013	54	5,8	D	C	D
Ahol fing	2011	77	7,0	E	D	E
	2012	56	6,2	D	D	D
	2013	57	6,3	E	E	D
Gülzow	2011	-	6,3	D	C	E
	2012	85	5,9	E	B	E
	2013	63	6,4	D	B	E

* = Bodenschicht 0–60 cm; ** = Bodenschicht 0–30 cm

Gehaltsklassen A bis D: A = sehr niedrig, B = niedrig, C = anzustreben/optimal, D = hoch, E = sehr hoch

Quelle: VON WULFFEN et al. (2008)

Anhang 37: Produktionstechnische Maßnahmen an den Standorten zum Anbau auf Rekultivierungsstandorten

Standort	Jahr	Vorfrucht	Bodenbearbeitung	Saatbettbereitung	N-Düngung	Pflanzenschutz <i>Mais/Sorghum</i>
Güterfelde	2011	Kleegras				Clio Top-Pack / Gardo Gold + Certrol B (B 235), Karate Zeon
	2012	Kleegras	Pflug/Frühjahr ohne Packer	Saatbettkombination „Kerner Multi-cracker“	120 kg N/ha Alzon 46 vor Saat	Clio Top-Pack / Gardo Gold + Arrat, Karate Zeon
	2013	Kleegras				Clio Top-Pack / Gardo Gold + Certrol B (B 235), Karate Zeon
Drößig	2011	Gelbsenf			120 kg N/ha Alzon 46	Gardo Gold
	2012	Grünland-brache	Pflug/Frühjahr	Grubber	vor Saat	
	2013	Kleegras				
Grünewalde	2011	Gelbsenf			120 kg N/ha Alzon 46	Gardo Gold
	2012	Grünland-brache	Pflug/Frühjahr	Grubber	vor Saat	
	2013	Kleegras				
Welzow	2011	Gelbsenf			120 kg N/ha Alzon 46	Gardo Gold
	2012	Grünland-brache	Pflug/Frühjahr	Grubber	vor Saat	
	2013	Kleegras				

Anhang 38: Bodenparameter vor Aussaat an den Standorten zum Anbau auf Rekultivierungsstandorten

Standort	Jahr	N _{min} * in kg/ha	pH**	Gehaltsstufe **		
				P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Güterfelde	2011	47	5,7	B	B	D
	2012	50	5,5	C	D	C
	2013	27	6,4	C	C	E
Drößig	2011	46	5,9	C	C	C
	2012	57	5,2	C	C	C
	2013	46	6,1	D	D	E
Grünewalde	2011	65	5,1	B	B	E
	2012	71	5,5	B	B	E
	2013	165	5,8	C	E	E
Welzow	2011	22	6,3	B	B	B
	2012	39	6,3	B	B	B
	2013	22	6,0	B	D	D

* = Bodenschicht 0–60 cm; ** = Bodenschicht 0–30 cm

Gehaltsklassen A bis D: A = sehr niedrig, B = niedrig, C = anzustreben/optimal, D = hoch, E = sehr hoch

Quelle: VON WULFFEN et al. (2008)

Anhang 39: Übersicht über Aufwandmenge, Einsatztermin, Wirkstoffe, Wirkstoffmengen und Wirkorte der geprüften Herbizide

Mittel	AWM in l o. kg/ha (Einsatz BBCH Mais/Sorghum)	Wirkstoffe	Menge g/l o. /kg	HRAC- Einstufung	
<i>vorwiegend blattwirksame Herbizide gegen Hirsen und Unkräuter</i>					
Task + FHS	383 + 0,3 (09-14)	Dicamba Rimsulfuron	609 32,5	O B	synth. Auxine = Bildung von Pflanzenhormonen Hemmung der Acetolactatsynthase = Hemmung Aminosäurebildung
MaisTer flüssig	1,5 (12-16)	Iodosulfuron Foramsulfuron	0,932 30	B B	Hemmung der Acetolactatsynthase ALS = Hemmung Aminosäurebildung
Laudis	2,25 (12-16)	Tembotrione	44	F2	Hemmung der Pigmentsynthese = Bleichung, Chlorophyllzerstörung Hemmung der 4-Hydroxyphenyl-Pyruvat-Dioxygenase (4-HPPD)
Callisto	1,5 (12-18)	Mesotrione	100	F2	Hemmung der Pigmentsynthese = Bleichung, Chlorophyllzerstörung Hemmung der 4-Hydroxyphenyl-Pyruvat-Dioxygenase (4-HPPD)
<i>vorwiegend bodenwirksam</i>					
Gardo Gold	4,0 (VA/NA, Sorghum ab 13)	Terbuthylazin S-Metolachlor	187,5 312,5	C1 K3	Hemmung der Photosynthese im Photosystem II Hemmung der Zellteilung
Successor T	4,0 10-14	Terbuthylazin Pethoxamid	188 300	C1 K3	Hemmung der Photosynthese im Photosystem II Hemmung der Zellteilung
<i>Boden- und blattwirksame Herbizide gegen Hirsen und Unkräuter</i>					
Adengo	0,33 (VA-13)	Isoxaflutole Thiencarbazon	225 86,8	F2 B	Hemmung der Pigmentsynthese = Bleichung, Chlorophyllzerstörung (4-HPPD) Hemmung der Acetolactatsynthase ALS = Hemmung Aminosäurebildung
Clio Super	1,5 (11-16)	Dimethenamid-P Topramezone	538 32	K3 F2	Hemmung der Zellteilung Hemmung der Pigmentsynthese = Bleichung, Chlorophyllzerstörung (4-HPPD)
Calaris	1,5 (11-18)	Mesotrione Terbuthylazin	70 330	F2 C1	Hemmung der Pigmentsynthese = Bleichung, Chlorophyllzerstörung (4-HPPD) Hemmung der Photosynthese im Photosystem II
<i>Praxisempfehlung zu Sorghum</i>					
Gardo Gold + B 235	2,5 + 0,5 (Sorghum ab 13)	Terbuthylazin S-Metolachlor Bromoxynil	187,5 312,5 235	C1 K3 C3	Hemmung der Photosynthese im Photosystem II Hemmung der Zellteilung
<i>Herbizidkombinationen gegen Hirsen und Unkräuter</i>					
Accent S Pack Accent + Trend + Successor T	57 + 0,28 + 2,8 (10-14)	Nicosulfuron Terbuthylazin Pethoxamid	750 188 300	B C1 K3	Hemmung der Acetolactatsynthase ALS = Hemmung Aminosäurebildung Hemmung der Photosynthese im Photosystem II Hemmung der Zellteilung
Clio top BMX-Pack Clio Super + Zeragran ultimate	1,5 + 1,5 (12-16)	Dimethenamid Topramezone Bromoxynil Terbuthylazin	538 32 100 250	K3 F2 C3 C1	Hemmung der Zellteilung Hemmung der Pigmentsynthese = Bleichung, Chlorophyllzerstörung (4-HPPD) Hemmung der Photosynthese im Photosystem II
<i>Bewährte Problemlösungen bei Hühnerhirse und breiter dikotyler Verunkrautung</i>					
Zintan Platin Pack Calaris + Dual Gold	1,5 + 1,25 (11-18 / VA-NA)	Mesotrione Terbuthylazin S-Metolachlor	70 330 960	F2 C1 K3	Hemmung der Pigmentsynthese = Bleichung, Chlorophyllzerstörung (4-HPPD) Hemmung der Photosynthese im Photosystem II Hemmung der Zellteilung
Milagro forte + Peak + Gardo Gold	0,6 + 0,015 + 2,0	Nicosulfuron Prosulfuron Terbuthylazin S-Metolachlor	60 750 187,5 312,5	B B C1 K3	Hemmung der Acetolactatsynthase ALS = Hemmung Aminosäurebildung Hemmung der Photosynthese im Photosystem II Hemmung der Zellteilung

Anhang 41: Gesamtwirkung (%) der Herbizide auf die Unkräuter an den Standorten (2011–2013)

Wirkungsgrad [%] zum Reihenschluss	UK DG %	Güterfelde			Trossin			Aholfung			Gülzow			Güterfelde			Trossin			Aholfung			Gülzow		
		2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
		Kultur: Sorghum bicolor x Sorghum sudanense (Sudangrashybride) Sorte: Lussi												Kultur: Sorghum bicolor (Futterhirse) Sorte: Sucrosorgo 506/KWS Zerberus											
Varianten		35	53	63	67	32	25	75	83	43	18	66	99	30	38	44	75	49	31	70	77	33	19	29	85
3-jährig	<u>AWM lo.kg/ha</u>	Wirkungsgrad [%]																							
Gardo Gold	4,0	98	95	94	100	98	94	80	100	32	100	99	71	86	96	89	88	100	95	71	97	27	100	94	68
Gardo Gold + B 235	2,5 + 0,5	91	100	85	95	99	97	84	100	64	100	100	84	94	99	77	94	100	96	67	99	62	100	100	59
2-jährig																									
Gardo Gold (mit Safener)	4,0													91	97	89	92	100	99	97	100	56	100	100	100
Gardo Gold (ohne Safener)	4,0													95	92	92	94	100	99	87	97	56	100	100	100
Successor T	4,0		95	70		99	91		100	35		95	85		86	78		98	92		100	35		81	66
Zintan Platin-Pack	1,5 + 1,25	98		88	90		95	88		94	100		100	94		82	93		98	98		88	100		100
Zintan Platin-Pack (red.)	1,125 + 0,94		100	87		100	87		100	81		100	96		100	82		100	94		100	79		100	96
Calaris	1,5		99	82		98	97		100	86		100	88		98	82		100	97		100	87		93	95
Callisto	1,5		100	79		98	92		100	80		100	59		91	84		99	93		99	74		100	59
1-jährig																									
Calaris (red.)	1,125			82			92			71			69			86			94			63			61
Callisto (red.)	1,125			77			87			65			56			76			87			75			57
Clio Super	1,5	74			80			61			88			72			80			62			100		
Clio Super (red.)	1,125		79			97			79			43			90			97		80				48	
Task + FHS	0,383 + 0,3	71			74			66			100			83			75			61			70		
Maister flüssig	1,5	87			74			65			81			81			79			60			67		
Laudis	2,25	88			80			84			92			88			80			66			69		
Adengo	0,33		100			98			55			65			100			99		65				60	
Clio Top BMX-Pack	1,5 + 1,5	99			75			83			100			99			78			81			100		
Clio Top BMX-Pack (red.)	1,125 + 1,125		100			100			100			100			100			100		100				100	
Milagro forte + Peak + Gardo Gold	0,45 + 0,011 + 1,5	91			60			87			100			94			77			81			100		
Milagro forte + Peak + Gardo Gold (red.)	0,6 + 0,015 + 2,0		90			96			99			98			90			98		99				94	
Accent S-Pack	0,057 + 0,28 + 2,8	98			69			83			96			93			82			78			87		

Anhang 44: Phytotoxizität der Herbizide (2011–2013)

Phytotoxizität in Sorghum			Futterhirse												Sudangrasybride																				
in Boniturnoten 1-9 1 = keine Schäden... 9 = starke Schäden, Kulturpflanzen abgestorben	Versuchsjahre	Zeitraum	Güterfelde				Trossin				Aholfing				Gülzow				Güterfelde				Trossin				Aholfing				Gülzow				
			MW 2011-2013				MW 2011-2013				MW 2011-2013				MW 2011-2013				MW 2011-2013				MW 2011-2013				MW 2011-2013				MW 2011-2013				
			nach 3 Tagen	nach 7 Tagen	nach 14 Tagen	zum Reihenschluss	nach 3 Tagen	nach 7 Tagen	nach 14 Tagen	zum Reihenschluss	nach 3 Tagen	nach 7 Tagen	nach 14 Tagen	zum Reihenschluss	nach 3 Tagen	nach 7 Tagen	nach 14 Tagen	zum Reihenschluss	nach 3 Tagen	nach 7 Tagen	nach 14 Tagen	zum Reihenschluss	nach 3 Tagen	nach 7 Tagen	nach 14 Tagen	zum Reihenschluss	nach 3 Tagen	nach 7 Tagen	nach 14 Tagen	zum Reihenschluss	nach 3 Tagen	nach 7 Tagen	nach 14 Tagen	zum Reihenschluss	
Gardo Gold	3	2011-2013	7	5	3	3	3	4	4	3	3	5	4	3	3	2	3	3	1	6	4	3	2	1	2	2	1	5	3	3	3	2	3	3	1
Gardo Gold + B 235	3	2011-2013	7	6	2	2	5	7	5	3	5	4	4	3	2	3	2	1	7	5	3	2	4	6	4	1	5	3	3	3	2	3	2	1	
Calaris 100	2	2012-2013	7	9	8	8	8	9	9	8	6	7	8	6	8	5	8	3	7	9	9	8	7	9	9	8	6	7	8	7	7	5	8	3	
Callisto 100	2	2012-2013	8	9	9	8	9	9	9	8	5	7	9	7	8	5	8	3	7	9	9	8	8	9	9	9	6	7	9	8	8	5	8	3	
Gardo Gold mit Safener	2	2011-2012	4	4	4	2	1	1	1	1	6	4	2	4	2	3	2	1																	
Gardo Gold ohne Safener	2	2011-2012	4	4	4	1	2	2	2	3	4	5	4	5	2	2	3	1																	
Successor T	2	2012-2013	6	6	4	2	2	5	6	1	5	2	5	4	3	2	2	2	6	5	4	2	2	4	5	2	4	4	4	4	3	2	2	2	
Zintan Platin-Pack 100	2	2011, 2013	9	9	7	7	9	9	8	7	8	9	8	7	4	9	8	4	9	9	7	7	9	9	8	8	8	8	7	4	9	8	4		
Zintan Platin-Pack 75	2	2012, 2013	8	9	8	8	9	9	9	9	6	8	9	7	8	5	7	2	8	9	9	8	8	9	9	6	7	9	7	7	5	8	2		
Accent S-Pack	1	2011	7	9	9	9	9	9	9	9	6	8	8	8	1	9	9	9	7	8	9	9	9	9	5	8	8	9	1	8	9	9	9		
Adengo	1	2012	8	8	8	9	4	8	9	9	6	7	9	9	5	1	8	1	8	8	8	9	5	8	9	9	5	6	8	9	6	1	8	9	
Calaris 75	1	2013	8	9	9	7	9	9	8	7	8	9	8	5	7	8	8	2	8	9	9	7	9	9	8	9	8	8	6	7	8	8	2		
Callisto 75	1	2013	9	9	9	8	9	9	9	8	9	9	9	5	7	8	8	2	9	9	9	8	9	9	9	9	6	7	8	8	2	2	2		
Laudis	1	2011	8	9	9	7	9	9	9	9	7	8	9	9	1	9	9	9	8	9	9	8	9	9	9	6	8	9	9	1	9	9	8		
MaisTer flüssig	1	2011	7	9	9	9	9	9	8	9	7	9	8	8	1	8	9	9	7	9	9	9	9	9	9	6	9	8	8	1	9	9	9		
Task	1	2011	7	9	9	9	9	9	8	9	6	8	9	9	1	9	9	9	7	9	9	9	9	9	9	6	8	8	9	1	9	9	9		
Clio Super 100	1	2011	8	9	7	4	9	9	9	8	6	8	8	8	1	7	7	6	8	9	9	7	9	9	7	6	8	7	6	1	7	6	6		
Clio Top BMX-Pack 100	1	2011	8	9	8	5	9	9	9	9	6	8	8	8	1	9	8	5	8	9	8	6	9	9	8	6	8	8	8	1	9	8	5		
Milagro forte+Peak+Gardo Gold 100	1	2011	7	7	6	4	9	9	6	1	5	9	8	8	1	9	9	9	7	5	4	3	9	9	7	9	6	8	8	8	1	9	9	9	
Clio Super 75	1	2012	5	8	8	7	6	9	9	9	3	5	8	8	3	1	8	5	4	8	8	7	5	8	9	8	3	5	8	8	6	1	8	7	
Clio Top BMX-Pack 75	1	2012	6	8	8	7	8	9	9	9	3	5	9	9	7	1	8	5	5	8	8	7	7	9	9	9	3	5	9	9	7	1	8	3	
Milagro forte+Peak+Gardo Gold 75	1	2012	5	8	8	8	3	7	9	9	5	6	9	9	5	1	9	9	4	7	8	8	5	7	9	8	4	6	8	9	5	1	9	9	

Anhang 46: Detailübersicht – Merkmale einzelner Sorten aller Jahre am Standort Dröbig

Dröbig	Sorte	3-jährige Prüfung							2-jährige Prüfung					1-jährige Prüfung											
		Fruchtart	Atletico Mais	LG 32.16 Mais	Lussi S.b.x S.s.	KWS Freya S.b. x S.s.	Hercules S.b.	KWS Zerbe- rus S.b.	Amiggo S.b.	KWS Sole S.b. x S.s.	Sucrosorgo 506 S.b.	KWS Tarzan S.b.	KSH 0704 S.b.	EUG 221 F S.b.	Farmsugro 180 S.b.	Super Dolce 15 S.b. x S.s.	Latte S.b. x S.s.	BMR 201 S.b. x S.s.	Niagara 2 S.b. x S.s.	Nutri Honey S.b. x S.s.	KWS Odin S.b.	Biomass 150 S.b.	Uluru S.b. x S.s.	Kylie S.b.	Zeus S.b.	PR823F S.b.	Joggy S.b.
TM-Ertrag [dt/ha]	2011		137,9	161,9	158,6	171,8	184,2	188,0	200,4	206,8					100,9 157,5 98,0 117,4 111,6 232,6 266,0										
	2012		163,9	164,2	159,4	175,3	129,5	144,3	167,0	152,7	118,5	156,6	140,9	162,6	82,0	157,6 143,2									
	2013		121,1	128,2	92,2	96,6	95,1	93,8	101,2	97,2		108,8	107,0	106,0	57,3	103,6 110,2 99,3									
	MW		140,9	151,4	136,7	147,9	136,3	142,0	156,2	124,9	162,7	132,7	123,9	134,3	69,6										
TM-Ertrag relativ zum MW Mais	2011		92	108	106	115	123	125	134	138					67 105 65 78 74 155 177										
	2012		100	100	97	107	79	88	102	93	72	95	86	99	50	96 87									
	2013		97	103	74	77	76	75	81	78		87	86	85	46	83 88 80									
	MW		96	104	92	100	93	96	106	86	105	91	86	92	48										
TS-Gehalt [%]	2011		35,2	35,6	29,1	28,1	26,6	28,6	31,1	25,5					21,7 25,3 20,1 19,5 21,5 32,5 31,3										
	2012		33,1	35,1	36,7	31,8	22,5	27,3	27,6	33,4	21,4	25,0	26,0	22,1	23,0	24,1 20,6									
	2013		32,7	31,7	31,0	29,8	22,5	24,8	26,1	30,0		24,6	24,5	23,0	24,5	22,0 24,1 22,6									
	MW		33,7	34,1	32,3	29,9	23,9	26,9	28,3	31,7	23,4	24,8	25,3	22,6	23,8										
Pflanzen- länge [cm]	2011		209	213	289	363	410	336	374	330					258 291 208 248 279 404 399										
	2012		311	309	306	304	293	268	314	315	275	303	295	314	159	260 296									
	2013		257	249	248	248	211	242	217	254		221	210	226	107	228 207 202									
	MW		259	257	281	305	305	282	302	285	302	262	253	270	133										
Standfestig- keit	2011		1	1	3	2	1	1	1	1					2 1 6 2 2 1 1										
	2012		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 1										
	2013		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1 1 1										
	MW		1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
Vegetations- tage (Aussaat bis Ernte)	2011		139	139	120	120	135	135	135	135					135 135 135 135 120 135 135										
	2012		132	132	114	114	147	147	147	114	147	147	147	147	114	147 147									
	2013		136	136	129	129	150	150	150	129		150	150	150	150	150 150 150									
	Min-Max		136	136	121	121	144	144	144	122	141	149	149	149	132										

Anhang 47: Detailübersicht – Merkmalsdaten einzelner Sorten aller Jahre am Standort Grünewalde

Grünewalde	Sorte	3-jährige Prüfung							2-jährige Prüfung						1-jährige Prüfung												
		Fruchtart	Atletico	LG 32.16	Lussi	KWS Freya	Hercules	KWS Zerberus	Amiggo	KWS Sole	Sucrosorgo 506	KWS Tarzan	KSH 0704	EUG 221 F	Farmsugro 180	Super Dolce 15	Latte	BMR 201	Niagara 2	Nutri Honey	KWS Odin	Biomass 150	Uluru	Kylie	Zeus	PR823F	Joggy
		Mais	Mais	S.b. x S.s.	S.b. x S.s.	S.b.	S.b.	S.b.	S.b. x S.s.	S.b.	S.b.	S.b.	S.b.	S.b.	S.b.	S.b. x S.s.	S.b. x S.s.	S.b. x S.s.	S.b. x S.s.	S.b. x S.s.	S.b.	S.b.	S.b. x S.s.	S.b.	S.b.	S.b.	S.b.
TM-Ertrag [dt/ha]	2011	177,5	153,3	152,8	181,1	162,6	181,3	175,5	156,5						115,9	113,3	88,4	114,3	106,6	206,6	213,3						
	2012	160,5	178,2	179,8	160,6	150,1	163,9	182,2	166,8	151,4	182,7	174,8	155,0	92,6													
	2013	129,3	120,0	109,8	117,4	105,8	96,0	122,5	123,1	132,9		142,8	118,9	55,5													
	MW	155,8	150,5	147,5	153,0	139,5	147,0	160,1	145,0	154,0	157,8	158,8	137,0	74,0													
TM-Ertrag relativ zum MW Mais	2011	107	93	92	110	98	110	106	95						70	68	53	69	64	125	129						
	2012	95	105	106	95	89	97	108	99	89	108	103	92	55													
	2013	104	96	88	94	85	77	98	99	107		115	95	44													
	MW	102	98	96	100	91	94	104	99	92	107	109	93	50													
TS-Gehalt [%]	2011	36,5	36,1	29,7	28,8	26,7	29,6	31,6	23,1						23,8	23,2	21,6	20,6	19,2	32,3	30,0						
	2012	33,6	38,0	37,1	31,6	22,1	28,4	28,7	34,7	21,9	27,8	26,0	21,8	23,2													
	2013	30,3	28,4	26,0	24,6	21,5	22,8	26,2	25,9	26,7		26,8	22,5	21,5													
	MW	33	34	31	28	23	27	29	30	22	27	26	22	22													
Pflanzenlänge [cm]	2011	248	239	285	315	388	350	391	351						271	308	238	265	275	386	391						
	2012	310	309	321	310	322	313	355	334	312	350	341	342	168													
	2013	244	241	263	269	231	229	242	289	257		245	228	136													
	MW	267	263	290	298	313	297	329	311	332	303	293	285	152													
Standfestigkeit	2011	1	1	3	2	1	1	1	1						2	1	5	3	2	1	1						
	2012	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1													
	2013	1	1	2	2	1	1	1	2	1		1	1	1													
	MW	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1													
Vegetations-tage (Aussaat bis Ernte)	2011	139	139	121	121	147	147	147	147						147	147	147	147	121	147	147						
	2012	133	133	119	119	154	154	154	119	154	154	154	154	119													
	2013	140	140	132	132	157	157	157	132	157		157	157	157													
	Min-Max	137	137	124	124	153	153	153	126	151	156	156	156	138													

Anhang 49: Praxiserhebung – Fragebogen

Praxiserhebung

(Anbaujahr 2013)

zum Anbau von Sorghum (Sudangrasyhybriden, Futterhirse) im Vergleich zu Silomais für die energetische Nutzung in Biogasanlagen

Betrieb¹: Bundesland: Bodenart:
 Anschrift: Betriebsgröße (ha LF): Ackerzahl:
 Ackerland (ha): jährl. Niederschlag (mm):
 Grünland (ha): jährl. Ø Lufttemperatur (°C):

> Anbau von Kulturpflanzen zur energetischen Nutzung?

Nein → (die Umfrage endet hier – vielen Dank!)

Ja → Maisha → Ertragdt/ha Ertragdt/ha
 Sorghum - Sudangrasha → Ertragdt/ha Ertragdt/ha
 Sorghum - Futterhirseha → Ertragdt/ha Ertragdt/ha
 Grünschnittroggenha Ertragsangaben in: Trockenmasse oder Fritschmasse
 Ganzpflanzengehälteha
 Sonstige:ha

> Welche Sorten haben Sie im Jahr 2013 angebaut? Sudangras:
 (Mehrfachnennungen möglich) Futterhirse:

> Ihre Beurteilung zum Anbau von Sorghum im Vergleich zu: Mais / anderen Biomassekulturen (wenn kein Mais)

	<u>günstiger</u>	<u>gleich</u>	<u>ungünstiger</u>	<u>Bemerkung (optional)</u>
Beeinflussung Fruchtfolge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Saatzeitflexibilität	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bestandesführung (z.B. PSM-Einsatz, N-Düngung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verfahrenskosten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bestimmung Erntetermin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Silierbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ertrag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Biogasausbeute	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

> Wie haben Sie Sorghum angebaut?

Bodenvorbereitung: Düngung:
 (z.B. pflügen, pfluglos, etc.) (z.B. organisch-Gärrest, mineralisch, etc.)

Aussaat: Unkrautbekämpfung:
 (z.B. Direktsaat, Drillsaat, Einzelkornablage, etc. → Reihenabstand) (z.B. chemisch – evtl. Mittel, mechanisch, gar nicht)

Aussaatzeitraum: Erntezeitraum:
 (Anfang / Mitte / Ende... Monat) (Anfang / Mitte / Ende... Monat)

Vorfrucht: Silagebereitung:
 (z.B. einzeln, im Gemisch mit Mais, etc.)

> Es handelte sich bei dem Anbau von Sorghum um Erstanbau Folgeanbau
 > Ihre Erfahrungen im Anbau mit Sorghum sind positiv negativ
 > Sorghum wird eingesetzt in eigener Biogasanlage einer Fremdanlage (Verkauf)
 > Werden Sie auch weiterhin Sorghum anbauen? ja / nein → weil:

Wenn Interesse am Informationsaustausch zum Sorghumanbau besteht, können Sie hier Ihre Kontaktdaten angeben:

Tel.: E-Mail:

Bitte Rücksendung
 bis zum
 20.02.2014 an:



Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung
 Referat Ackerbau und Grünland
 Stahnsdorfer Damm 1, 14532 Stahnsdorf / OT Güterfelde
 Tel.: 03329 / 6914 – 11, Fax: 03329 / 6914 – 29, E-Mail: manuela.maertin@lelf.brandenburg.de

¹ Bei Auswertung anonymisiert, Kästchen ankreuzen, ... Punktzahlen ausfüllen

Anhang 50: Übersicht über untersuchte Inhaltsstoffe und angewandte Analysemethoden zur Erstellung der NIRS-Kalibration für Sorghum

Parameter	Methode
Trockensubstanz (TS)	nach VDLUFA, Methodenbuch III, Kapitel 3.1., Abschnitt 4.2.1
Organische Trockensubstanz (oTS)	Berechnung (TS - Rohasche)
Rohasche (RA)	nach VDLUFA, Methodenbuch III, Kapitel 8.1.
Rohprotein (RP)	nach DUMAS
Rohfett (RL)	nach VDLUFA, Methodenbuch III
NfE	Berechnung = oTM – RP – RF – RL
Rohfaser (RF)	Vorschrift des Herstellers des Aufschlussgerätes FirmaAnkom
Gesamtzucker	nach VDLUFA, Methodenbuch III, Kapitel 7.1.3.
Stärke	nach VDLUFA, Methodenbuch III, Kapitel 7.2.1.
Säure-Detergenzien-Faser (ADF _{om})	Vorschrift des Herstellers des Aufschlussgerätes FirmaAnkom
Lignin (ADL)	nach VDLUFA, Methodenbuch III
Neutral-Detergenzien-Faser (a _a NDF _{om})	Vorschrift des Herstellers des Aufschlussgerätes FirmaAnkom
Enzymlösliche organische Substanz (ELOS)	nach VDLUFA, Methodenbuch III, Kapitel 6.6.1.

Anhang 51: NIRS-Kalibration für Sorghum, erstellt aus dem Probenmaterial der Jahre 2011–2013 (N = Anzahl Proben in der Kalibrierung; Mean = Mittelwert; SD = Standardabweichung der berechneten Werte; Min = minimaler Wert in der Kalibrierung; Max = maximaler Wert in der Kalibrierung; SEC = Standardfehler der Kalibrierung; SECV = Standardfehler der Kreuzvalidierung; RQS = Bestimmtheitsmaß der Kalibrierung; 1-VR = Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung)

Parameter	N	Mean	SD	Min	Max	SEC	RQS	SECV	1-VR
TS	168	93,38	1,32	89,43	97,33	0,26	0,96	0,30	0,95
RA	165	5,43	1,09	2,16	8,69	0,38	0,88	0,50	0,81
RP	168	7,66	1,80	2,27	13,05	0,39	0,95	0,44	0,94
Rfa	67	31,75	3,09	22,49	41,01	0,76	0,94	1,08	0,88
Rfe	146	1,17	0,33	0,17	2,18	0,19	0,68	0,22	0,59
Zucker	74	12,51	5,04	0,00	27,64	0,62	0,98	0,81	0,97
ELOS	108	43,42	4,92	28,65	58,18	1,19	0,94	1,48	0,91
ADF _{om}	62	34,86	3,62	24,01	45,71	1,13	0,90	1,32	0,87
a _a NDF _{om}	79	59,80	5,46	43,43	76,18	1,230	0,97	1,600	0,91
ADL	43	5,94	1,23	2,23	9,65	0,457	0,86	0,676	0,70

Anhang 52: Erläuterungen zum Hohenheimer Biogastester (HBT)

Der Hohenheimer Biogastester konnte bedingt durch eine Verfahrensumstellung bei der Herstellung der Kolbenprober entgegen der ursprünglichen Planung erst Mitte April 2012 in Hohenheim abgeholt werden. Das für die Methanmessung benötigte Zubehör (Prüfgas, Druckminderer) konnte aufgrund langer Lieferzeiten bzw. Falschlieferrung der Ware erst nach 4 Monaten bereitgestellt werden. Die Wartezeit wurde genutzt, um das Gerät auf technische Mängel bzw. Transportschäden zu überprüfen und sich mit der Handhabung der Versuchsanlage (ohne Gasmessung) vertraut zu machen. Ein regulärer Versuchsbetrieb mit Gasmessung war in Leipzig angesichts des Umzugs des LfULG nach Nossen nicht mehr möglich. Am Standort Nossen konnte erst im November 2012 ein aus arbeitsschutzrechtlicher Sicht geeigneter Platz für den HBT gefunden werden.

Anhang 53: Kostenansätze für Arbeitsgänge (Maschinenringsätze, KTBL-Daten) – Praxisbetriebe

Arbeitsgang	€/ha
Stoppelbearbeitung/Grubber/Scheibenegge	35
Pflügen o. Packer (mit Packer +5 €)	80
Kreiselegge	45
Saatbettkombination	30
Kreiseleggendrillkombination	65
Grubber-Drillkombination	50
Drillmaschine	30
Einzelkornsaat	40
Mineraldünger streuen	10
PSM spritzen	10

Anhang 54: Unterstellte Nährstoffgehalte in organischen Düngemitteln – Praxisbetriebe

Nährstoff	Org. Dünger	kg/m ³ bzw. kg/t
NH ₄ -N	Rindergülle	2,0
NH ₄ -N	Gärrest	3,0
P ₂ O ₅	Rindergülle/Gärrest	1,6
K ₂ O	Rindergülle/Gärrest	3,5
NH ₄ -N	Stallmist	1,0
NH ₄ -N	Hühnertrockenkot	7,9

Anhang 55: Kosten für organische Düngung in Anlehnung an N-Wirkung im Ausbringungsjahr – Praxisbetriebe

Organische Düngung	€/m ³ bzw. €/t
<u>Gülle/Gärrest ausbringen</u>	<u>3,50</u>
Gärrest, Anrechnung zu 67 %	2,35
Gülle, Anrechnung zu 50 %	1,75
<u>Stallmist ausbringen</u>	<u>6,00</u>
Stallmist, Anrechnung zu 20 %	1,20
<u>Hühnertrockenkot ausbringen</u>	<u>8,00</u>
Hühnertrockenkot zu 30 %	2,40

Anhang 56: Durchschnittlicher Pachtzins (€/ha) und Betriebsprämie (€/ha) in den Bundesländern (KTBL, 2012/2013) – Auswertung Praxisbetriebe

	Sachsen	Brandenburg	Sachsen-Anhalt	Thüringen	Bayern	Mecklenburg Vorpommern
Pacht	134	111	200	131	243	172
Betriebsprämie nach Modulation	321	270	320	311	320	296

Anhang 57: Makronährstoffgehalte und -entzüge von Mais und Sorghum in der Anbauregion D-Nord und D-Süd – Kernsortiment, Mittelwerte 2011–2013 bei Mais und Futtersorghum bzw. Mittelwerte 2012/13 bei Körnerhirse

Standort	Fruchtart	TM-Ertrag	Nährstoffgehalte						Nährstoffentzüge					
			N	P	K	Mg	Ca	S	N	P	K	Mg	Ca	S
			% TS						kg/ha					
Dasselsbruch (D-Nord)	Mais	215	1,03	0,20	1,00	0,16	0,21	0,08	223	42	215	34	44	18
	SGH früh	152	1,12	0,16	1,31	0,15	0,31	0,09	173	24	201	23	48	14
	Futterhirse	174	1,07	0,13	1,45	0,17	0,28	0,08	187	22	251	30	49	14
	Körnerhirse	119	1,15	0,19	1,39	0,19	0,30	0,10	135	23	167	23	35	12
Gülzow (D-Nord)	Mais	208	1,13	0,19	,94	0,20	0,24	0,08	231	41	197	40	50	17
	SGH früh	137	1,34	0,18	1,08	0,17	0,35	0,09	182	25	150	23	48	12
	Futterhirse	151	1,23	0,15	1,44	0,20	0,31	0,08	185	24	219	30	48	12
	Körnerhirse	101	1,54	0,20	1,25	0,24	0,31	0,11	155	21	126	24	31	11
Rockstedt (D-Nord)	Mais	203	1,14	0,23	1,24	0,14	0,23	0,08	238	49	259	29	48	18
	SGH früh	147	1,33	0,21	1,39	0,14	0,37	0,09	196	31	206	20	55	14
	Futterhirse	162	1,23	0,19	1,82	0,15	0,33	0,09	199	31	296	24	54	15
	Körnerhirse	111	1,26	0,26	1,48	0,20	0,34	0,11	140	29	163	22	38	13
Drößig (D-Süd)	Mais	146	1,11	0,23	1,09	0,19	0,20	0,09	164	33	161	27	29	13
	SGH früh	142	1,16	0,18	1,34	0,16	0,28	0,09	166	25	193	23	39	12
	Futterhirse	145	1,19	0,16	1,50	0,23	0,30	0,09	171	23	212	31	42	13
	Körnerhirse	70	1,29	0,21	1,92	0,27	0,34	0,13	91	15	138	18	23	9
Gadegast (D-Süd)	Mais	174	1,17	0,25	1,13	0,22	0,18	0,09	203	43	198	36	31	16
	SGH früh	124	1,35	0,18	1,40	0,24	0,31	0,10	159	22	169	29	36	12
	Futterhirse	125	1,18	0,14	1,54	0,23	0,26	0,10	141	17	183	28	31	12
	Körnerhirse	81	1,59	0,21	1,42	0,27	0,33	0,12	124	17	119	22	25	10
Güterfelde (D-Süd)	Mais	199	1,24	0,23	1,11	0,21	0,23	0,09	247	47	222	41	45	18
	SGH früh	146	1,49	0,18	1,28	0,23	0,33	0,10	218	26	185	33	48	15
	Futterhirse	182	1,34	0,16	1,34	0,26	0,32	0,10	245	28	240	47	58	17
	Körnerhirse	94	1,79	0,23	1,82	0,33	0,40	0,13	163	22	164	32	38	12
Trossin (D-Süd)	Mais	148	1,20	0,23	1,16	0,23	0,27	0,09	176	34	171	34	40	14
	SGH früh	108	1,44	0,21	1,28	0,24	0,40	0,11	160	19	149	25	40	11
	Futterhirse	135	1,37	0,18	1,33	0,23	0,35	0,09	176	24	165	30	46	12
	Körnerhirse	95	1,62	0,22	1,53	0,27	0,32	0,12	152	20	151	26	30	11

Anhang 58: Makronährstoffgehalte und -entzüge von Mais und Sorghum auf den K- und Lössstandorten – Kernsortiment, Mittelwerte 2011–2013 bei Mais und Futtersorghum bzw. Mittelwerte 2012/13 bei Körnerhirse (* = Mittel der Jahre 2011/12 bzw. Jahr 2012)

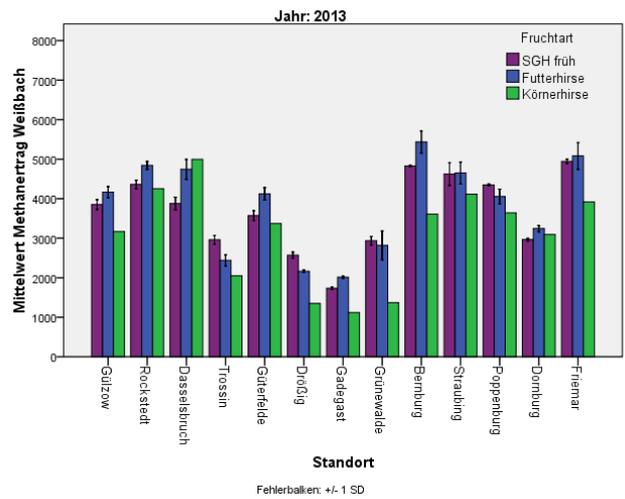
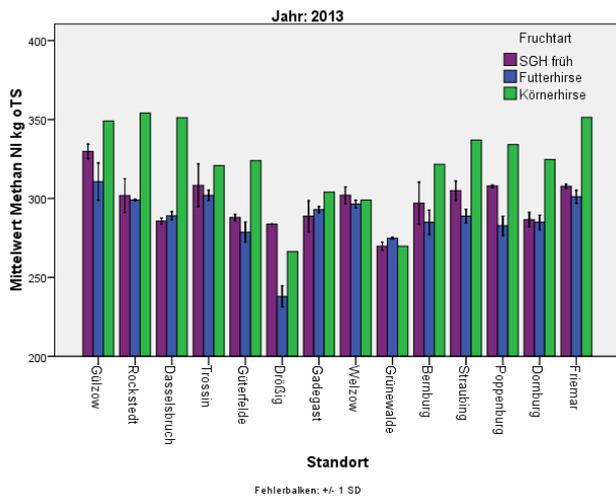
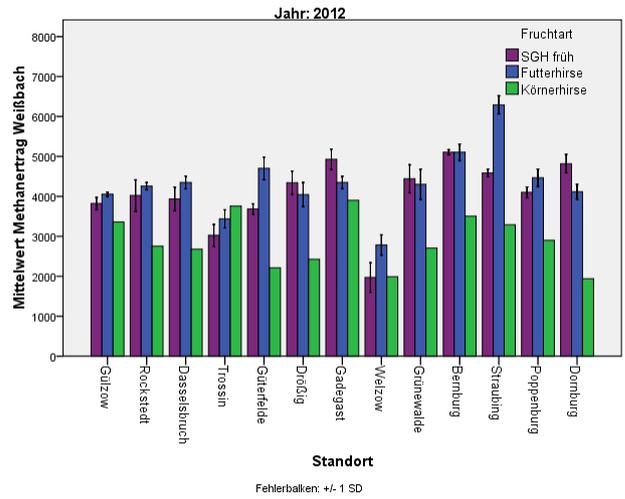
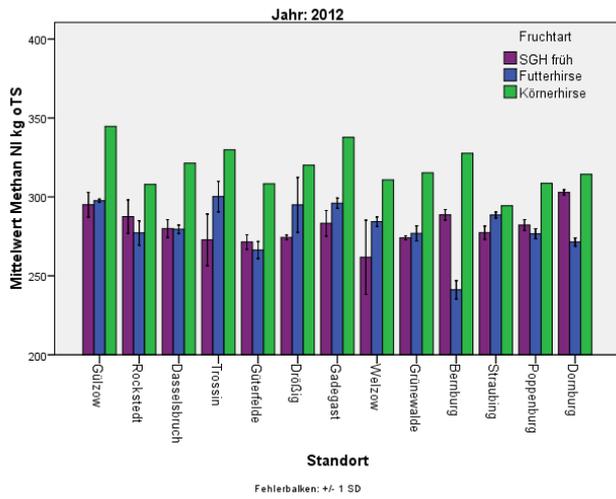
Standort	Fruchtart	TM-Ertrag	Nährstoffgehalte						Nährstoffentzüge					
			N	P	K	Mg	Ca	S	N	P	K	Mg	Ca	S
			% TS						kg/ha					
Grüne-walde (K)	Mais	153	1,02	0,17	,96	0,22	0,18	0,09	156	26	144	33	28	14
	SGH früh	150	1,25	0,14	1,23	0,18	0,24	0,10	190	21	182	28	37	15
	Futterhirse	149	1,12	0,11	1,20	0,23	0,24	0,09	167	16	172	34	36	13
	Körnerhirse	74	1,38	0,16	1,69	0,27	0,27	0,14	104	12	125	20	21	10
Welzow* (K)	Mais	125	0,84	0,22	1,20	0,14	0,20	0,06	112	28	156	16	25	8
	SGH früh	112	0,90	0,19	1,51	0,11	0,29	0,07	96	23	169	11	29	8
	Futterhirse	132	0,77	0,17	1,46	0,14	0,25	0,07	84	22	192	14	30	8
	Körnerhirse	69	0,89	0,21	1,54	0,15	0,28	0,09	66	15	121	9	20	7
Bernburg (Löß)	Mais	235	1,16	0,21	1,07	0,16	0,29	0,09	273	51	253	39	68	22
	SGH früh	183	1,44	0,19	1,18	0,14	0,37	0,09	263	35	217	26	68	17
	Futterhirse	218	1,34	0,16	1,39	0,16	0,35	0,09	290	35	303	36	75	20
	Körnerhirse	119	1,62	0,22	1,76	0,19	0,41	0,12	193	27	210	23	49	15
Dornburg (Löß)	Mais	185	1,05	0,20	,89	0,15	0,25	0,08	192	38	175	27	46	15
	SGH früh	144	1,29	0,17	1,05	0,12	0,38	0,09	186	24	152	18	54	12
	Futterhirse	151	1,21	0,15	1,33	0,15	0,36	0,08	183	23	201	22	53	12
	Körnerhirse	85	1,48	0,23	1,63	0,20	0,43	0,12	123	19	130	17	36	10
Friemar (Löß)	Mais	205	1,10	0,18	,99	0,14	0,24	0,08	210	36	202	25	46	15
	SGH früh	175	1,31	0,19	1,20	0,13	0,35	0,09	239	34	221	23	63	16
	Futterhirse	179	1,21	0,16	1,43	0,16	0,31	0,08	219	28	258	29	55	14
	Körnerhirse	109	1,23	0,17	1,13	0,16	0,33	0,10	147	20	135	19	40	12
Poppen-burg (Löß)	Mais	235	1,06	0,23	1,01	0,17	0,30	0,08	248	55	237	40	69	19
	SGH früh	156	1,43	0,18	1,35	0,14	0,42	0,10	224	28	211	22	67	15
	Futterhirse	172	1,27	0,16	1,52	0,17	0,37	0,09	218	27	258	29	64	15
	Körnerhirse	109	1,58	0,22	1,51	0,19	0,39	0,11	173	25	166	21	43	13
Straubing (Löß)	Mais	223	1,05	0,23	,91	0,18	0,29	0,08	234	51	205	39	65	18
	SGH früh	168	1,28	0,17	1,14	0,14	0,40	0,08	215	28	192	24	67	13
	Futterhirse	200	1,11	0,14	1,10	0,15	0,35	0,07	223	28	222	30	70	14
	Körnerhirse	126	1,52	0,24	1,42	0,21	0,46	0,11	191	30	178	27	58	14

Anhang 59: Stoffliche Zusammensetzung, Methanausbeute und -hektarertrag von Mais und Sorghum in der Anbauregion D-Nord und D-Süd – Kernsortiment, Mittelwerte 2011–2013 bei Mais und Futtersorghum bzw. Mittelwerte 2012/13 bei Körnerhirse (* = ermittelt nach WEIßBACH 2008, keine NIRS-Messung bei Futtersorghum möglich, weil Stärkegehalte in der Regel unterhalb der Nachweisgrenze lagen)

Standort	Fruchtart	TM-Ertrag	TS	Rohprotein	Rohfett	Stärke	Zucker	ELOS	Rohasche	Rohfaser	aNDFom	ADFom	ADL	foTS	Biogas-ertrag*	Methan-ertrag*	Methan-hektar-ertrag
		dt/ha	%	% TS							g/kg		Nm ³ /ha				
Dasselsbruch (D-Nord)	Mais	215	35,0	6,4	2,5	25,9	7,7	64,9	4,4	20,8	43,0	25,2	2,0	796,6	666	350	7215
	SGH früh	152	28,6	7,0	1,1	.	10,5	42,5	4,5	35,3	68,0	37,5	6,8	644,1	539	283	4116
	Futterhirse	174	27,9	6,7	1,0	.	17,3	46,8	5,2	34,8	65,2	36,5	6,5	643,2	543	285	4701
	Körnerhirse	119	27,3	7,2	1,8	14,8	13,3	57,1	5,8	23,8	57,2	30,2	4,4	754,7	641	336	3836
Gülzow (D-Nord)	Mais	208	33,1	7,0	2,3	26,7	7,1	66,5	4,3	19,0	40,5	23,5	2,0	814,0	681	357	7089
	SGH früh	137	31,5	8,3	1,4	.	7,8	46,4	5,1	32,1	66,7	37,5	6,6	672,0	566	297	3833
	Futterhirse	151	26,2	7,7	1,2	.	13,7	48,9	6,3	32,3	64,8	36,7	5,9	659,5	563	296	4181
	Körnerhirse	101	26,8	9,6	1,9	9,3	13,4	58,2	7,0	21,1	57,0	30,1	5,9	768,0	661	347	3262
Rock-stedt (D-Nord)	Mais	203	33,2	7,1	2,4	24,9	6,8	63,4	4,9	20,9	44,9	25,9	2,3	790,9	665	349	6951
	SGH früh	147	29,3	8,3	1,1	.	10,1	43,0	4,1	34,0	66,8	35,8	6,1	662,7	552	290	4104
	Futterhirse	162	25,1	7,7	1,0	.	13,3	44,4	5,1	34,8	65,4	35,6	5,5	643,8	543	285	4381
	Körnerhirse	111	25,0	7,9	1,5	3,7	15,5	56,6	5,3	24,9	55,5	28,5	4,7	746,6	630	331	3503
Drößig (D-Süd)	Mais	146	33,9	7,0	2,3	27,1	6,8	66,1	4,0	20,5	43,4	24,9	2,1	802,4	669	351	4931
	SGH früh	142	31,1	7,2	1,4	.	7,5	42,0	4,6	35,9	69,1	37,2	7,1	635,2	533	280	3784
	Futterhirse	145	26,4	7,4	1,5	.	10,8	48,8	5,6	37,1	69,9	39,1	7,1	607,9	515	270	3757
	Körnerhirse	70	23,8	8,0	2,0	7,4	3,0	51,1	9,6	31,7	69,0	38,0	9,1	632,7	558	293	1888
Gade-gast (D-Süd)	Mais	174	37,2	7,3	2,4	28,8	6,3	66,4	4,1	18,6	40,1	23,8	2,2	818,7	683	359	5985
	SGH früh	124	35,2	8,5	1,5	.	7,9	44,7	4,0	34,9	68,2	38,1	7,0	653,5	545	286	3384
	Futterhirse	125	28,6	7,4	1,2	.	19,3	50,4	4,6	33,2	61,0	33,5	5,3	666,6	559	294	3499
	Körnerhirse	81	29,1	9,9	1,9	11,1	12,6	54,9	5,9	27,2	59,4	31,9	5,7	718,5	611	321	2510
Güter-felde (D-Süd)	Mais	199	30,5	7,7	2,3	25,7	6,9	65,7	4,2	19,4	41,3	23,7	2,2	810,9	677	356	6783
	SGH früh	146	29,4	9,3	1,4	.	5,7	40,6	4,1	35,8	69,6	37,4	7,1	641,2	535	281	3915
	Futterhirse	182	27,5	8,4	1,1	.	10,0	43,6	4,4	36,7	67,7	37,1	6,2	626,9	524	275	4790
	Körnerhirse	94	24,8	11,2	1,8	7,0	6,4	51,2	6,9	28,1	62,7	32,0	6,6	701,3	602	316	2791
Trossin (D-Süd)	Mais	148	32,7	7,5	2,0	20,3	6,4	60,7	4,5	23,0	47,6	28,0	2,6	775,0	649	341	4839
	SGH früh	108	33,8	9,0	1,3	.	5,5	42,9	4,7	36,2	69,9	38,8	7,1	628,4	527	277	2992
	Futterhirse	135	26,7	8,6	1,3	.	15,1	51,2	4,5	32,3	63,4	33,4	5,2	678,3	568	298	3823
	Körnerhirse	95	27,4	10,1	2,0	11,2	9,0	54,3	6,3	26,3	60,0	30,7	7,3	726,2	620	325	2903

Anhang 60: Stoffliche Zusammensetzung, Methanausbeute und -hektarertrag von Mais und Sorghum auf den K- und Lössstandorten – Kernsortiment, Mittelwerte 2011–2013 bei Mais und Futtersorghum bzw. Mittelwerte 2012/13 bei Körnerhirse (* = ermittelt nach WEIßBACH, ** = Mittel 2011/12 bzw. 2012, keine NIRS-Messung bei Futtersorghum möglich, weil Stärkegehalte in der Regel unterhalb der Nachweisgrenze lagen)

Standort	Fruchtart	TM-Ertrag	TS	Rohprotein	Rohfett	Stärke	Zucker	ELOS	Rohasche	Rohfaser	aNDFom	ADFom	ADL	foTS	Biogas-ertrag*	Methan-ertrag*	Methan-hektar-ertrag
		dt/ha	%	% TS							g/kg		NI/kg oTS	Nm ³ /ha			
Grüne- walde (K)	Mais	153	33,8	6,4	2,1	25,5	7,3	63,5	4,4	21,9	45,0	26,8	2,3	786,1	658	345	5069
	SGH früh	150	29,6	7,8	1,2	.	9,0	39,3	4,7	36,9	68,9	36,8	7,2	621,9	522	274	3929
	Futterhirse	149	26,3	7,0	,9	.	19,7	46,9	5,1	36,3	62,6	33,8	5,7	624,2	527	276	3900
	Körnerhirse	74	22,4	8,7	1,7	5,6	8,3	46,8	7,9	32,4	64,0	33,8	7,2	642,1	557	293	2039
Welzow** (K)	Mais	125	32,8	5,3	1,8	24,4	8,5	65,9	4,2	21,8	45,0	25,5	2,1	789,5	659	346	4201
	SGH früh	112	32,0	5,6	1,2	.	9,1	46,0	4,9	35,3	67,7	37,1	6,0	637,7	536	282	2926
	Futterhirse	132	29,0	4,8	1,1	.	16,6	48,7	5,5	33,9	63,4	34,0	5,4	650,3	550	289	3560
	Körnerhirse	69	31,1	5,6	1,5	1,7	11,4	51,8	6,4	30,5	61,7	32,9	6,1	679,3	581	305	1991
Bernburg (Löß)	Mais	235	32,6	7,3	2,4	25,2	7,3	64,7	4,8	19,5	41,7	25,1	2,2	804,4	676	355	7953
	SGH früh	183	33,6	9,0	1,5	.	6,2	41,2	5,5	33,2	66,1	37,5	6,9	658,1	557	292	5052
	Futterhirse	218	30,7	8,3	1,1	.	9,9	41,5	6,2	37,1	66,7	38,6	5,6	603,8	515	270	5497
	Körnerhirse	119	26,9	10,1	2,0	13,5	5,4	50,5	8,0	26,0	60,8	33,2	6,5	710,8	618	325	3557
Dornburg (Löß)	Mais	185	32,2	6,5	2,4	29,9	7,1	67,6	4,3	18,2	39,3	22,4	1,9	820,8	686	360	6332
	SGH früh	144	31,6	8,1	1,2	.	7,4	43,6	5,6	32,1	65,5	37,0	7,0	669,6	567	298	4060
	Futterhirse	151	25,8	7,6	1,1	.	10,6	43,9	6,0	34,4	66,0	36,9	5,8	639,1	544	286	4054
	Körnerhirse	85	23,4	9,3	1,4	8,1	9,0	52,5	8,0	27,1	58,7	32,0	5,9	700,1	609	320	2517
Friemar (Löß)	Mais	205	29,2	6,8	2,1	26,9	6,8	66,0	4,0	19,7	42,1	23,3	1,9	811,2	676	355	6439
	SGH früh	175	30,2	8,2	1,2	.	9,1	42,4	5,4	33,3	64,5	36,3	5,6	657,8	556	292	4991
	Futterhirse	179	25,3	7,6	1,1	.	13,6	44,4	6,0	34,0	63,9	35,1	6,0	643,6	547	287	4862
	Körnerhirse	109	25,3	7,7	1,9	17,0	16,3	56,9	6,6	20,1	52,0	25,7	6,6	780,9	669	351	3919
Poppen- burg (Löß)	Mais	235	35,5	6,6	2,8	27,5	6,2	63,2	4,7	21,2	45,1	26,6	2,1	790,2	663	348	7824
	SGH früh	156	28,8	8,9	1,1	.	10,7	44,2	5,5	33,4	64,4	35,1	5,5	655,2	554	291	4296
	Futterhirse	172	26,0	7,9	1,0	.	14,4	44,7	6,3	35,4	65,3	36,6	5,9	624,6	533	280	4511
	Körnerhirse	109	24,1	9,8	1,3	3,0	15,5	53,5	7,4	26,8	55,4	28,9	4,1	709,0	612	321	3270
Straubing (Löß)	Mais	223	36,0	6,6	2,8	27,2	6,0	63,6	4,7	20,0	42,4	26,0	2,3	801,2	673	353	7506
	SGH früh	168	30,9	8,0	1,2	.	9,0	43,2	5,2	33,1	66,6	37,8	6,5	662,0	558	293	4667
	Futterhirse	200	28,9	6,9	1,0	.	15,0	46,2	4,7	34,7	63,1	37,0	4,7	647,9	544	286	5434
	Körnerhirse	126	26,0	9,5	1,5	9,9	7,3	49,8	7,2	27,9	63,3	35,2	6,4	698,0	601	316	3701



Anhang 61: Methanausbeute und Hektarertrag von Körnersorghum im Vergleich zu Futtersorghum, Sortenversuch 2012/13

Anhang 62: Deckungsbeiträge (€/ha) der geprüften Mais- und Sorghumsorten an den Versuchsstandorten im Zeitraum 2011–2013

Sorte	Jahr	Gülzow	Rockstedt	Dasselsbruch	Trossin	Güterfelde	Dröbzig	Gadegast	Welzow	Grünevalde	Bernburg	Straubing	Poppenburg	Dornburg	Friemar
Atletico (Mais)	11	994	707	948	439	749	300	428	303	540	1044	1121	793	726	733
	12	393	816	720	361	663	453	1012	125	410	715	804	1053	1090	795
	13	702	601	631	124	519	174	247		182	697	683	712	-118	278
	MW	696	708	766	308	644	309	562	214	378	819	869	853	566	602
LG 32.16 (Mais)	11	917	665	935	525	692	449	402	242	374	981	969	845	743	758
	12	597	859	869	336	681	464	1028	8	548	699	750	994	937	843
	13	613	794	663	177	520	204	206		102	646	645	727	-142	269
	MW	709	773	822	346	631	372	545	125	341	775	788	855	513	623
KWS Freya (SGH)	11	255	183	272		295	267	128	140	297	461	343	234	246	335
	12	96	237	188	0	139	334	402	-155	232	316	249	117	283	252
	13	76	195	164	-140	63	-83	-238		-58	220	239	90	-31	276
	MW	142	205	208	-70	166	173	97	-8	157	332	277	147	166	288
Lussi (SGH)	11	230	288	336		339	303	142	214	257	389	381	235	201	462
	12	204	281	247	102	239	382	577	-98	469	465	334	217	335	280
	13	149	312	238	41	131	-7	-101		11	280	302	216	108	378
	MW	194	294	273	72	236	226	206	58	245	378	339	223	215	373
Amiggo (FH)	11	301	191	435	487	458	498	138	247	351	500	504	308	207	427
	12	143	343	267	11	385	287	249	-67	325	528	574	230	215	224
	13	190	296	355	-215	255	-51	-150		26	356	341	192	41	338
	MW	212	276	352	94	366	245	79	90	234	461	473	243	154	330
Hercules (FH)	11	284	266	521	630	660	415	302	323	286	737	598	492	381	203
	12	166	339	348	67	448	98	159	57	149	684	662	276	317	420
	13	202	304	371	-178	283	-64	-141		-54	469	310	124	-14	356
	MW	218	303	413	173	464	150	107	190	127	630	523	297	228	326
KWS Zerberus (FH)	11	230	204	351	432	478	403	222	199	360	454	453	313	284	327
	12	118	303	292	17	327	175	293	-29	257	548	595	178	219	240
	13	180	303	295	-184	198	-113	-154		-133	382	210	69	8	232
	MW	176	270	312	88	334	155	120	85	161	461	420	187	170	266
KWS Sole (SGH)	12	162	298	197	-17	199	247	454	-152	302	329	295	126	364	316
	13	89	214	198	-207	93	-69	-190		-8	149	256	97	90	373
	MW	126	256	197	-112	146	89	132	-152	147	239	276	111	227	344
EUG 221 F (FH)	12	66	230	220	-55	401	150	199		101	528	626	198	306	266
	13	148	283	237	-281	218	-65	-180	-63	-42	484	357	113	38	239
	MW	107	256	228	-168	309	42	10	-63	30	506	492	155	172	253
KWS Merlin (FH)	12	128	267	262	12	337	131	288		261	610	537	183	279	244
	13	181	278	305	-239	236	-53	-155	6	120	349	323	147	87	324
	MW	154	273	284	-114	287	39	66	6	190	479	430	165	183	284
KWS Tarzan (FH)	12	161	364	347	23	482	205	304		345	674	677	265	332	365
	13	191	306	263	-236	230	-31	-165	82	85	388	355	105	74	428
	MW	176	335	305	-106	356	87	69	82	215	531	516	185	203	396

Anhang 63: Erlöse (€/ha) der geprüften Mais- und Sorghumsorten an den Versuchsstandorten im Zeitraum 2011–2013

Sorte	Jahr	Gülzow	Rockstedt	Dasselsbruch	Trossin	Güterfelde	Dröbzig	Gadegast	Welzow	Grünevalde	Bernburg	Straubing	Poppenburg	Dornburg	Friemar
Atletico (Mais)	11	2310	1909	2219	1552	1931	1259	1452	1354	1621	2438	2396	2119	2009	2155
	12	1507	1949	1982	1342	1881	1498	2182	1059	1470	2055	2128	2383	2420	2137
	13	1836	1631	1649	1080	1680	1105	1138		1182	2053	1776	1972	754	1336
	MW	1884	1829	1950	1325	1831	1287	1591	1207	1424	2182	2100	2158	1728	1876
LG 32.16 (Mais)	11	2201	1854	2173	1708	1840	1478	1425	1258	1400	2319	2186	2146	2009	2146
	12	1808	1936	2109	1260	1881	1498	2228	886	1625	2055	2027	2292	2228	2164
	13	1708	1847	1665	1182	1679	1170	1114		1096	1974	1732	1984	729	1314
	MW	1905	1879	1982	1383	1800	1382	1589	1072	1374	2116	1982	2141	1655	1875
KWS Freya (SGH)	11	1360	1229	1426		1408	1408	1114	1219	1484	1721	1473	1475	1368	1598
	12	1131	1254	1262	983	1188	1434	1475	705	1319	1524	1467	1295	1442	1385
	13	1032	1218	1183	767	1082	792	494		963	1435	1324	1203	879	1387
	MW	1174	1234	1290	875	1226	1211	1028	962	1255	1560	1421	1324	1230	1457
Lussi (SGH)	11	1147	1188	1336		1313	1300	975	1147	1252	1483	1366	1270	1155	1614
	12	1106	1139	1155	934	1155	1303	1516	606	1475	1573	1401	1245	1327	1237
	13	964	1221	1121	856	1013	755	525		900	1336	1239	1204	901	1354
	MW	1072	1183	1204	895	1160	1119	1005	877	1209	1464	1335	1240	1128	1402
Amiggo (FH)	11	1409	1221	1524	1581	1589	1642	1163	1305	1438	1745	1672	1467	1262	1696
	12	1188	1352	1278	975	1508	1368	1237	778	1467	1794	1844	1393	1295	1352
	13	1158	1355	1417	655	1260	829	593		1004	1567	1430	1344	1008	1513
	MW	1252	1309	1406	1071	1452	1280	998	1042	1303	1702	1648	1401	1188	1520
Hercules (FH)	11	1377	1311	1590	1745	1855	1509	1270	1378	1332	2032	1752	1712	1540	1278
	12	1204	1344	1401	1041	1631	1065	1254	926	1229	1999	1950	1467	1426	1622
	13	1195	1409	1503	701	1322	780	592		867	1744	1399	1262	960	1516
	MW	1259	1355	1498	1162	1603	1118	1038	1152	1143	1925	1700	1480	1309	1472
KWS Zerberus (FH)	11	1303	1254	1409	1540	1628	1540	1221	1247	1486	1729	1587	1516	1385	1516
	12	1155	1295	1336	975	1434	1180	1303	852	1344	1827	1893	1344	1286	1385
	13	1182	1398	1372	716	1196	769	585		787	1622	1245	1182	976	1328
	MW	1213	1315	1372	1077	1419	1163	1036	1050	1205	1726	1575	1347	1216	1410
KWS Sole (SGH)	12	1196	1327	1245	918	1245	1254	1524	680	1368	1540	1499	1278	1524	1467
	13	1018	1227	1200	621	1107	796	542		1009	1289	1310	1194	1025	1504
	MW	1107	1277	1223	769	1176	1025	1033	680	1188	1415	1405	1236	1275	1486
EUG 221 F (FH)	12	1139	1254	1311	926	1663	1295	1245	852	1270	1893	2007	1450	1499	1499
	13	1202	1453	1332	650	1312	869	610		975	1852	1539	1334	1119	1432
	MW	1170	1353	1322	788	1488	1082	928	852	1123	1872	1773	1392	1309	1466
KWS Merlin (FH)	12	1204	1295	1327	1016	1499	1155	1319	942	1434	1950	1852	1368	1434	1458
	13	1208	1377	1364	667	1288	876	637		1170	1607	1447	1332	1123	1505
	MW	1206	1336	1346	841	1394	1016	978	942	1302	1778	1649	1350	1278	1482
KWS Tarzan (FH)	12	1213	1385	1393	983	1655	1286	1311	1016	1499	1999	2016	1475	1483	1590
	13	1182	1372	1275	611	1228	891	578		1089	1625	1453	1238	1050	1610
	MW	1197	1379	1334	797	1442	1089	945	1016	1294	1812	1734	1356	1267	1600

Anhang 64: Direkt- und Arbeitserledigungskosten (€/ha) der geprüften Mais- und Sorghumsorten an den Versuchsstandorten im Zeitraum 2011–2013

Sorte	Jahr	Gülzow	Rockstedt	Dasselsbruch	Trossin	Güterfelde	Dröbzig	Gadegast	Welzow	Grün-ewalde	Bernburg	Straubing	Poppenburg	Dornburg	Friemar
Atletico (Mais)	11	1316	1201	1271	1113	1182	960	1024	1051	1080	1394	1275	1325	1283	1422
	12	1114	1132	1261	982	1218	1044	1170	934	1060	1340	1323	1330	1330	1342
	13	1134	1030	1018	956	1161	931	891		1000	1355	1093	1260	872	1058
	MW	1188	1121	1184	1017	1187	978	1028	993	1047	1363	1231	1305	1162	1274
LG 32.16 (Mais)	11	1284	1189	1238	1183	1148	1029	1023	1016	1026	1338	1217	1301	1266	1388
	12	1211	1077	1240	924	1200	1034	1200	878	1077	1356	1278	1298	1291	1322
	13	1095	1053	1002	1005	1159	966	908		994	1328	1087	1257	871	1045
	MW	1196	1106	1160	1037	1169	1010	1043	947	1032	1341	1194	1285	1143	1252
KWS Freya (SGH)	11	1105	1046	1154		1113	1141	986	1079	1187	1260	1130	1240	1122	1262
	12	1034	1017	1073	983	1049	1100	1072	860	1087	1208	1217	1178	1159	1132
	13	956	1023	1019	907	1018	874	732		1021	1215	1085	1113	910	1111
	MW	1032	1029	1082	945	1060	1038	930	970	1098	1227	1144	1177	1064	1168
Lussi (SGH)	11	918	900	1000		974	997	833	934	995	1094	985	1035	954	1152
	12	902	858	908	832	917	920	939	704	1006	1108	1067	1028	992	957
	13	814	908	883	815	882	763	626		889	1056	937	988	793	976
	MW	878	889	931	824	924	893	799	819	963	1086	996	1017	913	1029
Amiggo (FH)	11	1108	1030	1089	1094	1131	1144	1025	1058	1087	1245	1167	1159	1055	1269
	12	1045	1009	1012	964	1123	1081	988	845	1142	1266	1269	1163	1080	1128
	13	967	1059	1062	871	1005	881	743		978	1212	1089	1152	966	1176
	MW	1040	1033	1054	976	1086	1035	919	952	1069	1241	1175	1158	1034	1191
Hercules (FH)	11	1092	1045	1069	1116	1195	1094	968	1055	1046	1295	1154	1221	1160	1075
	12	1038	1005	1053	974	1182	967	1095	869	1080	1316	1288	1190	1109	1202
	13	993	1105	1132	879	1039	844	732		921	1274	1090	1138	974	1160
	MW	1041	1052	1084	990	1139	968	932	962	1016	1295	1177	1183	1081	1146
KWS Zerberus (FH)	11	1073	1049	1059	1109	1150	1137	999	1048	1126	1275	1134	1202	1100	1189
	12	1037	992	1044	958	1107	1005	1010	881	1087	1279	1298	1165	1067	1144
	13	1001	1095	1077	900	999	882	739		920	1240	1035	1114	968	1097
	MW	1037	1046	1060	989	1085	1008	916	964	1044	1265	1156	1160	1045	1143
KWS Sole (SGH)	12	1034	1029	1048	935	1047	1007	1070	833	1067	1212	1204	1153	1160	1151
	13	928	1012	1003	828	1014	866	733		1016	1140	1054	1097	935	1132
	MW	981	1021	1025	882	1030	936	901	833	1041	1176	1129	1125	1048	1141
EUG 221 F (FH)	12	1073	1024	1091	981	1262	1145	1046	915	1169	1364	1381	1252	1194	1233
	13	1054	1170	1096	930	1094	935	790		1017	1368	1182	1221	1081	1193
	MW	1064	1097	1093	956	1178	1040	918	915	1093	1366	1282	1237	1137	1213
KWS Merlin (FH)	12	1076	1027	1065	1004	1162	1024	1031	937	1173	1340	1315	1186	1155	1215
	13	1027	1098	1059	906	1052	929	793		1050	1258	1124	1185	1036	1181
	MW	1052	1063	1062	955	1107	977	912	937	1111	1299	1219	1185	1095	1198
KWS Tarzan (FH)	12	1052	1021	1046	960	1173	1081	1007	934	1154	1325	1338	1210	1151	1224
	13	991	1066	1012	847	998	922	744		1004	1237	1097	1133	977	1182
	MW	1021	1044	1029	904	1086	1001	875	934	1079	1281	1218	1171	1064	1203

Anhang 65: Auswertung Praxisbetriebe Hauptfruchtanbau 2011–2013, Teil 1 (Betriebe nach Erntejahr und absteigend nach Höhe der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung sortiert, Berechnung durch SCHAERFF & THEIß)

Erntejahr:		2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2012	2012	2012	2012
Betrieb	ME	BY 5	BY 8	SN 1	BY 4	ST 1	BY 1	BY 3	BB 1	BB 1	BY 10	SN 5	ST 2	TH 4
Fruchtart		SGH	SGH	FH	FH	SGH	SGH	FH	SGH	FH	SG	FH	FH	FH
Sorte		Green Grazer	Green Grazer	Goliath	Zerberus	Lussi	Lussi	Sucrosor-go	Lussi	Goliath	Piper	Zerberus	Sucrosor-go	Sucrosor-go
Verwertung		k.A.	eig. BGA	eig. BGA	eig. BGA	Fütterung	Verkauf	eig. BGA /Verk.	k.A.	k.A.	eig. BGA	eig. BGA	Verkauf	Verkauf
Verkauf...	FM / Sil	-	-	-	-	-	ab Feld	FM	-	-	-	-	?	ab Feld
Silokosten	€/dt	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Ertrag FM	dt/ha	700	750	600	650	280	470	462	277	266	581	520	450	612
TS	%	32	29	29	26	35	28	28	27	28	27	28	28	22
Ertrag TM	dt/ha	224	218	174	169	98	132	128	74	75	157	147	126	132
Silageertrag TM	dt/ha	197	191	153	149	86	116	113	65	66	138	130	111	116
Methanertrag	m³/ha	5.618	5.455	4.364	4.239	2.458	3.301	3.221	1.863	1.887	3.934	3.691	3.160	3.300
Leistung bewertet		1.854	1.800	1.440	1.399	811	1.089	1.063	615	623	1.298	1.218	1.043	1.089
Saatgutkosten	€/ha	44	65	80	98	29	64	61	61	80	50	188	80	94
Düngemittelkosten	€/ha	446	475	335	382	206	418	387	189	190	359	256	304	302
PSM-Kosten	€/ha	0	0	24	40	13	30	28	36	36	0	49	35	0
Arbeitserledigung	€/ha	590	653	536	680	422	512	632	443	439	583	440	494	603
DAL*	€/ha	774	608	465	198	140	65	-44	-114	-122	307	287	131	90
Lagerhaltungskosten	€/ha	245	263	210	228	98	165	162	97	93	203	182	158	214
Flächenkosten	€/ha	308	277	265	211	144	715	415	176	176	303	199	265	264
Gemeinkosten	€/ha	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Gesamtkosten	€/ha	1.783	1.882	1.600	1.789	1.063	2.054	1.834	1.151	1.163	1.648	1.462	1.484	1.627
Gesamtkosten	€/dt TM	9,05	9,83	10,45	12,03	12,32	17,74	16,23	17,62	17,58	11,94	11,29	13,39	14,05
Gesamtkosten	€/m³ CH₄	0,32	0,34	0,37	0,42	0,43	0,62	0,57	0,62	0,62	0,42	0,40	0,47	0,49
Ergebnis	€/ha	71	-82	-160	-390	-252	-965	-771	-537	-541	-350	-244	-442	-538
Ergebnis mit BP	€/ha	390	238	162	-71	68	-645	-452	-267	-271	-30	77	-122	-227

Angabe fehlt

Angabe erfolgt

errechneter Wert

Richtwert bzw. Ansatz für fehlende Daten

Anhang 66: Auswertung Praxisbetriebe Hauptfruchtanbau 2011–2013, Teil 2 (Betriebe nach Erntejahr und absteigend nach Höhe der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung sortiert, Berechnung durch SCHAERFF & THEIß)

Erntejahr:		2012	2012	2012	2012	2012	2012	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013
Betrieb	ME	BY 1	BB 3	ST 2	TH 3	ST 1	MV 1	BB 4	BB 6	BB 5	BB 7	BB 7	BB 10	ST 3
Fruchtart		FH	FH	SGH	FH	SGH	SGH	FH	FH	FH	SGH	FH	SGH	FH
Sorte		Hercules	Hercules	Jumbo	Goliath	Susu	Jumbo	Zerberus	Zerberus	Hercules	Lussi	Zerberus	Nutri Honey	Zerberus
Verwertung		Verkauf	eig. BGA	Verkauf	eig. BGA	Fütterung	Fütterung	Verkauf	Verkauf	Verkauf	eig. BGA	eig. BGA	eig. BGA	Verkauf
Verkauf...	FM / Sil	ab Feld	-	?	-	-	-	Silage	Silage	FM	-	-	-	FM
Silokosten	€/dt	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Ertrag FM	dt/ha	450	366	350	300	167	180	280	211	217	189	226	150	175
TS	%	30	29	28	25	35	32	28	32	28	40	36	30	28
Ertrag TM	dt/ha	135	106	98	75	58	58	78	68	61	76	81	45	49
Silageertrag TM	dt/ha	119	93	86	66	51	51	69	60	53	67	72	40	43
Methanertrag	m³/ha	3.386	2.662	2.458	1.881	1.466	1.445	1.966	1.704	1.524	1.896	2.041	1.129	1.229
Leistung bewertet		1.117	878	811	621	484	477	649	562	503	626	673	372	406
Saatgutkosten	€/ha	81	85	80	74	52	75	120	121	70	84	112	40	125
Düngemittelkosten	€/ha	435	230	262	214	177	197	202	163	206	262	270	157	159
PSM-Kosten	€/ha	30	40	35	43	38	43	39	54	30	26	26	0	32
Arbeitserledigung	€/ha	505	488	459	372	406	418	434	405	392	476	489	435	364
DAL*	€/ha	66	35	-24	-82	-190	-256	-147	-181	-195	-222	-224	-260	-274
Lagerhaltungskosten	€/ha	158	128	123	105	58	63	98	74	76	66	79	53	61
Flächenkosten	€/ha	715	176	265	196	148	237	176	106	132	129	129	134	151
Gemeinkosten	€/ha	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Gesamtkosten	€/ha	2.074	1.297	1.373	1.154	1.030	1.182	1.219	1.073	1.056	1.193	1.255	969	1.042
Gesamtkosten	€/dt TM	17,46	13,89	15,92	17,48	20,03	23,33	17,68	17,95	19,75	17,93	17,53	24,47	24,16
Gesamtkosten	€/m³ CH₄	0,61	0,49	0,56	0,61	0,70	0,82	0,62	0,63	0,69	0,63	0,62	0,86	0,85
Ergebnis	€/ha	-957	-419	-562	-533	-546	-706	-571	-511	-553	-567	-582	-597	-636
Ergebnis mit BP	€/ha	-637	-149	-242	-222	-226	-410	-301	-241	-283	-297	-312	-326	-316

Angabe fehlt

Angabe erfolgt

errechneter Wert

Richtwert bzw. Ansatz für fehlende Daten

Anhang 67: Auswertung Praxisbetriebe Zweitfruchtanbau 2011–2013, Teil 1 (Betriebe nach Erntejahr und absteigend nach Höhe der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung sortiert, Berechnung durch SCHAERFF & THEIß)

Erntejahr:		2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011
Betrieb	ME	BY 5	TH 1	BY 7	SN 1	BY 8	SN 2	SN 3	BY 6	BB 2	TH 2
Fruchtart		SGH	5		FH	SGH	SGH	SGH	FH	SGH	SGH
Sorte		Green Grazer	Lussi	Energiemix II	Goliath	Lussi	Bovital	Bovital	Goliath	NutriHoney	Freya
Verwertung		k.A.	eig+fr. BGA	eig. BGA	eig. BGA	eig. BGA	k.A.	eig. BGA/ Fütterung	eig. BGA	Verkauf	eig. BGA/ Fütterung
Verkauf...	FM / Sil	-	Silage	-	-	-	-	-	-	Silage	-
Silokosten	€/dt	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Ertrag FM	dt/ha	550	298	400	400	450	292	292	400	257	309
TS	%	26	31	33	29	20	28	28	22	28	22
Ertrag TM	dt/ha	143	93	132	116	90	82	82	88	72	68
Silageertrag TM	dt/ha	126	82	116	102	79	72	72	77	63	60
Methanertrag	m³/ha	3.586	2.332	3.311	2.909	2.257	2.053	2.053	2.207	1.805	1.697
Leistung bewertet		1.184	770	1.092	960	745	678	678	728	596	560
Saatgutkosten	€/ha	44	51	84	80	68	76	76	72	80	85
Düngemittelkosten	€/ha	325	200	287	248	284	235	235	236	191	170
PSM-Kosten	€/ha	0	21	0	24	0	30	30	16	36	24
Arbeitserledigung	€/ha	503	295	538	466	503	448	448	525	421	496
DAL*	€/ha	312	203	184	142	-109	-111	-111	-121	-132	-214
Lagerhaltungskosten	€/ha	193	104	140	140	158	102	102	140	90	108
Flächenkosten	€/ha	308	265	615	265	277	130	130	308	176	122,05
Gemeinkosten	€/ha	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Gesamtkosten	€/ha	1.522	1.086	1.814	1.373	1.439	1.171	1.171	1.447	1.144	1.155
Gesamtkosten	€/dt TM	12,10	13,27	15,61	13,45	18,17	16,25	16,25	18,68	18,07	19,39
Gesamtkosten	€/m³ CH₄	0,42	0,47	0,55	0,47	0,64	0,57	0,57	0,66	0,63	0,68
Ergebnis	€/ha	-339	-316	-721	-413	-694	-493	-493	-719	-548	-595
Ergebnis mit BP	€/ha	-19	-5	-402	-92	-374	-172	-172	-399	-278	-283

Angabe fehlt

Angabe erfolgt

errechneter Wert

Richtwert bzw. Ansatz für fehlende Daten

Anhang 68: Auswertung Praxisbetriebe Zweitfruchtanbau 2011–2013, Teil 2 (Betriebe nach Entejahr und absteigend nach Höhe der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung sortiert, Berechnung durch SCHAERFF & THEIß)

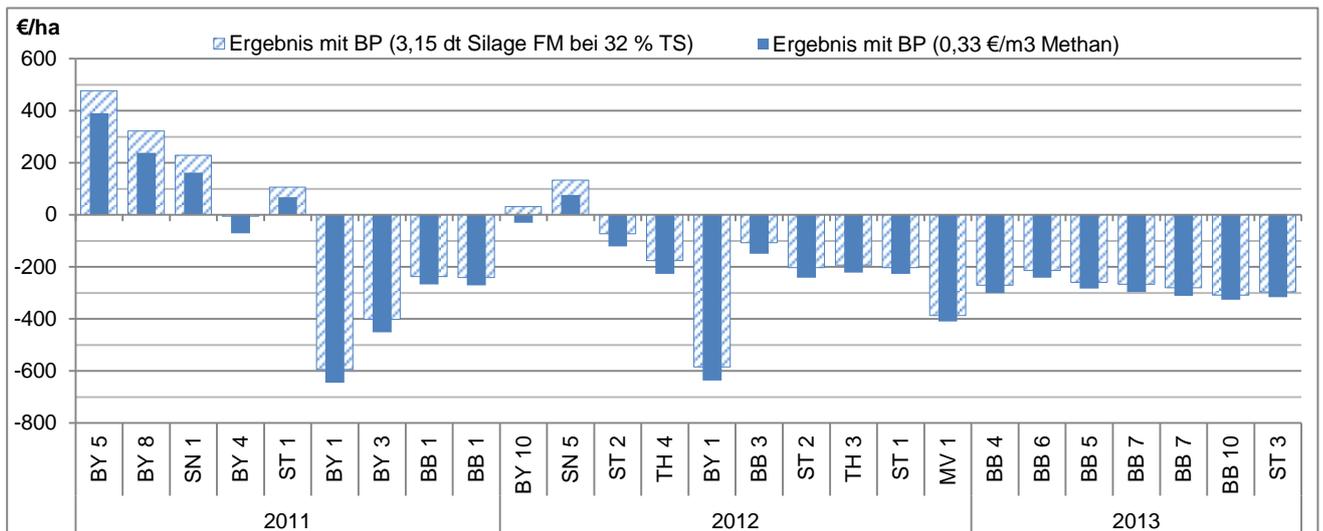
Erntejahr:		2011	2011	2011	2011	2012	2012	2013	2013	2013	2013
Betrieb	ME	BY 2	SN 4	BY 4	BY 4	BY 9	TH 5	BY 11	BB 8	BB 9	BB 5
Fruchtart		FH	FH	FH	SGH	FH	SGH	FH	SGH	SGH	SGH
Sorte		Zerberus	Sucrosorgo	Maja	Freya	Biomass 150	Lussi	Biomass 150	Lussi	Lussi	Gardavan
Verwertung		eig. BGA	eig. BGA	eig. BGA	eig. BGA	Verkauf	Verkauf	eig. BGA	Verkauf	Verkauf	Verkauf
Verkauf...	FM / Sil	-	Sil			?	FM		ab Feld	ab Feld	FM
Silokosten	€/dt	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Ertrag FM	dt/ha	364	305	350	340	580	437	550	201	201	267
TS	%	24	17	22	22	32	22	27	30	30	28
Ertrag TM	dt/ha	87	52	77	75	186	96	149	60	60	75
Silageertrag TM	dt/ha	77	46	68	66	163	85	131	53	53	66
Methanertrag	m³/ha	2.191	1.300	1.931	1.876	4.655	2.411	3.724	1.512	1.512	1.875
Leistung bewertet		723	429	637	619	1.536	796	1.229	499	499	619
Saatgutkosten	€/ha	84	68	113	113	224	70	75	77	77	70
Düngemittelkosten	€/ha	294	137	245	242	575	213	450	122	115	227
PSM-Kosten	€/ha	32	37	40	40	60	23	25	20	20	30
Arbeitserledigung	€/ha	530	417	575	571	600	524	599	372	393	410
DAL*	€/ha	-216	-230	-335	-347	78	-34	80	-92	-106	-118
Lagerhaltungskosten	€/ha	127	107	123	119	203	153	193	70	70	93
Flächenkosten	€/ha	308	199	211	211	308	378	565	116	116	132
Gemeinkosten	€/ha	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Gesamtkosten	€/ha	1.525	1.115	1.456	1.446	2.119	1.511	2.056	928	941	1.112
Gesamtkosten	€/dt TM	19,83	24,43	21,49	21,96	12,98	17,86	15,74	17,48	17,74	16,90
Gesamtkosten	€/m³ CH₄	0,70	0,86	0,75	0,77	0,46	0,63	0,55	0,61	0,62	0,59
Ergebnis	€/ha	-802	-686	-819	-827	-583	-715	-827	-429	-442	-493
Ergebnis mit BP	€/ha	-482	-364	-499	-507	-263	-404	-507	-159	-172	-223

Angabe fehlt

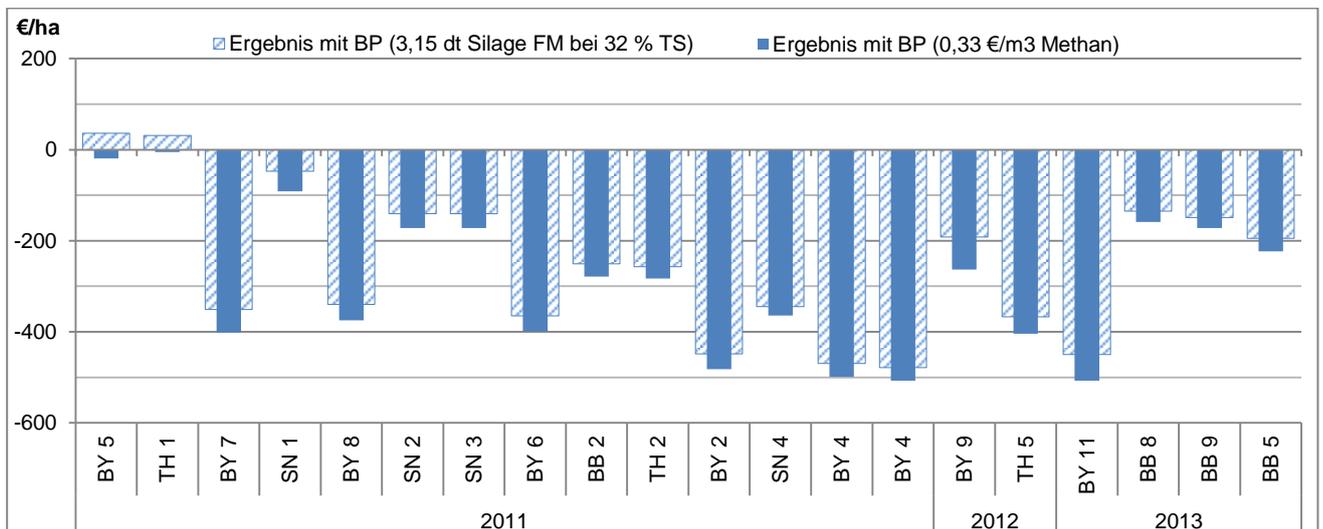
Angabe erfolgt

errechneter Wert

Richtwert bzw. Ansatz für fehlende Daten



Anhang 69: Vergleich der Betriebsergebnisse von Sorghum im Hauptfruchtanbau bei Leistungsbewertung über Methan- bzw. Silagepreis



Anhang 70: Vergleich der Betriebsergebnisse von Sorghum im Zweitfruchtanbau bei Leistungsbewertung über Methan- bzw. Silagepreis

Anhang 71: Modellkalkulation Silomais und Sorghum bei unterschiedlichem Ertrags- und Silagepreinsniveau und unterstelltem Pachtzins von 80 €/ha

Kennzahl	ME	Silomais			Sorghum			Silomais			Sorghum		
		schwach	mittel	hoch	schwach	mittel	hoch	schwach	mittel	hoch	schwach	mittel	hoch
Ertrag FM	dt/ha	250	400	550	268	429	589	250	400	550	268	429	589
TS	%	30	30	30	28	28	28	30	30	30	28	28	28
Ertrag TM	dt/ha	75	120	165	75	120	165	75	120	165	75	120	165
TM-Verluste	%	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Silage FM	dt/ha	220	352	484	250	400	550	220	352	484	250	400	550
Silage FM bei 30 %TS		220	352	484	220	352	484	220	352	484	220	352	484
Silage TM	dt/ha	66	106	145	66	106	145	66	106	145	66	106	145
Verkaufspreis	€/dt	3,50	3,50	3,50	3,15	3,15	3,15	3,75	3,75	3,75	3,38	3,38	3,38
Leistung Verkauf	€/ha	770	1.232	1.694	693	1.109	1.525	825	1.320	1.815	744	1.190	1.636
Saatgutkosten	€/ha	170	170	170	125	125	125	170	170	170	125	125	125
Düngemittelkosten	€/ha	207	258	310	232	299	366	207	258	310	232	299	366
PSM-Kosten	€/ha	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Hagelversicherung	€/ha												
Sonst. Direktkosten	€/ha												
Arbeitserledigung*	€/ha	405	458	510	411	468	524	405	458	510	411	468	524
Silokosten	€/ha	88	140	193	94	150	206	88	140	193	94	150	206
Pacht	€/ha	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Grundsteuer	€/ha	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Berufsgenossensch.	€/ha	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Kalkung	€/ha	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Flächenkosten	€/ha	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
Gemeinkosten	€/ha	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Gesamtkosten	€/ha	1.224	1.381	1.538	1.217	1.397	1.576	1.224	1.381	1.538	1.217	1.397	1.576
Gesamtkosten	€/dt TM	18,55	13,08	10,59	18,44	13,23	10,86	18,55	13,08	10,59	18,44	13,23	10,86
Gesamtkosten	€/dt Silage	5,56	3,92	3,18	4,87	3,49	2,87	5,56	3,92	3,18	4,87	3,49	2,87
Ergebnis Verkauf		-454	-149	156	-524	-288	-52	-399	-61	277	-473	-207	59
Ergebnis Verkauf mit BP	€/ha	-133	172	477	-203	33	269	-78	260	598	-152	114	381

* unterstellte Arbeitsgänge: 1x pfluglose Grundbodenbearbeitung, 1x Saatbettbereitung, Aussaat Einzelkorn, 1x Mineraldüngung, 2x Pflanzenschutz, Ernte, 1x Stoppelbearbeitung

Anhang 72: Modellkalkulation Silomais und Sorghum bei unterschiedlichem Ertrags- und Silagepreinsniveau und unterstelltem Pachtzins von 175 €/ha

Kennzahl	ME	Silomais			Sorghum			Silomais			Sorghum		
		schwach	mittel	hoch	schwach	mittel	hoch	schwach	mittel	hoch	schwach	mittel	hoch
Ertrag FM	dt/ha	250	400	550	268	429	589	250	400	550	268	429	589
TS	%	30	30	30	28	28	28	30	30	30	28	28	28
Ertrag TM	dt/ha	75	120	165	75	120	165	75	120	165	75	120	165
TM-Verluste	%	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Silage FM	dt/ha	220	352	484	250	400	550	220	352	484	250	400	550
Silage FM bei 30 %TS		220	352	484	220	352	484	220	352	484	220	352	484
Silage TM	dt/ha	66	106	145	66	106	145	66	106	145	66	106	145
Verkaufspreis	€/dt	3,50	3,50	3,50	3,15	3,15	3,15	3,75	3,75	3,75	3,38	3,38	3,38
Leistung Verkauf	€/ha	770	1.232	1.694	693	1.109	1.525	825	1.320	1.815	744	1.190	1.636
Saatgutkosten	€/ha	170	170	170	125	125	125	170	170	170	125	125	125
Düngemittelkosten	€/ha	207	258	310	232	299	366	207	258	310	232	299	366
PSM-Kosten	€/ha	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Hagelversicherung	€/ha												
Sonst. Direktkosten	€/ha												
Arbeitserledigung*	€/ha	405	458	510	411	468	524	405	458	510	411	468	524
Silokosten	€/ha	88	140	193	94	150	206	88	140	193	94	150	206
Pacht	€/ha	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
Grundsteuer	€/ha	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Berufsgenossensch.	€/ha	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Kalkung	€/ha	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Flächenkosten	€/ha	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Gemeinkosten	€/ha	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Gesamtkosten	€/ha	1.319	1.476	1.633	1.312	1.492	1.671	1.319	1.476	1.633	1.312	1.492	1.671
Gesamtkosten	€/dt TM	19,98	13,98	11,25	19,88	14,13	11,51	19,98	13,98	11,25	19,88	14,13	11,51
Gesamtkosten	€/dt Silage	6,00	4,19	3,37	5,25	3,73	3,04	6,00	4,19	3,37	5,25	3,73	3,04
Ergebnis Verkauf		-549	-244	61	-619	-383	-147	-494	-156	182	-568	-302	-36
Ergebnis Verkauf mit BP	€/ha	-228	77	382	-298	-62	174	-173	165	503	-247	19	286

* unterstellte Arbeitsgänge: 1x pfluglose Grundbodenbearbeitung, 1x Saatbettbereitung, Aussaat Einzelkorn, 1x Mineraldüngung, 2x Pflanzenschutz, Ernte, 1x Stoppelbearbeitung

Teilvorhaben 5



Anhang 73: Modellversuch mit Kleinlysimetern in Buttelstedt

Anhang 74: Messprogramm im Modellversuch mit Kleinlysimetern

Bonitur	1x wöchentlich (Bestandeshöhe, BBCH, phänolog. Besonderheiten)
Bodenfeuchtemessung	14-tägig zwischen Aussaat und Ernte (mittels Am/Be Neutronensonde S23) in 20 cm Tiefenabstufungen
Sickerwasserentnahme	wöchentlich (mittels Unterdruck und keramischen Saugkerzen)
Sickerwasseranalyse	wöchentlich aus 14-tägiger Sammelprobe (Nitrat, weitere Parameter)
Beregnung	mit Beginn der Hauptwachstumsphase 1–2x wöchentlich (je nach Verdunstungsanspruch der Atmosphäre)

Anhang 75: Übersicht ausgewählter anbautechnischer und phänologischer Daten im Modellversuch mit Kleinlysimetern

	2011		2012		2013	
	Sudangras- hybride Lussi	Futterhirse KWS Zerberus	Sudangras- hybride Lussi	Futterhirse KWS Zerberus	Sudangras- hybride Lussi	Futterhirse KWS Zerberus
Aussaat	18.05.11	18.05.11	21.05.12	22.05.12	16.05.13	16.05.13
Aufgang	25.05.11	25.05.11	28.05.12	30.05.12	01.06.13	01.06.13
N-Düngung (kg/ha N)	Löss 100/20	100/20	100/30	100/30	100/70	100/65
	Sand 100/50	100/40	100/30	100/30	100/105	100/105
Pflanzenschutz	manuelle Unkrautbekämpfung bis Bestandesschluss					
Bestockungsbeginn	09.06.11	14.06.11	15.06.12	20.06.12	20.06.13	25.06.13
Anzahl angelegter Bestockungstriebe	4 – 5	1 – 3	4 – 6	0 – 3	3 – 4	1 – 3
Berechnungsbeginn (BBCH 30)	11.07.11		09.07.12		11.07.13	
Rispenstadien (BBCH 50)	27.07.11	01.09.11	15.08.12	05.09.12	07.08.13	29.08.13
Bestockungstriebe zur Ernte	2 – 3	0	1,3	1	0 – 1	0
BBCH Ernte	69 – 71	64 – 69	68 – 71	69 – 71	85 – 89	61 – 65
Wuchshöhe zur Ernte [Ø, cm]	293	303	294	312	297	298
Termin Ernte	08.09.11	29.09.11	10.09.12	11.10.12	11.09.13	08.10.13
Wachstumstage	113	134	112	142	118	145

Anhang 76: Produktionstechnische Maßnahmen am Standort Butteltstedt

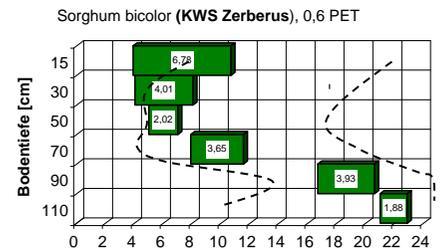
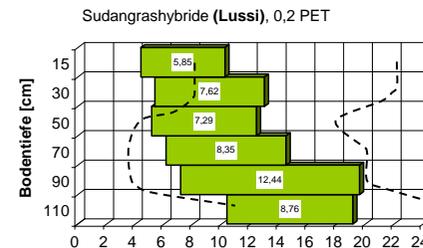
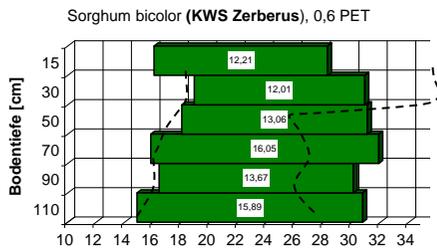
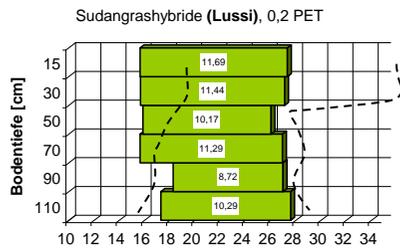
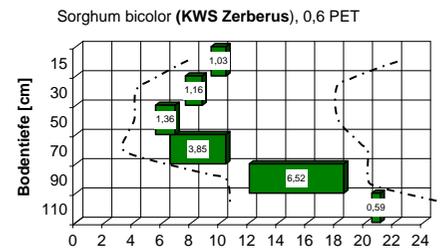
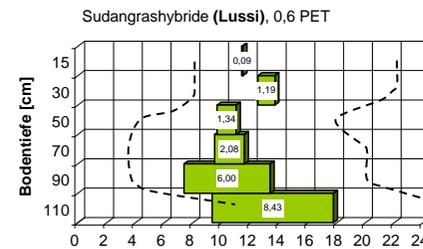
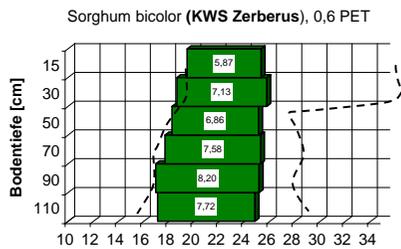
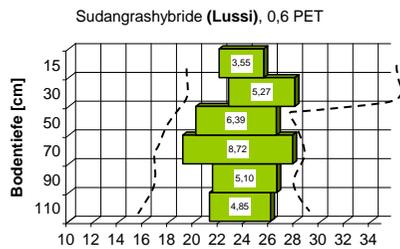
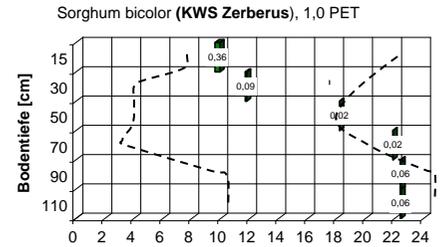
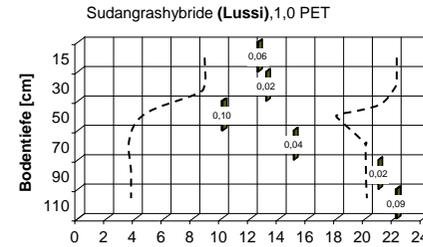
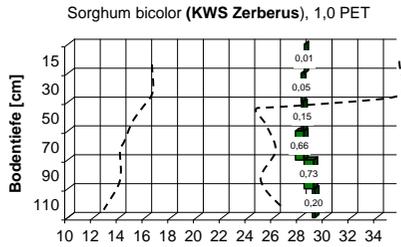
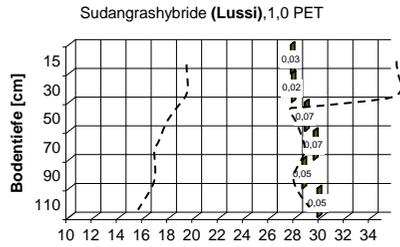
Jahr	Fruchtart	Aussaat	Aufgang	N-Düngung 1./2. Gabe	Pflanzenschutz Herbizid/Insektizid	Ernte/Aufwuchstage
2011	Mais	20.04.	15.05.	150 kg N/ha KAS	3 l/ha Artett/ 125 g/ha Steward	22.09./ 155
	Sudangras- hybride	17.05.	27.05.	100/50 kg N/ha KAS	4 l/ha Gardo Gold/ kein Insektizid	04.10./ 140
	Futterhirsen	17.05.	27.05.	100 /50 kg N/ha KAS	4 l/ha Gardo Gold/ kein Insektizid	17.10. 153
2012	Mais	24.04.	08.05.	100/20 kg N/ha KAS	3 l/ha Artett/ 0,6 l/ha Gladiator	10.09./ 139
	Sudangras- hybride	21.05.	29.05.	100/20 kg N/ha KAS	2,5 l Gardo Gold + 0,2 kg/ha Arrat+ 1,0 l/ha Dash E.C./ kein Insektizid	10.09./ 112
	Futterhirsen	21.05.	30.05.	100/20 kg N/ha KAS	2,5 l Gardo Gold + 0,2 kg/ha Arrat+ 1,0 l/ha Dash E.C./ kein Insektizid	16.10. 148
2013	Mais	01.05.	11.05.	100/90 kg N/ha KAS	3 l/ha Artett/ kein Insektizid	10.09./ 132
	Sudangras- hybride	15.05.	04.06.	100/65 kg N/ha KAS	2,5 l Gardo Gold + 0,2 kg/ha Arrat+ 1,0 l/ha Dash E.C./ kein Insektizid	10.09./ 118
	Futterhirsen	15.05.	04.06.	100/75 kg N/ha KAS	2,5 l Gardo Gold + 0,2 kg/ha Arrat+ 1,0 l/ha Dash E.C./ kein Insektizid	16.10./ 154

Anhang 77: Trockenmasseertrag und TS-Gehalt im Modellversuch mit Kleinlysimetern 2011–2013

Fruchtart	Wasser- versorgung	TM-Ertrag [g/Gefäß]					
		Löss			Sand		
		2011	2012	2013	2011	2012	2013
<i>Sorghum bicolor</i> x	1,0 PET	220,0	347,0	270,4	166,8	248,4	271,3
<i>Sorghum sudanense</i> (Lussi)	0,6 PET	241,9	290,7	294,0	148,4	233,6	250,6
	0,2 PET	211,5	178,9	206,3	143,9	184,0	201,6
<i>Sorghum bicolor</i> (KWS Zerberus)	1,0 PET	321,9	461,1	486,4	234,1	333,7	421,1
	0,6 PET	335,9	438,0	406,0	202,7	280,6	381,1
	0,2 PET	239,4	312,4	263,1	129,9	166,6	165,7
Fruchtart	Wasser- versorgung	TS-Gehalt [%]					
		Löss			Sand		
		2011	2012	2013	2011	2012	2013
<i>Sorghum bicolor</i> x	1,0 PET	33,9	31,9	33,0	30,1	32,7	34,7
<i>Sorghum sudanense</i> (Lussi)	0,6 PET	35,1	31,3	25,0	30,0	32,1	34,4
	0,2 PET	39,0	28,1	36,6	35,8	34,9	35,4
<i>Sorghum bicolor</i> (KWS Zerberus)	1,0 PET	31,1	31,5	28,9	34,3	33,3	30,3
	0,6 PET	35,0	32,0	30,0	33,5	32,4	28,9
	0,2 PET	34,9	31,3	30,2	31,5	29,2	28,1

LÖSS

SAND



Bodenwassergehalt [Vol%]

Bodenwassergehalt [Vol%]

Bodenwassergehalt [Vol%]

Bodenwassergehalt [Vol%]

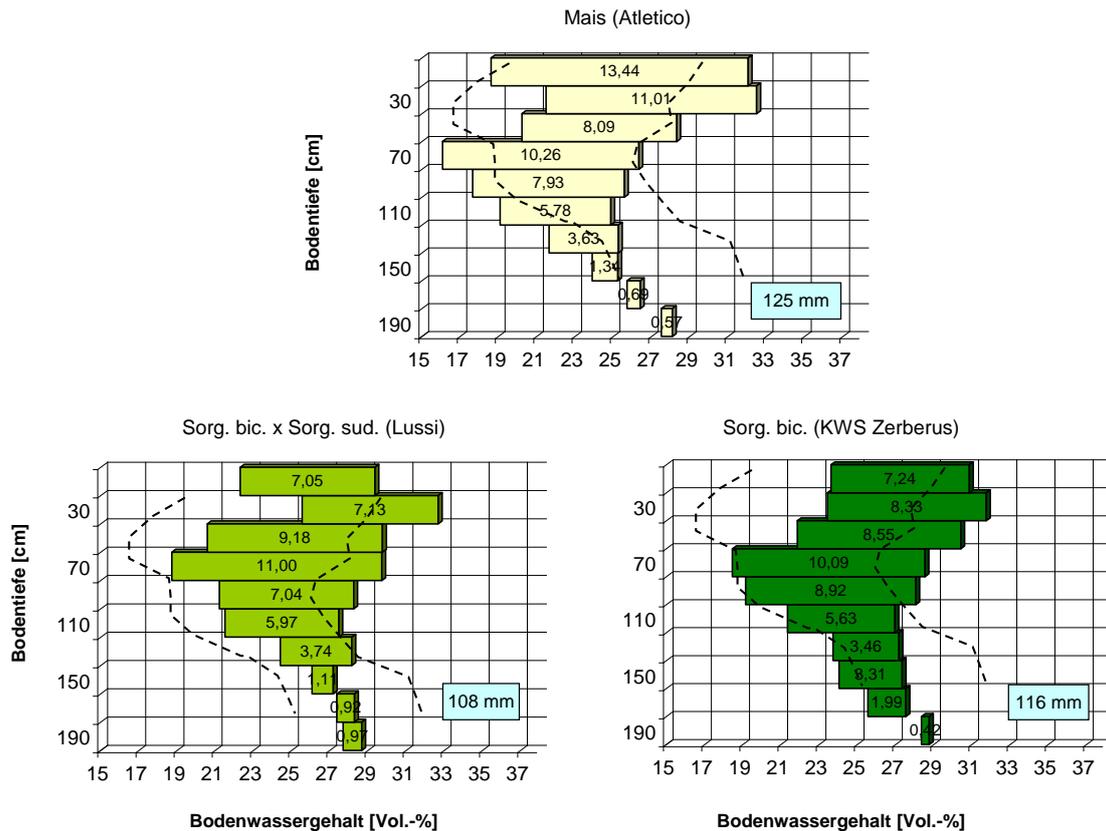
Die gestrichelten Linien markieren den ÄWP und die FK bzw. den pflanzennutzbaren Bodenwasserbereich (Löss ... ÄWP abgeleitet aus Neutronensondenmessung und FK pF 2,5; Sand ... ÄWP pF 4,2 und FK 2,0).

Anhang 78: Bodenwasserentzug ausgewählter Kleinlysimeter von Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*) und KWS Zerberus (*S. bicolor*) auf Löss und Sand 2011

Anhang 79: Trockenmasseertrag und TS-Gehalt der Kulturen in den Feldversuchen 2011–2013

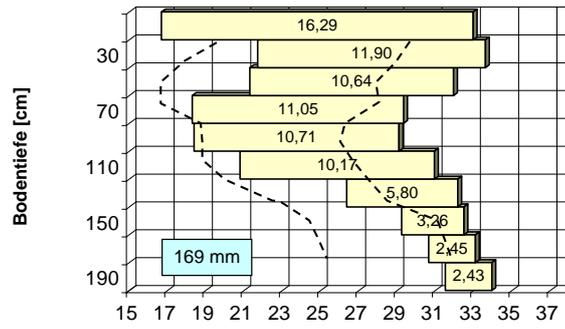
Fruchtart	Sorte	TM-Ertrag [dt/ha]					
		FV Buttelsekt			FV Güterfelde		
		2011	2012	2013	2011	2012	2013
Mais	Atletico	215,0	207,4	146,4	211,5	206,3	184,0
	LG 32.16	200,9	201,0	151,9	201,5	205,6	183,8
Sorghum bicolor x Sorghum sudanense (Sudangrashybride)	Lussi	156,4	141,2	125,1	160,2	141,0	123,6
	KWS Freya	164,8	147,4	123,4	171,8	144,8	132,0
	KWS Sole		150,4	128,3		152,0	135,0
	Nutri Honey	151,9			137,2		
Sorghum bicolor (Futterhirse)	KWS Zerberus	168,4	164,9	144,0	198,7	175,4	146,0
	Sucrosorgho 506	166,7	175,8	142,5	179,5	177,5	151,9
	Hercules		182,6	155,2		198,8	161,3
	Biomass 150	201,3			244,9		
	KWS Zerberus ohne K-Düngung		166,7	139,4			

Fruchtart	Sorte	TS-Gehalt [%]					
		FV Buttelsekt			FV Güterfelde		
		2011	2012	2013	2011	2012	2013
Mais	Atletico	32,3	33,1	28,1	32,1	28,5	29,2
	LG 32.16	30,9	36,8	29,5	33,0	30,1	29,8
Sorghum bicolor x Sorghum sudanense (Sudangrashybride)	Lussi	31,4	31,5	32,6	30,6	29,6	31,2
	KWS Freya	31,3	28,2	29,7	29,4	26,8	28,9
	KWS Sole		29,5	29,3		28,3	29,4
	Nutri Honey	24,2			22,1		
Sorghum bicolor (Futterhirse)	KWS Zerberus	29,6	30,6		29,3	26,8	27,9
	Sucrosorgho 506	24,7	25,2	27,8	22,1	20,8	22,0
	Hercules		28,0	22,1		23,9	24,6
	Biomass 150	28,0			28,4		
	'S Zerberus ohne K-Düngung		31,7	28,5			

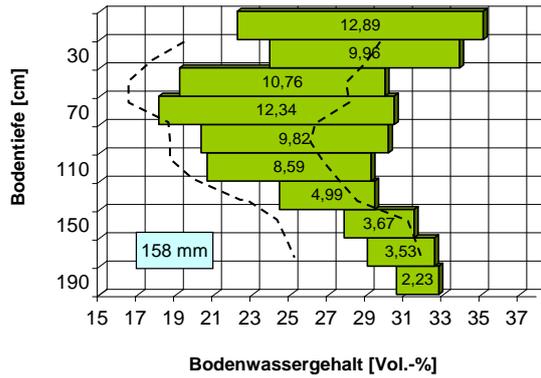


Anhang 80: Bodenfeuchteausschöpfung 2012 im Bodenfeuchtefeldversuch Buttelsekt (Troxler)

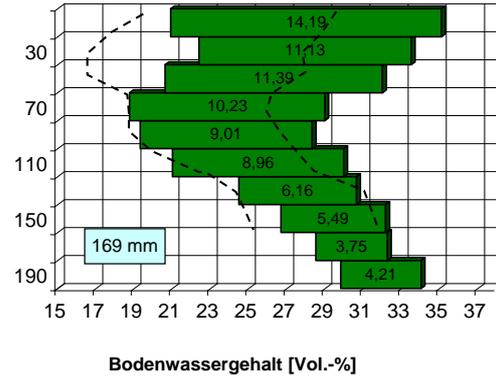
Mais (Atletico)



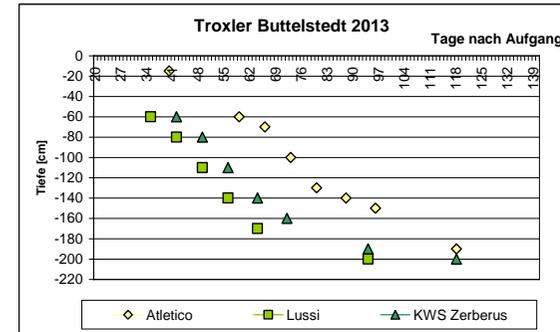
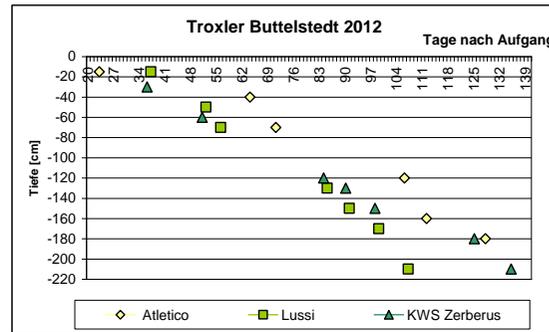
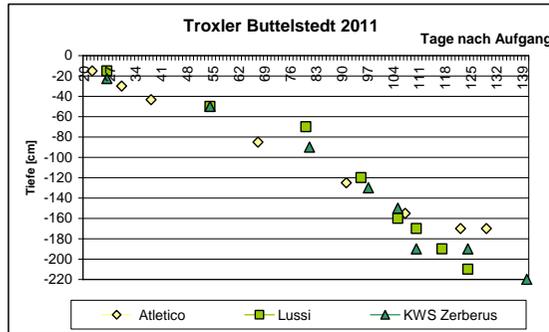
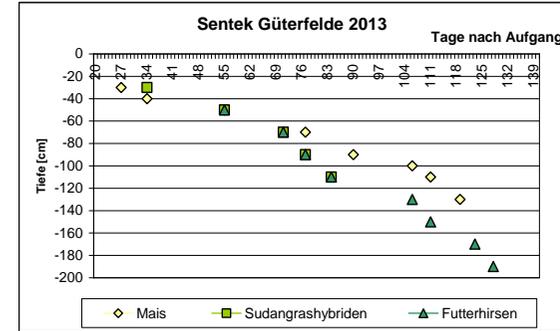
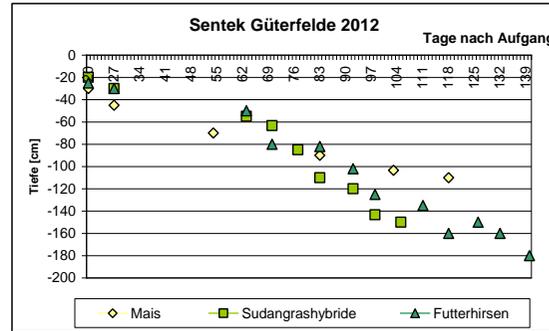
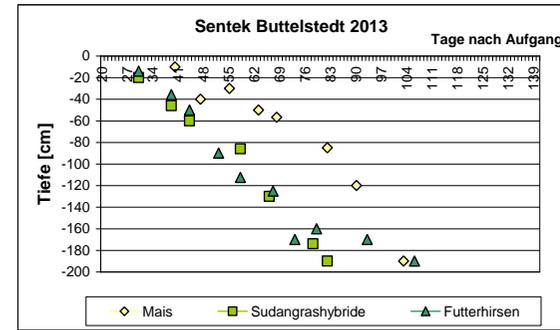
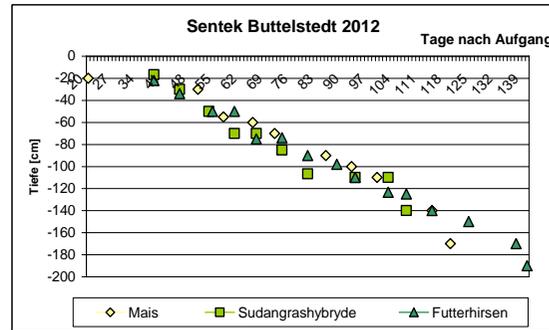
Sorg. bic. x Sorg. sud. (Lussi)



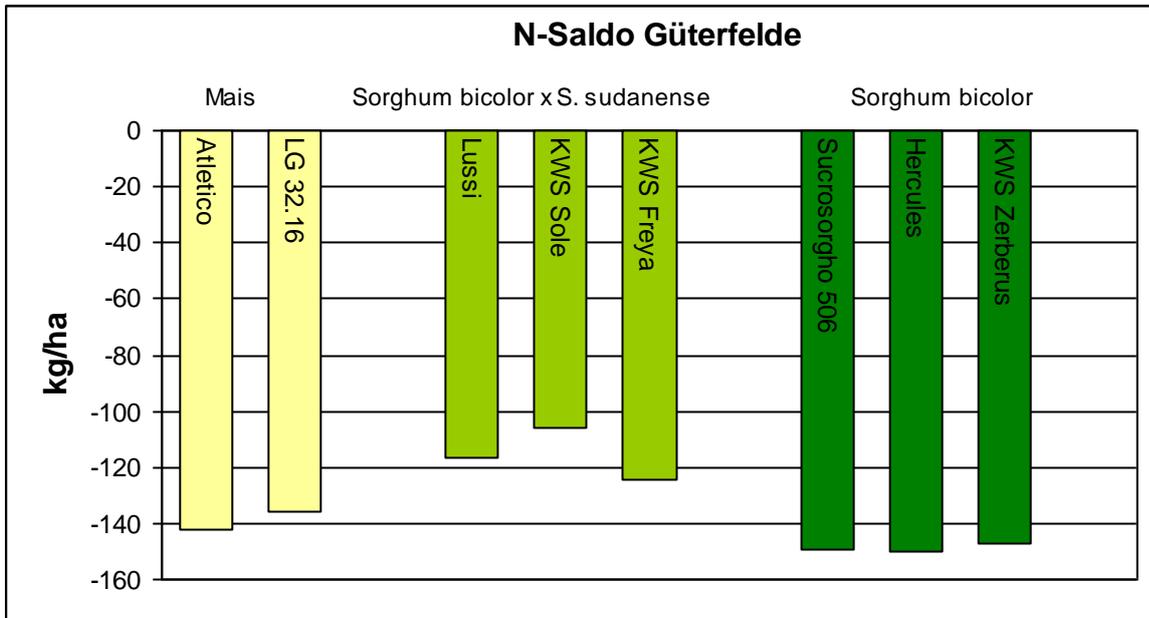
Sorg. bic. (KWS Zerberus)



Anhang 81: Bodenfeuchteausschöpfung 2013 im Bodenfeuchtefeldversuch Buttelseed (Troxler)



Anhang 82: Tiefenausschöpfung des Bodenwassers durch die drei Kulturen 2013 in den Feldversuchen Buttelstedt und Güterfelde



Anhang 83: N-Saldo am Standort Güterfelde (Mittel der Jahre 2011/12)



Anhang 84: Überblick Lysimeteranlage Grünwalde

Anhang 85: Prüfberichte Lysimeteranlage Grünwalde, FIB e. V.

Prüfbericht

Der Prüfbericht besteht aus dem Deckblatt und Seite 1.

Auftrags--Nr.: 077/13

Labor-Nr.:	Probenken.	pH	elektr. LF mS/cm	NO3 mg/l	NH4-N mg/l	o-PO4 mg/l	K mg/l
1318	A3 grün 26 01/13	3,2	3,48	0,80	8,2	0,05	26,2
1319	A3 grün 27 01/13	3,2	3,45	0,89	11	0,05	9,9
1320	A3 grün 28 01/13	3,2	3,55	1,30	18	0,06	7,6
1321	A3 grün 29 01/13	3,3	3,51	1,26	9,6	0,05	3,5
1322	A2 rot 18 01/13	7,4	0,81	13,1	0,04	0,04	2,1
1323	A2 rot 19 01/13	7,4	0,80	13,2	<0,03	0,03	1,9
1324	A2 rot 20 01/13	7,4	0,95	14,3	0,08	0,13	3,8
1325	A2 rot 21 01/13	7,3	0,88	12,2	0,13	0,07	2,5
1326	A3 grün 26 02/13	3,2	3,40	1,16	8,02	0,06	25,1
1327	A3 grün 27 02/13	3,4	3,30	1,11	10,8	0,08	10,2
1328	A3 grün 28 02/13	3,2	3,46	1,72	16,2	0,06	7,9
1329	A3 grün 29 02/13	3,3	3,44	1,67	8,6	0,06	3,0
1330	A2 rot 18 02/13	7,4	0,84	11,8	<0,03	0,03	1,8
1331	A2 rot 19 02/13	7,4	0,83	14,4	0,03	0,03	1,8
1332	A2 rot 20 02/13	7,3	0,81	12,1	<0,03	0,08	1,9
1333	A2 rot 21 02/13	7,3	0,84	13,5	0,06	0,06	2,2
1334	RW (Deposition) 01/13	5,5	0,02	0,86	0,71	0,08	0,2
1335	RW (Deposition) 02/13	4,6	0,02	0,72	0,39	0,03	<0,2

Sawinski
(Laborleiter)

Prüfbericht

Der Prüfbericht besteht aus dem Deckblatt und Seite 1.

Auftrags--Nr.: 088/13

Labor-Nr.:	Probenken.	pH	elektr. LF mS/cm	NO3 mg/l	NH4-N mg/l	o-PO4 mg/l	K mg/l
1541	A3 grün 26 03/13	3,2	2,97	0,91	6,1	0,04	19,0
1542	A3 grün 27 03/13	3,2	3,22	1,20	10,4	0,05	10,2
1543	A3 grün 28 03/13	3,2	3,36	2,13	16,8	0,05	7,7
1544	A3 grün 29 03/13	3,3	3,33	1,70	9,2	0,05	2,6
1545	A2 rot 18 03/13	7,4	0,82	11,5	<0,03	<0,02	1,9
1546	A2 rot 19 03/13	7,3	0,85	13,9	0,04	0,03	2,0
1547	A2 rot 20 03/13	7,3	0,76	14,4	<0,03	0,04	1,8
1548	A2 rot 21 03/13	7,6	0,76	14,1	<0,03	0,04	2,0
1549	A3 grün 26 04/13	3,2	3,40	1,31	7,98	0,05	27,8
1550	A3 grün 27 04/13	3,2	3,33	1,27	10,0	0,05	10,8
1551	A3 grün 28 04/13	3,2	3,52	2,13	16,0	0,05	7,6
1552	A3 grün 29 04/13	3,3	3,35	1,77	8,7	0,05	2,8
1553	A2 rot 18 04/13	7,6	0,81	10,6	0,05	0,03	2,0
1554	A2 rot 19 04/13	7,8	0,82	11,7	0,03	0,02	1,8
1555	A2 rot 20 04/13	7,5	0,8	14,3	<0,03	0,06	1,8
1556	A2 rot 21 04/13	7,9	0,76	13,9	<0,03	0,04	1,9
1557	RW (Deposition) 03/13	4,1	0,07	2,4	2,25	0,18	0,4
1558	RW (Deposition) 04/13	4,8	0,04	1,9	2,15	0,27	0,2

Sawinski
(Laborleiter)

Prüfbericht

Der Prüfbericht besteht aus dem Deckblatt und Seite 1.

Auftrags-Nr.: 018/14

Labor-Nr.:	Probenken.	pH	elektr. LF mS/cm	NO3 mg/l	NH4-N mg/l	o-PO4 mg/l	K mg/l
100	A3 grün 26 05/13	3,2	3,28	10,1	8,4	0,06	26,2
101	A3 grün 27 05/13	3,2	3,26	8,61	10,7	0,05	9,0
102	A3 grün 28 05/13	3,2	3,34	15,2	16,1	0,06	6,5
103	A3 grün 29 05/13	3,3	3,35	11,9	9,3	0,05	1,9
104	A2 rot 18 05/13	7,3	0,72	36,6	0,05	<0,02	1,8
105	A2 rot 19 05/13	7,3	0,76	47,6	0,03	0,18	1,9
106	A2 rot 20 05/13	7,8	0,70	62,9	0,04	0,02	1,9
107	A2 rot 21 05/13	7,7	0,72	54,9	0,05	0,02	2,1
108	A3 grün 26 06/13	3,1	3,41	10,5	9,32	0,07	31,9
109	A3 grün 27 06/13	3,2	3,25	10,7	10,4	0,06	10,7
110	A3 grün 28 06/13	3,2	3,35	21,3	15,9	0,07	7,1
111	A3 grün 29 06/13	3,2	3,18	14,5	9,0	0,05	2,0
112	A2 rot 18 06/13	7,3	0,73	28,3	0,04	0,03	1,8
113	A2 rot 19 06/13	7,3	0,77	33,4	0,04	0,02	1,7
114	A2 rot 20 06/13	7,3	0,72	41,4	0,04	0,03	1,5
115	A2 rot 21 06/13	7,4	0,77	32,6	0,05	0,03	1,7
116	A3 grün 26 07/13	3,1	3,42	13,0	8,99	0,06	31,3
117	A3 grün 27 07/13	3,1	3,29	12,0	11,0	0,07	10,7
118	A3 grün 28 07/13	3,1	3,34	27,1	18,1	0,07	7,7
119	A3 grün 29 07/13	3,2	3,25	19,0	10,6	0,06	2,2
120	A2 rot 18 07/13	7,5	0,72	25,0	<0,03	<0,02	1,9
121	A2 rot 19 07/13	7,5	0,76	27,9	0,03	<0,02	1,8
122	A2 rot 20 07/13	7,4	0,70	27,8	0,05	<0,02	1,9
123	A2 rot 21 07/13	7,5	0,74	28,8	0,04	<0,02	2,2
124	RW (Deposition) 05/13	4,7	0,019	2,35	0,32	0,04	0,1
125	RW (Deposition) 06/13	5,3	0,026	3,28	0,76	0,03	0,2
126	RW (Deposition) 07/13	5,7	0,024	3,84	0,83	0,03	0,3

Sawinski
(Laborleiter)

Prüfbericht

Der Prüfbericht besteht aus dem Deckblatt und Seite 1.

Auftrags-Nr.: 019/14

Labor-Nr.:	Probenken.	pH	elektr. LF mS/cm	NO3 mg/l	NH4-N mg/l	o-PO4 mg/l	K mg/l
127	A3 grün 26 08/13	3,1	3,55	12,5	12,2	0,07	35,5
128	A3 grün 27 08/13	3,1	3,48	11,7	9,60	0,07	12,5
129	A3 grün 28 08/13	3,1	3,53	27,7	18,5	0,07	8,6
130	A3 grün 29 08/13	3,2	3,45	19,7	10,7	0,06	2,3
131	A2 rot 18 08/13	7,2	0,77	30,4	0,04	<0,02	2,4
132	A2 rot 19 08/13	7,3	0,84	22,6	<0,03	<0,02	2,2
133	A2 rot 20 08/13	7,3	0,69	25,1	<0,03	<0,02	2,3
134	A2 rot 21 08/13	7,5	0,71	26,3	<0,03	<0,02	2,4
135	A3 grün 26 09/13	3,1	3,56	12,1	10,2	0,06	34,8
136	A3 grün 27 09/13	3,1	3,46	11,3	13,0	0,06	12,3
137	A3 grün 28 09/13	3,2	3,51	30,5	19,3	0,06	7,7
138	A3 grün 29 09/13	3,2	3,50	9,77	11,7	0,06	2,6
139	A2 rot 18 09/13	7,6	0,76	34,2	<0,03	<0,02	2,3
140	A2 rot 19 09/13	7,6	0,78	31,7	0,03	<0,02	2,3
141	A2 rot 20 09/13	7,6	0,67	46,6	<0,03	0,03	1,9
142	A2 rot 21 09/13	7,6	0,70	34,7	<0,03	<0,02	2,0
143	A3 grün 26 10/13	3,1	3,14	11,1	9,66	0,06	27,6
144	A3 grün 27 10/13	3,1	3,26	10,4	13,1	0,06	10,9
145	A3 grün 28 10/13	3,2	3,36	27,7	19,6	0,05	8,1
146	A3 grün 29 10/13	3,2	3,29	17,4	12,5	0,05	2,2
147	A2 rot 18 10/13	7,6	0,73	36,1	<0,03	<0,02	2,1
148	A2 rot 19 10/13	7,4	0,77	27,9	<0,03	<0,02	2,2
149	A2 rot 20 10/13	7,5	0,62	32,0	0,05	<0,02	2,0
150	A2 rot 21 10/13	7,5	0,69	38,4	<0,03	<0,02	2,1
151	RW (Deposition) 08/13	4,7	0,029	6,0	0,81	0,06	0,1
152	RW (Deposition) 09/13	4,6	0,020	3,0	0,34	<0,02	0,1
153	RW (Deposition) 10/13	5,0	0,020	3,1	0,55	0,13	0,2

Sawinski
(Laborleiter)

Anhang 86: Mittlerer Niederschlag und mittlere Lufttemperatur während der Versuchsjahre 2011, 2012 und 2013 am Standort Grünewalde

Zeitraum	LT [°C]	LT_{langjährig} [°C]	PP [mm]	PP_{langjährig} [mm]
01.01.-31.12.11	9,84	8,82	547,7	568,0
01.04.-31.10.11	14,99	13,82	440,4	372,5
01.01.-31.12.12	9,31	8,82	629,6	568,0
01.04.-31.10.12	14,39	13,82	368,8	372,5
01.01.-31.12.13	8,99	8,82	614,2	568,0
01.04.-31.10.13	14,54	13,82	417,2	372,5

Anhang 87: BBCH-Bonitur, phänologische Informationen und Ertragsdaten 2011, Lysimeterversuch Grünwalde

2011																	
Lys-Nr.	Sorte	Düngung N/P/K	BB Termin	Düngungstermin	Aussaat Termin	Nachsaat Termin	Aufgang Termin/ nPflanzen/m ²	Termin Rispe	Krankheiten Bo.1-9	Wuchshöhe [m] zur Ernte	nTriebe (>1,5 m) zur Ernte	BBCH zur Ernte	Erntetermin	FM Ertrag [g]	TS (bei 105 °C) [%]	TM Ertrag [g/m ²]	TM Ertrag [dt/ha]
18	Atletico	120/50/230	25.05.	25.05.	05.05./26.05.	BBCH14	13.05./10 Pfl.	29.07.	2	2,20	9	84	13.09.	5430	29,3	1591	159,1
19	Atletico	160/50/230	25.05.	25.05.	05.05./26.05.	BBCH14	13.05./10 Pfl.	29.07.	2	2,20	10	83	13.09.	6254	28,7	1795	179,5
20	Zerberus	160/50/230	25.05.	25.05.	26.05./25 K	03.06.	03.-10.06./24 Pfl.	19.09.	2	2,90	18	82	26.09.	6976	28,7	2002	200,2
21	Zerberus	120/50/230	25.05.	25.05.	26.05./25 K	03.06.	03.-10.06./23 Pfl.	19.09.	2	2,90	18	82	26.09.	6625	27,7	1835	183,5
26	Zerberus	120/50/230	26.05.	26.05.	27.05./25 K	no	03.06./23 Pfl.	12.09.	2	2,75	19	82	26.09.	6977	26,5	1849	184,9
27	Zerberus	160/50/230	26.05.	26.05.	27.05./25 K	no	03.06./21 Pfl.	12.09.	2	2,80	21	82	26.09.	7796	27,5	2140	214,0
28	Atletico	160/50/230	26.05.	26.05.	05.05./27.05.	BBCH14	13.05./10 Pfl.	08.08.	2	2,25	9	81	13.09.	8571	27,9	2391	239,1
29	Atletico	120/50/230	26.05.	26.05.	05.05./27.05.	BBCH14	13.05./10 Pfl.	08.08.	2	2,30	9	81	13.09.	9041	27,7	2504	250,4
BB = Bodenbearbeitung																	
Hinweise: Mais wurde am 05.05. separat gelegt und am 26.05. bzw. 27.05. im vierten Blattstadium in die entsprechenden Lysimeter verpflanzt.																	
Im Zeitraum vom 27.05.- 12.06. wurden insgesamt 25 Liter Wasser, in Teilgaben von jeweils 2,5 l, zusätzlich verabreicht.																	
Infolge der Trockenheit gestaltete sich Aussaat und Maisverpflanzung extrem schwierig (Nachsaat), nur auf Ly 26 und 27 konnte sich der Anfangsbestand etablieren.																	
Blattkrankheiten untergeordnet																	
Randomisierung jeweils mit zwei Reihen (rechts und links) der Lysimeter																	
BBCH14=Vierblattstadium; BBCH-Kodierung der phänologischen Entwicklungsstadien für Getreide																	

Anhang 88: BBCH-Bonitur, phänologische Informationen und Ertragsdaten 2012, Lysimeterversuch Grünwalde

2012																	
Lys-Nr.	Sorte	Düngung N/P/K	BB Termin umgraben	Düngung Termin	Aussaat Saatbeetber. Termin	Nachsaat bzw vereinzelt Termin	Aufgang Termin/ nPflanzen/m ²	Termin Rispe	Krankheiten Bo.1-9	Wuchshöhe [m] zur Ernte	nTriebe (>1,5 m) zur Ernte	BBCH zur Ernte	Erntetermin	FM Ertrag [g]	TS (bei 105 °C) [%]	TM Ertrag [g/m ²]	TM Ertrag [dt/ha]
18	Atletico	120/50/230	Nov 11	27.04.	27.04.	0	07.05./10Pfl	19.07.	1	2,51	9	85	06.09.	5785	33,2	1921	192,1
19	Atletico	160/50/230	Nov 11	27.04.	27.04.	11.05.	07.05./7Pfl	19.07.	1	2,60	10	85	06.09.	6571	33,8	2221	222,1
20	Zerberus	160/50/230	Nov 11	16.05.	16.05.	Nachsaat	24.05./< 25Pfl	24.09.	1	3,20	17	79	01.10.	5902	30,0	1771	177,1
21	Zerberus	120/50/230	Nov 11	16.05.	16.05.	Nachsaat	24.05./< 25Pfl	24.09.	1	3,10	15	79	01.10.	5871	29,5	1732	173,2
26	Zerberus	120/14/188	Nov 11	16.05.	16.05.	08.06.vereinzelt	24.05./> 25Pfl	17.09.	1	2,60	25	84	01.10.	6320	28,2	1782	178,2
27	Zerberus	160/14/188	Nov 11	16.05.	16.05.	08.06.vereinzelt	24.05./> 25Pfl	17.09.	1	2,65	25	84	01.10.	6812	29,8	2027	202,7
28	Atletico	160/14/188	Nov 11	27.04.	27.04.	0	07.05./10Pfl	19.07.	1	2,68	10	85	06.09.	6824	33,8	2307	230,7
29	Atletico	120/14/188	Nov 11	27.04.	27.04.	0	07.05./10Pfl	19.07.	1	2,54	10	85	06.09.	6402	31,8	2036	203,6
<i>BB = Bodenbearbeitung</i>																	
<i>Hinweise:</i> Bodenfeuchte zur Aussaat ausreichend, Aufgang Sorghum auf Tertiär positiv, Nachsaat bei quartär erforderlich																	
Trockenheit im August, leichte Stresserscheinungen																	
kein Zusatzwasser verabreicht																	
Blattkrankheiten untergeordnet																	
Randomisierung jeweils mit zwei Reihen (rechts und links) der Lysimeter																	
Bestand geschlossen																	

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.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

siehe Seite 2

Redaktion:

Dr. Kerstin Jäkel
LfULG, Abteilung Landwirtschaft/Referat Pflanzenbau
Waldheimer Str. 219, 01683 Nossen
Telefon: +49 352 631-7204
Telefax: +49 352 631-7299
E-Mail: kerstin.jaekel@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

30.09.2014

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> 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 im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl 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. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.