

Berichte aus dem TFZ

Dauerkulturen

Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung

Projektpartner:



Dauerkulturen

– Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung



Dauerkulturen

Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung

Dr. Anja Hartmann
Johannes Burmeister
Dr. Maendy Fritz
Roswitha Walter

Projektpartner:

Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und
Ressourcenschutz (IAB)
Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT)



Berichte aus dem TFZ 54

Straubing, Mai 2018

Titel: Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung

Projektleiter: Dr. Maendy Fritz (TFZ) - Gesamtvorhaben
Roswitha Walter (LfL) - Teilverhaben (LfL)

Autoren: Dr. Anja Hartmann (TFZ)
Johannes Burmeister (LfL)

Mitarbeiter: Josef Wittmann (TFZ)
Martina Lehner (TFZ)
Markus Krinner (TFZ)
Franz Heimler (TFZ)
Stefan Wiesent (TFZ)
Florian Neumayr (LfL)
Dr. Fabian Lichti (LfL)
Vasilis Dandikas (LfL)
Klaus Gehring (LfL)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Förderkennzeichen N/14/10 im Zeitraum 01.04.2014 bis 31.03.2017 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2018
Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

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

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

ISSN: 1614-1008

Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Anja Hartmann, Ulrike Ammer
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2018
Gestaltung: Anja Hartmann

Fotonachweis: Hartmann (24, 26, 28, 30, 32, 34, 34, 44, 75, 76, 77, 78, 79, 84, 85, 86, 90, 91, 93, 94, 96, 99, 99, 103, 105, 106, 107, 109, 120); Heimler (76); Burmeister/Walter (65, 66, 67, 68, 69, 155, 155, 165)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis.....	15
1 Einleitung	21
2 Stand des Wissens.....	23
3 Zielstellung	35
4 Material und Methoden	37
4.1 Projektstruktur	37
4.2 Feldversuche (TFZ)	38
4.2.1 Standortbedingungen der Feldversuche	38
4.2.2 Versuchsdurchführung	42
4.2.2.1 Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Großparzellenversuch	42
4.2.2.2 Etablierung von Riesenweizengras und Switchgras	46
4.2.2.3 Herbizid-Verträglichkeit von Sida, Switchgras und Silphie.....	47
4.2.3 Etablierung der Durchwachsenen Silphie ohne Unkrautkontrolle	53
4.3 Gewächshaus-Tastversuch mit Sida zum Einfluss verschiedener Faktoren auf die Anzahl der aufgelaufenen Pflanzen (TFZ).....	54
4.4 Substratqualität (TFZ)	55
4.4.1 Analyse der Inhaltsstoffe	55
4.4.2 Analyse der Methanausbeute.....	55
4.4.3 Analyse der Brennstoffzusammensetzung.....	56
4.4.4 Siliereignung mehrjähriger Energiepflanzen	56
4.5 Witterung der Versuchsjahre 2014 bis 2016	57
4.6 Ökologie	63
4.6.1 Bestimmung des mineralischen Stickstoffs sowie des Gesamt-Stickstoff- und Humusgehaltes im Boden (TFZ)	63
4.6.2 Grundbodenuntersuchung (TFZ).....	63
4.6.3 Untersuchung zur Regenwurmfauna und Tastversuche zur Bodenfauna (IAB).....	64
4.6.3.1 Regenwurmfauna	64
4.6.3.2 Tastversuche	66
4.7 Statistische Auswertung.....	70
5 Ergebnisse und Diskussion	71
5.1 Feldversuche (TFZ)	71
5.1.1 Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen für die Verwertung in der Biogasanlage.....	71
5.1.1.1 Trockenmasseertrag.....	71
5.1.1.2 Trockensubstanzgehalt und Lageranfälligkeit	80

5.1.2	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen für die thermische Verwertung.....	82
5.1.2.1	Trockenmasseertrag	83
5.1.2.2	Trockensubstanzgehalt und Lageranfälligkeit.....	86
5.1.3	Etablierung von Riesenweizengras und Switchgras.....	89
5.1.3.1	Riesenweizengras – Anlagen A und B.....	90
5.1.3.2	Switchgras – Anlagen A und B	93
5.1.4	Herbizid-Verträglichkeit von Sida, Durchwachsener Silphie und Switchgras.....	97
5.1.4.1	Vorversuch – Anlage A	97
5.1.4.2	Hauptversuch – Anlage B	101
5.1.5	Etablierung der Durchwachsenen Silphie ohne Unkrautkontrolle.....	105
5.2	Tastversuch im Gewächshaus zum Einfluss verschiedener abiotischer Faktoren auf das Auflaufen von Sida-Pflanzen (TFZ)	108
5.3	Substratqualität (TFZ).....	111
5.3.1	Inhaltsstoffe und Nährstoffentzug – Biogasnutzung	111
5.3.2	Methanertrag und Methanausbeute	116
5.3.3	Siliereignung mehrjähriger Energiepflanzen.....	118
5.3.4	Brennstoffzusammensetzung und Heizwert	118
5.4	Ökologie.....	123
5.4.1	Mineralischer Stickstoff (TFZ)	123
5.4.2	Organische Substanz im Boden (TFZ)	129
5.4.3	Untersuchung der Regenwurmfauna und Tastversuche zur Bodenfauna (IAB).....	135
5.4.3.1	Regenwurmfauna.....	135
5.4.3.1.1	Grundaufnahme	135
5.4.3.1.2	Regenwurmfauna von Kulturen für die Biogas-Verwertung.....	137
5.4.3.1.3	Regenwurmfauna thermisch genutzter Kulturen.....	139
5.4.3.1.4	Regenwurmfauna mehrjähriger Energiepflanzen auf Praxisflächen.....	141
5.4.3.1.5	Diskussion.....	144
5.4.3.2	Ergänzende faunistische Untersuchungen (Laufkäfer, Blütenbesucher, Springschwänze, Milben).....	147
5.4.3.2.1	Minibarberfallen – Vergleich Roggen-GPS und Riesenweizengras nach der Ernte	147
5.4.3.2.2	Bodenmikroarthropoden auf Miscanthus-Praxisflächen	148
5.4.3.2.3	Laufkäferfauna in Biogaskulturen in Rosenau	150
5.4.3.2.4	Blütenbesucher	152
5.4.3.3	Literatur-Zusammenstellung zur Fauna mehrjähriger Energiepflanzen.....	156
5.4.3.3.1	Silphie	156
5.4.3.3.2	Miscanthus	157
5.4.3.3.3	Sonstige Kulturen.....	162
5.4.3.3.4	Generelle Einflussfaktoren von Dauerkulturen auf die Tierwelt – Rahmen für eine Bewertung aus tierökologischer Sicht.....	162
6	Kurzfassung der Ergebnisse	167
	Zusammenfassung	175
	Abstract	177
	Quellenverzeichnis.....	179

Anhang 195

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Silphie (<i>Silphium perfoliatum</i> L.): Pflanzen im 1. Jahr (oben links), Samenstand (oben Mitte), Silphie-Becher (oben rechts), Silphie-Bestand zur Blüte (unten links), Blütenbesucher (unten rechts)	24
Abbildung 2:	<i>Sida hermaphrodita</i> (L. Rusby): junge Sidapflanze im 1. Jahr (oben links), Blüte und Samenstand (oben rechts), <i>Sida</i> -Bestand zur thermischen Nutzung, im Winter (unten links); <i>Sida</i> -Bestand zur Biogasverwertung, im Sommer (unten rechts)	26
Abbildung 3:	Riesenweizengras (<i>Agropyron eolongatum</i>): erntereifer Bestand, Blüte (unten links), Jungpflanze im Etablierungsjahr (unten rechts)	28
Abbildung 4:	Switchgras (<i>Panicum virgatum</i>): junge Pflanzen kurz nach dem Auflaufen (oben links) zum Rispenschieben (oben rechts), zur thermischen Nutzung kurz vor der Ernte im März (unten links), im Winter (unten rechts)	30
Abbildung 5:	<i>Miscanthus</i> (<i>Miscanthus x giganteus</i>) nach Winter, kurz vor Ernte.....	32
Abbildung 6:	<i>Miscanthus</i> (<i>Miscanthus x giganteus</i>) im Sommer	32
Abbildung 7:	Waldstaudenroggen (<i>Secale multicaule</i>)	34
Abbildung 8:	Waldstaudenroggen links, im Vergleich dazu der niedrigere und einheitlicher wachsende Hybridroggen (rechts)	34
Abbildung 9:	Untersuchungsschwerpunkte und Arbeitspakete im Projekt	37
Abbildung 10:	Über Winter (2014/2015) abgefrorenes Switchgras am Standort Parsberg	44
Abbildung 11:	Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Straubing.....	59
Abbildung 12:	Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Aholting.....	59
Abbildung 13:	Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Hötzelndorf.....	60
Abbildung 14:	Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Parsberg	60
Abbildung 15:	Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Türnthenning/Rosenau	61
Abbildung 16:	Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Gelchsheim.....	61
Abbildung 17:	Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Wolferkofen.....	62
Abbildung 18:	Regenwurmprobenahme im Frühjahr in den Kulturen <i>Sida</i> (links oben) und Switchgras (rechts oben, thermische Verwertung) und im	

	Herbst bei Sida (links unten, Grünverwertung) und Maisstoppeln (rechts unten) an unterschiedlichen Versuchsstandorten.....	65
Abbildung 19:	Riesenweizengras (links) und Roggen-GPS (rechts) nach der Ernte in Aholting am 02.07.2015	66
Abbildung 20:	Minibarberfallen im geernteten Riesenweizengras (links, rechts) und Roggen-GPS (Mitte).....	67
Abbildung 21:	Bodenfallen in Silphie (links) und Riesenweizengras (rechts) am 14.11.2016	68
Abbildung 22:	Ausgesteckte Flächen zur Zählung der Blüten besuchenden Insekten in Sida und Silphie.....	69
Abbildung 23:	Trockenmasseertrag der mehrjährigen Energiepflanzen im Mittel der Standorte; Sortierung nach mittlerem TM-Ertrag in absteigender Reihenfolge von links nach rechts; 2015 = 6 Standorte und 2016 = 7 Standorte.....	72
Abbildung 24:	Riesenweizengras lagernd am Standort Rosenau (Foto vom 28.06.2016)	75
Abbildung 25:	Trockenstress in der Silphie am Standort Aholting (links, Foto vom 20.07.2015) und lagernder Silphie-Bestand am Standort Rosenau (rechts, Foto vom 01.09.2016)	76
Abbildung 26:	Switchgras am Standort Thürnthenning (links) und in der kühlen Höhenlage Hötzelsdorf (rechts) (Foto vom 20.06.2016).....	77
Abbildung 27:	Verunkrauteter Waldstaudenroggenbestand in Thürnthenning ohne Wiederaustrieb (rechts, Foto vom 25.07.2016) und ein gut entwickelter Bestand im ersten Erntejahr (links, Foto vom 20.05.2015)	78
Abbildung 28:	Silomais und Sida am Standort Thürnthenning (Foto vom 03.08.2015)	79
Abbildung 29:	Trockenmasseertrag von Sida in Abhängigkeit von der Zahl der Pflanzen pro m ² (Ergebnisse 2015 und 2016 der Standorte Aholting, Hötzelsdorf, Gelchsheim und Thürnthenning, n = 16)	80
Abbildung 30:	Trockensubstanzgehalt der mehrjährigen Energiepflanzen je Variante, gemittelt über die Jahre und Standorte; Mittelwerte (Mittelbalken) mit Standardabweichungen (Whisker) und Extremwerten (Stern); gestrichelte Linie markiert den Ziel-TS-Gehalt von 28 %, n = 5.....	81
Abbildung 31:	Lagerboniturwerte der mehrjährigen Energiepflanzen je Variante, gemittelt über die Jahre und Standorte; Mittelwerte (Mittelbalken) mit Standardabweichungen (Whisker) und Extremwerten (Stern), n = 5	82
Abbildung 32:	Trockenmasseertrag der mehrjährigen Energiepflanzen je Variante (signifikante Unterschiede innerhalb einer Kultur sind mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet, gestrichelte Linie = Mittelwert); Versuchsjahr 2016; n = 4.....	83

Abbildung 33: Miscanthus in Gelchsheim (Foto vom 15.09.2014) und in Rosenau (Foto vom 19.09.2014) im Etablierungsjahr	84
Abbildung 34: Sida-Bestand in Gelchsheim (Foto vom 9.3.2016)	85
Abbildung 35: Switchgras-Bestand in Gelchsheim (Foto vom 9.3.2016)	86
Abbildung 36: TS-Gehalt je Variante, gemittelt über die Standorte; Boxplot mit Mittelwerten (Mittelbalken), mit Standardabweichungen (Whisker) und Extremwerten (Stern), Versuchsjahr 2016, n = 5	87
Abbildung 37: Lagerboniturwerte je Variante, gemittelt über die Standorte; Boxplot mit Mittelwerten (Mittelbalken), mit Standardabweichungen (Whisker) und Extremwerten (Stern), Versuchsjahr 2016, n = 5	88
Abbildung 38: Riesenweizengras (links) und Switchgras in Reinsaat (rechts) gesät, Saattermin Ende Juni 2014 (Foto vom 11.09.2014)	90
Abbildung 39: Riesenweizengras-Varianten der Gräser-Etablierung Anlage A (Saat 2014; Foto vom 27.04.2015)	91
Abbildung 40: Trockenmasseertrag des Riesenweizengrases im Gräser-Etablierungs-Versuch; Anlage A; n = 4; der kumulierter Ertrag 2014 bis 2016 ist über den Säulen abgetragen	92
Abbildung 41: Trockenmasseertrag des Riesenweizengrases im Gräser-Etablierungs-Versuch; Anlage B; n = 4; der kumulierter Ertrag 2015 bis 2016 ist über den Säulen abgetragen	92
Abbildung 42: Schlechter Feldaufgang des Riesenweizengrases; Anlage B; Saat Juni 2015 (Saat 2015, Foto vom 15.09.2015)	93
Abbildung 43: Switchgras-Varianten der Gräser-Etablierung; Anlage A (Saat 2014, Foto vom 21.05.2015)	94
Abbildung 44: Trockenmasseertrag des Switchgrases im Gräser-Etablierungs-Versuch; Anlage A; n = 4; der kumulierter Ertrag 2014 bis 2016 ist über den Säulen abgetragen	95
Abbildung 45: Trockenmasseertrag des Switchgras im Gräser-Etablierungs-Versuch; Anlage B; n = 4; der kumulierter Ertrag 2015 bis 2016 ist über den Säulen abgetragen	95
Abbildung 46: Guter Feldaufgang des Switchgrases; Anlage B; Saat Juni 2015 (Saat 2015, Foto vom 15.09.2015)	96
Abbildung 47: Herbizidversuch mit Sida, Behandlungszeitpunkt T1, unbehandelte Kontrolle (links); 1 l/ha Metamitron (Mitte), 4 l/ha Stomp Aqua (rechts, Foto vom 19.09.2014)	99
Abbildung 48: Herbizidversuch mit Silphie, Behandlungszeitpunkt T1, unbehandelte Kontrolle (links); 0,3 l/ha Diflanil 500 SC (Mitte), 4 l/ha Stomp Aqua (rechts, Foto vom 04.08.2014)	99
Abbildung 49: Junge Sida-Pflanzen: unbehandelte Kontrolle (links), Schädigung durch Metafol SC + Belvedere Extra als Dreifach-Spritzung (rechts) (Foto vom 03.08.2015)	103

Abbildung 50:	Junge Silphie-Pflanzen: links behandelt mit 2 l/ha Stomp Aqua zu T2, rechts behandelt mit einer Tankmischung aus Stomp Aqua + Spectrum + Buctril (2,0 + 1,0 + 0,5 l/ha) (Foto vom 25.09.2015).....	105
Abbildung 51:	Gemulchter Bestand der Silphie am Standort Aholting, ohne Unkrautkontrolle (Foto vom 19.08.2014).....	106
Abbildung 52:	Bestand der Silphie am Standort Aholting, ohne Unkrautkontrolle (Foto vom 21.05.2015)	106
Abbildung 53:	Bestand der Silphie am Standort Aholting, ohne Unkrautkontrolle (Foto vom 21.10.2015)	107
Abbildung 54:	Bestand der Silphie am Standort Aholting, ohne Unkrautkontrolle (Foto vom 02.08.2016)	107
Abbildung 55:	Anzahl aufgelaufener Sida-Pflanzen, angegeben in Tagen nach der Saat bei unterschiedlichen Tag/Nacht-Temperaturen und einer Aussaatstärke von insgesamt 96 Körnern	109
Abbildung 56:	Auflaufverhalten der Sida-Pflanzen bei warmen (links) und kühlen (rechts) Temperaturen und mit reduzierter Bewässerung (Ablagetiefe 1 cm, Saat 06.02.2016, Foto vom 27.02.2016)	109
Abbildung 57:	Anzahl aufgelaufener Sida-Pflanzen in Tagen nach Saat bei unterschiedlicher Saattiefe und Bewässerungsintensität (Aussaatstärke gesamt: 100 Körner)	110
Abbildung 58:	Anzahl aufgelaufener Sida-Pflanzen, in Tagen nach Saat bei unterschiedlicher Saatgut-Vorbehandlung (Aussaatstärke gesamt: 96 Körner)	111
Abbildung 59:	Methanertrag (1. + 2. Schnitt) und Methanausbeute der mehrjährigen Energiepflanzen im Mittel der Standorte; 2015 = 6 Standorte und 2016 = 7 Standorte	117
Abbildung 60:	Häckselgut der mehrjährigen Energiepflanzen: Switchgras (links), Sida (Mitte), Miscanthus (rechts)	120
Abbildung 61:	Mineralstoffgehalt im Erntegut der mehrjährigen Energiepflanzen; Mittelwert über die Standorte (n = 5), Angabe wasserfrei; Referenzwert Fichte nach Quellen [51] [42], Versuchsjahr 2016.....	122
Abbildung 62:	Gehalt an Kalzium, Kalium, Silizium und Natrium im Erntegut der mehrjährigen Energiepflanzen; Mittelwert über die Standorte (n = 5), Angabe wasserfrei; Referenzwert Fichte und Holz nach Quellen [51] [42]	122
Abbildung 63:	Boden-N _{min} -Gehalte im Herbst 2015; Neuansaat/-pflanzungen in Parsberg und Gelchsheim wurden nicht berücksichtigt; mit * gekennzeichnete Varianten = fehlender Wert.....	127
Abbildung 64:	Boden-N _{min} -Gehalte im Herbst 2016 (gestrichelt = vergleichbarer Praxisacker in direkter Nachbarschaft oder ortsnah).....	128
Abbildung 65:	Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Aholting, (Herbst 2016), Praxis Schlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah	130

Abbildung 66:	Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Gelchsheim, (Herbst 2016), Praxisschlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah.....	130
Abbildung 67:	Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Hötzelsdorf, (Herbst 2016), Pra-xisschlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah.....	131
Abbildung 68:	Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Parsberg, (Herbst 2016), Pra-xisschlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah.....	131
Abbildung 69:	Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Rosenau, (Herbst 2016), Pra- xisschlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah.....	132
Abbildung 70:	Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Wolferkofen, (Herbst 2016), Pra-xisschlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah.....	132
Abbildung 71:	Siedlungsdichte (links) und Biomasse (rechts) der Regenwürmer bei der Grundaufnahme im Herbst 2014 in den Referenzparzellen (Anbau von Ramtillkraut im Sommer als Zwischenfrucht, in V10: Ramtillkraut noch nicht gemulcht, V12: Ramtillkraut 2–4 Wochen vor Probenahme gemulcht)	136
Abbildung 72:	Boxplot der Gewichte von 532 adulten Individuen von <i>Aporrectodea caliginosa</i> über die Versuchsstandorte und Varianten bei der Grundaufnahme im Herbst 2014 in den Referenzparzellen (V10: Ramtillkraut noch nicht gemulcht, V12: Ramtillkraut 2–4 Wochen vor Probenahme gemulcht); x kennzeichnet arithmetisches Mittel, die Werte unter den Boxplots entsprechen der Anzahl der gewogenen Individuen.....	137
Abbildung 73:	Siedlungsdichte der Regenwürmer als Biogassubstrat genutzter Kulturen (RWG = Riesenweizengras, Sorte Green Star) 2015 und 2016 (Wolferkofen)	138
Abbildung 74:	Biomasse der Regenwürmer als Biogassubstrat genutzter Kulturen (RWG = Riesenweizengras, Sorte Green Star) 2015 und 2016 (Wolferkofen)	139
Abbildung 75:	Siedlungsdichte der Regenwürmer thermisch genutzter Kulturen im Frühjahr 2016.....	140
Abbildung 76:	Biomasse der Regenwürmer thermisch genutzter Kulturen im Frühjahr 2016.....	140
Abbildung 77:	Siedlungsdichte (links) und Biomasse (rechts) der Regenwürmer auf Flächen von Praxisbetrieben mit <i>Miscanthus</i> , Acker oder Grünland	142
Abbildung 78:	Siedlungsdichte (links) und Biomasse (rechts) der Regenwürmer auf Flächen von Praxisbetrieben mit <i>Silphie</i> , Acker oder Grünland	143

Abbildung 79: Siedlungsdichte (links) und Biomasse (rechts) der Regenwürmer auf Flächen von Praxisbetrieben mit Riesenweizengras (RWG), Acker oder Grünland 144

Abbildung 80: Aktivitätsdichte der Springschwänze (Collembola) und Milben (Acari) auf Riesenweizengras- (RWG) und Roggen-GPS-Parzellen (GPS) an den Versuchsstandorten Aholting und Rosenau..... 148

Abbildung 81: Siedlungsdichte der Springschwänze (Collembola, links) und Milben (Acari, rechts) auf Flächen von Praxisbetrieben mit Miscanthus (Ah_1: Aholting 1, Ah_2: Aholting 2, He: Herfurth, Le: Leiblfing)..... 149

Abbildung 82: Aktivitätsdichte (Anzahl gefangener Individuen), Artenzahlen und Shannon-Diversitäts-Index der Laufkäferfauna in Rosenau 2015; Mittelwert und Standardabweichung über die Versuchswiederholungen; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey's HSD-Test); RWG = Riesenweizengras, WW = Referenz-Winterweizen 151

Abbildung 83: Relativer Anteil der Beobachtungen für Silphie und Sida über alle Termine in den Jahren 2015 und 2016 und über zwei Versuchsstandorte 153

Abbildung 84: Auswahl einiger Blütenbesucher an der Durchwachsenen Silphie..... 155

Abbildung 85: Auswahl einiger Blütenbesucher an der Sida 155

Abbildung 86: Bestandteil der Fauna der Agrarlandschaft? – Zwergmausnest im Switchgras im Herbst am Standort Rosenau (links) und Laubfrosch auf der Versuchsfläche in Thürnthenning (rechts) 165

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Langjährige mittlere Monatstemperatur und mittlerer Monatsniederschlag (1981–2010, DWD-Station in Klammern).....	40
Tabelle 2:	Beschreibung der Versuchsstandorte.....	41
Tabelle 3:	Ergebnisse der Bodenuntersuchung auf den Versuchsstandorten, Probenahme Juli 2014 (0–30 cm).....	41
Tabelle 4:	Versuchsplan – mehrjährige Energiepflanzen im Großparzellenversuch	42
Tabelle 5:	Referenzfruchtfolge	43
Tabelle 6:	Pflanz- und Saattermine der mehrjährigen Energiepflanzen.....	44
Tabelle 7:	Pflanzdichten und Saatstärken	45
Tabelle 8:	Saattermin des Gräser-Etablierungs-Versuchs; Anlage A und Anlage B	47
Tabelle 9:	Saat- bzw. Pflanztermin und Applikationstermine im Herbizidversuch, Versuchsjahr 2014, Anlage A	48
Tabelle 10:	Herbizid-Verträglichkeitsprüfung in Silphie, Versuchsplan 2014, Anlage A	49
Tabelle 11:	Herbizid-Verträglichkeitsprüfung in Sida, Versuchsplan 2014, Anlage A	50
Tabelle 12:	Herbizid-Verträglichkeitsprüfung in Switchgras, Versuchsplan 2014, Anlage A	51
Tabelle 13:	Herbizid-Verträglichkeitsprüfung mit Silphie, Versuchsplan 2015, Anlage B	52
Tabelle 14:	Herbizid-Verträglichkeitsprüfung mit Sida, Versuchsplan 2015, Anlage B	53
Tabelle 15:	Saat- bzw. Pflanz- und Applikationstermine im Herbizidversuch, Versuchsjahr 2015, Anlage B	53
Tabelle 16:	Tastversuch im Gewächshaus zum Einfluss einer Vorbehandlung der Sida-Samen auf deren Auflaufverhalten – Versuchsplan.....	54
Tabelle 17:	Tastversuch im Gewächshaus zum Einfluss der Saatbedingungen auf das Auflaufen der Sida-Samen – Versuchsplan.....	55
Tabelle 18:	Methodik der Inhaltsstoffanalyse	55
Tabelle 19:	Methoden zur Bestimmung der Brennstoffzusammensetzung.....	56
Tabelle 20:	Mittlere Jahrestemperatur der Versuchsstandorte sowie vieljähriges Mittel der Jahre 1981 bis 2010 (Wetterstation in Klammern)	58
Tabelle 21:	Niederschlagssumme der Versuchsstandorte sowie vieljähriges Mittel der Jahre 1981 bis 2010 (Wetterstation in Klammern)	58

Tabelle 22:	Methodik der Stickstoff und Kohlenstoff-Bodenuntersuchungen	63
Tabelle 23:	Methodik der Grundbodenuntersuchungen.....	63
Tabelle 24:	Termine und Umfang der Regenwurmerhebungen	65
Tabelle 25:	Regenwurmuntersuchungen auf Flächen von Praxisbetrieben	66
Tabelle 26:	Untersuchungen zur Bodenmesofauna von Miscanthus-Flächen von Praxisbetrieben am 30.10.2015	68
Tabelle 27:	Varianztabelle zum Trockenmasseertrag.....	73
Tabelle 28:	Trockenmasseertrag der mehrjährigen Energiepflanzen je Variante (Mittelwert) sowie je Variante und Jahr (LsMeans); signifikante Unterschiede zwischen den Orten sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet; n = 4	74
Tabelle 29:	Sida; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Versuchsjahr 2014; Bonitur kurz vor Umbruch (BBCH 12–14 der Kultur), n = 3.....	98
Tabelle 30:	Silphie; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Versuchsjahr 2014; Bonitur kurz vor Umbruch (BBCH 17–19 der Kultur); n = 3.....	100
Tabelle 31:	Switchgras; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Versuchsjahr 2014, Bonitur kurz vor Umbruch (BBCH 15–30 d. Kultur), n = 3.....	101
Tabelle 32:	Sida: Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten, mechanisch unkrautfreien Kontrolle; Versuchsjahr 2015; Mittelwerte (n = 4) der Abschlussbonitur am 24.09.2015 (BBCH Kultur 10–33).....	102
Tabelle 33:	Silphie: Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten, mechanisch unkrautfreien Kontrolle; Versuchsjahr 2015; Mittelwerte (n = 3) der Abschlussbonitur am 24.09.2015 (BBCH Kultur 13–19)	104
Tabelle 34:	Stickstoff- und Mineralstoffgehalt der mehrjährigen Energiepflanzen zur Ernte je Variante; Mittelwert über die Standorte (n = 6).....	112
Tabelle 35:	Stickstoff- und Mineralstoffentzug pro Jahr in kg/ha durch das Erntegut; Mittelwert über die Standorte (n = 6)	113
Tabelle 36:	Nährstoffgehalt der mehrjährigen Energiepflanzen zur Ernte je Variante; Mittelwert über die Standorte (n = 6)	115
Tabelle 37:	Beurteilung der Beutelsilagen nach DLG-Schlüssel [36]	118
Tabelle 38:	Verbrennungs- und lagerungstechnische Kenndaten des Ernteguts aus mehrjährigen Energiepflanzen; Mittelwert über die Standorte (n = 5), Angaben wasserfrei, Versuchsjahr 2016	120
Tabelle 39:	Nährstoffentzug pro Jahr in kg/ha durch das Erntegut; Mittelwert über die Standorte (n = 6), Versuchsjahr 2016	123
Tabelle 40:	C _{org} /N _t -Verhältnis im Boden (Herbst 2016), Praxisschlag = vergleichbare bewirtschaftete Fläche in direkter Nachbarschaft oder ortsnah	133

Tabelle 41:	An den Standorten innerhalb von 10 Minuten gezählte Blütenbesucher (Mittelwerte der Jahre 2015 und 2016 mit Standardabweichung pro beobachteter Fläche).....	154
Tabelle 42:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Erntetermine der Kulturen für die Biogasnutzung in 2015.....	195
Tabelle 43:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Erntetermine der Kulturen für die thermische Nutzung in 2016	195
Tabelle 44:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Erntetermine der Kulturen für die Biogasnutzung in 2016.....	196
Tabelle 45:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Düngemengen je Hektar im Versuchsjahr 2015	196
Tabelle 46:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Düngemengen je Hektar im Versuchsjahr 2016	197
Tabelle 47:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Düngemengen je Hektar im Versuchsjahr 2016	197
Tabelle 48:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Düngemengen je Hektar im Versuchsjahr 2016	198
Tabelle 49:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturwerte der Biogaskulturen aller Versuchsstandorte im Versuchsjahr 2015; Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung	199
Tabelle 50:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturwerte der Biogaskulturen aller Versuchsstandorte im Versuchsjahr 2016; Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung	201
Tabelle 51:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturwerte der thermische verwertbaren Kulturen aller Versuchsstandorte im Versuchsjahr 2016; Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung	203
Tabelle 52:	Gräser-Etablierungs-Versuch – Düngung Anlage A.....	204
Tabelle 53:	Gräser-Etablierungs-Versuch – Erntetermine Anlage A.....	204
Tabelle 54:	Gräser-Etablierungs-Versuch – Düngung, Anlage B.....	205
Tabelle 55:	Gräser-Etablierungs-Versuch – Erntetermine Anlage B.....	205
Tabelle 56:	Gräser-Etablierungs-Versuch – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturwerte, Anlage A, Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung	206
Tabelle 57:	Gräser-Etablierungs-Versuch – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturwerte, Anlage B, Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung	207
Tabelle 58:	Sida; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder und I = kein Boniturtermin, () = fehlender Wert)	209

Tabelle 59:	Sida; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder und I = kein Boniturtermin, () = fehlender Wert).....	210
Tabelle 60:	Silphie; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder = kein Boniturtermin)	211
Tabelle 61:	Silphie; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder = kein Boniturtermin)	212
Tabelle 62:	Switchgras; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder und I = kein Boniturtermin).....	213
Tabelle 63:	Switchgras; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder und I = kein Boniturtermin, () = fehlender Wert).....	214
Tabelle 64:	Herbizid-Verträglichkeit von Sida, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle Versuchsjahr 2015 (graue Felder = zeitlich vor Applikation).....	215
Tabelle 65:	Herbizid-Verträglichkeit von Sida, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2015 (graue Felder = zeitlich vor Applikation).....	215
Tabelle 66:	Herbizid-Verträglichkeit von Silphie, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2015	216
Tabelle 67:	Herbizid-Verträglichkeit von Silphie, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2015 (graue Felder = zeitlich vor Applikation).....	216
Tabelle 68:	Herbizid-Verträglichkeit von Silphie, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2015 (graue Felder = zeitlich vor Applikation).....	217
Tabelle 69:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Brennstoffzusammensetzung (Angaben wasserfrei), Versuchsjahr 2016	218
Tabelle 70:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – verbrennungs- und lagerungstechnische Kenndaten, Angaben wasserfrei.....	219
Tabelle 71:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Nährstoffgehalt (Weender Analyse) der Biomasse, Versuchsjahr 2015	220
Tabelle 72:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Mineralstoffgehalte der Biomasse, Versuchsjahr 2015	222
Tabelle 73:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Nährstoffgehalt (Weender Analyse) der Biomasse, Versuchsjahr 2016	224
Tabelle 74:	Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Mineralstoffgehalte der Biomasse, Versuchsjahr 2016	226

Tabelle 75:	Methanausbeute und Methanertrag der mehrjährigen Energiepflanzen, Versuchsjahr 2015.....	228
Tabelle 76:	Methanertrag und Methanausbeute der mehrjährigen Energiepflanzen, Versuchsjahr 2016.....	231
Tabelle 77:	Relativer Methanhektarertrag der mehrjährigen Energiepflanzen im Vergleich zu Silomais	234

1 Einleitung

Der Energiepflanzenanbau, aber auch der Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln, steht immer wieder in der öffentlichen Diskussion: Einseitige Maisfruchtfolgen, ein intensiver Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die Blüten- und Artenarmut der Agrarlandschaft werden kritisiert. Mehrjährige Kulturen wie Miscanthus, Sida, Silphie oder Riesenweizen-gras könnten zumindest im Energiepflanzenbereich einige dieser Kritikpunkte entkräften. Sie sorgen für mehr Artenvielfalt und erweitern das Deckungs- und Lebensraumangebot für die Agrarfauna. Fruchtartabhängig liefern ihre Blüten Nahrung für viele Insekten in einer Zeit, in der die restliche Agrarlandschaft nur ein geringes Nahrungsangebot bereitstellt. Einige der mehrjährigen Energiepflanzen kommen mit einem geringen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln aus oder bieten eine nahezu ganzjährige Bodenbedeckung. Nach dem Etablierungsjahr entfällt die jährliche Bodenbearbeitung, Arbeitszeit und Kosten können damit eingespart sowie Mineralisierungsprozesse im Boden reduziert werden. Dies vermindert das Auswaschungsrisiko von Nitrat ins Grundwasser und reduziert den Bodenabtrag und Phosphateintrag in Oberflächengewässer. Die Mehrjährigkeit der Kulturen ermöglicht die Entwicklung eines tiefreichenden Wurzelsystems, was bei extremer Trockenheit von Vorteil sein kann. Dieser Aspekt wird gerade im Hinblick auf den Klimawandel und die erwartete Häufung von Extremwitterung zur Risikoabsicherung wichtiger. Die lange Bodenruhe und die intensive Durchwurzelung können sich auf den Humusaufbau im Boden positiv auswirken. Hinsichtlich des Ertrags können mehrjährige Kulturen oft nicht mit klassischen, züchterisch intensiv bearbeiteten und weit verbreiteten Ackerfrüchten konkurrieren. Die Biomasseleistung ist meist sehr standortabhängig und wird stark vom Etablierungserfolg im ersten Jahr beeinflusst. Gesicherte Forschungsergebnisse zu Ertrag oder Anbaueignung gibt es aufgrund der geringen Verbreitung von mehrjährigen Energiepflanzen bisher nur vereinzelt und von wenigen Versuchsstandorten. Auch hinsichtlich produktionstechnischer und ökologischer Fragestellungen besteht ein großer Forschungsbedarf.

2 Stand des Wissens

Zu den im vorliegenden Projekt untersuchten mehrjährigen Kulturen gibt es für Deutschland und insbesondere für den süddeutschen Raum bisher nur wenige wissenschaftliche Arbeiten. Der Nutzungs- und Anbau-Schwerpunkt dieser Kulturen liegt zumeist außerhalb von Deutschland und Europa. Das folgende Kapitel gibt einen kurzen Überblick über die Herkunft, die Eigenschaften und die bisherigen Erkenntnisse zu den im Projekt untersuchten mehrjährigen Kulturarten.

Durchwachsene Silphie

Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L., im Folgenden Silphie, Abbildung 1) ist ein mehrjähriger Korbblütler und in den Prärien im Osten Nordamerikas beheimatet. Nach Europa wurde sie erst um 1750 eingeführt [153]. Die Silphie wird auch Becherpflanze genannt, da die gegenständigen, am Stängel zusammengewachsenen Blattpaare einen kleinen Becher bilden [96]. Anfänglich wurde diese Pflanze eher von Gärtnern und Imkern angebaut oder als Grünfutter für Kleintiere genutzt. In letzter Zeit rückt die Silphie Dank ihrer hohen Biomasseproduktion auch als Energiepflanze zur Nutzung als Biogassubstrat in den Blickpunkt. Im Pflanz- oder Saatjahr bildet die Pflanze nur eine bodenständige Rosette. Erst ab dem 2. Standjahr wächst sie in die Höhe, wird über 3 m hoch und kann zehn Jahre und länger jeweils Ende August bis Anfang September geerntet werden. Um das erste, ertragslose Jahr zu überbrücken, wird neuerdings auch der Anbau von Silphie als Untersaat unter Silomais diskutiert [88]. Im zweiten Jahr liefert dann die Silphie alleine den Ertrag.

Die Pflanze hat eine ausgesprochen lange Blühdauer (Juli bis September), die gelben Blüten werden von zahlreichen Insekten besucht, da sie Nektar und Pollen bereitstellen [122]. Für Honigbienen, Hummeln, Schwebfliegen und andere Insekten scheint die Silphie eine attraktive Blütenpflanze zu sein [143]. An Klima oder Boden stellt sie keine besonderen Ansprüche. Sie gehört zu den C3-Pflanzen, ist winterfest, kann Temperaturen bis -30 °C überleben und gedeiht auch auf Böden mit niedriger Ackerzahl. Für hohe Erträge braucht sie allerdings humose Böden mit einer guten Wasserführung [153]. Besonders im Etablierungsjahr ist eine gute Wasserversorgung wichtig. Neuanlagen können mit vorgezogenem Pflanzgut oder seit wenigen Jahren auch per Saat etabliert werden. Das Saatgut der Silphie weist allerdings eine hohe Keimruhe auf und muss vor Aussaat stratifiziert werden [96] [166]. Untersuchungen von TRÖLENBERG et al. [165] zeigen, dass bei Wechseltemperaturen hohe Keimraten zu erwarten sind. VON GEHREN et al. [60] erzielten gute Ergebnisse mit verschiedenen Vorbehandlungsmethoden (KNO_3 , Gibberellinsäure, Kälte). Die Autoren wiesen auch den Einfluss des Saattermins auf den Feldaufgang nach. Sie empfehlen dafür Ende April. Mittlerweile ist jedoch auch vorbehandeltes und damit gut keimfähiges Saatgut für den Landwirt kommerziell erhältlich. Eine Auswahl an verschiedenen Silphie-Sorten ist derzeit nicht geboten, unterschieden wird nur nach der ursprünglichen Herkunft des Pflanzenmaterials. In Versuchen am TFZ in Straubing wurden eine thüringische, norddeutsche, amerikanische und eine russische Herkunft geprüft. Dabei schnitten die thüringische und die norddeutsche Herkunft hinsichtlich des Ertrags am besten ab [156]. Tierische Schädlinge spielen in der Silphie bis-

her keine wesentliche Rolle. In Abhängigkeit von Klima und Standort können jedoch bakterielle Blattflecken (*Pseudomonas syringae*) und in Rapsanbaugebieten auch ein Befall mit *Sclerotinia* auftreten. Eine gewisse Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber abiotischen Stressfaktoren wie Trockenschäden oder Verbrennungen scheint ebenfalls zu bestehen. Unter diesen Bedingungen können die Blätter absterben und der gesamte Bestand verbräunt. In der Regel erholen sich die Pflanzen aber im nächsten Jahr wieder.



Abbildung 1: *Silphie* (*Silphium perfoliatum* L.): Pflanzen im 1. Jahr (oben links), Samenstand (oben Mitte), *Silphie*-Becher (oben rechts), *Silphie*-Bestand zur Blüte (unten links), Blütenbesucher (unten rechts)

Sida

Zu den mehrjährigen Energiepflanzen, die sowohl in der Biogasanlage als auch thermisch genutzt werden können, gehört die Sida (*Sida hermaphrodita* L. Rusby, Abbildung 2). Die Sida stammt ursprünglich aus Nordamerika und ist dort vor allem in Flusstälern und an Seen zu finden [25]. In ihrer Heimat gehört sie teilweise zu den vom Aussterben bedrohten Pflanzenarten [7]. Um 1950 wurde sie erstmals nach Polen eingeführt und wird dort in geringem Umfang angebaut [25]. Sie ist ein Malvengewächs und bildet einen bis zu drei Meter hohen strauchartigen Aufwuchs. Die Bestandsetablierung erfolgt über eine kostenaufwändige Pflanzung von vorgezogenen Jungpflanzen oder Stecklingen oder über das Saatverfahren. Die Keimfähigkeit des Saatguts ist jedoch gering, da die Kultur noch Wildartcharakter aufweist und bisher kaum züchterisch bearbeitet wurde. Von DAVIS und KUJAWSKI wird die Keimfähigkeit mit 34 % angegeben [35]. Im ersten Anbaujahr steckt die C3-Pflanze die meiste Kraft in die Ausbildung ihres Wurzelsystems. Die Jugendentwicklung ist deshalb langsam und der oberirdische Aufwuchs bleibt im ersten Jahr für eine Nutzung noch zu gering. Ein hoher Unkrautdruck kann somit bei der Etablierung Probleme bereiten, denn Herbizide gegen Unkräuter werden von der Kultur in der Regel nicht oder sehr schlecht vertragen. Ab dem zweiten Jahr beginnt die Staude, in die Höhe zu wachsen, und bildet einen robusten Strauch mit mehreren Trieben.

Die Sida ist frostbeständig und kann laut Literaturangaben bis zu 20 Jahre lang energetisch genutzt werden [169]. An den Boden stellt die Sida keine besonderen Ansprüche. Sie gilt sogar als relativ trockentolerant [57]. Aber auch für diese Kulturart gilt, dass nur auf guten Böden und bei einer ausreichenden Wasserversorgung hohe Erträge produziert werden. Extrem saure Böden oder sehr windige Standorte sollten gemieden werden [169]. In der Literatur wird auch berichtet, dass die Sida Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle binden kann und somit für die Rekultivierung kontaminierter Böden geeignet ist [57]. Rapsflächen sollten für den Anbau von Sida unbedingt gemieden werden, da eine gewisse Anfälligkeit der Pflanze gegenüber *Sclerotinia* besteht. Größere Schäden durch andere Krankheiten oder Schädlinge sind bisher nicht bekannt.

Wird die Sida im Sommer grün geerntet, so dient ihr Aufwuchs als Substrat für die Biogasanlage. Je nach Standort ist auch eine zweite Ernte im späten Herbst möglich. USTÁK berichtet auch von einem möglichen Einsatz der grünen Biomasse als Futtermittel. Nach seinen Angaben kann die Sida unter den klimatischen Bedingungen der Tschechischen Republik zwei- bis dreimal pro Jahr zur Grünmassegewinnung geerntet werden [169]. Erfolgt die Ernte erst im Frühjahr, nachdem die Blätter abgefallen und die Stängel abgetrocknet sind, wird sie ähnlich wie Hackschnitzel oder Miscanthus als Brennstoff genutzt. JABLONOWSKI et al. haben gezeigt, dass sich mit einem einmaligen Schnitt im Frühjahr zur thermischen Verwertung die höchste Energiemenge je ha produzieren lässt. Eine Nutzung als Biogassubstrat ist weniger effizient. Ein Vorteil der Sida gegenüber Miscanthus besteht laut NEISINGER [121] in geringeren Siliziumgehalten der Pflanze und einer damit einhergehenden geringeren Verschlackung des Ofens.



Abbildung 2: *Sida hermaphrodita* (L. Rusby): junge Sidapflanze im 1. Jahr (oben links), Blüte und Samenstand (oben rechts), Sida-Bestand zur thermischen Nutzung, im Winter (unten links); Sida-Bestand zur Biogasverwertung, im Sommer (unten rechts)

Eine Trocknung des Erntematerials ist normalerweise nicht notwendig. Das Häckselgut kann aufgrund geringer Restfeuchten von 15 bis 25 % in der Regel gut bis zur Verbrennung gelagert werden.

Riesenweizengras

Das Riesenweizengras (*Agropyron elongatum*, *Thinopyrum ponticum* oder *Elymus elongatus*, Abbildung 3) gehört zur Familie der Süßgräser und ist ein mehrjähriges Präriegras. Es stammt ursprünglich aus Vorderasien/Russland, wurde aber am Anfang des 20. Jahrhunderts nach Nordamerika eingeführt und züchterisch bearbeitet. Dort wird das Gras hauptsächlich als Weide oder zur Heubereitung angebaut. Das Riesenweizengras gehört zur Gattung der Quecke (*Elymus*) und wird umgangssprachlich auch als „stumpfbütige Quecke“ bezeichnet [148]. Es hat jedoch kein invasives Potenzial, da es keine unterirdischen Ausläufer wie die Quecke bildet [148] [146]. Das Horst bildende Gras wird bis zu 3 m hoch und stellt keine besonderen Ansprüche an Boden oder Klima. Es kommt gut mit nassen, alkalischen und salzigen Böden zurecht und auch eine gute Toleranz gegenüber Trockenheit wird ihm nachgesagt [140]. Als C3-Gras hat *Agropyron elongatum* eher geringere Ansprüche an die Temperatur. Es gehört zu den sogenannten Cool-Season-Gräsern, deren Hauptentwicklung zur kühleren Jahreszeit im Frühjahr und Herbst stattfindet [29] [125] und die im Sommer eine Wachstumspause einlegen.

Riesenweizengras hat in der Regel einen guten Feldaufgang und keimt zügig, sofern genügend Feuchtigkeit im Boden vorhanden ist. Die weitere Entwicklung geht dann allerdings langsam vonstatten. Im Etablierungsjahr bleibt der Aufwuchs des Grases eher gering, ein Schnitt dient mehr der Pflege und einer Anregung der Bestockung als der Ernte von Biomasse. Zur Nutzung als Biogassubstrat wird das Gras zweimal pro Jahr, im Frühsommer und im Spätherbst, geschnitten. In der Regel wird es aufgrund hoher Trockensubstanzgehalte ohne Vorwelken aus dem Stand gehäckselt. Lediglich beim zweiten Schnitt kann je nach Standort und Witterung ein Anwelken notwendig sein. In Deutschland sind verschiedene Sorten erhältlich, z. B. Alkar, Jose, Hulk, Szarvasi-1 und Green Star. In Feldversuchen konnten gut etablierte Riesenweizengras-Bestände über 18 t TM/ha liefern [74]. Insbesondere auf erosionsgefährdeten Flächen kann der Anbau interessant sein, da die dichte Grasnarbe ganzjährig den Bodenabtrag durch Wind oder Niederschlag verhindert. Als Nutzungsdauer geht man von fünf bis acht Jahren aus [80], wobei die Verunkrautung, bedingt durch die Wachstumspause des Grases im Sommer, über die Jahre problematisch werden kann. Eine chemische Bekämpfung der Unkräuter und Ungräser ist nur mit Ausnahmegenehmigung nach § 22 Abs. 2 PflSchG möglich.



Abbildung 3: Riesenweizengras (*Agropyron eolongatum*): erntereifer Bestand, Blüte (unten links), Jungpflanze im Etablierungsjahr (unten rechts)

Switchgras

Switchgras (*Panicum virgatum*, Abbildung 4), auch Rutenhirse genannt, ist ein mehrjähriges C4-Gras und gehört damit zu den sogenannten Warm-Season-Gräsern [167]. Diese haben, im Gegensatz zu den C3-Gräsern, im Sommer bei hohen Temperaturen ihre höchsten Zuwächse an Biomasse [125] [148]. Ähnlich wie *Miscanthus* besitzt Switchgras ein unterirdisch liegendes Rhizom, das als Speicher- und Überwinterungsorgan dient. Switchgras hat seine natürliche Heimat in den Prärien Nord- und Zentralamerikas [44]. In Deutschland wurde es anfangs nur als Zierpflanze angebaut oder im Gewässerschutz eingesetzt. Es wird zwischen den Hochland- und den Tiefland-Typen unterschieden. Hochland-Typen eignen sich für trockenere Gegenden und sind sehr winterhart (z. B. die Sorten Shawnee, Cave-in-Rock), während Tiefland-Typen auf eine ausreichende Wasserversorgung angewiesen sind (z. B. die Sorten Alamo, Kanlow), aber in der Regel auch mehr Ertrag liefern [28] [135].

Das Saatgut weist eine sehr hohe Keimruhe auf und muss deshalb kurz vor der Aussaat feucht-kühl stratifiziert werden [135]. Bei warmen Temperaturen im Sommer keimt das Switchgras schnell und entwickelt rasch einen den Boden fast bedeckenden Bestand. Saaten im Herbst sind dagegen schwierig, da Keimung und Entwicklung bei kühlen Temperaturen sehr lange dauern. Eine ausreichende Vorwinterentwicklung im ersten Jahr und damit auch die Frosthärte des Grases sind dann unter Umständen nicht mehr gegeben [44]. Nach TRESELER [163] wurzelt Switchgras mehrere Meter tief und kann auch Sommertrockenheit gut überstehen, gegenüber Staunässe ist es hingegen empfindlich [104]. An den Boden stellt es keine besonderen Ansprüche, kühle Temperaturen hingegen hemmen das Wachstum.

Switchgras wird in Nordamerika als Futterpflanze angebaut [163], findet aber auch als Energiepflanze immer mehr Beachtung. Es kann aufgrund der Lignifizierung der Stängel stehend auf der Fläche überwintern und abtrocknen [164]. Im Frühjahr kann das Gras dann in getrocknetem Zustand beerntet und als Zellulose- oder Lignozellulose-Lieferant für die Ethanolherstellung eingesetzt werden. Auch ein Einsatz in der Baustoffherstellung wird diskutiert [164]. Weiterhin eignet sich das Gras zur direkten Verbrennung [135]. Wird es grün geerntet, kann es als Substrat in der Biogasanlage eingesetzt werden. Ein zweimaliger Schnitt ist dann voraussichtlich möglich. Der zu erwartende Biomasseertrag schwankt zwischen 8 und 20 t Trockenmasse je Hektar (Ernte im Winter/Frühjahr zur Verbrennung) in Abhängigkeit vom Standort [13]. Untersuchungen aus Sachsen-Anhalt berichten von TM-Erträgen bis fast 18 t TM/ha (Ernte Sommer/Herbst als Biogassubstrat) [132].



Abbildung 4: *Switchgrass (Panicum virgatum):* junge Pflanzen kurz nach dem Auflaufen (oben links) zum Rispenschieben (oben rechts), zur thermischen Nutzung kurz vor der Ernte im März (unten links), im Winter (unten rechts)

Miscanthus

Miscanthus oder Chinaschilf (Abbildung 6) ist eine ausdauernde C4-Pflanze, die aus Südostasien (China, Japan, Korea) stammt und zur Familie der Süßgräser gehört. Zunächst erfreute sich Miscanthus als Ziergras großer Beliebtheit. 1935 gelangte der hochwüchsige *Miscanthus x giganteus* durch einen dänischen Botaniker von Japan über Dänemark nach Mitteleuropa. Diese triploide Hybridart zeichnet sich durch eine sehr hohe Biomassebildung aus, kann bis zu 5 m hoch werden und ist die am weitesten verbreitete landwirtschaftlich genutzte Miscanthus-Art in Deutschland. Sie ist steril und kann sich somit nicht unkontrolliert vermehren. Heutzutage wird Miscanthus zur Verbrennung, als Baustoff, Tiereinstreu oder auch als Mulchmaterial genutzt. Die Ernte erfolgt im Frühjahr ab dem zweiten oder dritten Standjahr, wenn die Bestände so weit abgetrocknet sind, dass die Biomasse ab Feld lagerfähig ist. Milde Winter sind somit problematisch, da hier die Gefahr besteht, dass die Bestände nicht vollkommen abtrocknen oder der Wiederaustrieb im Frühjahr noch vor Abschluss der Ernte erfolgt. Lagerfähige Trockensubstanzgehalte werden dann nicht erreicht. Ein Grünschnitt als Biogassubstrat ist für diese Kultur nicht zu empfehlen. Untersuchungen von FRITZ und FORMOWITZ haben gezeigt, dass eine Ernte im Sommer den Bestand langfristig schwächt [183].

Miscanthus kann aufgrund seiner Sterilität nur über Rhizomzerteilung aus Mutterpflanzen oder über In-vitro-Kultur vermehrt bzw. angebaut werden. Er bevorzugt gut durchwurzelbare, humose Mineralböden mit guter Wasserversorgung und hoher Bodenzahl. Staunässe wird weniger gut vertragen [104]. Exponierte und kahlfröstgefährdete Lagen sind ebenfalls zu meiden. Bei Spätfrösten im Frühjahr kann es zum Absterben der frischen Austriebe kommen. Der neuerliche Austrieb erfolgt dann verzögert und wirkt sich negativ auf das Wachstum aus. Ein Anbau in Lagen von über 700 mm NHN (Normalhöhennull) ist deshalb nicht zu empfehlen. Drahtwurmverseuchte Flächen kommen für den Miscanthusanbau ebenfalls nicht infrage, da Miscanthus von diesem Schädling befallen wird [158].

Da im Miscanthus keine Ernte der grünen Pflanzenteile stattfindet, können die Nährstoffe im Herbst aus den Halmen in das Rhizom zurückverlagert werden. Im Frühjahr stehen diese eingelagerten Nährstoffe für den Wiederaustrieb zur Verfügung [93]. Außerdem gelangen weitere Nährstoffe durch den Blattfall über Winter zurück in den Boden. Aufgrund dieser Nährstoffrückführung ist nur eine sehr geringe Düngung nötig, somit ist Miscanthus als Low-input-Pflanze einzuordnen.



Abbildung 5: *Miscanthus (Miscanthus x giganteus)* nach Winter, kurz vor Ernte



Abbildung 6: *Miscanthus (Miscanthus x giganteus)* im Sommer

Waldstaudenroggen

Der Waldstaudenroggen (*Secale multicaule*, Abbildung 7) ist eine mehrjährige Roggenart, deren Ursprünge nicht ganz geklärt sind. Es handelt sich dabei um einen sehr alten Roggen, der bereits lange vor Beginn der modernen Pflanzenzüchtung als Waldstaudenkorn oder Johanni-Roggen bekannt war [113]. Der Name „Johannisroggen“ ist auf den traditionellen Saattermin um den 24. Juni zurückzuführen. Bis zum Herbst wurde das Getreide dann mehrfach als Futter geschnitten oder beweidet. Im darauffolgenden Jahr konnte das Getreidekorn geerntet werden. Wird der Aufwuchs nicht als Korn, sondern als Grünmasse genutzt, gibt die Literatur eine Nutzungsdauer von bis zu fünf Jahren an [113].

Die Urformen des mehrjährigen Roggens, wie der Waldstaudenroggen, sind meist anspruchslos und sehr frosthart. Sie haben aber den Nachteil der deutlich geringeren Korn-erträge im Vergleich zum modernen Kulturroggen. Die Körner sind kleiner, süßlicher im Geschmack und beinhalten deutlich mehr Ballaststoffe als der herkömmliche Roggen [113]. Moderne perennierende Roggensorten, wie z. B. „Permontra“, sind vom Waldstaudenroggen zu unterscheiden. Sie sind durch züchterische Arbeit und die Kreuzung des modernen Kulturroggens (*Secale cereale*) mit dem perennierenden Bergroggen (*Secale montanum*) entstanden [82] [133].

Die Saat des Waldstaudenroggens kann zwischen Juni und November erfolgen. In Abhängigkeit vom Saatzeitpunkt kann im ersten Jahr bereits ein Aufwuchs geerntet werden. Aufgrund der hohen Halmlänge von fast zwei Metern ist dieser Roggen sehr lageranfällig und verträgt deshalb nur geringe Stickstoffgaben. Die Wuchshöhe ist insgesamt auch uneinheitlicher als die des Hybridroggens. Die Perennierfähigkeit des Roggens scheint beeinflussbar, z. B. durch die Stickstoffversorgung, die Schnitthöhe, die Wasserversorgung nach der Ernte oder die Pflanzendichte [82] [113] [133]. In ersten eigenen Untersuchungen war der Wiederaustrieb nach der Ernte im zweiten Jahr nicht zufriedenstellend.



Abbildung 7: Waldstaudenroggen (*Secale multicaule*)



Abbildung 8: Waldstaudenroggen links, im Vergleich dazu der niedrigere und einheitlicher wachsende Hybridroggen (rechts)

3 Zielstellung

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist das Aufzeigen der Ertragserwartung und -stabilität mehrjähriger Energiepflanzen für verschiedene bayerische Standortbedingungen. In mehrjährigen Feldversuchen mit Großparzellen soll ermittelt werden, welche Kultur für welche Standortbedingungen am besten geeignet ist. Ergebnisse zum Ertragspotenzial ermöglichen eine Einschätzung der Anbauwürdigkeit. Zusätzliche produktionstechnische Feldversuche am Standort Straubing dienen der Optimierung der Anbauverfahren dieser mehrjährigen Energiepflanzen, da es bisher an Untersuchungen und an Erfahrung dazu fehlt.

Analysen zur Substratqualität am Erntegut der Kulturen ergänzen das Vorhaben. Hierbei werden insbesondere in Zusammenarbeit mit dem Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL-ILT) umfangreiche Untersuchungen zur Methanausbeute durchgeführt. Zusätzliche Analysen zur Zusammensetzung des Pflanzenmaterials werden an externe Labore vergeben. Am TFZ erfolgt die Bestimmung der Brennstoffeigenschaften der thermisch genutzten Arten. Bereits bestehende Datenbanken des TFZ werden mit Informationen zu den mehrjährigen Kulturen erweitert (Brennstoffdatenbank). Die Ergebnisse zur Substratqualität bilden mit den Ertragsergebnissen die Grundlage zur Einschätzung des Potenzials der mehrjährigen Kulturen für eine dezentrale Energieproduktion.

Eine Bewertung der Umwelteffekte des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen erfolgt gemeinsam mit dem Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Das IAB erforscht ökologische Parameter wie die Veränderungen des Bodenlebens sowie die Attraktivität der Pflanzen für Blütenbesucher und liefert damit wichtige Erkenntnisse zu Einschätzung des agrarökologischen Potenzials mehrjähriger Energiepflanzen. Ergänzt werden diese Arbeiten durch Untersuchungen zur Entwicklung der Nitratwerte und des Gehalts organischer Substanz im Boden unter dem Anbau mehrjähriger Energiepflanzen. Dies ermöglicht eine Einschätzung des Beitrags der Kulturen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und des Grundwasserschutzes. Insbesondere die Ergebnisse zur Umweltwirkung sind jedoch als vorläufig anzusehen, da eine kurzfristige Beeinflussung dieser Parameter in der Regel nur schwierig detektiert werden kann. Weiterführende Arbeiten in einer folgenden Projektphase werden diese Ergebnisse komplettieren.

4 Material und Methoden

4.1 Projektstruktur

Projektstrukturplan: Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung

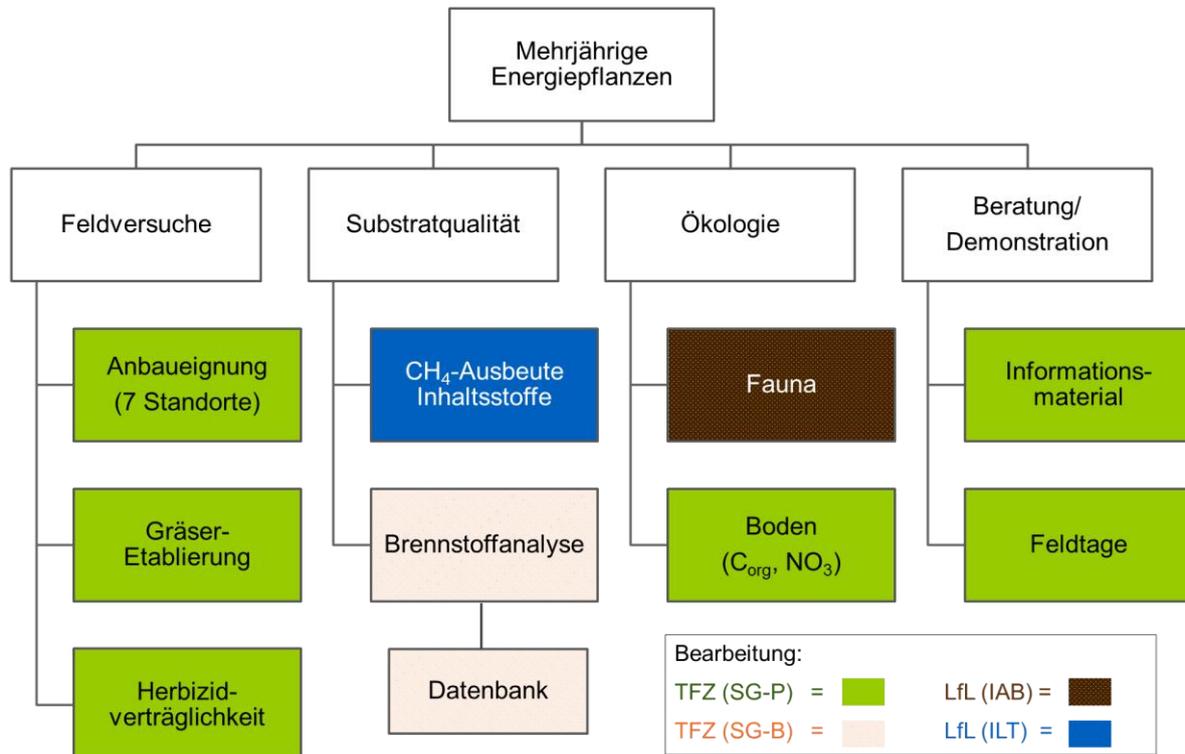


Abbildung 9: Untersuchungsschwerpunkte und Arbeitspakete im Projekt

Arbeitspakete:

- Feldversuch zur Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen (Großparzellen): Versuche in Großparzellen mit Silphie, Sida, Riesenweizengras, Waldstaudenroggen, Switchgras und Miscanthus sowie den Referenzkulturen Silomais und Ganzpflanzen-Getreide auf sieben bayerischen Standorten mit unterschiedlichen boden-klimatischen Gegebenheiten zur Abschätzung des standortspezifischen Ertragspotenzials.
- Feldversuch zur Gräser-Etablierung: Etablierung von Riesenweizengras und Switchgras als Untersaat und zu verschiedenen Saatterminen.
- Feldversuch zur Herbizid-Verträglichkeit: Untersuchung an Sida und Silphie.
- Substratqualität: Untersuchung von Proben aus dem Feldversuch (Großparzellen) hinsichtlich der Substratqualität sowohl für die Verwendung in der Biogasanlage (Methanausbeute, Inhaltsstoffe) als auch für eine thermische Verwertung (Brennstoffanalyse).
- Brennstoffdatenbank „Nawaro“: Ergänzung der TFZ-Datenbank.

- Ökologische Bewertung: Erhebungen zum Gehalt an Nitrat und an organischem Kohlenstoff im Boden sowie Untersuchungen zur Bodenfauna und Blütenbesuchern zu Versuchsbeginn und nach mehrjähriger Bewirtschaftung mit perennierenden Kulturen.
- Beratung und Demonstration: Beratungsarbeit zum Anbau von mehrjährigen Energiepflanzen in Form von Informationsmaterialien, Feldtagen, Vorträgen und telefonischer Beratung.

4.2 Feldversuche (TFZ)

4.2.1 Standortbedingungen der Feldversuche

Die Standorte des Feldversuchs zur Abschätzung des Ertragspotenzials und der Anbau-eignung verschiedener mehrjähriger Energiepflanzen (Großparzellen) befinden sich in unterschiedlichen Regionen in Bayern. Hierbei wurde versucht, möglichst viele unterschiedliche Klimabedingungen und Bodenverhältnisse abzudecken. Die produktions-technischen Versuche zur Gräser-Etablierung und zum Herbizideinsatz in Sida, Silphie und Switchgras wurden am Standort Straubing durchgeführt. Winterweizen stand als Vorfrucht vor dem Herbizidversuch und Mais als Vorfrucht vor der Gräser-Etablierung.

Die langjährigen mittleren Monatstemperaturen und Monatsniederschläge sowie das Jahresmittel der Standorte sind Tabelle 1 zu entnehmen. Angaben zur Bodengüte, Vorfrucht und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die Versuchsstandorte Straubing und Wolferkofen befinden sich im fruchtbaren „Gäuboden“, einem flachen und intensiv landwirtschaftlich geprägten Gebiet im Schwemmland der Donau. In der von Roßberg et al. (2007) [137] erarbeiteten Gebietsgliederung nach Boden-Klima-Räumen (BKR) wird die Region als „Gäu, Donau- und Inntal“ ausgewiesen. Die beiden Standorte sind geprägt durch sehr fruchtbare, lehmige Böden mit einer guten Wasserspeicherfähigkeit. Das Klima ist im Vergleich zu den anderen Versuchsstandorten gemäßigt, mit ausreichenden Niederschlägen. Wolferkofen und Straubing repräsentieren eine Hohertragslage. Hier werden vor allem Kartoffeln, Zuckerrüben, Getreide, aber auch Gemüse angebaut.

Auch der Standort Aholting fällt unter die Gebietsgliederung „Gäu, Donau- und Inntal“, unterscheidet sich jedoch deutlich von einem typischen „Gäuboden“. Der Boden dort hat einen höheren Sandanteil und der Untergrund besteht aus Kies und Schotter, was zu einer geringen Wasserspeicherfähigkeit führt. In der Region werden üblicherweise Bewässerungsanlagen betrieben, nur so können anspruchsvolle Kulturen wie Zuckerrüben dort gedeihen. Die mittlere Jahrestemperatur und der mittlere Jahresniederschlag gleichen denen von Straubing, jedoch fällt in Aholting tendenziell weniger Niederschlag als in Straubing. Auch die Temperaturen im Sommer fallen dort teilweise etwas höher aus. Insgesamt ist der Standort als eher trocken einzustufen. Die Nähe zur Donau kann bei mehrjährigen Kulturen mit tiefgründigem Wurzelwerk den Vorteil bringen, da das Grundwasser für diese Kulturen erreichbar ist.

Thürnthening repräsentiert als Standort das Tertiärhügelland, welches im Süden durch das Isartal abgegrenzt wird, gehört aber noch in den Boden-Klima-Raum „Gäu, Donau- und Inntal“. In dieser sehr hügeligen Landschaft treten sehr unterschiedlich fruchtbare Böden auf. Auch die Versuchsfläche ist in sich heterogen. Der an sich fruchtbare, sandige Lehm wird teilweise von Kiesadern durchzogen. Die Wasserspeicherfähigkeit ist dadurch gering. Die leichte Hanglage führt ohne Bewuchs schnell zu Erosion. Das Klima ist eher mild mit ausreichenden Niederschlägen. Bedingt durch die schlechte Wasserspeicherfähigkeit kann es im Sommer zu Problemen mit Trockenheit kommen, da das Grundwasser für die Pflanzen nicht erreichbar ist.

Der ganz in der Nähe, aber im Isartal gelegene Standort Rosenau (BKR „Gäu, Donau- und Inntal“) ist ein fruchtbarer Auenboden mit hohem Humusgehalt. Das Wasser wird dadurch gut gespeichert. Bei reichlichen Niederschlägen im Herbst erschwert dies jedoch die Bodenbearbeitung. Im Frühjahr hat der dunkel gefärbte Boden den Vorteil, sich schnell zu erwärmen. Das Klima am Standort ist mild, die Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter sind allerdings größer als auf den meisten anderen Standorten. Es fallen ausreichend Niederschläge. Auch die Nähe zur Isar bringt hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen einen Vorteil.

Deutlich kühleres Klima und mehr Niederschläge gibt es am Standort Parsberg. Der Standort gehört laut Gebietsgliederung zum BKR „Albflächen und Ostbayerisches Hügelland“, geologisch gesehen liegt er im Oberpfälzer Jura. Der Untergrund ist Kalk-Schotter. Der lehmig-tonige Boden vermag das Wasser eigentlich gut zu speichern, es fehlt allerdings an Tiefgründigkeit. In der Region werden viel Getreide, Silomais aber auch Klee-/Luzernegrasgemenge angebaut.

Als Standort mit extremen Witterungsbedingungen ist Hötzelsdorf einzuordnen. Er zählt nach BKR zu den „Verwitterungsböden in den Höhenlagen (östliches Bayern)“. Hier fallen reichliche Niederschläge und aufgrund der kühlen Temperaturen ist die Vegetationszeit kürzer als auf den anderen Standorten. Bedingt durch den etwas leichteren, sandigen Boden und das Klima sind die Ertragserwartungen eher gering. Traditionell gibt es hier viel Grünland, aber auch Silomais und Wintergetreide werden angebaut. Die niedrigen Temperaturen und der lange Winter werden Aufschluss darüber geben, wie winterhart die geprüften Kulturen sind.

Als wärmster und trockenster Standort ist Gelchsheim einzustufen (BKR „Nordwestbayern-Franken, Ochsenfurter Gäu“). Die mittleren Temperaturen im Sommer sind nicht unbedingt höher als in Straubing, aber im Winter bleibt es wärmer und besonders im Sommer fallen deutlich weniger Niederschläge. Der tiefgründige, tonige Lehm kann das Wasser zwar gut speichern, wird bei andauernder Trockenheit aber schnell rissig. Die ungeschützte Lage auf leichter Anhöhe und der fast stetig wehende Wind sorgen zusätzlich für Verdunstung. Die Bodengüte ist als sehr gut einzuordnen, sodass bei ausreichenden Winterniederschlägen hohe Erträge zu erwarten sind. Angebaut werden in der Region viel Getreide und auch Zuckerrüben.

Tabelle 1: Langjährige mittlere Monatstemperatur und mittlerer Monatsniederschlag (1981–2010, DWD-Station in Klammern)

Standort		Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Langj. Mittel
Wolferkofen/ Straubing/ Aholting (Straubing)	°C	-1,6	-0,4	4,2	8,8	13,8	16,5	18,4	17,9	13,6	8,7	3,4	-0,2	8,6
	mm	53	46	57	43	72	83	88	78	64	54	57	62	757
Thürnthening/ Rosenau (Gottfrieding)	°C	-1,3	0	4,4	8,9	14	16,7	18,6	18	13,7	8,9	3,5	0	8,8
	mm	51	45	57	46	74	87	95	86	64	53	56	62	776
Hötzelsdorf (Prackebach)	°C	-2,7	-1,9	1,7	6,2	11,4	14,3	16,1	15,6	11,5	7,0	1,9	-1,3	6,7
	mm	52	45	57	52	82	94	112	103	74	63	57	62	852
Parsberg (Eglwang)	°C	-1,8	-0,6	3,4	8,0	12,8	15,6	17,6	17,2	12,7	8,0	2,6	-0,7	7,9
	mm	69	61	67	49	74	82	95	81	65	61	67	78	848
Gelchsheim (Gollhofen)	°C	0,1	0,8	4,7	8,7	13,4	16,2	18,4	17,9	13,7	9,2	4,2	0,9	9,0
	mm	46	44	52	45	67	71	73	57	58	58	51	56	678

Nach Abschluss der Saat- und Pflanzarbeiten wurden auf den Flächen des Großparzellenversuchs Bodenproben gezogen, um besonders den Ausgangszustand zu Versuchsbeginn zu dokumentieren (Tabelle 3). Die Ergebnisse zeigen, dass die pH-Werte der Standorte in den optimalen Bereich fielen oder leicht darüber lagen (Rosenau, Gelchsheim). Ein erhöhter Kalkungsbedarf bestand demnach nicht. Um jedoch den Kalkbedarf der nächsten Jahre sicherzustellen, wurde im Frühjahr 2016 eine Kalkdüngung auf den Standorten Aholting und Hötzelsdorf vorgenommen. Die Phosphorversorgung war zu Versuchsbeginn auf allen Standorten gut, teilweise lagen die Gehalte sogar in Gehaltsklasse E, sodass eine P-Düngung bis zum Erreichen der Stufe C zunächst unterlassen werden konnte. Der Gehalt an Kalium im Boden entsprach in Hötzelsdorf und Gelchsheim dem optimalen Bereich. In Aholting, Rosenau und Thürnthening wurde eine leichte Unterversorgung festgestellt. Dies wurde bei der Düngung berücksichtigt. Ebenso bestand auf einigen Standorten eine leichte Unterversorgung mit Magnesium im Boden.

Tabelle 2: Beschreibung der Versuchsstandorte

Standort	Beschreibung	Wasserspeicherfähigkeit	Höhe in m über NN	Bodenart	AZ	Vorfrucht 2013/ Winterzwischenfrucht
Wolferkofen/ Straubing	sehr guter Boden, Gäulage, mild	gut	322	uL	76	Zuckerrüben
Aholting	leichter Boden, mild Schotterstandort	gering	322	IS	45	Kartoffeln/ Hybrid-Roggen
Thürnthenning	guter Boden, mild, Tertiäres Hügelland Nord	gering, be- dingt durch Kiesadern	443	sL	41–48	Körnermais
Rosenau	humoser Boden, mild, Auenlage	gut	346	huL	58	Silomais/ Winterrübsen
Hötzelsdorf	Hochlage bzw. Mit- telgebirgslage, kalt	gering	648	IS	35–45	Wintertriticale/ Alexandrinerklee
Parsberg	lehmiger Boden, kühl, Jurastandort	mittel	466	tL	32–59	Klee gras und Luzerne
Gelchsheim	sehr guter Boden, warm, Gäulage, trocken	gut	309	tL	72–76	Wintergerste/ Winterweizen

Tabelle 3: Ergebnisse der Bodenuntersuchung auf den Versuchsstandorten, Probenahme Juli 2014 (0–30 cm)

Standort	pH-Wert	P ₂ O ₅ in mg/100g	Gehalts- stufe	K ₂ O in mg/100g	Gehalts- stufe	Mg in mg/100g	Gehalts- stufe
Aholting	6,5	29	D	15	C	6,4	B
Hötzelsdorf	6,1	25	D	13	C	19,7	C
Rosenau	7,4	13	C	14	C	7,9	B
Thürnthenning	6,6	31	E	24	D	5,9	B
Parsberg	6,9	25	D	31	D	27,2	D
Gelchsheim	7,5	36	E	22	C	10,1	C
Wolferkofen*	6,9	12	C	8	B	10,5	C

* Probenahme Frühjahr 2015

4.2.2 Versuchsdurchführung

4.2.2.1 Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Großparzellenversuch

Sechs der insgesamt sieben Standorte des Großparzellenversuchs zur Untersuchung der Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen wurden bereits 2014 erfolgreich angelegt. In der Region Straubing konnte aufgrund des verzögerten Projektstarts in 2014 keine Fläche mehr gepachtet werden, die Anlage dieses siebten Standorts (Wolferkofen) erfolgte 2015. Im Versuch wurden die mehrjährige Kulturen Silphie, Sida, Riesenweizen-gras, Switchgrass, Waldstaudenroggen und Miscanthus angebaut. Wachstum, Entwicklung, Ertragsleistung sowie inhaltstoffliche Zusammensetzung der Pflanzen wurden auf den verschiedenen Standorten geprüft. Eine detaillierte Aufstellung der Kulturen bzw. Sorten und Versuchsbedingungen zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4: Versuchsplan – mehrjährige Energiepflanzen im Großparzellenversuch

Jahr	2014–2016: Etablierung (2014) Ertragserfassung (2015–2016)
Versuchsdesign	4 Wiederholungen
Standorte	7 Standorte in Bayern: Aholting, Rosenau, Thürnthenning, Hötzelsdorf, Parsberg, Gelchsheim, Wolferkofen
Varianten	<p><u>Verwertung als Biogassubstrat, Ernte im Sommer/Herbst</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Silphie: Pflanzung, Herkunftsmischung – Sida: Saat/Pflanzung, Sorte Sida East – Riesenweizen-gras (RWG): Saat, Sorte Green Star – Riesenweizen-gras (RWG): Saat, Sorte Alkar – Waldstaudenroggen (WSR): Saat, Sorte Borwaldo – Switchgrass (SG): Saat, Sorte Shawnee <p><u>Thermische Verwertung, Ernte im Frühjahr</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Sida: Saat, Sorte Sida East – Switchgrass (SG): Saat, Sorte Cave in Rock – Miscanthus: Pflanzung, <i>Miscanthus x giganteus</i> <p><u>Referenzkulturen</u></p> <p>Mais, Winterroggen-GPS (Winterweizen als Füllfrucht ohne Ertragserfassung)</p>

Die Referenzkulturen Mais und Winterroggen-GPS stehen im Wechsel. Um aber eine ausgeglichene und praxisnahe Fruchtfolge zu gewährleisten, wurde Winterweizen mit aufgenommen. Der Weizen wurde 2015 in Aholting, Hötzelsdorf, Rosenau und Thürnthenning aus organisatorischen Gründen gemulcht. In Parsberg und Gelchsheim erfolgte ein Drusch, Ertragsergebnisse wurden jedoch nicht erhoben. Das Stroh verblieb auf der

Fläche. Im Versuchsjahr 2016 wurde der Weizen auf allen Standorten außer Hötzelsdorf gedroschen und das Stroh auf der Fläche belassen. In Hötzelsdorf war aus technischen Gründen nur eine Mahd der Ganzpflanze mit anschließendem Mulchen möglich. Als Zwischenfrucht stand Ramtillkraut auf den Parzellen. Die Fruchtfolge der Referenzen zeigt Tabelle 5. Als Weizensorte wurde 2014, 2015 und 2016 „Patras“ und als GPS-Roggen die Sorte „Palazzo“ angebaut. Abweichend dazu wurde am Standort Gelchsheim im Herbst 2015 die Weizensorte „Kerobine“ gesät. Im Frühjahr 2016 musste aufgrund von schlechtem Feldaufgang und Auswinterungsschäden in Gelchsheim Sommerroggen (Sorte Arantes) in den lückigen Winterroggenbestand gesät werden.

Tabelle 5: Referenzfruchtfolge

Jahr	Variante 10	Variante 11	Variante 12
2014	Ramtillkraut	Ramtillk./Roggen-GPS	Ramtillk./Weizen
2015	Mais/Weizen	Roggen-GPS/Ramtillk.	Weizen/Roggen-GPS
2016	Weizen/Roggen-GPS	Mais/Weizen	Roggen-GPS/Ramtillk.

Die Aussaat von Switchgras, Riesenweizengras, Sida, Waldstaudenroggen sowie Ramtillkraut und der Getreidearten erfolgte mit einer Parzellendrillmaschine. In Parsberg und Gelchsheim wurde die Aussaat teilweise mit Praxistechnik durchgeführt. Die Silphie wurde per Hand gepflanzt. Am Standort Parsberg mussten die Sida-Parzellen 2015 aufgrund von Verunkrautung umgebrochen werden. Eine Pflanzung per Hand in 2015 war aufgrund des sehr trockenen Sommers und des späten Pflanztermins im August 2015 nicht erfolgreich. Mit einer erneuten Pflanzung im Juni 2016 konnte dann ein guter Sida-Bestand in Parsberg etabliert werden. Die Pflanzen erhielten dadurch einen Wachstumsvorsprung vor dem Unkraut. Im Anschluss an die Pflanzung wurden die Fläche mit 1 l/ha Metamitron behandelt, die Jungpflanzen per Hand bewässert und mit einem Vlies bedeckt. Dadurch sollte ein Austrocknen des Bodens und ein gutes Anwachsen auch in den trockenen Sommermonaten sichergestellt werden. Aufgrund der Erfahrungen des ersten Versuchsjahrs auf den anderen Standorten wurde die Sida in Wolferkofen in 2015 ebenfalls gepflanzt. Die Miscanthus-Rhizome konnten mit einer TFZ-eigenen Legemaschine gelegt und anschließend angewalzt werden. Am Standort Gelchsheim musste die Miscanthus Variante 2015 komplett neu erneuert werden, da zu viele Pflanzen ausgefallen waren. Die Switchgras-Varianten waren am Standort Parsberg ebenfalls ausgefallen. Vermutlich war die Vorwinterentwicklung 2014 zu gering, damit die Pflanzen den Winter hätten überstehen können (Abbildung 10). 2015 erfolgte eine erneute Aussaat des Switchgrases, die aufgrund von extremer Verunkrautung erneut umgebrochen werden musste. Die letzte Aussaat wurde im Juli 2016 durchgeführt.



Abbildung 10: Über Winter (2014/2015) abgefrorenes Switchgrass am Standort Parsberg

Die Saat- und Pflanztermine der Versuchsjahre 2014, 2015 und 2016 sind in Tabelle 6 dargestellt. Die im Versuch realisierten Saatstärken bzw. Pflanzdichten sind Tabelle 7 zu entnehmen. Die Parzellengröße beträgt jeweils 100 m², die Größe der Erntefläche etwa 60 m². Die Versuche sind an jedem Standort als randomisierte, vollständige Blockanlage mit jeweils vier Wiederholungen angelegt.

Tabelle 6: Pflanz- und Saattermine der mehrjährigen Energiepflanzen

Standort	Pflanzung Miscanthus	Pflanzung Silphie	Saat/Pflanzung Sida	Saat Riesenweizengras	Saat Switchgrass
Wolferkofen	30.04.2015	12.05.2015	13.05.2015	12.06.2015	12.06.2015
Aholfing	29.04.2014	05.06.2014	23.07.2014	23.07.2014	23.07.2014
Thürnthening	08.05.2014	02.06.2014	08.07.2014	08.07.2014	08.07.2014
Rosenau	23.04.2014	13.06.2014	18.07.2014	18.07.2014	18.07.2014
Hötzelsdorf	28.04.2014	26.05.2014	07.07.2014	07.07.2014	07.07.2014
Parsberg	24.04.2014	04.06.2014	07.06.2016	19.08.2014	18.07.2016
Gelchsheim	21.04.2015	03.06.2014	17.07.2014	17.07.2014	17.07.2014

Tabelle 7: Pflanzdichten und Saatstärken

Kultur	Miscan- thus	Silphie	Riesenwei- zengras	Switch- gras	Sida	Waldstau- denroggen	Winter- weizen	GPS- Roggen
Pflanzen/m ²	1	4	–	–	8	–	–	–
Saatstärke in kg/ha	–	–	25	10	–	–	–	–
Körner/m ²	–	–	–	–	12	350	340	250
Reihen- weite in cm	75	50	14	14	37,5	14	14	14

Die Beerntung der Versuche erfolgte mit einem reihenunabhängigen Parzellenhäcksler. Sowohl die Kulturen für eine Nutzung als Biogassubstrat als auch die Kulturen für eine thermische Verwertung wurden mit dieser Technik geerntet. Das Erntegut wird dabei auf ca. 1 cm zerkleinert und auf dem Feld im Probenehmer verwogen. War eine Ernte mittels Parzellenhäcksler aufgrund der Entfernung zum Standort Straubing nicht möglich, so wurden die Bestände mit einem Balkenmäherwerk geschnitten und auf einem Tuch an der Kranwaage verwogen. Für die Ernte des 2. Aufwuchses (Gräser und Sida) kam ein Parzellengrünguternter zum Einsatz. Dieser ist für geringe Erntemengen und wasserhaltige Grünschnitte besser geeignet und ermöglicht zudem einen tieferen und gleichmäßigeren Schnitt. Aus der Erntemasse, bezogen auf die Parzellengröße, werden die Frischmasseerträge je Hektar berechnet. Aus dem Erntegut wird jeweils ca. 1 kg Probematerial entnommen. Dieses Material wird bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und zurückgewogen. Das Häckselgut dient zur Bestimmung der Inhaltsstoffe/Biogasausbeute und des Trockensubstanzgehalts (TS) durch weitere Trocknung bei 105 °C. Die TS-Bestimmung wird parzellenweise durchgeführt und zur Berechnung des Trockenmasseertrags (TM) herangezogen. Die jeweiligen Erntetermine sind Tabelle 42 bis Tabelle 44 im Anhang zu entnehmen.

Eine Stickstoffdüngung erfolgte jährlich in ein oder zwei Gaben nach Entzug durch die Erntemenge im Vorjahr. Im Etablierungsjahr 2014 (2015 in Wolferskofen) wurden alle Kulturen mit 50 kg N/ha gedüngt. Mengenangaben der Stickstoffdüngung in 2015 und 2016 sind in Tabelle 45 und Tabelle 46 im Anhang aufgeführt.

Die N-Gabe in den Riesenweizengräsern wurde im März mit der ersten Getreidedüngung appliziert, da bei Riesenweizengras das Wachstum sehr früh einsetzt. Die N-Düngung von Silphie, Sida, Switchgras, Miscanthus sowie des Maises wurde gemeinsam mit der zweiten Getreidedüngung im Mai durchgeführt. Zweischnittige Kulturen wie Sida (Biogas), Riesenweizengras, Switchgras (Biogas) und Waldstaudenroggen erhielten zum zweiten Aufwuchs eine zweite N-Gabe.

Weiterhin wurden im Frühjahr 2016 Kalium und Phosphor je nach Ergebnis der Bodenuntersuchung bzw. Gehaltsstufe sowie in Abhängigkeit von der über das Erntegut entzogenen Nährstoffmenge gedüngt (siehe hierzu Tabelle 47 und Tabelle 48 im Anhang). Im Ergebnis der Bodenuntersuchung war auch eine Kalkung auf den Standorten Aholting und Hötzelsdorf zur Anhebung des pH-Werts notwendig.

Im Getreide kamen die üblichen Standardmaßnahmen wie Halmverkürzung und Fungizidbehandlung zum Einsatz. Eine Herbizidmaßnahme im Roggen war in der Regel bereits im Herbst notwendig. Aufgrund des schlechten Wiederaustriebs des Waldstaudenroggens nach dem zweiten Schnitt musste 2015 und 2016 auch hier eine Herbizidbehandlung erfolgen. In der Referenzkultur Mais gehörte ebenfalls der Herbizideinsatz zu den Standardmaßnahmen. In den anderen mehrjährigen Kulturen sind Herbizidbehandlungen hauptsächlich zur Bestandsetablierung notwendig. Bei Riesenweizengras, Waldstaudenroggen und Switchgras waren standortabhängig auch in 2015 und 2016 Herbizidmaßnahmen gegen Unkräuter und Schadgräser mit Mitteln wie Tristar, Starane XL, U 46 M oder Traxos erforderlich. Für die Anwendung dieser Mittel in Riesenweizengras oder Switchgras ist eine Ausnahmegenehmigung nach § 22 Abs. 2 Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) notwendig.

4.2.2.2 Etablierung von Riesenweizengras und Switchgras

Der Feldversuch zur Etablierung von Riesenweizengras (*Agropyron elongatum*) und Switchgras (*Panicum virgatum* L.) wurde am Standort Straubing angelegt. Als Riesenweizengras kam die Sorte „Alkar“ zum Einsatz, da sie sich in anderen Versuchen des TFZ als schnellwüchsig und ertragreich herausgestellt hat. Bei Switchgras wurde die Sorte „Shawnee“ gewählt. Als Deckfrucht-Varianten wurden die Sorten „Dominik“ (Sommerhafer), „Somtri“ (Sommertriticale) und „Bonfire“ (Grünroggen) ausgesät. Im Herbst 2015 mussten mangels Verfügbarkeit der ursprünglichen Sorten „Protector“ (Grünroggen) und „Max“ (Hafer) verwendet werden. Die Saat erfolgte mit einer Parzellendrillmaschine mit einem Reihenabstand von 14 cm. Die Parzellengröße betrug 4,5 m in der Breite und 7 m in der Länge. Um Randeinflüsse zu vermeiden, wurden zur Ertragsbestimmung nur 1,5 m in der Breite genutzt. Die Ernte erfolgte mit einem Parzellengrünguternter oder mit einem handbetriebenen Balkenmäher. Zielparameter während des Auswuchses waren der Feldaufgang sowie die Pflanzenentwicklung. Zur Ernte wurden Trockenmasseertrag, Trockensubstanzgehalt, BBCH-Stadium, Wuchshöhe oder Mängel, wie beispielsweise Lager, erfasst.

Die Aussaat der ersten Anlage A erfolgte 2014. Die Haupternten fanden 2015 und 2016 statt. Eine zweite Anlage B, mit gleichem Versuchsdesign, wurde 2015 angelegt, mit der Haupternte in 2016. In 2014 stand als Vorfrucht auf der Fläche Winterweizen, der jedoch vor Versuchsbeginn im Frühjahr umgebrochen wurde. Der Versuch umfasste elf Versuchsvarianten, wie in Tabelle 8 dargestellt. Die Saattermine der Anlagen A und B sind ebenfalls in Tabelle 8 dargestellt.

Weitere Angaben zur Düngung sowie die Erntetermine sind Tabelle 53, Tabelle 54 und Tabelle 55 im Anhang zu entnehmen. Die angestrebte Saatstärke des Riesenweizengrases lag bei 25 kg/ha. Lediglich für die Septemberaussaat wurde sie auf 30 kg/ha angehoben. Das Switchgras wurde mit 10 kg/ha gesät. Die Saat der Deckfrüchte erfolgte mit 70 kg/ha (Hafer) bzw. mit 420 Körnern/m² (Sommertriticale). Die Keimfähigkeiten der Kulturen wurden bei der Berechnung der Saatstärke berücksichtigt. Die im März 2015 gesäten Varianten erhielten im selben Jahr zur Unkrautregulierung 1,5 l/ha Tristar. Eine

weitere Behandlung aller Varianten erfolgte im August 2015 mit 1,5 l/ha B235. Im September war aufgrund des mäßigen Aufwuchses, bedingt durch die Trockenheit, eine weitere Unkrautbehandlung notwendig (2 l/ha Simplex und 1,5 l/ha U46M fluid). Die bereits 2014 gesäte Anlage A wurde Ende Mai 2015 in allen Varianten mit 1,5 l/ha U46 M fluid behandelt. Die Switchgras-Varianten mit Aussaat im September mussten sowohl in Anlage A als auch in Anlage B verworfen werden, da kein Wiederaustrieb im Frühjahr stattfand.

Tabelle 8: Saattermin des Gräser-Etablierungs-Versuchs; Anlage A und Anlage B

Variante	Anlage A Datum Saattermin	Anlage B Datum Saattermin
März Aussaat		
RWG Reinsaat	28.03.2014	17.03.2015
RWG Untersaat + Hafer	28.03.2014	17.03.2015
Juni Aussaat		
RWG Reinsaat	18.06.2014	30.06.2015
SG Reinsaat	18.06.2014	30.06.2015
RWG Untersaat + SomTri	18.06.2014	30.06.2015
SG Untersaat + SomTri	18.06.2014	30.06.2015
September Aussaat		
RWG Reinsaat	17.09.2014	15.09.2015
SG Reinsaat	17.09.2014	15.09.2015
RWG Untersaat + Hafer	17.09.2014	15.09.2015
SG Untersaat + Hafer	17.09.2014	15.09.2015
RWG Untersaat + Grünroggen	17.09.2014	15.09.2015

RWG = Riesenweizengras, SG = Switchgras, SomTri = Sommertriticale

4.2.2.3 Herbizid-Verträglichkeit von Sida, Switchgras und Silphie

Die Möglichkeit der chemischen Unkrautkontrolle in Sida und Silphie sollte in einem Herbizid-Verträglichkeitsversuch überprüft werden. Bisher sind in Sida keine Herbizide zugelassen. Für die Silphie liegt eine Zulassung von bis zu 3,5 l/ha Stomp Aqua vor. Die zu prüfenden Mittel wurden mit verschiedenen Applikationszeitpunkten und unterschiedlichen Aufwandmengen geprüft. Ein Vorversuch (Anlage A) in 2014 zur Prüfung der Herbizid-Verträglichkeit der Kulturen zeigte die Empfindlichkeit der Sida gegen über chemischen Pflanzenschutzmitteln sowie die Robustheit der Silphie. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde die Mittelauswahl für den Feldversuch in 2015 (Anlage B) angepasst. Im Gegensatz zum Vorjahr (Pflanzung) wurde die Silphie in 2015 gesät, da dieses Verfahren in der Zukunft für die Praxis eine größere Bedeutung haben wird als die sehr kostenintensive Pflanzung. Die dritte geprüfte Kultur, das Switchgras, musste 2015 aus Platzgründen entfallen.

Vorversuch – Anlage A

Die Saat-, Pflanz- und Applikationstermine für 2014 sind in Tabelle 9 dargestellt. Tabelle 10 bis Tabelle 12 zeigen die geprüften Versuchsvarianten. Die Silphie wurde per Hand mit vier Pflanzen je m² gepflanzt. Die Saat der Sida erfolgte mit zwölf keimfähigen (kf.) Körnern/m², die des Switchgrases mit 10 kg kf. Körner/ha. Die Versuche beinhalteten jeweils drei Wiederholungen in einer Block-Spalt-Anlage. Die Parzellengröße betrug 15 m². Die Herbizid-Applikationen wurden mit einer geschobenen Pressluft-Parzellenspritze durchgeführt (Druck: 3 bar, Wasseraufwand: 300 l/ha).

Tabelle 9: Saat- bzw. Pflanztermin und Applikationstermine im Herbizidversuch, Versuchsjahr 2014, Anlage A

Versuchsarbeit und Termine	Sida	Silphie	Switchgras
Saat	05.08.2014		05.08.2014
Pflanzung		03.07.2014	
T1 (Vorauflauf)	06.08.2014		06.08.2014
T1 (nach Pflanzung)		04.07.2014	
T2 (10–14 T. n. Auflaufen, BBCH 12 d. Unkr.)	03.09.2014	18.07.2014	28.08.2014
T3 (3 Wo. n. Auflaufen, BBCH 13 d. Unkr.)	10.09.2014	25.07.2014	04.09.2014
T4 (4–5 Wo. n. Auflaufen, BBCH 14 d. Unkr.)		25.08.2014	10.09.2014

Tabelle 10: *Herbizid-Verträglichkeitsprüfung in Silphie, Versuchsplan 2014, Anlage A*

Mittel	Wirkstoff	Einsatz-termin	AWM in l o. g/ha	Wirkung über	Schador-ganismus
Unbehandelt					
Stomp Aqua	Pendimethalin	T1	2,0; 4,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
		T2	1,0; 2,0		
		T3	2,0		
Boxer	Prosulfocarb 800	T1	3,0; 6,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
		T2	1,5; 3,0		
Fuego	Metazachlor	T1	0,75; 1,5	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
Diflanil 500 SC	Diflufenican	T1	0,3; 0,6	Boden, Blatt	Unkräuter
		T2	0,15; 0,3		
Spectrum	Dimethenamid-P 720	T1	1,0; 2,0	Boden	Unkräuter, Ungräser
		T2	0,5; 1,0; 2,0		
Metamitron SC	Metamitron 700	T1	1,0; 2,0	Boden	Unkräuter, Ungräser
		T2	0,5; 1,0; 2,0		
Ethosat 500	Ethofumesat	T1	2,0	Boden, Blatt	Unkräuter
		T2	2,0		
		T3	2,0		
Belvedere Extra	Phenmedipham, Ethofumesat, Desmedipham	T2	0,5; 1,0; 2,0	Boden, Blatt	Einjährige Unkräuter
		T3	1,0; 2,0		
Lentagran WP	Pyridat	T3	0,75; 1,5; 3,0	Blatt	Einjährige Unkräuter
Fox	Bifenox	T3	0,5; 1,0	Blatt	Einjährige Unkräuter
Buctril	Bromoxynil	T3	0,5; 1,0	Blatt	Einjährige Unkräuter
Aramo	Tepraloxydim	T4	2,0	Blatt	Ungräser

AWM = Aufwandmenge

Tabelle 11: *Herbizid-Verträglichkeitsprüfung in Sida, Versuchsplan 2014, Anlage A*

Mittel	Wirkstoff	Einsatz-termin	AWM in l o. g/ha	Wirkung über	Schador-ganismus
Unbehandelt					
Stomp Aqua	Pendimethalin	T1	1,0; 2,0; 3,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
		T2	2,0		
		T3	2,0		
Boxer	Prosulfocarb 800	T1	1,5; 3,0; 6,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
		T2	1,5; 3,0		
Fuego	Metazachlor	T1	0,75; 1,5	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
Diflanil 500 SC	Diflufenican	T1	0,15; 0,3; 0,6	Boden, Blatt	Unkräuter
		T2	0,15; 0,3		
Spectrum	Dimethenamid-P 720	T1	0,5; 1,0; 2,0	Boden	Unkräuter, Ungräser
		T2	0,5; 1,0		
Ethosat 500	Ethofumesat	T1	1,0; 2,0	Boden, Blatt	Unkräuter
		T2	2,0		
		T3	2,0		
Metamitron SC	Metamitron 700	T1	0,5; 1,0; 2,0	Boden	Unkräuter, Ungräser
		T2	0,5; 1,0; 2,0		
		T3	1,0; 2,0		
Belvedere Extra	Phenmedipham, Ethofumesat, Desmedipham	T2	0,5; 1,0; 2,0	Boden, Blatt	Einjährige Unkräuter
		T3	0,5; 1,0; 2,0		
Lentagran WP	Pyridat	T3	0,75; 1,5	Blatt	Einjährige Unkräuter
Fox	Bifenox	T3	0,25; 0,5; 1,0	Blatt	Einjährige Unkräuter
Buctril	Bromoxynil	T3	0,25; 0,5; 1,0	Blatt	Einjährige Unkräuter
Aramo	Tepraloxymid	T4	2,0	Blatt	Ungräser
Metafol + Belvedere Extra (TM + SF)	Metamitron + Phenmedipham, Ethofumesat, Desmedipham	T2 + T3	1,0 + 1,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser

AWM = Aufwandmenge, TM = Tankmischung, SF = Spritzfolge

Tabelle 12: *Herbizid-Verträglichkeitsprüfung in Switchgras, Versuchsplan 2014, Anlage A*

Mittel	Wirkstoff	Einsatz-termin	AWM in l o. g/ha	Wirkung über	Schadorganismus
Unbehandelt					
Mech. unkrautfrei					
Stomp Aqua	Pendimethalin	T1	2,0; 4,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
		T2	2,0		
		T3	2,0		
Boxer	Prosulfocarb 800	T1	3,0; 6,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
		T2	3,0		
Fuego	Metazachlor	T1	1,5	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
Diflanil 500 SC	Diflufenican	T1	0,3; 0,6	Boden, Blatt	Unkräuter
		T2	0,3; 0,6		
Spectrum	Dimethenamid-P 720	T1	1,0; 2,0	Boden	Unkräuter, Ungräser
		T2	1,0; 2,0		
Axial 50	Pinoxaden	T3	0,3; 0,6	Blatt	Ungräser
Ethosat 500	Ethofumesat	T1	2,0	Boden, Blatt	Unkräuter
		T2	2,0		
		T3	2,0		
Atlantis WG	Mesosulfuron, Iodosulfuron	T3	250; 500	Blatt	Unkräuter, Ungräser
Lentagran WP	Pyridat	T3	1,5; 3,0	Blatt	Einjährige Unkräuter
Fox	Bifenox	T3	1,0	Blatt	Einjährige Unkräuter
Buctril	Bromoxynil	T3	1,0	Blatt	Einjährige Unkräuter
Aramo	Tepraloxydim	T4	0,25; 0,5; 1,0	Blatt	Ungräser

AWM = Aufwandmenge

Herbizid-Verträglichkeit bei angepasster Mittelwahl – Anlage B

Im Herbizidversuch der Anlage B wurde 2015 die Mittelauswahl angepasst. Die Saat- und Applikationstermine sind in Tabelle 15 dargestellt. Tabelle 13 und Tabelle 14 zeigen die geprüften Versuchsvarianten. Die Silphie wurde mit 3 kg/ha, die Sida mit 1,8 kg/ha gedrillt. Die Versuche wurden jeweils mit drei (Silphie) bzw. vier (Sida) Wiederholungen in einer Block-Spalt-Anlage angelegt. Die Parzellengröße betrug 21 (Sida) bzw. 14,4 m² (Silphie). Die Herbizid-Applikationen wurden mit einer geschobenen Pressluft-Parzellenspritze durchgeführt (Druck: 3 bar, Wasseraufwand: 300 l/ha).

Tabelle 13: *Herbizid-Verträglichkeitsprüfung mit Silphie, Versuchsplan 2015, Anlage B*

Mittel	Wirkstoff	Einsatz-termin	AWM in l/ha	Wirkung über	Schadorganismus
Kontrolle	mechanisch unkrautfrei				
Stomp Aqua	Pendimethalin	T1	2,0; 4,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
		T2	1,0; 2,0		
Boxer	Prosulfocarb	T1	1,5; 3,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
		T2	3,0; 6,0		
Fuego	Metazachlor	T1	1,5	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
Spectrum	Dimethenamid-P	T1	1,0; 2,0	Boden	Unkräuter, Ungräser
		T2	1,0; 2,0		
Metafol SC	Metamitron	T1	1,0; 2,0	Boden	Unkräuter, Ungräser
		T2	1,0; 2,0		
Ethosat 500	Ethofumesat	T1	2,0	Boden, Blatt	Unkräuter
		T2	2,0		
		T3	2,0		
Belvedere Extra	Phenmedipham, Ethofumesat, Desmedipham	T1	1,0; 2,0	Boden, Blatt	Einj. Unkräuter
		T2	1,0; 2,0		
Lentagran WP	Pyridat	T3	1,5; 3,0	Blatt	Einj. Unkräuter
Fox	Bifenox	T3	0,5; 1,0	Blatt	Einj. Unkräuter
Gallant super	Haloxyfop-P	T3	1,0	Blatt	Ungräser
Stomp Aqua + Spectrum		T1	2,0+1,0		
		T2	2,0+1,0		
Boxer + Stomp Aqua		T1	3,0+2,0		
		T2	3,0+2,0		
Boxer + Stomp Aqua + Buctril		T2	3,0+2,0 +0,5		
Stomp Aqua + Spectrum + Buctril		T2	2,0+1,0 +0,5		

AWM = Aufwandmenge

Tabelle 14: *Herbizid-Verträglichkeitsprüfung mit Sida, Versuchsplan 2015, Anlage B*

Mittel	Wirkstoff	Einsatz-termin	AWM in l/ha	Wirkung über	Schad-organismus
Kontrolle	mechanisch unkrautfrei	–	–		
Boxer	Prosulfocarb	T1	1,5; 3,0; 6,0	Boden, Blatt	Unkräuter, Ungräser
		T2	1,5; 3,0; 6,0		
Spectrum	Dimethenamid- P	T1	0,25; 0,5; 0,75	Boden	Unkräuter, Ungräser
		T2	0,25; 0,5; 0,75		
		T3	0,25; 0,5; 0,75		
Metafol SC	Metamitron	T1	0,5; 1,0; 2,0	Boden	Unkräuter, Ungräser
		T2	0,5; 1,0; 2,0		
		T3	0,5; 1,0; 2,0		
Belvedere Extra	Phenmedipham, Ethofumesat, Desmedipham	T2	0,5; 1,0; 2,0	Boden, Blatt	Einj. Unkräuter
		T3	0,5; 1,0; 2,0		
Lentagran WP	Pyridat	T3	0,75; 1,5;	Blatt	Einj. Unkräuter
Gallant Super	Haloxypop-P	T3	0,5; 1,0; 2,0	Blatt	Ungräser
Metafol + Belvedere Extra		T2 + 7 T.	1,0 + 1,0		
Metafol + Belvedere Extra		T2 + 7 T. + 7 T.*	1,0 + 1,0		

AWM = Aufwandmenge; * = 3-fach-Anwendung, zu T2, dann sieben Tage später und nochmals sieben Tage später

Tabelle 15: *Saat- bzw. Pflanz- und Applikationstermine im Herbizidversuch, Versuchsjahr 2015, Anlage B*

Versuchsarbeit und Termin	Sida	Silphie
Saat	26.06.2015	26.06.2015
T1 (Voraufbau)	29.06.2015	29.06.2015
T2 (zum Auflaufen der Kultur)	14.07.2015	10.07.2015
T3 (BBCH: Silphie 12; Sida 13)	31.07.2015	24.07.2015
Spritzfolge 2-malig	14.07./24.07.2015	
Spritzfolge 3-malig	14.07./24.07./31.07.2015	

4.2.3 Etablierung der Durchwachsenen Silphie ohne Unkrautkontrolle

Zur Überprüfung, ob eine Etablierung der Silphie auch ohne Einsatz von Pflanzenschutzmitteln möglich ist, wurde ein Tastversuch am Standort Aholting angelegt. Die Pflanzung erfolgte am 05.06.2014. Die Parzellengröße betrug 13,5 × 4,5 m. Der Versuch beinhaltete drei Wiederholungen. Stirnränder oder Randstreifen für eine Kernbeerntung wurden nicht eingepflanzt.

4.3 Gewächshaus-Tastversuch mit Sida zum Einfluss verschiedener Faktoren auf die Anzahl der aufgelaufenen Pflanzen (TFZ)

Bisherige Erfahrungen haben gezeigt, dass die Etablierung der Sida anspruchsvoll und schwierig ist. Schlechte Feldaufgänge sind neben der langsamen Jugendentwicklung das Hauptproblem. In einem Gewächshausversuch sollte der Frage nach den optimalen Auflaufbedingungen für die Sida nachgegangen und Möglichkeiten zur Verbesserung der Aufgangszahlen überprüft werden. Der Versuch umfasste die in Tabelle 16 dargestellten Varianten. Es wurden unterschiedliche Tag/Nacht-Temperaturen überprüft, um den Zusammenhang zwischen Temperatur und Feldaufgang darzustellen. Verschiedene Vorbehandlungsmethoden sollten zeigen, ob dadurch der Feldaufgang bzw. die Keimfähigkeit des Saatguts verbessert werden kann. Gesät wurde mit einer Saattiefe von 1 cm in mit Mutterboden gefüllte Topfpaletten am 06.02.2015. Der Boden wurde während der Versuchsdauer mittels automatischer Beregnung konstant feucht gehalten.

Tabelle 16: Tastversuch im Gewächshaus zum Einfluss einer Vorbehandlung der Sida-Samen auf deren Auflaufverhalten – Versuchsplan

Beschreibung	Temperatur Tag/Nacht
Ohne Vorbehandlung (Kontrolle)	10/20 °C
Ohne Vorbehandlung	5/15 °C
Saatgut mit Erde vermischt einfrieren für 10 Tage	10/20 °C
Saatgut einweichen, 14 Tage kühlstellen, rücktrocknen	10/20 °C
Saatgut einweichen, 10 Tage einfrieren, rücktrocknen	10/20 °C
Saatgut 24 h vorquellen mit Gibberellinsäure (0,05 %), rücktrocknen	10/20 °C
Saatgut 24 h vorquellen mit KNO ₃ (0,2 %), rücktrocknen	10/20 °C

In einem weiteren Gewächshausversuch wurde der Einfluss von Feuchtigkeit und Saattiefe auf das Auflaufverhalten der Sida-Samen untersucht. Auch hier wurden mit Mutterboden gefüllte Topfpaletten verwendet. Die Aussaat fand am 15.02.2016 statt. Die Versuchsbedingungen sind in Tabelle 17 aufgeführt. Die Tag/Nacht-Temperatur betrug 18/10 °C.

Tabelle 17: *Tastversuch im Gewächshaus zum Einfluss der Saatbedingungen auf das Auflaufen der Sida-Samen – Versuchsplan*

Beschreibung	Bewässerung ab Saugspannung von
Saattiefe 3 cm	60 hPa
Saattiefe 3 cm	250 hPa
Saattiefe 1 cm	60 hPa
Saattiefe 1 cm	250 hPa

4.4 Substratqualität (TFZ)

4.4.1 Analyse der Inhaltsstoffe

Die Bestimmung der Inhaltsstoffe des Pflanzenmaterials wurde in zertifizierten Laboren nach den in Tabelle 18 dargestellten VDLUFA-Methoden durchgeführt. Die Analyse erfolgte prüfgliedweise an einer getrockneten Mischprobe aus den vier Versuchswiederholungen.

Tabelle 18: *Methodik der Inhaltsstoffanalyse*

Parameter	Methode
Trockenmasse	VDLUFA, MB Bd. 3, Unterkapitel 3.1
Rohasche	VDLUFA, MB Bd. 3, Unterkapitel 8.1
Rohprotein (Dumas)	VDLUFA MB. Bd. 3, Abschnitt 4.1.2
Rohfett	VDLUFA, MB Bd. 3, Unterkapitel 5.1
Rohfaser	VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 6.1.2
Summe der Gerüstsubstanzen: NDF (Van Soest), <i>neutral detergent fiber</i>	VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 6.5.1
Gehalte an Cellulose und Lignin: ADF (Van Soest), <i>acid detergent fiber</i>	VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 6.5.2
Gehalt an Lignin: ADL (Van Soest), <i>acid detergent lignin</i>	VDLUFA, MB Bd. 3, Abschnitt 6.5.3
Stickstofffreie Extraktstoffe (NfE)	rechnerisch bestimmt
Mineralstoffe (P, K, Mg, S, Ca)	VDLUFA MB Bd. 3, Abschnitt 2.2.2.6

4.4.2 Analyse der Methanausbeute

Die Untersuchung der Methanausbeute des Pflanzenmaterials wurde von dem Projektpartner, dem Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL-ILT), vorgenommen. Die gehäckselten Ernteproben werden dazu bei 60 °C getrocknet und anschließend auf 10 mm vermahlen. Für die Analyse stehen Mischproben aus den vier Wiederholungen der jeweiligen Variante zur Verfügung. Die

Bestimmung des Methanbildungspotenzials des Ernteguts wird in Batchversuchen in Anlehnung [31] an die Methoden nach VDI 4630 [171] und der VDLUFA [170] mit Dreifachbestimmung und kontinuierlicher Gasmessung durchgeführt.

4.4.3 Analyse der Brennstoffzusammensetzung

Die Bestimmung der nachfolgenden Parameter wurde nach den Methoden in Tabelle 19 prüfgliedweise an einer Mischprobe aus den vier Wiederholungen durchgeführt.

Tabelle 19: Methoden zur Bestimmung der Brennstoffzusammensetzung

Parameter	Methode nach Norm
Heizwert Hu	DIN EN ISO 18125 (Entwurf von 2015)
Aschegehalt	DIN EN ISO 18122
Wasser	DIN EN ISO 18134-3
C	DIN EN ISO 16948
H	DIN EN ISO 16948
N	DIN EN ISO 16948
S	DIN EN ISO 16994
Cl	DIN EN ISO 16994
Mg	DIN EN ISO 17294-2
Na	DIN EN ISO 17294-2
P	DIN EN ISO 17294-2
Ca	DIN EN ISO 17294-2
K	DIN EN ISO 17294-2
Si	DIN EN ISO 17294-2
Ascheschmelzverhalten	CEN/TS 15370-1

4.4.4 Siliereignung mehrjähriger Energiepflanzen

Zur Untersuchung der Siliereignung der verschiedenen Kulturen wurden Modellsilagen nach der Methode von HOEDTKE und ZEYNER (2011) [78] hergestellt. Dazu wird ca. 1 kg gehäckseltes Pflanzenmaterial in Plastikbeutel gefüllt, mittels Vakuum verdichtet und mit Kleband fest verschlossen. Nach ca. 90 Tagen Silierung bei Raumtemperatur wurden die Silagen geöffnet und einer Sinnesprüfung nach DLG-Schlüssel [36] unterzogen. Zur Kontrolle des Siliererfolgs wurde ebenfalls der pH-Wert in einem Extrakt aus 50 g Silage und 200 ml aq. dest. gemessen.

4.5 Witterung der Versuchsjahre 2014 bis 2016

Tabelle 20 und Tabelle 21 geben die mittleren Jahrestemperaturen und Jahresniederschläge der den Versuchsstandorten jeweils nächstgelegenen Wetterstation wieder. Aus den Daten wird deutlich, dass die Jahre 2014 bis 2016 auf allen Standorten insgesamt deutlich wärmer als das langjährige Mittel waren. Die Niederschläge lagen 2014 und 2015 unterhalb des langjährigen Mittels. 2016 fielen dann in Straubing und Hötzelendorf sogar überdurchschnittliche Niederschläge. In Aholting, Parsberg und Gelchsheim blieb es trockener, die anderen Standorte erhielten durchschnittliche Niederschläge.

Abbildung 17 zeigt die Abweichung von Niederschlag und Temperatur jeweils zum langjährigen Monatsmittel. Deutlich wird hier der trockene Frühsommer 2014 auf fast allen Standorten. Die Temperaturen blieben meist mild. Für das Wachstum der Pflanzen sind diese warmen Temperaturen sicherlich positiv zu bewerten, da frühe und harte Fröste zu Auswinterungen in den frisch etablierten Kulturen hätten führen können. Dank der ausreichenden Niederschläge im Mai und im Sommer blieben größere Trockenschäden jedoch aus. Der Winter war dann auf den meisten Standorten milder und trockener als das langjährige Mittel.

Auch das Frühjahr 2015 war in Bezug auf die Niederschläge bis auf die Standorte Thürnthenning/Rosenau eher unterdurchschnittlich. Der darauffolgende sehr heiße Sommer sowie die von Trockenheit geprägten Monate Juli bis September führten zu teilweise zu deutlichen Ertragseinbußen. Im Oktober zur Aussaat des Winterweizens kamen dann Niederschläge, in Hötzelendorf und Gelchsheim blieb es weiter trocken. Der November und der Dezember hingegen lagen dicht am vieljährigen Mittel, jedoch bei überdurchschnittlichen Temperaturen.

Im Januar und Februar 2016 kamen dann Niederschläge, allerdings bei immer noch ungewöhnlich milden Temperaturen. Frühling und Frühsommer präsentierten sich mit insgesamt ausgeglichenen Temperaturen. Ausreichend Niederschläge trugen zu einer üppigen Entwicklung der Kulturen bei. Ein Starkregenereignis, teilweise mit Hagel, führte im Mai zu Lager insbesondere in der Silphie und den Gräserbeständen auf den Standorten in der Umgebung um Straubing. Auch die nachfolgende Vegetationszeit wurde von wiederkehrenden, lokal begrenzten Gewitterschauern geprägt, welche sich am Ende in überdurchschnittlichen Niederschlagssummen für die Standorte Straubing, Thürnthenning, Rosenau und Hötzelendorf niederschlugen. Die warmen Temperaturen im Verlauf des Sommers und insbesondere des Septembers boten optimale Voraussetzungen für das Wachstum des zweiten Aufwuchses.

Bei der Interpretation der Ergebnisse im Vergleich zum langjährigen Mittel ist zu beachten, dass die Stationen, denen die aktuellen Monatsmittelwerte entnommen wurden, teilweise einige km entfernt von den Klimastationen liegen, welche für die langjährigen Mittelwerte herangezogen wurden. Ein Abweichen der Temperaturen oder Niederschlagsmengen durch lokale Witterungsereignisse ist möglich, jedoch nicht zu vermeiden. Die den Versuchsstandorten am nächsten gelegenen Klimastationen verfügen im

Fälle von Aholting, Hötzelsdorf, Wolferkofen und Gelchsheim nicht über langjährige Aufzeichnungen.

Tabelle 20: *Mittlere Jahrestemperatur der Versuchsstandorte sowie vieljähriges Mittel der Jahre 1981 bis 2010 (Wetterstation in Klammern)*

Jahresmittel	Straubing (Straubing)	Aholting (Straubing)	Thürnthening/ Rosenau (Gottfrieding)	Hötzelsdorf (Eiserszell)	Parsberg (Eglwang)	Gelchsheim (Gollhofen)	Wolferkofen (Piering)
in °C							
1981–2010	8,6	8,6	8,8	6,7	7,9	9,0	8,6
2014	10,2	10,2	10,0	9,4	9,5	10,7	-
2015	10,0	10,0	10,0	9,2	9,5	10,6	9,9
2016	9,5	9,5	9,5	8,5	8,8	9,9	9,4

Stationen für langjähriges Mittel sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 21: *Niederschlagssumme der Versuchsstandorte sowie vieljähriges Mittel der Jahre 1981 bis 2010 (Wetterstation in Klammern)*

Jahresmittel	Straubing (Straubing)	Aholting (Aholting)	Thürnthening/ Rosenau (Gottfrieding)	Hötzelsdorf (Eiserszell)	Parsberg (Eglwang)	Gelchsheim (Gelchsheim)	Wolferkofen (Piering)
in mm							
1981–2010*	757	757	776	852	848	678	757
2014	582	645	596	717	696	599	-
2015	568	576	545	640	568	454	543
2016	780	686	784	942	737	651	760

Stationen für langjähriges Mittel sind Tabelle 1 zu entnehmen.

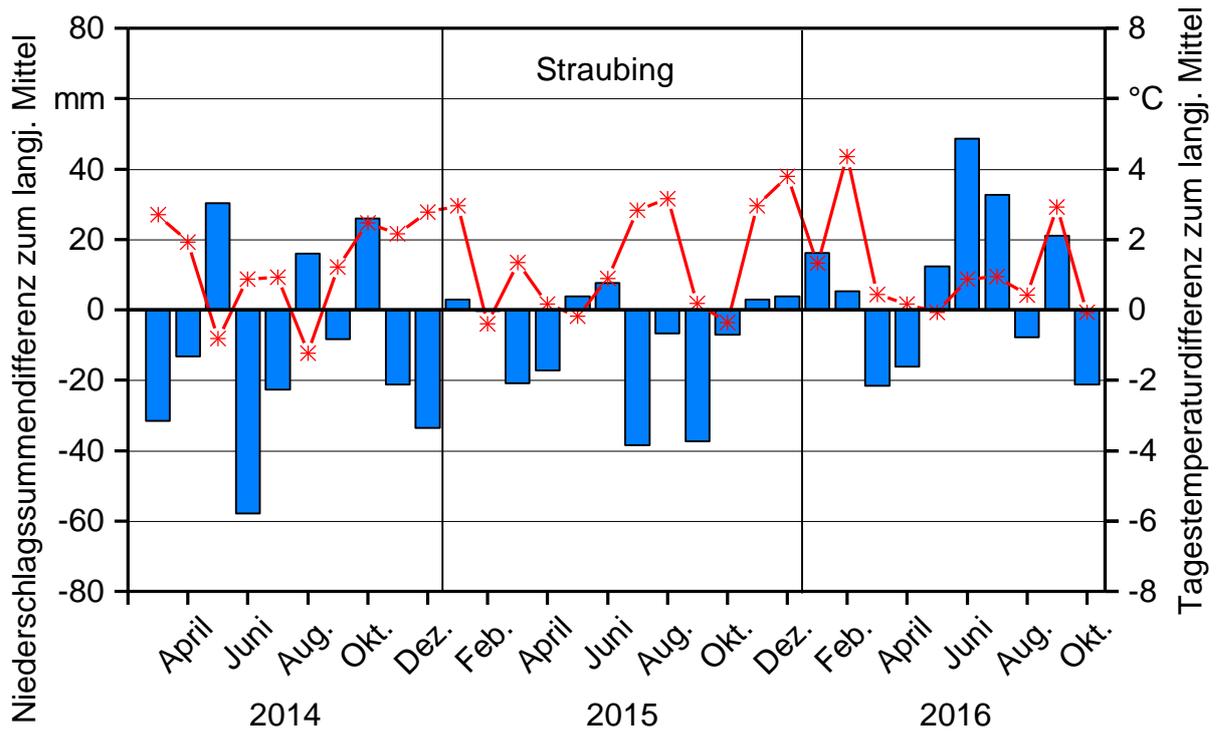


Abbildung 11: Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Straubing

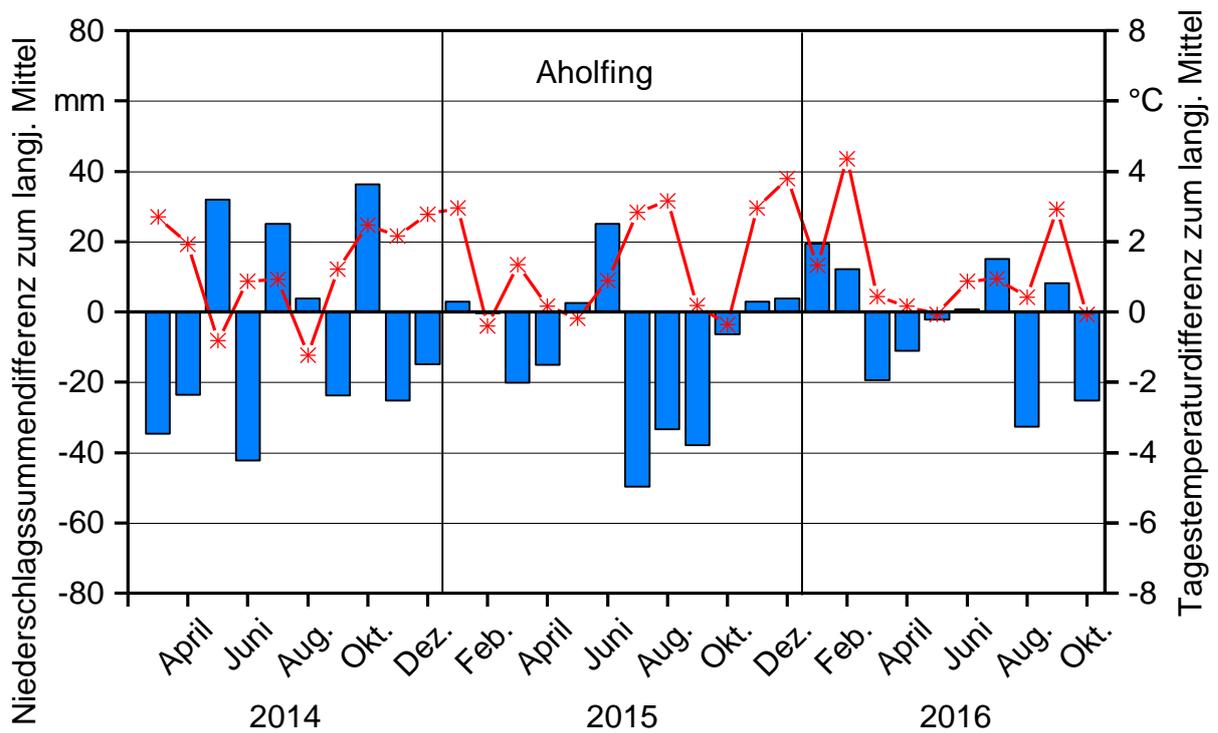


Abbildung 12: Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Aholting

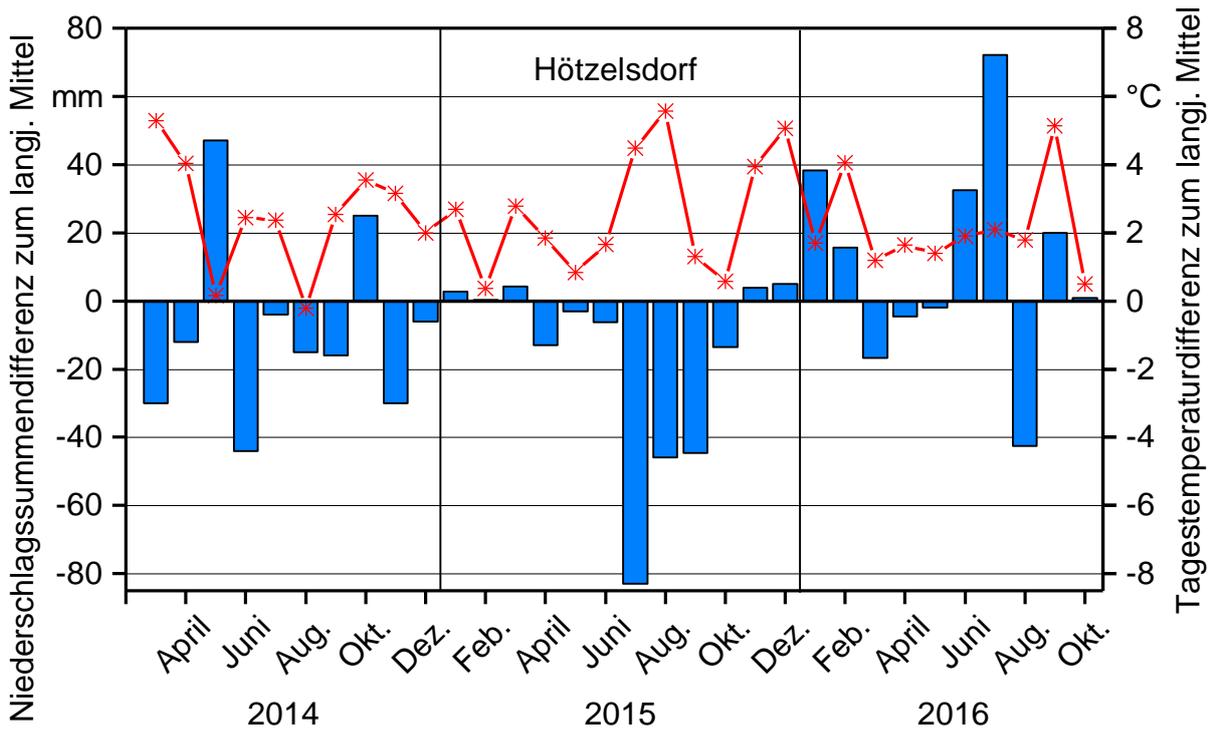


Abbildung 13: Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Hötzelstdorf

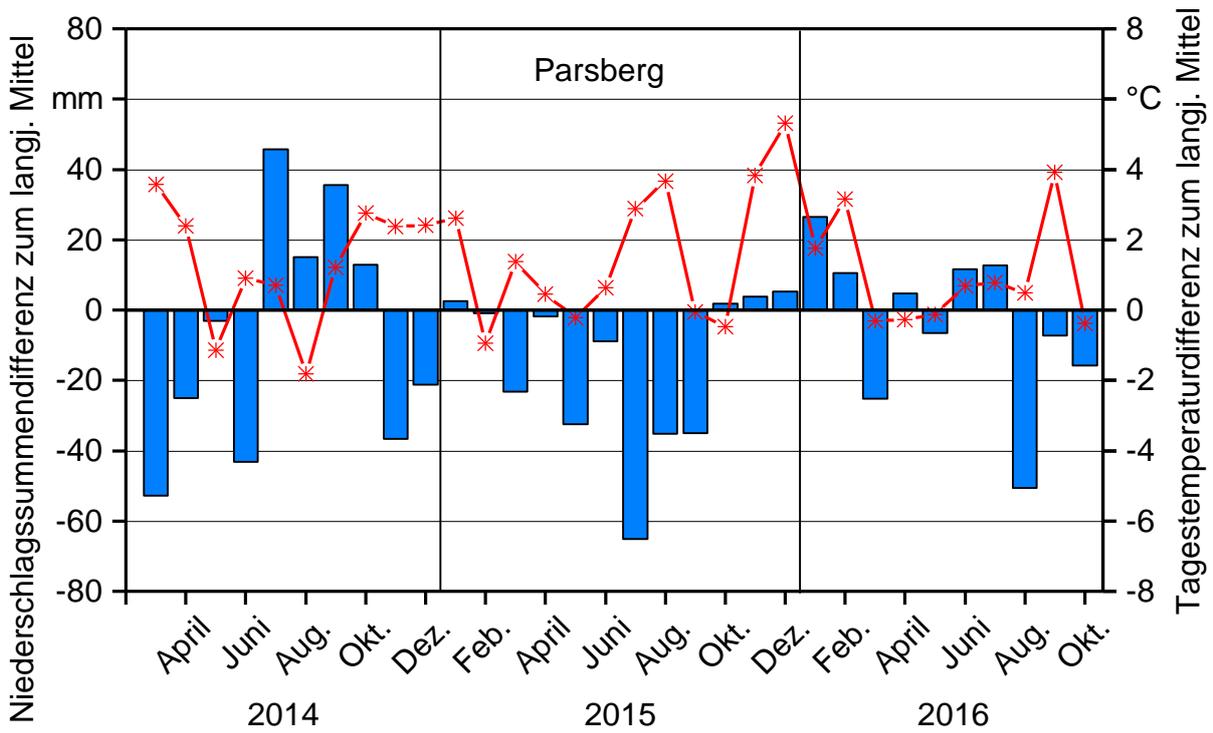


Abbildung 14: Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Parsberg

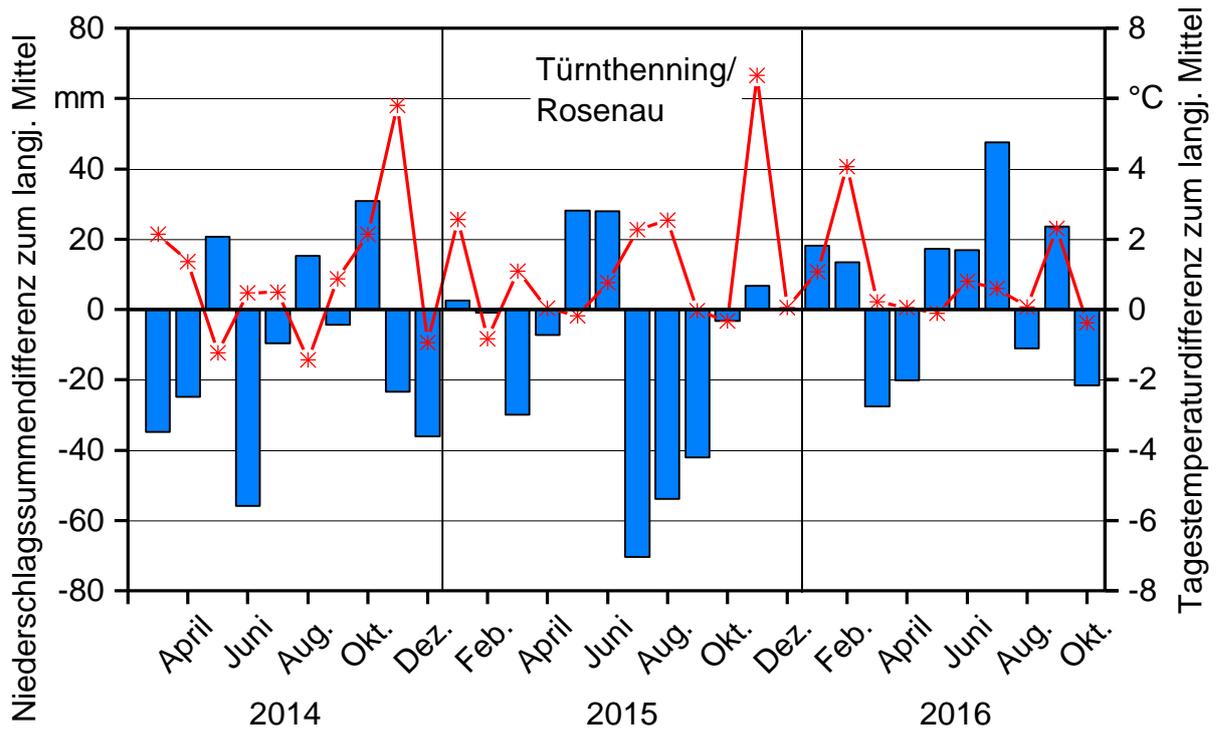


Abbildung 15: Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Türnthening/Rosenau

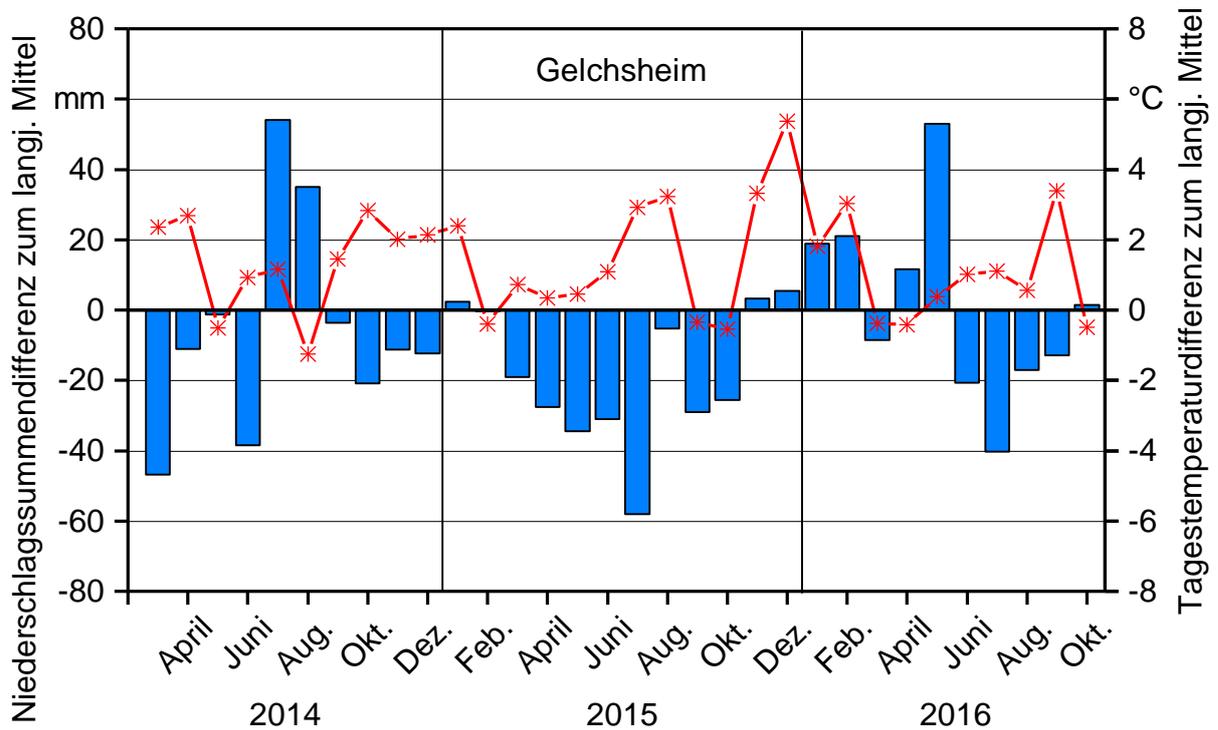


Abbildung 16: Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Gelchsheim

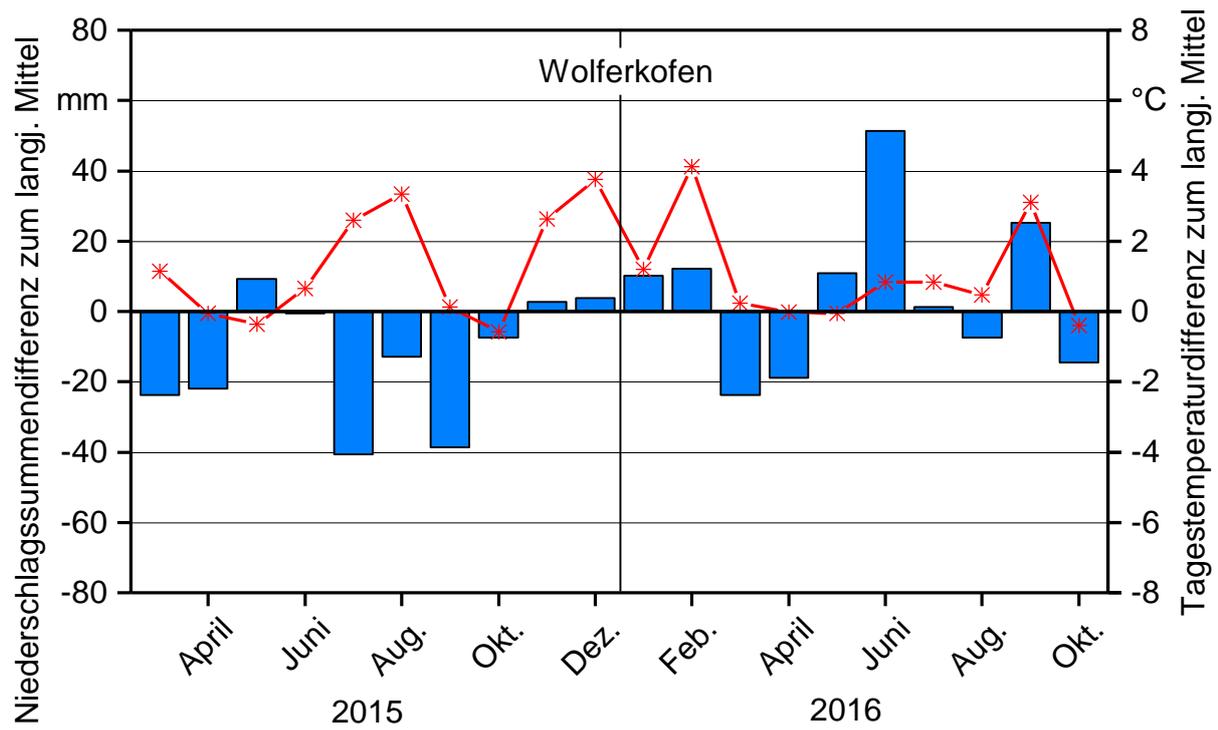


Abbildung 17: Witterungsdaten der Versuchsstandorte, dargestellt als Abweichung zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Wolferkofen

4.6 Ökologie

4.6.1 Bestimmung des mineralischen Stickstoffs sowie des Gesamt-Stickstoff- und Humusgehaltes im Boden (TFZ)

Die Durchführung der Bodenanalysen wurde prüfgliedweise an einer Mischprobe aus den vier Wiederholungen der jeweiligen Variante in zertifizierten Laboren nach den in Tabelle 22 dargestellten Methoden durchgeführt. Für den mineralischen Stickstoff erfolgte die Probenahme in den drei Tiefen 0–30, 30–60 und 60–90 cm. Der organische Kohlenstoff und der Gesamtstickstoff wurden in der obersten Bodenschicht in zwei Tiefen bestimmt (0–15 und 15–30 cm), da sich durch die fehlende Bodenbearbeitung unter mehrjährigen Kulturen nach der Tiefe abgestufte Veränderungen ergeben könnten. Eine Grundaufnahme zu Versuchsbeginn ist in Proben der Tiefe 0–30 cm durchgeführt worden, da durch die vorherige Bewirtschaftung mit einjährigen Arten von einer Durchmischung der oberen Bodenschicht auszugehen ist.

Tabelle 22: *Methodik der Stickstoff und Kohlenstoff-Bodenuntersuchungen*

Parameter	Methode
Mineralischer Stickstoff (N_{\min})	VDLUFA, MB Bd. 1, Kapitel A 6.1.4.1
Gesamtstickstoff (N_t)	VDLUFA, MB Bd. 1, Kapitel A 2.2.5
Organischer Kohlenstoff (C_{org})	VDLUFA, MB Bd. 1, Kapitel A 4.1.3.2

4.6.2 Grundbodenuntersuchung (TFZ)

Zur Einschätzung des Düngebedarfs an Kalzium, Phosphor, Kalium und Magnesium und des pH-Werts auf den Versuchsflächen wurden Bodenproben (0–30 cm) prüfgliedweise nach den Methoden gemäß Tabelle 23 von einem zertifizierten Labor untersucht.

Tabelle 23: *Methodik der Grundbodenuntersuchungen*

Parameter	Methode
pH-Wert	VDLUFA, MB. Bd. 1, Abschnitt 5.1.1
Phosphor	VDLUFA, MB. Bd. 1, Abschnitt 6.2.1.1
Kalium	VDLUFA, MB. Bd. 1, Abschnitt 6.2.1.12
Magnesium	VDLUFA, MB. Bd. 1, Abschnitt 6.2.4.1

4.6.3 Untersuchung zur Regenwurmfauna und Tastversuche zur Bodenfauna (IAB)

4.6.3.1 Regenwurmfauna

Die Regenwurmfauna wurde mit einer Kombination aus einer Austreibungsmethode und anschließender Handauslese erfasst. Hierbei wurde zuerst eine stark verdünnte Formaldehydlösung (0,4 %), verteilt auf zwei Gaben (insgesamt 20 l/m²), auf einer 0,5 m² großen Probestelle aufgegossen und nach jeder Gabe die an die Bodenoberfläche kriechenden Regenwürmer über eine Zeitspanne von 15 Minuten aufgesammelt. Anschließend wurde ein Teil der Probestelle (0,1 m²) ca. 30 cm tief bis zur Pflugsohle ausgegraben und das Bodenmaterial von Hand durchsucht. Je Parzelle wurden zwei Stichproben entnommen. Die gesammelten und in 96%igen Ethanol konservierten Tiere wurden im Labor sortiert, auf ihre Art bestimmt (nur Adulte) und zur Ermittlung der Biomasse gewogen. Von adulten Tieren wurde die individuelle Biomasse erfasst. Die Termine der Beprobungen finden sich in Tabelle 24. Zur Grundaufnahme im Herbst 2014 wurden die Referenzparzellen der Var. 10 und Var. 12 beprobt. Hier wurde im Juli Ramtillkraut ausgesät (Ausnahme Parsberg im August). In Var. 12 wurde das Ramtillkraut bereits zwei bis vier Wochen vor der Regenwurmuntersuchung gemulcht, in der Var. 10 stand es noch (Ausnahme Parsberg eine Woche vor Probenahme).

Die Untersuchung erster Auswirkungen des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen auf die Regenwurmfauna fand im Herbst 2015 und im Frühjahr 2016, etwa eineinhalb bis zwei Jahre nach der Saat bzw. Pflanzung statt. Im Herbst 2015 wurden an vier Standorten Silphie, Sida (Grünverwertung), Riesenweizengras (Sorte Green Star) und die Referenz (Zwischenfrucht nach Roggen-GPS) untersucht. Im Frühjahr 2016 wurde die Regenwurmfauna der für die thermische Verwertung vorgesehenen Kulturen Sida (Trockenverwertung), Switchgras (Trockenverwertung), Miscanthus und Winterweizen als Referenz erfasst. Auf der 2015 angelegten Versuchsfläche in Wolferkofen wurden die Untersuchungen zur Regenwurmfauna in den gleichen Varianten wie im Herbst 2015 am 21.09.2016 durchgeführt (Referenzkultur: Mais nach der Ernte).

Zusätzlich zu den Exaktversuchen wurden zehn Dauerkulturflächen von Praxisbetrieben in Bayern untersucht (Tabelle 25). Hierfür wurden jeweils vier Stichproben je Untersuchungsfläche mit der beschriebenen Methode zur Regenwurmerfassung genommen. Da es sich um Praxisflächen handelt, sind die Bedingungen besonders hinsichtlich der Standortunterschiede weniger gut kontrolliert als in den Exaktversuchen. Jedoch konnten so auch Informationen über den Regenwurmbestand älterer Flächen bei praxisüblicher Düngung und Erntemaßnahmen gewonnen werden. Weiterhin ergab sich die Möglichkeit, mit Grünlandflächen zu vergleichen, auch wenn diese häufig deutlich abweichende Standortbedingungen aufwiesen. Gute Vergleichsmöglichkeiten bieten die Silphieflächen mit den Ackerflächen, da bei allen drei Flächen ein Teil des Ackerschlags mit Silphie bepflanzt und der Rest betriebsüblich weiter bewirtschaftet wurde.



Abbildung 18: Regenwurmprobenahme im Frühjahr in den Kulturen Sida (links oben) und Switchgras (rechts oben, thermische Verwertung) und im Herbst bei Sida (links unten, Grünverwertung) und Maisstoppeln (rechts unten) an unterschiedlichen Versuchsstandorten

Tabelle 24: Termine und Umfang der Regenwurmerhebungen

Standort	Grundaufnahme 2014	„Biogaskulturen“	„Thermische Kulturen“
	ZWFR Ramtillkraut stehend, gemulcht,	Silphie, Sida, Riesenweizengras, Referenz	Sida, Switchgras, Miscanthus, Referenz
Aholting	09.10.2014	20.10.2015	22.03.2016
Parsberg	30.09.2014	–	–
Gelchsheim	01.10.2014	–	–
Hötzelsdorf	24.09.2014	22.10.2015	05.04.2016
Rosenau	25.09.2014	27.10.2015	31.03.2016
Thürnthening	07.10.2014	29.10.2015	29.03.2016
Wolferkofen	–	21.09.2016	–

Tabelle 25: Regenwurmuntersuchungen auf Flächen von Praxisbetrieben

Kultur	Anlage	Ort (LKR)	Vergleichsflächen	Beprobung
Miscanthus	2008	Ahofling (SR)	Zuckerrübe, Grünland	06.05.2015
Miscanthus	2007	Herfurth (R)	Mais	07.05.2015
Miscanthus	2007	Leiblfing (SR)	Ackerbrache, Grünland	26.05.2015
Miscanthus	2006	Wurmannsquick (PAN)	Winterweizen, Grünland	11.05.2016
Silphie	2008	Alsmoos (AIC)	Weidelgras, Grünland	23.03.2015
Silphie	2010	Kirchweidach (AÖ)	Wintertriticale, Grünland	03.11.2014
Silphie	2011	Lappersdorf (R)	Acker/ZWFR (Senf), Grünstreifen (9 Jahre)	02.11.2016
Riesenweizengras	2012	Mertingen (DON)	Wintergerste, Grünland	26.03.2015
Riesenweizengras	2014	Oberstark (PAF)	Mais, Grünland	21.10.2015
Riesenweizengras	2012	Hüssingen (WUG)	Mais, Grünland	10.11.2015

4.6.3.2 Tastversuche

Untersuchungen zur oberflächlich aktiven Fauna wurden an den Versuchsstandorten in Ahofling und Rosenau im bereits abgeernteten Roggen-GPS und im Riesenweizengras (Sorte Green Star) mithilfe von Minibarberfallen durchgeführt (Zielgruppen: Springschwänze und Milben, Abbildung 20). Zu diesem Zeitpunkt ähnelt sich die Struktur dieser Felder (siehe Abbildung 19), sodass nachzuweisende Unterschiede eher auf die unterschiedlichen Bodenbedingungen und vorangehende Effekte der Kulturpflanzen zurückzuführen sein können als auf aktuell die Aktivitätsdichte beeinflussende mikroklimatische Parameter.



Abbildung 19: Riesenweizengras (links) und Roggen-GPS (rechts) nach der Ernte in Ahofling am 02.07.2015



Abbildung 20: Minibarberfallen im geernteten Riesenweizengras (links, rechts) und Roggen-GPS (Mitte)

An den beiden Standorten wurden pro Parzelle zehn Glasröhrchen (Öffnungsdurchmesser 13 mm, gefüllt mit 75%igem Ethylenglycol) für zwei Tage im Abstand von 50 cm mittig eingegraben (2015: Aholting: 30.06.–02.07.2015; Rosenau: 15.07.–17.07.2015; 2016: Aholting & Rosenau: 4.7–6.7.2016). Die Beprobung erfolgte 2015 vier (Aholting) bzw. neun (Rosenau) Tage nach der gleichzeitigen Ernte der Kulturen. 2016 lag die Ernte in Aholting zehn und in Rosenau sechs Tage zurück. Anschließend wurden die enthaltenen Individuen Großgruppen zugeordnet und gezählt. In wenigen Fällen konnten nicht alle zehn Glasröhrchen geborgen werden, sodass für jede Parzelle der Mittelwert der in einem Gefäß enthaltenen Tiere gebildet wurde.

Am Versuchsstandort Rosenau wurden im Frühjahr 2016 in den Varianten Silphie, Sida (Grünverwertung), Riesenweizengras (Sorte Green Star) und der Referenz mit Winterweizen je Parzelle zwei Bodenfallen aufgestellt. Als Bodenfallen wurden Trinkgläser mit einer Öffnungsweite von 6,5 cm und einer Tiefe von 12,5 cm mit der Bodenoberfläche bündig abschließend eingegraben. Ein Dach aus Plexiglas schützte vor Regen. Als Fangflüssigkeit diente 75%iges Ethylenglycol versetzt mit einigen Tropfen Spülmittel als Detergens, mit der das Glas etwa zu zwei Drittel gefüllt wurde. Im Zeitraum vom 07.03.2016 bis 17.05.2016 waren die Fallen fängig und wurden viermal geleert (31.03., 18.04., 02.05., 17.05.). Die Untersuchung wurde nicht weiter in den Mai und Frühsommer fortgeführt, obwohl hier weitere Arten zu erwarten sind, da die Kulturen hier eine Höhe und Dichte erreichen, in der das Leeren der Fallen ohne Beeinträchtigung des Pflanzenbestands nicht mehr möglich ist. Die gefangenen Tiere wurden in 70%igen Ethanol konserviert und nach Großgruppen sortiert. Laufkäfer wurden bis auf die Art bestimmt [54]. Es ist bekannt, dass der Aktionsradius von Laufkäfern durchaus hoch ist und so die Ergebnisse von Parzellenversuchen mit Vorsicht zu interpretieren sind. Indem wir einen sehr frühen Zeitpunkt für die Untersuchung wählten (Ende der Winterruhe für viele Imaginalüberwinterer), wollten wir entsprechende Effekte reduzieren und so auch eine Aussage hinsichtlich der Attraktivität der Parzellen als Überwinterungshabitat ermöglichen. Letztendlich liefern die Ergebnisse einen guten Anhaltspunkt, in dem Effekte der aktuellen Attraktivität, der Attraktivität als Überwinterungshabitat, der Aktivität in der Untersuchungsperiode (in Abhängigkeit von Raumstruktur, Mikroklima usw.) und der anzunehmenden dauerhaften Siedlungsdichte kombiniert sind. Ein weiterer Vorteil der Auf-

nahmen im zeitigen Frühjahr ist, dass sich hier die Varianten noch hinsichtlich der Bewuchshöhe ähneln, nur das Riesenweizengras ist bereits etwas höher. Im weiteren Jahresverlauf differenzieren sich die Flächen stärker. Für eine umfassende Bewertung sind diese Kulturparameter jedoch von Bedeutung. Statistische Unterschiede in Artenzahl, Aktivitätsdichte und Shannon-Index der Blockanlage wurden mittels einer Varianzanalyse und darauffolgenden Tukey's HSD-Test ermittelt. Die Test-Voraussetzungen wurden mittels grafischer Methoden geprüft.



Abbildung 21: Bodenfallen in Silphie (links) und Riesenweizengras (rechts) am 14.11.2016

Die Siedlungsdichte der Bodenmesofauna von Miscanthus-Flächen von Praxisbetrieben im Vergleich mit Ackerflächen der direkten Umgebung wurde mit jeweils zehn Stechzylinder-Proben pro Fläche (Volumen 250 cm³) und anschließender Austreibung der Mikroarthropoden mit einer modifizierten Berlese-Apparatur (Licht und Wärme von oben, Kühlung von unten, Trichter) durchgeführt. Anschließend wurden die enthaltenen Individuen der Bodenmesofauna (Springschwänze und Milben) Großgruppen zugeordnet und gezählt. Die Probenahme fand am 30.10.2015 statt. Das Alter der Miscanthus-Flächen und Vergleichskulturen ist Tabelle 26 zu entnehmen.

Tabelle 26: Untersuchungen zur Bodenmesofauna von Miscanthus-Flächen von Praxisbetrieben am 30.10.2015

Kultur	Anlage	Vergleichsflächen
Aholfung1 (SR)	2008	Zuckerrübe, Mais (jeweils 5 Stichproben)
Aholfung2 (SR)	2013	Sorghum
Herfurth (R)	2007	Winterweizen
Leiblfing (SR)	2007	Kleegras (beweidet)

Zur Erfassung der Blütenbesucher wurde in den vier Versuchswiederholungen von Silphie und Sida jeweils eine 0,5 m² große Fläche am Rand jeder Versuchsparzelle ausgesteckt, die darin befindlichen Blüten erfasst und für jeweils 10 Min. die Blütenbesucher nach Großgruppen gezählt. Die Zählungen fanden im Hochsommer 2015 am 15.07. und am 23.07. in Rosenau sowie 2016 am 20.07. und 28.07. an den Standorten Rosenau und Aholting statt. Für jeden Termin wurden der Mittelwert und die Standardabweichung aus den vier Versuchswiederholungen berechnet. Auf die Beobachtung von Maispflanzen als Referenz zur Silphie wurde aufgrund der geringen Aktivität von Blütenbesuchern dort und der „Trachtkonkurrenz“ innerhalb der Versuchsanlage verzichtet. Für eine Bewertung der Bedeutung der Kulturen für die Artenvielfalt der Blütenbesucher ist diese Form der Erhebung ungeeignet. Für den Vergleich der zu erwartenden Blütenbesucher an beiden Kulturen Sida und Silphie können jedoch erste Anhaltspunkte gesammelt werden. Zu berücksichtigen sind die hohe Variabilität der Aktivität in Abhängigkeit der Witterung und die unter Umständen abweichende Blühdauer der Pflanzenarten. Zudem muss davon ausgegangen werden, dass sich die Parzellen der Versuchsanlage durch unterschiedliche Attraktivität gegenseitig beeinflussen und damit nicht unabhängig sind.



Abbildung 22: Ausgesteckte Flächen zur Zählung der Blüten besuchenden Insekten in Sida und Silphie

4.7 Statistische Auswertung

Für die statistische Datenanalyse der Trockenmasseerträge wurde die Software SAS Version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) verwendet. Mittelwerte und Standardabweichungen wurden mittels der Mean-Prozedur berechnet. Die Varianzanalysen wurden mittels der Prozeduren Mixed, Glim oder Glimmix ausgeführt. Für die Auswertung des Herbizidversuchs (2015) wurden Rangzahlen mittels „Prozedur Rank“ berechnet und anschließend in einer Varianzanalyse mittels „Prozedur Mixed“ jede Versuchsvariante mit der Kontrolle verglichen. Signifikante Unterschiede zwischen Faktorstufen beziehen sich auf eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % und sind im folgenden Bericht mit unterschiedlichen Buchstaben oder als * gekennzeichnet. Für die grafisch dargestellte quadratische Regressionsfunktion sowie alle anderen grafischen Ergebnisdarstellungen wurde das Programm OriginPro 2015 (OriginLab, Northampton, MA, USA) verwendet.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Feldversuche (TFZ)

2014 wurden sechs der sieben Versuchsstandorte zur Untersuchung des Ertragspotenzials und der Anbaueignung der mehrjährigen Energiepflanzen (Sida, Silphie, Riesenweizengras, Switchgras, Miscanthus, Waldstaudenroggen) erfolgreich etabliert. 2015 folgten die erste Ernte der Kulturen für eine Biogasnutzung sowie die Etablierung des noch fehlenden Hohertragsstandorts Wolferkofen. Dieser war 2015 noch nicht erntewürdig. In den Gräserbeständen wurden jedoch Pflegeschnitte durchgeführt. 2016 fanden die zweite Ernte der Biogaskulturen sowie die erste Ernte der thermisch genutzten Energiepflanzen statt.

Die produktionstechnischen Versuche zur Gräser-Etablierung und zum Herbizideinsatz in Sida, Silphie und Switchgras wurden jeweils zweifach angelegt, Anlage A (2014) und Anlage B (2015). Die Ernte erfolgte 2015 (Anlage A) und 2016 (Anlage A und B).

Im Folgenden sind zur Verbesserung der Übersichtlichkeit und Erleichterung der Interpretation gemittelte Werte dargestellt. Einzelwerte sowie weitere Daten, z. B. zum Entwicklungsstadium und zur Bestandshöhe sind im Anhang in Tabelle 49 bis Tabelle 51 sowie Tabelle 56 bis Tabelle 74 aufgeführt.

5.1.1 Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen für die Verwertung in der Biogasanlage

5.1.1.1 Trockenmasseertrag

Wichtigster Parameter für die Bewertung von Energiepflanzen ist der Trockenmasseertrag. Im Folgenden sind die Erträge und Trockensubstanzgehalte der für eine Biogasnutzung vorgesehenen mehrjährigen Kulturen dargestellt.

Abbildung 23 zeigt den über die Versuchsstandorte gemittelten Ertrag für die Versuchsjahre 2015 und 2016 sowie den Mittelwert über die Jahre. Bei Riesenweizengras (RWG), Sida, Switchgras und Waldstaudenroggen handelt es sich jeweils um die Summe aus zwei Schnitten. Auffällig ist zunächst der deutliche Ertragsunterschied zwischen den Versuchsjahren bei fast allen Kulturen. Die Hitze und Trockenheit 2015 haben sich in einem deutlichen Ertragsdefizit niedergeschlagen. Die Referenzkultur GPS-Roggen und der Waldstaudenroggen waren davon weniger beeinträchtigt, da im Frühjahr und bis Juni noch ausreichend Feuchtigkeit zur Verfügung stand und diese Varianten zeitig beerntet werden. Im Sommer reichten dann für die übrigen Kulturen vielerorts die Bodenfeuchte und die sehr geringen Niederschlagsmengen nicht mehr aus. Die mehrjährigen Energiepflanzen waren genau wie die einjährige Referenzkultur Silomais in ihrem Wachstum beeinträchtigt, das Ertragsdefizit fiel aber mit Ausnahme des Switchgrases etwas geringer aus. Laut Literatur erreicht das Switchgras genau wie die Sida maximale Erträge erst ab der zweiten oder dritten Ernte. Deshalb ist bei dieser Kultur der Unterschied zwischen 2015 und 2016 besonders groß, obwohl es sich bei dem C4-Gras um eine Wärme liebende und trockentolerante Kultur handelt.

Im zweijährigen Vergleich erreichte die Referenzkultur Silomais über alle Standorte mit 179 dt TM/ha den höchsten Trockenmasseertrag. Das Riesenweizengras hatte mit 161 dt TM/ha im Mittel der Jahre 2015 und 2016 den höchsten Ertrag unter den mehrjährigen Energiepflanzen. Die Silphie lag mit 145 dt TM/ha knapp vor dem Riesenweizengras der Sorte Alkar. Auf den Switchgrasflächen wurden im Mittel 110 dt TM/ha geerntet. Dieser geringe Gesamtertrag war aber hauptsächlich auf das schlechte erste Jahr zurückzuführen. Der Waldstaudenroggen konnte im Versuch nicht überzeugen. Insgesamt sind 98 dt TM/ha in zwei Schnitten zu wenig. Diese Kultur wurde als nicht geeignet für den mehrjährigen Anbau zur Biogassubstratproduktion eingestuft. Sie wird deshalb im Folgeprojekt nicht weiter geprüft. Den geringsten Ertrag erreichte die Sida mit 82 dt TM/ha. Auch bei dieser Kultur ist bekannt, dass erst mit der zweiten oder dritten Ernte maximale Erträge erreicht werden.

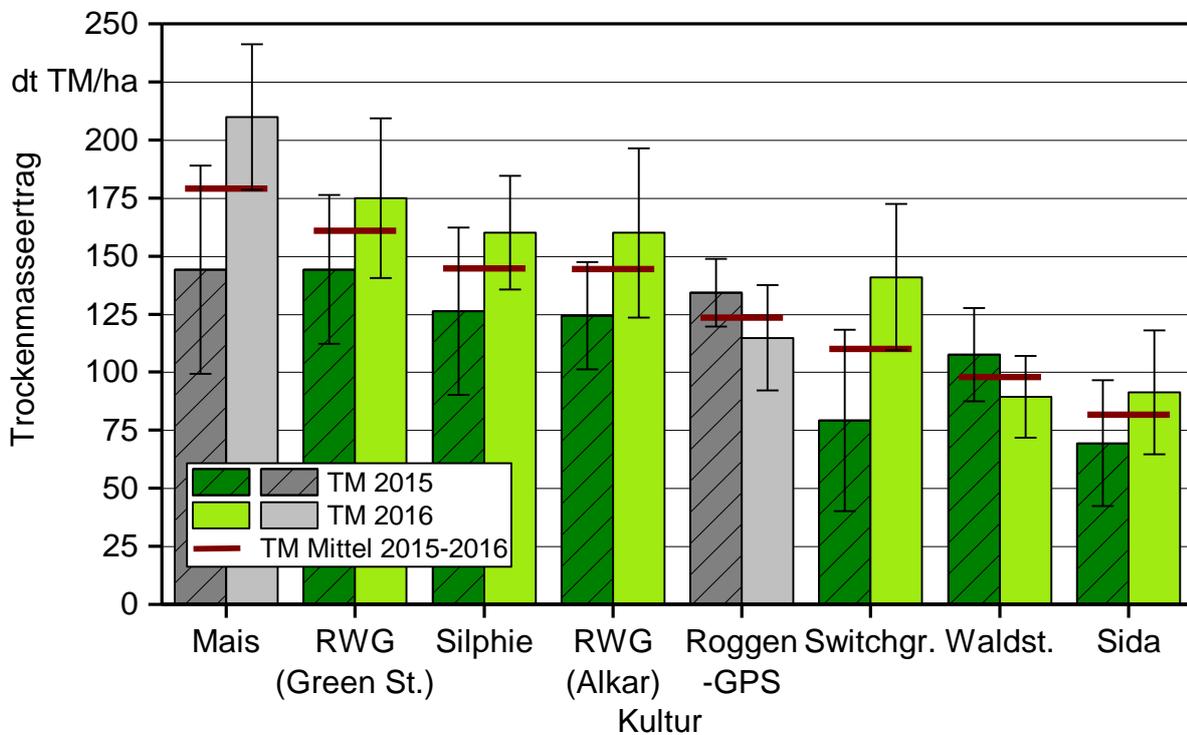


Abbildung 23: Trockenmasseertrag der mehrjährigen Energiepflanzen im Mittel der Standorte; Sortierung nach mittlerem TM-Ertrag in absteigender Reihenfolge von links nach rechts; 2015 = 6 Standorte und 2016 = 7 Standorte

Die Ergebnisse der Varianzanalyse in Tabelle 27 zeigen den signifikanten Einfluss aller Faktoren. Neben der Variante haben auch der Standort sowie das Versuchsjahr einen erheblichen Einfluss auf das Ertragsergebnis. Signifikante Wechselwirkungen zwischen den Versuchsfaktoren bestehen ebenfalls. Eine Darstellung der einzelnen Versuchsjahre, wie in Tabelle 28, ist deshalb sinnvoll.

Tabelle 27: Varianztabelle zum Trockenmasseertrag

Faktor	F-Wert	Signifikanz des P-Werts
Variante (Kultur)	125,9	< 0,0001
Ort	3,6	0,0207
Jahr	89,4	< 0,001
Variante*Ort	9,5	< 0,001
Variante*Jahr	35,8	< 0,001
Ort*Jahr	9,2	0,0002
Variante*Ort*Jahr	4,4	0,001

Die Standorteignung der einzelnen Kulturen lässt sich nach zwei Erntejahren nur schwerlich einschätzen. Dennoch sind anhand der Ergebnisse in Tabelle 28 und auf Basis der gemachten Erfahrung erste Tendenzen erkennbar.

Die Kultur mit dem nach bisherigen Erkenntnissen größten Ertragspotenzial, das Riesenweizengras der Sorte Green Star, brachte auf allen Standorten hohe Erträge. Zwischen den Standorten ließen sich keine signifikanten Ertragsunterschiede feststellen. Im Mittel über zwei Jahre war der höchste Ertrag mit 170 dt TM/ha auf dem Standort Gelchsheim zu verzeichnen. Hier bietet der nährstoffreiche, lehmige Boden die Grundlage für das Wachstum des Grases. Riesenweizengras hat eine zweigipfelige Wachstumskurve mit dem Hauptwachstum im Frühjahr und im Herbst. Die Temperaturen und die Verdunstung sind in diesen Jahreszeiten noch gering. Unter Umständen wirkt sich deshalb bei dieser Kultur Wassermangel nicht so sehr ertragsreduzierend aus. Die Kultur lieferte auch im trockenen Jahr 2015 einen relativ guten Ertrag. Noch höher war der Ertrag jedoch 2016. Insbesondere auf dem Gäu-Standort Wolferkofen wurde mit 225 dt TM/ha ein Spitzenertrag geerntet. Ein guter Boden und ausreichend Feuchtigkeit werden vom Riesenweizengras in Biomasse umgesetzt. Probleme kann auf solch wüchsigen Standorten jedoch die Lageranfälligkeit des Grases bereiten, Ernteverluste sind dann möglich. Standorte mit hohem Unkrautdruck sind ebenfalls nicht ideal. Während der Wachstumspause des Riesenweizengrases im Sommer kann sich das Unkraut schnell entwickeln. Herbizid-Anwendungen sind dann angeraten, wofür aber eine Ausnahmegegenehmigung nach § 22 Abs. 2 PflSchG erforderlich ist. Nach den Erfahrungen der ersten beiden Erntejahre kann Riesenweizengras auf einer Vielzahl bayerischer Standorte erfolgreich angebaut werden. Weder Kälte noch trockene Bedingungen scheinen den Anbau zu begrenzen. Einen großen Einfluss auf den Ertrag hat aber offensichtlich die Wahl der Sorte. Die ebenfalls im Versuch geprüfte Sorte Alkar erreichte mit 153 dt TM/ha auf dem Standort Thürnthening ihr Maximum. Damit wurden im Vergleich ca. 20 dt TM/ha weniger als bei Green Star geerntet. Alkar wurde ursprünglich für die Beweidung nasser Flächen gezüchtet [140]. Darin könnte ein Grund für den geringeren Ertrag der Sorte liegen. Dieser Theorie stehen allerdings Ergebnisse der Landwirtschaftlichen Lehranstalten Triesdorf entgegen. Dort lag der Ertrag der Sorte Alkar 2014 über dem der Sorte

Green Star. Übereinstimmend mit den vorliegenden Ergebnissen wird jedoch von dem hohen Ertragspotenzial der Kultur berichtet.

Tabelle 28: Trockenmasseertrag der mehrjährigen Energiepflanzen je Variante (Mittelwert) sowie je Variante und Jahr (LsMeans); signifikante Unterschiede zwischen den Orten sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet; n = 4

Kultur/Jahr	Rosenau	Gelchsheim	Thürntenning	Aholting	Parsberg	Hötzelsdorf	Wolferkofen [#]
Silphie	164,5	141,0	123,4	140,6	140,5	142,0	
2015	181,4 a	119,7 b	94,8 b	134,1 ab	95,7 b	133,2 ab	
2016	147,5 a	162,3 a	152,0 a	147,1 a	185,3 a	149,6 a	176,8
RWG (Gr. St.)	152,5	170,5	153,7	152,6	154,5	146,9	
2015	157,8 a	142,5 a	151,2 a	145,2 a	133,5 a	136,7 a	
2016	147,9 a	198,5 a	156,2 a	160,0 a	175,6 a	156,4 a	225,3
RWG (Alkar)	123,4	148,3	153,4	131,8	148,6	126,2	
2015	138,5 a	101,7 a	140,3 a	118,5 a	121,0 a	127,6 a	
2016	108,6 d	194,9 a	166,5 ab	145,1 bc	176,1 ab	124,7 dc	204,2
Sida	87,2	111,2	63,0	81,7	–	42,6	
2015	84,4 ab	102,7 a	54,7 bc	64,2 bc	–	31,5 c	
2016	89,9 bc	119,6 a	71,3 dc	99,1 ab	–	53,8 d	120,2
Switchgras	113,0	119,8	138,2	142,3	–	69,7	
2015	103,8 ab	88,5 b	99,1 ab	120,2 a	–	50,6 c	
2016	122,1 b	151,1 a	177,3 a	164,5 a	–	88,7 c	141,9
Waldstaudenr.	89,9	80,0	97,3 a	104,5	112,4	96,5	
2015	98,7 ab	87,1 b	90,8 b	115,6 ab	126,9 a	126,2 a	
2016	81,0 abc	72,9 bc	103,8 a	93,4 ab	97,6 a	66,9 c	109,9
Roggen-GPS	117,1	95,9	130,3	131,4	128,1	132,1	
2015	119,6 a	123,0 a	146,9 a	139,5 a	135,9 a	143,4 a	
2016	114,7 a	*68,7 b	115,2 a	123,4 a	120,4 a	120,8 a	140,1
Mais	232,6	161,6	149,5	187,1	141,0	182,1	
2015	218,8 a	136,1 bc	91,4 c	157,8 b	117,2 bc	143,4 b	
2016	246,4 a	187,0 bc	206,2 abc	216,5 ab	164,8 c	220,8 ab	226,5

[#] Bestand wurde mit einem Jahr Verzögerung etabliert, ist somit nicht direkt vergleichbar und nicht Bestandteil der statistischen Auswertung; * schlechter Feldaufgang, Nachsaat mit Sommerroggen

Im Durchschnitt über fünf Jahre erreichte die Kultur (Sorte Szarvasi 1) auf dem fränkischen Standort 170 dt TM/ha [73]. Bei Versuchen in Österreich kam diese Sorte im Versuchsjahr 2009 im Alpenvorland sogar auf 180 dt TM/ha [145]. Berichte aus der Praxis gehen von 150 dt TM/ha aus [129]. Optimistische Praktiker-Einschätzungen für norddeutsche Verhältnisse reichen sogar bis 200 dt TM/ha [80]. Dass solche Erträge in ein-

zelenen Jahren unter günstigen Bedingungen tatsächlich möglich sind, zeigen Versuchsergebnisse aus Thüringen [8] und aus Rheinland-Pfalz [124], wo bis 265 bzw. 207 dt TM/ha geerntet wurden. Ob sich die ersten Einschätzungen zur Trockentoleranz bestätigen, werden weitere Ergebnisse des Folgeprojekts zeigen. Die im Internet hierzu verfügbaren Angaben variieren stark. Gegebenenfalls ist diese Eigenschaft doch beträchtlich von der gewählten Sorte bzw. der Züchtung und dem angestrebten Anbaugebiet abhängig.



Abbildung 24: Riesenweizengras lagernd am Standort Rosenau (Foto vom 28.06.2016)

Die Silphie erreichte die höchsten Erträge (im Mittel über zwei Jahre 165 dt TM/ha) am Standort Rosenau. In Parsberg wurden 2016 sogar 185 dt TM/ha geerntet. Die Kultur kann ihr Ertragspotenzial offensichtlich auf humosen, nährstoffreichen Böden mit ausreichender Wasserversorgung am besten ausschöpfen. Das Ergebnis von nur 148 dt TM/ha im Jahr 2016 (Rosenau) ist dem starken Lager (Abbildung 25) und den damit verbundenen Ernteproblemen geschuldet. Ergebnisse weiterer Versuche [68] in der Nähe von Straubing, einer Region mit nährstoffreichem Boden und ausreichend Niederschlag, berichten ebenfalls von sehr guten Trockenmasseerträgen. Im Mittel über vier Jahre wurde dort ein Ertrag von 190 dt/ha erreicht. Auch in anderen Regionen werden hohe Biomasseerträge geerntet. BRÖKER [18] berichtet von 150 dt TM/ha Praxisertrag und über 190 dt TM/ha im Versuchsanbau in Nordrhein-Westfalen. JANZIG nennt als Praxisertrag sogar bis zu 180 dt TM/ha [88]. In Baden-Württemberg erreichte die Kultur immerhin 177 dt TM/ha in Versuchen des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augusten-

berg [177]. Diese Ergebnisse zeigen die breite Anbaueignung der Silphie, gemein ist den genannten Regionen jedoch ein ausreichender Jahresniederschlag. Auch der Versuchsstandort Gelchsheim mit nährstoffreichem bindigen Boden ist prinzipiell geeignet für den Silphieanbau. Allerdings fallen in der fränkischen Gäulage oft nicht ausreichend Niederschläge. Den Wassermangel kann die Silphie nur bedingt kompensieren, wie aus den Erträgen des Jahrs 2015 sichtbar wird. Der lehmige Boden kann das Wasser zwar relativ lange speichern, aber die insgesamt geringen Jahresniederschläge bieten keine optimalen Bedingungen für die Silphie. Die früher beschriebene ausgeprägte Trockentoleranz der Silphie [91] scheint sich nicht zu bestätigen. Die eigenen Erfahrungen sowie auch Untersuchungen anderer Autoren [142] sprechen eher für eine durchschnittliche bis niedrige Trockentoleranz bzw. Wassernutzungseffizienz [127] der Pflanze.



Abbildung 25: Trockenstress in der Silphie am Standort Aholting (links, Foto vom 20.07.2015) und lagernder Silphie-Bestand am Standort Rosenau (rechts, Foto vom 01.09.2016)

Der Ertrag des Switchgrases im ersten Versuchsjahr 2015 war mit maximal 120 dt TM/ha nicht überzeugend. Eigentlich waren die Bedingungen im heißen Sommer 2015 für das C4-Gras günstig. Das Versuchsjahr hat jedoch gezeigt, dass mit Switchgras im ersten Jahr oft keine hohen Erträge möglich sind. Lediglich am Standort Wolferkofen wurden im ersten Erntejahr 2016 bereits 142 dt TM/ha geerntet. Im zweiten Jahr waren die Erträge auf allen Standorten höher. Es wurden maximal 177 dt TM/ha (Thürnthening) erreicht. Wie bereits diskutiert benötigt diese Kultur mehr Zeit für die vollständige Entwicklung. GIBSON [61] geht sogar von zwei bis drei Vegetationsperioden bis zur vollständigen Etablierung aus. In einer Literaturübersicht von LEWANDOWSKI et al. [104] wird das Ertragspotenzial von Switchgras mit 90 bis 346 dt TM/ha benannt. Genaue Kenntnisse über die Versuchsbedingungen liegen aber nicht vor. In Untersuchungen von KIESEL et al. [94] zur Nutzung von Switchgras als Biogassubstrat, reicht die Ertragsspanne zwischen einem „schlechten“ und „guten“ Jahr von 84 bis 142 dt TM/ha und ist damit mit den vorliegenden Ergebnissen vergleichbar. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Versuchsstandorte des vorliegenden Projekts zeigen auch, dass Switchgras von feuchten Bedingungen wie in Hötzelsdorf oder von nährstoffreichen Böden wie in Rosenau nur bedingt profitiert.

Trockenheit, aufgrund der geringen Wasserhaltekapazität der Böden (Aholting und Thürnthenning) oder durch geringe Niederschlagsmengen (Gelchsheim), schienen dem Wachstum des Grases keine Grenzen zu setzen. Unter den genannten Bedingungen wurden die höchsten Erträge ermittelt. LEWANDOWSKI et al. [104] beschreiben Switchgras als trockentolerant, aber nur wenig tolerant gegenüber Überflutung. Auch BOSWORTH et al. [16] konstatieren, dass Switchgras am besten auf gut entwässerten Flächen wächst. Die Autoren geben ebenfalls an, dass Switchgras erst ab dem vierten oder fünften Jahr eine Stickstoffdüngung benötigt. Allerdings beziehen sich amerikanische Quellen meist auf eine Nutzung als Brennstoff und damit auf eine Ernte im Winter, wenn das Gras die Nährstoffe bereits zurück in die Wurzeln verlagert hat. Bei einer Nutzung der grünen Biomasse ist also von einem höheren Bedarf auszugehen. Generell bleibt abzuwarten, ob das Gras eine Grünschnittnutzung langfristig verträgt. SCHRABAUER et al. [148] fanden, dass die mehrjährige Ausdauer des Grases nur gegeben war, wenn es erst nach dem Abfrostern geschnitten wurde. Ebenso rät RINEHART [135] zur Zurückhaltung bei einer Nutzung der grünen Biomasse. Die Temperaturansprüche des C4-Grases sind hoch, wobei dies auch stark von der verwendeten Sorte abhängt (Hochlandtyp, Tieflandtyp, siehe Kapitel 2). Die niedrigen Temperaturen des Bayerwaldes verkürzen die Wachstumsperiode des Grases erheblich, was sich in einem niedrigen Ertrag von maximal 89 dt TM/ha (Hötzelsdorf, Abbildung 26) niederschlug. Dies dürfte die Regionen mit einer Anbaueignung für Switchgras in Bayern einschränken.



Abbildung 26: Switchgras am Standort Thürnthenning (links) und in der kühlen Höhenlage Hötzelsdorf (rechts) (Foto vom 20.06.2016)

Der mehrjährige Waldstaudenroggen kann mit den bereits genannten Kulturen ertraglich nicht konkurrieren. Die höchsten Erträge wurden in Parsberg (127 dt TM/ha) und in Hötzelsdorf (126 dt TM/ha), den Standorten mit den niedrigsten Jahrestemperaturen, erreicht. Generell stellt der Roggen keine hohen Ansprüche an das Klima und den Boden [118]. Insbesondere der Waldstaudenroggen wurde früher in klimatisch eher ungünstigen Berglagen und nördlichen, kalten Gegenden angebaut [113]. Im Versuch zeigte sich jedoch, dass der Wiederaustrieb nach Ernte, besonders im zweiten Erntejahr, auf keinem der Standorte zufriedenstellend war. 2016 war der 2. Aufwuchs auf keinem Standort ern-

tewürdig. Zudem nahm die Verunkrautung der Bestände durch den mangelhaften Wiederaustrieb stark zu (Abbildung 27). Von einem schlechten Wiederaustrieb und einer zunehmenden Verunkrautung zeugen auch Versuchsergebnisse aus Rheinland-Pfalz [123]. Wissenschaftliche Literaturquellen zu dieser Kultur existieren nur wenige. Aus dem Bereich der an Permakultur interessierten Landwirtschaft gibt es einige Erfahrungsberichte zum Anbau des Waldstaudenroggens. Allerdings gehen auch hier die Angaben hinsichtlich der Nutzungsdauer auseinander. HOFER [79] berichtet von der Möglichkeit, das Getreide bis zu fünf Jahre zu mähen und dann zur Kornreife kommen zu lassen. MOESENBICHLER [115] gibt an, dass die Kultur bei einer Grünfütternutzung vor der Ährenbildung ausdauernd sei, sich aber mit der Zeit ausdünnen würde. Eventuell erfolgte die Ernte der Versuchspartellen zu spät, der Waldstaudenroggen befand sich zu diesem Zeitpunkt teilweise schon in der Blüte. Ob sich durch eine frühzeitige Ernte die Perennierfähigkeit der Kultur verbessern ließe, kann nicht abschließend geklärt werden. Gesonderte Versuche müssten diese Frage beantworten.



Abbildung 27: Verunkrauteter Waldstaudenroggenbestand in Thürnthenning ohne Wiederaustrieb (rechts, Foto vom 25.07.2016) und ein gut entwickelter Bestand im ersten Erntejahr (links, Foto vom 20.05.2015)

Den höchsten Ertrag über die zwei Versuchsjahre erreichte das Malvengewächs Sida (Summe 2 Schnitte) mit 111 dt TM/ha am Standort Gelchsheim. 2016 wurden dort immerhin 120 dt TM/ha geerntet. Der Ertrag der ersten beiden Erntejahre lag jedoch weit von der in der Literatur genannten Ertragsspanne von 150 bis 200 dt TM/ha entfernt [169]. Untersuchungen aus Baden-Württemberg liegen im dreijährigen Mittel noch darunter (66–99 dt TM/ha) [177]. Von anderen Autoren wird jedoch berichtet, dass das Ertragspotenzial der Sida erst ab dem dritten Jahr ausgeschöpft wird [15] [57], da die Kultur Zeit für die vollständige Entwicklung benötigt. Auch eigene Untersuchungen auf einem Straubinger Versuchsstandort bestätigen diese Beobachtung [64]. Eine Betrachtung der einzelnen Standortergebnisse spricht ebenfalls dafür. Auf allen Standorten stieg der

Ertrag 2016 im Vergleich zu 2015 an. Allerdings kann der Einfluss des Bestandsalters nicht vom Einfluss der extremen Trockenheit 2015 getrennt werden. Weitere Versuchsjahre müssen zeigen, wie sich der Ertrag der Kultur entwickelt, denn das Ertragsergebnis insgesamt war bisher nicht zufriedenstellend. Nach den ersten Erfahrungen mit der Kultur Sida auf unterschiedlichsten Standorten scheint diese Pflanze nicht für kühlere Standorte geeignet. Die Staude gilt zwar als frosttolerant [100], entwickelt sich in kühlem Klima aber nur langsam. Damit verkürzt sich die für das Wachstum nutzbare Vegetationsperiode. Am Standort Hötzelsdorf wurde beispielsweise mit 43 dt TM/ha im zweijährigen Mittel die geringste Menge an Biomasse geerntet. Trotz ihres natürlichen Habitats in Flussnähe und Überschwemmungsgebieten [7] hat die Sida aufgrund ihres ausgeprägten Wurzelsystems [57] eine hohe Toleranz gegenüber Trockenheit [100]. Die Pflanze ist an kontinentales Klima angepasst [100]. Auch in den hier beschriebenen Feldversuchen konnte die Sida optisch der Trockenheit gut widerstehen (Abbildung 28). Als die Silphie bereits geerntet war und der Silomais Trockenschäden zeigte, hatte diese Kultur noch grüne Blätter.



Abbildung 28: Silomais und Sida am Standort Thürnthenning (Foto vom 03.08.2015)

Bei der Einordnung der Ertragsergebnisse muss auch der Einfluss des Etablierungserfolgs auf die Biomasseleistung der Sida in späteren Jahren beachtet werden. Aus Abbildung 29 wird die Abhängigkeit des Ertrags von der Anzahl der Pflanzen pro m² deutlich. Gelingt eine Etablierung nur unzureichend im ersten Jahr, schlägt sich dies die folgenden Jahre deutlich im Ertrag nieder. Die Standorte mit den schlechtesten Ertragsergebnissen – Thürnthenning und Hötzelsdorf – wiesen mit 3,9 bzw. 3,3 Pflanzen/m² beispielsweise auch die geringste Pflanzendichte auf. Hauptprobleme für eine mangelhafte Etablierung sind die schlechte Keimfähigkeit bzw. die ausgeprägte Keimruhe des Saatguts, ein sehr zeitverzögerter Feldaufgang und die mangelnde Toleranz gegenüber Herbiziden. Eine chemische Unkrautkontrolle ist somit kaum möglich und erschwert die Etablierung eines dichten Bestands extrem.

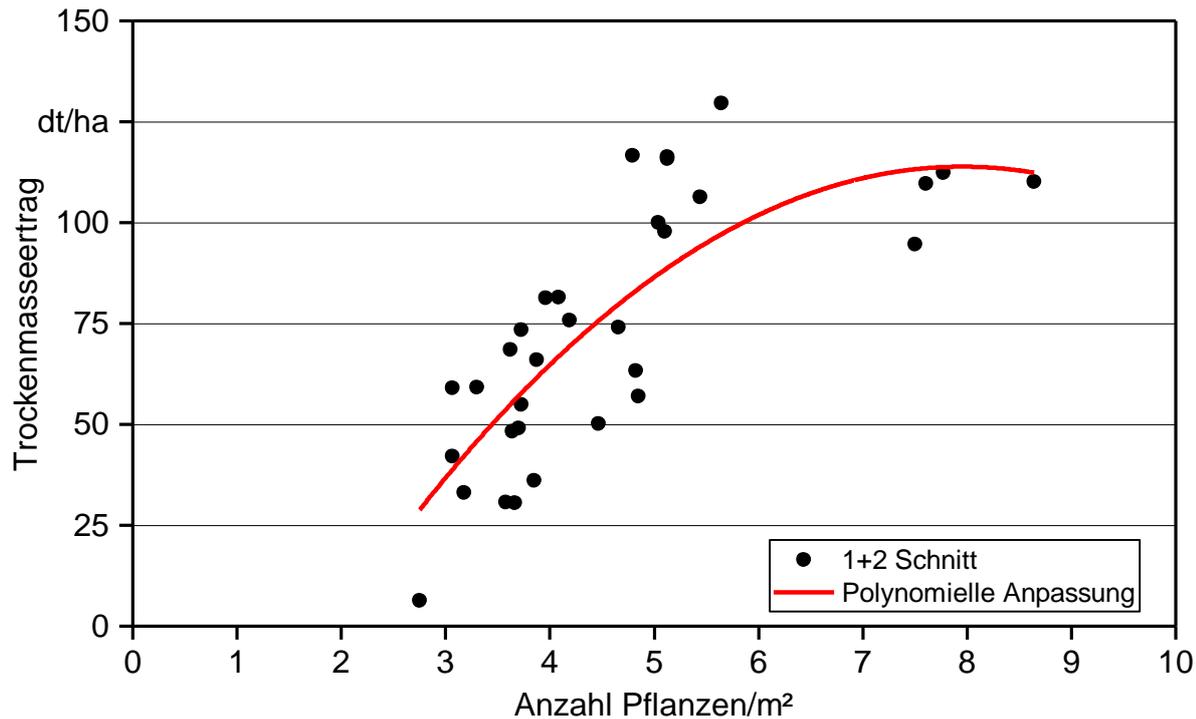


Abbildung 29: Trockenmasseertrag von *Sida* in Abhängigkeit von der Zahl der Pflanzen pro m² (Ergebnisse 2015 und 2016 der Standorte Aholting, Hötzelsdorf, Gelchsheim und Thürnthenning, n = 16)

5.1.1.2 Trockensubstanzgehalt und Lageranfälligkeit

Ein wichtiger Parameter für die Silierbarkeit von Pflanzenmaterial bzw. die Gefahr von Sickerwasserverlusten ist der Trockensubstanzgehalt (TS). Der TS-Gehalt der Biomasse zur Ernte sollte bei etwa 28 % liegen und bestimmt damit den Erntetermin. Um anfallende Transportkosten gering zu halten, ist es ebenfalls nicht sinnvoll, eine Ernte bei deutlich geringeren Trockensubstanzgehalten durchzuführen. Abbildung 30 zeigt die Trockensubstanzgehalte zur Ernte der geprüften Kulturen. In der Darstellung wurde der TS-Gehalt über die Jahre und Orte gemittelt. Detaillierte Angaben sind im Anhang in Tabelle 49 und Tabelle 50 zu finden. Im Mittel haben alle Kulturen im ersten Aufwuchs den geforderten Trockensubstanzgehalt erreicht. Der zweite Aufwuchs der Kultur *Sida* musste mit deutlich geringeren TS-Gehalten geerntet werden. Die Pflanze erreicht im Herbst keine höheren Gehalte mehr. Generell ist infrage zu stellen, ob eine zweite Ernte der *Sida* lohnenswert und für die Pflanzenentwicklung im darauffolgenden Jahr förderlich ist. JABLONOWSKI et al. [87] berechneten eine höhere Energieausbeute je Hektar, wenn der zweite Schnitt erst nach Winter erfolgt und die Biomasse für eine thermische Verwertung genutzt wird. Aus Abbildung 30 wird ebenfalls ersichtlich, dass bei der Kultur Riesenweizengras im ersten Schnitt und besonders bei der Silphie der ideale TS-Gehalt nicht immer erreicht wurde. Ein Grund hierfür könnten die stark lagernden Bestände sein, die dadurch schlecht belüftet werden und nach Niederschlägen nur sehr langsam oder gar nicht abtrocknen. Bei der Silphie erhöhte sich der TS-Gehalt generell im Spätsommer nur langsam. Dies kann auch an den becherförmigen Blättern liegen, in denen Nieder-

schlag zurückgehalten wird [9]. Aber auch die sehr ungleichmäßige und über einen langen Zeitraum stattfindende Blüte bzw. Abreife trägt dazu bei. Eine Ernte wird zu Beginn der Samenreife empfohlen [159]. Nach Versuchen von PICHARD [128] liegt der TS-Gehalt der Silphie dann zwischen 23,4 und 26,6 %. An der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft wurden Untersuchungen zum optimalen Erntefenster hinsichtlich des Ertrags und der Methanausbeute für die Silphie durchgeführt und drei Wochen von Mitte August bis Anfang September als geeignet identifiziert [9]. Der TS-Gehalt lag in dieser Zeit jahresabhängig zwischen 24,7 und 29,5 %. Hier muss also unter Umständen ein Kompromiss eingegangen werden. Eine zeitige Ernte hat eine höhere Methanausbeute zur Folge, da die Verholzung noch nicht so weit fortgeschritten ist. Eine spätere Ernte führt zu höheren TS-Gehalten und niedrigeren Transportkosten. Für die übrigen Kulturen, bis auf einzelne Ausnahmen, war die Einhaltung des TS-Gehalts von 28 % zur Ernte unproblematisch.

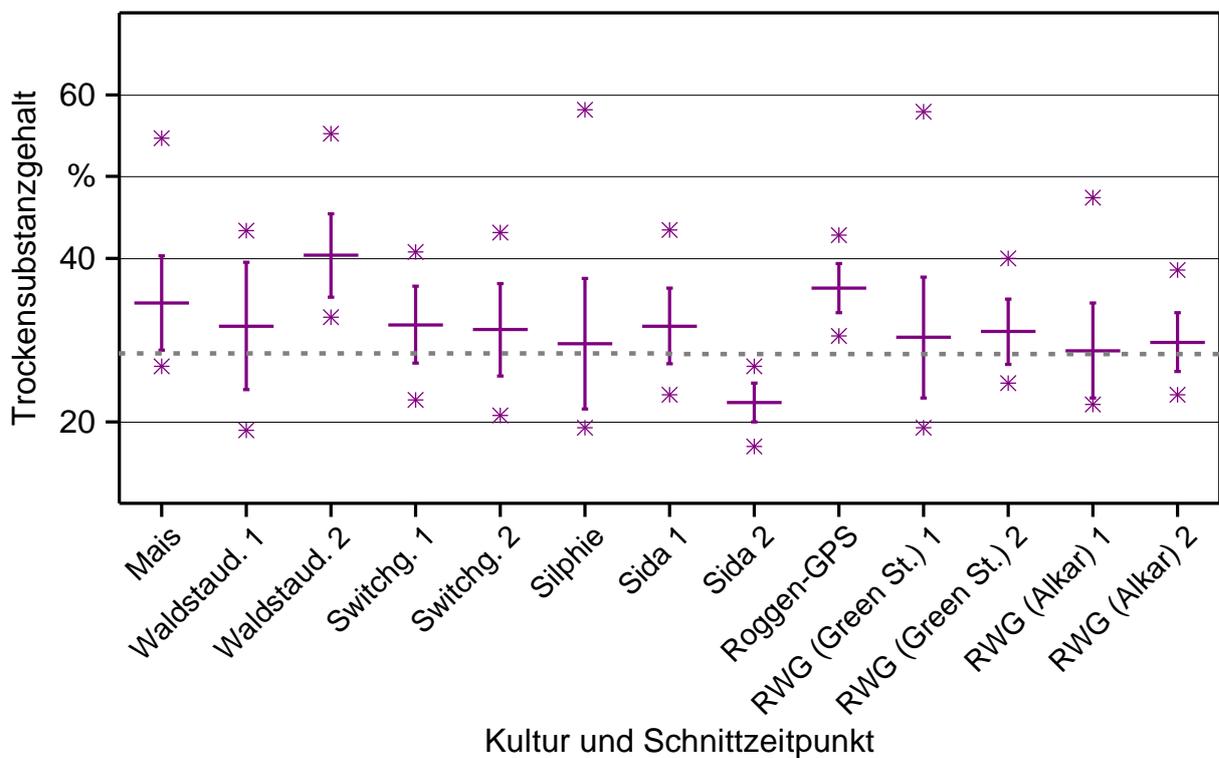


Abbildung 30: Trockensubstanzgehalt der mehrjährigen Energiepflanzen je Variante, gemittelt über die Jahre und Standorte; Mittelwerte (Mittelbalken) mit Standardabweichungen (Whisker) und Extremwerten (Stern); gestrichelte Linie markiert den Ziel-TS-Gehalt von 28 %, $n = 5$

Die Lageranfälligkeit einer Kultur sollte bei der Bewertung der Anbauwürdigkeit einer Kultur nicht außer Acht gelassen werden. Starkes Lager senkt oftmals nicht nur den TS-Gehalt, sondern verursacht auch Probleme bei der Ernte und führt nicht zuletzt zu Ertragseinbußen, erhöhten Kosten sowie Qualitätseinbußen durch Verschmutzung. Abbildung 31 zeigt die im Feldversuch ermittelten Lagerboniturwerte der mehrjährigen Bio-gaskulturen im Mittel über die Versuchsjahre und Standorte. Es wird ersichtlich, dass bei

Silphie, Waldstaudenroggen sowie den ersten Schnitten des Riesenweizengrases und des Switchgrases eine mittlere bis hohe Anfälligkeit gegenüber Lager besteht. Die Gräser lassen sich jedoch in der Regel trotz Lager mit Großtechnik noch ernten, auch wenn die optimale Stoppellänge dann nicht mehr eingehalten wird und Biomasse auf dem Feld verbleibt. Bei der Silphie haben die Erfahrungen aus den Feldversuchen sowie Gespräche mit Praktikern gezeigt, dass durch lagernde Bestände die Ernte auch mit Großtechnik schwierig ist. Bedingt durch kreuz und quer liegende Stängel kommt es zu einem Aufstauen und Verkeilen der Pflanzen vor dem Häcksler und die Biomasse wird nicht mehr eingezogen. Laut Praktiker-Erfahrung ist die Ernte aber mit dem „direct disc“-System und Seitentrennmessern möglich [12]. WILKEN und BENKE [175] beschreiben ebenfalls die erhöhte Lageranfälligkeit der Silphie. Als mögliche Maßnahme werden dort Veränderungen im Düngeregime diskutiert. In Untersuchungen von BIERTÜMPFEL [9] wird nicht von einer Beeinträchtigung durch Lager berichtet. Offenbar ist die Lageranfälligkeit auch vom Standort oder der gewählten Herkunft abhängig. Weitere Untersuchungen müssen hier Klärung bringen.

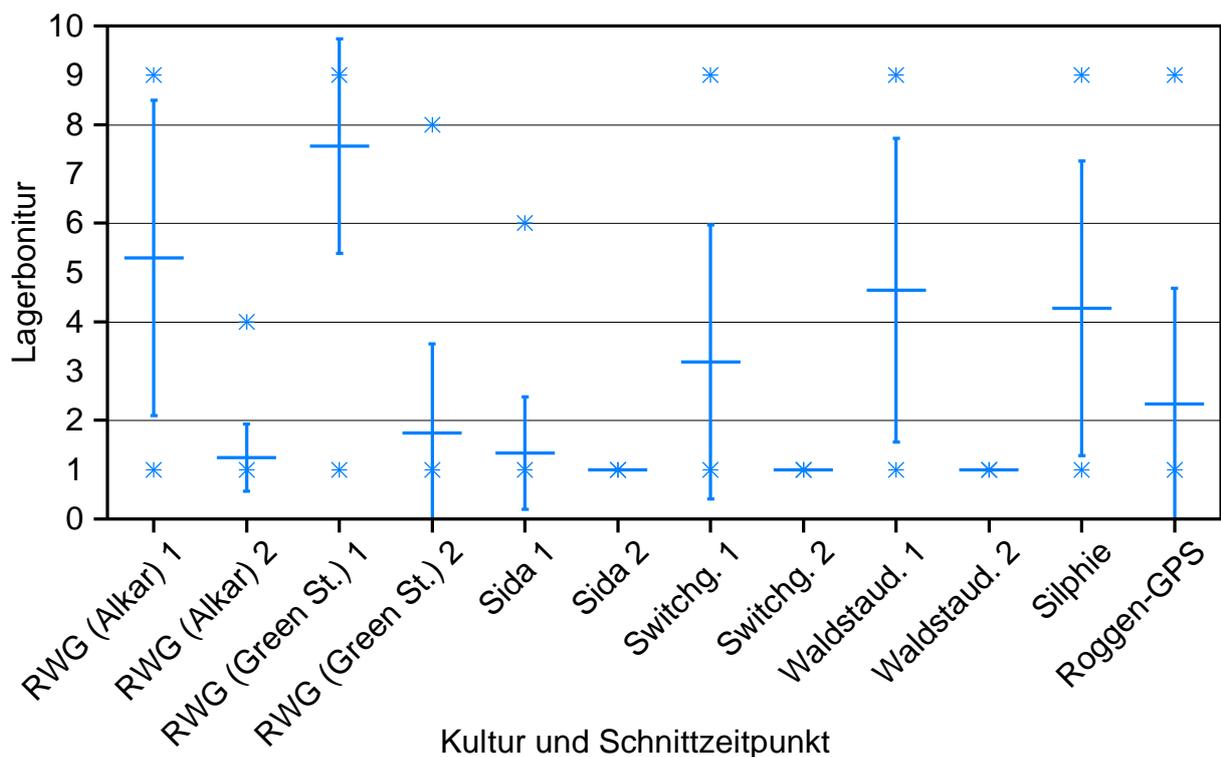


Abbildung 31: Lagerboniturwerte der mehrjährigen Energiepflanzen je Variante, gemittelt über die Jahre und Standorte; Mittelwerte (Mittelbalken) mit Standardabweichungen (Whisker) und Extremwerten (Stern), $n = 5$

5.1.2 Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen für die thermische Verwertung

Neben der Verwendung als Biogassubstrat kommt auch eine thermische Verwertung von mehrjährigen Energiepflanzen infrage. Die Kulturen Miscanthus, Sida und Switchgras

wurden im Versuch für diese Nutzungsrichtung geprüft. Die Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt diskutiert. Einzelwerte sind im Anhang unter Tabelle 51 dargestellt.

5.1.2.1 Trockenmasseertrag

Die Ergebnisse der ersten Ernte im Frühjahr 2016 sind in Abbildung 32 dargestellt. Die Mittelwerte über alle Versuchsstandorte zeigen, dass Miscanthus und Switchgras bereits zur ersten Ernte im Mittel der Standorte etwa 60 dt TM/ha brachten. Die Sida hatte einen sehr geringen Biomasseaufwuchs von nur 35 dt TM/ha.

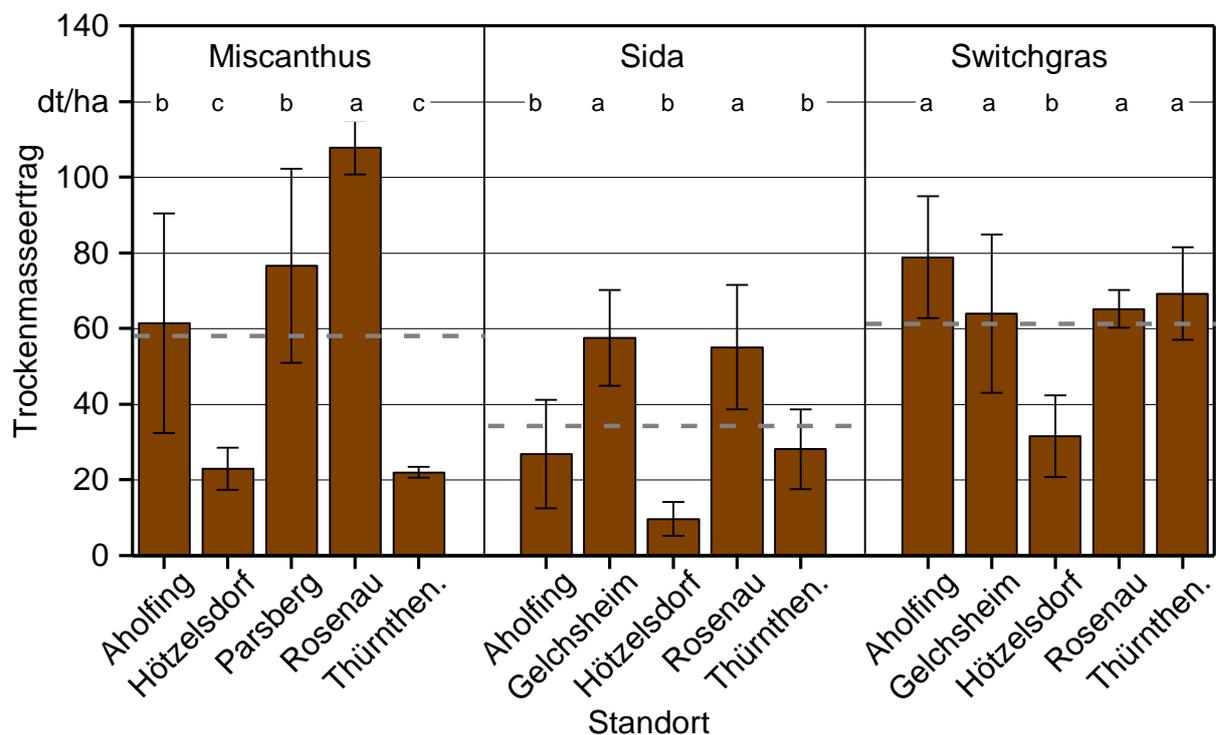


Abbildung 32: Trockenmasseertrag der mehrjährigen Energiepflanzen je Variante (signifikante Unterschiede innerhalb einer Kultur sind mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet, gestrichelte Linie = Mittelwert); Versuchsjahr 2016; $n = 4$

Miscanthus x giganteus kann unter günstigen Bedingungen sehr hohe Erträge bringen. KAHLE et al. [90] berichten von Erträgen zwischen 62 und 198 dt TM/ha bei Versuchen in Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Bayern in vier bis neun Jahre alten Beständen. Bayerische Untersuchungen am Standort Freising haben gezeigt, dass der mittlere TM-Ertrag über 25 Jahre bei 252 dt/ha liegt [67]. Dieses hohe Ertragspotenzial wird aber nur unter optimalen Bedingungen ausgeschöpft. SCURLOCK [149] beziffert das Ertragspotenzial auf schlechten Böden mit 50 bis 100 dt/ha und auf guten Böden 150 bis 240 dt/ha. Die im vorliegenden Versuch insgesamt geringen Ertragsergebnisse im Vergleich zu den Literaturwerten resultieren aus der langsamen Entwicklung der Pflanze. FRITZ et al. [55] berichten von einem Ertragsanstieg über die ersten zehn Jahre. Es ist

also davon auszugehen, dass sich das Ertragsniveau zumindest auf den geeigneten Standorten über die Jahre den Literaturwerten annähert.

Die deutlichen Unterschiede zwischen den Versuchsstandorten sind sicherlich auf mehrere Faktoren zurückzuführen. Miscanthus wächst beispielsweise nicht bei Staunässe und auch lange Trockenperioden verträgt er nicht [104]. Dies gibt Hinweis darauf, warum die Etablierung in Gelchsheim, dem wärmsten und niederschlagsärmsten Standort, problematisch war und 2015 neu gepflanzt werden musste (Abbildung 33). Auch in Thürnthenning, ein Standort der mit Kiesadern durchzogen ist, musste teilweise nachgepflanzt werden. Darauf beruht vermutlich auch das schlechte Ertragsergebnis. Obwohl Miscanthus als „low input“-Pflanze gilt und nach HIMKEN et al. [76] eine Stickstoffdüngung keinen Effekt auf das Ertragsergebnis der Kultur hat, wuchs Miscanthus auf dem humosen Boden des Standorts Rosenau am besten. Hier wurde signifikant mehr Biomasse geerntet (108 dt TM/ha) als auf allen anderen Standorten. Offenbar setzt Miscanthus die vorhandenen Nährstoffe des humusreichen Bodens bei ausreichend Feuchtigkeit in Biomasse um. Auch in Parsberg erreichte Miscanthus mit 77 dt TM/ha einen guten Ertrag. In Hötzelstdorf war die Etablierung erfolgreich. Das Klima ist für die C4-Pflanze dort aber nicht optimal. Nach MÜNZER [119] sind Lagen mit hoher Frostgefahr sowie windoffene Lagen für den Miscanthusanbau nicht geeignet. Auch ist es möglich, dass die höheren Schneemengen im Bayerischen Wald zu vermehrten Ernteverlusten führen. Nach diesen ersten Erfahrungen unter Einbeziehung der Kenntnisse aus der Literatur gedeiht Miscanthus besonders gut in mildem Klima auf humosen Böden mit ausreichend Feuchtigkeit. Trockene oder sehr kühle Standorte bieten keine optimalen Bedingungen. Die Ergebnisse der nächsten Jahre werden aber zeigen müssen, wie hoch die Ansprüche älterer Bestände an die Standortbedingungen sind.



Abbildung 33: *Miscanthus* in Gelchsheim (Foto vom 15.09.2014) und in Rosenau (Foto vom 19.09.2014) im Etablierungsjahr

Die thermische Variante der Kultur Sida (Abbildung 34) bestätigt im Großen und Ganzen die Erfahrungen, die auch mit der Biogasvariante gemacht wurden (Abschnitt 5.1.1.1). Bei milden Temperaturen in Gelchsheim, aber auch in Rosenau wurden signifikant höhere Erträge erwirtschaftet als auf den anderen Standorten. Der TM-Ertrag betrug hier 58

bzw. 62 dt/ha (Abbildung 32). In kühlen Regionen wie Hötzelstdorf bildete die Pflanze nur wenig Biomasse. Außerdem sind dort genau wie bei der Biogas-Variante die Bestände der Sida lückig und die Anzahl der Pflanzen pro m² ist im Vergleich zu den anderen Standorten gering. Eigene mehrjährige Untersuchungen am Standort Straubing ergaben einen TM-Ertrag von bis zu 120 dt/ha, wobei die Erträge in den ersten vier Jahren stetig anstiegen. Diese Ergebnisse decken sich mit Berichten aus Polen. Dort stiegen die Erträge über vier Jahre an und erreichten ein Maximum von 120 dt TM/ha [15]. Andere Untersuchungen der Autoren geben 130 dt TM/ha im vierjährigen Mittel als Ertragsergebnis an [14]. Untersuchungen der Autoren JABLONOWSKY et al. berichten von 150 dt TM/ha bereits zur ersten Ernte, allerdings handelt es sich dabei um eine Erhebung an fünf Einzelpflanzen. Insgesamt kommt das Ertragspotenzial der Sida unter bayerischen Bedingungen nicht an den Miscanthus heran. Im Vergleich mit Kurzumtriebsplantagen kann die Sida annähernd konkurrenzfähig sein. Hier werden die Zuwächse auf 100 bis 140 dt TM [3] [131] und das Maximum auf 180 dt TM/ha im Jahr geschätzt [91]. Die Sida hat jedoch den Vorteil, dass sie in der Regel mit der herkömmlichen landwirtschaftlichen Technik etabliert und bewirtschaftet werden kann sowie geringere Ansprüche an die Wasserversorgung stellt.



Abbildung 34: Sida-Bestand in Gelchsheim (Foto vom 9.3.2016)

Die dritte geprüfte mehrjährige Kultur zur thermischen Verwertung, das Switchgras (Abbildung 35), erzielte nur am Standort Hötzelstdorf signifikant geringere Erträge im Vergleich zu den Ergebnissen der anderen Versuchsstandorte. Das Maximum wurde in Aholting mit 79 dt TM/ha erreicht. Auch hier sind die Ergebnisse mit den Erfahrungen der Biogas-Variante vergleichbar. Kühles Klima (Hötzelstdorf) wirkte sich ertragsreduzierend

aus. Hohe Temperaturen, wenig Niederschlag oder Böden mit schlechter Wasserspeicherkapazität hingegen (Thürnthening) hatten keinen negativen Einfluss auf den Ertrag. Auch die gute Nährstoffverfügbarkeit des humosen Bodens in Rosenau brachte kein Plus an Ertrag. Im Gegensatz dazu berichten IQBAL *et al.*, dass sich mit einer N-Düngung von 80 kg/ha der Aufwuchs von Switchgras deutlich erhöht [86]. Der Biomasseertrag stieg von 79 auf 154 dt TM/ha an. Die mittlere Erntemenge über den ganzen Versuchszeitraum (2002 bis 2012) lag nach den genannten Autoren bei 102 dt TM/ha. Umfangreiche Untersuchungen von TRESELER [162] zeigen, dass die Sorte bzw. Reifegruppe einen erheblichen Einfluss auf die Biomasseleistung des Grases hat. Die Sorte Cave-in-Rock erreichte im zweiten Aufwuchs etwas über 80 dt TM/ha, wohingegen von der Sorte NL-93-1 140 dt TM/ha geerntet werden konnten. Die Literaturangaben und die Ergebnisse zeigen die ertragliche Überlegenheit des Miscanthus. IQBAL *et al.* schlussfolgern jedoch, dass aufgrund der niedrigeren Etablierungskosten und der höheren Frosttoleranz das Switchgras interessant für einige Grenzstandorte sein kann [86]. Hierzu zählen nach den ersten eigenen Erkenntnissen besonders Standorte mit warmen Sommern, geringen Niederschlägen oder sandigen Böden. Auch BÖHRNSEN sieht das Einsatzgebiet von Switchgras auf Grenzstandorten [13]. Zudem bleibt abzuwarten, wie sich die Erträge auf den Versuchsstandorten in den nächsten Jahren entwickeln.



Abbildung 35: Switchgras-Bestand in Gelchsheim (Foto vom 9.3.2016)

5.1.2.2 Trockensubstanzgehalt und Lageranfälligkeit

An Energiepflanzen zur thermischen Nutzung werden hohe Anforderungen hinsichtlich des Trockensubstanzgehalts zur Ernte gestellt. Sie werden deshalb im Frühjahr

(März/April) geschnitten, nachdem die Pflanze die Nährstoffe zurück in die Wurzeln verlagert und der Frost für ein vollständiges Absterben und Abtrocknen der oberirdischen Pflanzenteile gesorgt hat. Untersuchungen anderer Autoren haben auf der einen Seite gezeigt, dass bei einer früheren Ernte mit höheren Biomasseerträgen zu rechnen ist, da die Seneszenz und der Laubfall noch nicht abgeschlossen sind. Auf der anderen Seite ist der Feuchtegehalt im Erntegut noch zu hoch [15] und auch die Qualität des Brennmaterials verbessert sich erst im Laufe des Winters [87] [112] [86]. Hackschnitzel mit einem TS-Gehalt von 70 bis 80 % werden als lagerfähig klassifiziert [50]. Für halmgutartige Brennstoffe sollte der TS-Gehalt allerdings bei über 85 % liegen [91], um Substanzverlust, Selbstentzündung und Pilzverunreinigung zu vermeiden [46]. Andere Literaturquellen geben 80 % als Grenzwert an [10]. Eine Trocknung ist bei Einhaltung des TS-Gehalts nicht mehr notwendig. Abbildung 36 zeigt den mittleren Trockensubstanzgehalt von Miscanthus, Sida und Switchgras zur Ernte im Frühjahr 2016.

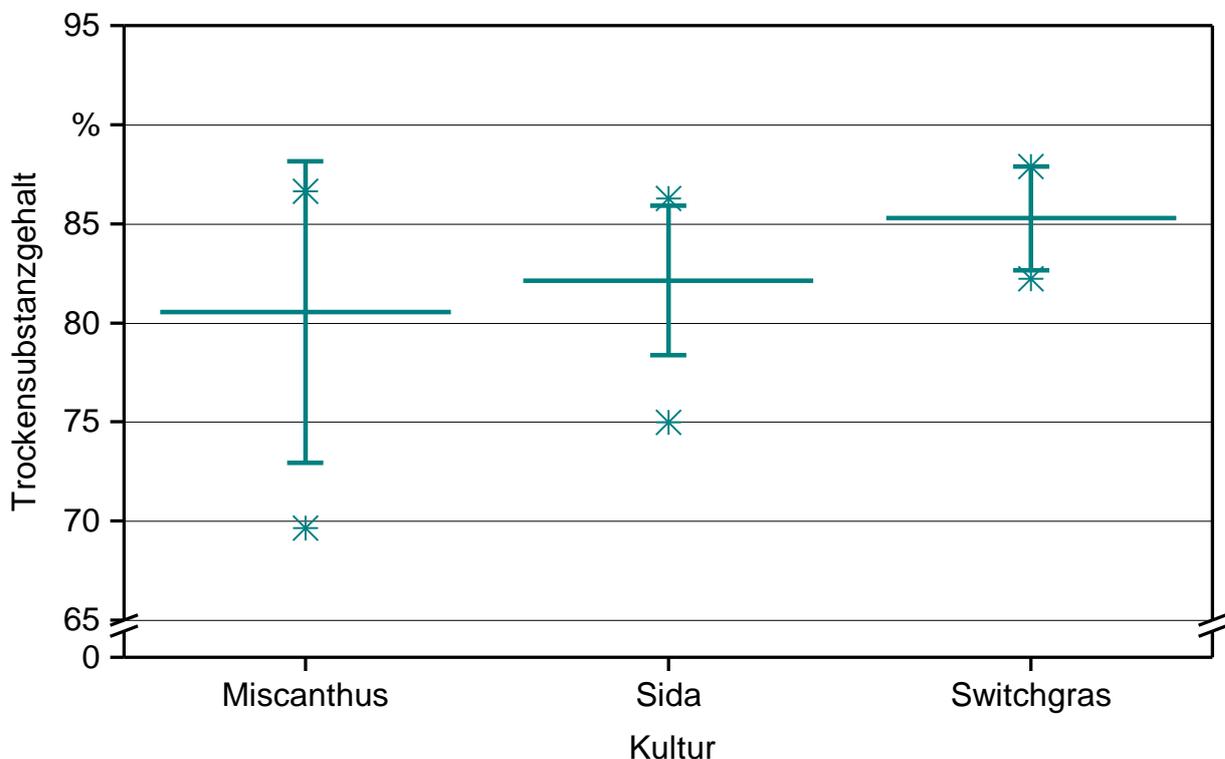


Abbildung 36: TS-Gehalt je Variante, gemittelt über die Standorte; Boxplot mit Mittelwerten (Mittelbalken), mit Standardabweichungen (Whisker) und Extremwerten (Stern), Versuchsjahr 2016, $n = 5$

Die Vorgaben der Lagerfähigkeit für Hackschnitzel konnten erreicht werden, im Mittel lag der TS-Gehalt aller drei Kulturen deutlich über 70 %. Den empfohlenen TS-Gehalt von 85 % für halmgutartige Brennstoffe hatte zur Ernte nur das Switchgras im Mittel überschritten. Die Standardabweichung und die Extremwerte verdeutlichen, dass sich der Ernte-TS an den Standorten unterschiedlich darstellte. Einfluss auf den TS-Gehalt haben vor allem die Witterungsbedingungen zur Ernte, der Erntezeitpunkt und die Standortbe-

dingungen [103]. Auch können milde Temperaturen über Winter die Abreife und damit die Abtrocknung verzögern. Findet die Ernte verspätet statt, kann der grüne Wiederaustrieb der Pflanzen ebenfalls den TS-Gehalt senken und die Lagerfähigkeit des Materials herabsetzen. Auch in anderen Untersuchungen wird deutlich, dass ein TS-Gehalt zur Ernte von $\geq 85\%$ nicht immer erreicht werden kann, besonders nicht wenn die Ernte frühzeitig im Jahr stattfindet [164] [87] [112] [10]. Weitere Versuchsjahre müssen zeigen, wie sich der TS-Gehalt über die Jahre bei den einzelnen Kulturen darstellt.

Neben dem Trockensubstanzgehalt ist die Lageranfälligkeit einer Kultur für deren Anbaueignung von entscheidender Bedeutung. Verunreinigtes Erntegut, höhere Feuchtegehalte und Ernteverluste sind die Folge von lagernden Beständen. Abbildung 37 gibt die Lagerboniturwerte zur ersten Ernte im Frühjahr 2016 wieder.

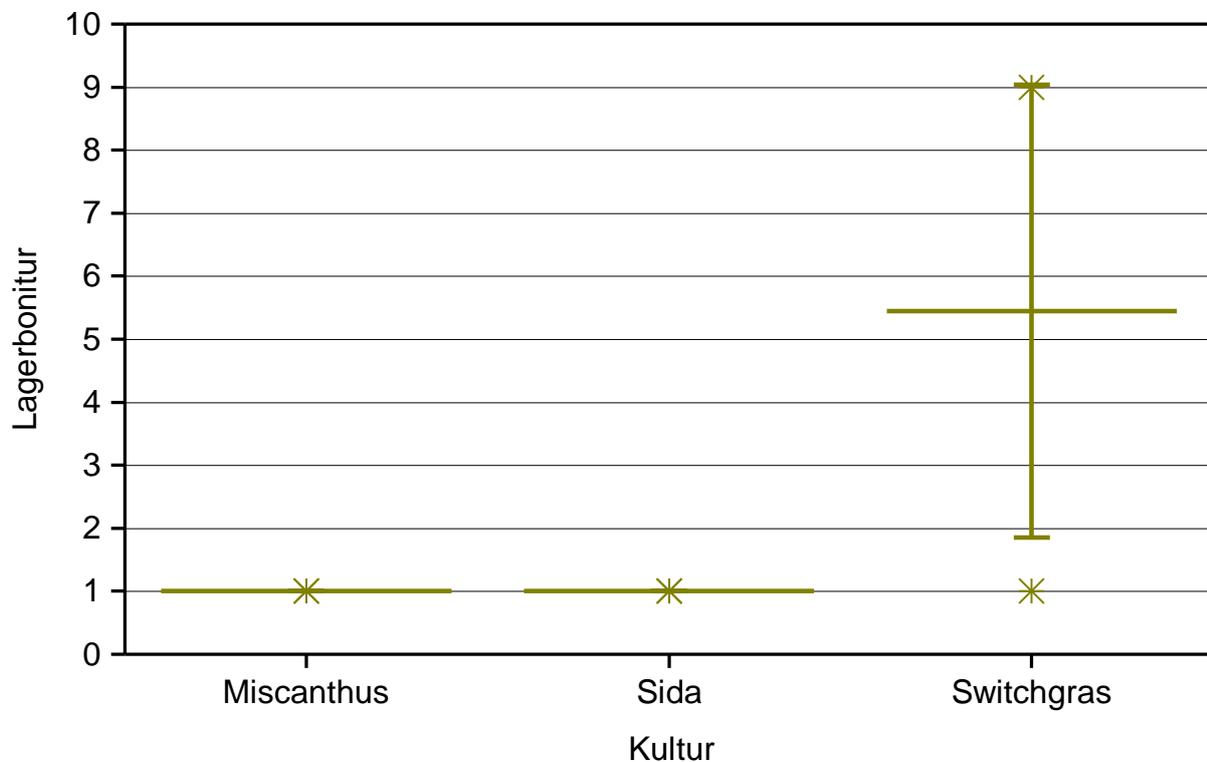


Abbildung 37: Lagerboniturwerte je Variante, gemittelt über die Standorte; Boxplot mit Mittelwerten (Mittelbalken), mit Standardabweichungen (Whisker) und Extremwerten (Stern), Versuchsjahr 2016, $n = 5$

Miscanthus und Sida bereiteten auf keinem der Standorte Probleme. Dies könnte allerdings auch dem milden Winter ohne nennenswerten Niederschlag in Form von Schnee geschuldet sein. Sida hat generell eine geringe Lageranfälligkeit [157]. Sie verliert die Blätter frühzeitig, sodass wenig Auflagefläche für Schnee oder Wind vorhanden ist. Bayerische Untersuchungen mit Miscanthus haben jedoch gezeigt, dass dieser standortabhängig oftmals ins Lager geht [56]. Besonders in schneereichen oder dem Wind ausgesetzten Standorten besteht eine hohe Lagergefahr. Switchgras verliert nur wenig Blätter über Winter und ist somit Schnee und Wind ausgesetzt. In amerikanischen Veröffentli-

chungen wird von vereinzeltm Auftreten von Lager berichtet [16]. Österreichische Untersuchungen berichten bei einer Ernte im September von starkem Lager [146], was den eigenen Erfahrungen entspricht (Abschnitt 5.1.1.2). Für schneereiche Lagen oder windexponierte Standorte ist der Anbau von Miscanthus oder Switchgras als Brennstoff nicht zu empfehlen.

5.1.3 Etablierung von Riesenweizengras und Switchgras

Ein Feldversuch zur Etablierung von Riesenweizengras und Switchgras wurde erstmalig 2014 (Anlage A) mit elf Varianten am Standort Straubing angelegt (siehe Abschnitt 4.2.2.2). Die Aussaat von Anlage B mit den gleichen Versuchsvarianten folgte 2015.

Im Etablierungsversuch sollten jeweils drei Saattermine (März/Juni/September) sowie die Etablierung in Reinsaat und als Untersaat (unter Hafer oder Sommertriticale) geprüft werden. Im zeitigen Frühjahr, z. B. in einer Praxisfruchtfolge nach Zuckerrüben oder Mais, erfolgte die erste Aussaat von Riesenweizengras und der Untersaat unter Hafer, welcher als GPS in der Biogasanlage genutzt werden kann. Für die zweite Gräserart Switchgras wurde auf diesen Saattermin verzichtet, da diese als C4-Gras ausreichende Temperaturen zur Keimung benötigt. Zweiter Saattermin war im Juni, z. B. nach der Ernte von GPS-Getreidebeständen. Es kamen dabei Riesenweizengras und Switchgras in Rein- und als Untersaat unter Sommertriticale zum Einsatz. Die Sommertriticale kann ebenfalls als GPS in der Biogasanlage verwendet werden. Eine späte Saat erfolgte im September, dabei kann die volle Vegetationszeit vorher für andere Kulturen genutzt werden. Eine Variante mit Hafer als Deckfrucht sollte dem Gras die Möglichkeit bieten, sich geschützt und gegebenenfalls ohne Herbizideinsatz entwickeln zu können. In dieser Variante muss der Boden nicht weitgehend unbedeckt in den Winter gehen. Während der Hafer im Winter abfriert, kann das Gras im Frühjahr in die Vegetation starten. Die Variante einer Untersaat unter Grünroggen bietet ebenfalls eine Bodenbedeckung über Winter. Und im Frühjahr ist noch ein Schnitt des Grünroggens als Biogassubstrat möglich, bevor das Gras ungestört wachsen kann.

Entwicklung im Etablierungsjahr

Die Entwicklung der Pflanzen war sehr unterschiedlich in Abhängigkeit von Saattermin und Grasart. Das Riesenweizengras zeigte generell eine zügige Keimung und ein schnelles Auflaufen mit gutem Feldaufgang. Die Jugendentwicklung verlief dann aber eher langsam, besonders bei der Variante mit Saattermin Ende Juni, was aus Abbildung 38 deutlich wird. Die warmen Temperaturen im Sommer kamen dem C3-Gras, welches besser bei kühlen Temperaturen im Frühling und Herbst wächst („cool-season-grass“), nicht entgegen. Gefördert wurde durch dieses Klima hingegen das Wachstum des Switchgrases. Nach gutem Feldaufgang entwickelten diese eher Wärme liebenden Pflanzen im Sommer recht schnell einen dichten Bestand (Abbildung 38). Im September hingegen, bei kühleren Temperaturen, keimte das Switchgras sehr langsam und die Vorwinterentwicklung war nicht ausreichend, um im nächsten Jahr einen zufriedenstellenden Bestand zu erreichen.



Abbildung 38: Riesenweizengras (links) und Switchgrass in Reinsaat (rechts) gesät, Saattermin Ende Juni 2014 (Foto vom 11.09.2014)

5.1.3.1 Riesenweizengras – Anlagen A und B

Ab dem zweiten Jahr entwickelten sich die Riesenweizengras-Bestände gut. Die März-Varianten zeigten sich als dichte Bestände. Aber auch die im Etablierungsjahr noch sehr dünnen Junisaaten des Riesenweizengrases (RWG) erholten sich im Laufe des Jahrs. Das im September gesäte Riesenweizengras, besonders die Variante unter Hafer (Abbildung 39) lag in seiner Entwicklung vorübergehend deutlich zurück. Die Untersaat unter Grünroggen erzielte, abgesehen von der Deckfrucht, selbst bis zum Herbst des zweiten Jahrs nur einen geringen Aufwuchs. 2015 (Anlage A) war dies dem extrem trockenen Sommer geschuldet. Aber auch in Anlage B, die 2016 das zweite Jahr erreichte, war der Aufwuchs der Untersaat-Variante unter Grünroggen bis zum Herbst nur gering. Es kam auch zu einem deutlichen Durchwuchs des bereits abgeernteten Grünroggens. Im darauffolgenden Jahr waren keine Entwicklungsunterschiede zwischen den Versuchsvarianten mehr erkennbar.

Die Zusammenstellung der Erträge von Anlage A der Erntejahre 2014 und 2015 in Abbildung 40 und Anlage B in Abbildung 41 zeigt hinsichtlich des Gesamtertrags den Vorteil der bereits im März unter Hafer gesäten Variante mit 313 bzw. 229 dt TM/ha. Durch den Aufwuchs des Hafers im Vorjahr ergab sich ein deutlicher Ertragsvorteil im kumulierten Ergebnis. Eine Reinsaat im März lohnte sich hingegen nicht. Der Aufwuchs war gering, insofern wurde die 1. Vegetationszeit so gut wie „verschenkt“.

Das im Juni unter Sommertriticale gesäte Riesenweizengras (Anlagen A und B) zeigte sich im zweiten Versuchsjahr (2015 bzw. 2016) etwas ertragsschwächer als die Vergleichsvariante in Reinsaat. Im Vorjahr hatte sich das Gras nur lückig entwickelt und der Aufwuchs der Sommertriticale in Anlage B war gering gewesen. In Anlage A glich sich der Ertragsnachteil bei der Ernte des Riesenweizengrases zwar durch die Erntemenge der Triticale aus dem Vorjahr weitgehend aus, allerdings sind dafür doppelte Saatkosten anzurechnen. Im Vergleich zur Märzvariante unter Hafer (Deckfrucht + Hauptfrucht) erreichten die Junisaaten einen geringeren, über den gesamte Versuchszeitraum kumulierten Ertrag. Allerdings könnte bei diesem Saattermin noch eine Vorfrucht genutzt werden.

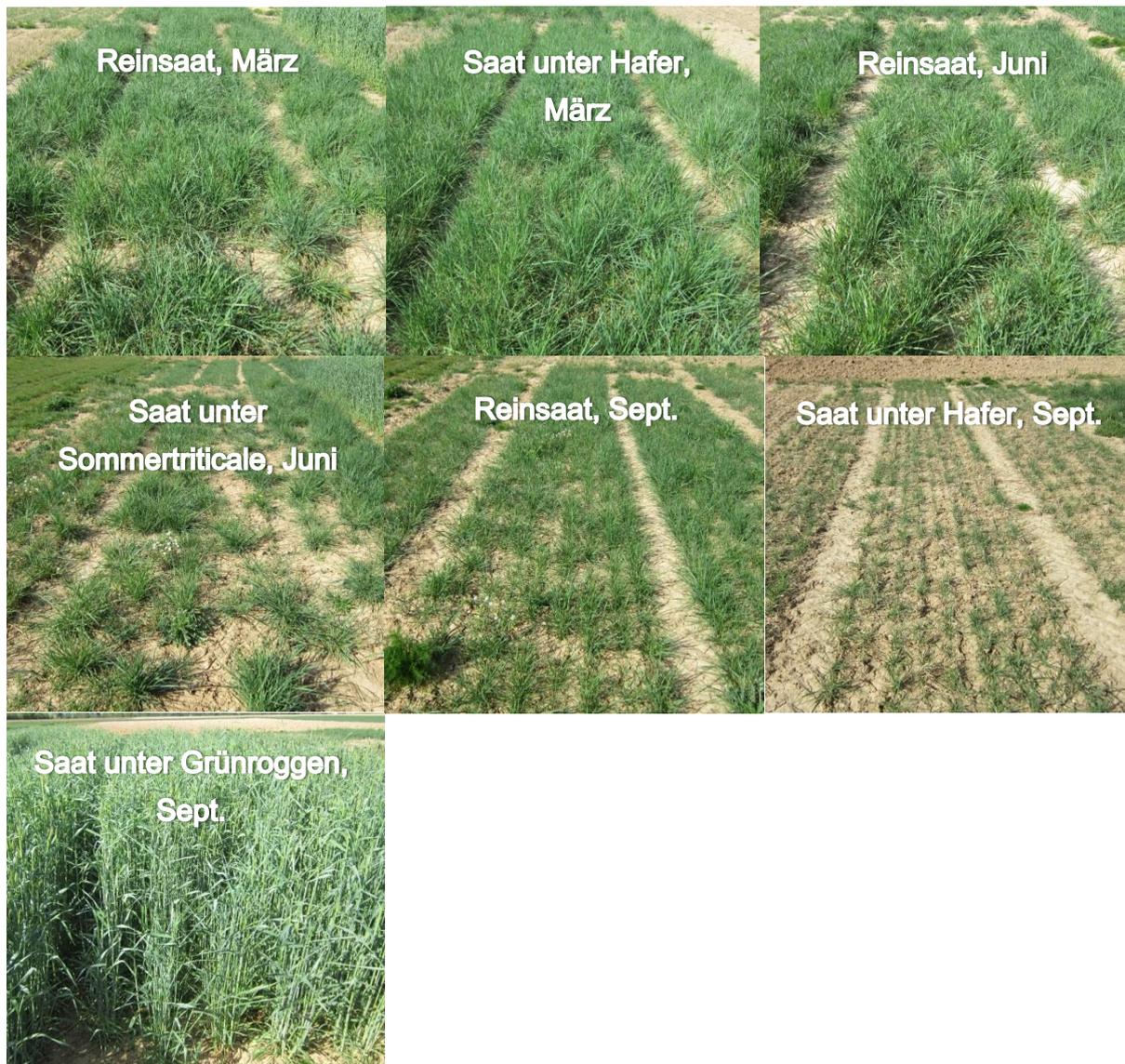


Abbildung 39: Riesenweizengras-Varianten der Gräser-Etablierung Anlage A (Saat 2014; Foto vom 27.04.2015)

Eine Saat des Riesenweizengrases im September unter abfrierendem Sommerhafer brachte keinen Vorteil, sondern verzögerte die Entwicklung im Frühjahr des Folgejahrs (siehe Anlage A in Abbildung 40). In Anlage B war der Hafer leider über Winter nicht abgefroren, sodass im Frühjahr 2016 zwar die Deckfrucht, dafür aber nur ein geringer Aufwuchs des Riesenweizengrases geerntet wurde. Die weitgehende Bedeckung des Bodens über Winter durch den Hafer ist jedoch positiv zu werten. Auch die Untersaat unter Grünroggen hatte sich ertraglich nicht ausgezahlt, da sich die Entwicklung des Grases ebenfalls verzögerte und dadurch der Ertrag geringer ausfiel als bei der Reinsaat-Variante. Zudem bereitete der Wiederaustrieb des Grünroggens Probleme. Eine ausreichende Unterdrückung der Unkräuter wurde auch durch die Deckfrucht nicht erreicht.

2016 glichen sich die Erträge von Anlage A weitgehend an. Auch bei den im Vorjahr noch zurückliegenden Varianten mit Saattermin im September oder der etwas lückig aufgelaufenen Junisaat war hier 2016 kein Ertragsnachteil mehr zu erkennen.

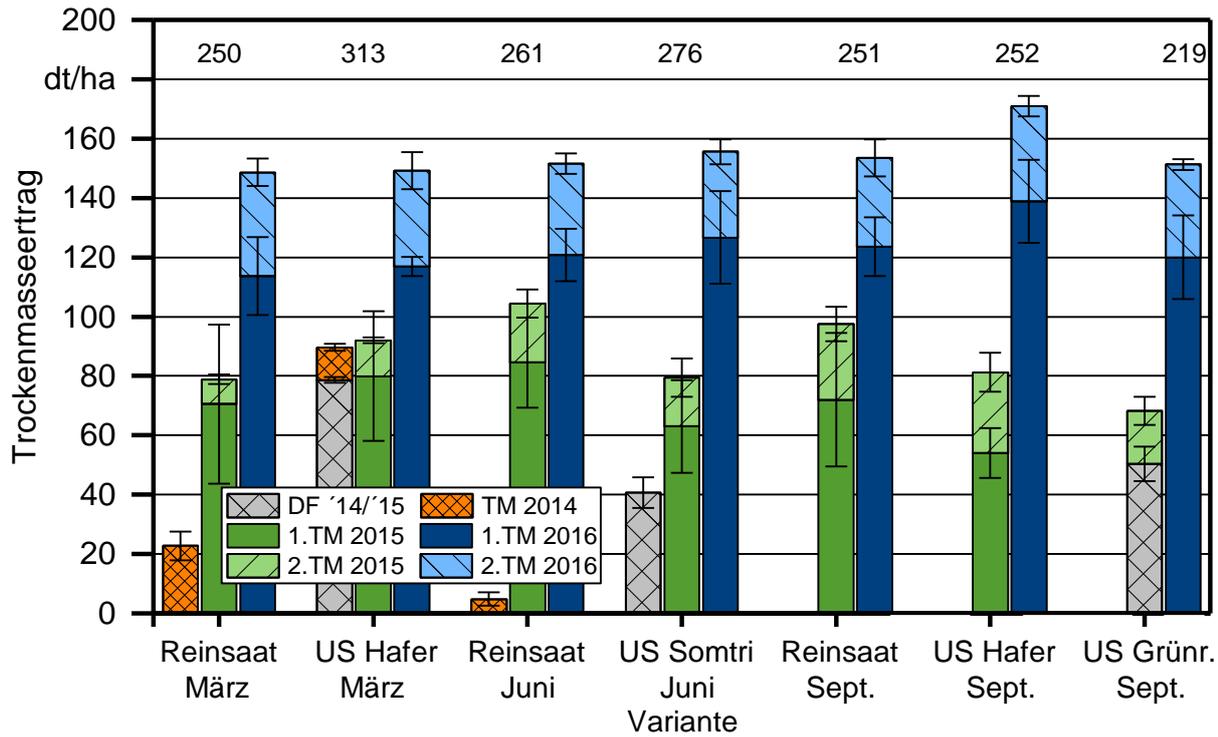


Abbildung 40: Trockenmasseertrag des Riesenweizengrases im Gräser-Etablierungs-Versuch; Anlage A; n = 4; der kumulierter Ertrag 2014 bis 2016 ist über den Säulen abgetragen

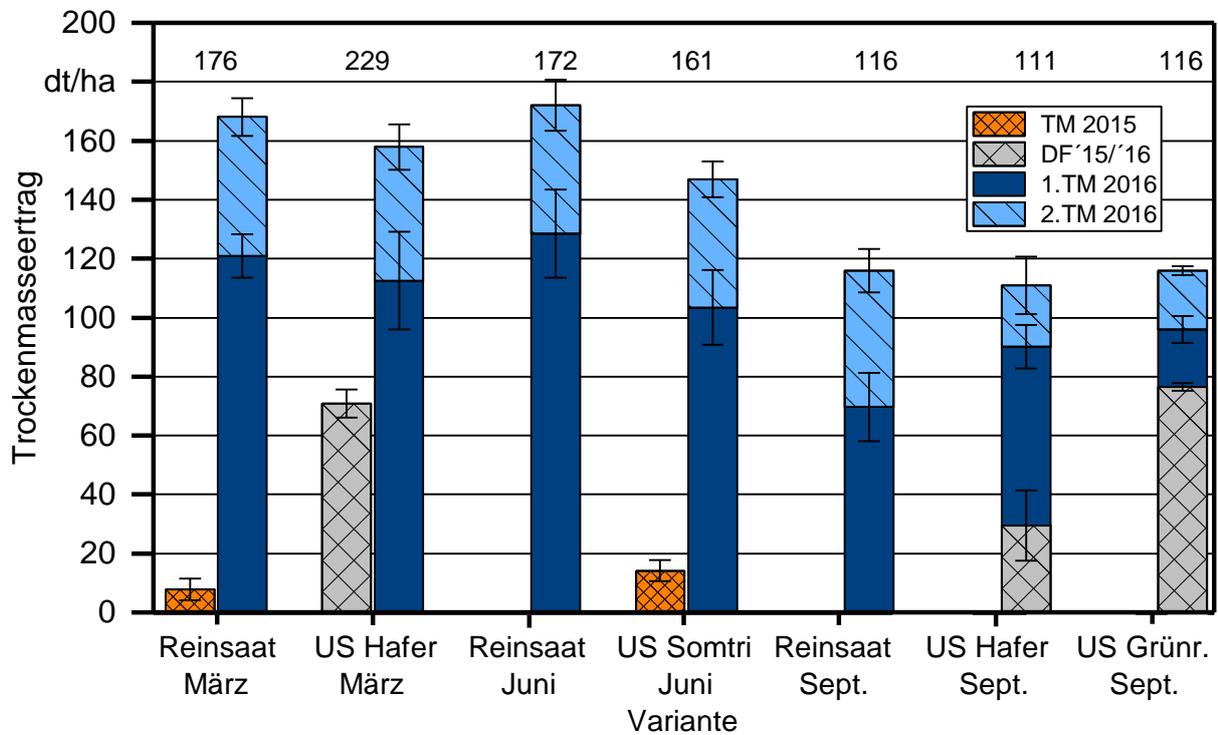


Abbildung 41: Trockenmasseertrag des Riesenweizengrases im Gräser-Etablierungs-Versuch; Anlage B; n = 4; der kumulierter Ertrag 2015 bis 2016 ist über den Säulen abgetragen

Insgesamt betrachtet ist für Riesenweizengras eine Saat im März bis September möglich. Eine Märzsaat kann vorteilhafterweise als Untersaat erfolgen, um den Ertragsausfall im ersten Jahr zu kompensieren. Auch andere Autoren berichten von positiven Erfahrungen mit einer Etablierung als Untersaat unter Sommergetreide [73]. Eher empfohlen wird jedoch die Saat im Sommer [129]. Bei einer Saat ab Juni könnte noch eine Vorfrucht genutzt werden. Die Sommertrockenheit und der dadurch bedingt lückige Feldaufgang können für diesen Saatzeitpunkt allerdings ein Problem darstellen (Abbildung 42). Auf feuchte Bedingungen zur Saat ist zu achten. Die Etablierung als Untersaat ist im Sommer ungünstig, da dies die Konkurrenz um Wasser verschärft. Ob Septembersaaten möglich sind, sollte standortabhängig beurteilt werden. Im Straubinger Raum beispielsweise war im Versuch eine Aussaat bis Mitte September noch möglich. Hierbei kann die Vegetationsperiode im Etablierungsjahr noch fast vollständig für andere, ertragreiche Kulturen genutzt werden. Um Schäden durch einen etwaigen frühzeitigen Kälteeinbruch zu vermeiden, empfiehlt es sich allerdings, die Saat bis Anfang September abzuschließen. Auf kühlen Standorten, wie z. B. im Bayerischen Wald, kann die Vorwinterentwicklung unzureichend sein. Besser ist es hier wahrscheinlich, einen früheren Saattermin, noch im August, zu wählen. Versuchsergebnisse dazu liegen aber nicht vor. Untersaaten bei einer Aussaat im September brachten im Versuch keinen Vorteil.



Abbildung 42: Schlechter Feldaufgang des Riesenweizengrases; Anlage B; Saat Juni 2015 (Saat 2015, Foto vom 15.09.2015)

5.1.3.2 Switchgras – Anlagen A und B

Im Frühjahr des zweiten Jahrs entwickelte sich das Switchgras (SG) der Versuchsanlagen A und B zunächst zögerlich (Abbildung 43). Besonders die Untersaat (US) unter Sommertriticale (Somtri) der Anlage A war aufgrund des dünnen Bestands stark ver-

unkrautet. Diese Variante (Anlage A) war bei der Ernte im Vorjahr durch einen zu tiefen Schnitt geschädigt worden. Im Sommer kamen die warmen Temperaturen dem Wärme liebenden Gras zugute, was die Entwicklung beschleunigte. Bis zur ersten Ernte im zweiten Versuchsjahr wuchsen dichte Beständen auf. Die Variante mit Saat im September fiel sowohl in Anlage A als auch in Anlage B komplett aus. Aufgrund einer unzureichenden Vorwinterentwicklung waren sämtliche Pflanzen über Winter abgestorben.

Die Erträge der Switchgras-Varianten sind in Abbildung 44 und Abbildung 45 dargestellt. Eine Märzsaat ist für die Switchgras-Varianten nicht geprüft worden, da Switchgras erst spät im Frühling zu wachsen beginnt [168]. Die Bodentemperatur sollte zur Saat 15 °C erreicht haben [44]. Die Saat im Juni stellte sich als günstig heraus. Eine Untersaat unter Triticale hat sich jedoch nicht bewährt. Die Erntemenge der Deckfrucht (Anlage A) war 2014 mit knapp 40 dt TM/ha gering und deckte wahrscheinlich gerade die Saatkosten. 2015 (Anlage B) fiel der Ertrag der Deckfrucht bedingt durch die Trockenheit aus. In anderen Untersuchungen wurde Switchgras erfolgreich unter Mais etabliert, um das ertragsfreie erste Jahr zu überbrücken [77]. Die Saat des Maises müsste dann allerdings ortsüblich und die Untersaat des Switchgrases nach dem letzten Frost erfolgen. Alternativ kann die Zeit bis zur Saat auch mit einer Vorfrucht genutzt werden. Den trockenen Sommer 2015 überstand das Switchgras wesentlich besser als das Riesenweizengras. Auch der Feldaufgang in diesem Sommer war trotz der Trockenheit gut (Abbildung 46). Switchgras ist bezüglich der Wasserverfügbarkeit weniger anspruchsvoll als Riesenweizengras. Eine Saat im September ist für diese Kultur am Standort Straubing zu spät. Aufgrund von Erfahrungen anderer Versuche muss auf kühleren Standorten auch eine Augustsaat ausgeschlossen werden. Am besten lässt sich Switchgras im Juni oder Juli etablieren, dann kann die Vegetationszeit vorher noch für eine andere Kultur genutzt werden. Auch eine Saat im Frühjahr, vor dem letzten Frost, ist nicht sinnvoll.



Abbildung 43: Switchgras-Varianten der Gräser-Etablierung; Anlage A (Saat 2014, Foto vom 21.05.2015)

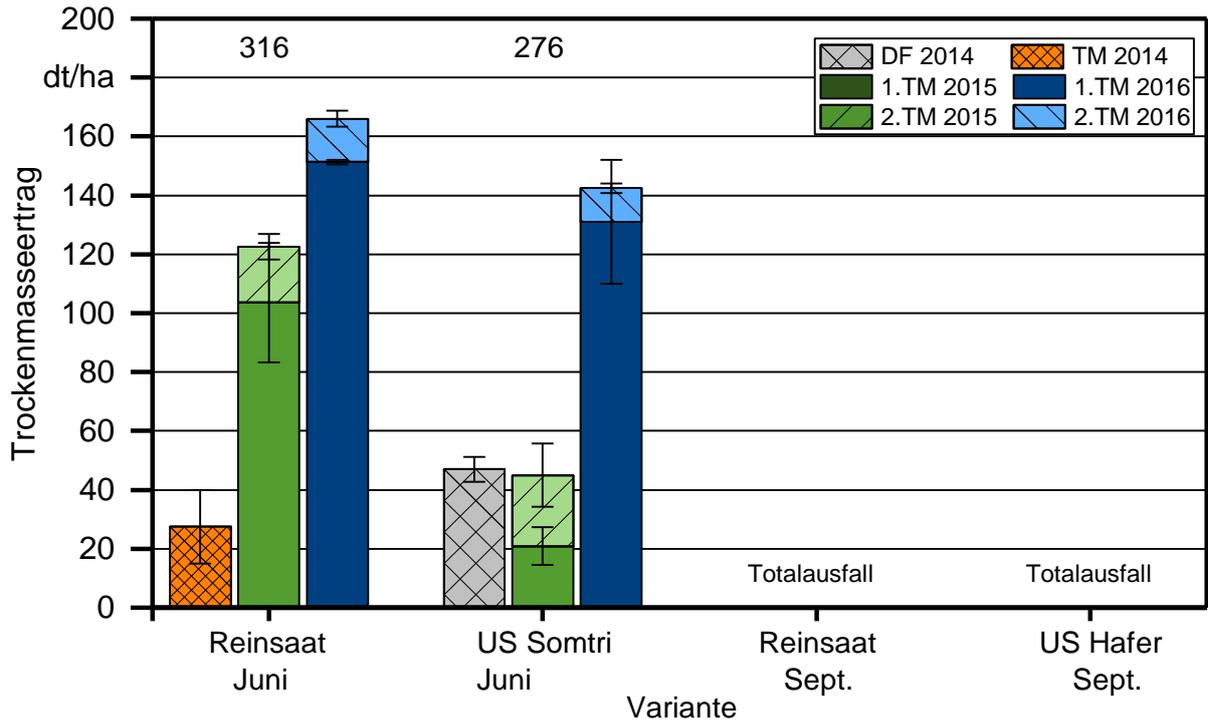


Abbildung 44: Trockenmasseertrag des Switchgrases im Gräser-Etablierungs-Versuch; Anlage A; n = 4; der kumulierter Ertrag 2014 bis 2016 ist über den Säulen abgetragen

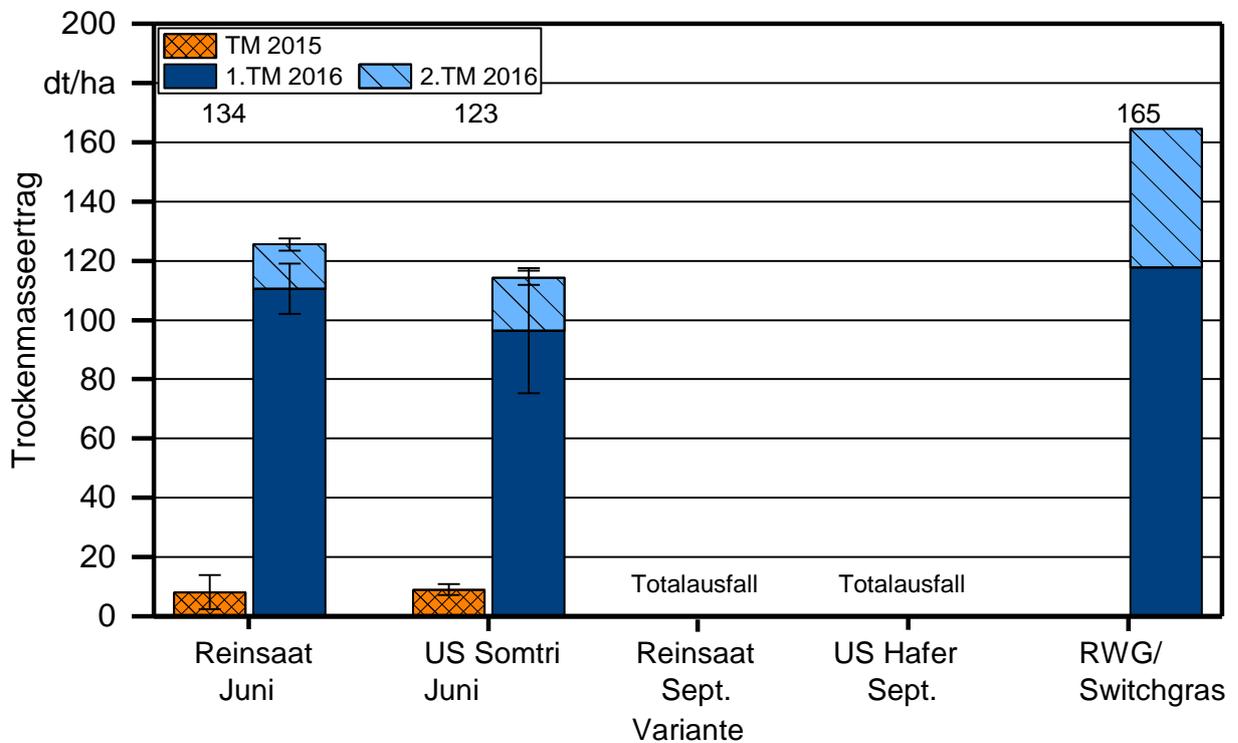


Abbildung 45: Trockenmasseertrag des Switchgrases im Gräser-Etablierungs-Versuch; Anlage B; n = 4; der kumulierter Ertrag 2015 bis 2016 ist über den Säulen abgetragen



Abbildung 46: Guter Feldaufgang des Switchgrases; Anlage B; Saat Juni 2015 (Saat 2015, Foto vom 15.09.2015)

Neben der Erhebung des Trockenmasseertrags sowie der Bonitur der Pflanzenentwicklung wurden die TS-Gehalte zur Ernte dokumentiert sowie Lager und Bestandshöhen zur Ernte bonitiert. Diese Ergebnisse sind im Anhang in Tabelle 56 und Tabelle 57 zu finden. Eine Diskussion der Parameter TM-Ertrag, TS-Gehalt und Lager erfolgt losgelöst von der Etablierungsart in Abschnitt 5.1.1 im Zusammenhang mit der Ergebnisdarstellung zur Anbaueignung der Kulturen.

Mischanbau Riesenweizengras/Switchgras

Als Tastversuch ohne Wiederholung wurde 2015 der Anbau einer Saatgutmischung von Riesenweizengras und Switchgras erprobt. Riesenweizengras hat als C3-Gras seine Hauptentwicklung eher im kühlen Frühjahr und im Herbst. Für das Switchgras, eine Wärme liebende C4-Pflanze, ist der warme Sommer förderlich für Entwicklung und Wachstum. Im Testanbau wurde erprobt, ob sich die Wachstumspause des Riesenweizengrases im Sommer durch den Mischungspartner Switchgras überbrücken und ertraglich nutzen lässt. Das Ergebnis dieses Tastversuchs ist aus Abbildung 45 ersichtlich. Mit 165 dt TM/ha lag der Ertrag auf dem Niveau der reinen Riesenweizengras-Bestände. Der erste Aufwuchs bestand hauptsächlich aus Biomasse des Riesenweizengrases. Im zweiten Aufwuchs war der Hauptbestandbildner das Switchgras, welches die Vegetationslücke im Sommer optimal nutzte und auch das Unkraut gut unterdrückte. Gesicherte Erkenntnisse lassen sich aus diesem Testanbau nicht ableiten. Es müsste mehrjährig beobachtet werden, wie sich die Zusammensetzung des Bestands entwickelt und ob es mit der Zeit zur Verdrängung des einen oder anderen Mischungspartners kommt.

5.1.4 Herbizid-Verträglichkeit von Sida, Durchwachsener Silphie und Switchgras

Da es bisher kaum Untersuchungen und Hinweise zur Herbizid-Verträglichkeit von Sida, Silphie und Switchgras gibt, wurde 2014 zunächst in einem Vorversuch (Anlage A) eine breite Auswahl an Mitteln geprüft (Tabelle 10 bis Tabelle 12). Im darauffolgenden Jahr wurde der Versuch erneut mit angepasster Mittelauswahl angelegt (Anlage B, Tabelle 13 und Tabelle 14). Aus Platzgründen musste die Prüfung der Herbizid-Verträglichkeit des Switchgrases in Anlage B entfallen. Die Pflanzen wurden zu drei Terminen und in der Regel mit drei verschiedenen Aufwandmengen behandelt. Nähere Angaben zum Zeitpunkt der Applikation befinden sich in Tabelle 9 und Tabelle 15.

Bei den Ergebnissen zum Biomassedefizit wird das Defizit im Vergleich zur unbehandelten, mechanisch unkrautfreien Kontrolle dargestellt. Es handelt sich dabei um eine optische Bonitur. Mit Ausnahme des Mittels Stomp Aqua in Silphie besitzt keines der geprüften Mittel eine Zulassung für die jeweilige Kultur. Vor Einsatz ist unbedingt eine Ausnahmegenehmigung gemäß § 22 Abs. 2 Pflanzenschutzgesetz einzuholen.

5.1.4.1 Vorversuch – Anlage A

Im Versuchsjahr 2014 wurde Anlage A des Herbizid-Verträglichkeits-Versuchs mit den Kulturen Silphie, Sida und Switchgras am Standort Straubing angelegt. Das Switchgras hatte in der Kontrollvariante einen guten Feldaufgang und auch die Jugendentwicklung verlief problemlos. Schädigungen konnten im Vergleich zur Kontrollvariante gut bonitiert werden. Der gepflanzte Bestand der Silphie wuchs zwar insgesamt zufriedenstellend an, die Entwicklung der Pflanzen war jedoch etwas inhomogen und sichtbar abhängig von den individuellen Pflanzbedingungen (Pflanztiefe, Andrücken etc.). Dies erschwerte die Bonitur der Schädigung. Die Samen der Sida liefen sehr zögerlich und lückig auf. Die Pflanzen entwickelten sich nur langsam und der Bestand der Kontrollvariante blieb bis zuletzt sehr dünn. Die Bonitur war aufgrund des dünnen und zu inhomogenen Bestands sehr schwierig und lässt daher keine gesicherte Bewertung zu.

Sida

Trotz der schwierigen Boniturbedingungen im Sida-Bestand konnten einige Varianten aufgrund von Totalausfall für die weitere Prüfung in 2015 ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse in Tabelle 29 zeigen das Biomassedefizit zum Vegetationsende 2014.

Stomp Aqua, Fuego, Diflanil 500 SC und Spectrum führten beim Einsatz in Sida als Voraufmittel (VA) zum Totalausfall (Abbildung 47). Auch bei den späteren Einsatzzeitpunkten T2 und T3 wurden die Pflanzen durch Stomp Aqua und Diflanil 500 SC deutlich in ihrem Wachstum gehemmt, sodass diese Mittel für den Einsatz in Sida nicht infrage kommen. Ebenso schädigend im VA waren die Mittel Boxer und Ethosat 500. Im Nachauflauf trat eine mittlere Schädigung durch Boxer, Spectrum, Metamitron SC, Belvedere Extra und Ethosat 500 auf. Lentagran WP sowie Buctril und Fox als Kontaktmittel waren mit einer teilweise hohen Schädigung verbunden und wurden daher nicht weiter geprüft.

Als einzige Mittel mit nur leichter Schädigung (T3) stellten sich Metamitron SC, Ethosat 500 und Belvedere Extra in geringer Aufwandmenge sowie das Gräsermittel Aramo heraus. Lentagran WP und Belvedere Extra wurde von Praktikern empfohlen, die vorliegenden Ergebnisse lassen aber keine uneingeschränkte Empfehlung zu.

Für eine Unkrautbekämpfungsstrategie in Sida gab es nach diesen ersten Ergebnissen nur sehr wenig Spielraum. Die Sida stellte sich als extrem empfindlich heraus. Eine weitere Prüfung mit angepassten Versuchsvarianten und besser etablierten Versuchspflanzen/-beständen sollte die Erfahrungen und Ergebnisse des ersten Versuchsjahrs (Anlage A) verdichten und bestätigen.

Detaillierte Boniturwerte sind Tabelle 58 und Tabelle 59 im Anhang zu entnehmen.

Tabelle 29: Sida; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Versuchsjahr 2014; Bonitur kurz vor Umbruch (BBCH 12–14 der Kultur), n = 3

Mittel mit Aufwandmenge in l bzw. kg/ha (a/b/c)	Biomassedefizit in %										Weitere phytotoxische Symptome
	T1			T2			T3			T4	
	a	b	c	a	b	c	a	b	c		
Stomp Aqua (1,0/2,0/4,0)	95	98	99	75			70				Verfärbung, Wuchsdeform.
Boxer (1,5/3,0/6,0)	50	80	90	25	30						Chlorosen
Fuego (0,75/1,5)	99	99									Ausfall
Diflanil 500 SC (0,15/0,3/0,6)	97	99	99	90	95						Bleaching, Nekrosen
Metamitron SC (0,5/1,0/2,0)	0	5	5	20	35	50	5		5		Chlorosen
Spectrum (0,5/1,0/2,0)	95	99	99	15	35						Chlorosen
Ethosat 500 (1,0/2,0)	25	45		30			15				Chlorosen
Belvedere Extra (0,5/1,0/2,0)				20	45	70	5	10	25		Chlorosen
Lentagran WP (0,75/1,5)							60	85			Chlorosen, Nekrosen
Fox (0,25/0,5/1,0)							70	98	99		Chlorosen, Nekrosen
Buctril (0,25/0,5/1,0)							15	40	50		Chlorosen, Nekrosen
Aramo (1,0)										10	Chlorosen
Metamitron SC + Belvedere Extra (1,0 + 1,0)				90							Chlorosen

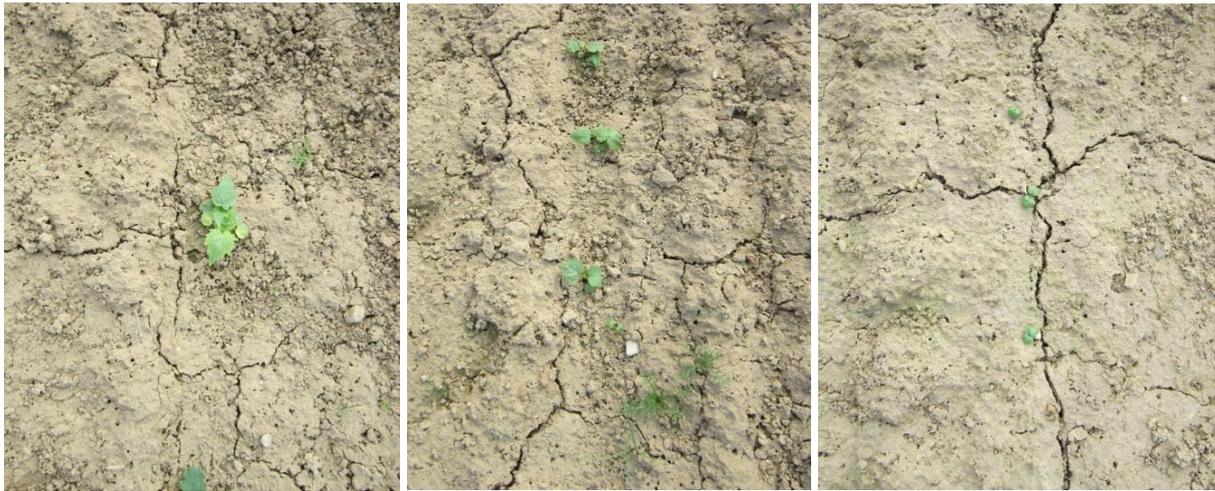


Abbildung 47: Herbizidversuch mit Sida, Behandlungszeitpunkt T1, unbehandelte Kontrolle (links); 1 l/ha Metamitron (Mitte), 4 l/ha Stomp Aqua (rechts, Foto vom 19.09.2014)

Silphie

Im gepflanzten Bestand der Silphie wurden nur sehr geringe Schädigungen sichtbar (Tabelle 30), fast alle geprüften Mittel zeigten sich als relativ verträglich. Einzig das Mittel Diflanil 500 SC führte zum Ausfall nahezu aller Silphie-Pflanzen (Abbildung 48). Boxer, Lentagran WP und Buctril verursachten eine geringe Wuchshemmung von 5 bis maximal 30 % bis 28 Tage nach der Applikation (siehe Tabelle 60 und Tabelle 61 im Anhang). Im weiteren Vegetationsverlauf glichen sich die Varianten jedoch wieder an. Zum Vegetationsende waren keine Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle mehr erkennbar. Da mittlerweile das viel kostengünstigere Saatverfahren zur Etablierung eingesetzt wird, sollte die weitere Prüfung 2015 (Anlage B) an einem gesäten Silphie-Bestand erfolgen.



Abbildung 48: Herbizidversuch mit Silphie, Behandlungszeitpunkt T1, unbehandelte Kontrolle (links); 0,3 l/ha Diflanil 500 SC (Mitte), 4 l/ha Stomp Aqua (rechts, Foto vom 04.08.2014)

Tabelle 30: *Silphie; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Versuchsjahr 2014; Bonitur kurz vor Umbruch (BBCH 17–19 der Kultur); n = 3*

Mittel mit Aufwandmenge in l bzw. kg/ha (a/b/c)	Biomassedefizit der Biomasse in %										Weitere phytotoxische Symptome
	T1			T2			T3			T4	
	a	b	c	a	b	c	a	b	c		
Stomp Aqua (1,0/2,0/4,0)		0	0	0	0			0			
Boxer (1,5/3,0/6,0)		0	0	0	0						
Fuego (0,75/1,5)	0	0									
Diflanil 500 SC (0,15/0,3/0,6)		95	100	93	99						Chlorosen
Spectrum (0,5/1,0/2,0)		0	0	0	0	0					
Metamitron SC (0,5/1,0/2,0)		0	0	0	0	0					
Ethosat 500 (2,0)	0			0			0				
Belvedere Extra (0,5/1,0/2,0)				0	0	0		0	0		
Lentagran WP (0,75/1,5/3,0)							0	0	0		
Fox (0,5/1,0)							0	0			
Buctril (0,5/1,0)							0	0			
Aramo (2,0)										0	

Switchgras

Im Switchgras fiel das Ergebnis der Herbizidprüfung recht unterschiedlich aus (Tabelle 31). Die im Voraufbau eingesetzten Bodenherbizide Stomp Aqua, Boxer, Fuego, Diflanil 500 SC, Ethosat 500 und Spectrum führten fast alle zum Totalausfall. Für den Einsatz in Switchgras im Voraufbau sind sie nach diesen Ergebnissen nicht geeignet. Boxer, Diflanil 500 SC, Spectrum und Ethosat 500 schädigten die Pflanzen auch im Nachaufbau (T2) schwer. Zu etwas späterem Zeitpunkt (T3) führten einige Mittel aus dem Getreideanbau, wie z. B. Axial, Atlantis WG oder auch Lentagran WP und Ethosat 500, zu einer leichten bis mittleren Schädigung. Ohne Biomassedefizit im Vergleich zur Kontrolle blieben nur die Varianten der rein blattaktiven Mittel Fox und Buctril. Einkeimblättrige Unkräuter lassen sich damit aber nicht bekämpfen. Das Gräsermittel Aramo führte selbst bei sehr spätem Applikationszeitpunkt noch zu einer mittleren Schädigung. Eine wirksame Herbizidstrategie gegen Ungräser ohne jegliche Schädigung ist nach vorliegenden Ergebnissen in Switchgras nicht verfügbar. Am ehesten ist der Einsatz geringer Mengen an Atlantis WG oder auch Lentagran WP zu vertreten. Eine weitere Prüfung im darauffolgenden Versuchsjahr fand aus Mangel an Versuchsfläche nicht statt. Detaillierte Boniturwerte sind im Anhang in Tabelle 62 und Tabelle 63 dargestellt.

Tabelle 31: Switchgras; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Versuchsjahr 2014, Bonitur kurz vor Umbruch (BBCH 15–30 d. Kultur), $n = 3$

Mittel mit Aufwandmenge in l bzw. kg/ha (a/b/c)	Biomassedefizit der Biomasse in %												Weitere phytotoxische Symptome
	T1			T2			T3			T4			
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
Stomp Aqua (2,0/4,0)	98	99		15			15						Chlorosen
Boxer (3,0/6,0)	67	70		75									Chlorosen
Fuego (1,5)	100												
Diflanil 500 SC (0,3/0,6)	98	99			50								Bleaching
Spectrum (1,0/2,0)	97	98		95	98								Chlorosen
Axial (0,3/0,6)							30	50					
Ethosat 500 (2,0)	100			95			25						Chlorosen
Atlantis WG (0,25/0,5)							20	25					Chlorosen
Lentagran WP (1,5/3,0)							3	10					Chlorosen
Fox (1,0)							0						Nekrose
Buctril (1,0)							0						Nekrose
Aramo (0,25/0,5/1,0)										30	75	95	Anthocyanverfärbungen

5.1.4.2 Hauptversuch – Anlage B

Im Versuchsjahr 2015 wurde Anlage B des Herbizid-Verträglichkeits-Versuchs mit den Energiepflanzen Sida und Silphie an den Standorten Wolferkofen und Straubing angelegt. Aufbauend auf den Ergebnissen des Feldversuchs der Anlage A konnte die Mittelauswahl für die Feldprüfung in 2015 angepasst werden. Die Anlage der Versuchsflächen bzw. die Etablierung eines Bestands war durch die extreme Trockenheit 2015 schwierig. Sowohl Sida als auch Silphie hatten einen lückigen Feldaufgang. Ebenso trat auf der Fläche der Silphie massive Altverunkrautung mit Disteln auf, die die geprüften Mittel nicht erfassten. Das Keimen der Sida fand sehr verzögert und über mehrere Wochen hinweg statt. So waren auch nach den Herbizidbehandlungen teilweise noch frisch gekeimte Pflanzen zu finden. Die beschriebenen Gegebenheiten und damit einhergehend etwas inhomogenen Bestände erschwerten eine Bonitur der Herbizid-Verträglichkeit.

Sida

Das Biomassedefizit der Sida, im Vergleich zur unbehandelten, mechanisch unkrautfreien Kontrolle, ist in Tabelle 32 angegeben. Keine der behandelten Varianten blieb gänzlich ohne Schädigung bzw. ohne Beeinträchtigung des Wachstums. Das Defizit war im Vergleich mit der Kontrolle aber nur teilweise statistisch signifikant. Dies dürfte auf die

inhomogenen Bestände angesichts des schlechten Auflaufverhaltens zurückzuführen sein. Starke Schädigungen von über 50 % ergaben sich bei einer Mittelkombination von Metafol SC + Belvedere Extra, bei der Variante Lentagran WP (1,5 kg) sowie bei hoher Aufwandmenge des Mittels Boxer von 6 l/ha. Aber auch geringere Mengen des Mittels Boxer (3 l, T1) bzw. 0,75 l Spectrum oder 2,0 l Metafol zu T1 bewirkten eine Verringerung des Biomasseaufwuchses bei Sida von über 20 %. Bei einer Ausbringung von geringeren Konzentrationen ist die Unkrautwirkung jedoch nicht mehr ausreichend. Die vergleichsweise hohe Schädigung von Gallant Super in der geringsten Aufwandmenge oder von Spectrum bei mittlerer Aufwandmenge zu T3 ist nicht nachvollziehbar. Am besten verträglich zeigten sich Einzelanwendungen der Mittel Spectrum oder Metafol SC und Belvedere Extra aus dem Rübenanbau. Bei frühzeitigem Einsatz (T1 oder T2) waren aber nur sehr geringe Aufwandmengen verträglich (Aufwandmenge a). Ab T3 wäre eventuell auch der Einsatz höherer Aufwandmengen möglich (c). Bei Zuckerrüben beispielsweise wird für eine ausreichende Herbizidwirkung jedoch ein frühzeitiger und vor allem mehrmaliger Einsatz von Belvedere Extra oder Metafol SC mit 2 l/ha empfohlen. Ob die Sida einen mehrmaligen Einsatz toleriert, kann anhand der Versuchsergebnisse nicht beurteilt werden. Frühere Anwendungszeitpunkte sind auf jeden Fall riskant. Auf die in der Praxis z. T. empfohlene Mittelkombination von Metafol SC + Belvedere Extra [65] sowie den Einsatz von Lentagran WP oder anderen Mitteln mit gleichen Wirkstoffen sollte nach den vorliegenden Erfahrungen verzichtet werden (Abbildung 49).

Tabelle 32: Sida: Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten, mechanisch unkrautfreien Kontrolle; Versuchsjahr 2015; Mittelwerte (n = 4) der Abschlussbonitur am 24.09.2015 (BBCH Kultur 10–33)

Mittel mit Aufwandmenge in l/ha oder kg/ha (a/b/c)	Biomassedefizit der Kultur in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle								
	T1			T2			T3		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Boxer (1,5/3/6)	9	35*	69*	11*	31*	64*			
Spectrum (0,25/0,5/0,75)	11	12	29*	3	13*	17*	1	21*	5
Metafol SC (0,5/1,0/2,0)	5	11	26	9	13*	10	6	9	9
Belvedere Extra (0,5/1,0/2,0)				9	7	9	2	14*	8*
Metafol SC + Belvedere Extra 2-fach (1,0 + 1,0)				51*					
Metafol SC + Belvedere Extra 3-fach (1,0 + 1,0)				55*					
Lentagran WP (0,75/1,5)							25*	66*	
Gallant Super (0,5/1,0/2,0)							21*	5	13*

* = im Vergleich mit Kontrolle statistisch signif. mit einer Irrtumswahrscheinlichk. von 5 %

Abschließend kann keine wirksame und vollständig verträgliche Herbizidstrategie aus den Versuchsergebnissen abgeleitet werden. Möglich ist eventuell der mehrmalige Einsatz von Metafol SC oder Belvedere Extra ab T2. Bevor eine Empfehlung hierzu ausgesprochen werden kann, sollten diese Varianten im Versuch überprüft werden. Auch von anderen Autoren liegen keine gesicherten Erkenntnisse zur möglichen chemischen Unkrautkontrolle in Sida vor. Aufgrund dessen haben die Wahl einer unkrautfreien Fläche sowie die mechanische Herbizidbekämpfung und gute Keim- und Wachstumsbedingungen die größte Bedeutung bei der Etablierung der Sida.



Abbildung 49: Junge Sida-Pflanzen: unbehandelte Kontrolle (links), Schädigung durch Metafol SC + Belvedere Extra als Dreifach-Spritzung (rechts) (Foto vom 03.08.2015)

Silphie

Die Silphie reagierte sehr viel unempfindlicher auf die chemische Unkrautbehandlung als die Kultur Sida. Tabelle 33 zeigt das Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Nur die Dreifachkombinationen von Stomp, Buctril und Spectrum oder Stomp, Buctril und Boxer zeigten Unterschiede von mehr als 50 % Biomassedefizit im Vergleich zur Kontrolle. Die Anwendung von 6 l/ha Boxer zu T1 schädigte mit 18 % Biomasseverlust im Vergleich zur Kontrolle die Pflanzen immer noch deutlich und dauerhaft (Abbildung 50). Eine Kombination von Stomp Aqua + Boxer ist ebenso kritisch, wenn dies nicht frühzeitig erfolgt. Die weiteren geprüften Varianten bewirkten lediglich ein Biomassedefizit von 0 bis 10 %. Mit Ausnahme der genannten Mittelkombinationen sowie hoher Mengen an Boxer führten die geprüften Herbizidvarianten nur zu einer geringen Schädigung. Allerdings war das Biomassedefizit im Vergleich zur Kontrolle teilweise signifikant. Dennoch ist der Schaden tolerierbar und die Mittel mit Ausnahmegenehmigung nach § 22 Abs. 2 PflSchG anwendbar. Gute Erfahrungen wurden in den bisherigen Versuchen mit der einmaligen Anwendung von 3,5 l/ha Stomp Aqua gleich nach der Saat oder Pflanzung gemacht. Auch hier ist von einem geringfügigen Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Variante auszugehen. Die einmalige (3,5 l/ha) oder eine zweimalige Anwendung von 2 bzw. 1,5 l/ha Stomp Aqua (Vorauflauf und Nachauflauf) sind zur Anwendung ohne Genehmigung zugelassen.

Damit stehen dem Landwirt auf Silphieflächen einige Mittel zur Bekämpfung auch zwei-keimblättriger Unkräuter zur Verfügung (z. B. Spectrum, Belvedere Extra oder Lentagran WP). Laut Literatur ist bei Problemen mit Schadhirsen der Einsatz von 3 bis 4 l/ha Gardo Gold möglich [96]. Dies sollte allerdings nicht vor 6-Blattstadium erfolgen. Ein etwaiger Spritzschaden wird gut von der Silphie überwachsen. Die Autoren KÖHLER und MÜLLER [96] verweisen ebenfalls auf den Einsatz von Boxer, Lentagran WP sowie Fusilade Max zur Gräserbekämpfung. Nach BIERTÜMPFEL und CONRAD [9] ist durch Lentagran WP und Boxer jedoch eine Schädigung möglich. Aufgrund der Tatsache, dass die Silphie-Pflanzen sich anfänglich nur langsam entwickeln und bis zum vollständigen Reihenschluss viele Wochen vergehen, ist trotz des möglichen Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel die Wahl einer Fläche mit geringem Unkrautdruck ratsam.

Tabelle 33: *Silphie: Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten, mechanisch unkrautfreien Kontrolle; Versuchsjahr 2015; Mittelwerte (n = 3) der Abschlussbonitur am 24.09.2015 (BBCH Kultur 13–19)*

Mittel mit Aufwandmenge in l/ha oder kg/ha (a / b)	Biomassedefizit der Kultur in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle					
	T1		T2		T3	
	a	b	a	b	a	b
Stomp Aqua (1/2)			0	2		
Stomp Aqua (2/4)	0	7*				
Boxer (1,5/3)			3	7*		
Boxer (3/6)	3	18*				
Fuego (1,5)	0					
Spectrum (1/2)	0	3	2	5		
Metafol SC (1/2)	0	7*	3	10*		
Ethosat 500 (2)	0		0		3	
Belvedere Extra (1/2)	2	5*	0	3		
Lentagran WP (1,5/3)					3	10*
Fox (0,5/3)					0	0
Gallant (1)					5	
Stomp + Spectrum (2 + 1)	0		0			
Boxer + Stomp (3 + 2)	5*		15*			
Stomp + Spectrum + Buctril (2 + 1 + 0,5)			60*			
Boxer + Stomp + Buctril (3 + 2 + 0,5)			88*			

* = im Vergleich mit Kontrolle statistisch signifikant mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %

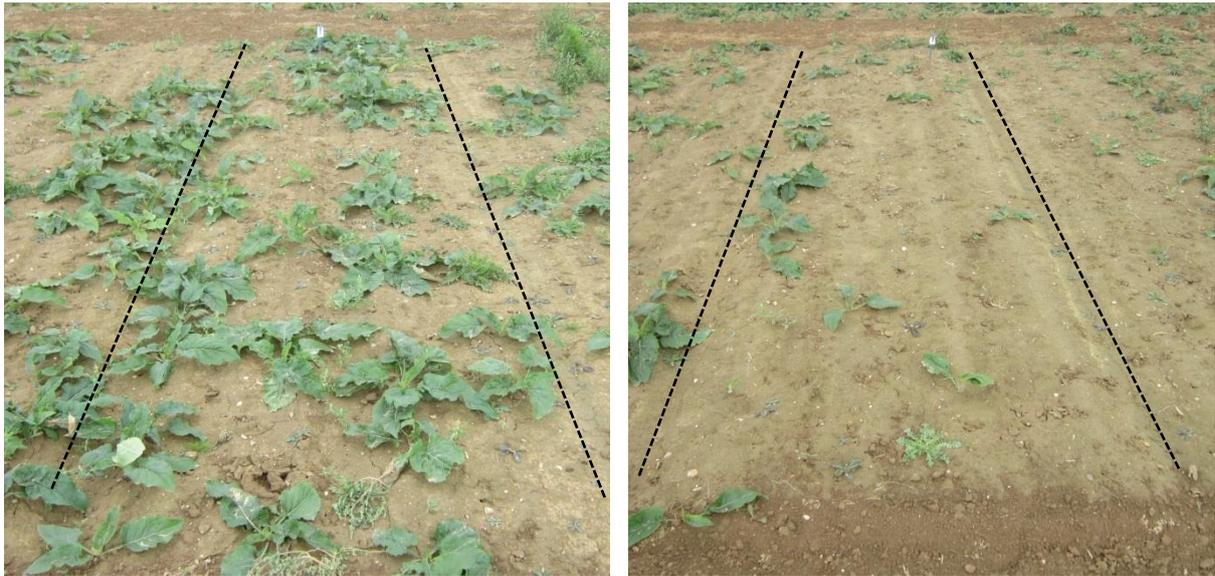


Abbildung 50: Junge Silphie-Pflanzen: links behandelt mit 2 l/ha Stomp Aqua zu T2, rechts behandelt mit einer Tankmischung aus Stomp Aqua + Spectrum + Buctril (2,0 + 1,0 + 0,5 l/ha) (Foto vom 25.09.2015)

5.1.5 Etablierung der Durchwachsenen Silphie ohne Unkrautkontrolle

Immer wieder wird unter Praktikern die Unkrautkontrolle in der Silphie im Etablierungsjahr diskutiert. Unter anderem wurde berichtet, dass eine Etablierung ganz ohne Unkrautkontrolle möglich sei, da die Silphie ab dem zweiten Jahr das Unkraut überwachsen würde. Ob dies tatsächlich möglich ist, wurde am Standort Aholfing geprüft.

Ein gepflanzter Silphie-Bestand wurde im ersten Jahr gänzlich ohne chemische und mechanische Unkrautkontrolle belassen. Im Sommer, als das Unkraut im Bestand bereits extrem hoch war, wurde der Bestand gemulcht (Schnitthöhe > 10 cm, siehe Abbildung 51). Die Pflanzen der Silphie waren zu diesem Zeitpunkt kaum mehr zu sehen. Im Folgejahr erholte sich der Bestand etwas. Abbildung 52 zeigt die Silphie-Pflanzen im Mai 2015. Die Silphie hatte den Unkrautdruck und den Winter überlebt, die Unkräuter jedoch auch. Eine Düngung mit 140 kg N/ha wurde etwas verspätet Ende Mai vorgenommen. Danach entwickelten sich die Silphie-Pflanzen recht gut. Bei einer Ernte am 03.08.2015 konnten 57 dt TM/ha mit einem TS-Gehalt von 33 % eingefahren werden. Nach der Ernte zeigte sich der Bestand im Oktober 2015 zufriedenstellend (Abbildung 53). Im Versuchsjahr 2016 wurde die Silphie mit 150 kg N/ha gedüngt. Der Ertrag lag bei 140 dt TM/ha. Bei der Einschätzung der Ertragsergebnisse dieser Etablierungsvariante ist jedoch zu beachten, dass keine Kernbeerntung der Versuchspartellen durchgeführt wurde. Eine Beeinflussung durch Randeffekte kann somit nicht ausgeschlossen werden.



Abbildung 51: Gemulchter Bestand der Silphie am Standort Aholting, ohne Unkrautkontrolle (Foto vom 19.08.2014)



Abbildung 52: Bestand der Silphie am Standort Aholting, ohne Unkrautkontrolle (Foto vom 21.05.2015)



Abbildung 53: Bestand der Silphie am Standort Aholting, ohne Unkrautkontrolle (Foto vom 21.10.2015)



Abbildung 54: Bestand der Silphie am Standort Aholting, ohne Unkrautkontrolle (Foto vom 02.08.2016)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Silphie sich als durchaus robust gegenüber dem hohen Unkrautdruck gezeigt hat. Für eine Unterdrückung der Unkräuter reichte die Blattmasse im ersten Jahr allerdings nicht aus. Mehrjährige Unkräuter konnten somit tiefe Wurzeln bilden und sich teilweise dauerhaft im Bestand etablieren. Pflanzenausfälle

waren bei der Silphie kaum zu verzeichnen. Die hohe Konkurrenz um Nährstoffe, Wasser und Licht mit den Unkräutern hat jedoch bei der Silphie zu deutlichen Ertragseinbußen im ersten Erntejahr geführt. Auf den mit Stomp Aqua behandelten Parzellen auf der gleichen Fläche am Standort Aholting wurde 2015 ein mehr als doppelt so hoher Ertrag (134,1 dt TM/ha) geerntet. Im Versuchsjahr 2016 glichen sich die Erträge jedoch weitgehend an (Vergleichsparzelle: 147 dt TM/ha). Eine Etablierung ohne jegliche Herbizidmaßnahme ist möglich und unter ökologischen Gesichtspunkten durchaus sinnvoll. Im Hinblick auf den Ertragsausfall und die Erhöhung des Unkrautpotenzials des Standorts wird diese Etablierungsvariante für konventionelle Betriebe jedoch nicht empfohlen.

5.2 Tastversuch im Gewächshaus zum Einfluss verschiedener abiotischer Faktoren auf das Auflaufen von Sida-Pflanzen (TFZ)

Bei den bisherigen Feldversuchen mit Sida stellte stets der schlechte Feldaufgang dieser Kultur ein großes Problem bei der Etablierung dar. Dies lag zum Teil an den ungünstigen Saatbedingungen aber auch an der mangelhaften Keimfähigkeit der Sida. Die Samen der Sida und allgemein von Malvengewächsen haben eine undurchlässige Samenschale, die das Eindringen von Feuchtigkeit in den Samen verhindert. Es kommt zur Keimruhe, da ohne Feuchtigkeit die Keimung inhibiert wird [101]. In der Natur wird die Schale durch Temperatureinflüsse, Mikroorganismen oder Enzyme aus dem Verdauungstrakt von Tieren durchlässig [126].

In einem Gewächshausversuch wurde untersucht ob sich durch physikalische oder chemische Maßnahmen die Keimfähigkeit der Sida verbessern ließe. Geprüft wurde dabei der Einfluss der Temperatur, der Feuchtigkeit sowie weiterer Vorbehandlungsmaßnahmen auf das Auflaufverhalten der Sida.

Als wichtiger Einflussfaktor stellte sich im Versuch die Temperatur heraus, wie Abbildung 55 und Abbildung 56 verdeutlichen. Laut Literatur ist die Sida eine sehr frostunempfindliche Kultur [92]. Zur Keimung und für ihre Entwicklung im frühen Jugendstadium braucht sie allerdings warme Temperaturen, wie die Ergebnisse zeigen. Eine Absenkung der Tag- und Nachttemperatur jeweils um 5 °C verlangsamte das Auflaufen der Sida-Pflanzen drastisch. Auch die Anzahl der nach 40 Tagen aufgelaufenen Pflanzen unterschied sich zwischen den beiden Temperaturvarianten. Unter kühlen Keimbedingungen liefen 36, unter warmen Bedingungen 53 Pflanzen auf.

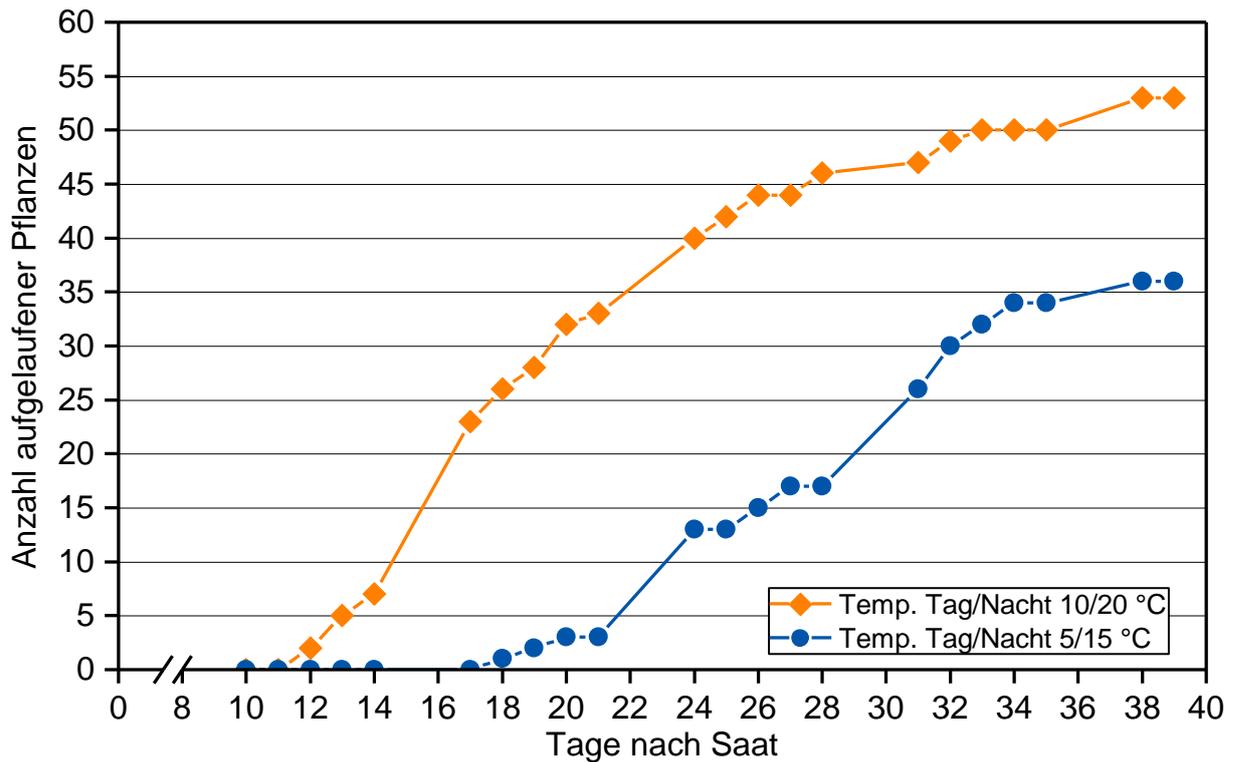


Abbildung 55: Anzahl aufgelaufener Sida-Pflanzen, angegeben in Tagen nach der Saat bei unterschiedlichen Tag/Nacht-Temperaturen und einer Aussaatstärke von insgesamt 96 Körnern

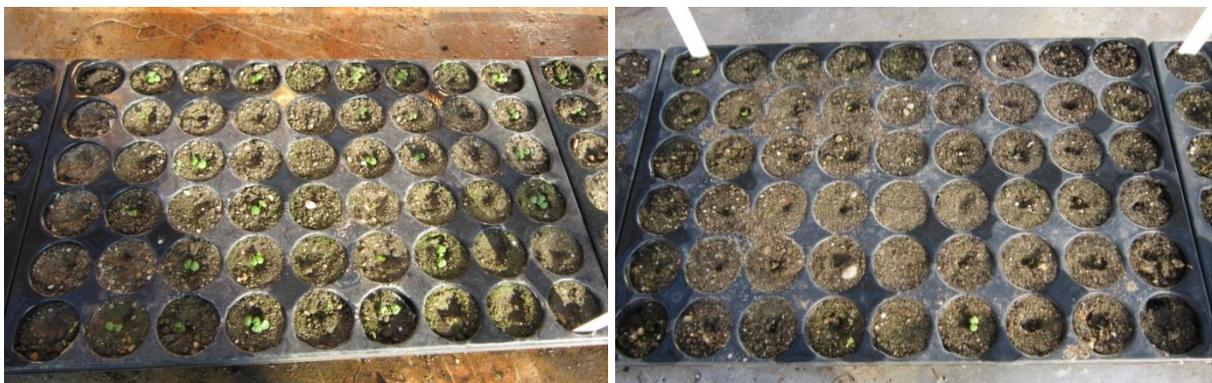


Abbildung 56: Auflaufverhalten der Sida-Pflanzen bei warmen (links) und kühlen (rechts) Temperaturen und mit reduzierter Bewässerung (Ablagetiefe 1 cm, Saat 06.02.2016, Foto vom 27.02.2016)

Weitere wichtige Faktoren, die das Auflaufverhalten beeinflussen, sind die Feuchtigkeit sowie die Saattiefe. Abbildung 57 zeigt den verbesserten Feldaufgang bei feuchten Bedingungen. Die Saattiefe von 3 cm schnitt dabei noch etwas besser ab. Dies könnte aber auch auf eine bessere Konservierung der Feuchtigkeit in unmittelbarer Umgebung des Samens durch die höhere Saattiefe zurückzuführen sein. Unter trockenen Bedingungen keimten die in 1 cm Tiefe abgelegten Samen etwas besser. Da die Bewässerung von oben durch einen Gießwagen erfolgte, drang das Wasser eventuell nicht bis zum 3 cm

tief abgelegten Samen hinunter und die Bedingungen an der Oberfläche waren etwas günstiger. Insgesamt ging die Anzahl aufgelaufener Sida-Pflanzen bei reduzierter Bewässerung jedoch drastisch zurück.

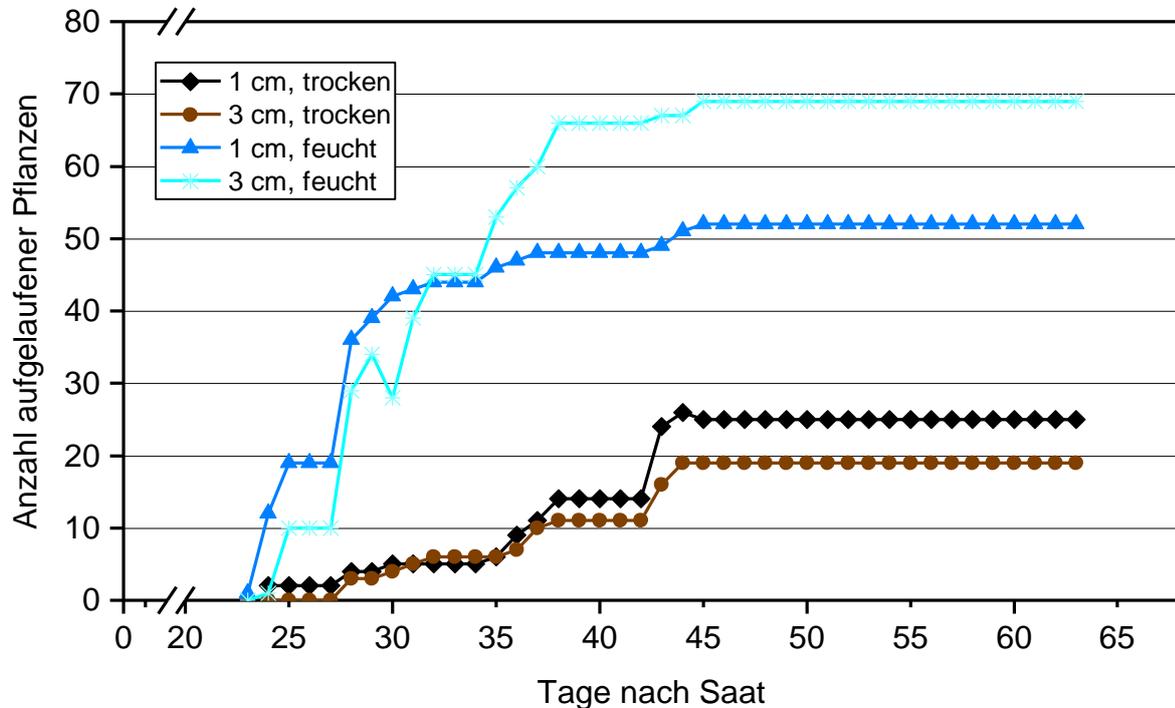


Abbildung 57: Anzahl aufgelaufener Sida-Pflanzen in Tagen nach Saat bei unterschiedlicher Saattiefe und Bewässerungsintensität (Aussaatstärke gesamt: 100 Körner)

Eine Prüfung unterschiedlicher Varianten der Saatgutvorbehandlung zur Verbesserung der Keimfähigkeit brachte nicht den gewünschten Erfolg (Abbildung 58). Sämtliche Varianten, die auf eine Stratifikation (Kältebehandlung) des Saatguts zur Brechung der Keimruhe abzielten, hatten entweder keinen oder einen negativen Effekt im Vergleich zur Kontrolle. Lediglich die Behandlung des Saatguts mit 0,2%ger KNO_3 -Lösung beschleunigte das Auflaufen der Pflanzen. Die Anzahl der nach 40 Tagen aufgelaufenen Pflanzen lag jedoch nur geringfügig höher. GANSBERGER et al. [58] erzielten hingegen gute Ergebnisse nach einer Vorbehandlung mit Gibberellinsäure. Von der Bedeutung der Temperatur, insbesondere von Wechseltemperaturen zwischen 20 und 30 °C wird ebenfalls berichtet. KURUCZ und FARI verbesserten die Keimfähigkeit durch eine Hitzebehandlung der Samen [101].

Zusammenfassend zeigt der vorliegende Tastversuch, dass warme und feuchte Bedingungen für die Etablierung der Sida per Saatverfahren von großer Bedeutung sind. Hinsichtlich der Vorbehandlungsverfahren zur Brechung der Keimruhe sind noch umfassendere Untersuchungen notwendig, um endgültige Ergebnisse ableiten zu können.

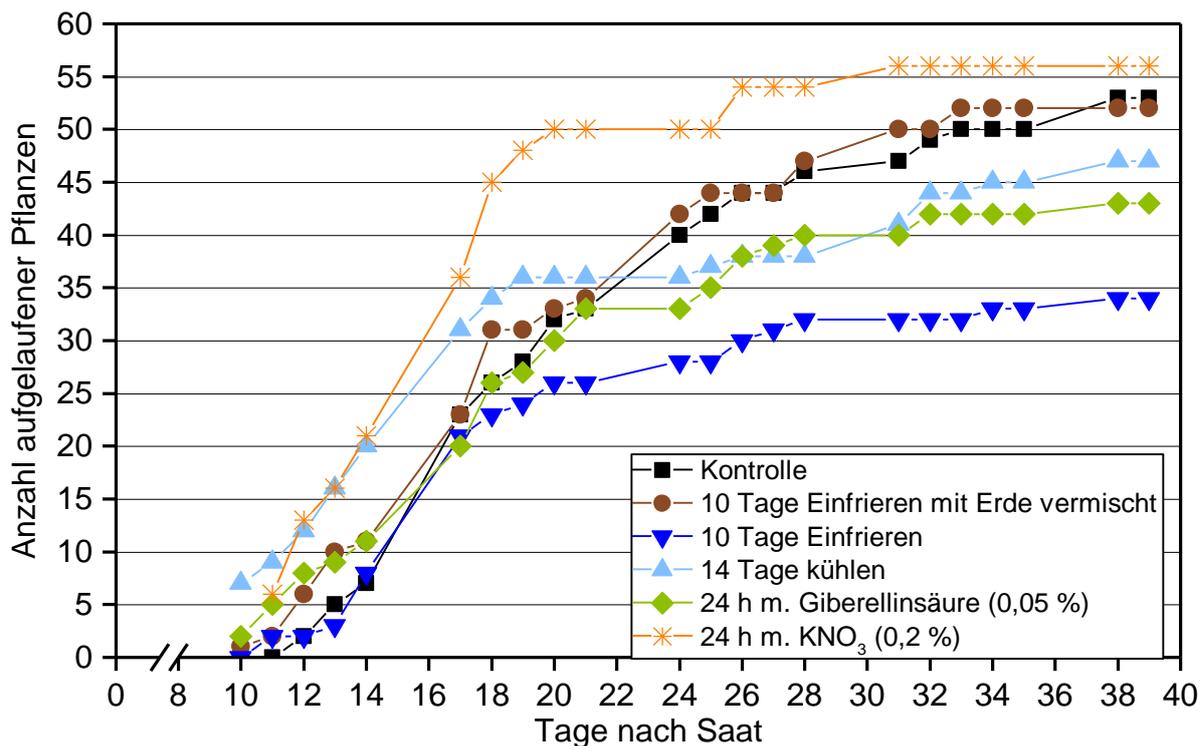


Abbildung 58: Anzahl aufgelaufener Sida-Pflanzen, in Tagen nach Saat bei unterschiedlicher Saatgut-Vorbehandlung (Aussaatstärke gesamt: 96 Körner)

5.3 Substratqualität (TFZ)

5.3.1 Inhaltsstoffe und Nährstoffentzug – Biogasnutzung

Tabelle 34 zeigt die Mineralstoffgehalte sowie den Stickstoffgehalt im Erntegut der mehrjährigen Energiepflanzen und der Referenzkulturen. Auffallend sind die im Vergleich zum Silomais erhöhten Kakium- (K) und Stickstoff-Gehalte (N) der mehrjährigen Kulturen. Bezüglich des Stickstoffs wurden im ersten Erntejahr 2015 generell etwas höhere Gehalte gemessen als 2016. Dies kann zum einen im Alter der Pflanzen begründet liegen oder dem Jahreseinfluss oder dem Erntezeitpunkt geschuldet sein. Am stärksten war dieser Effekt bei den Kulturen Silphie und Sida sowie der zweiten Ernte des Riesenweizengrases. Von höheren N- und K-Gehalten in jungen Silphie-Pflanzen berichten ebenso LUNENBERG und HARTMANN [108]. In weiteren Untersuchungen hatten junge Sida-Pflanzen sowie der Waldstaudenroggen zunächst höhere N- und K-Gehalte, welche ab dem zweiten Jahr dann sanken (mündliche Mitteilung LUNENBERG). Demnach dürften sich die Nährstoffgehalte der Silphie und der Sida zukünftig eher auf dem niedrigeren Niveau von 2016 einpendeln. Beim Waldstaudenroggen gibt es keine Erkenntnisse über die weitere Entwicklung der Stickstoffgehalte in der Pflanze. Es ist aber ohnehin nur von einer zweijährigen Nutzung auszugehen. Ebenfalls auffallend ist der extrem hohe Calcium-Gehalt (Ca) im Erntegut von Silphie und Sida. Hieraus ergab sich 2016 ein Nährstoffentzug von 428 (Silphie) bzw. 177 (Sida) kg CaO/ha (Tabelle 34 und Tabelle 35). Nach N.L. CHRESTENSEN [120] sollte die Silphie eine CaO-Düngung von bis zu 420 kg/ha erhalten. Für Sida werden die Ca-Gehalte in der Biomasse mit 16 bis 21 g/kg TM ange-

geben [169], was ebenfalls mit den eigenen Ergebnissen übereinstimmt. Bei der Düngung ist folglich auf CaO ein besonderes Augenmerk zu legen. Die Nährstoffgehalte des Riesenweizengrases schwankten weniger im Vergleich der Jahre. Lediglich im zweiten Aufwuchs waren deutliche Unterschiede erkennbar. 2015 lagen die N-, Ca-, und K-Gehalte höher als 2016. Bei den Untersuchungen zum Schwefelgehalt stechen besonders Sida und das Riesenweizengras im zweiten Aufwuchs heraus. Diese Kulturen haben offenbar einen erhöhten S-Bedarf. Eine N- oder K-Düngung mit Anteilen an Schwefel ist hier sinnvoll. Inwieweit die mehrjährigen Kulturen empfindlich auf S-Mangel reagieren, ist nicht bekannt.

Tabelle 34: Stickstoff- und Mineralstoffgehalt der mehrjährigen Energiepflanzen zur Ernte je Variante; Mittelwert über die Standorte (n = 6)

Kulturart	Jahr	Ernte	N	Ca	P	Mg	K	S
in g/kg Trockenmasse								
Silphie	2015		15,7	21,2	2,1	4,0	28,2	1,8
	2016		9,6	19,1	2,0	3,5	22,1	0,9
Sida	2015	1	14,5	14,0	2,6	2,5	21,3	2,7
	2016	1	11,8	12,0	2,7	2,1	21,0	2,7
Sida	2015	2	27,1	21,7	2,6	3,4	27,2	3,8
	2016	2	21,5	20,3	4,6	2,5	26,8	4,4
RWG Alkar	2015	1	11,9	2,4	1,7	0,9	19,3	1,8
	2016	1	11,6	2,2	1,8	0,9	19,3	2,0
RWG Alkar	2015	2	23,6	4,0	2,0	1,3	20,7	2,8
	2016	2	13,4	3,1	2,1	1,0	17,3	2,1
RWG Green St.	2015	1	11,9	4,0	1,6	0,9	17,7	1,6
	2016	1	10,7	2,3	1,7	0,8	17,3	1,6
RWG Green St.	2015	2	20,6	4,1	1,8	1,1	21,6	2,4
	2016	2	11,8	2,8	2,0	0,8	16,4	1,7
Switchgras	2015	1	13,5	4,0	1,7	2,1	15,5	1,5
	2016	1	10,6	3,6	1,8	1,8	16,3	1,3
Switchgras	2015	2	15,9	4,8	1,5	2,3	12,7	1,6
	2016	2	17,4	4,1	2,2	2,1	16,2	1,7
Waldstaudenr.	2015	1	12,7	2,4	2,3	0,9	22,6	1,8
	2016	1	8,8	2,0	1,9	0,6	12,3	1,2
Waldstaudenr.	2015	2	15,7	3,1	2,4	1,0	16,1	1,7
Mais	2015		12,3	2,4	1,7	1,5	13,0	1,3
	2016		10,3	2,2	1,6	1,2	11,3	1,0
Roggen-GPS	2015		10,2	2,0	2,1	0,9	12,7	1,3
	2016		12,0	1,7	2,3	0,8	12,3	1,5

Anhand der Untersuchungen der Inhaltsstoffe errechnen sich die Mengen, welche mit der Ernte der Biomasse dem Boden entzogen wurden (Tabelle 35). Der sehr hohe Ca-Bedarf der Silphie wurde bereits genannt. Die Höhe des N-Bedarfs richtet sich im Wesentlichen nach dem Ertragspotenzial der Kultur. Deshalb entzog der Silomais 2016 mit

216 kg N/ha dem Boden am meisten Stickstoff und hat für gewöhnlich auch den höchsten Bedarf. Einen hohen N-Düngebedarf haben ebenso das Riesenweizengras, das Switchgras und die Silphie. Nach den vorliegenden Ergebnissen kann man als grobe Faustformel für alle Kulturen von einem N-Bedarf von 1 bis 1,2 kg N/dt TM Erntegut ausgehen. KÖHLER und MÜLLER [96] beziffern den Bedarf der Silphie etwas geringer mit 0,9 kg N/dt TM Erntegut. Einen hohen K-Entzug gilt es, für alle mehrjährigen Kulturen bei der Düngung zu berücksichtigen. Für Silphie und Sida lässt sich der Bedarf auf 2,1–2,2 kg K/dt TM schätzen. Bei der K-Düngung der Gräser können 1,6–1,9 kg K/dt TM angesetzt werden. Phosphor und Magnesium werden in geringeren Mengen entzogen.

Tabelle 35: Stickstoff- und Mineralstoffentzug pro Jahr in kg/ha durch das Erntegut; Mittelwert über die Standorte (n = 6)

Kulturart	Jahr	Ernte	TM dt/ha	N	CaO	P2O5	MgO	K2O	S
Silphie	2015		126	197	390	58	84	404	22
	2016		160	154	428	71	93	426	15
Sida	2015	1 + 2	52 + 20	72 + 60	167	40	30	193	22
	2016	1 + 2	84 + 12	102 + 25	177	60	33	249	28
RWG*	2015	1 + 2	112 + 24	130 + 52	63	53	20	309	25
	2016	1 + 2	120 + 48	134 + 59	57	70	24	361	30
Switchgras	2015	1 + 2	57 + 26	71 + 42	48	32	27	151	12
	2016	1 + 2	118 + 28	124 + 47	75	59	44	286	20
Waldstaud.	2015	1 + 2	84 + 24	105 + 37	37	57	17	273	19
	2016	1	92	81	25	40	9	136	11
Mais	2015		144	176	48	56	36	207	18
	2016		210	216	64	79	41	287	21
Roggen-GPS	2015		138	139	37	66	20	209	17
	2016		115	136	26	59	15	169	17

* = Mittel der Sorten Alkar und Green Star

Untersuchungen nach der Weender Analyse (Tabelle 36) geben Aufschluss über die inhaltsstoffliche Zusammensetzung des Ernteguts. Die untersuchten Inhaltsstoffe sind insbesondere als Nährstoff für die Bakterien im Fermenter und damit für die Methanbildung von Bedeutung. Insgesamt wiesen die mehrjährigen Energiepflanzen im Vergleich zu den Referenzkulturen Silomais und GPS-Roggen eine für die Methanbildung ungünstigere Zusammensetzung auf. Höhere Rohaschegehalte sowie hohe Anteile an Lignin wirken sich in der Regel negativ auf die Methanbildung aus, da diese als Lignocellulose-Komplex vorliegen und in dieser Form schwer abbaubar sind. Bei der Rohasche-Analyse

stechen insbesondere die Silphie und der 2. Schnitt der Sida heraus. Dies könnte auch auf eine Verunreinigung des Ernteguts mit Erdreich hinweisen. Die Silphie war zum Teil zur Ernte stark lagernd, was die Aufnahme von Erdreich bei der Ernte begünstigt. Bei der Sida könnte der Grund in dem nur geringen 2. Aufwuchs und dadurch bedingten tiefen Schnitt liegen. Die Ernte wurde nicht mit dem Häcksler, sondern mit einem Grünguternter für Versuchspartellen durchgeführt. Das Doppelmessermähwerk der Erntemaschine wird in der Regel tiefer geführt als bei einem Maishäcksler. Hohe Ligningehalte bei den Gräsern wurden vor allem in den Pflanzenproben des ersten Schnitts gemessen. Der zweite Aufwuchs wird in der Regel zu einem früheren BBCH-Stadium geerntet, so dass die Verholzung der Pflanzen noch nicht so weit fortgeschritten ist. Aus der Literatur ist bekannt, dass bei mehrjährigen Kulturen oft eine erhöhte Lignifizierung der Pflanzensubstanz vorliegt. Dies stärkt die pflanzliche Abwehr gegenüber Krankheitserregern. Lignin umhüllt die Cellulosefibrillen und verhindert so die mikrobielle Zersetzung [11]. Sida und Silphie haben weiterhin einen relativ niedrigen Hemicellulosegehalt. Hemicellulose wirkt sich positiv auf die Gasbildung aus [31], somit ist die Zusammensetzung dieser beiden Kulturen weniger günstig für die Biogasproduktion.

Einzelwerte der Versuchsstandorte sind Tabelle 71 bis Tabelle 74 im Anhang zu entnehmen.

Tabelle 36: Nährstoffgehalt der mehrjährigen Energiepflanzen zur Ernte je Variante; Mittelwert über die Standorte (n = 6)

Jahr	Kultur	Schnitt	Roh- asche	Roh- protein	Rohfett	Lignin	Hemi- cellulose*	Cellu- lose*	NfC*
Mittelwert	Silphie		11,6	7,9	2,1	8,5	7,0	38,9	24,2
2015			12,5	9,8	2,1	8,0	7,0	36,0	24,6
2016			10,7	6,0	2,1	8,9	6,9	41,7	23,7
Mittelwert	Sida	1	8,4	8,2	1,8	8,7	13,5	39,6	19,9
2015			8,9	9,0	2,1	8,5	16,3	35,9	19,3
2016			7,9	7,4	1,5	8,9	10,6	43,3	20,4
Mittelwert	Sida	2	12,1	15,2	3,2	5,0	8,2	22,8	33,6
2015			12,4	16,9	3,4	5,1	9,0	20,8	32,4
2016			11,8	13,5	3,0	4,9	7,3	24,8	34,7
Mittelwert	RWG Alkar	1	6,2	7,3	1,0	7,6	30,0	41,1	6,9
2015			5,9	7,4	1,0	8,9	28,7	39,7	8,4
2016			6,5	7,2	1,0	6,2	31,2	42,5	5,4
Mittelwert	RWG Alkar	2	7,3	11,6	2,0	5,5	29,8	33,3	10,6
2015			7,7	14,7	2,4	6,0	29,7	30,1	9,4
2016			6,9	8,4	1,6	5,0	29,9	36,4	11,8
Mittelwert	RWG Green Star	1	6,1	7,1	0,9	7,8	29,3	40,8	8,0
2015			6,2	7,5	0,9	9,1	28,1	39,0	9,3
2016			6,0	6,7	0,9	6,4	30,6	42,7	6,7
Mittelwert	RWG Green Star	2	7,2	10,2	1,9	5,9	29,1	33,9	11,9
2015			7,9	12,9	2,4	6,1	28,9	29,7	12,2
2016			6,5	7,4	1,4	5,7	29,4	38,1	11,5
Mittelwert	Switchgras	1	6,1	7,1	1,7	7,0	32,3	35,0	11,0
2015			5,8	7,6	1,8	7,0	33,1	32,1	12,6
2016			6,4	6,6	1,5	6,9	31,4	37,9	9,3
Mittelwert	Switchgras	2	6,1	10,4	2,6	5,1	31,4	27,4	17,2
2015			5,5	9,9	2,6	5,9	32,4	27,7	16,0
2016			6,6	10,9	2,5	4,3	30,3	27,0	18,4
Mittelwert	Waldstaudenr.	1	5,6	6,7	1,2	7,4	26,6	38,3	14,3
2015			6,7	7,9	1,2	8,6	25,8	40,7	9,1
2016			4,5	5,5	1,1	6,2	27,3	35,9	19,5
2015	Waldstaudenr.	2	5,8	9,8	1,6	7,4	26,2	31,1	18,1
Mittelwert	GPS-Roggen		4,5	7,0	1,3	4,9	23,7	26,9	31,8
2015			4,3	6,4	1,3	5,5	22,3	26,1	34,1
2016			4,7	7,5	1,3	4,3	25,1	27,7	29,4
Mittelwert	Mais		4,2	7,1	1,9	3,6	22,6	24,0	36,8
2015			4,4	7,7	1,8	4,1	23,5	23,6	34,9
2016			3,9	6,4	1,9	3,1	21,7	24,4	38,6

NfC = Nichtfaser-Kohlenhydrate; * = rechnerisch ermittelt

5.3.2 Methanertrag und Methanausbeute

Entscheidend für den Methanertrag pro Hektar ist neben dem Trockenmasseertrag die Methanbildung (CH_4) pro Kilogramm organische Trockenmasse (Abbildung 59). Die Methanbildung wurde am getrockneten, nicht silierten Erntegut bestimmt. Diese Größe unterscheidet sich zwischen den Kulturen und Erntezeitpunkten (1. oder 2. Schnitt) zum Teil erheblich. Aus der Biomasse des Silomais ließ sich mit 343 bis 357 NI/kg oTM am meisten Methan gewinnen. Die Stärke des Maiskolbens, die den mehrjährigen Kulturen mit Ausnahme des Waldstaudenroggens fehlt, bildet eine wichtige Nahrungsgrundlage für die Bakterien im Fermenter, wie Ergebnisse von HORSTMANN et al. [83] zeigen. In genannter Literaturquelle wird von steigenden Methanausbeuten bei zunehmendem Stärkegehalt in Mais berichtet. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass es weitere Einflussgrößen gibt und der Stärkegehalt nur einen Teil der Variation in den Methanausbeuten der untersuchten Maissorten erklärt. Riesenweizengras oder Switchgras hatten beispielsweise geringere Rohasche- und Ligningehalte als Silphie und Sida (siehe Abschnitt 5.3.1). Diese beiden Inhaltstoffe sind für die Bakterien nur schwer zu verwerten. Der Gehalt der Gräser an Hemicellulose war vergleichsweise höher, damit war der gut abbaubare Anteil der Biomasse ebenfalls erhöht. DANDIKAS et al. [31] haben in ihren Untersuchungen Lignin und Hemicellulose als geeignete Parameter zur Abschätzung der Methanausbeute identifiziert. Somit lässt sich die niedrige Methanbildung aus Silphie und Sida zumindest zum Teil erklären. Durch eine Optimierung des Erntetermins könnten eventuell die Anteile schwer verdaulicher Bestandteile reduziert und damit die Methanausbeute verbessert und der Methanertrag gesteigert werden. Zukünftige Untersuchungen werden diese Fragen klären (Projektphase II, 2017–2020). Die sehr niedrige Methanbildung aus Sida und Silphie wird durch andere Literaturergebnisse bestätigt. WURTH et al. [177] geben die Methanausbeute der Sida zwischen 237 und 253 NI/kg oTM an. JABLONOWSKI et al. [87] ermittelten sogar nur 204 NI/kg oTM. Die Methanausbeute der Silphie ist konform mit den Ergebnissen von REIß [134]. Danach liegt die Silphie bei 245–262 NI/kg oTM. Die Methanbildung von Riesenweizengras wurde z. B. von SCHRABAUER [145] untersucht. Er kam mit 328 bis 332 NI Methan/kg oTM auf vergleichbare Ergebnisse. Für Switchgras liegen die Literaturangaben bei 266–309 NI Methan/kg oTM für den ersten Schnitt und 269–276 NI/kg oTM für den zweiten Schnitt [110]. MASSÉ et al. [110] zeigen auch eine deutliche Abnahme der Methanproduktion bei Switchgras, wenn die Ernte erst im Spätsommer erfolgt. Für den Waldstaudenroggen wurden keine Angaben zur Methanausbeute in der Literatur gefunden, da dieser vorrangig zur Nahrungs- oder Futtermittelproduktion eingesetzt wird und damit die Methanbildung keine Rolle spielt. Die ermittelten Werte sind jedoch vergleichbar mit denen von GPS-Roggen.

Abbildung 59 zeigt ebenso den Methanertrag pro Hektar im Mittel über die Standorte und die Versuchsjahre. Dabei handelt es sich um ein theoretisches Ertragspotenzial (Methanausbeute multipliziert mit dem oTM-Ertrag). Transport- oder Silierverluste sind bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Aus der Grafik geht sehr deutlich hervor, dass Silomais den mit Abstand höchsten Methanertrag erreichte. Allerdings wird auch deutlich, dass die Unterschiede zwischen dem trockenen Versuchsjahr 2015 und dem ausreichend mit Niederschlägen versorgten Jahr 2016 bei Silomais am deutlichsten ausge-

prägt waren. In trockenen Jahren scheint sich der Abstand zwischen den mehrjährigen Kulturen und dem Silomais zu verringern. Unter den mehrjährigen Energiepflanzen wurde mit dem Riesenweizengras der Sorte Green Star der höchste Methanertrag erreicht. Im Vergleich zur Referenzkultur Silomais schwankte der relative Methanertrag zwischen 54 und 138 % (Tabelle 77 im Anhang). Der GPS-Roggen erreichte zwischen 33 und 146 %. Bei dieser Variante könnte eventuell noch eine Zweitfrucht angebaut und genutzt werden. Die große Spannweite ist auf deutliche Unterschiede im Maiseertrag zwischen den Versuchsjahren zurückzuführen. Die Silphie schnitt in beiden Versuchsjahren trotz eines guten TM-Ertrags nur mäßig ab. 37 bis 77 % des Methanertrags wurden im Vergleich zu Silomais geerntet. Der Waldstaudenroggen erreichte dank der relativ guten Ernte 2015 33 % bis 98 % im Vergleich zu Silomais. Der Waldstaudenroggen hat sich aufgrund des schlechten Wiederaustriebs und der zunehmenden Verunkrautung jedoch als nicht konkurrenzfähig herausgestellt. Das Switchgras, welches ab dem zweiten Standjahr höherer Trockenmasseerträge lieferte, kam auf 31 bzw. 88 %. Mit 18 bis 56 % des Methanhektarertrags von Silomais war die Sida nicht konkurrenzfähig. Bei der Sida ist ebenfalls noch von einer Erhöhung des Trockenmasseertrags in den nächsten Jahren auszugehen. Weiterhin ist bei der Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen, dass es sich um den Mittelwert über alle Standorte handelt. In den Ergebnissen sind Werte für die jeweilige Kultur sowohl geeigneter als auch ungeeigneter Standorte enthalten. Einzelwerte sind im Anhang in Tabelle 75 bis Tabelle 77 zu finden.

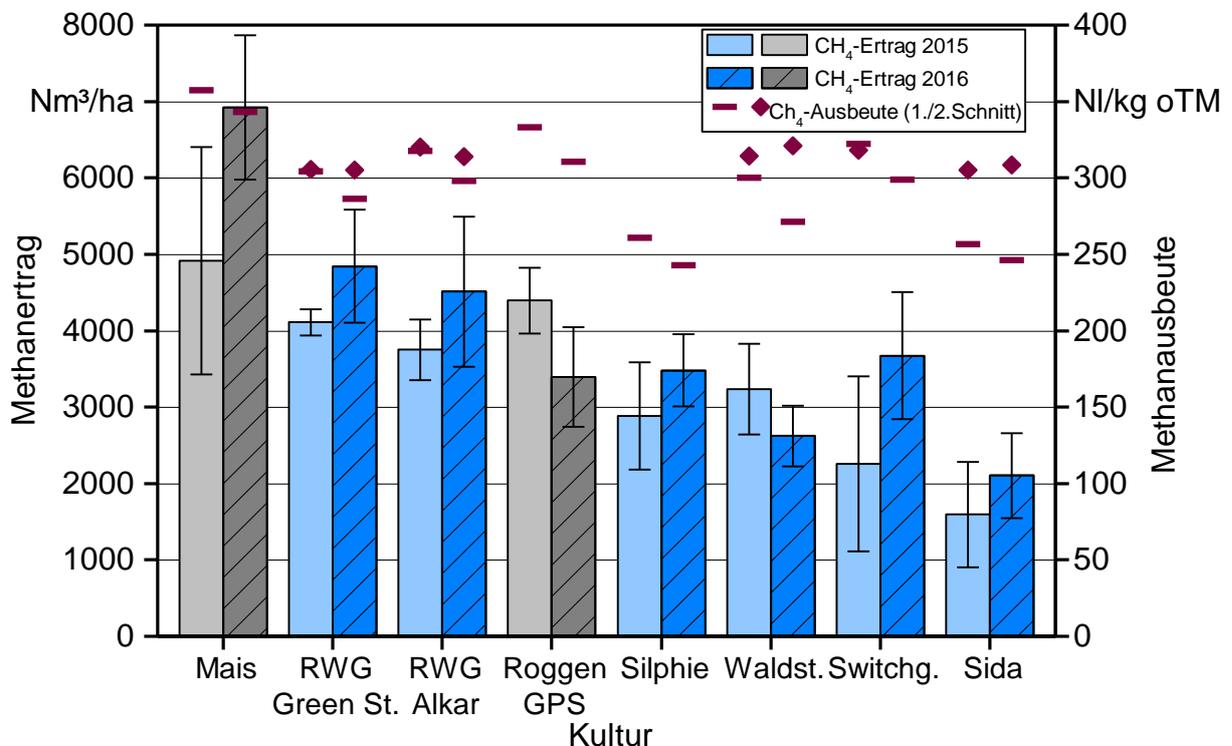


Abbildung 59: Methanertrag (1. + 2. Schnitt) und Methanausbeute der mehrjährigen Energiepflanzen im Mittel der Standorte; 2015 = 6 Standorte und 2016 = 7 Standorte

5.3.3 Siliereignung mehrjähriger Energiepflanzen

In die Beurteilung der Silagequalität nach DLG-Schlüssel [36] gehen der pH-Wert sowie eine Sinnesbeurteilung nach festgelegtem Schema ein. Die Beurteilung wird nach etwa 90 Tagen Silierdauer vorgenommen. Die Siliereignung der geprüften Gräser sowie des Waldstaudenroggens ist als sehr gut bis gut einzustufen (Tabelle 37). Die pH-Werte lagen im optimalen Bereich. Lediglich bei einer Probe des Waldstaudenroggens war ein leichter Buttersäuregeruch wahrnehmbar. Dies führte zu Punktabzug, da von einer teilweisen Fehlgärung bzw. von der Entwicklung unerwünschter Mikroorganismen auszugehen ist. Eine laboranalytische Bestimmung der Gärssäuren erfolgte jedoch nicht. Eine Silierung der Silphie und der Sida hat sich als etwas problematischer herausgestellt. In einigen der Proben war ebenfalls Buttersäuregeruch wahrnehmbar. Außerdem wurde bei der Silphie geringfügig Schimmelbildung dokumentiert. Die pH-Werte, insbesondere der Silphie mit teilweise deutlich über 5, lagen außerhalb des akzeptablen Bereichs. Für Pflanzenmaterial bis 40 % TS liegt der anzustrebende kritische pH-Wert für eine stabile Silage laut Literatur bei 4,75 [173]. In der Silage der Silphie und auch teilweise in der Silage der Sida wurde dieser pH-Wert überschritten. Nicht geklärt ist dabei allerdings, inwieweit die Grenzwerte für den kritischen pH-Wert und der DLG-Schlüssel, der zur Beurteilung von Grassilagen entwickelt wurde, auch für krautige Pflanzen wie Sida und Silphie Gültigkeit besitzen. Fäulnis war rein optisch in den Silagen nicht festzustellen. Eventuell empfiehlt sich bei Sida und Silphie der Einsatz von Silierhilfsmitteln. Auf eine rechtezeitige Ernte bzw. einen optimalen TS-Gehalt ist ebenfalls zu achten.

Tabelle 37: Beurteilung der Beutelsilagen nach DLG-Schlüssel [36]

Variante	Datum Ernte	Datum Silo-Öffnung	TS zur Ernte in %	pH-Wert (n = 4)	DLG-Beurteilung
D. Silphie	03.08.15	01.11.15	36,6	4,83–5,94	gut bis schlecht
Sida	03.08.15	01.11.15	35,4	4,46–4,95	verbesserungsbedürftig
Riesenweizengras (Green Star)	06.07.15	19.10.15	32,3–33,9	4,09–4,11	sehr gut
Riesenweizengras (Alkar)	06.07.15	19.10.15	32,9–37,6	4,45–4,49	sehr gut
Switchgras	03.08.15	01.11.15	32,9–38,2	4,37–4,39	sehr gut
Waldstaudenrog.	01.07.15	17.09.15	28,0–32,8	4,06–4,35	gut bis sehr gut

5.3.4 Brennstoffzusammensetzung und Heizwert

Zur Beurteilung der Brennstoffqualität von Häckselgut aus Sida, Switchgras und Miscanthus wurden umfangreiche Untersuchungen zu Inhaltsstoffen und Brenneigenschaften vorgenommen.

Der Heizwert wird im Wesentlichen durch den Kohlen- und Wasserstoffgehalt des Brennstoffs bestimmt (Tabelle 38). Mit 18,0 bzw. 17,5 MJ/kg TM liegen die Werte etwas unterhalb von beispielsweise Fichtenholz (18,8 MJ/kg) aber über dem Heizwert von vergleichbaren halmgutartigen Brennstoffen wie Weizenstroh mit 17,2 MJ/kg [51]. Andere Autoren kommen zu sehr ähnlichen Ergebnissen. Sie ermittelten für Miscanthus 17,6 [51], für Sida 17,5 [59] und für Switchgras sogar 18,4 MJ/kg [30]. Da sich die Heizwerte zwischen den Kulturen nur wenig unterscheiden, wird der Energieertrag der Fläche hauptsächlich durch das Ertragspotenzial der Kultur bestimmt.

Der Aschegehalt der geprüften Brennstoffe bewegte sich zwischen 2,2 (Miscanthus) bis 3,1 % (Switchgras) und ist damit deutlich höher als bei Holz (0,6 % bei Fichte), aber geringer als bei Weizenstroh (5,7 %) [51]. Im dreijährigen Mittel liegen die Ergebnisse anderer Autoren bei 1,9 (Miscanthus) und 2,6 % (Switchgras). Diese Untersuchungen aus Deutschland zeigen abnehmende Aschegehalte über die Jahre [30]. JABLONOWSKI et al. [87] ermittelten für Sida einen Aschegehalt von 2,7 bis 3,0 %, dieser liegt damit im Bereich der eigenen Ergebnisse. Ob sich die Werte mit zunehmendem Alter der Pflanzen verändern, werden weitere Versuchsjahre zeigen müssen. Der Tatsache, dass halmgutartige Brennstoffe in der Regel höhere Aschegehalte aufweisen, wird in der DIN EN ISO 17225 Rechnung getragen. Für Pellets aus Miscanthus werden beispielsweise deutlich geringere Anforderungen an den Aschegehalt gestellt ($A4.0 < 4\%$) [40] als bei Holzpellets ($A1 \leq 0,7$) [38].

Die Ascheerweichungstemperatur ermöglicht eine Aussage über das Risiko, dass es zu Anbackungen und Ablagerungen im Feuerraum, am Rost und an den Wärmeüberträgerflächen kommt [51]. Die Ascheerweichungstemperatur des Miscanthus war mit 926 °C sehr niedrig. Diese Eigenschaft von Miscanthus-Häckselgut ist aus der Literatur bekannt [51]. Das Erntegut der Sida hingegen schnitt mit 1432 °C sehr gut ab. JABLONOWSKI et al. [87] geben den Erweichungspunkt sogar mit > 1500 °C an. Auch bei Switchgras-Asche kam es erst bei über 1200 °C zur Erweichung der Asche. 1200 °C werden nach der Qualitätszertifizierung (ENplus) [130] für Holzpellets gefordert und können als Anhaltspunkt zur Bewertung des Ascherweichungsverhaltens angenommen werden. Ein Einfluss der Partikelgröße/-länge auf die Erweichungstemperatur von Switchgras wurde nachgewiesen [30]. Feineres Material hatte eine niedrigere Erweichungstemperatur. In den genannten Untersuchungen schwankte die Erweichungstemperatur von Switchgras zwischen 953 und 1332 °C. Nach den vorliegenden Untersuchungen sind im Vergleich der drei Kulturen die größten Probleme bei der Verbrennung von Miscanthus-Häckselgut zu erwarten.

Tabelle 38: Verbrennungs- und lagerungstechnische Kenndaten des Ernteguts aus mehrjährigen Energiepflanzen; Mittelwert über die Standorte (n = 5), Angaben wasserfrei, Versuchsjahr 2016

Kulturart/ Parameter	Einheit	Miscanthus	Sida	Switchgras
Heizwert Hu	MJ/kg TM	18,0	17,5	18,0
Aschegehalt	%	2,2	2,8	3,1
Wasser	%	5,9	6,1	5,9
Ascheerweichung (DT)	°C	926	1432	1206
Schüttdichte	kg/m ³	44–125	65–118	43–93

Die Schüttdichte beeinflusst vor allem den Bedarf an Lagerraum für den Brennstoff. Bei Brennstoffen mit unterschiedlicher Schüttdichte muss auch die Steuerung der Verbrennung (Brennstoff/Luft-Verhältnisses) angepasst werden. Dies geschieht aber in der Regel automatisch [51]. Halmgutartige Brennstoffe haben meist eine geringe Schüttdichte, wie Tabelle 38 bestätigt. Die große Variabilität der Werte ist auf unterschiedliche Häcksellängen der Biomasse zurückzuführen. An einigen Versuchsstandorten musste bedingt durch Probleme bei der Ernte die Häcksellänge vergrößert werden. Außerdem erfolgte die Zerkleinerung durch den suboptimalen Einzug nicht mehr gleichmäßig. Dies führte zu geringeren Schüttdichten, da sich längere Halme schlechter verdichten und zusammenlagern (Abbildung 60).



Abbildung 60: Häckselgut der mehrjährigen Energiepflanzen: Switchgras (links), Sida (Mitte), Miscanthus (rechts)

Literaturangaben für Miscanthus liegen bei 110 [91], für Sida bei 100 kg/m³ [111]. Für Switchgras variieren die Literaturangaben stark. Die Schüttdichte wird mit 54–83 [164] oder 118 kg/m³ [30] angegeben. Bei optimaler technischer Einstellung der Erntemaschine ist davon auszugehen, dass in der Praxis der obere Wert der angegebenen Spanne (Tabelle 38) erreicht werden kann. Dennoch haben solche halmgutartigen Brennstoffe

einen hohen Bedarf an Lagerraum. Zum Vergleich, die typische Schüttdichte von Fichten-Hackschnitzeln mit 15 % Wasser liegt bei 194 kg/m³ [51].

Weitere, für die Bewertung biogener Festbrennstoffe ausschlaggebende Parameter sind die Gehalte an Stickstoff (N), Schwefel (S) und Chlor (Cl). Hohe Gehalte an N und S begünstigen die Bildung von Stickstoff- und Schwefeloxiden, welche zur Schädigung der Atemorgane beitragen oder die Versauerung von Böden begünstigen. Im Zusammenhang mit Chlor (Cl) kommt es zur Bildung und Emission von halogenorganischen Verbindungen, welche gesundheits- und umweltschädlich sind [91]. Viel Chlor wirkt im Zusammenspiel mit Schwefeloxid auch korrosiv [51]. Dass Stickstoff-, Schwefel- und Chlorgehalte in halmgutartigen Brennstoffen oft problematisch sind, ist bekannt [51] [37]. Wie aus Abbildung 61 ersichtlich waren vor allem die Stickstoffgehalte von Miscanthus, Sida und Switchgras im Vergleich zu Holz erhöht. Den höchsten Stickstoffgehalt wies das Erntegut von Switchgras auf. Auch andere Untersuchungen belegen einen hohen Stickstoffgehalt in Switchgras von bis zu 0,62 % [30] [24]. Für die Sida werden in der Literatur geringere Werte von 0,22 bis 0,27 % genannt [59] [87]. Typische Werte von Miscanthus liegen bei 0,7 % [37]. Die Schwefelgehalte waren insgesamt niedrig, aber mehr als doppelt so hoch im Vergleich zu Holz. Die Chlorgehalte von Sida und Switchgras lagen mit 0,035 und 0,045 % auf niedrigem Niveau. Das Erntegut des Miscanthus war hier mit 0,19 % Chlor deutlich erhöht. Die große Standardabweichung zeigt allerdings auch, dass es hier je nach Standort zu ausgeprägten Unterschieden kommen kann. Die Qualitätsanforderungen nach DIN EN ISO 17225 [40] für Pellets aus Miscanthus wurden mit den gemessenen Werten weitgehend erfüllt ($N \leq 0,5$; $S \leq 0,05$; $Cl \leq 0,1$ %). Eine Ausnahme bildeten der hohe Chlorgehalt des Miscanthus und der Stickstoffgehalt des Switchgrases. Eine Norm für Häckselware von Miscanthus, Sida oder Switchgras gibt es derzeit nicht.

Weiterhin relevant für die Beurteilung eines Brennstoffs sind die Elemente Kalium (K), Natrium (Na), Silizium (Si) und Kalzium (Ca). Hohe Konzentrationen an Kalium und Natrium führen zu einer Erhöhung der Partikelemissionen [91]. Kalium bewirkt auch eine Absenkung des Ascheschmelzpunkts. Dies führt wie vorgehend beschrieben zu mechanischen Problemen. Silizium hat einen ähnlichen Effekt, kann aber die Aerosolbildung reduzieren. Kalzium hingegen wirkt sich vorteilhaft auf das Emissionsverhalten und das Ascheschmelzverhalten aus [42]. Besonders positiv fielen in Abbildung 62 die Ergebnisse der Sida auf. Nach diesen ersten Ergebnissen zeichnen niedrige Kalium- und Siliziumgehalte (im Bereich von Holz) sowie ein hoher Kalziumgehalt diesen Brennstoff aus. Lediglich der Natriumgehalt war im Vergleich zu Holz deutlich höher, allerdings mit einer großen Spannbreite. Das Switchgras enthielt ebenfalls nur geringe Mengen an Kalium, dafür allerdings große Mengen an Silizium. Der Kalziumgehalt lag unterhalb des Werts der Sida und des Vergleichswerts für Holz. Im Vergleich der drei Kulturen hatte das Switchgras aber den geringsten Natriumgehalt. Miscanthus wies mit einem hohen Kalium- und Siliziumgehalt sowie einem geringen Kalziumgehalt die ungünstigste Zusammensetzung auf. Dies erklärt auch die relativ niedrige Ascheerweichungstemperatur. Die Ergebnisse für Natrium lagen zwischen Sida und Switchgras und oberhalb der Angaben für Holz.

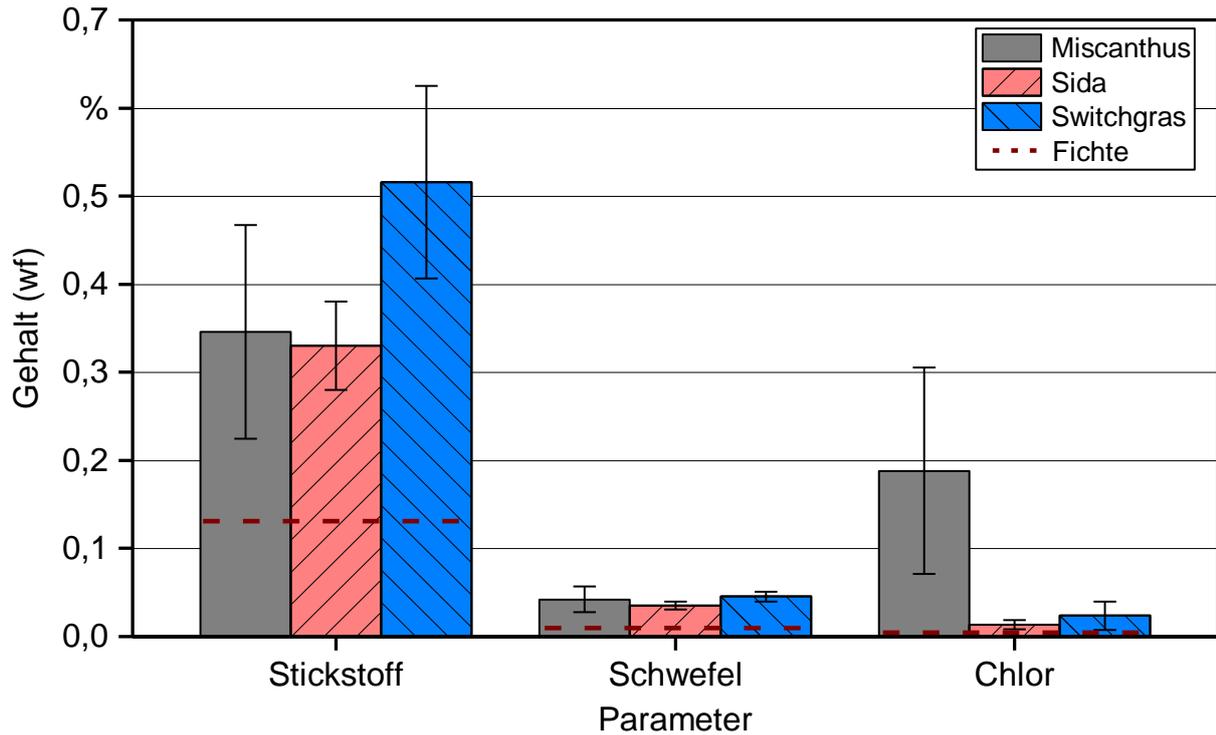


Abbildung 61: Mineralstoffgehalt im Erntegut der mehrjährigen Energiepflanzen; Mittelwert über die Standorte (n = 5), Angabe wasserfrei; Referenzwert Fichte nach Quellen [51] [42], Versuchsjahr 2016

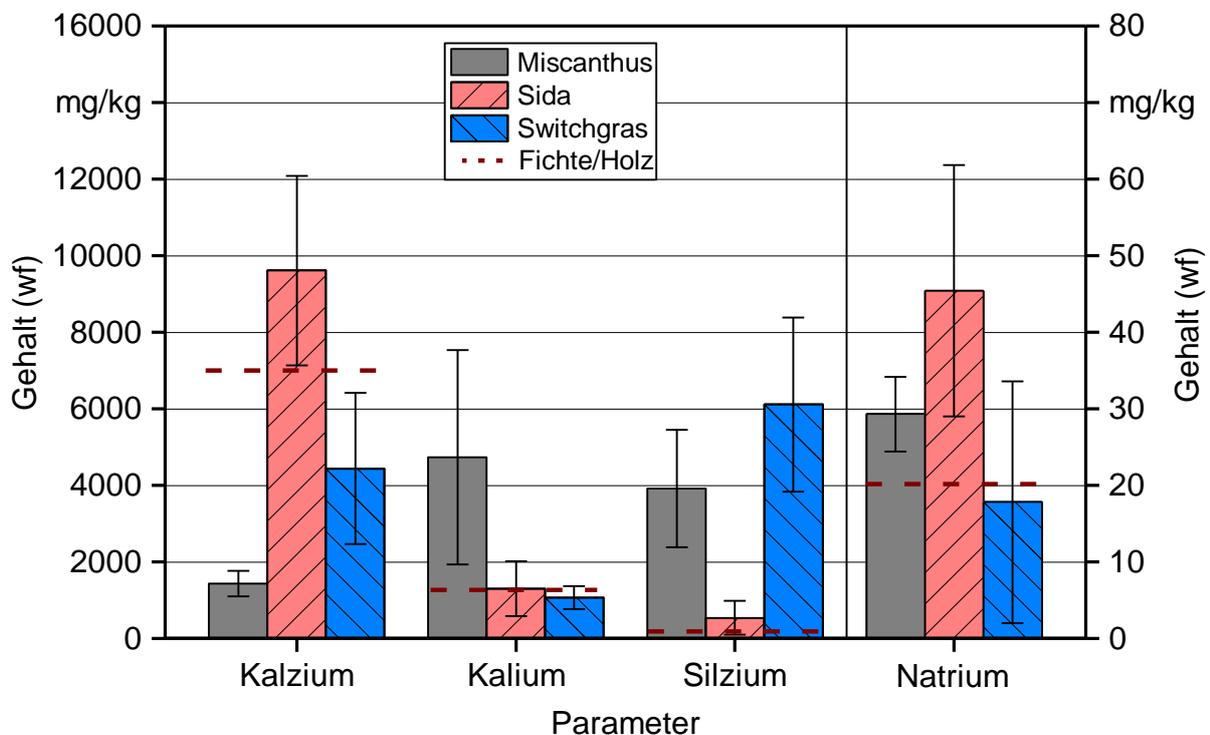


Abbildung 62: Gehalt an Kalzium, Kalium, Silizium und Natrium im Erntegut der mehrjährigen Energiepflanzen; Mittelwert über die Standorte (n = 5), Angabe wasserfrei; Referenzwert Fichte und Holz nach Quellen [51] [42]

In weiteren Untersuchungen wurden auch die Gehalte an Magnesium und Phosphor bestimmt. Anhand der Analyseergebnisse konnte die Menge relevanter Nährstoffe, welche mit dem Erntegut entzogen wird, im Mittel über die Standorte berechnet werden (Tabelle 39). Insgesamt entzogen die thermisch genutzten Energiepflanzen Miscanthus, Sida und Switchgras nur geringe Mengen an Stickstoff und weiteren Nährstoffen. Von höheren Nährstoffentzügen im nächsten Jahr ist auszugehen, da sich der TM-Ertrag voraussichtlich ebenfalls erhöhen wird. Doch selbst bei einer Verdoppelung der Erntemenge werden nur geringe Mengen an Nährstoffen mit dem Erntegut abgefahren, da durch den späten Erntetermin im Frühjahr der Pflanze ausreichend Zeit gegeben wird die Nährstoffe in den Wurzelbereich zu verlagern. Zusätzlich bewirken der Laubabfall und die Auswaschung aus dem abgestorbenen oberirdischen Aufwuchs über Winter eine Rückführung der Nährstoffe in den Boden. Eine geringe jährliche Stickstoffdüngung kann angeraten sein. Ob sich diese auf den Ertrag auswirkt, hängt allerdings vom Standort ab, wie Untersuchungen von HARTMANN und FRITZ zeigen [67]. Der pH-Wert sollte über die Jahre immer wieder beobachtet werden. Eine Kalium-, Magnesium-, Phosphor- oder Schwefeldüngung ist nach diesen ersten Erkenntnissen lediglich alle paar Jahre erforderlich.

Tabelle 39: Nährstoffentzug pro Jahr in kg/ha durch das Erntegut; Mittelwert über die Standorte (n = 6), Versuchsjahr 2016

Kultur	TM-Ertrag dt TM/ha	N	CaO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	S
Miscanthus	58,2	18,4	11,9	31,3	5,6	3,4	2,2
Sida	37,4	12,5	55,0	6,0	5,2	3,1	1,4
Switchgras	61,6	31,6	37,3	8,3	8,5	5,7	2,8

Einzelwerte je Standort sind im Anhang in Tabelle 69 und Tabelle 70 aufgeführt.

5.4 Ökologie

5.4.1 Mineralischer Stickstoff (TFZ)

Hohe mineralische Stickstoffgehalte (N_{\min}) im Boden zum Vegetationsende oder eine überzogen positive Stickstoffbilanz sind ein Indikator für eine hohe Auswaschungsgefahr von Nitrat ins Grundwasser. Als Grenzwert für den Nitratgehalt im Sickerwasser gelten 50 mg NO₃/l. Daraus einen Grenzwert für einen tolerierbaren N_{\min} -Gehalt im Boden abzuleiten, ist schwierig, da der Zusammenhang zwischen Boden- N_{\min} und Sickerwassernitrat stark vom Boden und den Niederschlagsmengen abhängt. HENNINGS und SCHEFFER [75] geben für lehmige Sande 30 bis 40 kg Herbst- N_{\min} /ha an. Für Schluffe, Lehme und Tone gelten nach diesen Autoren 40 kg Herbst- N_{\min} /ha. Die Schätzung für durchlässigere Böden (lehmige Sande) variiert in Abhängigkeit von der jährlichen Sickerwasserrate (Gesamtabfluss). Legt man für die Versuchsstandorte in etwa einen jährlichen Gesamtabfluss nach der Karte des Bayerisches Landesamt für Umwelt [4] zugrunde, würden für

Aholting als tolerierbarer Herbst- N_{\min} 30 kg N/ha und für alle anderen Versuchsstandorte 40 kg N_{\min} /ha gelten. Die tatsächliche Auswaschungsgefahr ist jedoch immer auch von kleinräumigen bodenphysikalischen Eigenschaften und den klimatischen Gegebenheiten abhängig. Dennoch ist damit eine Größenordnung gegeben, an der man sich orientieren kann.

Abbildung 63 und Abbildung 64 zeigen, dass die Boden- N_{\min} -Gehalte zum Vegetationsende zwischen den Standorten erheblich schwanken. Auch zwischen den Kulturarten, den Versuchsjahren und im Vergleich zum Praxisacker werden Unterschiede sichtbar. Bei dem Praxisacker handelt es sich um eine direkt benachbarte Fläche, die bis zu Versuchsbeginn gemeinsam mit der Versuchsfläche bewirtschaftet wurde. Nur Wolferkofen und Parsberg bilden hierbei eine Ausnahme, da sich die Praxisfläche dort nicht in direkter Nachbarschaft befindet.

Auf dem sandigen Standort Aholting lagen die N_{\min} -Werte zum Vegetationsende meist im unbedenklichen Bereich, also unter 30 kg N/ha. Lediglich die Referenzkulturen hinterließen kritische Mengen an Stickstoff, von dem eine Auswaschung zu befürchten ist. Die Fläche, auf der 2015 als Hauptkultur GPS-Roggen stand, lag nach dessen Ernte und einer die Mineralisierung fördernden Bodenbearbeitung lange ohne nennenswerten Bewuchs. Die angesäte Zwischenfrucht entwickelte sich aufgrund von Trockenheit nur sehr schlecht und konnte deshalb keine größeren Mengen an Stickstoff aufnehmen. 2016 war die Zwischenfrucht nach Roggen gut entwickelt und konnte den nachmineralisierten Stickstoff aufnehmen, die N_{\min} -Werte waren hier gering. Die erhöhten N_{\min} -Werte nach Mais sind unerwartet, da diese Kultur normalerweise große Stickstoffmengen bindet. Die Bodenbearbeitung zur Bestellung der Winterfrucht und die milden Temperaturen im Herbst haben aber offensichtlich zu erhöhten N_{\min} -Werten geführt. Nach Winterweizen fand ebenfalls eine Bodenbearbeitung zur Saatbettbereitung für die Folgekultur Roggen statt. Die jungen Roggen-Pflanzen nehmen im Herbst aber nur wenig Stickstoff auf, so dass hier 2016 erhöhte Werte zu finden waren. Im Vergleich mit Proben eines Praxisackers (Pflug und organische Düngung), die in unmittelbarer Umgebung gezogen wurden, zeigt sich, dass mit mehrjährigen Energiepflanzen geringere Herbstwerte zu erzielen sind.

In Thürnthenning, auf sandigen Lehm, haben die mehrjährigen Energiepflanzen in beiden Versuchsjahren ebenfalls nur moderate Nitratmengen im Boden hinterlassen. Miscanthus hat bedingt durch zögerliches Wachstum und lückige Bestände 2015 weniger Stickstoff als erwartet aufgenommen. 2016 lagen die N_{\min} -Gehalte aber niedriger. Sida, Switchgras und Waldstaudenroggen überschritten den Richtwert für lehmige Sande von 40 kg N_{\min} /ha 2015 nur geringfügig. 2016 waren die Werte für Sida leicht und für Waldstaudenroggen stark erhöht. Der Waldstaudenroggen hatte 2016 nur einen geringen ersten und keinen zweiten Aufwuchs. Hier blieb die Fläche quasi ohne nennenswerten Bewuchs, der den Stickstoff im Boden hätte aufnehmen können. Der Mais musste 2015 wegen Trockenschäden vorzeitig beerntet werden und hat damit dem Boden nur unterdurchschnittliche Mengen an Stickstoff entzogen. Durch die frühzeitige Ernte Ende August blieb der Boden ebenfalls relativ lange ohne nennenswerten Bewuchs. Beim Winterweizen kommen die erhöhten Werte vermutlich durch die Bodenbearbeitung für die

Nachfrucht zustande. Beim GPS-Roggen stellte sich 2015 die Situation ähnlich dar wie in Aholting.

Auf dem ausgeprägt humosen Boden (Niedermoorboden) am Standort Rosenau wurde aufgrund der hohen N_{\min} -Werte im Frühjahr sowohl 2015 als auch 2016 kaum Stickstoff gedüngt (max. 30 kg N/ha). Trotzdem lagen, bedingt durch die starke Nachmineralisierung, die N_{\min} -Gehalte im Herbst auf extrem hohem Niveau. Eine Auswaschung ins Grundwasser ist hier zu befürchten. Es zeigt sich aber, dass zumindest im Vergleich zu einem Praxisacker (tiefes Grubbern und organische Düngung) das Potenzial für eine N-Auswaschung reduziert werden konnte. Teilweise lag dies sicherlich an der ausbleibenden Düngung, was in Praxisbetrieben eventuell nicht umgesetzt werden kann. Es wurde jedoch auch deutlich, wie sich die fehlende Bodenbearbeitung (mehrjährige Kultur) oder zumindest ein Zwischenfruchtanbau (nach Roggen-GPS) und eine konservierende Bodenbearbeitung (kein Pflug) förderlich auf die Boden-Stickstoffgehalte auswirken können. Die Werte des Waldstaudenroggens sind hier aus bereits genannten Gründen auszuklammern. Auffällig ist auch der hohe Anteil an NH_4 -Stickstoff, der jedoch nicht der Auswaschungsgefahr unterliegt.

Der Standort Hötzelsdorf, ein eher sandiger Boden, ist wenig auswaschungsgefährdet. Die N_{\min} -Werte lagen besonders 2015 auf sehr niedrigem Niveau. Lediglich nach GPS-Roggen und Mais war ähnlich wie am Standort Aholting eine Auswaschung zu befürchten. 2016 wurden etwas höhere N_{\min} -Werte festgestellt und zum Teil auch 40 kg N_{\min} /ha überschritten. Bis auf Silphie, Miscanthus und Roggen-GPS wurden sogar die Werte des Praxisackers leicht überschritten. Der Grund dafür bleibt unklar. Der besonders hohe Wert bei Sida 2016 ist ebenfalls nicht nachvollziehbar. Teilweise sind die erhöhten Gehalte auch auf einen höheren, aber unkritischen NH_4 -Stickstoff-Anteil zurückzuführen.

In Parsberg, auf tonigem Lehm, war der N_{\min} -Gehalt im Boden 2015 unter den mehrjährigen Kulturen Durchwachsene Silphie und Riesenweizengras gering. Die Parzellen des Miscanthus, GPS-Roggens und Mais gingen mit überhöhten N_{\min} -Werten in den Winter. Der hohe Wert des Miscanthus ist unerwartet, da diese Kultur 2015 keine Stickstoffdüngung erhielt und ein üppiges Wachstum gezeigt hat. Hier spielten vermutlich immer noch die Mineralisierung des vor Versuchsbeginn umgebrochenen Luzernegrases und die generell geringe Stickstoffaufnahme des Miscanthus eine Rolle. Der Ertrag des Mais lag trockenheitsbedingt niedrig, die Stickstoffaufnahme war damit wahrscheinlich ebenfalls reduziert. Die hohen Werte des GPS-Roggens sind vermutlich, wie auf den anderen Standorten auch, auf die schlechte Entwicklung der Zwischenfrucht und die durch die Bodenbearbeitung angeregte Mineralisierung zurückzuführen. Die umgebrochenen Switchgras- und Sida-Parzellen enthielten naturgemäß ebenfalls viel Nitrat. 2016 waren nur die Werte nach Winterweizen und Mais leicht sowie die Gehalte in der Switchgras-Parzelle stark erhöht. Das Switchgras wurde aufgrund des hohen Unkrautdrucks 2016 noch einmal angesät und war nur schwach entwickelt. Es hat somit kaum Stickstoff aus dem Boden aufgenommen. Im Vergleich zum Praxisacker lagen alle Werte im guten Bereich. Allerdings wurde die Probe des Praxisackers von einer Fläche mit sehr ähnlichen Bodenverhältnissen, aber nicht in unmittelbarer Nachbarschaft gezogen. Auch die

Vorgeschichte der Fläche ist hier eine andere. Die Vergleichbarkeit ist somit eingeschränkt.

Der Standort Gelchsheim hat einen tonig-lehmigen Boden, der gut Nährstoffe binden kann. Die vorausgehende intensive Bewirtschaftung sowie der Umbruch eines Winterweizenbestands vor Versuchsbeginn haben hohe Ausgangsgehalte an Stickstoff hinterlassen. Die Düngemengen wurden deshalb eher moderat gewählt. Trotzdem bestand 2015 z. T. hohe Auswaschungsgefahr. Die Kulturen Riesenweizengras, Silphie und Sida (Biogas) lieferten vergleichsweise gute Erträge und hatten somit einen Großteil des zur Verfügung stehenden Stickstoffs nutzen können. In der thermischen Variante der Sida, im Riesenweizengras „Alkar“, in der Biogasvariante des Switchgrases sowie unter GPS-Roggen, Mais und Waldstaudenroggen wurden erhöhte N_{\min} -Gehalte gemessen. Besonders die hohen Werte der mehrjährigen Biogasvarianten und die großen Unterschiede zwischen den Varianten insgesamt sind nicht erklärbar. 2016 war das Niveau der N_{\min} -Ergebnisse niedriger, aber immer noch über dem Grenzwert von 40 kg N_{\min} /ha. Der Mais schöpfte trotz eines hohen Ertrags das Potenzial des Bodens offenbar nicht aus.

Am Standort Wolferkofen wurden 2015 noch recht hohe N_{\min} -Werte für Riesenweizengras, Switchgras und Miscanthus festgestellt. Diese Kulturen waren im Etablierungsjahr (2015) nur schwach entwickelt, nahmen kaum Stickstoff auf und hatten zudem relativ spät eine geringe Stickstoff-Düngung erhalten. Im Herbst 2016 bestand unter den mehrjährigen Kulturen keine Auswaschungsgefahr mehr. Auch die Gehalte der Referenzkulturen sowie des angrenzenden Praxisschlags lagen im „grünen“ Bereich.

Die Ergebnisse verdeutlichen die Nitrat-Auswaschungsgefahr insbesondere auf sehr humushaltigen Böden und den einjährig bewirtschafteten Flächen, wenn solch extremen Witterungsbedingungen wie 2015 hohe Erträge und die Entwicklung Stickstoff speichernder Zwischenfrüchte verhindern. Außerdem spielen die milden Temperaturen im Herbst und ein damit verbundenes spätes Vegetationsende eine Rolle. Die Bodenbearbeitung zur Saat der Folgefrucht in der Referenzfruchtfolge, welche die Stickstoffmineralisierung fördert, hat ebenso einen Einfluss auf die Nitratwerte im Herbst. Bei den mehrjährigen Kulturen ist die Fläche ganzjährig bewachsen und somit kann Stickstoff über die gesamte Vegetationsperiode aufgenommen werden. Nach Gisi [62] wird am meisten Nitrat aus brachliegenden, vegetationslosen Böden und am wenigsten aus Böden mit einer geschlossenen Pflanzendecke ausgewaschen. Bei mehrjährigen Kulturen entfällt die jährliche Bodenbearbeitung und sie werden oft moderater gedüngt, da die Ertrags einschätzungen meist noch unsicherer sind. Sofern die Etablierung erfolgreich war und sich ein dichter Bestand entwickelt hat, ist nach diesen vorläufigen Ergebnissen die Gefahr der Auswaschung von Nitrat unter den geprüften mehrjährigen Energiepflanzen als gering einzuschätzen. Es hat sich aber auch gezeigt, dass die Aussaat einer Zwischenfrucht die Herbst N_{\min} -Gehalte effektiv reduzieren kann, sofern sich diese wie 2016 gut entwickelt. Weitere Versuchsjahre müssen insbesondere die Ergebnisse zu den mehrjährigen Kulturen jedoch noch bestätigen.

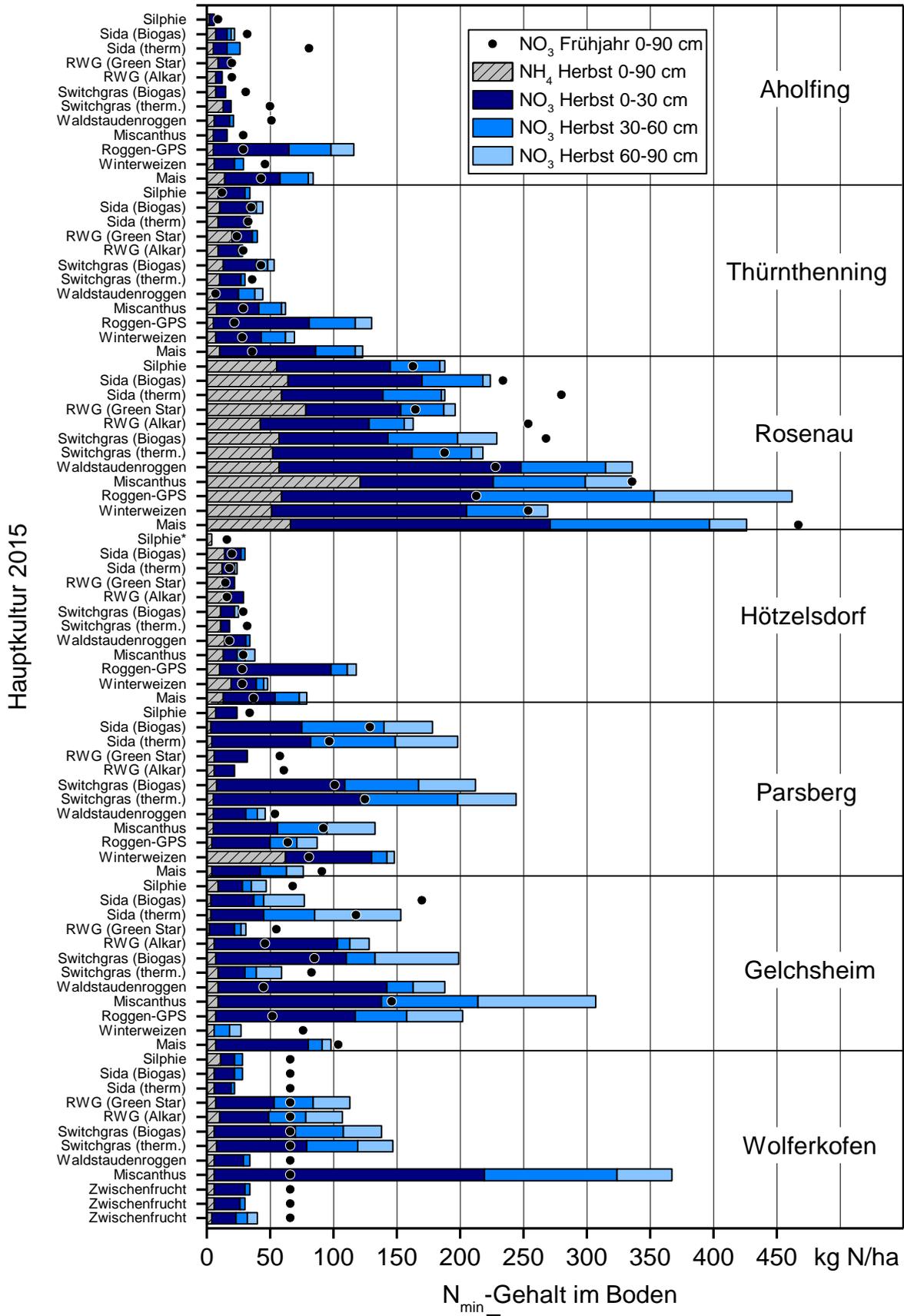


Abbildung 63: Boden-N_{min}-Gehalte im Herbst 2015; Neuansaat/-pflanzungen in Parsberg und Gelchsheim wurden nicht berücksichtigt; mit * gekennzeichnete Varianten = fehlender Wert

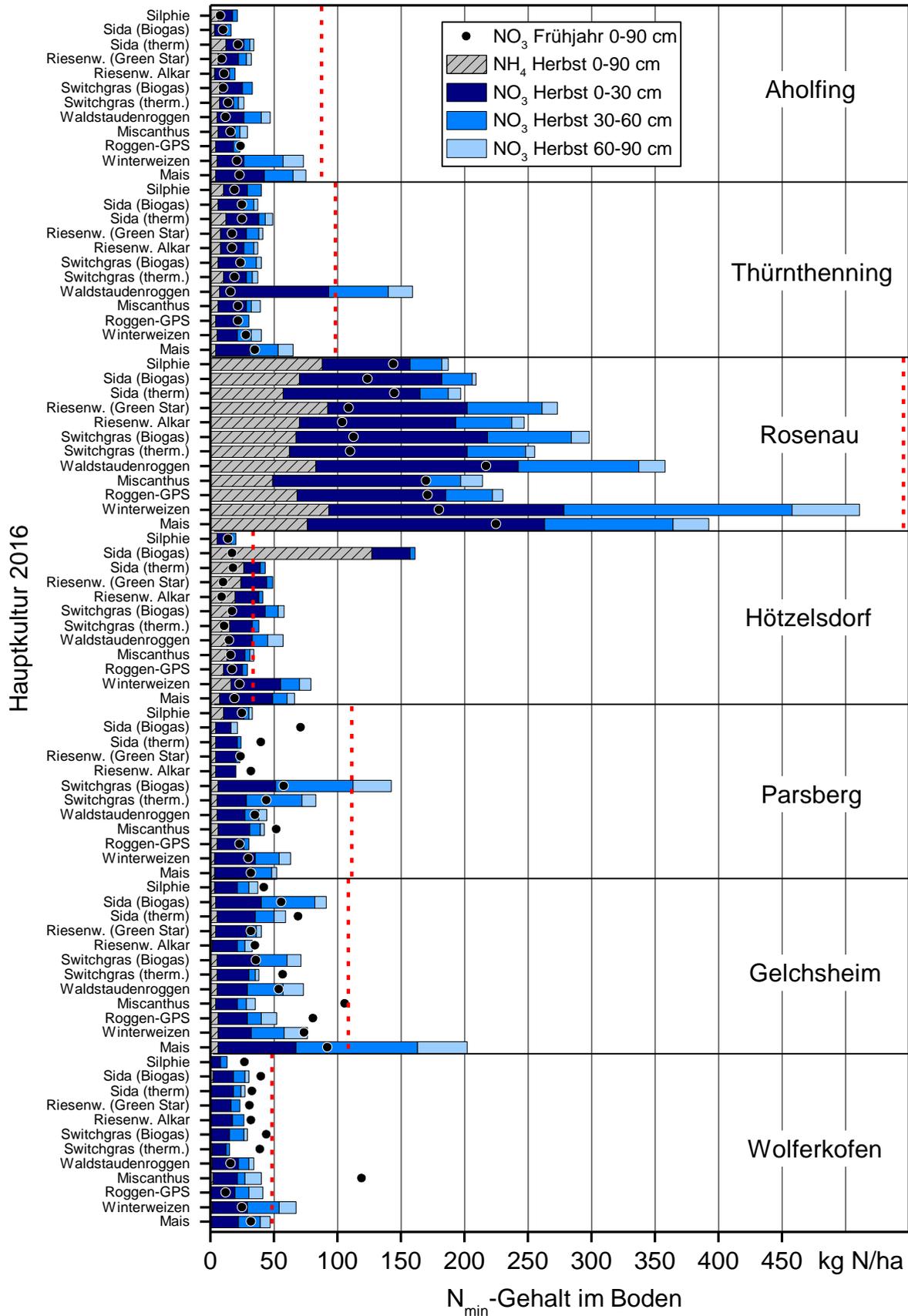


Abbildung 64: Boden-N_{min}-Gehalte im Herbst 2016 (gestrichelt = vergleichbarer Praxis-acker in direkter Nachbarschaft oder ortsnah)

5.4.2 Organische Substanz im Boden (TFZ)

Der ständige Aufbau und Abbau organischer Substanz im Boden hält sich in einem intakten Ökosystem die Waage. Die regelmäßige Bodenbearbeitung auf einer ackerbaulich bewirtschafteten Fläche verstärkt den Abbau [119]. Um den Effekt des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen auf die Entwicklung des organischen Kohlenstoffs im Boden zu erforschen, wurde zum Vegetationsende 2016 eine umfangreiche Probenzahl untersucht. Der Parameter organischer Kohlenstoff (C_{org}) gibt, multipliziert mit dem Faktor 1,72, näherungsweise den Humusgehalt eines Bodens wieder. Da der Faktor aber nicht allgemeingültig für alle Böden ist, wird im Folgenden auf die Angabe des Humusgehalts verzichtet und als genau zu bestimmender Parameter der C_{org} -Gehalt im Boden genannt.

Abbildung 64 bis Abbildung 70 zeigen die Gehalte an organischem Kohlenstoff in den Böden der Versuchsstandorte. Der Standort Thürnthening wurde nicht beprobt, da aufgrund der Flächenaufgabe im Folgeprojekt eine langfristige Beobachtung nicht möglich ist, Veränderungen des C_{org} -Gehalts im Boden jedoch nur langfristig detektiert werden können.

Insgesamt geringe C_{org} -Gehalte von 1 % und darunter wurden in Aholting und Wolferkofen ermittelt. Etwas mehr organischen Kohlenstoff bis maximal 2 % enthielten die Böden in Gelchsheim, Parsberg und Hötzelsdorf. Auffällig ist hierbei der deutliche Unterschied zwischen den Bodenschichten in Hötzelsdorf. Auf den anderen Standorten gab es nur eine leichte Anreicherung von organischem Kohlenstoff in der Oberschicht bis 15 cm. Unterschiede zu den Referenzfruchtfolgen waren bisher kaum zu erkennen. Die Fruchtfolge wird allerdings relativ bodenschonend geführt, da die Bodenbearbeitung nur mit dem Grubber bis max. 15 cm tief erfolgt. Eine wendende Bodenbearbeitung findet nicht statt. Zudem wird eine Zwischenfrucht nach Roggen-GPS angebaut und das Stroh des Weizens verbleibt auf der Fläche. In Parsberg scheint die organische Substanz der Miscanthus-Fläche leicht erhöht, was im Zusammenhang mit dem Blattabfall über Winter bei dieser Kultur stehen könnte. Unterschiede zum Praxisschlag fallen in Aholting, Hötzelsdorf, Rosenau und Wolferkofen auf. In Aholting war der C_{org} -Gehalt auf der Praxisfläche neben dem Versuchsfeld höher als in allen Varianten des Versuchs. Dies ist vermutlich auf eine intensive organische Düngung mit Substrat aus der betriebseigenen Biogasanlage zurückzuführen. Bei den Praxisflächen in Hötzelsdorf, Rosenau und Wolferkofen wird der fehlende Unterschied an C_{org} zwischen den Bodenschichten 0–15 und 15–30 cm deutlich. Da auf allen Praxisschlägen der Pflug zum Einsatz kommt, führt die Bodenbearbeitung vermutlich zu einer Durchmischung bis in nahezu 30 cm Tiefe. Eine gesonderte Stellung nimmt der Standort Rosenau ein. Der Boden der entwässerten Niedermoorfläche enthält sehr viel organischen Kohlenstoff. Die große Schwankungsbreite zwischen den Kulturen ist vermutlich weniger auf den Bewuchs als auf die Heterogenität der Fläche zurückzuführen. Bei einer Probenahme zu Versuchsbeginn 2014 ergab die Analyse verschiedener Proben über die Fläche Werte von 5 bis maximal 12 % C_{org} .

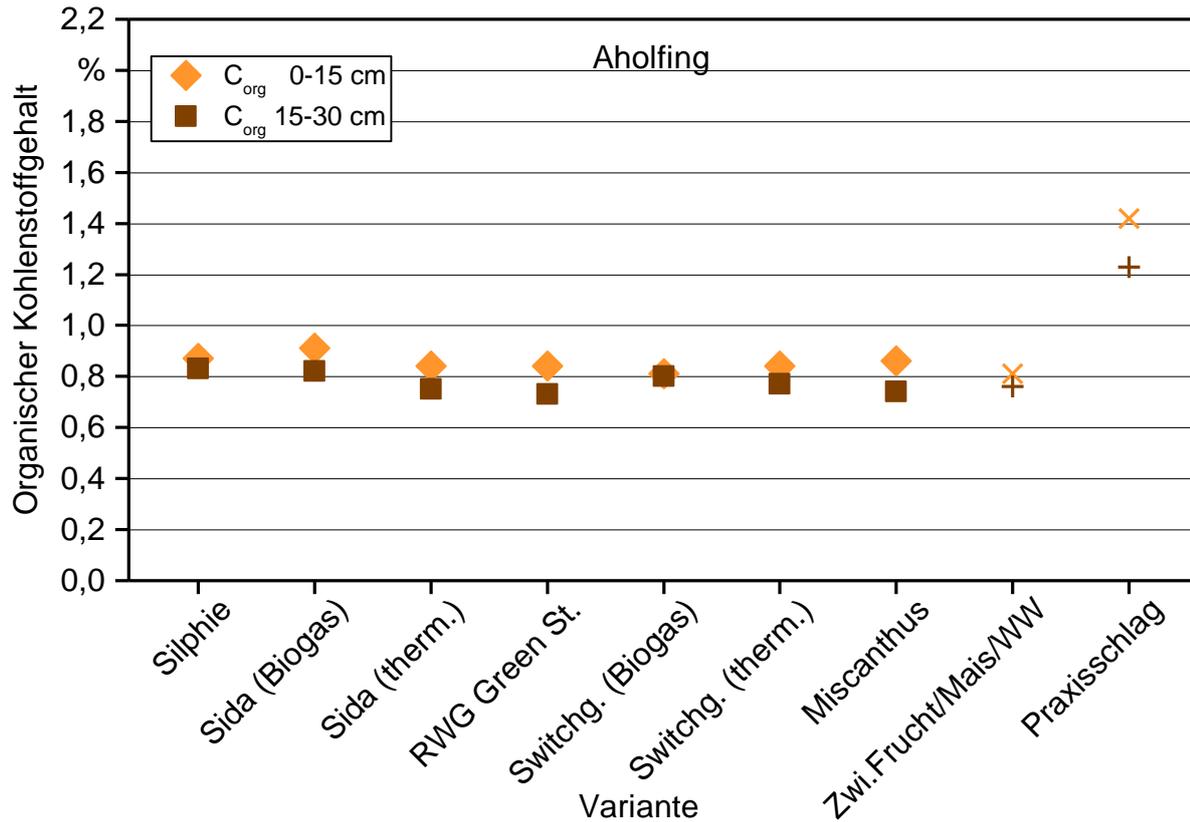


Abbildung 65: Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Aholting, (Herbst 2016), Praxis Schlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah

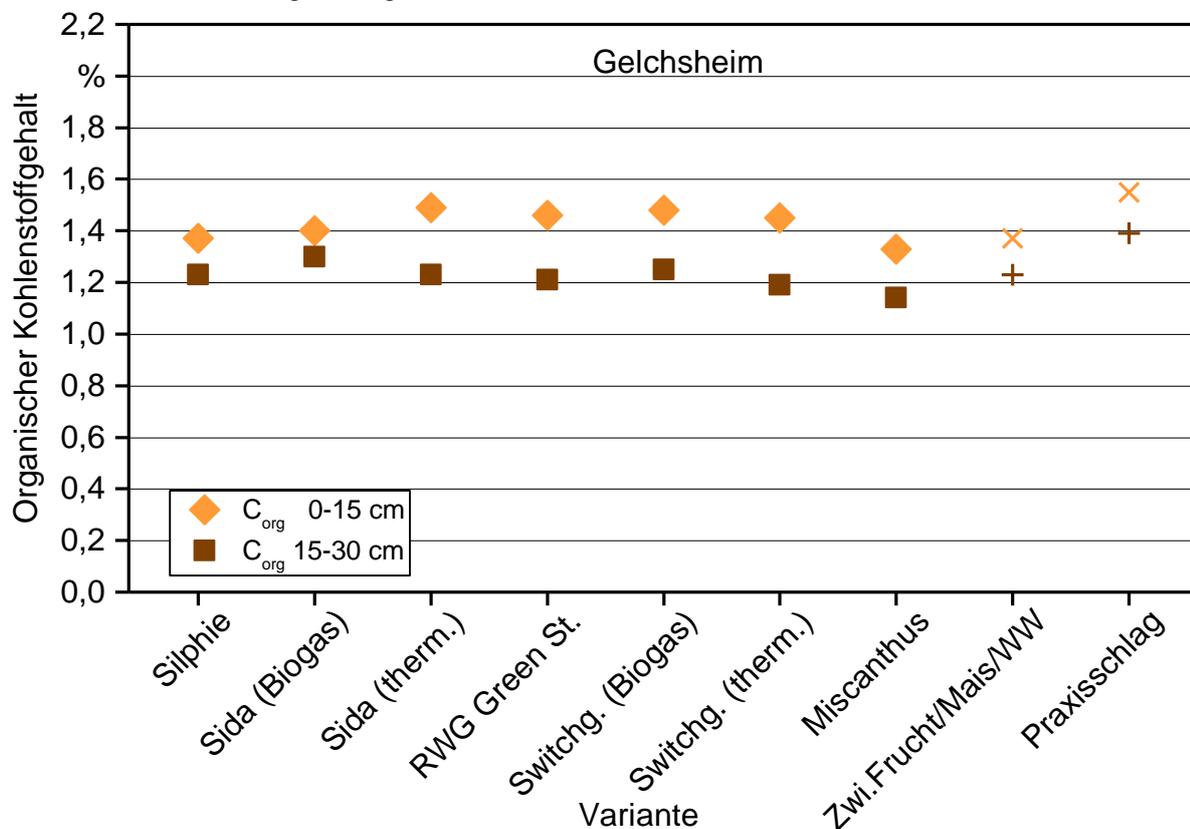


Abbildung 66: Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Gelchsheim, (Herbst 2016), Praxis Schlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah

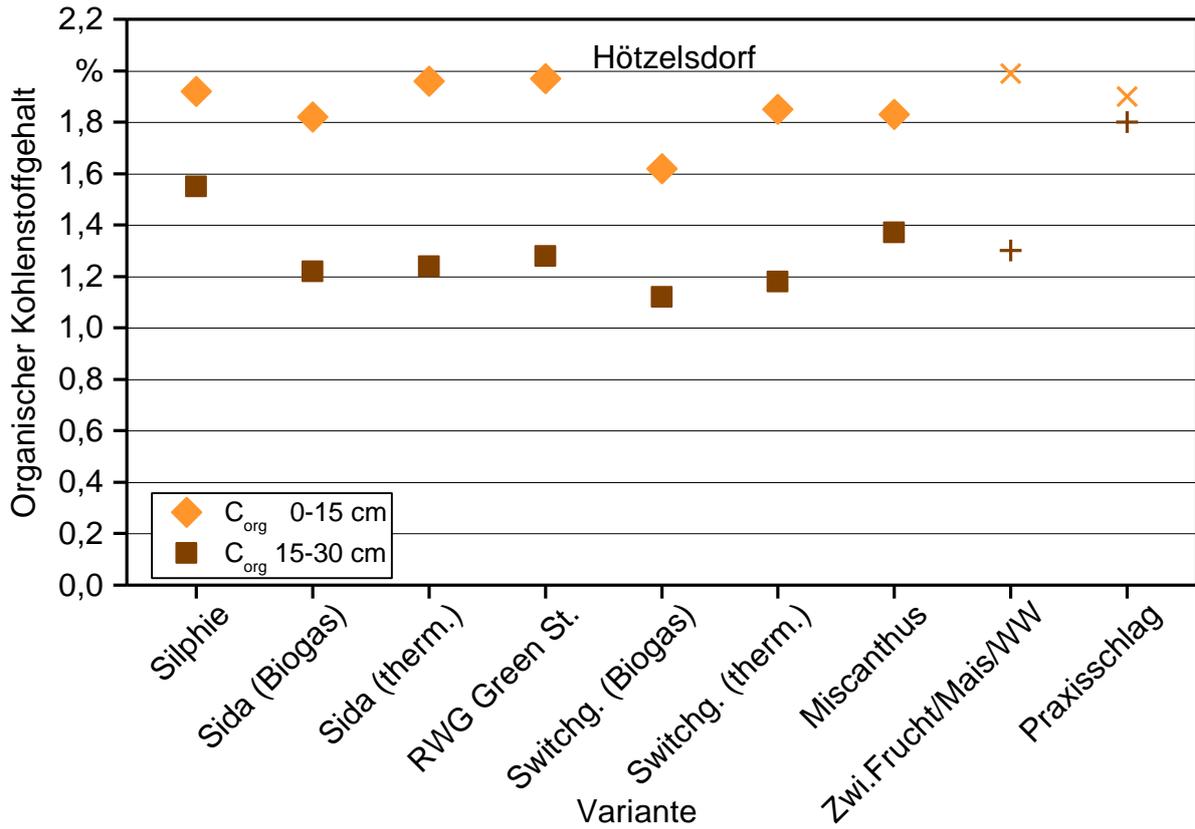


Abbildung 67: Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Hötzelsdorf, (Herbst 2016), Praxisschlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah

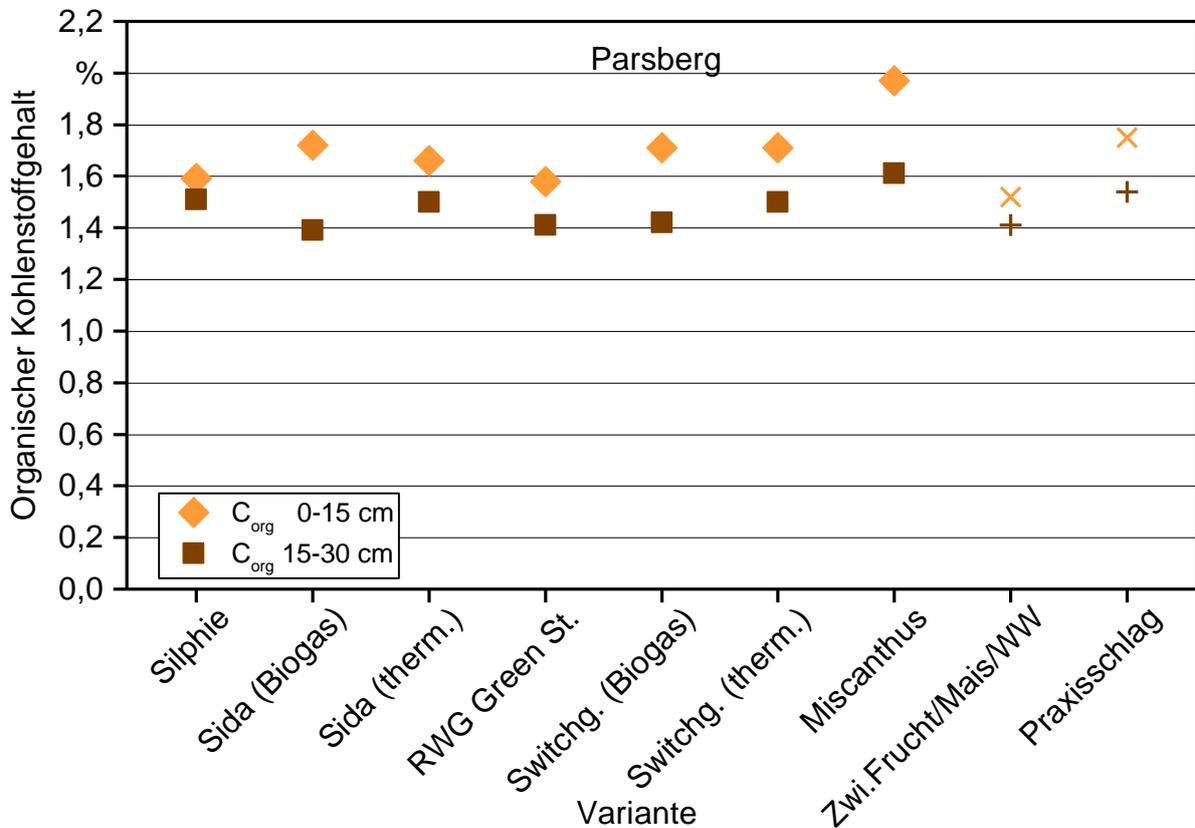


Abbildung 68: Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Parsberg, (Herbst 2016), Praxisschlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah

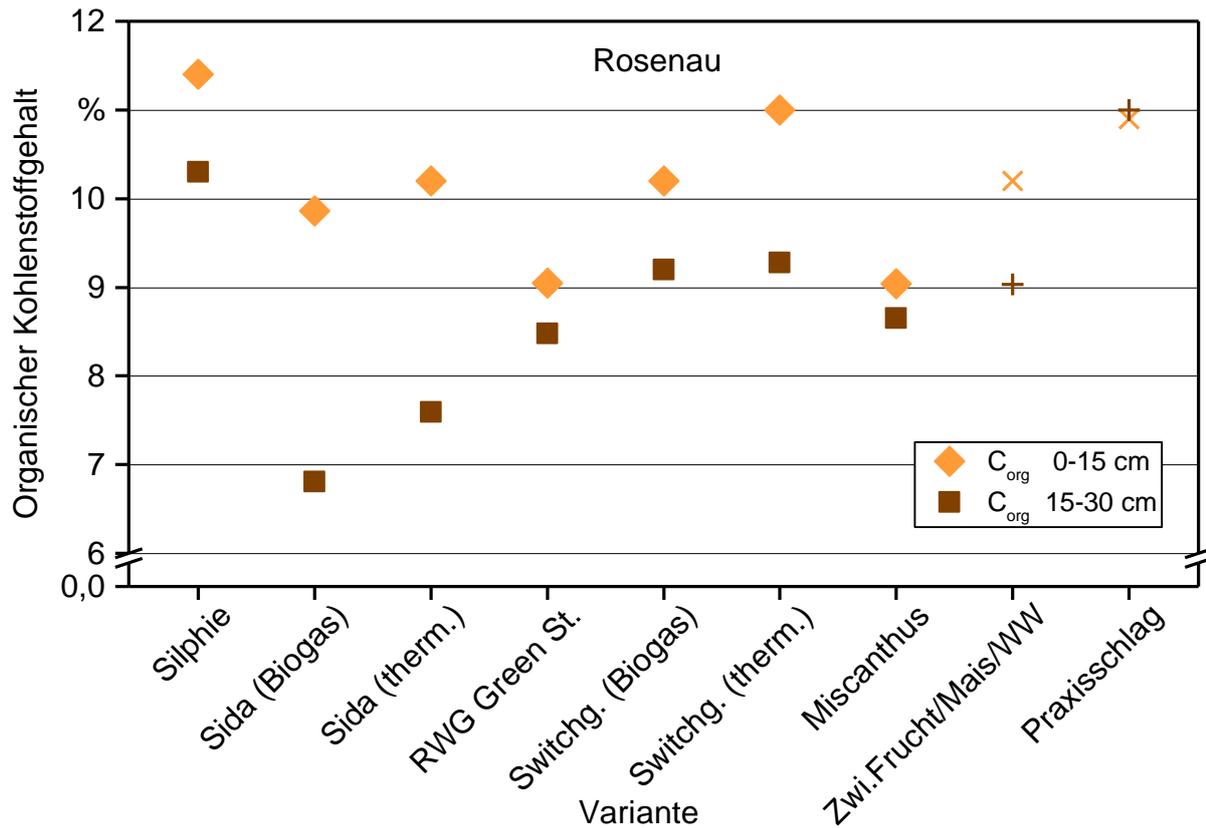


Abbildung 69: Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Rosenau, (Herbst 2016), Praxis Schlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah

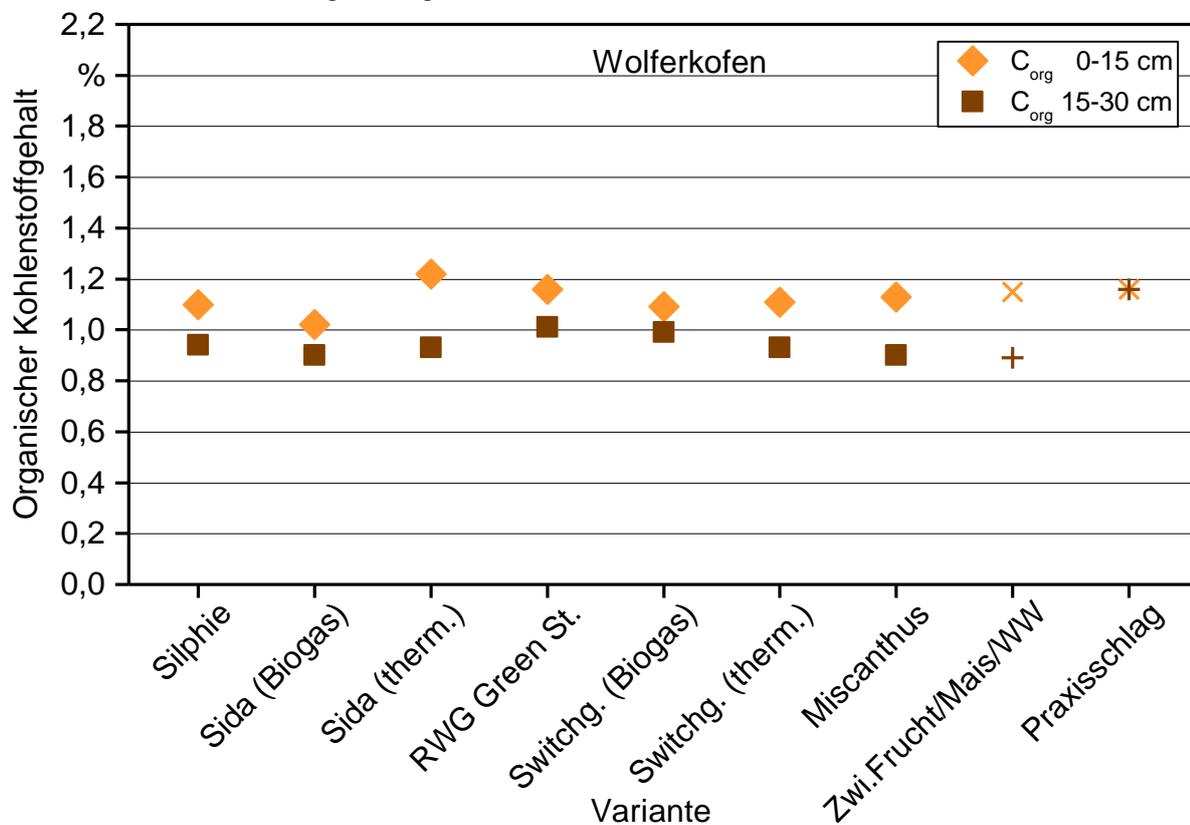


Abbildung 70: Organ. Kohlenstoffgehalt im Boden in Wolferkofen, (Herbst 2016), Praxis Schlag = vergleichbare Praxisfläche in direkter Nachbarschaft/ortsnah

Das Verhältnis von C_{org} zum Gesamtstickstoff (N_t) im Boden (C/N) ist ein Indikator für die Humusqualität und ein Maß für den Abbaugrad der organischen Substanz des Bodens. Die Humusqualität ist umso höher zu bewerten, je stickstoffreicher der organische Anteil bzw. je enger ihr Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C/N) ist [2]. Das C/N-Verhältnis guter Böden liegt bei 10:1 [99]. Für landwirtschaftliche Böden typisch ist ein Verhältnis von 8:1 bis 10:1 [43]. Tabelle 40 gibt das C/N-Verhältnis des Bodens unter den mehrjährigen Energiepflanzen sowie den Referenzkulturen an. Im Wesentlichen liegen die Werte zwischen 9:1 und 12:1. Die Böden haben damit teilweise ein etwas weiteres, jedoch unbedenkliches C/N-Verhältnis. Einzelne Abweichungen, wie z. B. der Wert des Riesenweizengrases in Parsberg oder der Silphie in Rosenau, sind schwierig zu erklären. Eventuell wurde dort der Stickstoffentzug durch den Biomasseaufwuchs der Kultur nicht optimal über die Düngung ausgeglichen. Weitere Untersuchungen nach mehrjähriger Bewirtschaftung der Versuchsfläche werden die Langzeitentwicklung bzw. den Einfluss der Bewirtschaftung mit mehrjährigen Kulturen zeigen.

Tabelle 40: C_{org}/N_t -Verhältnis im Boden (Herbst 2016), Praxisschlag = vergleichbare bewirtschaftete Fläche in direkter Nachbarschaft oder ortsnah

Variante	Ort	0–15cm	15–30cm	Ort	0–15cm	15–30cm
Silphie		11	12		10	9
Sida (Biogas)		11	10		9	12
Sida (thermisch)		11	15		10	10
Riesenw. (Green St.)	Aholting	12	12	Parsberg	12	16
Switchgras (Biogas)		12	11		9	9
Switchgras (therm.)		12	10		9	9
Miscanthus		11	12		9	9
Zwi.-Frucht/Mais/WW*		12	13		9	9
Praxisschlag		10	10		9	9
Silphie		9	9		13	11
Sida (Biogas)		8	9		11	10
Sida (thermisch)		9	9		11	10
Riesenw. (Green St.)	Gelchsheim	9	10	Rosenau	10	10
Switchgras (Biogas)		11	11		11	10
Switchgras (therm.)		10	11		11	10
Miscanthus		10	11		10	12
Zwi.-Frucht/Mais/WW*		10	11		12	13
Praxisschlag		10	10		13	10
Silphie	Hötzels- zels- dorf	11	10	Wolfer- kofen	9	9
Sida (Biogas)		11	11		9	10
Sida (thermisch)		11	10		9	10

Riesenw. (Green St.)	10	12	11	11
Switchgras (Biogas)	10	10	10	11
Switchgras (therm.)	10	12	9	9
Miscanthus	11	11	9	11
Zwi.-Frucht/Mais/WW*	10	11	12	10
Praxisschlag	11	11	10	10

* = Referenzfruchtfolge 2014/2015/2016

5.4.3 Untersuchung der Regenwurmfauna und Tastversuche zur Bodenfauna (IAB)

5.4.3.1 Regenwurmfauna

5.4.3.1.1 Grundaufnahme

Die Grundaufnahme der Regenwurmfauna im Herbst 2014 an den sechs Versuchstandorten zeigte deutliche standortabhängige Unterschiede (Abbildung 71). So wiesen die Standorte Aholting und Thürnthenning eine hohe Regenwurmsiedlungsdichte und -biomasse auf. In Parsberg und Hötzelsdorf lag der Besatz deutlich, in Rosenau und Gelchsheim leicht unter dem für 124 Ackerflächen (überwiegend Boden-Dauerbeobachtungsflächen) in Bayern ermittelten Durchschnitt von 115 bis 140 Regenwürmern pro Quadratmeter [172]. Zur hohen Regenwurmsiedlungsdichte an den Standorten Aholting und Thürnthenning hat vermutlich auch die vor Versuchsbeginn erfolgte mehrjährige organische Düngung der Flächen mit Gärresten beigetragen (gilt auch für Rosenau und Gelchsheim). Auf dem am höchsten gelegenen Standort Hötzelsdorf im Bayerischen Wald (648 m über NN), der aufgrund der vor Versuchsbeginn mehrjährig pfluglosen Bodenbearbeitung des Felds eher eine gute Regenwurmbesiedlung erwarten lässt, haben vermutlich die sandigen und relativ flachgründigen Bodenbedingungen sowie die längeren Winter mit tieferen Temperaturen einen ungünstigen Einfluss auf den Regenwurmbestand. Winterkälte ist als wesentlicher Einflussfaktor für starke interannuelle Populationschwankungen bekannt [160]. An den Standorten Parsberg und Rosenau war kein tiefgrabender Regenwurm nachweisbar. Für die zuvor ebenfalls pfluglos bearbeitete Versuchsfläche Rosenau ist dies auch durch den Niedermoorcharakter des Standorts mit guter Wasserspeicherkapazität und hohem Grundwasserstand zu erklären. Typisch für solche Standorte ist das verstärkte Auftreten epigäischer (streubewohnender) und flachgrabender (endogäischer) Arten, die aufgrund ihrer Lebensweise näher an der Bodenoberfläche mit einem hoch anstehenden Grundwasser gut zurechtkommen, wohingegen die großen tiefgrabenden Regenwürmer dort fehlen. Am Standort Thürnthenning spiegelte sich die inhomogene, an manchen Stellen kiesige oder tonige Bodentextur im Regenwurmbestand wider. Auch in Parsberg zeigten sich Unterschiede im Regenwurmbesatz über die Versuchswiederholungen.

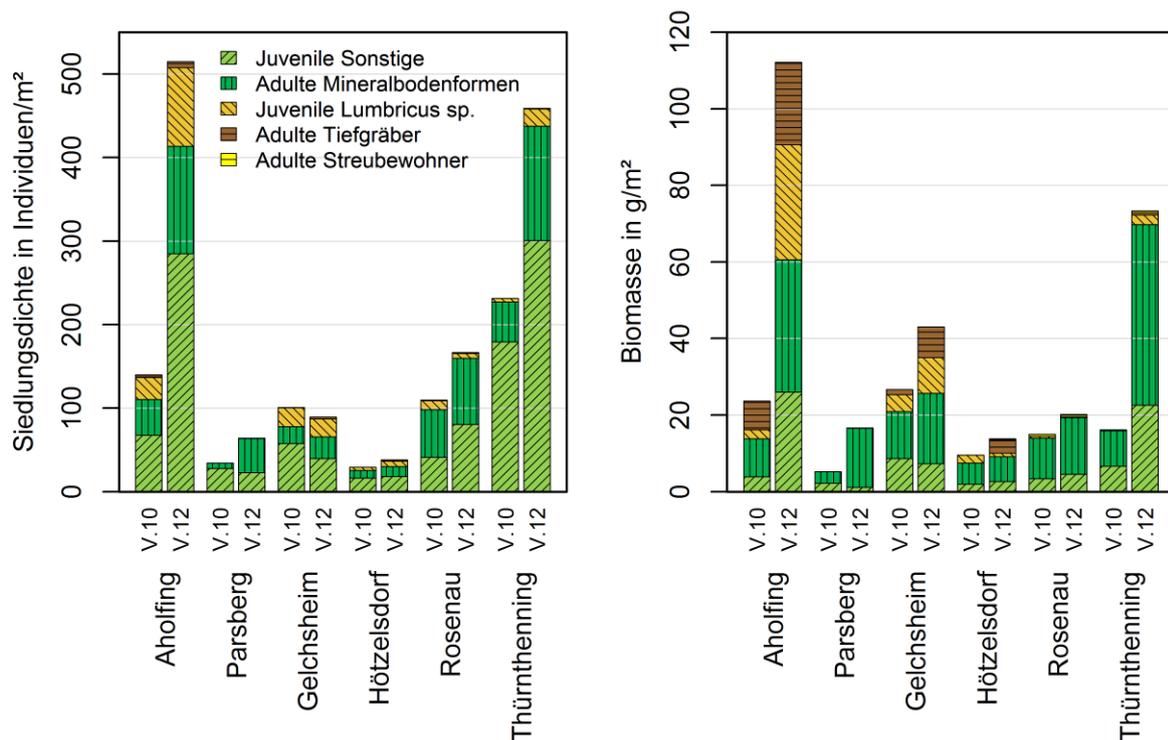


Abbildung 71: Siedlungsdichte (links) und Biomasse (rechts) der Regenwürmer bei der Grundaufnahme im Herbst 2014 in den Referenzparzellen (Anbau von Ramtillkraut im Sommer als Zwischenfrucht, in V10: Ramtillkraut noch nicht gemulcht, V12: Ramtillkraut 2–4 Wochen vor Probenahme gemulcht)

Beim Vergleich der beiden mit Ramtillkraut bestellten Referenzparzellen zeigten sich unterschiedliche Regenwurmbestandswerte zwischen den bereits zwei bis vier Wochen zuvor gemulchten Flächen (Ramtillkraut vor Weizen) und der zur Regenwurmprobenahme noch nicht gemulchten Variante (Ramtillkraut vor Mais). Die gemulchte Variante wies einen höheren Regenwurmbesatz auf und die adulten Individuen der in bayerischen Äckern häufigsten Regenwurmart *Aporrectodea caliginosa* waren hier tendenziell schwerer, das heißt vermutlich besser ernährt (Abbildung 72). Wahrscheinlich reduzierte das noch stehende und transpirierende Ramtillkraut die Bodenfeuchte in dem eher trockenen Herbst stärker, was sich ungünstig auf die Lebensbedingungen und Aktivität der Regenwürmer auswirkte. So befand sich ein Teil der Regenwürmer im noch stehenden Ramtillkraut weiterhin in der sommerlichen Ruhephase bzw. im Kokonstadium und war methodisch nicht nachweisbar. Dagegen hatte in den gemulchten Varianten mit höherer Bodenfeuchte die Aktivität der Regenwürmer nach der Sommerpause bereits früher eingesetzt.

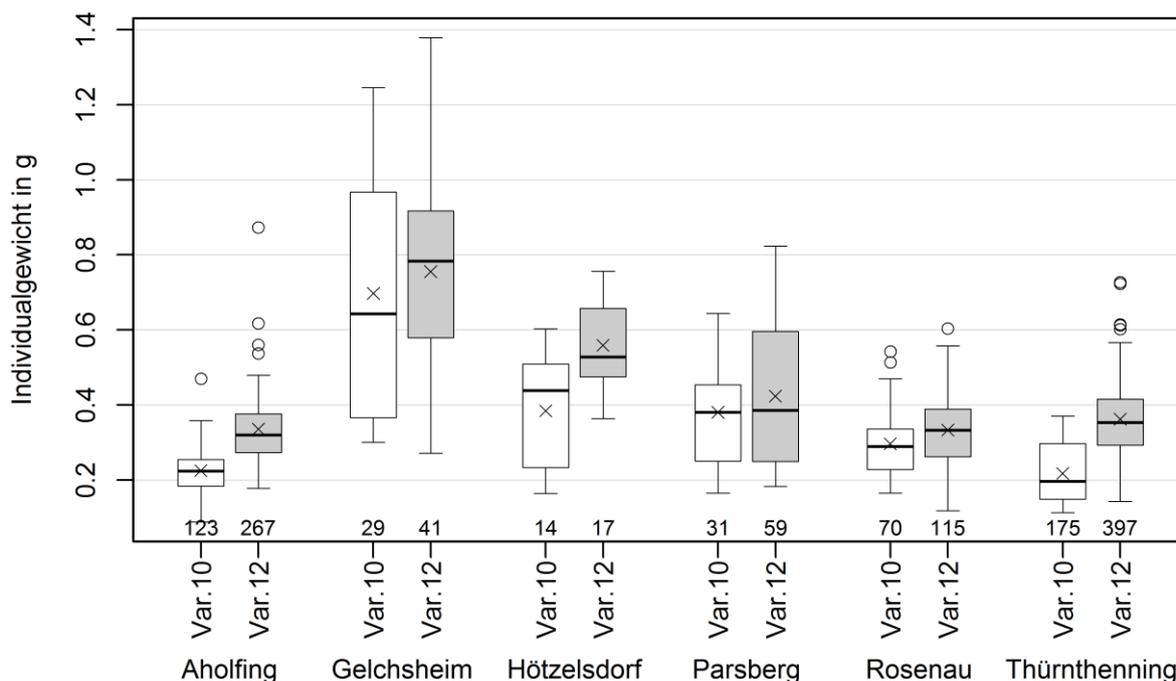


Abbildung 72: Boxplot der Gewichte von 532 adulten Individuen von *Aporrectodea caliginosa* über die Versuchsstandorte und Varianten bei der Grundaufnahme im Herbst 2014 in den Referenzparzellen (V10: Ramtillkraut noch nicht gemulcht, V12: Ramtillkraut 2–4 Wochen vor Probenahme gemulcht); x kennzeichnet arithmetisches Mittel, die Werte unter den Boxplots entsprechen der Anzahl der gewogenen Individuen

5.4.3.1.2 Regenwurmfauna von Kulturen für die Biogas-Verwertung

Im Mittel war die Siedlungsdichte bei der Aufnahme im Herbst 2015 (Abbildung 73) an den vier Standorten geringer als zur Grundaufnahme im Herbst 2014, auch wenn man nur die Referenzen betrachtet. Dies ist vermutlich auch auf den trockenen Sommer im Jahr 2015 zurückzuführen. In Hötzelsdorf war der Regenwurmbestand mit deutlich unter 50 Individuen/m² sehr niedrig. Hinsichtlich der Artenzusammensetzung fiel wiederum das Fehlen adulter tiefgrabender Arten in Rosenau und der hohe Anteil juveniler Regenwürmer bei einem geringen Anteil juveniler *Lumbricus sp.* und tiefgrabender Arten in Thürnthening auf.

Betrachtet man die einzelnen Varianten, so zeigte sich, dass an vier von fünf Standorten das Riesenweizen gras (Sorte Green Star) die geringste Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer aufwies (Abbildung 73, Abbildung 74). Am besser mit Wasser versorgten Standort Rosenau waren im Riesenweizen gras Siedlungsdichte und Biomasse jedoch am höchsten, was auf standortspezifische Effekte hinweist. Vorwiegend war dies auf eine Zunahme der epigäischen Art (*Lumbricus rubellus*) zurückzuführen, die auch für die beiden anderen perennierenden Kulturen Sida und Silphie im Vergleich zur Referenz vor allem in der Regenwurmbiomasse an diesem Standort feststellbar war. Für die Silphie und die Sida waren über alle Standorte hinweg betrachtet noch keine deutlichen

Unterschiede zur Referenzfläche nachzuweisen. Auch für die Beurteilung der Änderung in der Artenzusammensetzung sind nach der kurzen Versuchslaufzeit noch keine Auswirkungen zu erkennen.

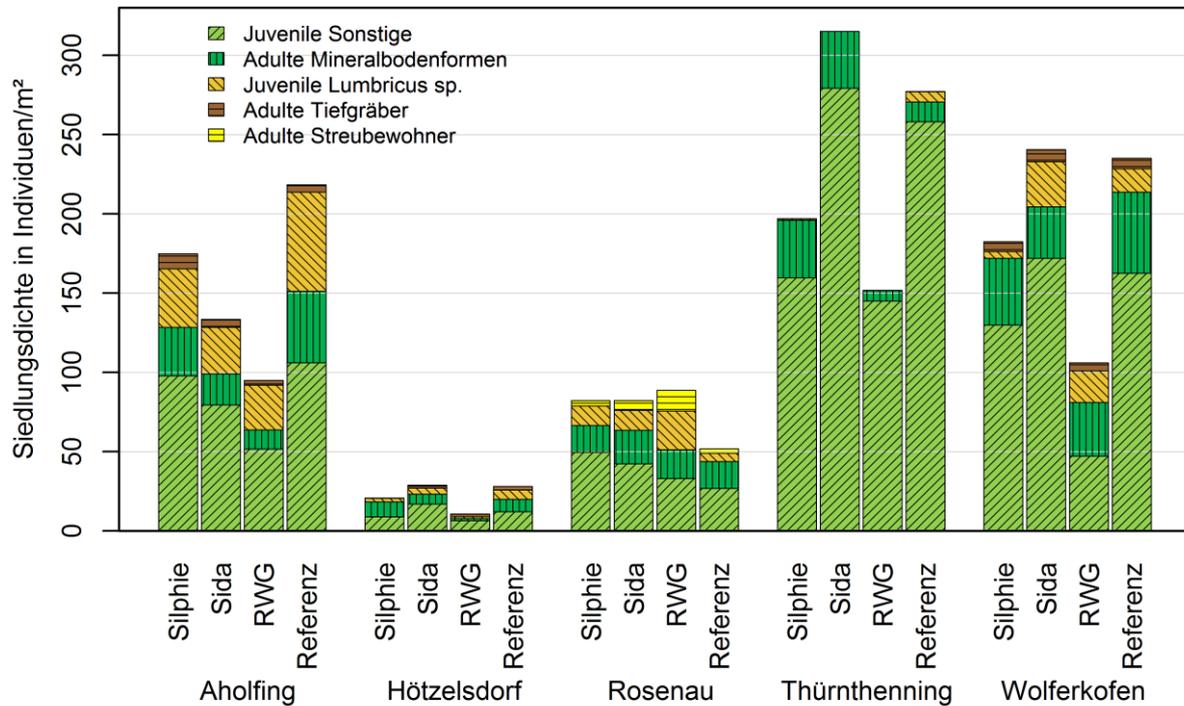


Abbildung 73: Siedlungsdichte der Regenwürmer als Biogassubstrat genutzter Kulturen (RWG = Riesenweizengras, Sorte Green Star) 2015 und 2016 (Wolferkofen)

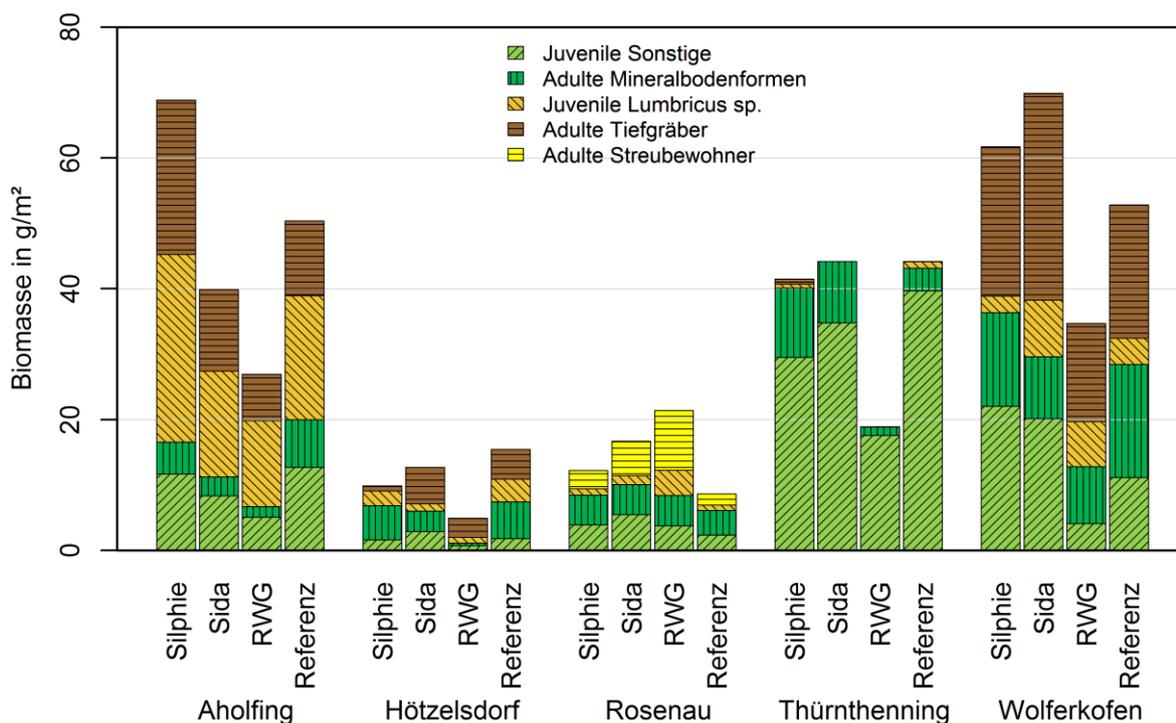


Abbildung 74: Biomasse der Regenwürmer als Biogassubstrat genutzter Kulturen (RWG = Riesenweizengras, Sorte Green Star) 2015 und 2016 (Wolferkofen)

5.4.3.1.3 Regenwurmfauna thermisch genutzter Kulturen

Im Frühjahr 2016 lag die Regenwurmsiedlungsdichte der Referenzparzellen niedriger als in den beiden Untersuchungen zuvor. Nur in Rosenau erreichte sie wieder das Niveau der Grundaufnahme. Auffällig ist, dass an drei Standorten die Siedlungsdichte und besonders die Biomasse der Regenwürmer unter Switchgras niedriger waren als unter Sida und Miscanthus (Abbildung 75, Abbildung 76). In Hötzelsdorf war der Regenwurmbestand in allen drei mehrjährigen Energiepflanzen höher als in der Referenz. Streubewohnende Arten waren am Standort Rosenau vorwiegend in den Parzellen mit Miscanthus und Sida (thermische Verwertung) zu finden, während auf der Ackerreferenz und unter Switchgras diese Tiergruppe in geringerer Dichte auftrat und hier die Gesamt-Regenwurmbiomasse nicht wesentlich höher als im Herbst 2015 war. An allen vier Standorten wies der Miscanthus eine deutlich höhere Siedlungsdichte als die Referenz auf. Die Biomasse der Regenwürmer unter dieser Kultur war nur in Aholfing geringer als in der Referenz. In Hötzelsdorf erreichte sie unter Miscanthus den bisher an diesem Standort höchsten ermittelten Wert.

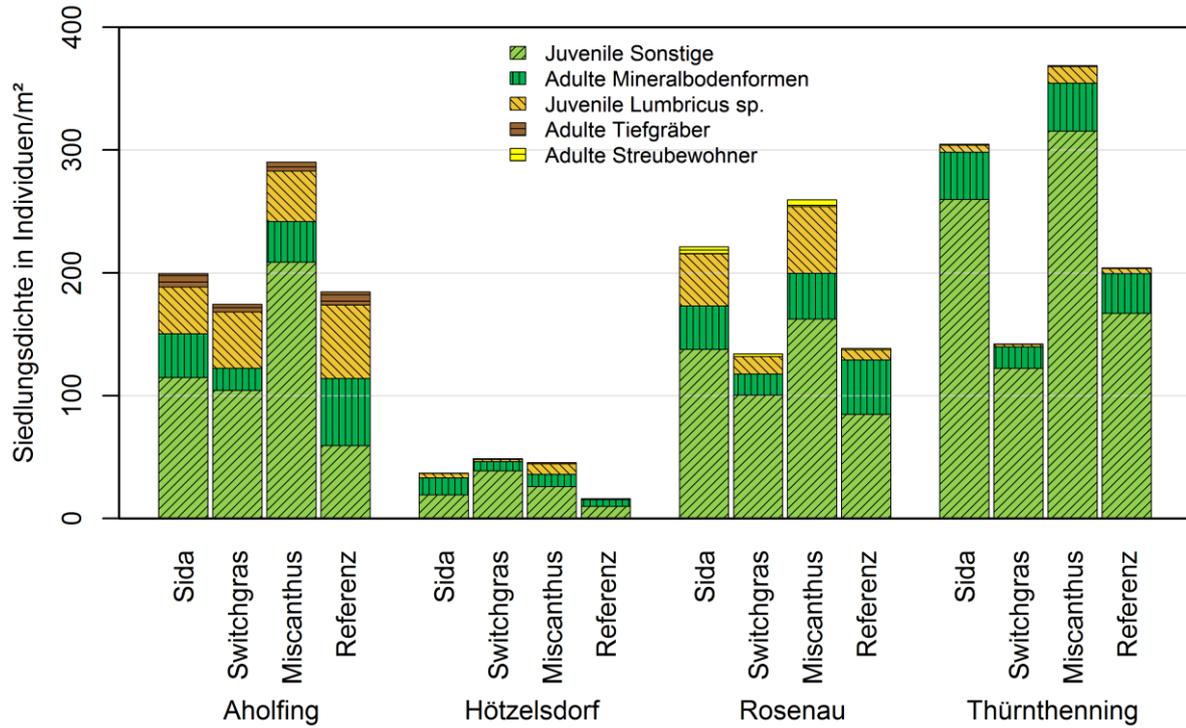


Abbildung 75: Siedlungsdichte der Regenwürmer thermisch genutzter Kulturen im Frühjahr 2016

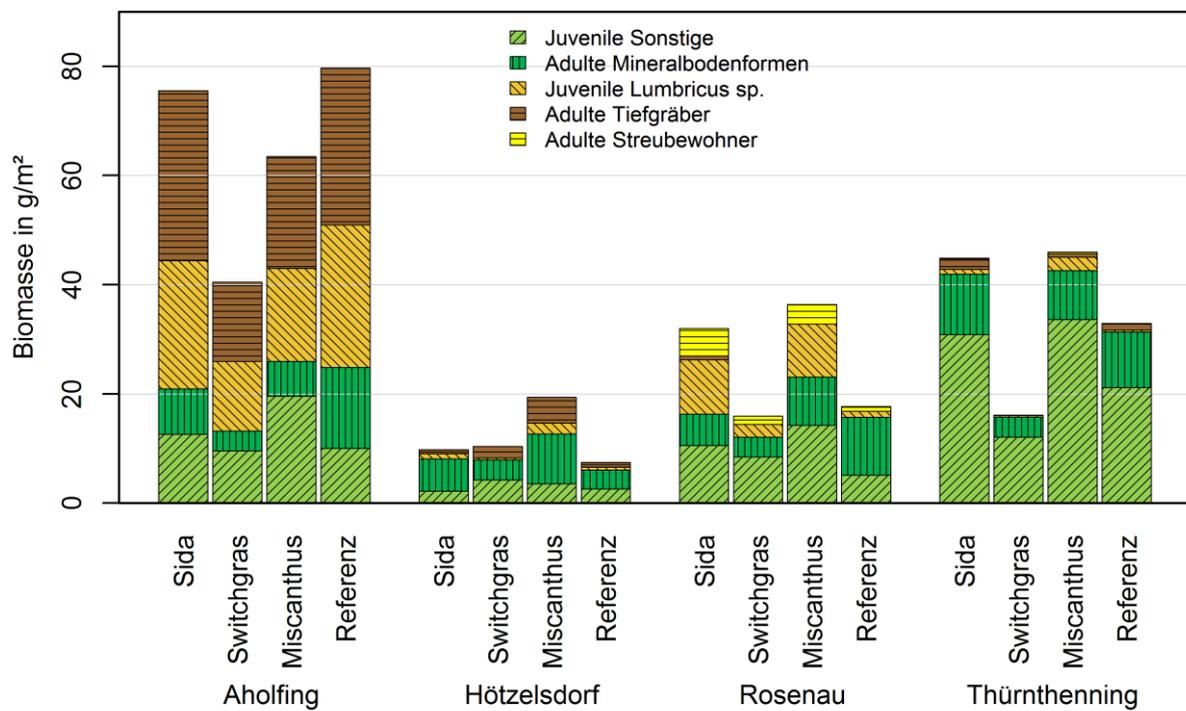


Abbildung 76: Biomasse der Regenwürmer thermisch genutzter Kulturen im Frühjahr 2016

5.4.3.1.4 Regenwurmfauna mehrjähriger Energiepflanzen auf Praxisflächen

Die zwei untersuchten Miscanthus-Felder im Raum Straubing zeichneten sich an den beiden Standorten Aholting und Herfurth durch leichtere, sandige Böden und bodenbearbeitungsintensivere Kulturen wie Kartoffel und Zuckerrübe in den Fruchtfolgen der Vergleichsäcker aus. Die Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer lag hier in den Miscanthus-Feldern höher als auf den benachbarten Vergleichsäckern und erreichte den für bayerische Äcker ermittelten Durchschnitt (Abbildung 77). Auf dem schwereren Boden in Leiblfing wies die untersuchte benachbarte Ackerbrache einen höheren Regenwurmbestand auf als das Miscanthus-Feld. Biomasse und Siedlungsdichte waren in dieser wohl teilweise auch als Schafweide genutzten Fläche ungewöhnlich hoch. In Wurmansquick wurde die von allen untersuchten Praxisflächen höchste Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer unter Miscanthus nachgewiesen. Die Regenwurmsiedlungsdichte war hier sogar höher als auf der pfluglos bewirtschafteten Ackerfläche und im Vergleichsgrünland, jedoch waren adulte Tauwürmer eher in geringerem Umfang nachzuweisen, was sich auf die Regenwurmbiomasse auswirkte. An den übrigen drei Standorten wiesen die als Vergleich herangezogenen Grünlandflächen den höchsten Regenwurmbestand (Siedlungsdichte und Biomasse) auf. Die höchste Artenvielfalt wurde auf der Ackerbrache in Leiblfing mit neun Regenwurmartens nachgewiesen. Der Miscanthus erreichte sechs und das Grünland vier Arten an diesem Standort. Vergleichsweise artenarm war die Regenwurmfauna in Herfurth (auf beiden Feldern jeweils drei Arten). Hier waren zwischen den benachbarten Schlägen jedoch große Unterschiede in der Artenzusammensetzung festzustellen, mit einem hohen Anteil von *Allolobophora chlorotica* im Acker. In Aholting und Leiblfing fehlte diese Art im Miscanthus, während sie auf der Ackerfläche auftrat. Sieben Arten wurden im Grünland, fünf im Miscanthus und vier auf dem Acker in Aholting nachgewiesen. In Wurmansquick wurden im Miscanthus mehr Regenwurmartens (7) gefunden als in der Wiese und der Ackerfläche (jeweils 6).

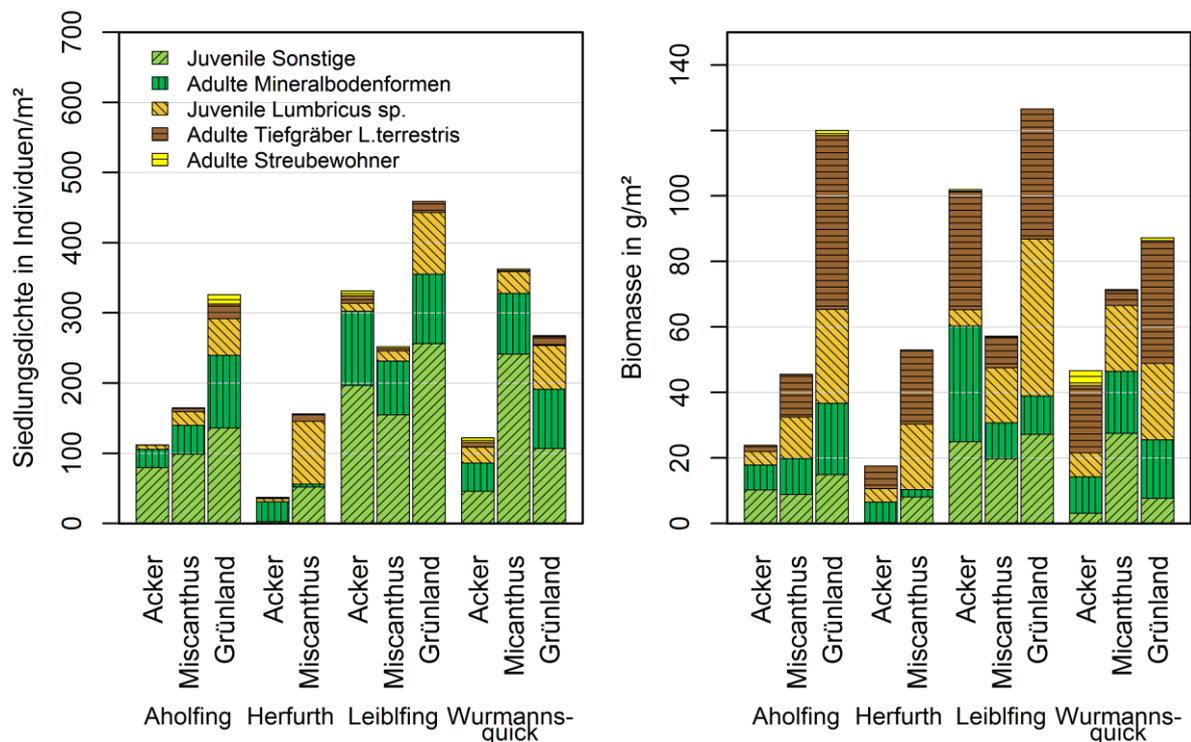


Abbildung 77: Siedlungsdichte (links) und Biomasse (rechts) der Regenwürmer auf Flächen von Praxisbetrieben mit Miscanthus, Acker oder Grünland

Die untersuchten fünf und sieben Jahre alten Flächen mit Durchwachsener Silphie zeigten eine deutlich höhere Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer als die Ackerflächen (Abbildung 78). Neben einer Zunahme juveniler Individuen konnte auch eine positive Entwicklung für den tiefgrabenden Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) beobachtet werden. In den Grünlandflächen war der Regenwurmbesatz wiederum am höchsten. Auf dem vor neun Jahren angelegten Grünstreifen (Erosionsschutzstreifen) in Lappersdorf war besonders die Biomasse der Regenwürmer jedoch deutlich geringer als in der Silphie. Zu erklären ist dies vermutlich durch Bewirtschaftungs- (z. B. keine organische Düngung) und Standortunterschiede. Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer aller regelmäßig gepflügten Vergleichsackerflächen sind jedoch als eher gering einzustufen. Auf den Flächen mit Silphie wurden durchgehend deutlich mehr Arten nachgewiesen als auf den Vergleichsäckern (Alsmoos: Acker 3, Silphie 6, Grünland 7; Kirchweidach: Acker 5, Silphie 8, Grünland 7; Lappersdorf: Acker 3, Silphie 5, Grünstreifen 5).

Am Standort Kirchweidach konnten unter der Silphie und auch im Grünland zudem zwei Arten erstmals in Deutschland nachgewiesen werden (*Octodrilus pseudolissaensioides*, nachbestimmt durch Prof. Csaba Csuzdi und *Proctodrilus ophistoductus*, nachbestimmt von Dr. Norbert Höser). Beide Regenwurmart sind den sogenannten Mineralschichtbewohnern zuzuordnen. Die nächsten bekannten Funde von *Octodrilus pseudolissaensioides* stammen aus Österreich, etwa 60 km entfernt. Bei *Proctodrilus ophistoductus*

handelt es sich in Kirchweidach wahrscheinlich um das nordwestlichste bislang bekannte Vorkommen in Europa.

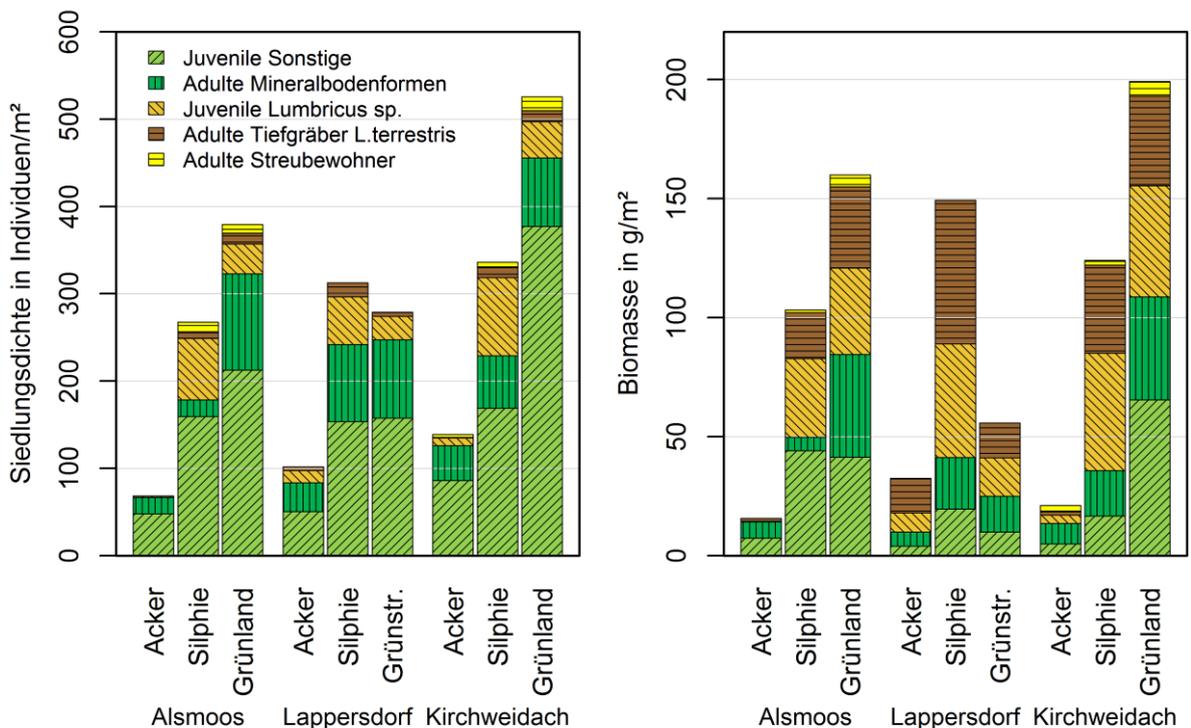


Abbildung 78: Siedlungsdichte (links) und Biomasse (rechts) der Regenwürmer auf Flächen von Praxisbetrieben mit Silphie, Acker oder Grünland

Auf Flächen mit Riesenweizengras (RWG) wurde an allen Standorten eine höhere Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer festgestellt als auf den benachbarten Ackerflächen (Abbildung 79). In Hüssingen und Oberstark profitierte auch der tiefgrabende Tauwurm im Vergleich zur Ackerfläche. In Mertingen wurden im Riesenweizengras verstärkt juvenile Arten der Gattung *Lumbricus* nachgewiesen. Für den Standort Hüssingen ist zu berücksichtigen, dass hier das Riesenweizengras auf Grünland angelegt wurde und die Ackerfläche pfluglos bewirtschaftet wird. Im erst eineinhalb Jahre alten Riesenweizengras in Oberstark waren bereits tendenziell positive Effekte auf den Regenwurmbestand zu erkennen. Die Grünlandflächen zeigten sehr unterschiedliche Werte auf den drei untersuchten Standorten. Allerdings erschweren die etwas größeren räumlichen Entfernungen und die deutlichen Standortunterschieden den Vergleich mit dem Riesenweizengras. In Hüssingen war der Standort des untersuchten Grünlands sehr flachgründig und durch einen hohen Steinanteil gekennzeichnet, in Mertingen und Oberstark eher talnäher und frischer. In Mertingen wurde die Regenwurmfauna des Grünlands von *Aporrectodea longa* dominiert, diese Art fehlte auf den beiden anderen Flächen. In Hüssingen wurde die höchste Artenzahl im Riesenweizengras nachgewiesen (RWG: 5, Acker 3, Grünland 3), in Mertingen war sie hier am niedrigsten (RWG: 3, Acker: 4, Grünland: 8) und in Oberstark gleich mit dem Grünland und höher als im Acker (RWG: 5, Acker: 4, Grünland: 5).

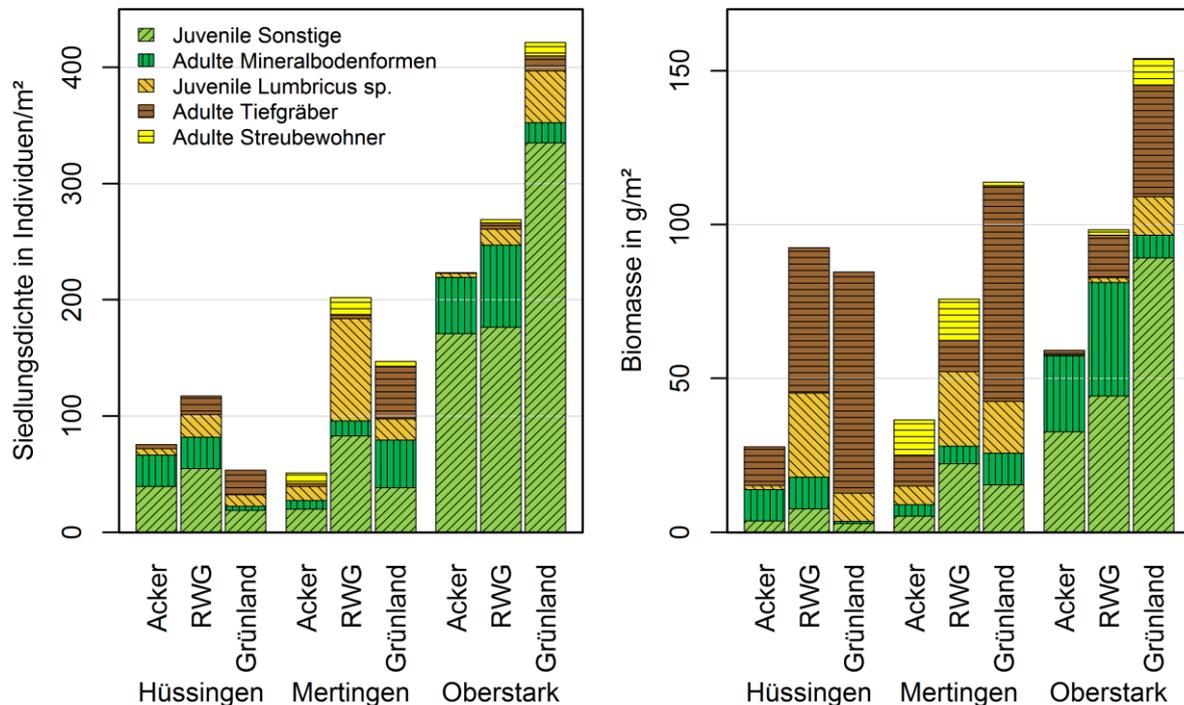


Abbildung 79: Siedlungsdichte (links) und Biomasse (rechts) der Regenwürmer auf Flächen von Praxisbetrieben mit Riesensweizengras (RWG), Acker oder Grünland

5.4.3.1.5 Diskussion

Nach lediglich eineinhalb bzw. zwei Versuchsjahren ist es für Aussagen zur mittelfristigen Entwicklung der Regenwurmfauna unter den verschiedenen mehrjährigen Energiepflanzen in den Exaktversuchen noch zu früh. Zusätzlich beeinflusste der sehr trockene Sommer 2015 die Regenwurmfauna, da langanhaltende Trockenheit große Populationschwankungen der Regenwürmer verursachen kann [45]. Eine statistische Auswertung der Ergebnisse konnte noch keine standortübergreifenden belastbaren Unterschiede zwischen den Kulturen nachweisen und wird daher hier nicht gezeigt. Auch wenn man die einzelnen Standorte getrennt betrachtet, ist der Anteil nicht erklärbarer Varianz in der Regel sehr hoch. In den Referenzparzellen, die ohne vorheriges Pflügen bestellt werden, ist von einem eher höheren Regenwurmbestand auszugehen, als man ihn in regelmäßig gepflügten Flächen findet. Im Herbst 2015 kann auch der geringere Wasserverbrauch und die schnellere Wiederbefeuchtung im Herbst in der schlecht aufgegangenen Zwischenfrucht nach Roggen-GPS den positiven Effekt der Bodenruhe bei den mehrjährigen Energiepflanzen überlagert haben.

Dennoch konnten bereits einige Zusammenhänge aufgedeckt werden. Sowohl bei den thermisch genutzten Kulturarten als auch bei den Kulturen, die Substrat für die Biogasanlagen liefern sollen, waren es die Energiegräser Switchgrass und Riesensweizengras, die mit einem eher geringen Regenwurmbestand auffielen. Die Untersuchung von EMERLING [47] in Trier stellte für das als Biogassubstrat genutzte Switchgrass ebenfalls eine signifikant niedrigere Regenwurm-Biomasse im Vergleich mit mehreren anderen mehrjäh-

rigen Energiepflanzen fest. Riesenweizengras (Sorte Szarvasi) zeigte in dieser Studie eine ähnliche Siedlungsdichte und Biomasse wie die Silphie [47]. Generell ist bei den Energiegräsern, ähnlich wie beim Vergleich von Grünland und Ackerflächen, von einem positiven Effekt durch die Bodenruhe, das konstante Nahrungsangebot und die ständige Bodenbedeckung auszugehen. Allerdings unterscheiden sich Switch- und Riesenweizengras hinsichtlich der Artenvielfalt und auch der Bewirtschaftung deutlich vom klassischen Wirtschaftsgrünland. Ursache für die nachgewiesenen Unterschiede zu den übrigen Kulturen könnte zum einen ein erhöhter Wasserverbrauch unter diesen Kulturen sein. So wächst das Riesenweizengras im Herbst in der Regel noch relativ stark. Ursächlich könnte auch die intensive und tiefreichende Durchwurzelung dieser Kulturen sein. Der dichte, über den Winter stehende Bestand des thermisch genutzten Switchgrases stellt ein Charakteristikum dieser Bewirtschaftungsform dar, welches in dieser Form auf anderen landwirtschaftlich genutzten Flächen nicht auftritt. Kenntnisse zum Einfluss auf Boden, Bodenfauna und Mikroklima sind daher nur in geringem Umfang vorhanden. Nicht zu vernachlässigen ist die Streuqualität dieser Kulturen. Zwar finden wir auch in intensiv bewirtschafteten, kräuterarmen Wiesen hohe Regenwurmsiedlungsdichten und -bestände, doch ist die Nahrungsvielfalt in entsprechenden Grasmonokulturen sicher am geringsten. Von einer zunehmenden Pflanzenartenvielfalt profitieren die endogäische Regenwurmart, vermutlich als Folge von Wurzelexsudaten [114]. Leguminosen im Grünland wirken sich günstig auf die Regenwurmbiomasse aus, vor allem auf die tiefgrabende, anözische Art *Lumbricus terrestris* [53].

Miscanthus weist eine eher ungünstige Streu für Regenwürmer auf [48], doch sind in der Etablierungsphase in der Regel wie auch in diesem Versuch immer wieder Beikräuter zu finden. Die Menge der Streu, die den Boden erreicht, ist nicht quantifiziert worden, doch bestehen hier möglicherweise deutliche Unterschiede zwischen den Kulturen. Besonders unter Miscanthus und der thermisch genutzten Sida – eine entsprechend gute Etablierung vorausgesetzt – scheint der Anteil an Blattmasse, die über den Winter abfällt, höher zu sein als beim Switchgras, welches vorwiegend komplett stehend erhalten bleibt (außer es geht ins Lager). Die Untersuchungen der Praxisflächen zeigen jedoch, dass mit einer abschließenden Aussage hier vorsichtig umgegangen werden muss. Denn alle Riesenweizengrasfelder (frisch angelegte und etwa drei Jahre alte) wiesen eine höhere Regenwurmsiedlungsdichte und Biomasse auf als die Vergleichsäcker und insbesondere tiefgrabende Arten schienen von der Bodenruhe dieser mehrjährigen Energiepflanzen zu profitieren. EMMERLING [47] wies bei insgesamt niedrigen Regenwurmdichten eine signifikant höhere Siedlungsdichte von Riesenweizengras (Szarvasi) und Switchgras (grün geerntet für Biogasverwertung) gegenüber Mais-Parzellen nach. Bei der Biomasse zeigte jedoch nur das Switchgras beim Vergleich mehrerer mehrjähriger Energiepflanzen keinen signifikanten Unterschied zu den Mais-Parzellen.

Nach dem Winter 2016 zur Aufnahme Ende März/Anfang April wies der Miscanthus in der vorliegenden Untersuchung tendenziell eine höhere Regenwurmsiedlungsdichte als die Referenz (Winterweizen) auf. Vorstellbar ist, dass sich der extreme Witterungen abmildernde stehende Bestand der thermisch genutzten Kulturen auf die mikroklimatischen Verhältnisse im Boden auswirkt und den Regenwürmern eine längere Aktivitätsperiode

ermöglicht [141]. Darauf deutet auch hin, dass im rauerem Klima am Standort Hötzelsdorf alle thermisch genutzten mehrjährigen Kulturen (nur hier auch das Switchgras) hinsichtlich ihres Regenwurmbestands besser abschnitten als die Referenzfläche mit Winterweizen und einem hohen Anteil an offenem Boden.

Für den *Miscanthus*, der inzwischen weitverbreitet ist, jedoch weiterhin nur einen geringen Anteil an der landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland hat, ergeben sich insgesamt tendenziell positive Effekte für die Regenwurmfauna im Vergleich mit Ackerflächen. Auch wenn die Vergleichsmöglichkeiten für die Untersuchungen auf den Praxisflächen weniger günstig als für die Silphie sind, so zeigt sich doch ein positiver Trend im Vergleich mit intensiv bewirtschafteten Ackerflächen. Dies wird von Studien aus Rheinland-Pfalz [52], Sachsen-Anhalt [161] und Belgien [147] bestätigt. Auch in den Exaktversuchen wiesen die Parzellen mit *Miscanthus* eine im Verhältnis zur Ackerreferenzfläche hohe Regenwurmsiedlungsdichte auf. Bei einer Untersuchung der Regenwurmfauna in Kaufering wurde auch eine *Miscanthus*-Fläche mit Ackerflächen und Kurzumtriebsplantagen verglichen [21]. Hierbei zeigte sich allerdings ein eher geringerer Regenwurmbestand im *Miscanthus* trotz sehr guter Bodenbedingungen (mächtige Lößauflage). Probleme könnten bei der Ernte im Frühjahr in *Miscanthus*-Beständen auftreten, da auch hier auf Befahrbarkeit und die Gefahr von Bodenverdichtungen geachtet werden muss.

Von allen beprobten Standorten reagierten die Regenwürmer in Rosenau bislang am positivsten auf die Etablierung der mehrjährigen Energiepflanzen. Mit Ausnahme des Switchgrases ergab sich für alle Kulturen eine höhere Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer als in der regelmäßig bearbeiteten Referenz. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass auf diesem anmoorigen Boden Wassermangel aufgrund der hohen Speicherfähigkeit des Bodens und der Verfügbarkeit in tieferen Bodenschichten weniger limitierend auf die Regenwurmfauna wirkt. Naturgemäß fehlt an entsprechenden Standorten der tiefgrabende *Lumbricus terrestris* [6] [109]. Unter diesen Bedingungen ist insbesondere der streubewohnende *Lumbricus rubellus* in größerer Dichte zu finden. Am häufigsten wurde diese Art im Riesenweizengras im Herbst 2015 nachgewiesen. Eine Etablierung von mehrjährigen Energiepflanzen auf organischen Böden sollte weiterhin auch aufgrund des Erhalts einer standorttypischen Fauna und des Grünlandcharakters entsprechender Landschaften diskutiert werden.

Für die Durchwachsene Silphie als die mehrjährige Energiepflanze mit dem derzeit relativ größten Anstieg ihrer Anbaufläche von etwa 400 ha 2015 auf etwa 800 ha 2016 in Deutschland [49] zeigen die Ergebnisse aus den Exaktversuchen noch keinen klaren Vorteil für die Regenwürmer gegenüber der regelmäßig bearbeiteten Referenzfläche. Doch zeigt die Untersuchung älterer, auch organisch gedüngter Praxisflächen durchaus einen sehr deutlichen positiven Effekt für die Regenwurmdichte und -vielfalt. Ähnliches wiesen auch Studien aus anderen Regionen Deutschlands nach [144] [47]. Am deutlichsten ist dieser Effekt im Vergleich mit intensiv gepflegten Ackerflächen. Besonders in als Energiepflanzen genutzten Reihenfrüchten wie Mais und Zuckerrübe, besteht jedoch auch die Möglichkeit, den Regenwurmbestand durch den Anbau einer abfrierenden Zwischenfrucht mit anschließenden Mulchsaatverfahren zu erhöhen [98] [172].

In der vorliegenden Untersuchung der Parzellenversuche werden durch die ausbleibende organische Düngung der Flächen unter Umständen die Kulturen für die Nutzung als Biogassubstrat, in denen systembedingt Gärreste anfallen, benachteiligt. Eine organische Düngung mit Gärresten nach der guten fachlichen Praxis fördert den Regenwurmbestand [20]. Andererseits bietet der hier gewählte Versuchsansatz die Möglichkeit, den direkten Effekt der Kulturpflanze auf die Regenwurmfauuna zu untersuchen. Hierbei ist davon auszugehen, dass Effekte wie der Bodenwasserhaushalt und das Mikroklima im Jahresverlauf sowie Qualität und Menge organischer Reststoffe wie Streu und Erntereste entscheidend sein werden.

5.4.3.2 Ergänzende faunistische Untersuchungen (Laufkäfer, Blütenbesucher, Springschwänze, Milben)

5.4.3.2.1 Minibarberfallen – Vergleich Roggen-GPS und Riesenweizengras nach der Ernte

Mit den Minibarberfallen wurden insgesamt 5650 Springschwänze und 1562 Milben gefangen. Da mit dieser Methode verstärkt die an der Oberfläche oder sogar an der Vegetation lebenden Lebensformen dieser Tiergruppen erfasst werden, war der Anteil an *Onychuridae* (vorwiegend wenig pigmentierte, zum Teil augenlose Tiere, die im Bodeninneren leben) erwartungsgemäß deutlich geringer als bei der Austreibung aus Bodenproben.

Auf den Flächen nach der Roggen-GPS-Ernte blieb die Aktivitätsdichte der Springschwänze in Aholting relativ konstant, in Rosenau nahm sie insgesamt zu (Abbildung 80). Die trotz (oder wegen) der eher trockenen Bedingungen im Hochsommer zum Zeitpunkt der Beprobung große Zahl an gefangenen Springschwänzen in Aholting zeigt, dass Trockenperioden im Boden überdauert werden können. Auffällig geringer im Vergleich zum Vorjahr und zu den Roggen-GPS-Parzellen war die Aktivitätsdichte der Springschwänze auf den Parzellen mit Riesenweizengras in Aholting 2016. Auch in Rosenau wies das Riesenweizengras, in dem keine Bodenbearbeitung mehr stattfindet, geringere Aktivitätsdichten der Springschwänze auf. Die Aktivitätsdichte der Milben war in Aholting 2016 deutlich geringer als 2015. In Rosenau nahm sie dagegen stark zu. Insgesamt ist jedoch die Aktivitätsdichte der Springschwänze bei der angewandten Methode in Aholting etwa 22 Mal, in Rosenau nur etwa dreimal höher als die der Milben. Auffällige Unterschiede ergeben sich auch in der Zusammensetzung der unterschiedenen Milbengruppen zwischen den beiden Standorten. Hornmilben (*Oribatidae*) wurden nahezu ausschließlich im humosen Boden von Rosenau gefunden. Hier waren diese sich vorwiegend von abgestorbenem organischem Material ernährenden Tiere im Riesenweizengras deutlich häufiger als auf den Parzellen mit geernteten Roggen-GPS.

Bei den Untersuchungen wurden als Beifänge zusätzlich 241 Laufkäfer aus 27 verschiedenen Arten festgestellt. Unterschiede in der Artenzahl zwischen den Varianten konnten zu diesem Zeitpunkt nicht nachgewiesen werden. Die für Ackerflächen typische Laufkäferart *Bembidion quadrimaculatum* war auf den Referenzparzellen beider Standorte deutlich häufiger als im Riesenweizengras.

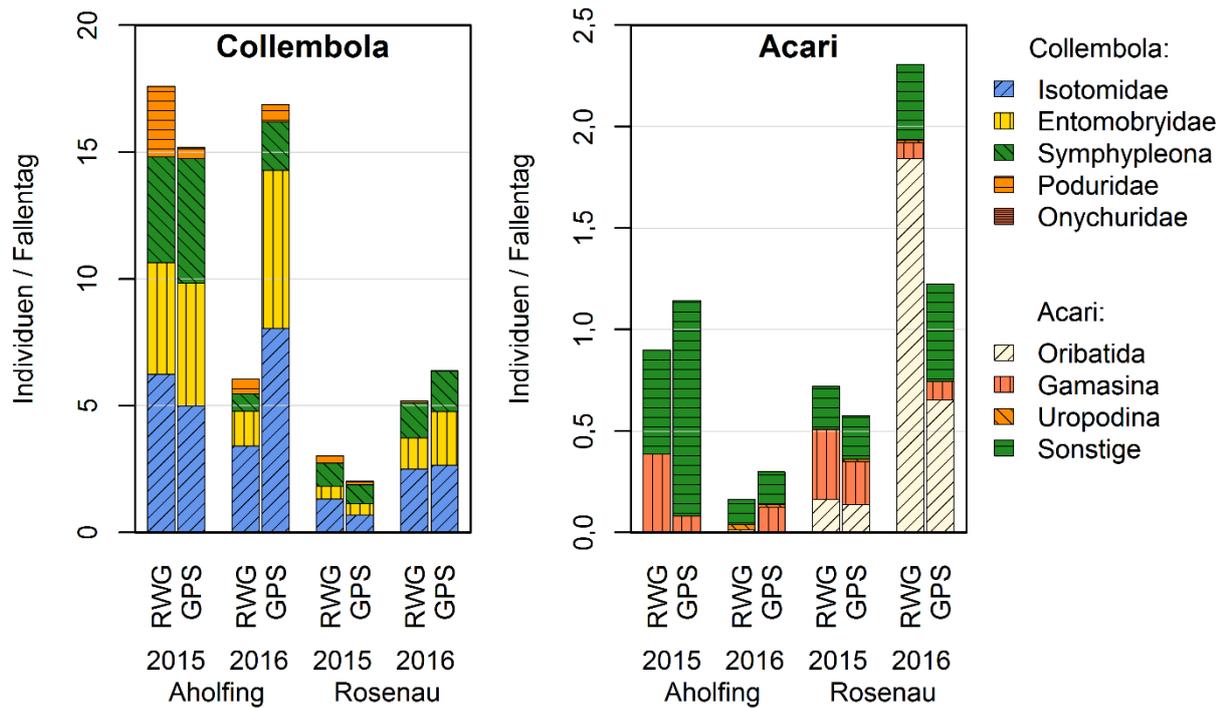


Abbildung 80: Aktivitätsdichte der Springschwänze (*Collembola*) und Milben (*Acari*) auf Riesenweizengras- (RWG) und Roggen-GPS-Parzellen (GPS) an den Versuchsstandorten Aholfing und Rosenau

Während der jeweils 48 Stunden dauernden Fangperiode sind Unterschiede der Aktivität der Fauna der Bodenoberfläche vorwiegend auf den Boden und die Vorgeschichte der Flächen zurückzuführen. In den unbearbeiteten Riesenweizengras-Parzellen lagert der Boden in der Regel dichter. Aus diesem Grund überrascht der Rückgang der bodenoberflächlich aktiven Springschwänze im Jahr 2016 nicht, da diese Tiergruppe ohne eigenes Grabevermögen auf Bodenhohlräume angewiesen ist, die von Tieren (Regenwürmer) oder dem Menschen geschaffen werden. Auch bei der Reduktion der Bodenbearbeitung wurde eine geringere Dichte und Vielfalt von Springschwänzen in einer Metastudie festgestellt [22]. Eine Zunahme der Biomasse und Biodiversität der Milbenfauna nach Umwandlung von Ackerflächen in Grünland belegt eine Langzeitstudie aus Frankreich und Belgien [63]. Die Entwicklung der Fauna im Riesenweizengras ist davon abhängig, wie und ob sich die organische Auflage und der darunterliegende Bodenhorizont entwickeln. Bei kurzzeitigem Anbau ist eine solche Zonierung nur in geringem Umfang zu erwarten. In Rosenau deutet die Zunahme der Hornmilben (*Oribatida*) im Riesenweizengras auf verfügbares organisches Material hin.

5.4.3.2.2 Bodenmikroarthropoden auf *Miscanthus*-Praxisflächen

Bei den Untersuchungen wurden insgesamt 315 Individuen der Springschwänze und 721 Milben nachgewiesen. Die Besiedelung des Bodens war auf allen Flächen zum Beprobungszeitpunkt eher gering. Die Siedlungsdichte der Springschwänze und Milben war in drei von vier beprobten *Miscanthus*-Feldern um ein mehrfaches (ca. 3- bis 6-fach) höher

als in den Referenzackerflächen (Abbildung 81). An einem Standort wurde eine höhere Siedlungsdichte für beide Tiergruppen auf der abgeernteten Ackerfläche nach Sorghum nachgewiesen. Blindspringer (*Onychuridae*) waren leicht, Hornmilben (*Oribatida*) und Raubmilben (*Gamasina*) deutlich häufiger in den *Miscanthus*-Feldern.

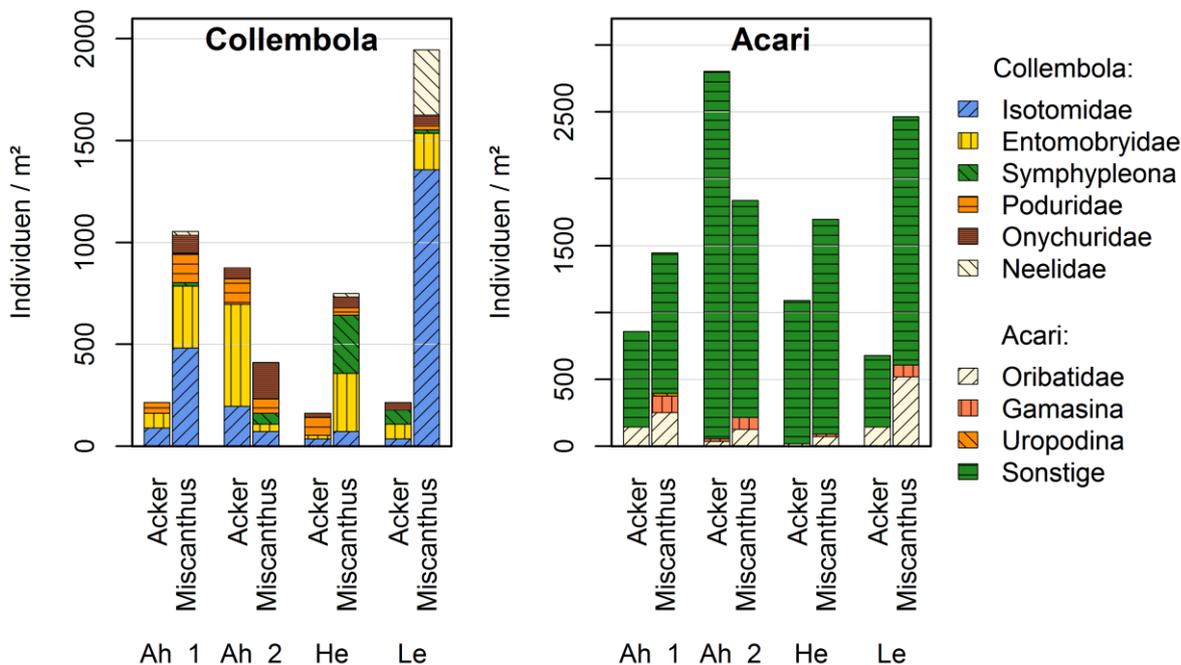


Abbildung 81: Siedlungsdichte der Springschwänze (*Collembola*, links) und Milben (*Acari*, rechts) auf Flächen von Praxisbetrieben mit *Miscanthus* (Ah_1: Ahol fing 1, Ah_2: Ahol fing 2, He: Herfurth, Le: Leibl fing)

Untersuchungen zur Springschwanzfauna von *Miscanthus*-Beständen auf schadstoffbelasteten Flächen in Frankreich zeigten eine höhere Dichte und Diversität in dreijährigen *Miscanthus*-Flächen gegenüber Weizenfeldern [23]. Typisch für *Miscanthus*-Flächen ist die Anreicherung von Streu an der Bodenoberfläche im Winter, die in annuellen Kulturen nicht auftritt [23] und so zu einem größeren Nischenreichtum [89] und Nahrungsangebot für Streuzersetzer beiträgt. Der Einfluss der Bodenruhe auf die Bodenmesofauna kann, wie bereits bei den Ergebnissen der Minibarberfallen angeführt, auch negativ sein. Entscheidend ist, inwieweit eine organische Auflage die Bodenoberfläche prägt und so zu Porosität und Nischenreichtum beiträgt. Das *Miscanthus*-Feld mit der Bezeichnung Ahol fing 2 bestand bei der Beprobung erst knapp drei Jahre, während die übrigen Flächen vor etwa acht bis neun Jahren angelegt worden waren. Es ist anzunehmen, dass der Wert der *Miscanthus*-Flächen für die Springschwanzfauna mit zunehmendem Alter und Ausbildung charakteristischer Bodeneigenschaften steigt. Erwähnenswert ist zudem, dass in der vorliegenden Untersuchung besonders Blindspringer als fast ausschließlich im Bodeninneren auftretende Gruppe in den *Miscanthus*-Beständen Ende Oktober deut-

lich häufiger waren als auf den Ackerflächen. Dies deutet auch auf eine gute Einarbeitung des organischen Materials in der obersten Bodenschicht hin.

5.4.3.2.3 Laufkäferfauna in Biogaskulturen in Rosenau

Bei den Untersuchungen zur Laufkäferfauna mit Bodenfallen im Frühjahr 2016 am Standort Rosenau wurden 1801 Laufkäfer aus 44 Arten nachgewiesen. Die erfasste Faunenzusammensetzung ist typisch für Ackerflächen, jedoch bereits mit einigen feuchtigkeitsliebenden und zum Teil eher grünlandtypischen Elementen angereichert (siehe unten). Dies wird auch durch das gemeinsame Auftreten von *Poecilus cupreus* und *Poecilus versicolor*, letzterer hat seinen Vorkommenschwerpunkt eher im Grünland, verdeutlicht. Auffällig hoch bei dieser Untersuchung und möglicherweise dem frühen Untersuchungszeitraum geschuldet ist der Anteil der kleinen Arten der Gattung *Bembidion* an den Gesamtfängen. Die meisten Arten wurden auf den Parzellen mit Silphie erfasst (35), mit deutlichem Abstand folgen die Referenz mit Winterweizen (28), das Riesenweizengras (27) und die Sida (25). Auch die mittleren Artenzahlen je Wiederholung (Abbildung 82) zeigen deutlich höhere Werte für die Silphie und signifikante Unterschiede zum Riesenweizengras (RWG). Die Aktivitätsdichte (Summe der gefangenen Individuen) war auf den Parzellen mit Sida am höchsten. Dies war auf eine hohe Anzahl von vorwiegend phytophagen Arten und hier insbesondere *Amara aenea* zurückzuführen. Die Aktivität phytophager Individuen war unter Sida neunmal höher als in der Silphie. Gegenüber der Referenz und dem Riesenweizengras wurden unter Sida sogar 24 bzw. 45 Mal mehr Laufkäfer gefangen. Aufgrund der hohen Abundanz einiger weniger Arten und der generell niedrigeren Artenzahl ergaben sich für den Shannon-Index für die Sida signifikant niedrigere Werte als in der Silphie und dem Winterweizen. Betrachtet man die Großlaufkäfer der Gattung *Carabus*, die besonders störungsempfindlich sind, so waren diese nur mit drei bzw. zwei Individuen in der Sida und im Winterweizen zu finden, während in der Silphie und im Riesenweizengras 15 bzw. 20 Tiere nachzuweisen waren. Auf den Riesenweizengras-Parzellen trat neben *Carabus granulatus* zudem *Carabus nemoralis*, eine eher für Wälder typische Art, auf. Erwähnenswert ist zudem der Einzelnachweis von *Agonum viridicupreum* im Riesenweizengras, als eine stark hygrophile Art der Sümpfe, die in der Bayerischen Roten Liste [107] als gefährdet geführt wird. Weitere hygrophile Arten, die auf der moorigen Versuchsfläche als habitattypisch und damit wertgebend angesprochen werden können, sind *Acupalpus flavicollis* (nur Einzelexemplar in Sida), *Pterostichus anthracinus*, *Pterostichus vernalis* und *Pterostichus strenuus*. *Pterostichus strenuus* und *Pterostichus anthracinus* wurden in der Silphie am häufigsten nachgewiesen. Eine Art der Vorwarnliste für das Tertiärhügelland und die voralpinen Schotterplatten ist *Bembidion guttula* [107], die in den vorliegenden Untersuchungen mit 139 Individuen (etwa 8 % der Gesamtfänge) überaus häufig war. Ihre höchste Aktivitätsdichte wurde wiederum in der Silphie und im Riesenweizengras festgestellt. Sie kann als stärker hygrophile Art auch anmooriger Böden [95] und Zeiger für eine habitattypische Fauna eingestuft werden.

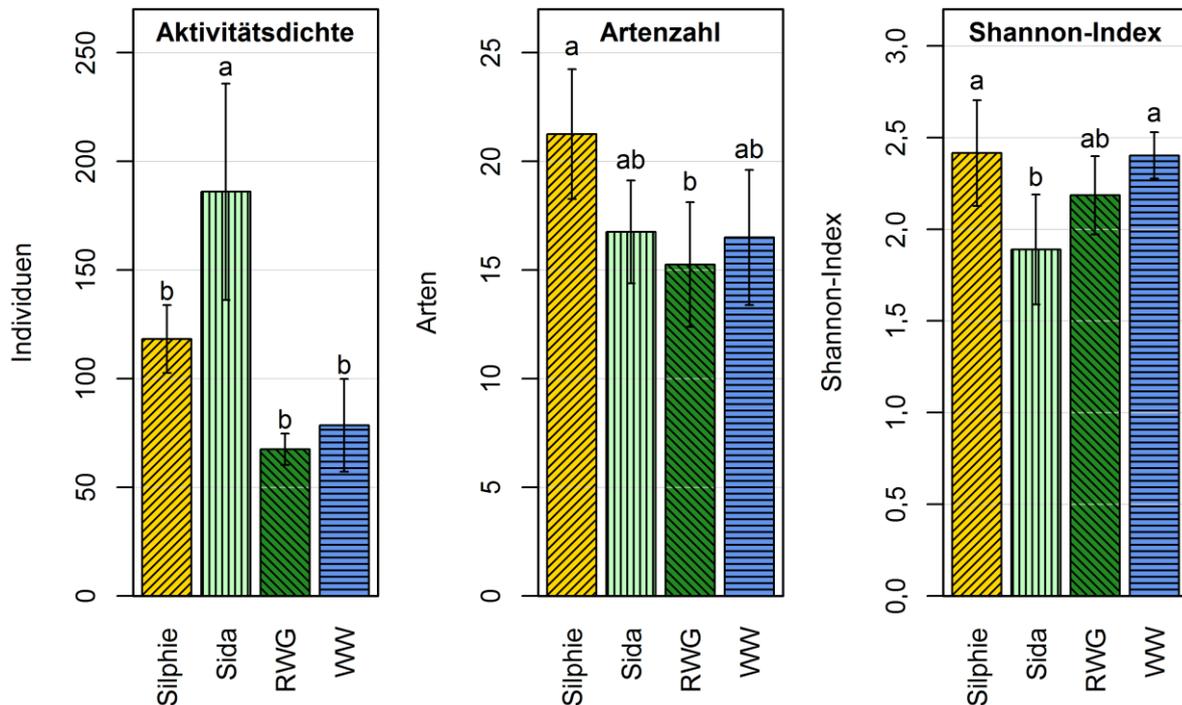


Abbildung 82: Aktivitätsdichte (Anzahl gefangener Individuen), Artenzahlen und Shannon-Diversitäts-Index der Laufkäferfauna in Rosenau 2015; Mittelwert und Standardabweichung über die Versuchswiederholungen; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey's HSD-Test); RWG = Riesenweizengras, WW = Referenz-Winterweizen

Laufkäfer sind als gute Indikatoren für die Bewertung von Nutzungsformen und Habitat-typen bekannt. Ackerflächen beherbergen eine ausgesprochen vielfältige Laufkäferfauna und ihre Aktivitätsdichte ist auf diesen Flächen in der Regel deutlich höher als im Grünland oder im Wald. Allerdings setzt sich die Fauna auf Äckern häufig aus einer großen Zahl euryöker Arten zusammen, die hinsichtlich ihrer Lebensraumansprüche wenig anspruchsvoll und relativ mobil sind. Umso bemerkenswerter ist die Tatsache, dass in dieser Untersuchung weder die höchste Aktivität noch die höchste Artenvielfalt in den Referenzparzellen mit Winterweizen gefunden wurde. Besonders die Silphie scheint im untersuchten Zeitraum eine größere Artenvielfalt zu beherbergen. Die geringeren Arten- und Individuenzahlen im RWG können auch durch dessen abweichende Vegetationsstruktur beeinflusst sein. Meist geht man von höheren Aktivitätsdichten bei weniger bewachsenen Flächen und höheren Temperaturen aus. Die Silphie gefolgt vom Riesenweizengras sind im Untersuchungszeitraum für stärker hygrophile und habitattypische Arten am attraktivsten. Diese beiden Kulturen haben zu diesem Zeitpunkt im Frühjahr auch bereits die dichteste Vegetationsdecke, was deren Auftreten möglicherweise bedingt. Besonders die Silphie scheint damit geeignet, eine hinsichtlich der Laufkäferfauna vielfältige und den standörtlichen Besonderheiten Rechnung tragende Alternative zu annuellen Ackerfrüchten darzustellen.

Sicherlich können hier nur Aussagen zum Frühjahrsaspekt getroffen werden. Im weiteren Jahresverlauf können zusätzliche Arten auftreten oder sich die Verteilung der Arten verschieben. Doch legen diese ersten Ergebnisse auch einen Einfluss der Habitatqualität für Überwinterer nahe. So findet sich zum Beginn der Untersuchungsperiode die höchste Aktivität (besonders kleine Bembidion-Arten) in der Silphie. Ein Großteil der nachgewiesenen Arten pflanzt sich als Imaginalüberwinterer im Frühjahr fort, sodass Flächen mit hoher Aktivität vermutlich auch für die Reproduktion geeignete Habitate darstellen. Die große Attraktivität der Sida für phytophage Arten ist aufgrund der Tatsache, dass hier in der Regel über 80 % der Fläche mit Beikräutern bedeckt waren, nicht verwunderlich. Aufgrund der geringen Herbizid-Verträglichkeit der Sida sind solche Bedingungen auch beim praxisnahen Anbau zu erwarten. Interessant ist das ausschließliche Auftreten von *Brachinus exulans* auf den Parzellen mit Sida. Neben dem Anspruch der Art an trockene und warme Habitate könnte auch die Verfügbarkeit an Nahrung in Form von Puppen von Amara-Arten, an denen die Larve von *Brachinus exulans* parasitisch lebt [139], relevant sein. Ähnlich wie bei den Untersuchungen zur Regenwurmfauna ist davon auszugehen, dass die Unterschiede zur annualen Ackerkultur bei regelmäßig gepflügten Flächen deutlicher ausfallen würden. Bodenbearbeitung hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Laufkäferfauna und Mulch- sowie Direktsaat fördern insbesondere Großlaufkäfer der Gattung *Carabus* [19]. Weitere Untersuchungen an mehreren Versuchsstandorten sowie die Berücksichtigung des Herbstaspekts sollten Aufschluss über die Möglichkeiten der Förderung der Vielfalt und Dichte der als Schädlings- und Unkrautantagonisten nützlichen Laufkäfer liefern.

5.4.3.2.4 Blütenbesucher

Sowohl die Zusammensetzung der gezählten Blütenbesuchergemeinschaften als auch die Anzahl festgestellter Tiere pro Fläche und Beobachtungszeit unterschieden sich zwischen Sida und Silphie. Während für die Sida 81 % der beobachteten Individuen Honigbienen waren, waren es für die Silphie nur 52 % (Abbildung 83). Absolut fielen zwischen Sida und Silphie keine deutlichen Unterschiede zwischen dem Auftreten von Honigbienen an beiden Standorten auf. Deutlich mehr Hummeln, die die zweithäufigste Blütenbesuchergruppe darstellten, und Schwebfliegen waren jedoch auf den Parzellen mit Silphie anzutreffen. Daraus folgen auch die relativ geringeren Anteile der Honigbiene und höheren Gesamtbeobachtungen an Blütenbesuchern für die Silphie gegenüber der Sida (Tabelle 41). Für das Jahr 2016 konnten mehr Honigbienen in Aholting als in Rosenau beobachtet werden. Betrachtet man das Verhältnis von Blüten und Anzahl der Honigbienen zeigte sich, dass hier mehr Honigbienen pro Blüte an der Sida zu finden waren (als Sida-Blüte wurde eine Traube gewertet, die meist aus frischen und bereits verblühten Blüten bestand). 2016 wurden die Hummeln zusätzlich nach typischen Farbmustern eingeteilt. Hierbei konnten erste Anhaltspunkte aus dem Jahr 2015 bestätigt werden, als insbesondere schwarz-rote Hummeln, die vorwiegend der Steinhummel (*Bombus lapidarius*) zuzuordnen sind, nahezu ausschließlich an der Silphie gezählt worden waren (ebenfalls schwarz-rote Färbung zeigt die allerdings deutlich seltenere Distelhummel *Bombus soroeensis*). Beobachtungen dieser Farbvariante an der Sida waren deutlich

seltener. Der Farbtypus Weiß-Gelb-Gelb, also die Erdhummeln (*Bombus-terrestris*-Komplex und einige weitere Arten) war hingegen in beinahe ähnlicher Dichte an Silphie und Sida festzustellen. Ein Großteil der beobachteten Schwebfliegen waren Mistbienen (*Eristalis* sp.) – im Bayerischen auch „Odelimpen“ genannt –, also verhältnismäßig große, den Bienen ähnliche Individuen (Mimikry), mit saprophagem Larvenstadium. Besonders zu den späteren Terminen nahm die Anzahl dieser Tiere zu. Mistbienen waren deutlich häufiger an den Korbb Blüten der Silphie anzutreffen.

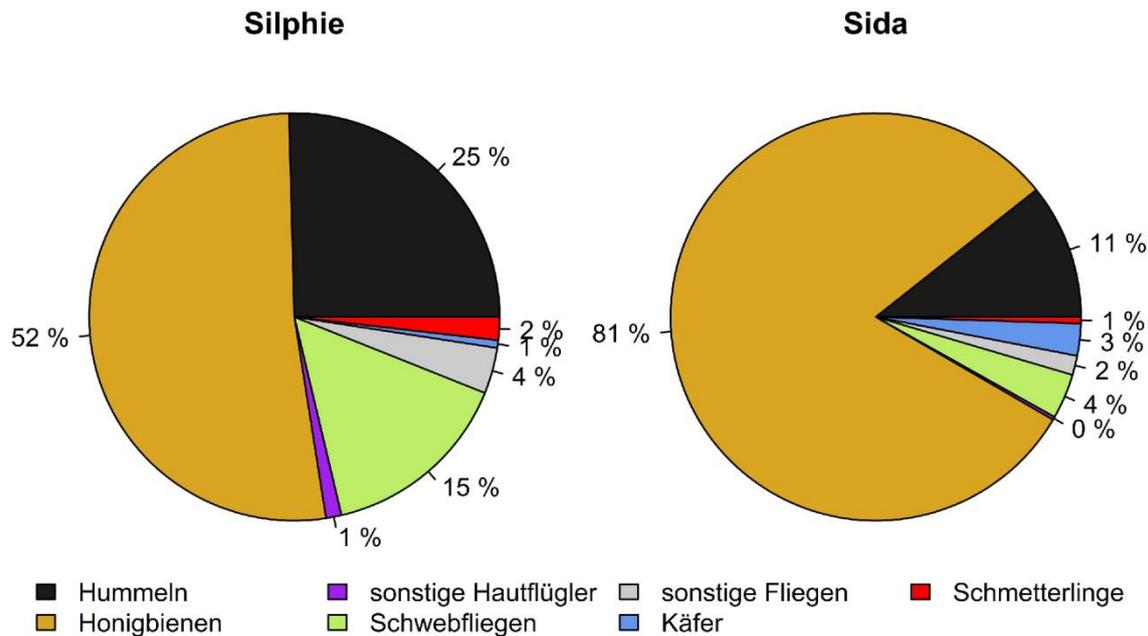


Abbildung 83: Relativer Anteil der Beobachtungen für Silphie und Sida über alle Termine in den Jahren 2015 und 2016 und über zwei Versuchsstandorte

Wildbienen wurden nur in sehr geringem Umfang beobachtet. 2016 wurden an zwei Stellen in Rosenau zudem vergleichend in einer in der Nähe des Versuchs angelegten Blümmischung Beobachtungen durchgeführt. Die Vergleichbarkeit ist hier aufgrund der unterschiedlichen Wuchshöhe und des heterogenen Bestands der Blümmischung stark eingeschränkt, es zeigte sich jedoch, dass Hummeln und Honigbienen in geringerer Häufigkeit zu beobachten waren als an der Silphie. Allerdings kamen hier, zum Beispiel an kleinblütigen *Brassicaceae*n, auch Wildbienen vor und auch die übrigen Tiergruppen (Käfer, Schmetterlinge, Fliegen usw.) waren eher häufiger zu beobachten.

Blüten stellen innerhalb der Agrarlandschaft eine Struktur dar, die essenziell für den Erhalt der Artenvielfalt ist. In der vorliegenden Untersuchung konnte festgestellt werden, dass neben Honigbienen auch wildlebende Bestäuber wie Hummeln und Schwebfliegen die Blüten der Silphie und in etwas geringerem Umfang der Sida aufsuchen, auch wenn wir keine Aussage über den Wert, die Menge oder Verfügbarkeit von Nektar und Pollen dieser Energiepflanzen für verschiedene Blütenbesucher machen können. Maisfelder

bieten Blütenbesuchern keinen Nektar und die produzierte Pollenmenge ist ebenfalls deutlich geringer als die der Silphie [117]. Nach den bisherigen Ergebnissen scheinen die Blüten der Silphie attraktiver für wildlebende Bestäuber zu sein als die der Sida. Dieses Ergebnis ist allerdings vor dem Hintergrund der leicht unterschiedlichen Blühzeiten, der Konkurrenz in der Versuchsanlage und des eingeschränkten Beobachtungszeitraums zu beurteilen. Blühtermin und Aufbau der Silphie-Blüten machen diese Kultur besonders interessant für Mistbienen, die aufgrund ihrer Aktivitätsperiode, ihrer Größe und damit verbundenen Rüssellänge eher in der Lage sind, das Nektarangebot zu nutzen, als Schwebfliegen mit zoophagem Larvenstadium [117].

Tabelle 41: An den Standorten innerhalb von 10 Minuten gezählte Blütenbesucher (Mittelwerte der Jahre 2015 und 2016 mit Standardabweichung pro beobachteter Fläche)

Blütenbesucher	Aholting (2 Termine 2016)		Rosenau (je 2 Termine 2015 und 2016)	
	Silphie	Sida	Silphie	Sida
Honigbienen (<i>Apis mellifera</i>)	17,1 ± 5,8	17,8 ± 5,9	13,7 ± 8,6	11,7 ± 6,9
Hummeln (<i>Bombus</i> sp.)	3,4 ± 3,0	0,1 ± 0,4	9,3 ± 4,7	2,7 ± 2,1
Sonst. Hautflügler (<i>Hymenoptera</i>)	0,1 ± 0,4	0,0	0,5 ± 0,8	0,1 ± 0,3
Schwebfliegen (<i>Syrphidae</i>)	4,8 ± 2,6	0,5 ± 0,8	4,1 ± 2,9	0,7 ± 0,8
Sonst. Zweiflügler (<i>Diptera</i>)	1,2 ± 1,3	0,5 ± 0,8	0,9 ± 0,9	0,1 ± 0,4
Käfer (<i>Coleoptera</i>)	0,0	0,4 ± 0,7	0,3 ± 0,5	0,5 ± 0,7
Schmetterlinge (<i>Lepidoptera</i>)	0,0	0,0	0,8 ± 1,0	0,1 ± 0,4
Summe	26,6 ± 5,5	19,2 ± 6,7	29,6 ± 10,6	15,9 ± 7,6

Es ist anzunehmen, dass auch von der Silphie vorwiegend häufige Blütenbesucher profitieren werden, während seltene Arten durch ihre Spezialisierung, ihre abweichende Populationsstrategie oder durch andere Faktoren als das Nahrungsangebot (z. B. Nisthabitate) in ihrem Vorkommen eingeschränkt sind. Auch wenn die angewandte Methode keine Erhebung der Eignung der Silphie oder der Sida als Trachtpflanze für Wildbienen darstellt, geschweige denn Aussagen zur Artenvielfalt erlaubt, scheint diese Tiergruppe als Blütenbesucher an diesen Pflanzen nur eine verhältnismäßig geringe Rolle zu spielen. Doch sind es gerade häufige Arten, die für das Funktionieren von Ökosystemen und deren Ökosystemleistungen entscheidend sind [176]. Daher sollte auch ein positiver Effekt für „Allerweltsarten“ wie die Erdhummel oder die Mistbiene nicht unterschätzt wer-

den. Außerdem sind Hummeln und ihre Nester als Wirte für viele Parasiten (z. B. Kuckuckshummeln, Hummelwachsmotte, Hummel-Waldschwebfliege) und Nahrung für Vögel und Säuger (z. B. Fuchs, Bienenfresser) ein wichtiger Teil der Biodiversität in der Agrarlandschaft. Auf der anderen Seite kann nicht vernachlässigt werden, dass ein entsprechendes großflächiges Blütenangebot auch die Bestäubung in nahegelegenen naturnahen Habitaten beeinträchtigen kann (für Raps [81]). Der quantitative Effekt der Massentrachten als Nektar- und Pollenquelle wird auch durch die Vitalität der Kulturen (Trockenstress, Standortwahl) und den gewählten Erntetermin bestimmt. Außer Frage steht, dass für den Erhalt der Bestäuber in ihrer Leistungsfähigkeit und biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft Maßnahmen zum Erhalt der landschaftlichen Vielfalt, extensiv genutzte Habitate und Sonderstrukturen notwendig sind.



Abbildung 84: Auswahl einiger Blütenbesucher an der Durchwachsenen Silphie



Abbildung 85: Auswahl einiger Blütenbesucher an der Sida

5.4.3.3 Literatur-Zusammenstellung zur Fauna mehrjähriger Energiepflanzen

Im Rahmen des Projekts wurden Literaturquellen aus Europa zur Fauna mehrjähriger Energiepflanzen gesammelt sowie zusammengefasst und sollen hier vorgestellt werden. Ziel ist es, diese Zusammenstellung regelmäßig zu aktualisieren und zu vervollständigen. Insbesondere graue Literatur ist vermutlich nicht vollständig erfasst. Aus den vorhandenen Untersuchungen ergänzt durch Reviews [33] [84] [102] [152] zur Wirkung von (mehrjährigen) Energiepflanzen wurden die dort genannten wichtigsten Einflussfaktoren für die Fauna entnommen und zusammenfassend erläutert (Abschnitt 5.4.3.3.4). Den Leistungen und Gedanken der zahlreichen Wissenschaftler, Autoren und anderweitig an der Forschung Beteiligten möchten wir hier unseren Dank aussprechen.

5.4.3.3.1 Silphie

Die Bedeutung der Silphie für Bestäuber und die Bodenfauna wurde in dem Projekt „Agrarökologische Bewertung der Durchwachsen Silphie“ im Auftrag der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. am „Johann Heinrich von Thünen-Institut“ umfangreich untersucht [34] [53] [117] [143] [144]. Es stellte sich heraus, dass Honigbienen häufige Besucher der Silphie sind und diese große Mengen an Pollen und Nektar bereitstellt. An einigen Standorten der Untersuchung und zu bestimmten Zeiten stellten die Pollen des Silphie-Typus eine bedeutende Nahrungsquelle dar, wie Untersuchungen mit Pollenfällen zeigten (MÜLLER et al. [116] [143]). Allerdings stellte sich auch heraus, dass besonders im August und Anfang September die Bienen andere Massentrachten in der Umgebung bevorzugten [143]. Die Ergebnisse mit Farbschalen an fünfzehn Standorten zeigten ein deutlich stärkeres Auftreten von Honigbienen und Hummeln in den Silphie-Beständen im Vergleich mit Maisfeldern und linearen Habitaten (Gewässer, Waldrand). Die häufigsten Hummelarten in der Silphie waren Erd- und Steinhummeln (*Bombus terrestris*-Komplex, *Bombus lapidarius*). Solitäre Wildbienen wurden eher selten auf den Silphie-Feldern gefangen und im Durchschnitt weniger häufig als in Maisflächen und linearen Habitaten (Gewässer, Waldrand) [34]. Schwebfliegen mit zoophagen Larvenstadien waren in der Silphie ebenfalls weniger stark vertreten. Besonders gegen Ende der Blühperiode nahm allerdings die Zahl der Schwebfliegen mit saprophagen Larvenstadien insgesamt, aber besonders in der Silphie zu (MÜLLER et al. [117]). Untersuchungen zur Pollenaufnahme von Schwebfliegen zeigten, dass Pollen der Asteraceae für Mistbienen (*Eristalis arbustorum*) den dominanten Anteil stellen, die Silphie allerdings anscheinend nicht den attraktivsten Pollen bereitstellt (DAUBER et al. [34]). Beim Vergleich der Wildbienenfauna von Silphie-Feldern mit Mais und Wildpflanzenmischungen (Erfassung mit Farbschalen) in Brandenburg konnten Hinweise darauf gefunden werden, dass Silphie-Flächen besonders dann interessant für Hummeln sind, wenn alternative Trachten fehlen. Hinsichtlich der übrigen Wildbienen wurde festgestellt, dass deren Vorkommen besonders davon abhängig ist, welche Art am Standort nistet, aktiv ist und welches Blütenangebot die Wildpflanzenmischung zum entsprechenden Zeitpunkt bietet. Insgesamt wurden jedoch mehr Wildbienenarten in den Wildpflanzenmischungen nachgewiesen als in der Silphie [34].

Im gleichen Projekt wurden umfangreiche Untersuchungen zur Regenwurm-, Springschwanz- und Nematodenfauna durchgeführt. Auf zwölf Silphie- und sechs Maisfeldern in Thüringen und Niedersachsen wurde dabei von SCHORPP et al. [144] die Regenwurmfauna erhoben. Die Abundanz von anezischen und endogäischen Regenwürmern nahm deutlich mit dem Alter der Silphie-Felder zu (1–9 Jahre alt). Auch eine Zunahme der Artenvielfalt konnte festgestellt werden. Es traten epigäische Arten auf, die in den Maisfeldern fehlten. Maisfelder hatten eine geringere Regenwurmabundanz, -biomasse und -artenzahl sowie weniger Losung an der Bodenoberfläche und eine geringere funktionale Diversität. Die Springschwanzfauna auf den Silphie-Feldern umfasste zwölf Familien. Ältere Silphie-Bestände wiesen deutlich höhere Individuendichten auf als jüngere und Maisflächen [143]. Relativ war besonders ein positiver Effekt auf euedaphische (im Bodenkörper lebende) Arten durch die Silphie festzustellen. SCHORPP et al. [143] weisen zudem auf die Bedeutung des kleinporigen Bodenraums und den Zusammenhang der Anreicherung von organischem Material und der biologischen Aktivität in diesem Kompartiment hin. Für die Nematodenfauna konnten SCHORPP et al. weiterhin feststellen, dass in Silphie-Beständen gegenüber Maisflächen bacterivore (bakterienfressende) Arten zurückgingen und fungivore (pilzfressende) Arten leicht zunahmen. Die Abundanz der Nematoden war in frisch angelegten Silphie-Feldern und Maisäckern geringer als in mindestens drei Jahre alten Silphie-Flächen. Schädliche Nematoden der *Pratylenchidae* traten ausschließlich im Mais auf [143].

Die Untersuchungen von EMMERLING [47] zur Regenwurmfauna der mehrjährigen Energiepflanzen Riesenweizengras, Switchgras, Sida, Silphie, Igniscum und einer Wildpflanzenmischung im Vergleich mit Mais in Trier ergaben für alle mehrjährigen Kulturen eine Zunahme der Abundanz und Biomasse der Regenwürmer vier Jahre nach Anlage des Versuchs. In der Silphie wurden mit insgesamt fünf Arten mehr nachgewiesen als auf Switchgras und Maisvergleichsflächen (4), aber weniger als in Sida (6), Riesenweizengras (7) und der Wildpflanzenmischung (8).

Bodenmeso- und Makrofauna wurden auf einem Feldversuch in Tschechien mit den Kulturen Weide, Rohrglanzgras, Silphie, Topinambur und Staudenknöterich aus Bodenproben ausgetrieben und nach Großgruppen eingeteilt (HEDENEC et al. [72]). Die nicht heimischen Kulturen, also auch Silphie, Topinambur und Staudenknöterich, wiesen eine geringerer Abundanz an Bodentieren auf als die heimischen (Rohrglanzgras und Weide). Die Zusammensetzung der Fauna unterschied sich ebenfalls zwischen den heimischen und eingeführten Kulturen.

5.4.3.3.2 Miscanthus

Bodenfauna

Die Bodenfauna von Miscanthus-Flächen ist bereits häufiger untersucht worden. FELTEN und EMMERLING [52] untersuchten auf jeweils zehn Flächen die Regenwurmfauna der Kulturen Miscanthus, Raps, Mais, Getreide, Grünland und Brachen. Die Artenzahl der Miscanthus-Flächen nahm dabei eine Mittelstellung zwischen den annualen Kulturen Getreide, Raps, Mais und den mehrjährigen Brachen und Grünlandflächen ein. Für die

Abundanz war der Effekt weniger deutlich. Es zeigte sich, dass die Bewirtschaftungsintensität der wichtigste Parameter zur Erklärung der Artenzahl und Abundanz der Regenwürmer war.

Eine weitere Untersuchung aus Deutschland zur Regenwurmfauna von Miscanthus, Kurzumtriebsplantagen, Grünland und Ackerflächen (TISCHER et al. [161]) stellte eine höhere Artenzahl, Artendiversität und Regenwurmbiomasse auf Miscanthus- gegenüber Ackerflächen fest. Im Vergleich mit Grünland und Kurzumtriebsplantagen (KUP) waren diese Parameter in den Miscanthus-Feldern allerdings geringer.

Bei der Untersuchung der Regenwurmfauna von zwei Untersuchungsräumen und an zwei Terminen auf Einzelflächen (DIETERICH et al. [41]) konnten in Nordrhein-Westfalen im Miscanthus im Vergleich mit GPS-Getreide, Mais, Raps und Zuckerrübe höhere Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer festgestellt werden. Ebenfalls besser schnitt hier eine mehrjährige Blümmischung ab. In Baden-Württemberg waren die Unterschiede weniger deutlich und Raps, Zuckerrübe, Getreide-GPS und die Blümmischung wiesen hohe Werte auf. Lediglich auf den Maisflächen waren die Siedlungsdichte und die Artenzahl in beiden Untersuchungsräumen geringer.

Eine Studie zur Bodenfauna eines Feldversuchs von Miscanthus, Switchgras, Weide (KUP) und Mais stammt von SCHRAMA et al. [147] aus Belgien. Die Abundanz von Regenwürmern im Miscanthus war hier deutlich höher als in den Maisflächen, jedoch bestanden keine Unterschiede zu den übrigen Kulturen. Hinsichtlich der Diversität und Abundanz von Bodenarthropoden (Austreibung aus Bodenproben) zeigte der Miscanthus signifikant geringere Werte als Weide (KUP) und keine statistisch abzusichernden Unterschiede zum Mais. Für die Anzahl von Nematodenfamilien und die Abundanz von Nematoden konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kulturen nachgewiesen werden.

ERNST et al. [48] fütterten Regenwürmer in Mesokosmen mit unterschiedlichen Ernteresen. Die Streuzersetzung durch Regenwürmer war für Miscanthus am geringsten und für Mais, Hafer und Raps deutlich höher.

In der Schweiz untersuchten KOHLI et al. [97] die Nutzung von abgestorbenen Miscanthus-Blättern und abgestorbenen Wildpflanzen durch den Tauwurm (*Lumbricus terrestris*). Die meisten Wildpflanzen wurden in größerem Umfang eingezogen und gefressen. Untersuchungen im Freiland ergaben eine Verringerung der Tauwürmer pro Quadratmeter bei der Umwandlung einer Wiese in ein Miscanthus-Feld, aber eine Zunahme bei der Umwandlung einer Ackerfläche mit Mais in einen Wildblumenstreifen. Analog verhielt sich die Artenzahl der Regenwürmer.

HEDDE et al. [71] [70] untersuchten in Frankreich die Bodenfauna von jeweils drei Miscanthus- und Weizenfeldern auf mit Spurenmetallen kontaminierten Böden und stellten nach drei Jahren eine höhere Diversität und Siedlungsdichte von bodenbewohnenden Arthropoden unter Miscanthus fest, während dies für an der Oberfläche aktivere Tiere nicht nachzuweisen war. Eine ähnliche Studie aus Frankreich (CHAUVAT et al. [23]) untersuchte die Springschwanzfauna ebenfalls mit problematischen Metallen belasteter

Felder mit Miscanthus und Switchgras im Vergleich zu Weizenfeldern. Hier wurden eine signifikant höhere Abundanz und ein höherer Artenreichtum unter den perennierenden Kulturen Miscanthus und Switchgras gegenüber den Weizenfeldern gefunden.

Fliegende und oberflächlich aktive Arthropoden

Auch Studien zu an der Bodenoberfläche aktiven oder fliegenden Wirbellosen sind bereits bekannt. In Bayern konnten JODL et al. [89] in Miscanthus mit verschiedenen Erhebungsmethoden im Vergleich mit Mais und Schilf die höchste Artenzahl des untersuchten Arthropodenspektrums und die meisten Differentialarten nachweisen.

DIETERICH et al. [41] untersuchten in Deutschland Energiepflanzen (Raps, Mais, Zuckerrübe, GPS-Getreide, Miscanthus und Blütmischungen) hinsichtlich einer Vielzahl von Tiergruppen (Blattkäfer, Wildbienen, Spinnen, Laufkäfer, Regenwürmer, Vögel) in zwei Untersuchungsräumen. Die Miscanthus-Felder nahmen hierbei eine Sonderstellung ein und zeigten die geringste Ähnlichkeit zu den anderen Kulturen. Während für Blattkäfer, Bienen und Spinnen Miscanthus keine besondere Wertigkeit aufwies bzw. verhältnismäßig geringe Aktivitätsdichten und Artenzahlen nachgewiesen wurden, konnten bei den Laufkäfern einige störungsempfindliche und daher wertgebende Arten erfasst werden.

Eine umfangreiche Untersuchung zur Fauna von Miscanthus-Beständen stammt von LOEFFEL und NENTWIG [106] aus der Schweiz und Deutschland, allerdings ohne Vergleich mit anderen Kulturen. Die Autoren stellten in sechsjährigen Miscanthus-Flächen mehr streubesiedelnde Arthropoden fest als in dreijährigen. Schädlinge, also phytophage Käfer, Blattläuse und Fächerflügler, traten nur in geringem Umfang auf.

Eine weitere Studie aus der Schweiz von LIPS et al. [105] untersuchte verschiedene landwirtschaftliche Kulturen mit einem Schwerpunkt auf Energiepflanzen (Raps, Hanf, Kenaf, Winterweizen, Mais und Wiesen) hinsichtlich ihrer Laufkäfer und Spinnenfauna und konnte im Miscanthus eine deutlich abweichende Artenzusammensetzung mit dem Vorkommen einiger eher für Hecken, Waldränder und Gehölze typischer Arten feststellen.

Häufig werden die Untersuchungen von SEMERE und SLATER [150] zitiert. Sie verglichen mit verschiedenen Methoden maximal drei Jahre alte Miscanthus-Flächen in England mit Rohrglanzgras-Beständen hinsichtlich ihrer Laufkäfer- und Schmetterlingsfauna sowie der Fauna auf den Pflanzen lebender (arborealer) Arthropoden. Für die Laufkäfer und Schmetterlinge waren die Beikräuter (Disteln für Schmetterlinge) von großer Bedeutung und diese waren häufiger im Miscanthus zu finden. Generell wurde festgestellt, dass die Flächen als Überwinterungsquartiere genutzt werden.

HAUGHTON et al. [69] verglichen Feldränder von Miscanthus, Weide (KUP) und Äckern und stellten eine höhere Abundanz von Tagfaltern in Nachbarschaft der beiden mehrjährigen Kulturen fest. Dies traf für Miscanthus außer für die *Pieridae* und *Lycanidae* für alle Familien zu, wobei der Unterschied am größten bei den *Satyrinae* war.

In Irland untersuchten DAUBER et al. [32] die Laufkäfer und Spinnenfauna von vierzehn *Miscanthus*-Feldern, die auf Grünland oder Acker angelegt worden waren, und kamen zu dem Schluss, dass die Vorbewirtschaftung, die Lückigkeit, die Beikrautbestände sowie die Erträge Einfluss auf die Fauna haben. Die Effekte sind jedoch abhängig von der betrachteten Artengruppe.

Eine weitere Untersuchung aus Irland befasste sich mit Bestäubern. So untersuchte STANLEY [155] [154] insgesamt 50 Flächen (jeweils 10 für *Miscanthus*-Feld auf Acker, *Miscanthus*-Feld auf Grünland, Winterraps, Winterweizen, Grünland) hinsichtlich ihrer Diversität und Häufigkeit von Staaten bildenden Bienen, Solitärbiene, Schwebfliegen und Schmetterlingen. Bei der Untersuchung mit Farbschalen zeigte sich, dass sowohl in Rapsfeldern als auch in *Miscanthus*-Beständen Solitärbiene häufiger und artenreicher auftraten als in Weizenfeldern. Schwebfliegen zeigten jedoch in den Rapsfeldern höhere Abundanz und Artenreichtum. Anhand von Transektbegehungen wurden mehr Hummeln im Raps gefunden als in *Miscanthus*- und Weizenfeldern. Für Schmetterlinge und die Beobachtung Nest suchender Hummeln ergaben sich keine Unterschiede zwischen diesen Kulturen. Allerdings war die Anzahl von Bienen und Wespen in aufgestellten künstlichen Nistgelegenheiten für *Miscanthus* höher. Ebenfalls keine deutlichen Unterschiede ergaben sich für den Vergleich von Grünlandflächen mit auf Grünland angelegten *Miscanthus*-Feldern. Am deutlichsten war der Unterschied zwischen den für jede Fläche untersuchten Feldrändern im Vergleich mit der Feldmitte. Alle Bestäubergruppen waren auf den Feldränder deutlich häufiger und artenreicher. BOURKE et al. [17] berichten in einer parallelen Veröffentlichung mit den gleichen Kulturen und Flächen über den Einfluss des Landschaftskontexts auf die Bestäuber und Laufkäferfauna. Die Diversität der Laufkäferfauna zeigte keine Unterschiede zwischen den Kulturen, jedoch waren Diversität und Artenzahl in den perennierenden Kulturen (Grünland, *Miscanthus*) geringer. Insgesamt kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Biodiversität in den Energiepflanzen *Miscanthus* und Raps nicht schlechter oder etwas besser ist als in den Äckern mit Winterweizen und im Grünland. Ein Einfluss der Landschaftsumgebung auf diese Effekte besteht nur in geringem Umfang. Allerdings verhalten sich nicht alle taxonomischen Gruppen einheitlich.

Vögel und Säuger

Im Fokus vieler Forschungsvorhaben steht die Wirkung von *Miscanthus*-Flächen auf die Wirbeltierfauna, insbesondere auf Vögel. Eine Untersuchung zum Nahrungsangebot von Vögeln aus England von BELLAMY et al. [5] verglich die Vogelwelt (Winter-/Sommerbegehung/Brut), die Regenwurmfauna sowie Bodenarthropoden (Bodenfallen) und in der Vegetation lebende Arthropoden (Kescherränge) in sechs Regionen mit Winterweizenfeldern. Im Winter waren signifikant mehr Vogelarten im *Miscanthus*, aber nicht mehr Individuen zu finden. Federwild, Schnepfen und Sperlingsvögel waren im Winter in höheren Dichten im *Miscanthus* zu finden. Nur die Feldlerche war häufiger auf den Weizenfeldern. Im Sommer fanden sich mehr Vögel und Brutpaare im *Miscanthus*. Für die Anzahl an Nahrungstieren, die in Bodenfallen gefangen worden waren, ergaben sich keine signifikanten Unterschiede im Winter und Sommer. Im Sommer zeigten jedoch *Chilopo-*

den und *Collembolen* eine höhere Aktivitätsdichte im *Miscanthus* als im Weizen. Mit Kescherrfängen im Sommer wurden signifikant mehr Invertebraten im Weizen als im *Miscanthus* erfasst, jedoch wurden die höchsten Werte auf den Beikräutern im *Miscanthus* festgestellt. Es wird geschlussfolgert, dass *Miscanthus*-Felder innerhalb der ersten fünf Jahre nach der Etablierung eine Kultur mit möglicherweise hohem Wert für Vögel in intensiv bewirtschafteten Agrarlandschaften darstellen.

Eine umfangreiche Studie zu Kleinsäugetern, Vögeln und Invertebraten in *Miscanthus* und Rohrglanzgras-Beständen im Vergleich mit den potenziell ersetzten Flächen (Grünland, Brachen, Mais, Johannisbeer-Plantagen) an vier Standorten in Wales (CLAPHAM 2011 [26], CLAPHAM und SLATER [27]) konnte mehr Vögel und Kleinsäuger in den Bioenergiekulturen nachweisen. Kleinsäuger waren im Rohrglanzgras jedoch artenreicher vertreten. Die Avifauna, die hier im Vergleich zu anderen Studien zusätzlich zu Beobachtungen auch mit Netzen erfasst wurde, zeigte im *Miscanthus* eine zahl- und artenreichere Vogelwelt. Jedoch wurden mehr Rote-Liste Arten in den Vergleichsflächen gefunden und die Biomasse-Kulturen beheimateten eher Waldarten als typische Arten der Agrarlandschaft. Eingehende Untersuchungen zur Zwergmaus zeigten eine besondere Vorliebe dieser Art für die Rohrglanzgras-Bestände. Die Bestandsstruktur dieser Kultur ist besonders geeignet zur Anlage von Nestern. Aber auch im *Miscanthus* konnte die Art im Gegensatz zu Grünland und Ackerflächen nachgewiesen werden, wobei hier vorwiegend Männchen gefangen wurden. Auf den Flächen mit Rohrglanzgras und den Vergleichsflächen war die mit verschiedenen Methoden erfasste Gesamtabundanz der Invertebraten höher als im *Miscanthus*.

Für Tiere wie Reh, Hase und Wachtel stellten JODL et al. [89] fest, dass *Miscanthus* ähnliche Funktionen wie Hecken erfüllen kann. Die erfolgreiche Brut von Teichrohrsänger und Hänfling zeigt, dass *Miscanthus*-Felder als Bruthabitate akzeptiert sind. Betont werden der Nischenreichtum der Kultur und der Vergleich mit der „natürlichen Monokultur“, dem Schilf.

BAUSCHMANN [1] stellte im Rahmen eines Projekts der Nachhaltigkeitsstrategie für Hessen fest, dass *Miscanthus* als schilfähnliche Pflanze von einer Vielzahl von Vogelarten genutzt wird, darunter auch Röhrich und Hochstaudenfluren bewohnende sowie gefährdete Arten (Blaukehlchen, Schwarzkehlchen, Rohrammer, Sumpfrohrsänger, Feldschwirl, Dorngrasmücke). Das von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. geförderte Projekt ELKE III [85] konnte in *Miscanthus*-Feldern Baumpieper, Zilpzalp und Goldammer als Brutvögel bestätigen und weist auch auf die Bedeutung für Nahrung suchende Vögel (vor allem Finkenvögel) hin.

SEMERE und SLATER [151] untersuchten auch die Flora, Kleinsäuger- und Vogelfauna von *Miscanthus* und Rohrglanzgras. Die *Miscanthus*-Felder waren deutlich reicher an Begleitvegetation und auch an offenen Bodenstellen. Allerdings wurden in den untersuchten Flächen bereits vor der vollständigen Etablierung Rhizome geerntet. So zeigten sich überraschend positive Ergebnisse für Feldlerche, Wiesenpieper und Kiebitz, die bei reifen, voll entwickelten Beständen nicht unbedingt zu erwarten sind. Für Kleinsäuger konn-

te kein Unterschied zwischen Rohrglanzglasgras und Miscanthus gefunden werden. Für beide Tiergruppen waren jedoch die Feldränder von großer Bedeutung.

Eine weitere Untersuchung aus England zur Vogelfauna von Miscanthus (gut etabliert), KUP, Grünland und Ackerflächen in zwei Wintern und einem Sommer (SAGE et al. [138]), ergab höhere Individuen- und Artenzahlen in KUPs als im Miscanthus. Die über den Winter nicht geernteten Miscanthus-Flächen enthielten mehr für Busch- und Waldland typische Arten wie Amseln, Meisen, Rohrhammern und Waldschnepfen. In den offenen Habitaten traten mehr Feldlerchen und Rabenvögel auf. Offene Stellen im Miscanthus wirkten sich positiv auf Finken und Watvögel aus. Insgesamt wird für Miscanthus im Südwesten Englands ein mehr oder weniger neutraler Effekt für die Vogelfauna erwartet. Spezialisten der offenen Agrarlandschaft könnten negativ betroffen sein.

5.4.3.3.3 Sonstige Kulturen

Zu anderen im Rahmen des Projekts bearbeiteten Kulturen finden sich Ergebnisse zur Regenwurmfauna bei EMMERLING [47] (siehe auch Abschnitt 5.4.3.1). Umfangreiche Untersuchungen zur Fauna von Switchgras wurden in den USA durchgeführt (z. B. [174] [136]).

5.4.3.3.4 Generelle Einflussfaktoren von Dauerkulturen auf die Tierwelt – Rahmen für eine Bewertung aus tierökologischer Sicht

Typisch für mehrjährige Energiepflanzen ist die Bodenruhe, die sie von regelmäßig neu angesäten Energiepflanzen (z. B. Raps, Mais) unterscheidet. Dieser Faktor ist in der Regel als positiv für die Bodenfauna zu bewerten, da mit der Bodenruhe zum einen mechanische Belastungen der Tierwelt (Zerquetschen, Zerschneiden, Zerstörung von Bauten usw.) wegfallen. Zum anderen kann eine zunehmende Vielfalt an Strukturen durch die Zonierung der Bodenschichten entstehen. Das Belassen organischer Stoffe an der Bodenoberfläche ist in natürlichen Ökosystemen eher die Regel, während durchmischte und umgeschichtete Substrate eher seltene Erscheinungen darstellen oder erst durch Bioturbation, z. B. durch Regenwürmer, in sehr langsamen Prozessen entstehen. Eine gewisse Lockerung und Durchmischung kann jedoch für einige Arten förderlich sein, insbesondere da sich bei ausbleibender Bodenbearbeitung das Porenvolumen verringert und der Boden in der Regel dichter lagert.

Eine weitere bewirtschaftungsspezifische Einflussgröße ist das Verdichtungsrisiko, also eine Verbindung aus der Anzahl der notwendigen Überfahrten, der Radlasten, der eingesetzten Technik und der zeitlichen Verteilung von Bewirtschaftungsterminen. Bodenverdichtungen können die Lebensbedingungen für Tiere im Boden verschlechtern, z. B. durch Sauerstoffmangel, Staunässe, weniger Hohlräume sowie durch Veränderungen ihrer Nahrungsmenge und -qualität. Bei Kulturen, die im Winter geerntet werden, geht man von einem geringeren Verdichtungsrisiko aus, da hier auch Tage mit Frost genutzt werden können. Ansonsten sind Erntetermine im Frühjahr tendenziell kritischer als im Sommer, da der Boden aufgrund der Winterfeuchte meist länger zur Abtrocknung und Befahrbarkeit benötigt. Auch Überfahrten mit Gülleausbringtechnik können bei ungünsti-

gen Bodenverhältnissen zu Verdichtung führen. Da beim mehrjährigen Anbau keine Bodenbearbeitung stattfindet, ist es schwieriger, einmal entstandene Verdichtungen wieder zu lockern.

Die Düngung der Pflanzenbestände hat ebenfalls einen Einfluss auf die Artengemeinschaft einer bestimmten Kultur. Dünger stimulieren das Wachstum der Pflanzen und damit die Verfügbarkeit von Nährstoffen und Nahrung für die Tierwelt (Primär-/Sekundärstoffwechsel). Organische Dünger liefern dem Bodenleben zusätzliche Nahrung. Bei hohen, nicht der fachlichen Praxis entsprechenden Düngemengen sind allerdings schädliche Auswirkungen auf die Bodenfauna zu erwarten. Pflanzen, die thermisch, trocken, in oder nach dem Winter geerntet werden (z. B. *Miscanthus*), ziehen einen Teil der Nährstoffe aus den absterbenden Pflanzenteilen zurück in unterirdische Speicherorgane und/oder die Nährstoffe werden durch den Streufall dem Boden wieder zugeführt. Bei diesen Kulturen ist der Nährstoffbedarf in der Regel geringer und als Reststoffe einer energetischen, thermischen Verwertung fällt nur mineralische Asche ohne direkten Nährwert für die Fauna an. Durch die Rückführung von Gärresten bei den als Biogassubstrat geernteten Pflanzen kann auch ein ansatzweise geschlossener Nährstoffkreislauf erreicht werden.

Für die Trophieebene der Zersetzer sind Quantität und Qualität der organischen Substanz, also in der Regel Streu und Erntereste, von großer Bedeutung. Nicht zu vernachlässigen sind zudem Effekte der zeitlichen Verteilung entsprechender Ressourcen. Erst im Winter oder Frühjahr geerntete Kulturen wie zum Beispiel *Miscanthus* werfen im Herbst einen Teil ihrer Blätter ab, sodass ein erhöhtes Nahrungsangebot und eine Bodenbedeckung über den Winter zu finden sind. Auch die Eignung als Wirtspflanze für phytophage Tierarten kann je nach Pflanzenart variieren. Das Auftreten dieser Tiergruppen beeinflusst höhere Trophieebenen. Die Rolle der mehrjährigen Energiepflanzen als Neophyten oder allelopathisch wirksame Pflanzen kann unter Umständen für die Fauna von Bedeutung sein.

Die Ernte der Pflanzenbestände ist für viele Tiere ein kritischer Zeitpunkt. Besonders größere Tierarten, wie Wirbeltiere, aber auch Insekten wie Heuschrecken, Käfer und Ähnliches können getötet oder beeinträchtigt werden. Eine Ernte außerhalb der Vegetationszeit und damit außerhalb von Brut- und Aktivitätszeit vieler Tierarten wird als positiv erachtet. Frühe Schnitte, wie bei Grünland oder GPS-Getreide, können für einige Brutvögel ungünstig sein. Allerdings können auch negative Beeinträchtigung zu anderen Jahreszeiten durch Vernichtung von Überwinterungsstätten oder Ähnliches auftreten. Das Entfernen eines großen Teils des Pflanzenbestands stellt auch eine radikale Änderung des Nahrungsangebots und des Mikroklimas für viele Tierarten dar. Auch die verwendete Erntetechnik oder technische Einstellungen wie beispielsweise die Schnitthöhe, Verwendung von Aufbereitern o. Ä. können wichtige Einflussfaktoren darstellen. Nicht zuletzt – wie aus dem Grünland bekannt – entscheidet auch die Anzahl der Erntetermine über die Störungsintensität in einem Habitat.

Wichtiges ökologisches Kriterium ist auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, da sie nicht vollständig selektiv wirken bzw. wichtige Teile aus dem Nahrungsnetz entfernen.

Für viele mehrjährige Energiepflanzen ergeben sich in der Regel geringere Intensitäten und Aufwandsmengen. Dies muss jedoch nicht für alle Kulturen und auf Dauer gelten. Für die infrage kommenden mehrjährigen Energiepflanzen sind bisher keine bekämpfungswürdigen Krankheiten oder Schädlinge bekannt. Bei der Begründung der Bestände ist jedoch in der Regel die Anwendung von Herbiziden nötig bzw. sehr vorteilhaft. Im weiteren Verlauf werden unter Umständen aus phytosanitären Gesichtspunkten besonders in Kulturen mit wachstumsschwachen Perioden (z. B. Riesenweizengras nach dem ersten Schnitt) zum Teil Unkräuter bekämpft.

In Bezug auf den Wert mehrjähriger Energiepflanzen für die Tierwelt und die Produktivität bestehen Zielkonflikte. Das Auflaufen von Unkräutern und eine geringere Bestandsdichte senken Erträge, erhöhen aber den ökologischen Wert. An Beikraut reiche, lockere Bestände sind für verschiedene Tiergruppen und deren Vielfalt vorteilhaft. In mehreren Kulturen sind die Bestände in der Etablierungsphase noch locker, schließen sich dann aber mit zunehmender Beschattung über das Jahr. An den Beikräutern, aber auch an der Kulturpflanze lebende phytophage Insekten wie Blattläuse sind zum Teil wichtige Nahrungsgrundlage für räuberisch lebende Tiere. Eine bekannte Faustregel ist, dass die tierische Artenvielfalt auch mit der Pflanzenvielfalt durch das zusätzliche Nischen- und diverse Nahrungsangebot zusammenhängt. Beispielsweise bringen hier mehrjährige Blühmischungen für die Biogaserzeugung gegenüber Monokulturen Vorteile für die Artenvielfalt.

Wichtige kulturspezifische Faktoren sind die mikroklimatischen Verhältnisse im, auf und über dem Boden und deren Verlauf im Jahr. Hierbei spielen Erntetermine, Wuchshöhe, Bestandsdichte und Wasserverbrauch der Pflanzen eine wichtige Rolle. Bodenfeuchte, Bodenfrost, Temperatur und Luftfeuchtigkeit sind für die Entwicklung verschiedener Tierarten bedeutsam. Es existieren sowohl Tierarten, die auf stabile mikroklimatische Verhältnisse angewiesen sind, als auch solche, die im Laufe ihrer Entwicklung unterschiedliche Ansprüche haben. Langfristige Änderungen von Bodeneigenschaften, wie beispielsweise des Humusgehalts und des pH-Werts, können sich ebenso auf die Fauna auswirken wie Wechselwirkungen innerhalb der Fauna durch Konkurrenz, Prädation oder Ähnliches.

Viele Tierarten sind auch auf spezifische Strukturen angewiesen bzw. werden dadurch gefördert. Wild, wie z. B. Fasane, Rehe oder Hasen, benötigen besonders im Winter in der offenen Feldflur Deckung. Andere Tierarten nutzen höherwüchsige Gräser und Stauden zur Anlage von Nestern, Netzen und Ähnlichem. Eine wichtige Nahrungsressource für viele Insektenarten sind Blüten. Zahlreiche Insektenarten wie auch deren Räuber und Parasitoide sind auf ein Blütenangebot in der Landschaft in ihrem Lebenszyklus angewiesen. Hierbei ist das Spektrum auf wenige Pflanzenarten beschränkter bis zu ausgesprochen anspruchslosen Arten, die sehr viele verschiedene Blüten nutzen können, groß. Auch andere Pflanzenteile wie Stängel, Holz, Samen o. Ä. können wichtige Strukturen oder Ressourcen für verschiedene Tierarten im Laufe ihrer Entwicklung darstellen. Wie bereits angedeutet, können sich auch quantitative Effekte wie die Menge an produzierter Streu, Blattmasse, Samen, Pollen, Nektar oder auch Schädlingen auf die Fauna auswirken.



Abbildung 86: Bestandteil der Fauna der Agrarlandschaft? – Zwergmausnest im Switchgras im Herbst am Standort Rosenau (links) und Laubfrosch auf der Versuchsfläche in Thürnthenning (rechts)

Von großer Bedeutung für die ökologische Wirkung von etablierten mehrjährigen Energiepflanzen sind besonders Standort- und Landschafts-Parameter. Die Standortbedingungen beeinflussen – z. T. über oben genannte Wirkmechanismen, aber auch durch prägende Eigenschaften auf die Fauna selbst – die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften. Beispielsweise können die erzielten Erträge über die mikroklimatische Einnischung oder die Wasserspeicherfähigkeit über die Trockentoleranz Effekte auf die Fauna nach sich ziehen. Die vorherige Artenzusammensetzung am Standort und entsprechende Spenderflächen sind entscheidend für die Unterschiede zwischen potenzieller und tatsächlicher Artenausstattung. Hierbei kommt der Vernetzung und Durchgängigkeit der Landschaft eine wichtige Bedeutung zu. Aspekte wie Schlaggröße, die umgebende Landschaft und die Vorbewirtschaftung der Flächen haben Auswirkungen auf die Fauna und die ökologische Bewertung. Eine Zunahme von Grenzlinien und Wegen bei bestimmten Anlageformen, z. B. Streifen, kann die Tierwelt in der Agrarlandschaft beeinflussen. Möchte man die Bedeutung einer Fläche mit mehrjährigen Energiepflanzen für die Fauna bewerten, muss zudem geklärt sein, womit verglichen bzw. welcher Lebensraum ersetzt wird und welche Arten gefördert werden sollen.

6 Kurzfassung der Ergebnisse

Im Projekt „Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung“ wurde auf sieben bayerischen Versuchsstandorten mit unterschiedlichen bodenklimatischen Bedingungen die Anbaueignung der mehrjährigen Energiepflanzen Silphie, Riesenweizengras, Sida, Switchgras, Miscanthus und Waldstaudenroggen geprüft. Weiterhin wurden Analysen zur Substratqualität des Ernteguts bei einer thermischen Nutzung (Sida, Miscanthus, Switchgras) oder bei einer Verwendung als Biogassubstrat (Silphie, Riesenweizengras, Sida, Switchgras, Waldstaudenroggen) durchgeführt. Eine ökologische Begleitforschung beinhaltete die Untersuchung der Effekte des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen auf die Bodenfauna, auf Blütenbesucher sowie auf die Gehalte mineralischen Stickstoffs (N_{\min}) und organischen Kohlenstoffs im Boden. In der ersten Projektphase (2014 bis 2017) konnten bisher zwei Ernten der Kulturen für die Biogasnutzung sowie eine Ernte als Brennstoff durchgeführt werden. Somit stützen sich die bisherigen Erkenntnisse noch auf eine geringe Datenbasis. Zusätzliche Forschungsschwerpunkte waren die Etablierung von Riesenweizengras und Switchgras sowie Herbizidversuche mit den Kulturen Sida, Silphie und Switchgras.

Anbaueignung

Unter den geprüften Arten hat sich nach zwei Versuchsjahren das Riesenweizengras (RWG) mit 161 dt TM/ha im Mittel über die Standorte und Jahre als ertragsstärkste Kultur herausgestellt (in zwei Schnitten). Maximalwerte von bis zu 225 dt TM/ha wurden in Einzelfällen erreicht. Nach ersten Erkenntnissen gibt es keine Standorteingrenzung für den Anbau in bayerischen Ackerbaugebieten. Das Gras kann auch Sommertrockenheit recht gut überstehen. Wichtig ist allerdings Feuchtigkeit zur Keimung und im Frühjahr zur Hauptwachstumsphase des Grases. Auf wüchsigen Standorten kann das Gras ins Lager gehen, sollte aber mit geeigneter Technik trotzdem beerntbar sein.

Ebenfalls als ertragsstark hat sich die Silphie herausgestellt (Mittelwert: 145 dt TM/ha, Maximum: 185 dt TM/ha). Diese Kultur bevorzugt nährstoffreiche Standorte mit guter Wasserverfügbarkeit. Die ehemals beschriebene Trockentoleranz hat sich im Versuch nicht bestätigt. Probleme können stark lagernde Bestände bereiten, die auch mit Praxis-Technik nicht ganz einfach zu beernten sind.

Das Switchgras, ein C4-Gras, hat hohe Temperaturansprüche. Nährstoffreiche Böden oder viel Niederschlag brachten keinen nennenswerten Ertragsvorteil. Die Kultur ist für trockene Grenzertragsstandorte, nicht aber für kühle Höhenlagen geeignet. Als maximaler Ertrag wurden 177 dt TM/ha in zwei Schnitten (Biogassubstrat) erreicht. Der Mittelwert lag bei 110 dt TM/ha. Die Ernte im Frühjahr zur thermischen Verwertung brachte maximal 79 und im Mittel 62 dt TM/ha. Laut Literaturangaben braucht das Gras zwei bis drei Jahre bis zu seiner vollständigen Entwicklung und zum Ertragsmaximum. Ein Anbau zur thermischen Nutzung kann für schneereiche Lagen nicht empfohlen werden, da unter diesen Bedingung mit starkem Lager und Ernteverlusten zu rechnen ist.

Die mehrjährige Roggenart Waldstaudenroggen hat sich als anspruchslos und als durchaus für Höhenlagen geeignet herausgestellt. Der mittlere Ertrag (2 Schnitte) lag bei 98 dt TM/ha (Maximum: 127 dt TM/ha). Hohe Düngegaben sind eher ungünstig, da die Kultur recht lageranfällig ist. Der Wiederaustrieb des Roggens nach Ernte war leider nicht zufriedenstellend. Nach momentanem Kenntnisstand ist diese Kultur besser zweijährig zu nutzen, da der sich ausdünnende Bestand verunkrautet und die Erträge abnehmen.

Das Malvengewächs Sida sollte nicht auf kühlen Standorten angebaut werden. Die Frosttoleranz ist zwar gut, die Entwicklung der Pflanze im Frühjahr dann aber zu langsam. Damit bleibt viel Raum für Unkraut und die TM-Erträge bleiben gering. Trockenphasen im Sommer kann die Kultur gut überstehen. Schwierigkeiten bereitet allerdings die Etablierung, da die Keimfähigkeit des Saatguts sehr schlecht ist und die Jugendentwicklung der Kultur sehr langsam vonstattengeht. Im Versuch lag der maximale Ertrag bei 120 dt TM/ha. Im Mittel wurden nur 82 dt TM/ha erreicht. Die Kultur wird je nach Standort für den Einsatz in der Biogasanlage ein- oder zweimal geschnitten. Die Ernte in trockenem Zustand zur thermischen Verwertung brachte maximal 62 dt TM/ha (Mittelwert: 35 dt MT/ha).

Die Kultur Miscanthus wird ausschließlich abgetrocknet, für thermische Zwecke oder zur stofflichen Nutzung angebaut und somit im Frühjahr beerntet. Im Versuch lag der maximale Ertrag bei 110 dt TM/ha (Mittelwert: 58 dt TM/ha). Erfahrungen aus anderen Forschungsvorhaben haben jedoch gezeigt, dass nach drei bis vier Jahren Entwicklungszeit auch 250 dt TM/ha möglich sind. Miscanthus bevorzugt mildes Klima und ausreichend Feuchtigkeit. Sehr trockene Standorte sind weniger geeignet, wie der Anbau im trockenen fränkischen Gäu gezeigt hat. Auch der Anbau in wind- und schneereichen Gegenden ist aufgrund von Lager problematisch.

Als Referenzkultur wurde im Versuch Silomais angebaut. Sowohl im Versuchsjahr 2015 als auch 2016 war Silomais die ertragsstärkste Kultur. Bei Trockenheit war der Unterschied zu den mehrjährigen Kulturen jedoch weniger ausgeprägt. In Einzelfällen konnte dann das Riesenweizengras den TM-Ertrag des Silomaises erreichen oder übertreffen.

Insgesamt ist festzustellen, dass Riesenweizengras und Silphie bei einer Nutzung als Biogassubstrat sowie Miscanthus für eine thermische Nutzung als ertragsstärkste Kulturen ermittelt wurden. Von einer Erhöhung der Erträge im nächsten Jahr bei den übrigen geprüften Kulturen ist bei guten Bedingungen auszugehen. Nachteil aller mehrjährigen Energiepflanzen bleibt der Ertragsausfall im Etablierungsjahr.

Gräser-Etablierung

Verschiedene Varianten zur Etablierung von Riesenweizengras zeigten, dass eine Aussaat des Grases von März bis September möglich ist. Eine späte Saat sollte allerdings nur in Gegenden mit milden Temperaturen erfolgen, wo keine frühzeitigen Frosteinbrüche zu erwarten sind. Auf kühleren Standorten hat sich eine Saat noch im August bewährt. Bei einer Saat im Frühjahr konnte die Aussaat unter der Deckfrucht Hafer erfolgen. Bereits im Saatjahr wurde hier die Biomasse des Hafers geerntet. Eine Reinsaat im

Frühjahr brachte in der Regel keinen erntewürdigen Aufwuchs und lohnte sich somit nicht. Eine Saat im Sommer ermöglichte den Anbau einer Vorfrucht und überbrückte somit den Ertragsausfall im ersten Jahr. Im vorliegenden Versuch war die Sommerausaat im Juni jedoch problematisch, da die Sommertrockenheit zu einem lückigen Feldaufgang führte. Das etablierte Riesenweizengras ist zwar relativ trockentolerant, für einen zufriedenstellenden Feldaufgang ist jedoch ausreichend Feuchtigkeit notwendig. Eine Untersaat unter einem Sommergetreide als Deckfrucht verschärfte dieses Problem bei einer Aussaat im Juni. Eine Untersaat unter abfrierendem Hafer oder Grünroggen im September brachte keinen Vorteil.

Für Switchgras ist eine Sommerausaat (Ende Mai bis Ende Juli) zu empfehlen. Etwas Feuchtigkeit zur Keimung sollte im Boden vorhanden sein, jedoch kann das Gras sehr viel besser als Riesenweizengras mit trockenen Bedingungen im Sommer, auch in der frühen Entwicklungsphase, zurechtkommen. Eine Untersaat unter Deckfrucht hat sich hier nicht bewährt. Eine Herbstsaat führte im Versuch zu einer schwachen Vorwinterentwicklung und zum Absterben der Bestände über Winter.

Herbizid-Verträglichkeit von Switchgras, Sida und Silphie

In Switchgras schädigten vor allem im Voraufbau eingesetzte Bodenmittel wie Boxer, Diflanil 500 SC, Ethosat 500, Spectrum, Stomp Aqua und Fuego. Gegenüber den ersten vier hatte Switchgras auch im Nachaufbau eine schlechte Verträglichkeit. Nach diesen ersten Ergebnissen kommen zur Ungraskontrolle im späten Nachaufbau vorrangig Mittel aus dem Getreidebereich (Atlantis WG) infrage. Mit einer gewissen Schädigung bzw. Wuchshemmung ist allerdings zu rechnen. Gegen zweikeimblättrige Unkräuter können rein blattaktive Präparate wie Lentagran WP, Fox oder Buctril eingesetzt werden.

Die Herbizidtoleranz von Sida erwies sich im Versuch als extrem gering. Die geprüften Mittel Stomp Aqua, Fuego, Diflanil 500 SC, Ethosat 500, Boxer, Buctril, Fox und Lentagran WP verursachten inakzeptable Schäden an den jungen, frisch aufgelaufenen Sida-Pflanzen. Es kann keine wirksame und vollständig verträgliche Herbizidstrategie aus den Versuchsergebnissen abgeleitet werden. Die Mittel Spectrum, Metafol SC und Belvedere Extra aus dem Rübenanbau waren als Einzelanwendungen in Aufwandmengen bis 0,75/2/2 l/ha einigermaßen verträglich; bei frühzeitigem Einsatz (Voraufbau oder bis BBCH 10) jedoch nur in geringen Aufwandmengen bis 0,5/1/1 l/ha. Die nur geringe verträgliche Aufwandmenge würde aber eine mehrmalige Spritzung erfordern, so wie es z. B. bei den Zuckerrüben durchgeführt wird. Ob auch dies von den Pflanzen toleriert würde, kann anhand der Ergebnisse nicht beurteilt werden. Zudem hatte Spectrum in einem Vorversuch starke Schädigungen hervorgerufen. Die in der Praxis immer wieder empfohlenen Mittelkombination von Metafol SC + Belvedere Extra führt nach vorliegenden Erkenntnissen zu einer ausgeprägten Schädigung und wird für den Einsatz in Sida nicht empfohlen. Eine unkrautfreie Fläche sowie eine mechanische Unkrautbekämpfung sind momentan die einzigen sicheren Maßnahmen für eine erfolgreiche Etablierung der Sida.

Die Silphie stellte sich als deutlich resistenter heraus. Im gepflanzten Bestand, ab BBCH 17, wurden fast alle geprüften Mittel ohne größere Schädigung vertragen. Die Prüfung beinhaltete die Präparate Stomp Aqua, Boxer, Fuego, Spectrum, Metamitron SC, Ethosat 500, Belvedere Extra, Lentagran WP sowie Fox, Buctril und Aramo, welche ohne Schädigung eingesetzt wurden. Lediglich das Mittel Diflanil 500 SC führte zum Totalausfall. Im gesäten Bestand blieb der Einsatz von Stomp Aqua, Fuego, Spectrum, Metafol SC, Ethosat 500 und Belvedere Extra im Voraufbau oder im frühen Nachaufbau ohne größere Schädigung. Ein Einsatz von großen Mengen Boxer (6 l/ha) schädigte im Voraufbau und ist nicht zu empfehlen. Die Mittel Lentagran WP, Fox und Gallant wurden für einen Einsatz ab BBCH 12–13 geprüft. Es traten nur geringe Schädigungen auf. Eine Kombination aus Boxer und dem bereits in Silphie zugelassenen Mittel Stomp Aqua ist auch im Nachaufbau riskant. Dreifach-Kombinationen von Boxer, Stomp und Buctril führten ebenfalls zu einer inakzeptablen Schädigung und sind in der Praxis nicht einsetzbar.

Mit Ausnahme von Stomp Aqua in Silphie ist keines der hier genannten Mittel zugelassen. Ihr Einsatz bedarf einer Ausnahmegenehmigung gemäß § 22 Abs. 2 PflSchG.

Etablierung von Silphie ohne Unkrautkontrolle

Bei einer Etablierung eines Silphie-Bestands mittels Pflanzung ohne jegliche chemische Unkrautkontrolle hat sich die Silphie als durchaus robust gegenüber hohem Unkrautdruck herausgestellt. Für eine vollkommene Unterdrückung der Unkräuter reichte die Blattmasse im ersten Jahr allerdings nicht aus. Mehrjährige Problemunkräuter konnten sich ausbreiten und waren dann nur noch schwierig bekämpfbar. Die hohe Konkurrenz mit dem Unkraut um Nährstoffe, Wasser und Licht führte zu deutlichen Ertragseinbußen im ersten Erntejahr. Im zweiten Jahr entwickelte sich der Bestand jedoch gut und wurde mit akzeptablem Ertrag geerntet. Eine Etablierung der Silphie (Pflanzung) ohne Unkrautkontrolle ist folglich möglich und unter ökologischen Gesichtspunkten durchaus sinnvoll, im Hinblick auf den Ertragsausfall und die Erhöhung des Unkrautpotenzials des Standorts für konventionelle Betriebe jedoch nicht angeraten.

Substratqualität – Biogasnutzung

Die Zusammensetzung der mehrjährigen Energiepflanzen unterschied sich deutlich von der Referenzkultur Silomais. Insgesamt waren in der Biomasse der mehrjährigen Arten mehr Stickstoff und Kalium enthalten. Für Sida und Silphie wurden auch hohe Gehalte an Calcium sowie Schwefel (auch Riesenweizengras) im Erntegut festgestellt, die es bei der Düngung zu berücksichtigen gilt. Als grobe Faustformel kann 1–1,2 kg N je dt TM-Ertrag für die Düngung veranschlagt werden. Kalium ist mit 2,1–2,2 (Sida, Silphie) bzw. 1,6–1,9 kg K je dt TM-Ertrag (Gräser) zu berücksichtigen.

Eine Untersuchung des Ernteguts nach der Weender Analyse ergab für die mehrjährigen Energiepflanzen eine ungünstige Zusammensetzung. Im Vergleich zu Silomais enthielten sie mehr Rohasche und Lignin, was für die Methanbildung im Fermenter nachteilig ist. Für Sida und Silphie wurden auch relativ geringe Hemicellulose-Gehalte ermittelt. Dies wirkt sich ebenfalls negativ auf die Methanbildung aus und erklärt die sehr niedrigen

Methanausbeuten von Sida und Silphie (ca. 250 NI/kg oTM im Mittel über die Standorte und Jahre), wie sie mittels Batchversuch bestimmt wurden. Das Riesenweizengras und das Switchgras hatten eine etwas günstigere Zusammensetzung, die Methanausbeute lag bei bis zu 330 NI/kg oTM. Im Vergleich zu Silomais mit bis zu 370 NI/kg oTM wurden mit Riesenweizengras (Green Star) in den beiden Versuchsjahren 2015 und 2016 im Mittel über die Standorte 90 bzw. 72 % des Methanertrags (pro Hektar) von Silomais erreicht. Für Switchgras lag der Methanertrag bei ca. 55 %, für die Silphie bei 60 und 52 %. Mit der Sida wurden nur 33 bzw. 30 % im Vergleich zu Silomais geerntet. Das Ergebnis des Waldstaudenroggens rangierte zwischen 39 und 70 %. Ein Anstieg des Trockenmasseertrags in den ersten zwei bis drei Jahren ist bei mehrjährigen Kulturen durchaus möglich. Dies würde sich dann positiv auf die Methanproduktion pro Hektar auswirken. Auch eine Optimierung des Erntezeitpunkts könnte die Methanausbeute und damit den Methanhektarertrag steigern.

Substratqualität – thermische Verwertung

Untersuchungen zur Brennstoffzusammensetzung und -qualität von Miscanthus, Sida und Switchgras ergaben einen leicht geringeren Heizwert im Vergleich mit Holz. Der Aschegehalt war dagegen erhöht. Eine weitere wichtige Größe, der Ascheschmelzpunkt, ergab Werte über 1200 °C für Sida und Switchgras und lag damit im unproblematischen Bereich. Schwierigkeiten aufgrund von Ablagerungen können sich bei der Verbrennung von Miscanthus ergeben, da für diesen Brennstoff ein Ascheschmelzpunkt von deutlich unter 1200 °C festgestellt wurde. Die geringe Schüttdichte des halmgutartigen Häckselmaterials von Sida, Switchgras und Miscanthus sei ebenfalls erwähnt, da sich daraus ein erhöhter Lagerraumbedarf ergibt. Für die Verbrennung bzw. die Schadstoffemission relevante Inhaltsstoffe sind Stickstoff, Schwefel und Chlor, welche in den geprüften Energiepflanzen in höheren Gehalten als bei Holz enthalten waren. Positiv hervorzuheben ist die Sida mit einem relativ hohen Kalzium-, aber niedrigem Kaliumgehalt. Dies erklärt den hohen Ascheschmelzpunkt des Brennstoffs. Größte Vorteile der halmgutartigen Brennstoffe im Vergleich zu Holz sind die Möglichkeit der Bewirtschaftung mit vorhandener landwirtschaftlicher Technik sowie die höheren Trockensubstanzgehalte des Häckselguts zur Ernte.

Mineralischer Stickstoff im Boden

Als Ergebnis der Bodenuntersuchung im Herbst hat sich die Nitrat-Auswaschungsgefahr insbesondere auf sehr humushaltigen Böden und den einjährig bewirtschafteten Parzellen gezeigt, besonders wenn extreme Witterungsbedingungen wie 2015 hohe Erträge und die Entwicklung stickstoffspeichernder Zwischenfrüchte verhindern. Die Bodenbearbeitung zur Saat vor einjährigen Kulturen, welche die Stickstoffmineralisierung fördert, hatte ebenso einen Einfluss auf die mineralischen Boden-Stickstoffwerte (N_{\min}) im Herbst. Bei den mehrjährigen Kulturen entfällt die Bodenbearbeitung und die Fläche ist ganzjährig bewachsen, sodass Stickstoff fast über die gesamte Vegetationsperiode aufgenommen werden kann. Sofern die Etablierung erfolgreich war und sich ein dichter Bestand entwickelt hatte, ist nach diesen ersten Ergebnissen die Gefahr der Auswaschung

von Nitrat unter den geprüften mehrjährigen Energiepflanzen als gering einzuschätzen. Für sehr humushaltige Böden besteht hier die Möglichkeit, die N_{\min} -Gehalte zu verringern. Es hat sich aber auch gezeigt, dass die Aussaat einer Zwischenfrucht die Herbst- N_{\min} -Gehalte effektiv reduzieren kann, sofern sich diese gut entwickelt.

Regenwurmfauna

Die Untersuchungen zu ersten Auswirkungen der mehrjährigen Energiepflanzen auf die Regenwurmfauna fanden etwa eineinhalb bis zwei Jahre nach der Saat bzw. Pflanzung an vier Standorten statt. Dafür wurden die Biogaskulturen Silphie, Sida (Grünverwertung), Riesenweizengras (Sorte Green Star) und die für die thermische Verwertung genutzten Kulturen Sida, Switchgras und Miscanthus untersucht. Aufgrund der relativ kurzen Versuchslaufzeit zeigten die bisherigen Untersuchungen zur Regenwurmfauna in den Feldversuchen noch keine deutlichen Unterschiede der mehrjährigen Energiepflanzen im Vergleich zu einer dreigliedrigen Ackerfruchtfolge. Lediglich die beiden Energiegräser Riesenweizengras und Switchgras wiesen einen eher geringeren Regenwurmbestand auf. Deutlich positiv wirkte sich der Anbau mehrjähriger Energiepflanzen jedoch für die Regenwurmfauna auf dem Niedermoorstandort Rosenau aus.

Auf den zehn ergänzend untersuchten, bereits länger bestehenden Praxisflächen zeigte besonders die Silphie eine deutliche Zunahme der Regenwurmdichte und -biomasse im Vergleich mit regelmäßig gepflügten Ackerflächen. Insgesamt waren auch positive Effekte für das Riesenweizengras und den Miscanthus festzustellen, sodass bei praxisnahem Anbau mindestens keine negativen Auswirkungen für Regenwürmer zu erwarten sind. Weitere Untersuchungen sind nötig, um mittelfristige und standortspezifische Auswirkungen der unterschiedlichen Kulturen und ihrer typischen Eigenschaften (Streu, Mikroklima) auf die Regenwurmfauna zu beurteilen.

Blütenbesucher, Milben, Springschwänze und Laufkäfer

Zählungen von Blütenbesuchern an Silphie und Sida ergaben für Honigbienen bis zu 50 Blütenbesuche pro Quadratmeter in 10 Minuten und es konnte nachgewiesen werden, dass zahlreiche andere Tierarten, besonders Hummeln und Schwebfliegen, die Blüten aufsuchen. Die Silphie schien hierbei für diese Tiere etwas attraktiver zu sein. Es kann angenommen werden, dass zusätzliches Pollen- und Nektarangebot im späteren Jahr auch einigen wildlebenden Bestäubern in der Agrarlandschaft zuträglich ist.

Untersuchungen zu Milben und Springschwänzen auf Miscanthus-Flächen und im Vergleich von Riesenweizengras mit Roggen-GPS deuten darauf hin, dass für diese Tiergruppen neben der Bodenruhe vor allem die Bildung eines poren- und strukturreichen Oberbodens sowie einer organischen Auflage von Bedeutung ist. Bei nur kurzzeitigem Anbau kann das Potenzial der mehrjährigen Energiepflanzen für in diesen Bodenschichten lebende Kleintiere möglicherweise nicht ausgeschöpft werden.

Die im Frühjahr 2016 am Standort Rosenau durchgeführte Untersuchung zur Laufkäferfauna konnte in der Silphie im Vergleich mit Riesenweizengras, Sida und Winterweizen die höchste Artenzahl nachweisen. Silphie und das Riesenweizengras zeichneten sich

weiterhin durch den größten Anteil hygrophiler und standorttypischer Laufkäferarten sowie die größte Aktivitätsdichte an Großlaufkäfern aus.

Insgesamt ist der Anbau mehrjähriger Energiepflanzen aus agrarfaunistischer Sicht zu befürworten, insofern er die Vielfalt angebaute Kulturen und ökologischer Nischen in der Agrarlandschaft erhöht und gleichzeitig den Landschaftscharakter bewahrt. Generell können Kulturen und Verfahren, die den Eingriff in den Boden und die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln verringern, für Bodenfauna, Insekten und andere Wirbellose Habitate mit günstigen Entwicklungsmöglichkeiten bieten.

Zusammenfassung

Im Projekt „Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung“ wurde auf sieben bayerischen Versuchsstandorten mit unterschiedlichen bodenklimatischen Bedingungen die Anbaueignung der mehrjährigen Energiepflanzen Silphie, Riesenweizengras, Sida, Switchgras, Miscanthus und Waldstaudenroggen geprüft. Eine ökologische Begleitforschung zum Bodenleben unter mehrjährigen Energiepflanzen sowie weitere produktionstechnische Versuche ergänzten das Projekt.

Die Versuche zeigten, dass nach Silomais das Riesenweizengras und die Silphie unter den Biogaskulturen mit einem mittleren Trockenmasseertrag (TM) von 161 bzw. 145 dt TM/ha die ertragsstärksten Kulturen sind. Nach den ersten Erfahrungen eignet sich Riesenweizengras für den Anbau auf nahezu allen bayerischen Ackerbaustandorten. Die Silphie hingegen benötigt nährstoffreiche Böden und ausreichend Niederschläge. Hinsichtlich des Methanertrags brachte das Riesenweizengras (Green Star) im Mittel zwischen 72 und 90 %, die Silphie nur 52 bis 60 % des Methanertrags von Silomais. Der Waldstaudenroggen lag bei 39 bis 70 %. Die Werte für Switchgras und Sida bewegten sich zwischen 55 und 30 %. Neben den niedrigen TM-Erträgen ist ein niedrigeres Methanbildungspotenzial pro kg oTM ein Grund für das schlechtere Abschneiden der mehrjährigen Kulturen.

Die thermisch verwerteten Kulturen lieferten mittlere TM-Erträge von 58 (Miscanthus), 62 (Switchgras) und 37 (Sida) dt TM/ha. Erkenntnisse zur Anbaueignung zeigten, dass Miscanthus nicht für schneereiche und trockene Gegenden geeignet ist. Der Anbau von Sida und Switchgras sollte in kühlen Höhenlagen vermieden werden, beide Kulturen können dafür aber Sommertrockenheit relativ gut überstehen. Untersuchungen zur Brennstoffzusammensetzung und -qualität von Miscanthus, Sida und Switchgras ergaben einen leicht geringeren Heizwert im Vergleich mit Holz. Hinsichtlich des Ascheschmelzpunkts sind Sida und Switchgras als unproblematisch einzuschätzen. Für Miscanthus wurde ein Ascheschmelzpunkt von deutlich unter 1200 °C festgestellt, was zu Schwierigkeiten bei der Verbrennung führen kann. Die Stickstoff-, Schwefel- und Chlorgehalte waren im Vergleich zu Holz bei allen drei Kulturen erhöht und können zur Bildung schädlicher Emissionen beitragen. Zwei große Vorteile der halmgutartigen Brennstoffe im Vergleich zu Holz sind die einfache Bewirtschaftung der Kulturen mit vorhandener landwirtschaftlicher Technik sowie höhere Trockensubstanzgehalte des Häckselguts zur Ernte.

Hinsichtlich der Effekte des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen auf die Regenwurmfauna waren nach 1,5 bis 2 Jahren noch keine eindeutigen Auswirkungen im Vergleich zur Referenz mit einer dreigliedrigen Fruchtfolge feststellbar. Lediglich die beiden Energiegräser Riesenweizengras und Switchgras wiesen einen eher geringeren Regenwurmbestand auf. Bereits positiv wirkte sich der Anbau mehrjähriger Energiepflanzen jedoch für die Regenwurmfauna auf dem Niedermoorstandort Rosenau aus. Auf den ergänzend untersuchten, mindestens fünf Jahre bestehenden Praxisflächen mit mehrjährigen Energiepflanzen profitierte die Regenwurmfauna der Silphie im Vergleich mit regelmäßig gepflügten Ackerflächen deutlich.

Zählungen von Blütenbesuchern an Silphie und Sida ergaben, dass neben Honigbienen auch zahlreiche andere Tierarten, besonders Hummeln und Schwebfliegen, die Blüten aufsuchten. Die Silphie war hierbei für diese Tiere etwas attraktiver.

Insgesamt kann der Anbau mehrjähriger Energiepflanzen eine interessante Alternative zu klassischen, einjährigen Energiepflanzen sein. Es ergeben sich Vorteile bei der Bodenbedeckung und der Nitratauswaschungsgefahr im Winter. Weiterhin ist von einem geringeren Arbeitszeitbedarf nach der Etablierungsphase auszugehen. Auch aus agrarfaunistischer Sicht ist der Anbau nach bisherigem Kenntnisstand insofern zu befürworten, als er die Vielfalt angebaute Kulturen und ökologischer Nischen in der Agrarlandschaft erhöht und gleichzeitig den Landschaftscharakter bewahrt. Weitere Untersuchungen sind jedoch nötig, um die mittelfristigen und standortspezifischen Auswirkungen der unterschiedlichen Kulturen zu beurteilen. In Bezug auf den Trockenmasse- und Methanertrag ist mit Silomais mehr zu erwirtschaften, wenngleich sich gezeigt hat, dass unter extremen Bedingungen, wie z. B. bei Trockenheit, in Einzelfällen die Erträge des Silomais erreicht werden können. Eine Bewertung des Ertragspotenzials der thermisch genutzten mehrjährigen Kulturen ist nach nur einer Ernte im Projektzeitraum noch nicht sinnvoll.

Abstract

Within the project "Perennial crops and their cultivation suitability in Bavaria" the cultivation suitability of the perennial energy crops cup plant, sida, tall wheatgrass, switchgrass, miscanthus and perennial rye was tested at seven Bavarian sites with different soil-climatic-conditions. Besides, ecological aspects like soil fauna under the cultivation of perennial energy crops as well as further production-technological tests accomplished the project.

The experiments showed that, after silo maize, tall Wheatgrass and cup plant were the most productive crops among the tested biogas variants. They had an average dry matter yield (DM) of 161 and 145 dt DM/ha. The results proved that tall wheatgrass is suitable for cultivation in almost all Bavarian farmland regions. Cup plant on the other hand, requires nutrient-rich soils and sufficient precipitation. On average tall wheatgrass (Green Star) built between 72 and 90 %, cup plant only 52 to 60 % of the methane yield per hectare compared to maize (whole plant). The results of perennial Rye varied between 39 and 70 %. Switchgrass and sida ranged between 55 and 30 %. Besides the lower DM yields, a lower methane formation potential per kg organic DM is the reason for the poorer performance of the perennial crops.

The thermally used crops on average yielded 58 (miscanthus), 62 (switchgrass) and 37 (sida) dt DM/ha. First results on the suitability of cultivation showed that miscanthus should not be grown in snow-rich and dry areas. The cultivation of sida and switchgrass should be avoided at high altitudes with low temperatures during vegetation period. But both crops can deal relatively well with summer drought. Studies on the solid fuel composition and quality of miscanthus, sida and switchgrass showed a slightly lower calorific value compared to wood. The ash melting point of sida and switchgrass was classified as unproblematic. The ash melting point of miscanthus was determined to be well below 1200 °C. Such low ash melting temperatures can lead to difficulties during the combustion process. The nitrogen, sulphur and chlorine contents were increased in comparison to wood in all three cultures. This could contribute to the formation of harmful emissions. A great advantage of the herbaceous fuels compared to wood is a simple management using technology which is available on every farm as well as higher dry matter contents of the biomass at harvest.

Regarding the effects of the cultivation of perennial energy crops on the earthworm fauna in comparison to an annual crop rotation, no obvious differences were recorded after 1,5 to 2 years. Merely the two energy grasses tall wheatgrass and switchgrass showed a rather lower earthworm density. But at the fen site in Rosenau, the cultivation of most perennial energy crops had already a clearly positive effect on earthworms. The earthworm fauna of cup plant benefited markedly in comparison to regular ploughed fields under farm common practice, which were established minimum five years ago.

Counting of flower visitors of cup plant and sida recorded honeybees but also many other species, especially bumblebees and hover-flies. Cup plant was more attractive to these insects than sida.

Overall, the cultivation of perennial energy crops can be an interesting alternative to annually grown energy crops. There are advantages in soil coverage and a reduced danger of nitrate leaching during winter. Furthermore, after the establishment phase less working time is needed. From an agricultural-faunistic point of view according to the actual state of knowledge, cultivation of perennial energy crops can be recommended to the extent that their cultivation increases the diversity of cultivated crops and ecological niches in the agricultural landscape while preserving the landscape character. Nevertheless, further studies are necessary to assess the medium-term and site-specific impact of different cultures. With respect to the dry matter yield and methane yield, silo maize is more profitable. Although it has been found that under extreme conditions, e. g. in the case of summer drought, the yields of the maize can be attained. An assessment of the yield potential of the thermally used perennials after only one harvest in the first project phase is not yet useful.

Quellenverzeichnis

- [1] BAUSCHMANN, G. (2011): Förderung von Feldvogelgemeinschaften (Agro-Avizönosen) durch Integration von Artenhilfsmaßnahmen beim Anbau nachwachsender Rohstoffe. Staatliche Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland. URL: https://vswwfm.de/v/vsw/content/e3884/e4536/e4540/gesamtversion_nawaro_31_10_kl.pdf (Stand: 31.01.2017)
- [2] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2015): Humus. Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). URL: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/merkblaetter/humus_lfl-merkblatt.pdf (Stand: 07.03.2017)
- [3] BAYERISCHES AMT FÜR FORSTLICHE SAAT- UND PFLANZENZUCHT (2013): Energiewald - Anbau schnellwachsender Baumarten in Kurzumtriebskulturen. Merkblatt Pa 02. URL: http://www.asp.bayern.de/mam/cms02/asp/dateien/merkblatt_energiewald.pdf (Stand: 30. 1. 2017)
- [4] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2011): Mittlerer jährlicher Gesamtabfluss in Bayern. Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). URL: http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000017 (Stand: 19.01.2016)
- [5] BELLAMY, P. E.; CROXTON, P. J.; HEARD, M. S.; HINSLEY, S. A.; HULMES, L.; HULMES, S.; NUTTALL, P.; PYWELL, R. F.; ROTHERY, P. (2009): The impact of growing miscanthus for biomass on farmland bird populations. *Biomass and Bioenergy*, Jg. 33, Nr. 2, S. 191–199
- [6] BEYLICH, A.; GRAEFE, U. (1992–2012): Gesamtgutachten zu den bodenzoologischen Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein für den Zeitraum 1992 bis 2012. Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH. URL: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/B/boden/Downloads/Gesamtgutachten_Bodenzoologie.pdf (Stand: 30.01.2017)
- [7] BICKERTON, H. J. (2011): Recovery strategy for the Virginia Mallow (*Sida hermaphrodita*) in Ontario. Ontario Recovery Strategy. Prepared for the Ontario Ministry of Natural Resources, Petersborough, Ontario, s. p.
- [8] BIERTÜMPFEL, A. (2015): Prüfung der Anbau- und Verwertungseignung alternativer Biogaspflanzen unter Thüringer Bedingungen. Projekt 94.16 – Eruiierung Energiepflanzen. In: THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (TLL) (Hrsg.): Jahresbericht 2016. Berichte der Abteilungen, Abteilung Pflanzenproduktion und Agrarökologie. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Nr. 1. Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), S. 94–95
- [9] BIERTÜMPFEL, A.; CONRAD, M. (2013): Durchwachsene Silphie – Bestandsetablierung durch Saat, Verbundprojekt Erhöhung des Leistungspotenzials und der Konkurrenzfähigkeit der Durchwachsenen Silphie als Energiepflanze durch Züchtung und Optimierung des Anbauverfahrens, Teilvorhaben 2 Optimierung des Anbauverfahrens und Bereitstellung von Selektionsmaterial. Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Abschlussbericht, 78 Seiten

- [10] BIERTÜMPFEL, A.; RUDEL, H.; WERNER, A.; VETTER, A.; GRAF, T. (2011): Miscanthus – 15 Jahre Thüringer Ergebnisse. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) (Hrsg.). URL: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/misc0611.pdf> (Stand: 30.01.2017)
- [11] BOESE, L.; BUTTLAR, C. v.; BÖTTCHER, K.; FORMOWITZ, B.; HEIERMANN, M.; HERRMANN, C.; IDLER, C.; KORNATZ, P.; PENTSCHEW, S.; RICHTER, R.; SIEVERS, M.; VOLLRATH, B.; WILLMS, M. (2012): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Sachsen-Anhalt. 1. Aufl. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow-Prüzen, 80 Seiten
- [12] Böhrnsen, A. (2018): Wilde Staude anstatt Biogasmais. Profi – Magazin für professionelle Agrartechnik, Jg. 30 , Nr. 1, S. 72–74
- [13] BÖHRNSEN, A. (2010): Heizen mit Switchgras: Vielversprechender Nawaro. Profi – Magazin für professionelle Agrartechnik, Jg. 22, Nr. 1, S. 70–73
- [14] BORKOWSKA, H.; MOLAS, R. (2013): Yield comparison of four lignocellulosic perennial energy crop species, Biomass and Bioenergy, Jg. 51, Nr. 4 (April), S. 145–153
- [15] BORKOWSKA, H.; MOLAS, R.; KUPCZYK, A. (2009): Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) Cultivated on Light Soil; Height of Yield and Biomass Productivity. Polish Journal of Environmental Studies, Jg. 18, Nr. 4, S. 563–668
- [16] BOSWORTH, S.; KELLY, T.; MONAHAN, S. (2013): Nitrogen Fertilization, Time of Harvest and Soil Drainage on Switchgrass Biomass Production and Fuel Quality. Plant and Soil Science. University of Vermont. URL: http://pss.uvm.edu/vtcrops/articles/Energy Crops/Switchgrass_Nitrogen_And_Nutrient Removal.pdf (Stand: 23.01.2017)
- [17] BOURKE, D.; STANLEY, D.; O'ROURKE, E.; THOMPSON, R.; CARNUS, T.; DAUBER, J.; EMMERSON, M.; WHELAN, P.; HECQ, F.; FLYNN, E.; DOLAN, L.; STOUT, J. (2014): Response of farmland biodiversity to the introduction of bioenergy crops: effects of local factors and surrounding landscape context. GCB Bioenergy, Jg. 6, Nr. 3, S. 275–289
- [18] BRÖKER, M. (2015): Silphie in den Fermenter? Top agrar, Jg. 44, Nr. 6, S. 62–64
- [19] BURMEISTER, J.; KREUTER, T.; WALTER, R. (2016): Der Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die Laufkäferfauna eines Feldversuches in Bayern. Angewandte Carabidologie, Jg. 18, Nr. 11, S. 21–30
- [20] BURMEISTER, J.; WALTER, R.; FRITZ, M., (2014): Düngung mit Biogasgärresten – Auswirkungen auf Bodentiere. Biogas Forum Bayern – ALB Bayern e. V. URL: <http://www.biogas-forum-bayern.de/media/files/0001/Auswirkung-der-Düngung-mit-Biogasgarresten-auf-die-Bodentiere.pdf> (Stand: 20.05.2016)
- [21] BURMEISTER, J.; ZACIOS, M.; WALTER, R. (2016): Regenwurmbesiedlung von Kurzumtriebsplantagen in der Gemeinde Kaufering. LWF Wissen, Nr. 79, S. 40–48
- [22] CAPELLE, C. v.; SCHRADER, S.; BRUNOTTE, J. (2012): Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data. European Journal of Soil Biology, Jg. 50, Nr. 5/6 (May-June), S. 165–181
- [23] CHAUVAT, M.; PEREZ, G.; HEDDE, M.; LAMY, I. (2014): Establishment of bioenergy crops on metal contaminated soils stimulates belowground fauna. Biomass and Bioenergy, Jg. 62, Nr. 3 (March), S. 207–211

- [24] CHRISTIAN, D. G.; ELBERSEN, H. W.; EL BASSAM, N. (2003): FAIR 5-CT97-3701. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an Alternative Energy Crop in Europe Initiation of a Productivity Network. Hrsg.: Elbersen, W., Wageningen, S. 72–92
- [25] CHUDZIK, B.; SZCZUKA, E.; MARCIN, D.; DANAIL, P. (2010): The Structure of the ovule of *Sida Hermaphrodita* (L.) Rusby after Pollination. *Acta Agrobotanica*, Jg. 63, Nr. 2, S. 3–11
- [26] CLAPHAM, S. J. (2011): The Abundance and diversity of small mammals and birds in mature crops of the perennial grasses *Miscanthus x giganteus* and *Phalaris arundinacea* grown for biomass energy. Dissertation. Cardiff, University Cardiff School of Biosciences, 333 Seiten
- [27] CLAPHAM, S. J.; SLATER, F. M. (2008): The biodiversity of established biomass grass crops. *Aspects of Applied Biology*, Nr. 90, S. 325–329
- [28] CORTESE, L. M.; HONIG, J.; MILLER, C.; BONOS, S. A. (2010): Genetic Diversity of Twelve Switchgrass Populations Using Molecular and Morphological Markers. *BioEnergy Research*, Jg. 3, Nr. 3, S. 262–271
- [29] CSETE, S.; STRANCZINGER, S.; SZALONTAI, B.; FARKAS, A.; PÁL, R. W.; SALAMON-ALBERT, E.; KOCSIS, M.; TÓVÁRI, P.; VOJTELA, T.; DEZSO, J.; WALCZ, I.; JANOWSZKY, Z.; JANOWSZKY, J.; BORHIDI, A. (2011): Tall Wheatgrass Cultivar Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi) as a Potential Energy Crop for Semi-Arid Lands of Eastern Europe, Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources. URL: <http://www.intechopen.com/books/sustainable-growth-and-applications-in-renewable-energy-sources> (Stand: 03.02.2015)
- [30] CUTEC-INSTITUT GMBH; TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN; KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE; TECHNISCHE UNIVERSITÄT CLAUSTHAL (2014): Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Biomasseheizkraftwerken auf der Basis von Pyrolyse-, Vergasungs- und Verbrennungsverfahren durch Erhöhung der Brennstoffflexibilität und eine prozessorientierte Bewertung von Biomassen. Abschlussbericht. Clausthal-Zellerfeld, 224 Seiten
- [31] DANDIKAS, V.; HEUWINKEL, H.; LICHTI, F.; DREWES, J. E.; KOCH, K. (2015): Correlation between Biogas Yield and Chemical Composition of Grassland Plant Species. *Energy & Fuels*, Jg. 29, Nr. 11, S. 7221–7229
- [32] DAUBER, J.; CASS, S.; GABRIEL, D.; HARTE, K.; ÅSTRÖM, S.; O'ROURKE, E.; STOUT, J. C. (2015): Yield-biodiversity trade-off in patchy fields of *Miscanthus giganteus*. *GCB Bioenergy*, 7, S. 455–467
- [33] DAUBER, J.; JONES, M. B.; STOUT, J. C. (2010): The impact of biomass crop cultivation on temperate biodiversity. *GCB Bioenergy*, 2, S. 289–309
- [34] DAUBER, J.; MÜLLER, A. L.; SCHITTENHELM, S.; SCHOO, B.; SCHORPP, Q.; SCHRADER, S.; SCHROETTER, S. (2016): Schlussbericht zum Vorhaben: Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) als eine Biomassepflanze der Zukunft. Johann Heinrich von Thünen-Institut und Julius-Kühn-Institut. URL: <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22004411.pdf> (Stand: 22.02.2017)

- [35] DAVIS, K. M.; KUJAWSKI, J. (2001): Propagation protocol for production of Container (plug) *Sida hermaphrodita* plants Container plugs; USDA NRCS – Norman A. Berg National Plant Materials Center Beltsville, Maryland. US Department of Agriculture, Forest Service, National Center for Reforestation, Nurseries, and Genetic Resources URL: <http://NativePlantNetwork.org> (Stand: 07.09.2016)
- [36] DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (DLG) (2004): Grobfutterbewertung, Teil A – DLG-Schlüssel zur Bewertung von Grünfutter, Silage und Heu mit Hilfe der Sinnesprüfung. URL: www.dlg.org/de/ (Stand: 06.11.2015)
- [37] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2014): DIN EN ISO 17225-1. Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Berlin: Beuth-Verlag, 60 Seiten
- [38] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2014): DIN EN ISO 17225-1. Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 2: Klassifizierung von Holzpellets. Berlin: Beuth-Verlag, 34 Seiten
- [39] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2014): DIN EN ISO 17225-1. Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 4: Einteilung von Holzhackschnitzeln. Berlin: Beuth-Verlag, 11 Seiten
- [40] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2014): DIN EN ISO 17225-1. Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 6: Klassifizierung von nicht-holzartigen Pellets. Berlin: Beuth-Verlag, 12 Seiten
- [41] DIETERICH, M.; HEINTSCHEL, S.; HAUSBERG, M.; MÜCK, J.; BAUER, T.; BERGER, J.; DORSCH, H.; ZÜRCHER, A.; NERLICH, K.; MASTEL, K.; RIEDL, U.; FIEBIG, I.; LOHR, M. (2016): Biomassekulturen der Zukunft aus Naturschutzsicht. BfN-Skripte, Nr. 442, Bonn: Bundesamt für Naturschutz, 328 Seiten
- [42] DIETZ, E.; KUPTZ, D.; BLUM, U.; SCHULMEYER, F.; BORCHERT, H.; HARTMANN, H. (2016): Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern. Gehalte ausgewählter Elemente, Heizwert und Aschegehalt. Berichte aus dem TFZ, Nr. 46. Straubing, Freising-Weißenstephan: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ); Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). 141 Seiten, ISSN 1614-1008
- [43] DIETZ, T.; BRANDHUBER, R. (1998): Bodenkunde. In: BAYERISCHER LANDWIRTSCHAFTS-VERLAG (HRSG.): Pflanzliche Erzeugung. 11. Aufl. München: BLV Verlagsgesellschaft Die Landwirtschaft, Nr.1, S. 41
- [44] DOUGLAS, J.; LEMUNYON, J.; WYNIA, J.; SALON, P. (2009): Planting and Managing Switchgrass as a Biomass Energy Crop. Ed. By the United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service Technical Note, Nr. 3. Washington, D. C., USA, 20 Seiten
- [45] EHRMANN, O. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf die Regenwürmer Baden-Württembergs. Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. URL: <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/101762/U13-M315-N08.pdf?command=downloadContent&filename=U13-M315-N08.pdf> (Stand: 26.01.2015)

- [46] ELTROP, L.; HÄRDTLEIN, M.; JENSSEN, T.; KRUCK, C.; ÖZDEMİR, E. D.; HENßLER, M.; HARTMANN, H.; POBOSS, N.; SCHEFFKNECHT, G. (2014): Leitfaden Feste Biobrennstoffe. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen im mittleren und großen Leistungsbereich. 4. Aufl. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 211 Seiten, ISBN 9783000153891
- [47] EMMERLING, C. (2014): Impact of land-use change towards perennial energy crops on earthworm population. *Applied Soil Ecology*, Nr. 84, S. 12–15
- [48] ERNST, G.; HENSELER, I.; FELTEN, D.; EMMERLING, C. (2009): Decomposition and mineralization of energy crop residues governed by earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, Jg. 41, Nr. 7, S. 1548–1554
- [49] FACHAGENTUR FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (2017): Nachwachsende Rohstoffe wuchsen 2016 auf 2,7 Millionen Hektar in Deutschland. Datum: 02.02.2017. Kontaktperson: Nicole Paul, Güstrow
- [50] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2012): Marktübersicht Hack-schnitzelheizungen. 4. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 122 Seiten
- [51] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2013): Handbuch Bioenergie Kleinanlage 3. Aufl. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 195 Seiten
- [52] FELTEN, D.; EMMERLING, C. (2011): Effects of bioenergy crop cultivation on earthworm communities – A comparative study of perennial (*Miscanthus*) and annual crops with consideration of graded land-use intensity. *Applied Soil Ecology*, Nr. 49, S. 167–177
- [53] FISCHER, C. (2014): Does ecosystem diversity affect soil hydraulic properties? Investigation of biotic and abiotic factors on infiltration capacity in a grassland biodiversity experiment. Dissertation. Jena: Friedrich-Schiller-Universität, 143 Seiten
- [54] FREUDE, H.; HARDE, K. W.; LOHSE, G. A.; KLAUSNITZER, B. (2006): Die Käfer Mitteleuropas. Band 2: Adephaga 1 – Carabidae. 2. Aufl., Heidelberg/Berlin: Spektrum-Verlag, 521 Seiten
- [55] FRITZ, M.; FORMOWITZ, B.; JODL, S.; EPEL-HOTZ, A.; KUHN, W. (2009): *Miscanthus*. Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis; Projektpartner: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Abteilung Landespflege. Berichte aus dem TFZ, Nr. 19 Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 37 Seiten, ISSN 1614-1008
- [56] FRITZ, M.; FORMOWITZ, B.; JODL, S.; EPEL-HOTZ, A.; KUHN, W. (2009): *Miscanthus* als Nachwachsender Rohstoff. Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten. Projektpartner: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Abteilung Landespflege. Berichte aus dem TFZ, Nr. 18) Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 169 Seiten, ISSN 1614-1008

- [57] FROMMHAGEN, K.; DENNER, M.; SYRBE, R.-U.; NEITZEL, H. (2013): Innovationsmöglichkeiten der landbaulichen Entwicklung, Vielfalt der nutzbaren Kulturarten zur Energiegewinnung in der Feldflur. In: INTERNATIONALES BEGEGNUNGSZENTRUM ST. MARIENTHAL (IBZ); LEIBNIZ-INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE RAUMENTWICKLUNG (IÖR) (Hg.): Nachhaltige Nutzung von Energiepflanzen für eine regionale Entwicklung im Landkreis Görlitz. Ein Handlungsleitfaden. Redaktion: Birgit Fleischer, Ralf-Uwe Syrbe. 1. Aufl. Ostritz: Internationales Begegnungszentrum St. Marienthal (IBZ), S. 27–35, ISBN 978-3-00-042194-5
- [58] GANSBERGER, M.; WEINHAPPEL, M.; GEHREN, P. VON; RATZENBÖCK, A.; LIEBHARD, P.; MAYR, J. (2015): Seed germination of *Silphium perfoliatum* L. and *Sida hermaphrodita* L. and technological measures for its improvement. In: VEREINIGUNG DER PFLANZENZÜCHTER UND SAATGUTKAUFLEUTE ÖSTERREICHS (Hrsg.): Zukünftige Saatgut-Produktion, Vermarktung, Nutzung und Konservierung. 65. Tagung, 24.–26. November 2014. Irnding. Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (65), S. 21
- [59] GEHREN, P. V.; GANSBERGER, M.; MAYR, J.; BOCK, H.; PICHLER, W.; WOPIENKA, E.; LIEBHARD, P. (2015): Ertragspotential und Charakteristik des Erntegutes von *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby. In: Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES) (Hrsg.): 70. ALVA-Tagung, Graz. Wien: AGES, S. 136–138
- [60] GEHREN, P. V.; GANSBERGER, M.; MAYR, J.; LIEBHARD, P. (2016): The effect of sowing date and seed pretreatments on establishment of the energy plant *Silphium perfoliatum* by sowing. *Seed Science and Technology*, Jg. 44 Nr. 2, S. 310–319
- [61] GIBSON, L. (2007): Switchgrass. Department of Agronomy, Iowa State University. URL: http://www.agmrc.org/media/cms/AG200_0432D5ED6E413.pdf (Stand: 23.01.2017)
- [62] GISI, U. (1997): Bodenökologie. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme-Verlag, 351 Seiten
- [63] GROOT, D. A. DE; JAGERS OP AKKERHUIS, G. A. J. M.; DIMMERS, W. M.; CHARRIER, X.; FABER, J. H. (2016): Biomass and Diversity of Soil Mite Functional Groups Respond to Extensification of Land Management, Potentially Affecting Soil Ecosystem Services. *Frontiers in Environmental Science*, 4, S. 1–12
- [64] HALLER, J.; FRITZ, M. (2015): Bioenergie-Dauerkulturen. Auswahl ökologischer Alternativen. TFZ-Wissen – Forschung für Praxis, Nr. 3. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 59 Seiten
- [65] HANTKE, M. (o. J.) Erfahrungen zum Einsatz von Herbiziden in *Sida hermaphrodita* 2011/2012. Vortrag. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein – Fachbereich Pflanzenschutz
- [66] HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2014): Blühende Felder für den Fermenter. Durchwachsene Silphie: Nicht nur interessant für Imker und Bienen. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Jg. 204, Nr. 44, S. 49–50
- [67] HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2016): Langzeit-Ergebnisse zum *Miscanthus*-Anbau in Bayern. In: KAGE, H.; SIELING, K.; FRANCKE-WELTMANN, M.; GESELLSCHAFT FÜR PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN E. V. (GFP) (Hrsg.): Klimawandel und Qualität. Kurzfassung der Vorträge und Poster. 59. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. Gießen, 27.–29. September. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nr. 28. Göttingen: Liddy Halm, S. 168–169

- [68] HARTMANN, A.; LUNENEGER, T. (2016): Ertragspotenzial der Durchwachsenen Silphie unter Bayerischen Anbaubedingungen. *Journal für Kulturpflanzen*, Jg. 68, Nr. 12, S. 385–388
- [69] HAUGHTON, A. J.; BOND, A. J.; LOVETT, A. A.; DOCKERTY, T.; SÜNNENBERG, G.; CLARK, S. J.; BOHAN, D. A.; SAGE, R. B.; MALLOTT, M. D.; MALLOTT, V. E.; CUNNICHAM, M. D.; RICHE, A. B.; SHIELD, I. F.; FINCH, J. W.; TURNER, M. M.; KARP, A. (2009): A novel, integrated approach to assessing social, economic and environmental implications of changing rural land-use: a case study of perennial biomass crops. *Journal of Applied Ecology*, Jg. 46, Nr. 2, S. 315–322
- [70] HEDDE, M.; OORT, F. v.; BOUDON, E.; AABONNEL, F.; LAMY, I. (2013): Responses of soil macroinvertebrate communities to *Miscanthus* cropping in different trace metal contaminated soils. *Biomass & Bioenergy*, Jg. 55, Nr. 8 (August), S. 122–129
- [71] HEDDE, M.; OORT, F. v.; RENOUF, E.; THÉNARD, J.; LAMY, I. (2013): Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils. *Applied Soil Ecology*, Nr. 66, S. 29–39
- [72] HEDENEC, P.; NOVOTNY, D.; USTAK, S.; CAJTHAML, T.; SLEJSKA, A.; SIMAKOVA, H.; HONZIK, R.; KOVAROVA, M.; FROUZ, J. (2014). The effect of native and introduced biofuel crops on the composition of soil biota communities. *Biomass and Bioenergy*, Jg. 60, Nr. 1 (Januar), S. 137–146
- [73] HEINZ, M. (2015): Riesenweizengras eine Energiepflanze mit Zukunft. *Biogas Journal*, Nr. 2, S. 48–50
- [74] HEINZ, M.; ROTH, T. (2013): Hohes Weizengras als Biogassubstrat. In: *Biogas Forum Bayern Nr. 1 – 22/2013*. Hrsg.: ALB Bayern e. V., URL: http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Hohes_Weizengras_als_Biogassubstrat.pdf (Stand: 03.02.2015)
- [75] HENNINGS, H. H.; SCHEFFER, B. (2000): Zum Nitrataustrag ins Grundwasser – Stand der Erkenntnisse. *Wasserwirtschaft*, Jg. 90, Nr. 7/8, S. 348–355
- [76] HIMKEN, M.; LAMMEL, J.; NEUKIRCHEN, D. (1997): Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*, Nr. 189, S. 117–126
- [77] HINTZ, R. L.; HARMONY, K. R.; MORRE, K. J. (1998) Establishment of Switchgrass and Big Bluestem in Corn with Atrazine. *Agronomy Journal*, Nr. 25, S. 215–222
- [78] HOEDTKE, S.; ZEYNER, A. (2011): Comparative evaluation of laboratory-scale silages using standard glass jar silages or vacuum-packed model silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Jg. 91, Nr. 5, S. 841–849
- [79] HOFER, G. (2008): Permakultur mit alter Roggensorte. *Bioland*, Jg. 35, Nr. 5, S. 8–9
- [80] HOLTSMANN, A. (2013): Dem Mais ein Schnippchen schlagen. *Joule*, 5, S. 79–80
- [81] HOLZSCHUH, A.; DORMANN, C. F.; TSCHARNTKE, T.; STEFFAN-DEWENTER, I. (2011): Expansion of mass-flowering crops leads to transient pollinator dilution and reduced wild plant pollination. *Proceedings. Biological Sciences Royal Society*, Nr. 278, S. 3444–3451
- [82] HONDELMANN, W.; SNEYD, J. (1974): Über einige pflanzenbauliche Gesichtspunkte bei perennierenden Kulturroggen. *Landbauforschung Völkenrode*, Jg. 24, Nr. 1, S. 89

- [83] HORSTMANN, F.; EDER, J.; HEUWINKEL, H.; RIECKMANN, C. (2010): Biogasmais – welchen Einfluss hat der Kolben? Forum new power, Nr. 4, S. 2–3
- [84] IMMERZELL, D. J.; VERWEIJ, P. A.; VAN DER HILST, F.; FAAIJ, A. P. C. (2014): Biodiversity impacts of bioenergy crop production: a state-of-the-art review. GCB Bioenergy, Jg. 6, Nr. 3, S. 183-209
- [85] INSTITUT FÜR ANGEWANDTES STOFFSTROMMANAGEMENT; WAGENER, F.; HECK, P.; BÖHMER, J. (2013): Nachwachsende Rohstoffe als Option für den Naturschutz – Naturschutz durch Landbau? – Schlussbericht zu ELKE. URL: http://landnutzungsstrategie.de/fileadmin/userdaten/dokumente/ELKE/Oeffentlicher_Bereich/Ergebnisse/2013-13-10_Schlussbericht_ELKE_III_JB.pdf (Stand: 05.10.2015)
- [86] IQBAL, Y.; GAUDER, M.; CLAUPEIN, W.; GRAEFF-HÖNNINGER, S.; LEWANDOWSKI, I. (2015): Yield and quality development comparison between miscanthus and switchgrass over a period of 10 years. Energy, Jg. 89, Nr. 9, S. 268–276
- [87] JABLONOWSKI, N. D.; KOLLMANN, T.; NABEL, M.; DAMM, T.; KLOSE, H.; MÜLLER, M. ET AL. (2017): Valorization of Sida (Sida hermaphrodita) biomass for multiple energy purposes. GCB Bioenergy, Jg. 9, Nr. 1, S. 202–214
- [88] JANZIG, B. (2016): Praktiker ebnen Silphie den Weg. Biogasjournal. Sonderheft Energiepflanzen, Juni 2016, S. 19–20
- [89] JODL, S.; EPEL-HOTZ, A.; MARZINI, K. (1998): Examination of the ecological value of miscanthus expanses – faunistic studies. In: C.A.R.M.E.N. (Hrsg.): Biomass for Energy and Industry, Proceedings of the 10th EU Bioenergy Conference. 8./11. Juni 1998. Würzburg: Rimpar, S. 778–779
- [90] KAHLE, P.; BEUCH, S.; BOELCKE, B.; LEINWEBER, P.; SCHULTEN, H. R. (2001): Cropping of Miscanthus in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soilorganic matter. European Journal of Agronomy, Jg. 15, Nr. 3, S. 171–184
- [91] KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H.; HOFBAUER, H., (HG.) (2016): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3., aktual. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1867 Seiten
- [92] KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2013): Synergien beim Anbau von Lebens- und Futtermitteln und Energiepflanzen. Vortrag. INTERDISZIPLINÄRES ZENTRUM FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG DER UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (IZNE)(Hrsg.): Fachtagung „Energie; Ernährung und Gesellschaft“ in Göttingen, 15. Oktober 2013, S. 1-19
- [93] KICHERER, A.; SPLIETHOFF, H.; HEIN, K. R. G.; LEWANDOWSKI, I.; EGHBAL, K.; KAHN, G. (1994): Große Erträge und hoher Ausbrand – Miscanthus-Feldversuche und Verbrennungseigenschaften. Energie, Jg. 46, Nr. 3, S. 33–41
- [94] KIESEL, A.; WAGNER, M.; LEWANDOWSKI, I. (2017): Environmental Performance of Miscanthus, Switchgrass and Maize: Can C4 Perennials Increase the Sustainability of Biogas Production? Sustainability, Jg. 9, Nr. 5, S. 1–20
- [95] KOCH, K. (1989): Die Käfer Mitteleuropas – Ökologie – Bd. 1. Kelttern: Goecke & Evers, 440 Seiten

- [96] KÖHLER, J.; MÜLLER, R. (2015): Anbauanleitung für die Aussaat von Durchwachsene Silphie *Silphium perfoliatum* L. Stand: Oktober 2015. N. L. Christensen Erfurter Samen- und Pflanzenzucht GmbH (Hrsg.). Erfurt, 8 Seiten, URL: <http://www.chrestensen.de/durchwachsene-silphie.html> (Stand: 23.3.2016)
- [97] KOHLI, L.; DANIEL, O.; SCHÖNHOLZER, F.; HAHN, D.; ZEYER, J. (1999): *Miscanthus sinensis* and wild flowers as food resources of *Lumbricus terrestris* L. *Applied Soil Ecology*, Jg. 11, Nr. 2-3, S. 189–197
- [98] KRÜCK, S.; NITZSCHE, O.; SCHMIDT, W. (2001): Verbesserte Regenverdaulichkeit durch Regenwurmaktivität – Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. *Landwirtschaft ohne Pflug (LOP)*, Nr. 1, S. 18–21
- [99] KUNTZE, H.; ROESCHMANN, G.; SCHWERDRFEGER, G. (1994): *Bodenkunde*. 5. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 424 Seiten
- [100] KURUCZ, E.; FÁRI, G.; GÁBOR, M.; POPP, J. (2014): Cost-effective Mass Propagation of Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) from Seeds. *Environmental Engineering and Management Journal*, Jg. 13, Nr. 11, S. 2845–2852
- [101] KURUCZ, E.; FÁRI, M. G. (2013): Improvement of Germination Capacity of *Sida Hermaphrodita* (L.) Rusby by Seed Priming Techniques. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, Jg. 4, Nr. 2, S. 137–142
- [102] LANDIS, D. A.; WERLING, B. P. (2010): Arthropods and biofuel production systems in North America. *Insect Science*, Jg. 17, Nr. 3, S. 220–236
- [103] LEWANDOWSKI, I.; KICHERER, A. (1997): Combustion quality of biomass – practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *European Journal of Agronomy*, Jg. 6, Nr. 3-4, S. 163–177
- [104] LEWANDOWSKI, I.; SCURLOCK, J. M. O.; LINDVALL, E.; CHRISTOU, M. (2003): The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, Jg. 25, Nr. 4, S. 335–361
- [105] LIPS, A.; JABERG, C.; FREI, G.; DUBOIS, D. (1999): Besiedlung nachwachsender Rohstoffe durch Flora & Fauna. *Agrarforschung*, Jg. 6, Nr. 8, S. 305–308
- [106] LOEFFEL, K.; NENTWIG, W. (1997): Ökologische Beurteilung des Anbaus von Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*) anhand faunistischer Untersuchungen. *Agrarökologie*, Nr. 26. Bern: Verlag Agrarökologie, 133 Seiten, ISBN 9783909192038
- [107] LORENZ, W. (2003): Rote Liste gefährdeter Lauf- und Sandlaufkäfer (Coleoptera: Carabidae s. l.) Bayerns. In: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.): Rote Liste gefährdeter Tiere Bayerns, S. 102–111
- [108] LUNENBERG, T.; HARTMANN, A. (2016): Nährstoffentzüge von Durchwachsener Silphie in Bayern. *Journal für Kulturpflanzen*, Jg. 68, Nr. 12, S. 389–391
- [109] LUTHARDT, V. M.; BRAUNER, O.; HOFFMANN, C.; HAGGENMÜLLER, K. (2008): Lebensräume im Wandel. Jahresbericht der ökosystemaren Umweltbeobachtung (ÖUB) zum Offenland des Biosphärenreservates Flusslandschaft Elbe und des Biosphärenreservates Schorfheide-Chorin: Zeitreihenuntersuchungen des mineralischen Graslandes und des entwässerten, landwirtschaftlich genutzten und aufgelassenen Moorgraslandes (zzgl. 3-jährige Parameter der naturnahen Moore im BR SV). Fachhochschule Eberswalde, URL: http://lanuweb.fh-eberswalde.de/oeub/pdf/OeUB_Bericht_2008.pdf (Stand: 30.01.2017)

- [110] MASSE, D.; GILBERT, Y.; SAVOIE, P.; BELANGER, G.; PARENT, G.; BABINEAU, D. (2010): Methane yield from switchgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada. *Bioresource Technology*, Jg. 101, Nr. 24, S. 9536–9541
- [111] MAYR, J.; GANSBERGER, M.; PICHLER, W.; WOPIENKA, E. (2015): Sida hermaphrodita (L.) Rusby – ein Rohstoff mit vielen Gesichtern. Vortrag: Forschungsverbund BioUp ; Weigl, M.; Pichler, W. (Hrsg.): BioUp-Fachtag 2015, Wien, Arsenal. Wien: Forschungsverbund BioUp, S. 4, ISBN 978 -3-9503707 -7-5
- [112] MEEHAN, P.; FINNAN, J. M.; MCDONELL, K. P (2013): The effect of harvest date and harvest method on the combustion characteristics of *Miscanthus x giganteus*. *GCB Bioenergy*, Jg. 5, Nr. 5, S. 487–496
- [113] MIEDANER, T.; LONGIN, F. (2012): Unterschätzte Getreidearten. Einkorn, Emmer, Dinkel & Co. 1. Aufl. Clenze: Agrimedia, 168 Seiten, ISBN 978-3-86263-129-2
- [114] MILCU, A. (2005): The role of earthworms for plant performance and ecosystem functioning in a plant diversity gradient. Dissertation. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, 125 Seiten
- [115] MOESENBICHLER, C. (2013): Permakultur für landwirtschaftliche Flächen. *Permakultur*, Nr. 49, S. 6
- [116] MÜLLER, A. L.; BIERTÜMPFEL, A.; FRIEDRITZ, L.; DAUBER, J. (2014): The energy plant *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae) as a late pollen resource for the honey bee *Apis mellifera* L. *Mitteilungen des Entomologischen Vereins Stuttgart*, Jg. 49, Nr. 1, S. 42–43
- [117] MÜLLER, A. L.; DAUBER, J. (2016): Hoverflies (Diptera: Syrphidae) benefit from a cultivation of the bioenergy crop *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae) depending on larval feeding type, landscape composition and crop management. *Agricultural and Forest Entomology*, Jg. 18, Nr. 4, S. 419–431
- [118] MÜNZER, W. (1998): Getreidebau – Roggen. In: BAYERISCHER LANDWIRTSCHAFTSVERLAG (HRSG.): Pflanzliche Erzeugung. 11. Aufl. Die Landwirtschaft, Nr. 1. München: BLV-Verlagsgesellschaft, S. 311
- [119] MÜNZER, W.; SUTOR, P. (1998): Nachwachsenden Rohstoffe. In: Bayerischer Landwirtschaftsverlag (Hg.): Pflanzliche Erzeugung. 11. Aufl. Die Landwirtschaft, Nr. 1. München: BLV-Verlagsgesellschaft, S. 604
- [120] N. L. CHRESTENSEN ERFURTER SAMEN- UND PFLANZENZUCHT GmbH (2015): Anbauanleitung für die Aussaat von Durchwachsener Silphie. URL: www.chrestensen.de/durchwachsene-silphie.html (Stand: 02.02.2017)
- [121] NEISINGER, J. (2014): Hauptsache, kein Heizöl mehr. Energie aus Pflanzen, Jg. 18, Nr. 6, S. 30–32
- [122] NEUMANN, K. (2014): Die schöne Amerikanerin. Vor einem großflächigen Anbau muss sich die Becherpflanze in Forschung und Praxis beweisen. *Allgemeine deutsche Imkerzeitung ADIZ*, Jg. 48, Nr. 11, S. 12–15
- [123] o. V. (2011): Versuchsbericht. Versuche und Erhebungen im ökologischen Landbau 2010. Bad Kreuznach: Landwirtschaftliches Versuchswesen Rheinland-Pfalz, s. p.
- [124] o. V. (2014): Versuchsbericht Biomasse 2013. Bad Kreuznach: Landwirtschaftliches Versuchswesen Rheinland-Pfalz, 54 Seiten

- [125] OREGON STATE UNIVERSITY (2000): Grass Growth and Regrowth for Improved Management. Grass Types – Cool-season or Warm-season Grasses. URL: <http://www.fsl.orst.edu/forages/projects/regrowth/print.cfm?PageID=33> (Stand: 03.02.2015)
- [126] PACKA, D.; KWIATKOWSKY, J.; GRABAN, L.; LAJSZNER, W. (2014): Germination and dormancy of *Sida hermaphrodita* seeds. *Seed Science and Technology*, Jg. 42, Nr. 1 (April), S. 1–15
- [127] PAN G., OUYANG, Z.; LOU, Q.; YU, Q.; WANG, J (2011): Water Consumption of Seven Forage Cultivars under Different Climatic Conditions in the North China Plain. *Journal of Resources and Ecology*, Jg. 2, Nr. 1, S. 74–82
- [128] PICHARD, G. (2012): Management, production and nutritional characteristics of cup-plant (*Silphium perfoliatum*) in temperate climates of southern Chile. *Ciencia e investigación agraria*, Jg. 39, Nr. 1, S. 61–77
- [129] PILLER, W. (2016): Eine Alternative zum Mais. *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt*, Jg. 206, Nr. 33, S. 30–31
- [130] PROSKE, S. (2010): Das Gütesiegel ENplus – neuer Maßstab für Holzpellets. In: OST-BAYERISCHES TECHNOLOGIE-TRANSFER-INSTITUT E. V. (OTTI) (Hrsg.): 19. Symposium Bioenergie. Festbrennstoffe – Bioenergie – ökonomisch, ökologisch, effizient. Unverzichtbar – Energieeffiziente Wärme- und Gasnetze, Feuerungs- und Vergasungstechnik, Nachhaltigkeit und Effizienz, Qualität und Nutzung, Bioenergie und Nachhaltigkeit. Regensburg: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e. V. (OTTI) (Wissen für Profis), S. 230–234
- [131] PUDE, R.; WERNER, A.; VOLLRATH, B.; GÖDEKE, K. (2012): Pflanzen für Industrie und Energie. 5. Aufl. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Gülzow-Prüzen, S. 21
- [132] REICHARDT, I. (2012): Anbauoptimierung verschiedener Energiepflanzenarten zur Biomasseproduktion. Versuchsbericht. LLFG Sachsen-Anhalt Zentrum für Acker- und Pflanzenbau. URL: http://www.llfg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/IR_Versuchsbericht_2012_Energiepflanzen.pdf (Stand: 03.02.2015)
- [133] REIMANN-PHILIPP, R. (1986): Perennial Spring Rye as a Crop Alternative. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Jg. 157, Nr. 4, S. 281–285
- [134] REIß, K. (2013): Durchwachsene Silphie – Von der Futterpflanze zum Koferment, Ermittlung des spezifischen Methanertrags. In: Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie der Universität Hohenheim (Hrsg.): Jahresbericht 2013. Hohenheim: Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, S. 17
- [135] RINEHART, L. (2006): Switchgrass as a Bioenergy Crop. National Sustainable Agriculture Information Service. URL: <https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=311> (Stand: 03.02.2015)
- [136] ROBERTSON, B. A.; DORAN, P. J.; LOOMIS, L. R.; ROBERTSON, J. R.; SCHEMSKE, D. W. (2011): Perennial biomass feedstocks enhance avian diversity. *GCB Bioenergy*, Jg. 3, Nr. 3, S. 235–246

- [137] ROßBERG, D.; MICHEL, V.; GRAF, R.; NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt für den deutschen Pflanzenschutzdienst, Jg. 59 Nr. 7, S. 155–161
- [138] SAGE, R.; CUNNINGHAM, M.; HAUGHTON, A. J.; MALLOTT, M. D.; BOHAN, D. A.; RICHE, A.; KARP, A. (2010): The environmental impacts of biomass crops: use by birds of *miscanthus* in summer and winter in southwestern England. Ibis, Jg. 152, Nr. 3, S. 487–499
- [139] SASKA, P.; HONEK, P. (2004): Development of the beetle parasitoids, *Brachinus ex-plodens* and *B. crepitans* (Coleoptera: Carabidae). Journal of Zoology, Jg. 262, Nr. 1, S. 29–36
- [140] SCHEINOST, P.; TILLEY, D.; OGLE, D.; STANNARD, M. (2008): Plant guide. Tall Wheat-grass (*Thinopyrum ponticum*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Idaho State Office. WA NRCS. Pullman, WA, Nr. 11, s. p.
- [141] SCHEU, S. (1992): Changes in the lumbricid coenosis during secondary succession from a wheat field to a beechwood on limestone. Soil Biology & Biochemistry, Jg. 24, Nr. 12, S. 1641–1646
- [142] SCHOO B.; SCHROETTER, S.; BÖTTCHER, U.; KAGE, H.; SCHITTENHELM, S. (2015): Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Durchwachsenen Silphie. In: C. Pekrun und M. Francke-Weltmann (Hg.): Multifunktionale Agrarlandschaften – Pflanzenbaulicher Anspruch, Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen. Kurzfassung der Vorträge und Poster. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., 22. bis 24. September. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nr. 27. Braunschweig: Liddy Halm, S. 19–20
- [143] SCHORPP, Q.; MÜLLER, A. L.; SCHRADER, S.; DAUBER, J. (2016): Agrarökologisches Potential der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) aus Sicht biologischer Vielfalt. Journal für Kulturpflanzen, Jg. 68, Nr. 12, S. 412–422
- [144] SCHORPP, Q.; SCHRADER, S. (2016): Earthworm functional groups respond to the perennial energy cropping system of the cup plant (*Silphium perfoliatum* L.). Biomass and Bioenergy, Jg. 87, Nr. 4 (April), S. 61–68
- [145] SCHRABAUER, J. (2013): Die besten Vier für Biogas. dlz agrarmagazin Jg. 64, Nr. 11, S. 112–115
- [146] SCHRABAUER, J.; BUCHGRABER, K.; MODER, K.; LIEBHARD, P. (2014): Potential of ten alternative grass species under different cutting regimes in Central Europe. Journal für Kulturpflanzen, Jg. 66, Nr. 6, S. 189–202
- [147] SCHRAMA, M.; VANDECASTEELE, B.; CARVALHO, S.; MUYLLE, H.; VAN DER PUTTEN, W. H. (2016): Effects of first- and second-generation bioenergy crops on soil processes and legacy effects on a subsequent crop. GCB Bioenergy, Jg. 8, Nr. 1, S. 136–147
- [148] SCHRAUBAUER, J. (2010): Trockentolerante, perennierende Gräserarten für eine Futternutzung bzw. energetische Verwertung im semihumiden und semiariden Produktionsgebiet. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur, Wien: Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 177 Bl.
- [149] SCURLOCK, J. M. O. (1999): Miscanthus. A review of European Experience with a novel Energy Crop. ORNL/TM-13732. Oak Ridge, Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, 22 Seiten

- [150] SEMERE, T.; SLATER, F. M. (2007): Invertebrate populations in miscanthus (*Miscanthus giganteus*) and reed canary-grass (*Phalaris arundinacea*) fields. *Biomass and Bioenergy*, Jg. 31, Nr. 1, S. 30–39
- [151] SEMERE, T.; SLATER, F. M.: (2007): Ground flora, small mammal and bird species diversity in miscanthus (*Miscanthus giganteus*) and reed canary-grass (*Phalaris arundinacea*) fields. *Biomass and Bioenergy*, Jg. 31, Nr. 1, S. 20–29
- [152] SMEETS, E. M. W.; LEWANDOWSKI, I. M.; FAAIJ, A. P. C. (2009): The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Jg. 13, Nr. 6-7, S. 1230–1245
- [153] STANFORD, G. (1990): Silphium perfoliatum (Cup-Plant) as a New Forage. In: UNIVERSITY OF NORTHERN IOWA; SMITH, D. D.; JACOBS, C. A. (Hrsg.): *Proceedings of the 12th North American Prairie Conference, recapturing a vanishing heritage : held 5-9 August 1990, Cedar Falls, Iowa*, S. 33–37
- [154] STANLEY, D. (2013): *Pollinators and pollination in changing agricultural landscapes – investigating the impacts of bioenergy crops*. Dissertation. Dublin: Trinity College, Department of Botany, 196 Seiten
- [155] STANLEY, D. A.; STOUT, J. C. (2013): Quantifying the impacts of bioenergy crops on pollinating insect abundance and diversity: a field-scale evaluation reveals taxon-specific responses. *Journal of Applied Ecology*, Jg. 50, Nr. 2, S. 335–344
- [156] STOCKMANN, F.; FRITZ, M. (2013): Einfluss von Standort und Herkunft auf das Ertragspotential der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) unter bayerischen Anbaubedingungen. 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. Weihenstephan, 4.–6. September. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nr. 25*. Göttingen: Liddy Halm, S. 146–147
- [157] STOLARSKI, M. J.; KRZYZANIAK, M.; SNIEG, M.; STOMINSKA, E.; PIÓRKOWSKI, M.; FILIPKOWSKI, R. (2014): Thermophysical and chemical properties of perennial energy crops depending on harvest period. *International Agrophysics*, Jg. 28, Nr. 2, S. 201–211
- [158] THOMA, M. (2010): Drahtwurmproblem im Miscanthusanbau. In: INTERNATIONALE VEREINIGUNG MEG E. V. (Hrsg.): *6. Internationale Miscanthus-Tagung. 24.–26. November 2010 in Österreich*, Seite 23-26
- [159] THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2013): *Anbautelegramm Durchwachsene Silphie*. URL: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/silp0313> (Stand: 04.03.2016)
- [160] TIMMERMAN, A.; BOS, D.; OUWEHAND, J.; DEGOEDE, R. G. M. (2006): Long term effects of fertilisation regime on earthworm abundance in a semi-natural grassland area. *Pedobiologia*, Jg. 50, Nr. 5, S. 427–432
- [161] TISCHER, S.; SCHMITT, A.-K.; HOFMANN, B.; CHRISTEN, O. (2005): Auswirkungen des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen auf bodenbiologische Aktivitäten auf einer Löß-Schwarzerde im Mitteldeutschen Trockengebiet. *VDLUFA-Schriftenreihe*, Nr. 61. Darmstadt: VDLUFA, S. 481–489

- [162] TRESELER, C.-H. (2007): Optimierung ausgewählter Biomasseparameter von Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) für die industrielle Verwertung. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn: Institut für Lebensmittel- und Ressourcenökonomik, 147 Seiten
- [163] TRESELER, C.-H.; PUDE, R. (2003): Saatgutqualität und Etablierung von *Panicum virgatum* (Switchgrass). Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Jg. 7, Nr. 15, S. 34–37
- [164] TRESELER, C.-H.; PUDE, R.; FRANKEN, H.; NOGA, G. (2006): Anbauwürdigkeit und Rohstoffqualität von ausgewählten Switchgrass-Sorten (*Panicum virgatum* L.) für Baustoffanwendungen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Jg. 10, Nr. 2, S. 75–81
- [165] TRÖLENBERG, S. D.; KRUSE, M.; JONITZ, A. (2012): Verbesserung der Saatgutqualität bei der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.). VDLUFA-Schriftenreihe, Nr. 68. Darmstadt: VDLUFA, S. 926–932
- [166] USDA PLANTS DATABASE (2003): Plants Profile for *Silphium perfoliatum*. URL: <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=SIPE2> (Stand: 02.02.2015)
- [167] USDA PLANTS DATABASE (2011): Plants Profile for *Panicum Virgatum*. URL: <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=PAVI2> (Stand: 09.09.2016)
- [168] USDA-NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (2011): Fact Sheet for release of Cave-In-Rock switchgrass (*Panicum virgatum* L.). Elsberry Plant Materials Center, Elsberry, Missouri, USA, 2 Seiten
- [169] UST'AK, S. (2008): Anbau und Verwertungsmöglichkeiten von *Sida hermaphrodita* in der Tschechischen Republik. Hrsg. v. Forschungsinstitut für Ackerbau, Wissenschaftliche Forschungsinstitution. Prag: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.- Institut für Pflanzenbau, 29 Seiten
- [170] Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (2011): Methodenbuch VII Umweltanalytik – Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Getr. Zählung
- [171] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2006): Richtlinie VDI 4630 – Vergärung organischer Stoffe Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, s. p.
- [172] WALTER, R., BURMEISTER, J.; BRANDHUBER, R. (2015): Regenwürmer – aktuelle Gefahren und positive Entwicklungen in landwirtschaftlich genutzten Böden. In: BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT; BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (Hrsg.): Fachtagung „Jahr des Bodens“ – 13. Kulturlandschaftstag, Bonn, S. 26–39
- [173] WEISSBACH, F.; SCHMIDT, L.; PETERS, G.; HEIN, E.; BERG, K.; WEISE, G.; KNABE, O. (1977): Methode und Tabellen zur Schätzung der Vergärbarkeit. 3. Aufl.. Berlin: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, 31 Seiten

- [174] WERLING, B. P.; DICKSON, T. L.; ISAACS, R.; GAINES, H.; GRATTON, C.; GROSS, K. L.; LIERE, H.; MALMSTROM, C. M.; MEEHAN, T. D.; RUAN, L.; ROBERTSON, B. A.; ROBERTSON, G. P.; SCHMIDT, T. M.; SCHROTENBOER, A. C.; TEAL, T. K.; WILSON, J. K.; LANDIS, D. A. (2014): Perennial grasslands enhance biodiversity and multiple ecosystem services in bioenergy landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Jg. 11, Nr. 4, S. 1652–1657
- [175] WILKEN, F.; BENKE, M. (2013): Durchwachsene Silphie in Niedersachsen. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. URL: <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/74/article/21404.html> (Stand: 26.01.2017)
- [176] WINFREE, R.; FOX, J. W.; WILLIAMS, N. M.; REILLY, J. R.; CARIVEAU, D. P. (2015): Abundance of common species, not species richness, drives delivery of a real-world ecosystem service. *Ecology Letters*, Nr. 18, S. 626–635
- [177] WURTH, W.; JILG, A.; MESSNER, J.; LÖFFLER, C.; ELSÄßER, M.; ZÜRCHER, A. (2015): Was leisten "alternative" Kulturen im Vergleich zu Energiemais? In: MESSNER, J. (Hrsg.): "Grünland effizient und umweltschonend nutzen". 59. Jahrestagung der AGGF in Aulendorf vom 27.–29. August 2015. Jahrestagung der AGGF. Aulendorf, 27.–29.08., S. 101–105

Anhang

Tabelle 42: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Erntetermine der Kulturen für die Biogasnutzung in 2015

Variante	Aholting	Thürn- thenning	Rosenau	Hötzelsdorf	Parsberg	Gelchsheim
Silphie	03.08.2015	28.07.2015	13.08.2015 (21.09.2015)	05.08.2015	11.08.2015	26.08.2015
Sida	03.08./ 21.10.2015	28.07./ 26.10.2015	13.08.2015#	05.08.2015	Entfällt	29.07./ 20.10.2015
RWG Green Star	26.06./ 21.10.2015	10.07./ 26.10.2015	01.07.+08.07./ 26.10.2015	06.07./ 22.10.2015	24.06./ 27.10.2015	16.06./ 20.10.2015
RWG Alkar	26.06./ 21.10.2015	10.07./ 26.10.2015	01.07.+08.07./ 26.10.2015	06.07./ 22.10.2015	24.06./ 27.10.2015	16.06./ 20.10.2015
Switchgras	03.08./ 21.10.2015	21.07./ 26.10.2015	21.07.2015	05.08./ 22.10.2015	Entfällt	29.07./ 20.10.2015
Roggen-GPS	26.06.2015	01.07.2015	01.07.2015	06.07.2015	24.06.2015	16./17.07.20 15
Mais	25.08.2015	13.08.2015	21.09.2015	22.09.2015	16.09.2015	26.08.2015
Waldstaud.	01.06./ 03.08.2015	02.06./ 21.07.2015	19.05./21.07.2 015	01.06./ 05.08.2015	28.05./ 30.07.2015	20.05./ 29.07.2015

zweiter Schnitt entfallen, Wildverbiss, RWG = Riesenweizengras

Tabelle 43: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Erntetermine der Kulturen für die thermische Nutzung in 2016

Variante	Aholting	Thürn- thenning	Rosenau	Hötzelsdorf	Parsberg	Gelchsheim
Sida	07.04.2016	13.04.2016	13.04.2016	16.04.2016	entfällt	05.04.2016
Switchgras	07.04.2016	13.04.2016	13.04.2016	16.04.2016	entfällt	05.04.2016
Miscanthus	07.04.2016	13.04.2016	13.04.2016	16.04.2016	22.03.2016	entfällt

Tabelle 44: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Erntetermine der Kulturen für die Biogasnutzung in 2016

Variante	Aholting	Thürn- thenning	Rosenau	Hötzelsdorf	Parsberg	Gelchsheim	Wolferkofen
Silphie	08.09.	14.09.	12.09.	16.09.	22.09.	13.09.	08.09.
Sida (Biogas)	03.08. /12.10.	04.08.#	04.08. /12.10.	08.08.#	entfällt	17./18.08.#	04.08. /17.10.
RWG Green Star	24.06. /12.10.	21.06./ 11.10.	28.06. /11.10.	29.06. /12.10.	07.07. /13.10.	22.06. /26.10.	06.07. /17.10.
RWG Alkar	24.06. /12.10.	21.06. /11.10.	28.06. /12.10.	29.06. /12.10.	07.07. /13.10.	22.06. /26.10.	06.07. /17.10.
Switchgras	03.08. /12.10.	04.08. /11.10.	04.08. /11.10.	08.08. /12.10.	entfällt	17.08.#	04.08. /17.10.
Roggen-GPS	24.06.	28.06.	28.06.	29.06.	07.07.	22.06.	06.07.
Mais	08.09.	14.09.	12.09.	14.10.	22.09.	13.09.	15.09.
Waldstaud.	24.06.	28.06.	28.06.	29.06.	07.07.	24.05.	06.07.

zweiter Schnitt entfallen, RWG = Riesenweizengras

Tabelle 45: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Düngemengen je Hektar im Versuchsjahr 2015

Variante	Aholting	Thürn- thenning	Rosenau	Hötzelsdorf	Parsberg	Gelchsheim
kg N in Form von KAS						
Silphie	142	125	-	120	111	83
Sida (Biogas)	97+50	70+50	-	99+50	entfällt	20+50
Sida (therm)	97	70	-	99	entfällt	20
RWG Green Star	80+60	60+60	30	80+60	60+50	60+60
RWG Alkar	80+60	60+60	30	80+60	60+50	60+60
SG (Biogas)	55+40	40+40	-	62+40	entfällt	24+40
SG (therm.)	55	40	-	62	entfällt	24
WSR	40+30+30	40+30+30	30	40+30+30	30+30+30	30+30+30
Miscanthus	38	38	-	18	-	30
Mais	30Ufd+106	30Ufd+108	30Ufd	30Ufd+90	30Ufd+53	30Ufd+50
Roggen-GPS	60+78	60+83	30	60+50	50+49	30+88
Weizen	60+40+50	60+50+60	30	60+40+50	50+44+40	30+50+63
kg S in Form von Kieserit						
alle Varianten	20	20	20	20	20	20
kg K₂O in Form von 40er Kali						
alle Varianten	*	50	140	*	70	140

* aus terminlichen Gründen auf 2016 verschoben; Ufd = Unterfußdüngung

Tabelle 46: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Düngemengen je Hektar im Versuchsjahr 2016

Variante	Aholting	Thürnthening	Rosenau	Hötzelsdorf	Parsberg	Gelchsheim	Wolferkofen
kg N in Form von KAS							
Silphie	150	120		150	120	140	145
Sida (Biogas)	50+30	50+30		40		60+30	80+30
Sida (therm)	40	40		40		40	50
RWG Green Star	60+30+60	50+40+60		60+30+50	60+30+40	60+40+50	60+30+60
RWG Alkar	60+30+60	50+40+60		60+30+50	60+30+40	60+40+50	60+30+60
SG (Biogas)	80+50	50+30		40+30	40	40+30	40+30
SG (therm.)	40	40		40	40	40	40
WSR	30+30+30	30+30+30		30+30+30	30+30+30	40+30	40+30+30
Miscanthus	40	40		40	30		40
Mais	110+30Ufd	110+30Ufd		120+30Ufd	110+30Ufd	100	130+30Ufd
Roggen-GPS	60+70	50+70		50+70	50+70	40+40	60+70
Weizen	40+70	40+70		40+70	40+70	40+40	60+70

Ufd = Unterfußdüngung

Tabelle 47: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Düngemengen je Hektar im Versuchsjahr 2016

Variante	Aholting	Thürnthening	Rosenau	Hötzelsdorf	Parsberg	Gelchsheim	Wolferkofen
kg P₂O₅ in Form von Tripelsuperphosphat							
Silphie			90				
Sida (Biogas)			50				
RWG Green Star			60				
RWG Alkar			60				
SG (Biogas)			40				
WSR			50				
Mais			20				
Roggen-GPS			95				
Weizen			65				
kg CaO/ha in Form von Dolokorn							
Alle Varianten	1700			2000			

Tabelle 48: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Düngemengen je Hektar im Versuchsjahr 2016

Variante	Aholfing	Thürn- thenning	Rosenau	Hötzels- dorf	Parsberg	Gelchs- heim	Wolfer- kofen
kg K₂O in Form von Patentkali							
Silphie	350	125	475	350	125	320	170
Sida (Biogas)	350	70	215	350	-	275	170
Sida (therm)	350	-	-	350	-	-	170
RWG Green Star	350	175	350	350	150	340	170
RWG Alkar	350	175	350	350	150	340	170
SG (Biogas)	350	90	190	350	45	170	170
SG (therm.)	350	-	-	350	-	-	170
WSR	350	125	270	350	175	245	170
Miscanthus	350	45	90	350	45	90	170
Mais	350	85	170	350	85	170	170
Roggen-GPS	350	85	170	350	85	170	170
Weizen	350	85	170	350	85	170	170

Tabelle 49: *Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturwerte der Biogaskulturen aller Versuchsstandorte im Versuchsjahr 2015; Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung*

Standort	Variante	Schnitt	TS in %	TM in dt/ha	Lager (1–9)	Bestands- höhe in cm	BBCH
Aholfing	Mais	1	32,2±1,5	157,8±28,1	1,0±0,0	326±26	-
Aholfing	RWG (Alkar)	1	28,3±1,4	107,1±22	5,8±3,2	169±6	59±0
Aholfing	RWG (Alkar)	2	30,8±0,4	13,1±4,7	1,5±1,0	36±5	30±1
Aholfing	RWG (Green St.)	1	29,6±3,1	125,2±26,8	8,3±0,5	171±5	59±0
Aholfing	RWG (Green St.)	2	32,2±2,8	19,9±12,5	2,0±2,0	40±14	31±1
Aholfing	Roggen-GPS	1	37,3±2,1	139,5±18,6	4,0±2,4	160±8	85±0
Aholfing	Sida	1	35,4±1,9	55,0±13,5	1,0±0,0	295±24	69±0
Aholfing	Sida	2	22,9±0,8	9,3±2,5	1,0±0,0	81±13	37±0
Aholfing	Silphie	1	30,6±3,5	134,1±9,4	3,0±0,0	257±22	69±0
Aholfing	Switchgras	1	35,5±2,8	94,7±17,3	1,5±1,0	147±5	59±0
Aholfing	Switchgras	2	31,8±1,0	25,5±9,8	1,0±0,0	56±11	38±8
Aholfing	Waldstaudenr.	1	29,8±2,1	89,0±9,4	7,5±3,0	197±5	69±0
Aholfing	Waldstaudenr.	2	41,2±2,0	26,6±6,3	1,0±0,0	135±6	83±0
Gelchsheim	Mais	1	30,3±2,5	136,1±20,7	1,0±0,0	240±8	80±0
Gelchsheim	RWG (Alkar)	1	28,7±2,3	68,0±28,2	1,3±0,5	142±18	57±0
Gelchsheim	RWG (Alkar)	2	27,0±1,4	33,8±4,1	1,0±0,0	36±5	33±0
Gelchsheim	RWG (Green St.)	1	29,6±1,2	101,0±51,5	1,3±0,5	160±35	57±0
Gelchsheim	RWG (Green St.)	2	26,7±1,6	41,5±6,4	1,0±0,5	39±5	34±0
Gelchsheim	Roggen-GPS	1	35,2±2,2	123±15,5	1,0±0,0	162±3	76±0
Gelchsheim	Sida	1	31,8±1,1	45,5±4,3	1,0±0,0	190±14	65±0
Gelchsheim	Sida	2	21,9±1,5	57,2±10,3	1,0±0,0	81±2	39±0
Gelchsheim	Silphie	1	26,2±1,2	119,7±12,8	1,0±0,0	195±6	69±0
Gelchsheim	Switchgras	1	37,3±2,7	43,8±5,6	1,0±0,0	89±12	-
Gelchsheim	Switchgras	2	29,9±0,5	44,7±2,8	1,0±0,0	45±4	34±0
Gelchsheim	Waldstaudenr.	1	25,4±1,0	84,1±7,5	1,0±0,0	165±0	65±0
Gelchsheim	Waldstaudenr.	2	47,7±6,5	3,0±1,3	1,0±0,0	114±17	85±0
Hötzelndorf	Lussi	1	33,7±0,6	110,5±7,5	1,0±0,0	247±3	71±0
Hötzelndorf	Mais	1	33,0±3,4	143,4±25,9	1,0±0,0	264±13	89±0
Hötzelndorf	RWG (Alkar)	1	34,9±2,0	112±3,9	2,0±0,8	196±5	59±0
Hötzelndorf	RWG (Alkar)	2	35,1±2,5	15,6±2,3	1,0±0,0	29±2	29±0
Hötzelndorf	RWG (Green St.)	1	33,1±0,9	117,5±8,2	7,3±1,0	192±9	59±0
Hötzelndorf	RWG (Green St.)	2	30,5±2,3	18,1±6,7	7,3±1,0	192±9	59±0
Hötzelndorf	Roggen-GPS	1	40,1±0,8	143,4±5,9	1,0±0,0	155±4	85±0
Hötzelndorf	Sida	1	36,9±0,9	25,3±0,7	1,0±0,0	212±10	63±0
Hötzelndorf	Sida	2	21,0±0,7	6,2±0,9	1,0±0,0	64±6	39±0
Hötzelndorf	Silphie	1	28,3±0,9	133,2±1,9	1,0±0,0	207±5	69±0
Hötzelndorf	Switchgras	1	36,2±1,3	35,2±10,2	1,0±0,0	89±13	58±2
Hötzelndorf	Switchgras	2	36,1±2,3	15,4±1,1	1,0±0,0	40±0	31±0
Hötzelndorf	Waldstaudenr.	1	26,4±3,6	91,1±18,3	1,5±1,0	184±5	71±0

Standort	Variante	Schnitt	TS in %	TM in dt/ha	Lager (1-9)	Bestands- höhe in cm	BBCH
Hötzelsdorf	Waldstaudenr.	2	41,1±0,8	35,1±1,8	1,0±0,0	120±0	83±0
Parsberg	Mais	1	29,4±0,9	117,2±27,1	1,0±0,0	235±19	-
Parsberg	RWG (Alkar)	1	24,6±0,9	99,9±5,3	3,8±3,0	129±5	51±0
Parsberg	RWG (Alkar)	2	26,8±1,0	21,2±3,2	1,0±0,0	81±8	41±0
Parsberg	RWG (Green St.)	1	26,8±3,9	104,1±13,2	6,8±3,9	157±6	59±0
Parsberg	RWG (Green St.)	2	27,3±1,9	29,4±11,4	1,0±0,0	97±25	58±15
Parsberg	Roggen-GPS	1	35,5±2,3	135,9±9	5,8±3,8	151±10	81±0
Parsberg	Silphie	1	29,5±2,2	95,7±21,5	1,0±0,0	207±34	65±0
Parsberg	Switchgras	1	30,0±2,0	12,9±4,6	1,0±0,0	47±6	35±0
Parsberg	Waldstaudenr.	1	26,0±2,1	90,7±5,1	3,0±2,2	185±6	61±0
Parsberg	Waldstaudenr.	2	41,3±1,1	36,2±7,2	1,0±0,0	130±13	71±0
Rosenau	Mais	1	37,3±2,3	218,8±16,4	1,0±0,0	367±15	89±0
Rosenau	RWG (Alkar)	1	32,2±7,8	105,1±32,0	6,0±0,9	187±5	58±1
Rosenau	RWG (Alkar)	2	31,1±0,5	32,2±4,0	2,3±1,0	126±7	62±0
Rosenau	RWG (Green St.)	1	40,2±13,2	116,4±45,8	7,9±0,3	190±8	59±0
Rosenau	RWG (Green St.)	2	28,0±2,6	39,9±6,3	1,5±1,0	139±10	62±0
Rosenau	Roggen-GPS	1	35,1±0,2	119,6±10,1	4,5±1,3	152±5	84±0
Rosenau	Sida	1	30,3±0,9	84,4±20,9	1,0±0,0	322±42	67±1
Rosenau	Silphie	1	23,1±3,9	181,4±40,6	5,0±0,8	326±12	65±0
Rosenau	Switchgras	1	28,9±1,0	72,9±7,2	3,0±1,6	129±6	47±2
Rosenau	Switchgras	2	40,6±1,8	31,0±4,3	1,0±0,0	66±6	45±0
Rosenau	Waldstaudenr.	1	19,9±0,4	70,7±6,8	6,8±1,9	160±4	59±0
Rosenau	Waldstaudenr.	2	33,7±1,2	28,0±7,1	1,0±0,0	135±6	70±1
Thürnthening	Mais	1	27,9±1,1	91,2±9,9	1,0±0,0	275±13	80±6
Thürnthening	RWG (Alkar)	1	41,6±9,5	137,2±25,1	6,6±0,9	192±6	58±1
Thürnthening	RWG (Alkar)	2	29,5±0,0	12,4±0,0	1,0±0,0	27±22	29±0
Thürnthening	RWG (Green St.)	1	44,3±13,2	147,5±35,0	8,1±0,3	199±6	59±1
Thürnthening	RWG (Green St.)	2	30,1±1,1	7,5±3,0	1,0±0,0	32±32	29±0
Thürnthening	Roggen-GPS	1	37,6±0,4	146,9±1,8	1,5±0,6	139±2	84±0
Thürnthening	Sida	1	40,0±3,7	49,2±14,3	1,0±0,0	266±28	65±0
Thürnthening	Sida	2	24,8±1,4	5,5±2,5	1,0±0,0	62±21	39±0
Thürnthening	Silphie	1	44,0±10,9	94,8±19,0	1,0±0,0	234±21	-
Thürnthening	Switchgras	1	38,7±1,4	84,2±13,8	1,0±0,0	130±13	48±0
Thürnthening	Switchgras	2	38,5±1,8	14,9±1,5	1,0±0,0	44±10	37±0
Thürnthening	Waldstaudenr.	1	31,8±3,4	75,8±12,2	6,0±3,4	196±8	66±2
Thürnthening	Waldstaudenr.	2	36,9±1,1	15,0±5,9	1,0±0,0	114±19	65±0

- Keine Erhebung

Tabelle 50: *Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturwerte der Biogaskulturen aller Versuchsstandorte im Versuchsjahr 2016; Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung*

Standort	Variante	Schnitt	TM in dt/ha	TS in %	Lager (1–9)	Bestands- höhe in cm	BBCH
Aholfing	Mais		216,5±15,1	34,9±5,3	1,0±0,0	350±22	75±0
Aholfing	RWG (Alkar)	1	105,8±7,1	26,8±2,2	4,0±2,9	187±10	61±0
Aholfing	RWG (Alkar)	2	39,2±3,8	33,1±2,3	1,0±0,0	145±13	61±0
Aholfing	RWG (Green Star)	1	115,9±7,8	27,5±1,7	8,3±0,5	192±15	61±0
Aholfing	RWG (Green Star)	2	44,1±7,7	31,9±4,5	1,0±0,0	142±5	61±0
Aholfing	Roggen-GPS		123,4±11,7	34,1±1,3	1,0±0,0	151±10	87±0
Aholfing	Sida	1	85,0±15,2	31,2±1,1	1,0±0,0	264±26	65±0
Aholfing	Sida	2	9,2±1,7	23,2±0,4	1,0±0,0	63±6	0±0
Aholfing	Silphie		147,1±12,7	33,3±5,8	4,5±1,9	272±22	83±0
Aholfing	Switchgras	1	131,6±11,5	26,2±2,8	7,8±0,5	-	61±0
Aholfing	Switchgras	2	32,9±4,4	28,9±2,1	1,0±0,0	74±11	51±0
Aholfing	Waldstaudenr.	1	93,4±4,7	38,2±1,3	1,0±0,0	200±0	75±0
Gelchsheim	Mais		187,0±7,2	40,5±1,9	1,0±0,0	267±10	84±0
Gelchsheim	RWG (Alkar)	1	127,8±14,8	23,5±1,7	8,0±0,0	180±0	71±0
Gelchsheim	RWG (Alkar)	2	67,1±4,5	31,6±1,4	1,0±0,0	150±4	59±0
Gelchsheim	RWG (Green Star)	1	128,8±20,2	23,7±3,4	8,0±0,0	202±10	71±0
Gelchsheim	RWG (Green Star)	2	69,7±7,5	36,2±2,7	1,0±0,0	155±4	0±0
Gelchsheim	Roggen-GPS		68,7±4,3	35,4±2,7	1,0±0,0	115±6	85±0
Gelchsheim	Sida (Biogas)	1	119,6±6,7	30,4±2,4	1,0±0,0	277±5	65±0
Gelchsheim	Silphie		162,3±16,2	25,9±1,2	5,0±0,0	292±5	75±0
Gelchsheim	Switchgras	1	151,1±12,1	35,4±1,5	2,0±0,0	189±10	71±0
Gelchsheim	Waldstaudenr.	1	72,9±2,8	19,9±1,0	7,8±0,5	150±4	59±0
Hötzelndorf	Mais		220,8±9,9	34,3±1,3	1,0±0,0	350±0	88±0
Hötzelndorf	RWG (Alkar)	1	86,2±2,5	24,8±1,0	1,0±0,0	160±4	61±0
Hötzelndorf	RWG (Alkar)	2	38,5±1,5	24,5±0,9	2,5±1,3	145±6	69±0
Hötzelndorf	RWG (Green Star)	1	108,1±1,2	26,8±0,7	8,0±0,0	195±4	61±0
Hötzelndorf	RWG (Green Star)	2	48,2±2,4	26,8±0,5	2,8±0,5	152±5	69±0
Hötzelndorf	Roggen-GPS		120,8±4,6	33,2±0,7	1,0±0,0	160±8	75±0
Hötzelndorf	Sida (Biogas)	1	53,8±8,0	28,8±2,5	1,0±0,0	-	-
Hötzelndorf	Silphie		149,6±23,5	24,8±3	8,5±0,6	270±8	82±1
Hötzelndorf	Switchgras	1	73,8±10,1	27,8±0,8	1,0±0,0	135±6	60±0
Hötzelndorf	Switchgras	2	14,9±1,5	22,0±1,1	1,0±0,0	47±5	37±0
Hötzelndorf	Waldstaudenr.	1	66,9±6,7	40,4±0,7	5,8±1,5	196±7	75±0
Hötzelndorf	Waldstaudenr.	1	66,9±6,7	40,4±0,7	5,8±1,5	196±7	75±0
Parsberg	Mais		164,8±14,9	39,1±2,8	1,0±0,0	347±10	85±0
Parsberg	RWG (Alkar)	1	142,8±7,3	29,9±0,6	9,0±0,0	196±7	73±0

Standort	Variante	Schnitt	TM in dt/ha	TS in %	Lager (1–9)	Bestands- höhe in cm	BBCH
Parsberg	RWG (Alkar)	2	33,2±7,0	33,1±2,6	1,0±0,0	50,0±0	0±0
Parsberg	RWG (Green Star)	1	124,8±29,5	26,9±3,4	9,0±0,0	191,3±5	73±0
Parsberg	RWG (Green Star)	2	56,9±25,7	40,3±11,5	1,0±0,0	82±29	0±0
Parsberg	Roggen-GPS		120,4±13,6	40,2±1,2	1,0±0,0	131±5	85±0
Parsberg	Silphie		185,3±30,5	30,6±3,0	5,0±1,4	267±10	83±0
Parsberg	Waldstaudenr.	1	97,9±19,0	42,2±1,0	5,5±1,3	194±5	85±0
Rosenau	Mais		246,4±25,0	29,6±1,0	1,0±0,0	377±13	85±0
Rosenau	RWG (Alkar)	1	78,0±4,3	25,8±2,6	8,5±0,6	187±15	61±0
Rosenau	RWG (Alkar)	2	30,6±1,0	24,3±1,0	1,0±0,0	54±5	60±0
Rosenau	RWG (Green Star)	1	114,1±9,5	32,9±4,2	8,3±1,0	186±11	61±0
Rosenau	RWG (Green Star)	2	33,9±3,8	31,6±1,4	1,0±0,0	126±7	0±0
Rosenau	Roggen-GPS		114,7±10,4	35,3±1,2	1,0±0,0	155±11	85±0
Rosenau	Sida (Biogas)	1	79,5±4,9	27,6±1,5	1,0±0,0	276±5	65±0
Rosenau	Sida (Biogas)	2	10,5±1,7	17,8±1,0	1,0±0,0	-	-
Rosenau	Silphie		147,5±29,4	21,6±0,5	9,0±0,0	122±5	69±0
Rosenau	Switchgras	1	103,2±15,5	25,8±2,4	8,3±0,5	159±6	60±0
Rosenau	Switchgras	2	18,9±3,1	28,0±1,8	1,0±0,0	-	-
Rosenau	Waldstaudenr.	1	81,0±12,3	33,7±4,1	4,8±0,5	202±13	80±0
Thürnthening	Mais		206,2±46,7	49,5±5,1	1,0±0,0	341±16	87±1
Thürnthening	RWG (Alkar)	1	116,6±12,5	27,3±1,8	4,0±3,4	190±8	61±0
Thürnthening	RWG (Alkar)	2	49,9±11,5	30,6±1,1	1,0±0,0	70±0	0±0
Thürnthening	RWG (Green Star)	1	114,8±7,1	28,0±3,3	8,5±0,6	215±10	61±0
Thürnthening	RWG (Green Star)	2	41,4±9,5	37,3±0,3	1,0±0,0	147±15	61±0
Thürnthening	Roggen-GPS		115,2±15,5	32,5±1,5	1,0±0,0	139±6	75±0
Thürnthening	Sida (Biogas)	1	65,7±11,8	33,6±0,7	0,0±0,0	-	-
Thürnthening	Sida (Biogas)	2	7,5±1,2	22,9±0,4	1,0±0,0	-	-
Thürnthening	Silphie		152,0±16,4	42,0±10,0	3,5±3,3	250±34	82±1
Thürnthening	Switchgras	1	141,3±7,2	29,6±1,7	4,5±1,0	134±2	61±0
Thürnthening	Switchgras	2	36,0±5,7	26,8±0,9	1,0±0,0	75±6	50±0
Thürnthening	Waldstaudenr.	1	103,8±7,3	38,2±1,0	1,0±0,0	200±8	75±0
Wolferkofen	Mais		226,5±7,2	34,4±0,9	1,0±0,0	350±11	85±0
Wolferkofen	RWG (Alkar)	1	154,0±22,3	25,2±0,5	9,0±0,0	191±8	76±3
Wolferkofen	RWG (Alkar)	2	50,2±6,8	28,7±0,6	1,0±0,0	142±10	0±0
Wolferkofen	RWG (Green Star)	1	166,1±18,2	26,3±0,6	8,8±0,5	200±11	77±1
Wolferkofen	RWG (Green Star)	2	59,2±6,1	30,2±2,4	1,0±0,0	152±10	0±0
Wolferkofen	Roggen-GPS		140,1±4,3	41,2±1,1	6,5±1,7	136±5	85±0
Wolferkofen	Sida (Biogas)	1	99,2±8,0	23,9±0,6	4,8±1,3	300±8	65±0
Wolferkofen	Sida (Biogas)	2	21,5±2,5	24,5±0,7	1,0±0,0	85±6	0±0
Wolferkofen	Silphie		176,8±22,0	23,5±1,5	8,0±0,0	277±21	67±0

Standort	Variante	Schnitt	TM in dt/ha	TS in %	Lager (1–9)	Bestands- höhe in cm	BBCH
Wolferkofen	Switchgras	1	103,9±8,4	30,9±2,3	6,3±1,3	144±11	59±0
Wolferkofen	Switchgras	2	38,0±3,0	29,5±1,2	1,0±0,0	65±6	0±0
Wolferkofen	Waldstaudenr.	1	109,9±6,5	40,0±1,4	8,8±0,5	190±8	84±4

- Keine Erhebung

Tabelle 51: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturwerte der thermische verwertbaren Kulturen aller Versuchsstandorte im Versuchsjahr 2016; Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung

Standort	Variante	TS in %	TM in dt/ha	Lager (1–9)	Bestandshöhe in cm
Aholfing	Miscanthus	84,6±1,5	61,4±29,0	1,0±0,0	230±44
Hötzelsdorf	Miscanthus	76,0±2,3	23,0±5,6	1,0±0,0	174±9
Parsberg	Miscanthus	77,6±7,3	76,6±25,6	1,0±0,0	175±33
Rosenau	Miscanthus	84,5±2,6	107,8±7,1	1,0±0,0	333±31
Thürnthening	Miscanthus	81,0±3,4	22,0±1,5	1,0±0,0	117±49
Aholfing	Sida	82,1±4,9	26,8±14,3	1,0±0,0	235±31
Gelchsheim	Sida	80,5±0,3	57,5±12,6	1,0±0,0	200±22
Hötzelsdorf	Sida	83,5±0,4	9,6±4,5	1,0±0,0	197±12
Rosenau	Sida	90,4±18,4	61,5±25,2	1,0±0,0	346±36
Thürnthening	Sida	83,2±2,3	28,1±10,5	1,0±0,0	265±32
Aholfing	Switchgras	86,2±0,5	78,8±16,1	4,8±2,2	135±13
Gelchsheim	Switchgras	82,4±0,2	63,9±20,9	2,3±1,9	120±8
Hötzelsdorf	Switchgras	86,2±0,6	31,5±10,8	8,0±1,4	100±8
Rosenau	Switchgras	86,9±0,8	65,2±5,0	6,0±0,8	98±9
Thürnthening	Switchgras	84,7±0,7	69,2±12,3	6,3±1,0	94±8

Tabelle 52: Gräser-Etablierungs-Versuch – Düngung Anlage A

Variante	Jahre	Stickstoff in kg N/ha			Kalium in kg K ₂ O/ha		S in kg SO ₃
		2014	2015	2016	2015	2016	2015
März Aussaat							
RWG Reinsaat		50+40	60+60	30+60	300	300	60
RWG Unters. + Hafer		50+40	60+60	30+60	300	300	60
Juni Aussaat							
RWG Reinsaat		60	60+60	30+60	300	300	60
SG Reinsaat		40	60+40	30+40	300	172	60
RWG Unters. + SomTri		60	60+60	30+60	300	300	60
SG Unters. + SomTri		40	60+40	30+40	300	172	60
September Aussaat							
RWG Reinsaat			60+60	30+60	300	300	60
SG Reinsaat					verworfen		
RWG Unters. + Hafer			60+60	30+60	300	300	60
SG Unters. + Hafer					verworfen		
RWG Unters. + Grünr.			60+60	30+60	300	300	60

Tabelle 53: Gräser-Etablierungs-Versuch – Erntetermine Anlage A

Variante	Jahre	Ernte		Ernte Kultur	
		Deckfrucht	2014	2015	2016
März Aussaat					
RWG Reinsaat			20.10.	02.07./27.10.	11.07./27.10.
RWG Unters. + Hafer		08.07.2014	20.10.	02.07./27.10.	11.07./27.10.
Juni Aussaat					
RWG Reinsaat			20.10.	02.07./27.10.	11.07./27.10.
SG Reinsaat			20.10.	04.08./27.10.	08.08./27.10.
RWG Unters. + SomTri		18.09.2014		02.07./27.10.	11.07./27.10.
SG Unters. + SomTri		18.09.2014		04.08./27.10.	08.08./27.10.
September Aussaat					
RWG Reinsaat				02.07./27.10.	11.07./27.10.
SG Reinsaat		verworfen			
RWG Unters. + Hafer				02.07./27.10.	11.07./27.10.
SG Unters. + Hafer		verworfen			
RWG Unters. + Grünr.			11.05.2015	27.10.	11.07./27.10.

Tabelle 54: Gräser-Etablierungs-Versuch – Düngung, Anlage B

Variante	Stickstoff in kg N/ha		Kalium in kg K ₂ O/ha
	Jahre	2015	2016
März Aussaat			
RWG Reinsaat		40+60+60	60+60
RWG Unters. + Hafer		60+60	60+60
Juni Aussaat			
RWG Reinsaat		40	60+60
SG Reinsaat		40	60+40
RWG Unters. + SomTri		60	60+60
SG Unters. + SomTri		60	60+40
September Aussaat			
RWG Reinsaat			60+60
SG Reinsaat		Var. verworfen	
RWG Unters. + Hafer			60+60
SG Unters. + Hafer		Var. verworfen	
RWG Unters. + Grünroggen			60+60

Tabelle 55: Gräser-Etablierungs-Versuch – Erntetermine Anlage B

Variante	Ernte Deckfrucht	Ernte Kultur	
	Jahre	2015	2016
März Aussaat			
RWG Reinsaat	12.08.2015 *	27.10.	11.07./27.10.
RWG Untersaat + Hafer	02.07.2015	27.10.	11.07./27.10.
Juni Aussaat			
RWG Reinsaat		27.10	11.07./27.10.
SG Reinsaat		27.10.	08.08./27.10.
RWG Untersaat + SomTri	27.10.2015	27.10.	11.07./27.10.
SG Untersaat + SomTri	27.10.2015	27.10.	08.08./27.10.
September Aussaat			
RWG Reinsaat			11.07./27.10.
SG Reinsaat	verworfen		
RWG Untersaat + Hafer	12.05.2016 #		11.07./27.10.
SG Untersaat + Hafer	verworfen		
RWG Untersaat + Grünroggen	12.05.2016		11.07./27.10.

* Pflegeschnitt im Riesenweizengras; # = Ernte Hafer, da nicht abgefroren

Tabelle 56: *Gräser-Etablierungs-Versuch – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturnwerte, Anlage A, Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung*

Variante	Kultur	Saat-termin	Ernte-Jahr	Schnitt	Frucht-art	TM in dt/ha	TS in %	Lager (1–9)	Bestands-höhe in cm	BBCB
1	Riesenweizengr.	März	2014	1	RS	22,8±4,8	17,8±1,5	1±0	110±47	65±0
1	Riesenweizengr.	März	2015	1	RS	70,5±26,8	34,3±1,5	3±1	177±6	59±0
1	Riesenweizengr.	März	2015	2	RS	8,3±1,6	35,8±4,4	1±0	30±0	29±0
1	Riesenweizengr.	März	2016	1	RS	113,7±13,2	32,6±0,6	8±1	187±10	-
1	Riesenweizengr.	März	2016	2	RS	34,9±4,6	31,6±0,4	1±0	55±9	56±2
2	Hafer	März	2014		DF	78,6±1,0	29,8±1,7	1±0	90±0	77±0
2	Riesenweizengr.	März	2014	1	US	11,0±1,2	16,7±1,4	1±0	39±7	29±0
2	Riesenweizengr.	März	2015	1	US	79,9±21,9	32,9±1,1	3±2	181±10	59±0
2	Riesenweizengr.	März	2015	2	US	12,1±1,0	32,6±3,0	1±0	37±3	29±0
2	Riesenweizengr.	März	2016	1	US	116,9±3,3	32,7±1,0	6±2	192±5	-
2	Riesenweizengr.	März	2016	2	US	32,4±6,2	31,8±3,9	1±0	51±5	55±0
3	Riesenweizengr.	Juni	2014	1	RS	4,8±2,3	15,8±0,8	1±0	24±1	29±0
3	Riesenweizengr.	Juni	2015	1	RS	84,5±15,1	29,5±1,1	5±1	189±13	59±0
3	Riesenweizengr.	Juni	2015	2	RS	19,8±4,8	31,3±2,1	1±0	39±7	57±0
3	Riesenweizengr.	Juni	2016	1	RS	120,8±8,8	33,3±0,6	7±1	190±8	-
3	Riesenweizengr.	Juni	2016	2	RS	30,8±3,4	34,4±0,5	1±0	50±7	36±13
4	Switchgras	Juni	2014	1	RS	27,4±12,5	24,2±1,2	1±0	71±7	34±0
4	Switchgras	Juni	2015	1	RS	103,6±20,3	38,8±0,9		-	-
4	Switchgras	Juni	2015	2	RS	18,9±4,3	35,3±3,4	1±0	55±4	43±0
4	Switchgras	Juni	2016	1	RS	151,3±0,8	33,3±0,4	1±0	186±2	
4	Switchgras	Juni	2016	2	RS	14,7±2,6	33,9±2,3	1±0	50±4	33±0
5	Riesenweizengr.	Juni	2015	1	US	63,0±15,6	31,1±0,9	5±1	170±8	59±0
5	Riesenweizengr.	Juni	2015	2	US	16,4±6,4	35,2±3,1	1±0	35±9	29±0
5	Riesenweizengr.	Juni	2016	1	US	126,6±15,6	33,3±1,1	7±2	202±5	
5	Riesenweizengr.	Juni	2016	2	US	28,9±4,3	33,8±1,4	1±0	51±5	49±13
6	Sommertriticale	Juni	2014		DF	43,8±5,5	31,2±1,6		-	72±0
6	Switchgras	Juni	2015	1	US	20,9±6,5	35,6±1,1		-	-
6	Switchgras	Juni	2015	2	US	24,1±10,7	38,3±7,4	1±0	56±7	43±0
6	Switchgras	Juni	2016	1	US	130,9±21,1	32,8±1,2	1±0	186±5	61±0
6	Switchgras	Juni	2016	2	US	11,5±1,7	31,8±1,3	1±0	45±4	33±0
7	Riesenweizengr.	Sept.	2015	1	RS	72,0±22,4	28,7±1,2	7±1	159±8	59±0
7	Riesenweizengr.	Sept.	2015	2	RS	25,5±5,8	35,6±7,1	1±0	34±5	69±0
7	Riesenweizengr.	Sept.	2016	1	RS	123,6±10,0	33,5±1,9	6±2	194±7	-
7	Riesenweizengr.	Sept.	2016	2	RS	29,9±6,2	35,0±3,2	1±0	51±7	41±14
9	Riesenweizengr.	Sept.	2015	1	US	54,0±8,4	28,3±0,8	3±1	157±10	59±0
9	Riesenweizengr.	Sept.	2015	2	US	27,3±6,6	31,6±1,0	1±0	49±8	59±20
9	Riesenweizengr.	Sept.	2016	1	US	138,8±14,0	33,4±1,1	7±1	190±8	-

Variante	Kultur	Saat-termin	Ernte-Jahr	Schnitt	Frucht-art	TM in dt/ha	TS in %	Lager (1–9)	Bestands-höhe in cm	BBCH
9	Riesenweizengr.	Sept.	2016	2	US	32,1±3,4	35,9±2,0	1±0	52±6	36±13
11	Grünroggen	Sept.	2015		DF	50,4±5,7	20,6±0,7	3±1	172±3	61±0
11	Riesenweizengr.	Sept.	2015	2	US	17,9±4,8	30,1±1,4	1±0	45±7	39±20
11	Riesenweizengr.	Sept.	2016	1	US	120,0±14,1	34,2±0,7	7±1	187±10	-
11	Riesenweizengr.	Sept.	2016	2	US	31,3±1,9	34,8±3,1	1±0	52±3	49±13

* Aufwuchs über Winter abgefroren; US = Untersaat, RS = Reinsaat, DF = Deckfrucht: - = keine Erhebung

Tabelle 57: Gräser-Etablierungs-Versuch – Ertragsdaten, TS-Gehalte sowie Boniturwerte, Anlage B, Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung

Variante	Kultur	Saat-termin	Ernte-Jahr	Schnitt	Frucht-art	TM in dt/ha	TS in %	Lager (1–9)	Bestands-höhe in cm	BBCH
1	Riesenweizengr.	März	2015		RS	7,9±3,7	29,6±0,7	1±0	32±5	29±0
1	Riesenweizengr.	März	2016	1	RS	120,9±7,4	31,3±0,4	8±1	171±10	-
1	Riesenweizengr.	März	2016	2	RS	47,2±6,5	31,7±1,3	1±0	100±32	65±0
2	Hafer	März	2015		DF	70,9±4,7	27,3±0,4	1±0	125±17	72±0
2	Riesenweizengr.	März	2015		US	entfällt*				
2	Riesenweizengr.	März	2016	1	US	112,5±16,6	30,5±0,6	7±1	165±7	-
2	Riesenweizengr.	März	2016	2	US	45,4±7,7	29,0±0,8	1±0	105±47	65±0
3	Riesenweizengr.	Juni	2015		RS	entfällt*				
3	Riesenweizengr.	Juni	2016	1	RS	128,4±14,9	30,0±1,4	7±1	171±10	
3	Riesenweizengr.	Juni	2016	2	RS	43,6±8,6	28,8±1,9	1±0	122±42	65±0
4	Switchgras	Juni	2015		RS	8,1±5,8	34,4±3,5	1±0	47±10	35±0
4	Switchgras	Juni	2016	1	RS	110,6±8,4	32,3±0,7	1±0	177±3	35±0
4	Switchgras	Juni	2016	2	RS	14,9±2,0	32,6±0,8	1±0	50±0	33±0
5	Sommertriticale	Juni	2015		DF	entfällt*				
5	Riesenweizengr.	Juni	2015		US	14,2±3,6	28,9±2,6	1±0	10±0	29±0
5	Riesenweizengr.	Juni	2016	1	US	103,5±12,6	32,9±0,4	7±1	174±9	
5	Riesenweizengr.	Juni	2016	2	US	43,4±6,0	29,3±3,4	1±0	102±49	65±0
6	Sommertriticale	Juni	2015		DF	entfällt*				
6	Switchgras	Juni	2015		US	9,0±1,9	32,0±1,9	1±0	41±5	34±0
6	Switchgras	Juni	2016	1	US	96,4±21,0	33,4±1,2	1±0	167±6	61±0
6	Switchgras	Juni	2016	2	US	17,8±2,4	32,7±0,4	1±0	50±7	33±0
7	Riesenweizengr.	Sept.	2016	1	RS	69,7±11,5	31,3±0,3	7±1	139±8	-
7	Riesenweizengr.	Sept.	2016	2	RS	46,2±7,4	31,5±2,9	1±0	115±40	65±0
9	Hafer	Sept.	2016		DF	29,4±11,9	19,3±0,8	1±0	57±6	39±0
9	Riesenweizengr.	Sept.	2016	1	US	60,7±7,4	34,6±2,0	2±0	97±5	-
9	Riesenweizengr.	Sept.	2016	2	US	20,8±9,7	36,8±6,3	1±0	39±15	36±0
11	Grünroggen	Sept.	2016		DF	76,5±1,2	24,0±1,3	2±1	172±3	59±0

Variante	Kultur	Saat-termin	Ernte-Jahr	Schnitt	Frucht-art	TM in dt/ha	TS in %	Lager (1–9)	Bestands-höhe in cm	BBCH
11	Riesenweizengr.	Sept.	2016	1	US	19,5±4,6	39,7±1,0	2±1	107±5	-
11	Riesenweizengr.	Sept.	2016	2	US	19,9±1,5	31,8±2,2	1±0	53±6	29±0
12	Mischung	Juni	2016	1	M	117,7±0,0	28,3±0,0	7±0	175±0	-
12	Mischung	Juni	2016	2	M	46,9±0,0	31,5±0,0	1±0	100±0	33±0

* kein nennenswerter Aufwuchs; US = Untersaat, RS = Reinsaat, DF = Deckfrucht; - = keine Erhebung

Tabelle 58: Sida; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder und I = kein Boniturtermin, () = fehlender Wert)

			Wuchsdepression der Biomasse in %																											
Mittel:	Tage nach Applikation	BBCH Kultur	Stomp Aqua					Boxer					Fuego		Diflanil 500 SC					Metamitron SC										
Zeitpunkt:			T1		T2			T3			T1		T2			T1		T1			T2		T1			T2			T3	
AWM:			1	2	4	2	2	1,5	3	6	1,5	3	0,75	1,5	0,15	0,3	0,6	0,15	0,3	0,5	1	2	0,5	1	2	1	2			
T1	3	10–11	50	70	80			75	90	95			98	98	70	70	90			0	0	0								
T2	3	10–12				0					0	0						0	0				0	0	0					
T1	7	10–12	80	90	95			75	85	97			99	99	75	95	99			0	5	5								
T2, T3	7, 3	10–12				10	()				10	15						20	20				5	8	10	()	()			
T2, T3	14, 7	10–13				20	0				15	20						50	50				15	3	20	0	0			
T1, T3	14	10–14	90	95	99		50	70	85	95			99	99	95	99	99			0	5	5				0	0			
T2	28	11–14				55					25	30						90	95				20	35	50					
T1, T3	28	11–14	95	98	99		70	60	80	90			99	99	97	99	99			0	5	5				5	5			
T1, T2, T3	vor Umbruch	12–14	95	98	99	75	70	50	80	90	25	30	99	99	97	99	99	90	95	0	5	5	20	35	50	5	5			

Tabelle 59: Sida; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; ,Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder und I = kein Boniturtermin, () = fehlender Wert)

			Wuchsdepression der Biomasse in %																								
Mittel:	Tage nach Applikation	BBCH Kultur	Spectrum			Ethosat 500				Belvedere Extra			Lentagran	Fox			Buctril			Aramo	TM						
Zeitpunkt:			T1		T2		T1	T2	T3	T2		T3		T3	T3			T3			T3	T2+T3					
AWM:			0,5	1	2	0,5	1	1	2	2	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,75	1,5	0,25	0,5	1	0,25	0,5	1	1	1+1
T1	3	10–11	90	90	93			0	0																		
T2	3	10–12				0	0			0		0	0	0													0
T1	7	10–12	95	99	99			25	30																		
T2, T3	7, 3	10–12				5	10			10	()	5	10	20	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	37
T2, T3	14, 7	10–13				7	15			20	0	10	30	60	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	83
T1, T3	14	10–14	95	99	99			35	45		0				20	20	40	50	80	50	80	90	7	15	25	0	
T2	28	11–14				10	25			25		25	45	70													90
T1, T3	28	11–14	95	99	99			30	50		15				20	25	35	60	85	70	98	99	15	40	55	7	
T1, T2, T3	vor Umbruch	12–14	95	99	99	15	35	25	45	30	15	20	45	70	5	10	25	60	85	70	98	99	15	40	50	10	90

TM = Tankmischung und Spritzfolge

Tabelle 60: Silphie; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder = kein Boniturtermin)

			Wuchsdepression der Biomasse in %																			
Mittel	Tage nach Applikation	BBCH Kultur	Stomp Aqua					Boxer				Fuego		Diflanil 500 SC				Spectrum				
Zeitpunkt			T1		T2		T3	T1		T2		T1		T1		T2		T1		T2		
AWM			2	4	1	2	2	3	6	1,5	3	0,75	1,5	0,3	0,6	0,15	0,3	1	2	0,5	1	2
T1	3	11–13						3						0	0				4			
T1	7	11–13						3			1	4	0	0				1				
T1	14	12–14					2	7					0	0								
T2	3	12–14													0	0						
T2	7	12–14													0	0						
T3	3	12–16																				
T1, T2, T3	28, 14, 7	12–16					2	5	2	5				80	93	33	77					
T3	14	12–17																				
T2	28	14–19+													70	93						
T3	28	14–19+																				
T4	3	15–19+																				
T4	7	15–19+																				
T4	14	16–19+																				
T1, T2, T3	vor Umbruch	17–19+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	100	93	99	0	0	0	0	0

Tabelle 61: Silphie; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder = kein Boniturtermin)

			Wuchsdepression der Biomasse in %																				
Mittel	Tage nach Applikation	BBCH Kultur	Metamitron SC			Ethosat 500			Belvedere Extra				Lentagran WP			Fox		Buctril		Aramo			
Zeitpunkt			T1	T2		T1	T2	T3	T2		T3		T3			T3		T3		T4			
AWM			1	2	0,5	1	2	2			0,5	1	2	1	2	0,75	1,5	3	0,5	1	0,5	1	2
T1	3	11–13																					
T1	7	11–13																					
T1	14	12–14																					
T2	3	12–14																					
T2	7	12–14																					
T3	3	12–16																					
T1, T2, T3	28, 14, 7	12–16															5			10	20		
T3	14	12–17												5		7	10			20	30		
T2	28	14–19+																					
T3	28	14–19+															5			5	10		
T4	3	15–19+																					
T4	7	15–19+																					
T4	14	16–19+																					
T1, T2, T3	vor Umbruch	17–19+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 62: Switchgras; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder und I = kein Boniturtermin)

			Wuchsdepression der Biomasse in %														
Mittel	Tage nach Applikation	BBCH Kultur	Stomp Aqua				Boxer			Fuego	Diflanil 500 SC			Spectrum			
Zeitpunkt			T1		T2	T3	T1		T2	T1	T1		T2	T1		T2	
AWM			2	4	2	2	3	6	3	1,5	0,3	0,6	0,6	1	2	1	2
T1	3	11–12	99	99			77	87		100	53	63		100	100		
T1, T2	7, 3	12–13	100	100	0		80	81	8	100	80	80	8	100	100	5	5
T2	7	12–13			5				13				18			10	13
T1, T3	14, 3	12–13	99	100		0	78	78		100	99	99		99	100		
T2, T3, T4	14, 7, 3	12–13			8	3			33				25			67	70
T2, T3, T4	28, 14, 7	13–14			10	5			43				30			78	83
T1, T4	28, 14	14–30	99	100			74	75		100	99	99		98	99		
T3	28	14–30				5											
T4	28	15–30															
T1, T2, T3, T4	vor Umbruch	15–30	98	99	15	5	67	70	75	100	98	99	50	97	98	95	98

Tabelle 63: Switchgras; Biomassedefizit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle; Anlage A; Versuchsjahr 2014 (graue Felder und I = kein Boniturtermin, () = fehlender Wert)

			Wuchsdepression der Biomasse in %													
Mittel	Tage nach Applikation	BBCH Kultur	Axial		Ethosat 500			Atlantis WG		Lentagran		Fox	Buctril	Aramo		
Zeitpunkt			T3		T1	T2	T3	T3		T3	T3	T3	T3	T4		
AWM			0,3	0,6	2	2	2	250	500	1,5	3	1	1	0,25	0,5	1
T1	3	11–12			100											
T1, T2	7, 3	12–13			100	7										
T2	7	12–13				12										
T1, T3	14, 3	12–13	0	3	100		0	0	0	0	0	0	0			
T2, T3, T4	14, 7, 3	12–13	20	37		57	17	13	17	10	10	3	0	()	()	()
T2, T3, T4	28, 14, 7	13–14	23	40		73	18	23	25	5	13	5	0	10	17	20
T1, T4	28, 14	14–30			100									23	43	60
T3	28	14–30	28	65			32	38	45	3	10	3	0			
T4	28	15–30												27	73	90
T1, T2, T3, T4	vor Umbruch	15–30	30	50	100	95	25	20	25	3	10	0	0	30	75	95

Tabelle 64: *Herbizid-Verträglichkeit von Sida, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle Versuchsjahr 2015 (graue Felder = zeitlich vor Applikation)*

Tage nach Applikation			BBCH Kultur			Boxer						Spectrum						Metafol +Belvedere				
T1	T2	T3		Zeitpunkt AWM		T1			T2			T1			T2			T3			T2	
						1,5	3	6	1,5	3	6	0,25	5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	1+1	2-fach
23	8	–	10–12	23.07.2015	Aufhellung	3	0	0	4	5	5	3	8	1	9	11	12				16	18
35	20	3	11–15	03.08.2015	Biom. Defizit	8	25	28	0	0	20	0	5	8	0	9	10	0	0	0	35	35
35	20	3	11–15	03.08.2015	Nekrose	1	0	3	8	16	25	0	0	0	0	0	1	3	5	8	30	48
57	42	25	13–19	25.08.2015	Biom. Defizit	3	25	38	3	35	48	0	3	13	0	6	0	0	9	0	33	55
87	72	55	10–33	24.09.2015	Biom. Defizit	9	35	69	11	31	64	11	12	29	3	13	17	1	21	5	51	55

Tabelle 65: *Herbizid-Verträglichkeit von Sida, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2015 (graue Felder = zeitlich vor Applikation)*

Tage nach Applikation			BBCH Kultur			Metafol SC						Belvedere Extra						Lentagran WP	Gallant Super						
T1	T2	T3		Zeitpunkt AWM		T1			T2			T3			T2			T3			T3				
						0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,75	1,5	0,5	1	2
23	8	–	10–12	23.07.2015	Aufhellung	5	4	3	13	10	11				9	20	15								
35	20	3	11–15	03.08.2015	Biom. Defizit	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	20	3	11–15	03.08.2015	Nekrose	0	0	0	0	1	1	5	10	9	1	0	0	4	11	20	4	83	0	0	4
57	42	25	13–19	25.08.2015	Biom. Defizit	0	0	20	11	5	8	0	0	5	0	0	0	5	0	21	60	5	8	10	
87	72	55	10–33	24.09.2015	Biom. Defizit	5	11	26	9	13	10	6	9	9	9	7	9	2	14	8	25	66	21	5	13

Tabelle 66: *Herbizid-Verträglichkeit von Silphie, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2015*

Tage nach Applikation			BBCH		Beobachtung	Stomp Aqua				Boxer				Fuego	Spectrum			
T1	T2	T3		Zeitpunkt		T1		T2		T1		T2		T1	T1		T2	
				AWM		2	4	1	2	3	6	1,5	3	1,5	1	2	1	2
24	9	–	11–12	23.07.2015	Aufhellung	2	2	2	7	8*	13*	3	10	3	3	0	3	3
35	20	3	12–13	03.08.2015	Aufhellung	0	2	2	2	0	2	0	2	2	0	0	2	2
57	42	25		25.08.2015	Biom. Defizit	0	0	0	0	7	0	0	0	15	0	0	3	5
87	72	55	13–19	24.09.2015	Biom. Defizit	0	7	0	2	3	18	3	7	0	0	3	2	5

* = Nekrose

Tabelle 67: *Herbizid-Verträglichkeit von Silphie, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2015 (graue Felder = zeitlich vor Applikation)*

Tage nach Applikation			BBCH		Beobachtung	Metafol SC				Ethosat 500			Belvedere Extra				Stomp+ Spectrum	Boxer+ Stomp
T1	T2	T3		Zeitpunkt		T1		T2		T1	T2	T3	T1		T2		T1	T2
				AWM		1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2+1	2+1
24	9	–	11–12	23.07.2015	Aufhellung	0	0	5	5	2	0		5	7	5	7	7	7
35	20	3	12–13	03.08.2015	Aufhellung	0	0	0	0	5	2	0	2	5	3	5	2	5
87	72	55	13–19	24.09.2015	Biom. Defizit	0	7	3	10	0	0	3	2	5	0	3	0	0

Tabelle 68: *Herbizid-Verträglichkeit von Silphie, Anlage B – Blattaufhellung und Biomassedefizit in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2015 (graue Felder = zeitlich vor Applikation)*

Tage nach Applikation			BBCH	Beobachtung		Boxer+ Stomp	Boxer+ Stomp	Stomp + Buctril + Spectrum	Stomp + Buctril + Boxer	Lentagran WP		Fox		Gallant Super
T1	T2	T3			Zeitpunkt	T1	T2	T2	T2	T3		T3		T3
					AWM	3+2	3+2	2+0,5+1	2+0,5+3	1,5	3,0	0,5	1,0	1,0
24	9	–	11–12	Aufhellung	23.07.2015	5	15	17*	15*					
35	20	3	12–13	Aufhellung	03.08.2015	2	0	0	2	28	32	17	18	2
57	42	25		Biom. Defizit	25.08.2015	10	12	33#	53#	0	13#	0	0	0
87	72	55	13–19	Biom. Defizit	24.09.2015	5	15	60	86	3	10	0	0	5

= Abgestorbene Pflanzen; * = Nekrose

Tabelle 69: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Brennstoffzusammensetzung (Angaben wasserfrei), Versuchsjahr 2016

Kulturart	Ort	in Ma.-%			in mg/kg					
		N	S	Cl	Ca	K	Mg	Na	P	Si
Miscanthus	Aholting	0,2	0,034	0,047	990	4240	360	< 10	270	3840
	Thürnthening	0,5	0,061	0,280	1570	7970	450	< 10	520	5070
	Rosenau	0,2	0,026	0,131	1870	2510	460	27	170	1420
	Hötzelsdorf	0,3	0,370	0,148	1460	1690	880	35	280	5270
	Parsberg	0,5	0,053	0,335	1250	7250	880	26	280	4010
	Mittelwert	0,3	0,109	0,188	1428	4732	606	29	304	3922
	Standardabw.	0,2	0,147	0,117	332	2795	253	5	129	1534
Sida	Aholting	0,3	0,028	0,007	7880	1310	810	27	460	200
	Thürnthening	0,3	0,033	< 0,005	8820	2270	890	58	650	104
	Rosenau	0,4	0,038	0,020	9790	1710	620	58	400	1230
	Hötzelsdorf	0,4	0,037	0,015	7760	720	1030	56	420	586
	Gelchsheim	0,3	0,039	0,012	13.800	520	1030	28	130	573
	Mittelwert	0,3	0,035	0,014	9610	1306	876	45	412	539
	Standardabw.	0,1	0,005	0,005	2481	717	171	16	186	443
Switchgras	Aholting	0,4	0,042	0,011	2560	1110	720	< 10	330	5430
	Thürnthening	0,4	0,040	0,028	2820	1440	870	13	450	5810
	Rosenau	0,5	0,044	0,050	4950	1270	560	< 10	420	3030
	Hötzelsdorf	0,5	0,047	0,015	4380	710	820	< 10	530	7060
	Gelchsheim	0,7	0,054	0,015	7480	840	1220	46	380	9240
	Mittelwert	0,5	0,045	0,024	4438	1074	838	30	422	6114
	Standardabw.	0,1	0,005	0,016	1979	300	244	23	75	2277

Tabelle 70: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – verbrennungs- und lagerungstechnische Kenndaten, Angaben wasserfrei

Kulturart	Ort	Wasser	C ges. in Ma.-%	H	Aschegehalt	Heizwert in MJ/kg TM	Ascheerweichung (DT) in °C	Schüttdichte in kg/m ³
Miscanthus	Aholfing	4,9	48,5	5,9	1,9	18,1	810	74,6
	Thürnthening	5,9	48,0	5,8	3,4	17,7	830	43,7
	Rosenau	5,8	49,1	5,8	1,1	18,1	1010	124,7
	Hötzelsdorf	6,6	48,5	5,9	2,1	18,0	1100	49,7
	Parsberg	6,7	48,4	5,8	2,6	17,8	880	47,4
	Mittelwert	6,0	48,5	5,8	2,2	18,0	926	68,0
	Standardabw.	0,7	0,4	0,1	0,8	0,2	125	33,9
Sida	Aholfing	5,7	47,6	5,8	2,7	17,5	1390	117,8
	Thürnthening	6,3	47,7	5,9	4,1	17,1	1420	71,0
	Rosenau	5,9	48,0	5,8	2,9	17,6	1490	98,8
	Hötzelsdorf	6,8	48,2	5,7	3,1	17,7	1500	65,0
	Gelchsheim	5,9	46,4	5,7	2,4	17,6	1360	74,1
	Mittelwert	6,1	47,6	5,8	3,0	17,5	1432	85,3
	Standardabw.	0,4	0,7	0,1	0,7	0,2	61	22,3
Switchgras	Aholfing	5,2	48,0	5,9	2,8	18,0	1170	92,6
	Thürnthening	6,1	48,4	5,8	4,8	17,8	1210	68,4
	Rosenau	6,4	48,5	5,9	2,6	18,1	1210	65,4
	Hötzelsdorf	6,5	47,8	5,8	2,5	18,1	1220	48,2
	Gelchsheim	5,6	48,0	5,8	3,2	17,9	1220	42,6
	Mittelwert	6,0	48,1	5,8	18,0	3,2	1206	63,5
	Standardabw.	0,6	0,3	0,1	0,1	0,9	21	19,6

Tabelle 71: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Nährstoffgehalt (Weender Analyse) der Biomasse, Versuchsjahr 2015

Ort	Kultur	Schnitt	Roh- asche	Roh- protein	Roh- faser	Rohfett	ADF	NDF	ADL
Aholting	RWG Alkar	1	58	72	426	7	499	783	94
Gelchsheim	RWG Alkar	1	59	85	384	12	436	758	78
Hötzelsdorf	RWG Alkar	1	46	59	438	11	558	781	89
Parsberg	RWG Alkar	1	74	87	397	16	459	755	78
Rosenau	RWG Alkar	1	63	90	400	9	463	760	98
Thürnthening	RWG Alkar	1	54	52	448	5	499	800	97
Aholting	RWG Alkar	2	75	136	306	28	391	639	76
Gelchsheim	RWG Alkar	2	98	184	285	25	315	630	46
Hötzelsdorf	RWG Alkar	2	48	129	363	20	420	719	75
Parsberg	RWG Alkar	2	87	152	282	29	325	638	49
Rosenau	RWG Alkar	2	68	114	350	16	396	722	58
Thürnthening	RWG Alkar	2	86	169	276	24	321	601	58
Aholting	RWG Green Star	1	54	69	425	7	503	791	100
Gelchsheim	RWG Green Star	1	60	82	405	13	458	769	88
Hötzelsdorf	RWG Green Star	1	45	51	443	11	524	783	96
Parsberg	RWG Green Star	1	70	91	388	7	471	753	70
Rosenau	RWG Green Star	1	98	101	392	12	442	713	97
Thürnthening	RWG Green Star	1	44	53	421	5	489	762	97
Aholting	RWG Green Star	2	73	126	315	25	380	652	81
Gelchsheim	RWG Green Star	2	109	150	290	24	327	610	57
Hötzelsdorf	RWG Green Star	2	59	129	308	28	345	655	55
Parsberg	RWG Green Star	2	79	112	320	22	378	657	57
Rosenau	RWG Green Star	2	69	106	353	17	392	709	59
Thürnthening	RWG Green Star	2	84	151	276	25	324	595	57
Aholting	Mais Atletas	1	44	81	226	18	278	504	51
Gelchsheim	Mais Atletas	1	39	76	220	20	277	550	42
Hötzelsdorf	Mais Fernandez	1	32	81	240	20	286	513	33
Parsberg	Mais Atletas	1	45	82	216	18	255	513	37
Rosenau	Mais Atletas	1	31	67	205	22	254	431	40
Thürnthening	Mais Atletas	1	73	75	273	11	313	559	44
Aholting	Switchgras	1	59	67	347	16	420	726	92
Gelchsheim	Switchgras	1	58	96	278	22	324	676	61
Hötzelsdorf	Switchgras	1	49	65	320	18	387	733	68
Parsberg	Switchgras	1	67	126	249	15	276	608	37
Rosenau	Switchgras	1	59	85	355	20	400	742	60
Thürnthening	Switchgras	1	65	69	342	15	422	732	71
Aholting	Switchgras	2	54	90	271	28	326	635	64
Gelchsheim	Switchgras	2	57	110	269	22	294	631	46
Hötzelsdorf	Switchgras	2	60	126	277	30	362	678	53
Rosenau	Switchgras	2	50	80	317	27	358	707	79
Thürnthening	Switchgras	2	54	91	288	23	338	649	54
Aholting	Roggen-GPS	1	42	56	294	11	322	548	62
Gelchsheim	Roggen-GPS	1	45	79	265	15	303	539	51
Hötzelsdorf	Roggen-GPS	1	34	48	255	11	315	532	51

Ort	Kultur	Schnitt	Roh- asche	Roh- protein	Roh- faser	Rohfett	ADF	NDF	ADL
in g/kg Trockenmasse									
Parsberg	Roggen-GPS	1	50	75	265	15	336	561	62
Thürnthening	Roggen-GPS	1	45	60	281	12	306	517	50
Ahofling	Waldstaudenrog.	1	65	73	425	13	503	760	99
Gelchsheim	Waldstaudenrog.	1	72	97	392	17	454	741	75
Hötzelsdorf	Waldstaudenrog.	1	62	63	450	7	543	779	86
Parsberg	Waldstaudenrog.	1	69	78	417	14	501	744	82
Rosenau	Waldstaudenrog.	1	77	115	405	15	436	691	76
Thürnthening	Waldstaudenrog.	1	59	50	435	7	522	788	97
Ahofling	Waldstaudenrog.	2	62	91	308	15	381	625	73
Gelchsheim	Waldstaudenrog.	2	56	98	323	15	388	670	73
Hötzelsdorf	Waldstaudenrog.	2	47	87	300	11	378	601	64
Parsberg	Waldstaudenrog.	2	54	96	314	17	358	641	73
Rosenau	Waldstaudenrog.	2	57	105	375	18	420	700	93
Thürnthening	Waldstaudenrog.	2	70	111	325	21	382	644	70
Ahofling	Sida	1	72	70	390	16	481	601	86
Gelchsheim	Sida	1	118	132	281	33	352	667	68
Hötzelsdorf	Sida	1	84	95	307	22	358	480	67
Rosenau	Sida	1	82	76	430	18	486	633	92
Thürnthening	Sida	1	87	79	436	16	541	652	112
Ahofling	Sida	2	122	156	214	37	258	366	51
Gelchsheim	Sida	2	134	204	216	34	243	324	48
Hötzelsdorf	Sida	2	111	168	209	38	232	314	44
Thürnthening	Sida	2	130	149	253	27	303	391	60
Ahofling	Silphie	1	121	85	338	17	467	499	83
Gelchsheim	Silphie	1	114	110	325	30	434	516	93
Hötzelsdorf	Silphie	1	113	97	294	22	379	448	62
Parsberg	Silphie	1	131	113	308	20	453	505	66
Rosenau	Silphie	1	129	95	372	21	443	561	83
Thürnthening	Silphie	1	139	88	349	14	462	529	93

Tabelle 72: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Mineralstoffgehalte der Biomasse, Versuchsjahr 2015

Ort	Kultur	Schnitt t	Stickstoff	Calcium	Phosphor	Magnesium	Kalium	Schwefel
Aholting	RWG Alkar	1	11,5	2,0	2,0	0,8	18,4	1,9
Gelchsheim	RWG Alkar	1	13,6	3,2	1,2	1,0	16,7	1,9
Hötzelsdorf	RWG Alkar	1	9,4	1,7	1,6	0,8	16,3	1,4
Parsberg	RWG Alkar	1	13,9	2,4	1,7	1,0	25,0	2,1
Rosenau	RWG Alkar	1	14,4	3,4	1,5	1,0	21,3	2,0
Thürnthening	RWG Alkar	1	8,3	1,6	1,9	0,6	18,1	1,3
Aholting	RWG Alkar	2	21,8	4,7	2,1	1,2	17,8	2,9
Gelchsheim	RWG Alkar	2	29,4	5,4	1,9	1,5	23,2	3,1
Hötzelsdorf	RWG Alkar	2	20,6	3,2	1,8	1,3	12,4	2,0
Parsberg	RWG Alkar	2	24,3	3,9	2,0	1,6	22,9	2,9
Rosenau	RWG Alkar	2	18,2	3,4	2,1	1,0	23,8	2,6
Thürnthening	RWG Alkar	2	27,0	3,7	2,2	1,2	23,8	3,0
Aholting	RWG Green Star	1	11,0	2,3	1,9	0,8	17,7	1,8
Gelchsheim	RWG Green Star	1	13,1	3,3	1,2	0,9	16,3	1,6
Hötzelsdorf	RWG Green Star	1	8,2	1,7	1,5	0,8	15,5	1,1
Parsberg	RWG Green Star	1	14,6	3,1	1,8	1,1	22,7	1,9
Rosenau	RWG Green Star	1	16,2	12,0	1,6	1,2	18,9	2,1
Thürnthening	RWG Green Star	1	8,5	1,4	1,8	0,5	15,4	1,3
Aholting	RWG Green Star	2	20,2	4,0	1,8	1,0	18,4	2,4
Gelchsheim	RWG Green Star	2	24,0	5,8	1,7	1,4	22,8	2,7
Hötzelsdorf	RWG Green Star	2	20,6	3,8	1,9	1,3	16,9	2,1
Parsberg	RWG Green Star	2	17,9	3,8	1,6	1,1	21,8	2,2
Rosenau	RWG Green Star	2	17,0	3,6	1,8	0,8	23,8	2,3
Thürnthening	RWG Green Star	2	24,2	3,9	2,2	0,9	25,9	2,8
Aholting	Sida	1	11,2	10,1	2,6	1,7	20,0	2,1
Gelchsheim	Sida	1	21,1	19,2	1,8	3,0	23,1	3,4
Hötzelsdorf	Sida	1	15,2	15,1	2,7	3,9	18,8	2,6
Rosenau	Sida	1	12,2	16,7	2,1	1,9	17,6	2,9
Thürnthening	Sida	1	12,6	9,2	3,7	1,7	27,1	2,4
Aholting	Sida	2	25,0	20,1	2,6	2,9	28,2	4,1
Gelchsheim	Sida	2	32,6	24,8	2,0	3,3	25,8	4,2
Hötzelsdorf	Sida	2	26,9	20,1	2,7	5,1	23,4	2,9
Thürnthening	Sida	2	23,8	21,8	3,0	2,5	31,5	4,1
Aholting	Silphie	1	13,6	18,6	2,3	3,2	28,4	1,6
Gelchsheim	Silphie	1	17,6	25,6	1,5	4,9	17,1	1,7
Hötzelsdorf	Silphie	1	15,5	18,8	2,2	6,0	22,7	1,6
Parsberg	Silphie	1	18,1	18,3	2,5	3,8	39,3	2,1
Rosenau	Silphie	1	15,2	29,3	1,4	3,6	19,0	1,8
Thürnthening	Silphie	1	14,1	16,7	2,8	2,5	42,7	1,9
Aholting	Switchgras	1	10,7	3,1	1,7	1,5	15,1	1,3
Gelchsheim	Switchgras	1	15,4	4,7	1,0	1,8	10,7	1,8
Hötzelsdorf	Switchgras	1	10,4	3,5	2,1	2,2	11,8	1,2
Parsberg	Switchgras	1	20,2	4,9	1,4	3,9	17,0	1,8
Rosenau	Switchgras	1	13,6	5,1	2,1	1,9	17,6	1,6
Thürnthening	Switchgras	1	11,0	2,7	2,0	1,4	21,0	1,3

Ort	Kultur	Schnitt	Stickstoff	Calcium	Phosphor	Magnesium	Kalium	Schwefel
in g/kg Trockenmasse								
Ahofling	Switchgras	2	14,4	4,5	1,5	2,4	12,5	1,7
Gelchsheim	Switchgras	2	17,6	5,1	1,3	2,6	12,3	1,4
Hötzelsdorf	Switchgras	2	20,2	4,1	2,2	2,8	14,4	1,9
Rosenau	Switchgras	2	12,8	5,8	1,3	2,2	11,9	1,5
Thürnthening	Switchgras	2	14,6	4,4	1,2	1,7	12,3	1,5
Ahofling	Waldstaudenr.	1	11,7	2,2	2,5	0,8	20,4	1,8
Gelchsheim	Waldstaudenr.	1	15,5	3,0	2,3	1,2	25,0	1,7
Hötzelsdorf	Waldstaudenr.	1	10,1	1,5	2,2	0,9	21,1	1,5
Parsberg	Waldstaudenr.	1	12,5	2,1	2,3	1,0	23,3	1,8
Rosenau	Waldstaudenr.	1	18,4	4,0	2,2	1,2	27,0	2,5
Thürnthening	Waldstaudenr.	1	8,0	1,6	2,2	0,5	18,8	1,2
Ahofling	Waldstaudenr.	2	14,6	2,8	2,9	1,0	15,2	2,0
Gelchsheim	Waldstaudenr.	2	15,7	3,9	1,9	1,2	12,4	1,5
Hötzelsdorf	Waldstaudenr.	2	13,9	2,7	2,4	1,3	13,7	1,4
Parsberg	Waldstaudenr.	2	15,4	2,3	2,1	1,0	15,8	1,6
Rosenau	Waldstaudenr.	2	16,8	3,7	2,1	1,0	17,5	1,8
Thürnthening	Waldstaudenr.	2	17,8	3,3	3,1	0,8	22,0	1,9
Ahofling	Mais Atletas	1	13,0	2,1	2,0	1,4	12,6	1,3
Gelchsheim	Mais Atletas	1	12,2	3,2	1,4	1,8	10,3	1,1
Hötzelsdorf	Mais Fernandez	1	13,0	2,1	1,8	2,2	7,0	1,6
Parsberg	Mais Atletas	1	13,1	2,3	1,7	1,7	12,9	1,3
Rosenau	Mais Atletas	1	10,7	2,1	1,4	0,9	9,5	1,0
Thürnthening	Mais Atletas	1	12,0	2,7	2,1	1,1	25,7	1,3
Ahofling	Roggen-GPS	1	9,0	1,5	2,2	0,7	11,4	1,3
Gelchsheim	Roggen-GPS	1	12,6	3,0	1,7	1,1	13,5	1,2
Hötzelsdorf	Roggen-GPS	1	7,7	1,3	2,1	0,8	11,1	1,1
Parsberg	Roggen-GPS	1	12,0	2,4	1,9	1,1	14,6	1,5
Rosenau	Roggen-GPS	1	9,6	1,6	2,5	0,7	12,8	1,2

Tabelle 73: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Nährstoffgehalt (Weender Analyse) der Biomasse, Versuchsjahr 2016

Ort	Kultur	Schnitt	Roh- asche	Roh- faser	Rohpro- tein	Rohfett	ADF	NDF	ADL
Aholting	RWG Alkar	1	62,0	427,0	68,0	13,0	485,0	802,7	60,0
Gelchsheim	RWG Alkar	1	86,0	412,0	85,0	7,0	505,0	800,5	58,0
Hötzelsdorf	RWG Alkar	1	53,0	423,0	68,0	11,0	476,0	807,3	57,0
Parsberg	RWG Alkar	1	72,0	418,0	66,0	7,0	468,0	772,3	61,0
Rosenau	RWG Alkar	1	51,0	430,0	69,0	13,0	502,0	823,9	64,0
Thürntenn.	RWG Alkar	1	60,0	426,0	74,0	12,0	484,0	804,0	62,0
Wolferkofen	RWG Alkar	1	69,0	414,0	76,0	6,0	486,0	781,1	69,0
Aholting	RWG Alkar	2	63,0	380,0	70,0	13,0	415,0	735,2	47,0
Gelchsheim	RWG Alkar	2	67,0	400,0	70,0	16,0	450,0	736,2	56,0
Hötzelsdorf	RWG Alkar	2	53,0	395,0	79,0	11,0	437,0	732,7	44,0
Parsberg	RWG Alkar	2	74,0	345,0	90,0	25,0	401,0	684,9	47,0
Rosenau	RWG Alkar	2	70,0	349,0	108,0	15,0	393,0	678,4	45,0
Thürntenn.	RWG Alkar	2	70,0	363,0	90,0	15,0	398,0	706,8	50,0
Wolferkofen	RWG Alkar	2	84,0	368,0	79,0	19,0	407,0	716,1	58,0
Aholting	RWG Green Star	1	60,0	432,0	64,0	12,0	493,0	810,8	64,0
Gelchsheim	RWG Green Star	1	82,0	419,0	78,0	8,0	498,0	798,3	60,0
Hötzelsdorf	RWG Green Star	1	47,0	458,0	62,0	9,0	498,0	823,1	72,0
Parsberg	RWG Green Star	1	65,0	415,0	64,0	5,0	461,0	763,4	60,0
Rosenau	RWG Green Star	1	44,0	439,0	62,0	8,0	499,0	815,0	65,0
Thürntenn.	RWG Green Star	1	57,0	426,0	68,0	12,0	496,0	802,2	60,0
Wolferkofen	RWG Green Star	1	64,0	412,0	68,0	6,0	493,0	767,0	69,0
Aholting	RWG Green Star	2	65,0	395,0	70,0	14,0	442,0	749,6	62,0
Gelchsheim	RWG Green Star	2	61,0	416,0	54,0	13,0	482,0	763,4	62,0
Hötzelsdorf	RWG Green Star	2	50,0	399,0	66,0	10,0	452,0	754,7	66,0
Parsberg	RWG Green Star	2	65,0	386,0	65,0	10,0	434,0	724,3	56,0
Rosenau	RWG Green Star	2	65,0	362,0	95,0	16,0	402,0	681,6	46,0
Thürntenn.	RWG Green Star	2	68,0	357,0	97,0	17,0	415,0	709,8	49,0
Wolferkofen	RWG Green Star	2	79,0	387,0	71,0	15,0	436,0	740,1	58,0
Aholting	Mais Atletas		46,0	249,0	57,0	19,0	298,0	524,9	38,0
Parsberg	Mais Atletas		42,0	270,0	57,0	19,0	311,0	527,6	31,0
Rosenau	Mais Atletas		36,0	234,0	63,0	17,0	293,0	510,3	33,0
Thürntenn.	Mais Atletas		42,0	216,0	71,0	20,0	250,0	497,9	36,0
Wolferkofen	Mais Atletas		39,0	222,0	66,0	19,0	259,0	463,1	29,0
Gelchsheim	Mais DKC 4117		34,0	202,0	74,0	18,0	234,0	439,1	25,0
Hötzelsdorf	Mais Fernandez		34,0	213,0	62,0	19,0	281,0	481,4	27,0
Aholting	Switchgras	1	70,0	388,0	63,0	16,0	424,0	746,3	73,0
Gelchsheim	Switchgras	1	64,0	398,0	66,0	14,0	459,0	764,2	76,0
Hötzelsdorf	Switchgras	1	60,0	411,0	56,0	14,0	453,0	760,8	58,0
Rosenau	Switchgras	1	59,0	399,0	79,0	17,0	468,0	772,3	69,0
Wolferkofen	Switchgras	1	72,0	378,0	70,0	15,0	436,0	751,9	65,0
Thürntenn.	Switchgras	1	60,0	399,0	62,0	12,0	449,0	779,2	73,0
Aholting	Switchgras	2	68,0	277,0	96,0	25,0	311,0	620,7	44,0
Hötzelsdorf	Switchgras	2	71,0	279,0	130,0	26,0	328,0	620,5	44,0
Rosenau	Switchgras	2	62,0	259,0	123,0	25,0	298,0	608,8	44,0

Ort	Kultur	Schnitt	Roh- asche	Roh- faser	Rohpro- tein	Rohfett	ADF	NDF	ADL
Thürntenn.	Switchgras	2	69,0	267,0	107,0	25,0	297,0	590,1	36,0
Wolferkofen	Switchgras	2	62,0	276,0	89,0	25,0	331,0	642,1	46,0
Aholfing	GPS-Roggen		47,0	274,0	78,0	16,0	310,0	561,7	40,0
Gelchsheim	GPS-Roggen		55,0	307,0	93,0	13,0	356,0	633,2	49,0
Hötzelsdorf	GPS-Roggen		42,0	293,0	71,0	12,0	324,0	568,5	44,0
Parsberg	GPS-Roggen		48,0	229,0	73,0	13,0	275,0	519,6	38,0
Rosenau	GPS-Roggen		43,0	298,0	69,0	12,0	338,0	599,2	45,0
Thürntenn.	GPS-Roggen		45,0	268,0	75,0	14,0	310,0	545,7	47,0
Wolferkofen	GPS-Roggen		46,0	263,0	67,0	12,0	330,0	571,6	39,0
Aholfing	Waldstaudenr.	1	44,0	378,0	48,0	12,0	431,0	706,8	63,0
Hötzelsdorf	Waldstaudenr.	1	35,0	383,0	46,0	13,0	430,0	717,5	62,0
Parsberg	Waldstaudenr.	1	46,0	345,0	52,0	8,0	382,0	662,2	62,0
Rosenau	Waldstaudenr.	1	55,0	378,0	71,0	12,0	441,0	711,8	62,0
Thürntenn.	Waldstaudenr.	1	40,0	374,0	52,0	9,0	430,0	677,6	58,0
Wolferkofen	Waldstaudenr.	1	49,0	345,0	60,0	10,0	410,0	690,4	64,0
Aholfing	Sida	1	74,0	437,0	56,0	15,0	490,0	626,0	96,0
Gelchsheim	Sida	1	78,0	426,0	95,0	13,0	550,0	636,1	81,0
Hötzelsdorf	Sida	1	77,0	392,0	74,0	20,0	506,0	574,7	82,0
Rosenau	Sida	1	91,0	434,0	71,0	14,0	533,0	629,7	83,0
Thürntenn.	Sida	1	66,0	432,0	60,0	15,0	525,0	667,9	96,0
Wolferkofen	Sida	1	85,0	447,0	88,0	11,0	527,0	631,8	98,0
Aholfing	Sida	2	120,0	195,0	137,0	38,0	261,0	301,7	51,0
Rosenau	Sida	2	138,0	215,0	144,0	27,0	285,0	349,6	49,0
Thürntenn.	Sida	2	121,0	219,0	147,0	29,0	284,0	346,0	48,0
Wolferkofen	Sida	2	94,0	316,0	110,0	27,0	358,0	483,9	49,0
Aholfing	Silphie		122,0	389,0	58,0	27,0	494,0	552,9	97,0
Gelchsheim	Silphie		99,0	400,0	53,0	17,0	494,0	584,1	87,0
Hötzelsdorf	Silphie		94,0	376,0	49,0	19,0	472,0	536,9	100,0
Parsberg	Silphie		104,0	406,0	58,0	18,0	541,0	607,1	77,0
Rosenau	Silphie		108,0	382,0	61,0	20,0	501,0	556,7	86,0
Thürntenn.	Silphie		110,0	360,0	73,0	28,0	499,0	542,1	85,0
Wolferkofen	Silphie		109,0	407,0	68,0	19,0	543,0	643,0	94,0

Tabelle 74: Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen – Mineralstoffgehalte der Biomasse, Versuchsjahr 2016

Ort	Kultur	Schnitt	Stickstoff	Calcium	Phosphor	Magnesium	Kalium	Schwefel
Aholting	RWG Alkar	1	11	1,8	1,9	0,8	18,8	2,1
Gelchsheim	RWG Alkar	1	14	2,9	1,7	0,9	21,8	2,0
Hötzelsdorf	RWG Alkar	1	11	1,9	1,8	0,9	18,4	1,9
Parsberg	RWG Alkar	1	11	2,1	1,9	1,0	19,2	2,0
Rosenau	RWG Alkar	1	11	2,4	1,8	0,8	17,3	2,0
Thürntenning	RWG Alkar	1	12	1,8	1,8	0,7	20,5	2,1
Wolferkofen	RWG Alkar	1	12	2,3	1,7	0,9	18,9	1,7
Aholting	RWG Alkar	2	11	3,2	2,0	0,9	14,0	1,9
Gelchsheim	RWG Alkar	2	11	2,6	1,3	0,7	13,0	1,5
Hötzelsdorf	RWG Alkar	2	13	2,2	2,0	0,9	16,0	1,8
Parsberg	RWG Alkar	2	14	3,4	2,1	1,1	18,0	2,3
Rosenau	RWG Alkar	2	17	4,7	2,8	1,5	22,0	3,5
Thürntenning	RWG Alkar	2	14	2,7	2,4	0,9	21,0	2,1
Wolferkofen	RWG Alkar	2	13	2,9	1,9	0,9	17,0	1,6
Aholting	RWG Green Star	1	10	2,0	1,9	0,8	17,7	1,9
Gelchsheim	RWG Green Star	1	12	3,3	1,7	0,9	20,6	1,5
Hötzelsdorf	RWG Green Star	1	10	1,6	1,6	0,8	16,0	1,4
Parsberg	RWG Green Star	1	10	2,3	1,9	0,9	17,2	1,4
Rosenau	RWG Green Star	1	10	2,2	1,6	0,7	14,9	1,5
Thürntenning	RWG Green Star	1	11	1,8	1,8	0,7	18,7	1,9
Wolferkofen	RWG Green Star	1	11	2,7	1,6	0,8	16,2	1,4
Aholting	RWG Green Star	2	11	2,5	1,8	0,7	15,0	1,6
Gelchsheim	RWG Green Star	2	9	3,1	1,3	0,7	12,0	1,2
Hötzelsdorf	RWG Green Star	2	11	2,4	2,0	0,9	15,0	1,5
Parsberg	RWG Green Star	2	10	2,4	1,9	0,7	17,0	1,3
Rosenau	RWG Green Star	2	15	3,6	2,5	1,2	20,0	3,0
Thürntenning	RWG Green Star	2	16	2,8	2,6	0,9	20,0	1,9
Wolferkofen	RWG Green Star	2	11	2,9	1,8	0,9	16,0	1,5
Aholting	Mais Atletas		9	1,8	1,7	1,0	14,0	0,9
Parsberg	Mais Atletas		9	1,5	1,4	1,2	13,0	0,9
Rosenau	Mais Atletas		10	2,5	1,5	1,1	12,0	1,1
Thürntenning	Mais Atletas		11	2,2	2,2	1,0	14,0	1,0
Wolferkofen	Mais Atletas		11	2,1	1,7	1,2	8,9	1,0
Gelchsheim	Mais DKC 4117		12	3,5	1,4	1,6	7,5	1,0
Hötzelsdorf	Mais Fernandez		10	1,6	1,6	1,3	10,0	1,0
Aholting	Switchgras	1	10	3,5	1,9	1,7	18,0	1,4
Gelchsheim	Switchgras	1	11	3,7	1,2	1,8	15,0	1,1
Hötzelsdorf	Switchgras	1	9	2,9	2,3	2,0	16,0	1,1
Rosenau	Switchgras	1	13	5,2	1,8	2,1	16,0	1,4
Wolferkofen	Switchgras	1	11	3,2	1,6	1,6	15,0	1,4
Thürntenning	Switchgras	1	10	3,1	1,7	1,5	18,0	1,3
Aholting	Switchgras	2	15	4,0	2,1	2,0	16,0	1,7
Hötzelsdorf	Switchgras	2	21	3,5	2,7	2,5	18,0	1,9
Rosenau	Switchgras	2	20	5,8	1,8	2,4	16,0	1,9
Thürntenning	Switchgras	2	17	3,3	2,6	1,6	18,0	1,7

Ort	Kultur	Schnitt	Stickstoff	Calcium	Phosphor	Magnesium	Kalium	Schwefel
in g/kg Trockenmasse								
Wolferkofen	Switchgras	2	14	3,9	1,7	2,2	13,0	1,5
Aholfing	GPS-Roggen		12	1,5	2,3	0,8	13,8	1,8
Gelchsheim	GPS-Roggen		15	2,5	2,5	0,9	13,4	1,4
Hötzelsdorf	GPS-Roggen		11	1,3	2,0	0,8	12,5	1,7
Parsberg	GPS-Roggen		12	1,5	2,3	0,9	10,4	1,4
Rosenau	GPS-Roggen		11	2,0	2,1	0,8	13,0	1,3
Thürntenning	GPS-Roggen		12	1,5	2,3	0,7	12,2	1,6
Wolferkofen	GPS-Roggen		11	1,4	2,3	0,8	11,0	1,2
Aholfing	Waldstaudenr.	1	8	1,3	2,0	0,5	12,9	1,1
Hötzelsdorf	Waldstaudenr.	1	7	1,2	1,7	0,6	11,9	1,1
Parsberg	Waldstaudenr.	1	8	1,5	1,9	0,7	11,1	1,1
Rosenau	Waldstaudenr.	1	11	5,0	1,7	0,7	14,6	1,5
Thürntenning	Waldstaudenr.	1	8	1,4	1,9	0,5	11,9	1,1
Wolferkofen	Waldstaudenr.	1	10	1,5	2,0	0,6	11,6	1,1
Aholfing	Sida	1	9	9,9	3,0	1,8	21,0	2,3
Gelchsheim	Sida	1	15	13,0	1,6	2,3	19,0	2,5
Hötzelsdorf	Sida	1	12	12,0	3,1	2,8	20,0	3,3
Rosenau	Sida	1	11	15,0	2,6	1,7	21,0	3,0
Thürntenning	Sida	1	10	9,1	3,1	1,5	20,0	1,8
Wolferkofen	Sida	1	14	13,0	2,5	2,2	25,0	3,5
Aholfing	Sida	2	22	19,0	4,9	2,6	28,0	4,7
Rosenau	Sida	2	23	26,0	4,4	2,3	29,0	5,7
Thürntenning	Sida	2	24	18,0	6,6	2,4	32,0	3,9
Wolferkofen	Sida	2	18	18,0	2,5	2,5	18,0	3,4
Aholfing	Silphie		9	18,0	2,2	2,9	24,0	0,9
Gelchsheim	Silphie		8	19,0	1,2	3,2	17,0	0,7
Hötzelsdorf	Silphie		8	16,0	2,2	4,8	22,0	1,0
Parsberg	Silphie		9	17,0	2,0	3,2	23,0	0,9
Rosenau	Silphie		10	25,0	1,8	3,3	22,0	1,1
Thürntenning	Silphie		12	17,0	2,4	2,5	27,0	1,0
Wolferkofen	Silphie		11	22,0	1,9	4,5	20,0	1,0

Tabelle 75: Methanausbeute und Methanertrag der mehrjährigen Energiepflanzen, Versuchsjahr 2015

Ort	Kultur	Schnitt	Jahr	Methanausbeute in NI/g oTS	Methanertrag in Nm ³ /ha
Aholfing	Mais	1	2015	369	5569
Gelchsheim	Mais	1	2015	363	4755
Hötzelsdorf	Mais	1	2015	318	4418
Parsberg	Mais	1	2015	366	4093
Rosenau	Mais	1	2015	353	7485
Thürnthening	Mais	1	2015	374	3168
Aholfing	GPS-Roggen	1	2015	332	4430
Gelchsheim	GPS-Roggen	1	2015	327	3839
Hötzelsdorf	GPS-Roggen	1	2015	357	4947
Parsberg	GPS-Roggen	1	2015	320	4136
Thürnthening	GPS-Roggen	1	2015	329	4620
Aholfing	RWG (Alkar)	1	2015	311	3140
Gelchsheim	RWG (Alkar)	1	2015	336	2151
Hötzelsdorf	RWG (Alkar)	1	2015	336	3588
Parsberg	RWG (Alkar)	1	2015	338	3124
Rosenau	RWG (Alkar)	1	2015	283	2783
Thürnthening	RWG (Alkar)	1	2015	302	3915
Aholfing	RWG (Alkar)	2	2015	322	390
Gelchsheim	RWG (Alkar)	2	2015	326	994
Hötzelsdorf	RWG (Alkar)	2	2015	311	461
Parsberg	RWG (Alkar)	2	2015	307	593
Rosenau	RWG (Alkar)	2	2015	329	988
Thürnthening	RWG (Alkar)	2	2015	326	370
Aholfing	RWG (Green)	1	2015	309	3664
Gelchsheim	RWG (Green)	1	2015	307	2915
Hötzelsdorf	RWG (Green)	1	2015	310	3482
Parsberg	RWG (Green)	1	2015	321	3108
Rosenau	RWG (Green)	1	2015	283	2971
Thürnthening	RWG (Green)	1	2015	294	4144
Aholfing	RWG (Green)	2	2015	305	564
Gelchsheim	RWG (Green)	2	2015	325	1202
Hötzelsdorf	RWG (Green)	2	2015	260	443

Ort	Kultur	Schnitt	Jahr	Methanausbeute in NI/g oTS	Methanertrag in Nm ³ /ha
Parsberg	RWG (Green	2	2015	311	845
Rosenau	RWG (Green	2	2015	296	1100
Thürnthening	RWG (Green	2	2015	335	229
Ahol fing	Sida	1	2015	270	1377
Gelchsheim	Sida	1	2015	282	1133
Hötzelsdorf	Sida	1	2015	272	630
Rosenau	Sida	1	2015	207	1603
Thürnthening	Sida	1	2015	251	1127
Ahol fing	Sida	2	2015	318	259
Gelchsheim	Sida	2	2015	309	1533
Hötzelsdorf	Sida	2	2015	291	161
Thürnthening	Sida	2	2015	302	144
Ahol fing	Silphie	1	2015	252	2965
Gelchsheim	Silphie	1	2015	258	2738
Hötzelsdorf	Silphie	1	2015	289	3413
Parsberg	Silphie	1	2015	262	2179
Rosenau	Silphie	1	2015	248	3915
Thürnthening	Silphie	1	2015	257	2098
Ahol fing	Switchgras	1	2015	297	2648
Gelchsheim	Switchgras	1	2015	294	1212
Hötzelsdorf	Switchgras	1	2015	291	973
Parsberg	Switchgras	1	2015	325	392
Rosenau	Switchgras	1	2015	295	2025
Thürnthening	Switchgras	1	2015	297	2338
Ahol fing	Switchgras	2	2015	347	836
Gelchsheim	Switchgras	2	2015	314	1321
Hötzelsdorf	Switchgras	2	2015	285	413
Parsberg	Switchgras	2	2015	310	913
Thürnthening	Switchgras	2	2015	317	446
Ahol fing	Waldstaudenr.	1	2015	329	2738
Gelchsheim	Waldstaudenr.	1	2015	319	2490

Ort	Kultur	Schnitt	Jahr	Methanausbeute in NI/g oTS	Methanertrag in Nm ³ /ha
Hötzelsdorf	Waldstaudenr.	1	2015	302	2580
Parsberg	Waldstaudenr.	1	2015	342	2887
Rosenau	Waldstaudenr.	1	2015	339	2215
Thürnthening	Waldstaudenr.	1	2015	302	2156
Aholfing	Waldstaudenr.	2	2015	296	740
Gelchsheim	Waldstaudenr.	2	2015	318	91
Hötzelsdorf	Waldstaudenr.	2	2015	348	1162
Parsberg	Waldstaudenr.	2	2015	326	1116
Rosenau	Waldstaudenr.	2	2015	298	787
Thürnthening	Waldstaudenr.	2	2015	322	450

Tabelle 76: Methanertrag und Methanausbeute der mehrjährigen Energiepflanzen, Versuchsjahr 2016

Ort	Var	Schnitt	Jahr	Methanausbeute in NI/g oTS	Methanertrag in Nm ³ /ha
Aholting	GPS-Roggen	1	2016	285	3350
Gelchsheim	GPS-Roggen	1	2016	307	1996
Hötzelsdorf	GPS-Roggen	1	2016	315	3645
Parsberg	GPS-Roggen	1	2016	316	3626
Rosenau	GPS-Roggen	1	2016	311	3410
Thürnthening	GPS-Roggen	1	2016	337	3711
Wolferkofen	GPS-Roggen	1	2016	301	4021
Aholting	Mais	1	2016	331	6836
Gelchsheim	Mais	1	2016	339	6133
Hötzelsdorf	Mais	1	2016	371	7908
Parsberg	Mais	1	2016	343	5419
Rosenau	Mais	1	2016	334	7938
Thürnthening	Mais	1	2016	337	6651
Wolferkofen	Mais	1	2016	347	7548
Aholting	RWG Alkar	1	2016	317	3142
Gelchsheim	RWG Alkar	1	2016	315	3678
Hötzelsdorf	RWG Alkar	1	2016	299	2444
Parsberg	RWG Alkar	1	2016	293	3884
Rosenau	RWG Alkar	1	2016	279	2068
Thürnthening	RWG Alkar	1	2016	295	3231
Wolferkofen	RWG Alkar	1	2016	288	4126
Aholting	RWG Alkar	2	2016	303	1115
Gelchsheim	RWG Alkar	2	2016	307	1925
Hötzelsdorf	RWG Alkar	2	2016	341	1246
Parsberg	RWG Alkar	2	2016	335	1031
Rosenau	RWG Alkar	2	2016	288	818
Thürnthening	RWG Alkar	2	2016	320	1483
Wolferkofen	RWG Alkar	2	2016	302	1387
Aholting	RWG Green Star	1	2016	297	3233
Gelchsheim	RWG Green Star	1	2016	272	3220
Hötzelsdorf	RWG Green Star	1	2016	288	2970
Parsberg	RWG Green Star	1	2016	292	3409
Rosenau	RWG Green Star	1	2016	281	3061

Ort	Var	Schnitt	Jahr	Methanausbeute in NI/g oTS	Methanertrag in Nm ³ /ha
Thürnthening	RWG Green Star	1	2016	283	3064
Wolferkofen	RWG Green Star	1	2016	290	4504
Aholfing	RWG Green Star	2	2016	302	1247
Gelchsheim	RWG Green Star	2	2016	296	1935
Hötzelsdorf	RWG Green Star	2	2016	300	1373
Parsberg	RWG Green Star	2	2016	301	2052
Rosenau	RWG Green Star	2	2016	343	1086
Thürnthening	RWG Green Star	2	2016	300	1157
Wolferkofen	RWG Green Star	2	2016	292	1594
Aholfing	Sida	1	2016	260	2046
Gelchsheim	Sida	1	2016	224	2468
Hötzelsdorf	Sida	1	2016	251	1246
Rosenau	Sida	1	2016	229	1654
Thürnthening	Sida	1	2016	263	1614
Wolferkofen	Sida	1	2016	251	2282
Aholfing	Sida	2	2016	305	247
Rosenau	Sida	2	2016	322	290
Thürnthening	Sida	2	2016	322	213
Wolferkofen	Sida	2	2016	285	556
Aholfing	Silphie	1	2016	233	3008
Gelchsheim	Silphie	1	2016	256	3743
Hötzelsdorf	Silphie	1	2016	229	3099
Parsberg	Silphie	1	2016	259	4307
Rosenau	Silphie	1	2016	244	3216
Thürnthening	Silphie	1	2016	238	3213
Wolferkofen	Silphie	1	2016	239	3773
Aholfing	Switchgras	1	2016	274	3348
Gelchsheim	Switchgras	1	2016	247	3498
Hötzelsdorf	Switchgras	1	2016	297	2061
Rosenau	Switchgras	1	2016	274	2665
Thürnthening	Switchgras	1	2016	277	3631
Wolferkofen	Switchgras	1	2016	259	2529
Aholfing	Switchgras	2	2016	345	1056
Hötzelsdorf	Switchgras	2	2016	281	389
Rosenau	Switchgras	2	2016	312	553

Ort	Var	Schnitt	Jahr	Methanausbeute in NI/g oTS	Methanertrag in Nm ³ /ha
Thürnthenning	Switchgras	2	2016	338	1133
Wolferkofen	Switchgras	2	2016	329	1173
Aholting	Waldstaudenr.	1	2016	305	2720
Hötzelsdorf	Waldstaudenr.	1	2016	313	2018
Parsberg	Waldstaudenr.	1	2016	296	2761
Rosenau	Waldstaudenr.	1	2016	296	2268
Thürnthenning	Waldstaudenr.	1	2016	295	2939
Wolferkofen	Waldstaudenr.	1	2016	289	3019

Tabelle 77: Relativer Methanhektarertrag der mehrjährigen Energiepflanzen im Vergleich zu Silomais

Kultur	Ort	2015	2016
		in %	
Riesenweizengr. (Green St.)	Aholfing	76	66
Riesenweizengr. (Green St.)	Gelchsheim	87	84
Riesenweizengr. (Green St.)	Hötzelsdorf	89	55
Riesenweizengr. (Green St.)	Parsberg	97	101
Riesenweizengr. (Green St.)	Rosenau	54	52
Riesenweizengr. (Green St.)	Thürnthening	138	63
Riesenweizengr. (Green St.)	Wolferkofen	–	81
Riesenweizengr. (Green St.)	Mittel	90	72
Riesenweizengras (Alkar)	Aholfing	63	62
Riesenweizengras (Alkar)	Gelchsheim	66	91
Riesenweizengras (Alkar)	Hötzelsdorf	92	47
Riesenweizengras (Alkar)	Parsberg	91	91
Riesenweizengras (Alkar)	Rosenau	50	36
Riesenweizengras (Alkar)	Thürnthening	135	71
Riesenweizengras (Alkar)	Wolferkofen	–	73
Riesenweizengras (Alkar)	Mittel	83	67
GPS-Roggen	Aholfing	80	49
GPS-Roggen	Gelchsheim	81	33
GPS-Roggen	Hötzelsdorf	112	46
GPS-Roggen	Parsberg	101	67
GPS-Roggen	Rosenau	–	43
GPS-Roggen	Thürnthening	146	56
GPS-Roggen	Wolferkofen	–	53
GPS-Roggen	Mittel	104	50
Silphie	Aholfing	53	44
Silphie	Gelchsheim	58	61
Silphie	Hötzelsdorf	77	39
Silphie	Parsberg	53	79
Silphie	Rosenau	52	41
Silphie	Thürnthening	66	48
Silphie	Wolferkofen	–	50
Silphie	Mittel	60	52

Kultur	Ort	2015	2016
		in %	
Switchgras	Ahofling	63	64
Switchgras	Gelchsheim	53	57
Switchgras	Hötzelsdorf	31	31
Switchgras	Parsberg	–	–
Switchgras	Rosenau	39	41
Switchgras	Thürnthening	88	72
Switchgras	Wolferkofen	–	49
Switchgras	Mittel	55	52
Waldstaudenroggen	Ahofling	62	40
Waldstaudenroggen	Gelchsheim	54	–
Waldstaudenroggen	Hötzelsdorf	85	33
Waldstaudenroggen	Parsberg	98	35
Waldstaudenroggen	Rosenau	40	42
Waldstaudenroggen	Thürnthening	82	37
Waldstaudenroggen	Wolferkofen	–	45
Waldstaudenroggen	Mittel	70	39
Sida	Ahofling	29	34
Sida	Gelchsheim	56	40
Sida	Hötzelsdorf	18	16
Sida	Rosenau	21	24
Sida	Thürnthening	40	27
Sida	Wolferkofen	–	38
Sida	Mittel	33	30

Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

1	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
2	Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
3	Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
4	Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
5	Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
6	Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
7	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
8	Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
9	Maize as Energy Crop for Combustion – Agricultural Optimisation of Fuel Supply
10	Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
11	Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
12	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
13	Getreidekörner als Brennstoff für Kleinfeuerungen – Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte
14	Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotorenkraftstoff be-

	triebenen Traktors
15	Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
16	Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
17	Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell
18	Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten
19	Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis
20	Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung
21	Kleine Biomassefeuerungen – Markt Betrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit
22	Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
23	Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
24	Charakterisierung von Holzbriketts
25	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
26	Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
27	Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen
28	Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbauszenarien
29	Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik
30	Ethanol aus Zuckerhirse – Gesamtkonzept zur nachhaltigen Nutzung von Zuckerhirse als Rohstoff für die Ethanolherstellung
31	Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Rapsölkraftstoff in Traktoren der Abgasstufen I und II
32	Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstandsuntersuchungen und Feldeinsatz auf Betrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirt-

	schaft
33	Betriebs- und Emissionsverhalten eines pflanzenöлтаuglichen Traktors mit Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl
34	Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung
35	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Projektphase 2: Langzeit- und Prüfstandsuntersuchungen
36	Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen
37	Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat
38	Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Elektrofilters für Kleinfeuerungsanlagen
39	Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung
40	Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel
41	Qualitätssicherung bei der dezentralen Herstellung von Rapsölkraftstoff nach DIN 51605
42	Weiterentwicklung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe
43	Brennstoffqualität von Holzpellets
44	Herstellung und Demonstration der Praxistauglichkeit von Traktoren mit Motoren der Abgasstufe IV im Betrieb mit Pflanzenöl
45	ExpResBio – Methoden
46	Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern
47	Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufen I bis IIIB
48	Sorghum als Biogassubstrat – Präzisierung der Anbauempfehlungen für bayेरische Anbaubedingungen
49	Zünd- und Verbrennungsverhalten alternativer Kraftstoffe
50	Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern – Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpResBio-Methode

51	Emissions- und Betriebsverhalten eines Biomethantraktors mit Zündstrahlmotor
52	Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln
53	Bioenergieträger mit Blühaspekt: Leguminosen-Getreide-Gemenge
54	Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung
55	Lagerung von Holzhackschnitzeln
56	Holzhackschnitzel aus dem Kurzumtrieb – Brennstoffqualität und Verbrennungsverhalten



ISSN 1614-1008