



Abschlussbericht

„Optimierung des Anbauverfahrens für Durchwachsene Silphie (*Silphium perfolia- tum*) als Kofermentpflanze in Biogasanlagen sowie Überführung in die landwirtschaftliche Praxis“

Gefördert von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
FKZ: 22004307

Themenblatt-Nr. 42.32.430

Langtitel: Optimierung des Anbauverfahrens für Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*) als Kofermentpflanze in Biogasanlagen sowie Überführung in die landwirtschaftliche Praxis

Kurztitel: Durchwachsene Silphie

Projekt: Effiziente und umweltgerechte Erzeugung von Bioenergie

Projektleiter: Dr. habil. Armin Vetter

Abteilung: Pflanzenproduktion und Agrarökologie

Abteilungsleiter: Dr. habil. Armin Vetter

Laufzeit: 01.05.2007 bis 18.04.2010

Auftraggeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V

Namen der Bearbeiter: Dipl. Ing. (FH) Michael Conrad
Dipl. Ing. agr. Andrea Biertümpfel

Jena, im Juli 2010

(P. Ritschel)
Präsident

(A. Vetter)
Projektleiter

Inhalt

	Seite	
1	Einleitung	3
2	Material und Methoden	4
2.1	Anbautechnische Versuche	4
2.2	Silierversuche	6
2.3	Saatgutvorbehandlung	7
2.4	Praxisanbau	7
3	Ergebnisse	8
3.1	Anbautechnische Versuche	8
3.1.1	Biomasseleistung in Abhängigkeit von Nutzungsdauer und Erntetermin	8
3.1.2	Prüfung verschiedener Herkünfte	12
3.1.3	Prüfung unterschiedlicher Arten der Silphie	17
3.1.4	Biomasseleistung russischer Silphie-Arten bzw. -Herkünfte	18
3.1.5	Prüfung unterschiedlicher Pflanzdichten	18
3.1.6	Anbau unter Deckfrucht (Pflanzvariante)	21
3.1.7	Anbau unter Deckfrucht (Aussaatvariante)	23
3.1.8	Direktsaatversuche	24
3.1.9	Untersuchungen zur optimalen Pflanz- bzw. Saatzeit	25
3.1.10	Organische und mineralische Düngung der Silphie	26
3.1.11	Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden	27
3.2	Silierversuche	31
3.3	Versuche zur Saatgutvorbehandlung	34
3.4	Praxisanbau von Durchwachsener Silphie	40
4	Ökonomische Bewertung	41
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	46

1 Einleitung

In der Energiepolitik der Europäischen Union und der Bundesrepublik kommt regenerativen Energien eine immer größere Bedeutung zu. Dies widerspiegeln das Ziel der EU, den Anteil erneuerbarer Energieträger bis zum Jahr 2010 auf 12 % und die Maßgabe der Bundesregierung diesen Anteil in Deutschland bis 2010 auf 12,5 % zu steigern. Der Anteil der erneuerbaren Energien zur Stromproduktion soll in der EU bis 2010 auf 22 % erhöht werden.

Durch die Wirkung der Ökosteuer, den Preisanstieg für fossile Energieträger und die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), das durch höhere Einspeisevergütungen für den Einsatz naturbelassener Kofermente die Biogasherstellung deutlich attraktiver gestaltet, sind die Voraussetzungen für die verstärkte Nutzung biogener Energieträger geschaffen worden. Diese Veränderungen führten in den letzten Jahren zu einem regelrechten Boom im Bereich der Biogaserzeugung.

Mit der steigenden Zahl landwirtschaftlicher Biogasanlagen und den Bestrebungen zur Entwicklung effizienter Technologien der Monofermentation wächst der Bedarf an pflanzlichen Kofermenten stetig. Gegenwärtig kommen als Kofermente vor allem Mais und Ganzpflanzengetreide zum Einsatz. Eine weitere Ausdehnung des Anbauumfangs dieser Kulturen kann in den überwiegend getreidebetonten Fruchtfolgen zu Fruchtfolgeproblemen, wie einem verstärkten Auftreten von Fusariosen und damit Mykotoxinen im Erntegut, führen. Das Selbe trifft auch für den Mais als Monokultur zu, wobei hierbei noch eine immer mangelnde Akzeptanz der Bevölkerung zu den sogenannten Maiswüsten besteht.

In dem von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) geförderten Verbundprojekt „Optimierung der Verfahrenskette der Bereitstellung und Nutzung von Energiepflanzen zur Kofermentation im Biogasreaktor“ wurde deshalb mit der Prüfung unterschiedlicher hochertragreicher Pflanzen hinsichtlich ihrer Eignung als Koferment in der Biogasanlage begonnen. Hier ist, neben Sudangras, Zuckerhirsen, Topinambur sowie Klee bzw. Luzernegrass, die Durchwachsene Silphie im Vergleich zu Mais unter unterschiedlichen Standortbedingungen geprüft worden. Neben einer „Hohertragsstrategie“ kann es für die Standorte mit geringem Wasserangebot durchaus lohnend sein, Fruchtarten mit geringen Herstellungskosten anzubauen. Dies trifft vor allem auf einschnittige mehrjährige Kulturen zu. Ist die Mehrjährigkeit noch mit hohen Erträgen gekoppelt, ergeben sich vielfältige ökonomische und ökologische Wirkungen.

Die Durchwachsene Silphie könnte eine Pflanze sein, die diesen Anforderungen entspricht. Es zeigte sich, dass die Pflanze in der Lage ist, sowohl in ertraglicher Hinsicht als auch in Bezug auf die Methanproduktion, mit Mais zu konkurrieren. Der ausdauernde Korbblütler, der als Futterpflanze versuchsweise in der ehemaligen DDR zum Anbau kam, stellt zudem eine echte Alternative zu Mais und Getreide dar. Ein starkes Interesse der Praxis an dieser „neuen“ Kultur zeigt, dass auch die Landwirte das Fruchtfolgeproblem zunehmend kritischer betrachten und von der Forschung Lösungsansätze erwarten.

Um die Durchwachsene Silphie erfolgreich in der landwirtschaftlichen Praxis zu etablieren, ist es erforderlich, das Anbauverfahren zu optimieren und die Erstverarbeitung/Silierung noch effizienter zu gestalten.

2 Material und Methoden

2.1 Anbautechnische Versuche

Versuchsstandorte

Zur Klärung offener Fragen im Anbauverfahren der Durchwachsenen Silphie unter besonderer Beachtung der Standorteignung, wurden anbautechnische Versuche an verschiedenen Versuchsstandorten Deutschlands angelegt bzw. die bereits bestehenden Versuche (Projekt: „Optimierung der Verfahrenskette der Bereitstellung und Nutzung von Energiepflanzen zur Kofermentation im Biogasreaktor“) fortgeführt. Eine Übersicht über die Versuchsstandorte einschließlich der jeweiligen Standortcharakterisierung gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Versuchsstandorte

Standort	Bodenform	Bodenart	Ackerzahl	Höhenlage (m)	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)
Dornburg (Ackerebene)	Löss-Parabraunerde	Stark toniger Schluff	46 bis 80	260	8,8	595
Heißberg (Vorgebirge)	Bergton-Staugley	Lehm-Ton	43	380	7,1	760
Straußfurt (Ackerebene)	Ton-Schwarzerde	Ton	64	185	8,5	473
Großenstein Lößhügelland	Löss-Parabraunerde	Lehm	51 bis 58	300	7,8	608
Gülzow (Grund- und Endmoränen)	Pseudogley-Braunerde	Sandiger Lehm	50 bis 58	10	8,4	559
Bingen Rheinebene	Parabraunerde	Sandiger Lehm	64	78	9,9	537
Kirchengel (Ackerebene)	Löss-Rendzina	Lehm	60 bis 65	305	7,8	568

Versuchsfragen

Die Wahl geeigneter Herkünfte, die optimale Bestandesdichte sowie die Optimierung der Bestandesetablierung hinsichtlich des optimalen Pflanz- bzw. Saatzeitpunktes, einschließlich der Prüfung der Herbizidverträglichkeit und die Untersuchung des Düngeregimes spielen im Anbauverfahren der Durchwachsenen Silphie eine entscheidende Rolle. Die bearbeiteten Versuchsfragestellungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Alle Versuche kamen in ortsüblicher Parzellengröße zwischen 10 und 15 m² in 4 Wiederholungen zur Anlage. Die Pflanzung bzw. Aussaat erfolgte in allen drei Versuchsjahren ab dem 15. Mai, die N-Düngung unter Berücksichtigung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden von 0 bis 60 cm auf einen N-Sollwert von 150 kg/ha zu Vegetationsbeginn. P, K und Mg wurden entsprechend der jährlichen Bodenuntersuchung und den Entzugswerten der Pflanze verabreicht, um die Versorgungsstufe C des Bodens zu erhalten.

Sofern in der Versuchsfrage nicht variiert, betrug der Pflanzabstand in allen Versuchen 50 x 50 cm.

Tabelle 2: Bearbeitete Versuchsfragestellungen 2007 bis 2009

Versuchsfrage	Versuchsorte	Varianten	Anlagejahr
Erntetermin/ Nutzungsdauer	Dornburg Heßberg	3 Erntetermine, 1 Herkunft	2004
	Dornburg	3 Erntetermine, 1 Herkunft	2005
Herkunftsprüfung	Dornburg	5 Herkünfte (USA, Norddeutschland, Rohrbach, Russland, Berlin)	2007
	Gülzow Bingen	4 Herkünfte (USA, Norddeutschland, Rohrbach, Russland)	2007
	Heßberg	3 Herkünfte (USA, Norddeutschland, Rohrbach)	2007
Artenvergleich	Dornburg	3 Arten (<i>S. perfoliatum</i> , <i>S. trifoliatum</i> , <i>S. laciniatum</i>)	2008
Bestandesdichte	Dornburg Großenstein	3 Pflanzvarianten (50 x 50 cm, 50 x 75 cm, 75 x 75 cm)	2007
Pflanz-/Saattermin	Dornburg	4 Pflanz- und Saattermine	2009
Anbau unter Deckfrucht	Dornburg	2 Deckfrüchte (ohne Deckfrucht, Deckfrucht Sudangras, Deckfrucht Zuckerhirse)	2007
	Dornburg	1 Deckfrucht (ohne Deckfrucht, Deckfrucht Sudangras)	2008
Aussaat	Dornburg	2 Saatgutpartien (Vorbehandlung)	2007
	Dornburg	5 Varianten der Saatgutvorbehandlung	2009
Düngung	Dornburg	3 Varianten (mineralisch, organisch, kombiniert)	2009
Herbizidverträglichkeit	Dornburg	5 Varianten bei Pflanzung	2007
	Dornburg	5 Varianten bei Aussaat	2008 und 2009
	Kirchengel/ VF Straußfurt	8 Varianten bei Pflanzung	2007 und 2008
	Kirchengel	8 Varianten bei Aussaat	2009

Witterungsverlauf

Die drei Versuchsjahre unterschieden sich bezüglich ihres Witterungsverlaufs deutlich voneinander. Insbesondere das Jahr 2007 war, mit Ausnahme des Standortes Bingen, durch hohe Niederschläge während der Vegetation gekennzeichnet (Tab. 3), was sich sehr günstig auf die Bestandesetablierung der im ersten Projektjahr angelegten Versuche auswirkte. Die im April vorherrschende Trockenheit spielte keine Rolle, da die Pflanzung erst ab Mitte Mai erfolgte. Die Niederschlagsverteilung des Jahres 2008 entsprach fast dem langjährigen Mittel. Die Trockenheit im Mai im Osten Deutschlands wirkte sich nach dem feuchten April nicht negativ auf die Entwicklung der Bestände aus. In 2009 entsprachen die Jahresniederschläge an den Standorten Gülzow, Heßberg und Bingen annähernd dem langjährigen Mittel, in Dornburg und Großenstein lagen sie ca. 10 % darüber. Ein extrem trockenes Jahr, in dem die Trockentoleranz der Silphie nachhaltig hätte geprüft werden können, trat während der Projektlaufzeit somit nicht auf.

Tabelle 3: Niederschlagsverteilung der Jahre 2007 bis 2009 im Vergleich zum langjährigen Mittel
VS Dornburg, Heßberg, Großenstein, Bingen, Gülzow

Mo- nat	Dornburg				Heßberg				Großenstein				Bingen				Gülzow			
	\bar{x}	07	08	09	\bar{x}	07	08	09	\bar{x}	07	08	09	\bar{x}	07	08	09	\bar{x}	07	08	09
Jan.	33	47	31	14	59	123	61	20	37	34	37	7	38	29	29	29	37	90	57	19
Feb.	32	32	24	60	51	74	46	54	29	32	20	42	34	49	35	30	28	46	28	32
März	42	52	52	58	50	52	97	77	35	49	38	53	38	49	62	34	37	37	77	49
April	50	5	104	66	54	2	102	69	52	4	88	51	38	0	31	35	37	2	46	11
Mai	57	128	16	64	60	102	5	72	64	88	10	84	51	61	39	52	49	80	13	81
Juni	73	92	63	46	77	98	52	79	80	115	48	90	59	37	80	89	70	154	40	64
Juli	66	104	56	78	78	151	69	82	74	99	60	82	56	73	73	65	60	94	36	82
Aug.	68	73	58	22	79	50	56	20	68	115	39	48	53	42	49	13	61	170	45	30
Sept.	44	155	53	60	59	107	86	77	48	131	54	57	40	50	27	33	52	66	19	25
Okt.	42	19	62	58	54	16	84	67	46	16	63	78	42	5	37	28	41	38	59	81
Nov.	46	70	22	88	62	90	34	93	37	59	18	64	49	30	15	84	41	36	48	84
Dez.	42	40	56	90	77	63	60	95	38	28	42	79	39	32	27	65	46	49	50	18
Σ	595	816	597	705	760	927	752	802	608	770	517	733	537	457	504	567	559	862	518	576

Hinsichtlich der Jahresdurchschnittstemperaturen fielen alle Versuchsjahre im Vergleich zum langjährigen Mittel an allen Standorten zu warm aus. Dabei lagen die Temperaturen während der Vegetation 2007 und 2008 durchaus im Bereich der üblichen Werte, die Wintermonate dagegen deutlich darüber (Tab. 4). Das Jahr 2009 hingegen kennzeichneten ein kalter Winter mit Kahlfrösten von teilweise unter $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Januar und überdurchschnittlich hohe Temperaturen während der Vegetation. Hinweise zur Winterhärte der Silphie bzw. einzelner Herkünfte kann also nur der Winter 2008/2009 liefern. Trotz der extrem niedrigen Temperaturen von z. T. unter $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ waren an keinem der Versuchsstandorte Schäden an den Pflanzen zu beobachten und die Bestände trieben ab Mitte März vollständig aus.

Tabelle 4: Monatsmitteltemperaturen der Jahre 2007 bis 2009 im Vergleich zum langjährigen Mittel
VS Dornburg, Heßberg, Großenstein, Bingen, Gülzow

Monat	Dornburg				Heßberg				Großenstein				Bingen				Gülzow			
	\bar{x}	07	08	09	\bar{x}	07	08	09	\bar{x}	07	08	09	\bar{x}	07	08	09	\bar{x}	07	08	09
Jan.	-0,2	4,7	4,1	-3,4	-1,9	3,5	2,4	-5,1	-1,3	4,7	3,9	-3,0	1,2	6,6	4,9	-2,0	0,1	5,0	3,8	-0,5
Feb.	0,9	4,0	3,4	0,2	-0,8	3,2	2,2	-1,1	-0,6	4,1	4,2	0,4	2,3	5,8	4,3	3,0	0,5	2,9	4,5	0,7
März	4,2	6,0	4,3	4,1	2,4	4,7	3,4	2,8	2,8	6,1	4,5	4,4	5,6	7,5	6,4	6,2	3,5	6,9	4,5	5,0
April	7,9	10,6	7,4	11,6	6,5	10,1	6,6	11,0	7,0	10,8	7,9	12,3	9,4	13,5	9,2	13,9	7,3	10,4	7,9	11,8
Mai	12,8	14,5	14,2	13,5	11,2	13,3	13,9	12,9	11,6	15,1	14,6	14,0	13,9	15,8	16,9	15,8	12,3	14,0	14,0	13,2
Juni	16,0	17,9	17,1	14,3	14,8	16,8	16,5	13,9	15,3	18,6	17,9	14,9	17,0	19,0	18,8	18,8	15,3	17,3	17,0	14,7
Juli	17,8	17,8	18,4	18,2	16,0	16,1	17,4	16,7	16,7	18,7	19,3	19,1	18,6	18,6	19,6	19,5	17,4	17,0	19,0	18,9
Aug.	17,7	16,9	17,9	18,9	15,2	15,6	16,4	17,2	16,3	17,9	19,1	19,9	18,1	18,4	18,9	20,2	17,1	17,6	18,4	19,1
Sept.	14,0	12,5	11,8	14,3	12,0	10,9	11,0	13,8	13,2	13	13,0	15,4	14,7	14,1	13,3	16,2	13,4	13,5	13,5	15,2
Okt.	9,6	7,8	8,9	7,6	7,6	6,9	7,4	7,1	8,6	8,4	9,7	7,6	10,0	10,2	9,8	9,9	9,0	8,5	9,8	7,9
Nov.	4,2	3,4	4,7	7,5	2,8	2,0	3,6	6,2	3,7	3,4	5,1	7,3	5,1	5,0	6,5	8,2	4,2	4,5	6,1	7,4
Dez.	0,9	1,2	0,3	-0,3	0,4	0,3	-0,5	-0,5	0,4	1,3	0,5	-0,7	4,6	2,5	2,3	1,7	1,4	2,8	2,4	0,2
\bar{x}	8,8	9,8	9,4	8,9	7,1	8,7	8,4	7,9	7,8	10,2	10,0	9,3	9,9	11,4	10,9	11,0	8,4	10,0	10,1	9,5

2.2 Silierversuche

Eine weitere im Projekt zu bearbeitende und 2007 bereits begonnene Fragestellung ist die Optimierung der Silierung hinsichtlich der Gas- und Methanausbeute. In 2008 wurde das

Spektrum der eingesetzten Siliermittel deutlich erweitert und außerdem der Einsatz von Propionsäure als Aufschlussmittel für Lignin in die Prüfung einbezogen.

Für die Durchführung der Silierversuche sind die im Jahr 2005 angelegten Versuche mit einer norddeutschen Herkunft genutzt worden. Es kamen zu jedem der drei Erntetermine acht unterschiedliche Silierhilfsmittel jeweils mit und ohne Propionsäure sowie eine Variante ohne Hilfsmittel (Kontrolle) zur Anwendung.

Da unabhängig vom verwendeten Siliermittel keine Unterschiede in der Silagequalität auftraten, wurde in 2009 die Fragestellung der Versuche variiert. So erfolgte eine Umstellung von den bisher verwendeten 1 l-Weckgläsern auf praxisnahe Versuchsschläuche. Zur Silierung kamen 2009 alle geprüften Herkünfte unter Verwendung eines Standardsiliermittels. Die so hergestellten Silagen wurden in Gärversuchen im Hohenheimer Biogasertragstest auf ihre Biogas- und Methanausbeute untersucht.

2.3 Saatgutvorbehandlung

Da die Durchwachsene Silphie ein Kalt- bzw. Wechselkeimer ist und das Saatgut für die Keimung längere Perioden mit Wechseltemperaturen benötigt, kann es bei der Aussaat zu Auflaufverzögerungen kommen. Deshalb sind die Versuche 2007 einschließlich des Praxisanbaus nahezu ausschließlich durch Pflanzung etabliert worden.

Für eine Einführung in die landwirtschaftliche Praxis ist es unabdingbar, zum einen die Jungpflanzenanzucht zu optimieren, zum anderen direktsaattaugliches Saatgut zu erzeugen. Dies wird im Projekt durch die N. L. Chrestensen Samenzucht und Produktion GmbH Erfurt übernommen.

Nach verschiedenen Vorversuchen und der Testung der Varianten im Keimlabor bzw. unter Gewächshausbedingungen ist eine größere Saatgutpartie mit 0,4 %iger Gibberelinlösung behandelt und hinsichtlich ihrer Eignung unter Feldbedingungen geprüft worden. Bei der Drillsaat stellten sich die relativ schlechten Fließigenschaften des Saatgutes vor allem bezüglich der Ablagegenauigkeit als problematisch dar. Deshalb konzentrierten sich die Versuche 2008 auf die Verbesserung der Fließigenschaften. Hierzu wurde in Abstimmung mit einer auf Saatgutvorbehandlungen spezialisierten Firma das Saatgutcoating als Variante ausgewählt. Pillierung kam aufgrund der dazu erforderlichen dicken Hüllschicht und der Samengröße der Silphie nicht in Betracht. Diese Versuche sind 2009 intensiviert worden.

2.4 Praxisanbau

Im Mai 2007 kamen in der Pahren Agrar GmbH & Co. KG 0,6 ha und im September 0,1 ha Durchwachsene Silphie zur Pflanzung. Das landwirtschaftliche Unternehmen befindet sich im Vorgebirge in einer Höhenlage von 400 m ü. NN. Der Untergrund ist ein Schieferwitterungsboden (sandiger Lehm) mit einer Ackerzahl von 40. Mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 7,0 °C und mittleren Niederschlägen von 640 mm gehört Pahren zu den kühlen, mäßig feuchten Standorten.

Im Jahr 2008 erfolgten die separate Ernte der im Mai gepflanzten Silphie mit dem Häcksler und die anschließende Silierung. Der im Herbst gepflanzte Bestand bildete 2008 noch kei-

nen erntewürdigen Bestand und wurde 2009 erstmals beerntet. Zukünftig ist eine Erweiterung der Anbaufläche im Betrieb vorgesehen.

Insgesamt sind während der Projektlaufzeit in der landwirtschaftlichen Praxis ca. 25 ha Durchwachsene Silphie deutschlandweit etabliert worden. Dieser Anbau reicht von Schau-parzellen (100 bis 2.000 Pflanzen), die zum Beispiel durch Landwirtschaftsunternehmen, wissenschaftliche Einrichtungen und Züchterhäuser angelegt wurden bis hin zum Praxisanbau von 4 ha in der „Agrarprodukte Ludwigshof“ e. G. Ranis. Im Jahr 2010 wird die Anbaufläche deutschlandweit auf 50 ha erweitert. Zu den Anbauern gehören auch Energiekonzerne wie RWE und Vattenfall.

3 Ergebnisse

3.1 Anbautechnische Versuche

3.1.1 Biomasseleistung in Abhängigkeit von Nutzungsdauer und Erntetermin

In allen drei Versuchsjahren wurden die im Projekt „Optimierung der Verfahrenskette der Bereitstellung und Nutzung von Energiepflanzen zur Kofermentation im Biogasreaktor“ im Jahr 2004 in Dornburg und Heßberg angelegten Versuche mit einer nordamerikanischen Herkunft zu jeweils drei Ernteterminen beerntet (Tab. 5). Während in Dornburg die lt. Versuchsplan erforderlichen TS-Gehalte in der Regel von Mitte August bis Ende September vorlagen, zog sich die Ernte am kälteren Standort Heßberg mitunter bis in den Oktober hinein.

Tabelle 5: Erntetermine von Durchwachsener Silphie (Herkunft Nordamerika), VS Dornburg und Heßberg 2005 bis 2009

Variante	Erntetermin									
	Dornburg					Heßberg				
	2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009
1	25.08.	21.08.	04.09.	07.08.	27.08.	15.09.	07.09.	05.09.	27.08.	07.09.
2	07.09.	06.09.	13.09.	18.08.	09.09.	28.09.	18.09.	17.09.	15.09.	17.09.
3	13.09.	15.09.	24.09.	27.08.	18.09.	11.10.	27.09.	01.10.	08.10.	28.09.

In Dornburg erreichten die Pflanzen über alle fünf Erntejahre Wuchshöhen von über 250 cm bei guter Standfestigkeit. In Heßberg dagegen waren die Pflanzen 2008 deutlich niedriger als in den Vorjahren, was möglicherweise auf die trockene Witterung im Mai/Juni und die damit verbundene schlechte Nährstoffverfügbarkeit zurückzuführen ist. 2009 hingegen waren die Wachstumsbedingungen ideal und die Pflanzen erreichten wieder Wuchshöhen von fast 300 cm (Tab. 6).

Tabelle 6: Wuchshöhe von Durchwachsener Silphie (Herkunft Nordamerika) in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg und Heßberg 2005 bis 2009

Variante	Wuchshöhe (cm)									
	Dornburg					Heßberg				
	2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009
1	247	293	231	274	280	177	276	266	198	286
2	255	280	262	287	301	177	275	262	170	287
3	259	281	275	290	326	180	272	266	177	279
GD t, 5 %	20,1	9,9	20,7	9,3	21,8	5,8	3,3	6,5	20,1	6,7

Die Erträge 2008 und 2009 lagen in Dornburg leicht über dem Niveau der beiden Vorjahre und damit im Bereich des Jahres 2005. Wie bereits die Wuchshöhe vermuten ließ, sank in Heßberg der Ertrag 2008 im Vergleich zu den Vorjahren deutlich ab und bewegte sich erstmals unter den Dornburger Ernteergebnissen. In 2009 stieg der Biomasseertrag analog den Wuchshöhen wieder an und lag ca. 10 % über den Dornburger Ernteergebnissen (Tab. 7 und Abb. 1). Eine Abhängigkeit des TM-Ertrages vom Erntetermin war an keinem der Orte erkennbar.

Tabelle 7: TM-Ertrag von Durchwachsener Silphie (Herkunft Nordamerika) in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg und Heßberg 2005 bis 2009

Variante	TM-Ertrag (dt/ha)									
	Dornburg					Heßberg				
	2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009
1	188,6	157,9	146,2	228,7	161,6	184,3	292,2	245,6	89,7	264,0
2	228,9	177,3	156,2	188,0	219,8	139,2	234,7	169,1	110,1	203,1
3	204,5	202,4	191,4	163,2	201,0	176,0	274,8	185,7	98,6	206,7
\bar{x}	207,3	179,2	164,6	193,3	194,1	166,5	267,2	200,1	99,5	224,6
GD t, 5 %	19,6	22,7	26,7	34,2	34,1	25,8	28,9	38,4	12,9	32,1

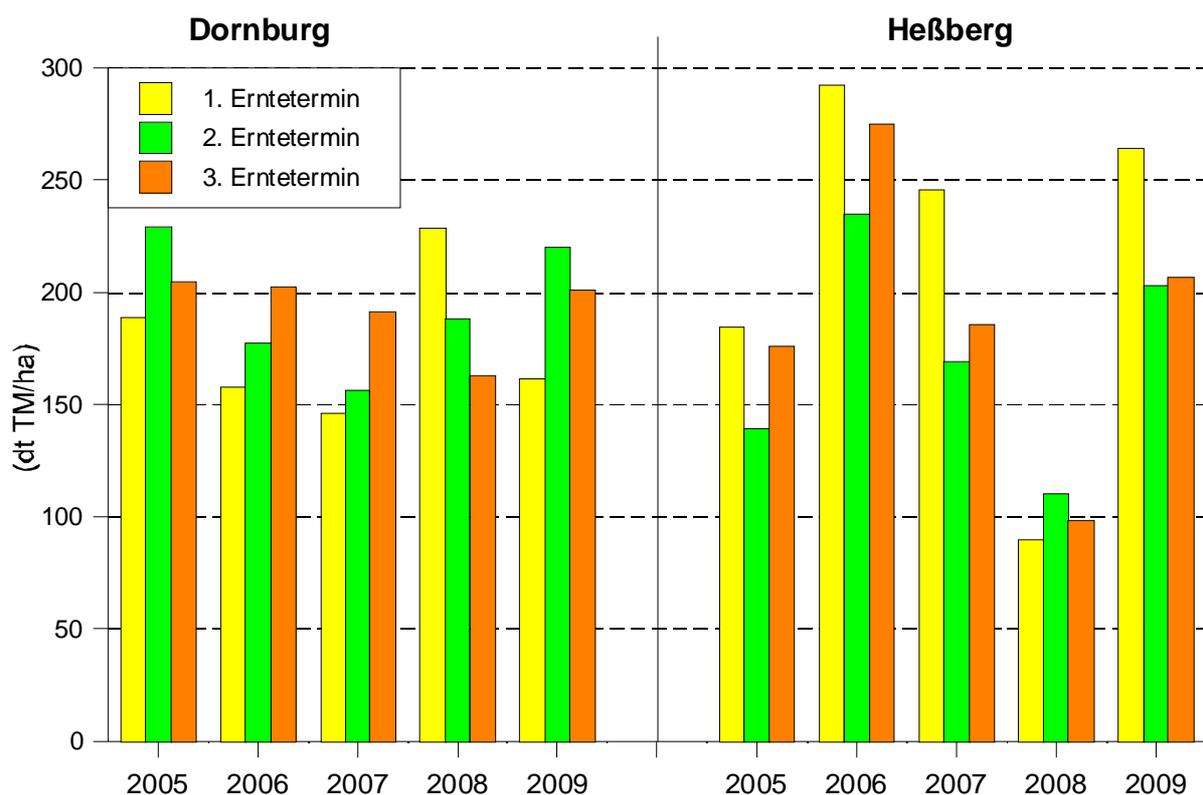


Abbildung 1: Trockenmasseertrag von Durchwachsener Silphie in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg und Heßberg 2005 bis 2009

In Dornburg bereitete die Einhaltung der für eine sichere Silierung erforderlichen TS-Gehalte keine Probleme. In Heßberg dagegen wurden 2007 und 2008 trotz der sehr späten Ernte beim 3. Erntetermin nur knapp ca. 25 % TS erreicht (Tab. 8). In diesem Zeitraum herrschten, wie auch im Vorjahr, permanent feuchte Bedingungen, so dass die Bestände

nicht mehr vollständig abtrockneten. 2009 lagen die TS-Gehalte über dem für diese Region durchschnittlichen Maß und erreichten bereits beim 1. und 2. Erntetermin die erforderliche TS. Beim 3. Erntetermin war die TS mit 34,3 % sogar etwas zu hoch.

Tabelle 8: TS-Gehalt von Durchwachsener Silphie (Herkunft Nordamerika) in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg und Heßberg 2005 bis 2009

Variante	TS-Gehalt (%)									
	Dornburg					Heßberg				
	2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009
1	25,0	25,4	26,8	24,6	26,8	22,8	23,6	24,0	24,4	27,1
2	30,9	24,7	26,2	27,4	22,8	24,9	27,2	24,4	25,6	28,4
3	27,7	33,4	29,4	29,7	27,8	31,5	27,4	24,8	25,4	34,3

Im Erntegut des Versuches wurden die für die Biogas- bzw. Methanbildung relevanten Inhaltsstoffe untersucht und der theoretische Methangehalt sowie Methanertrag berechnet (Tab. 9 und 10).

Tabelle 9: Theoretischer Methangehalt von Durchwachsener Silphie (Herkunft Nordamerika) in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg und Heßberg 2007 bis 2009

Variante	Methangehalt (l/kg oTS)					
	Dornburg			Heßberg		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009
1	314,8	317,5	317,3	325,5	325,0	314,1
2	320,9	320,6	319,8	323,0	312,0	307,6
3	316,5	320,5	323,7	318,2	312,0	305,9
GD t, 5 %	n. b.	3,4	4,1	n. b.	n. b.	n. b.

Tabelle 10: Theoretischer Methanertrag (m³/ha) von Durchwachsener Silphie (Herkunft Nordamerika) in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg und Heßberg 2007 bis 2009

Variante	Methanertrag (m ³ /ha)					
	Dornburg			Heßberg		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009
1	4.669	5.968	5.129	7.994	3.204	8.470
2	5.000	7.331	7.027	5.462	3.075	6.288
3	6.074	5.232	6.502	5.900	3.075	6.310
GD t, 5 %	n. b.	1.077	1.109	n. b.	n. b.	n. b.

Aufgrund der nahezu gleichbleibenden Methangehalte zu den drei Ernteterminen verlief der Methanertrag weitgehend parallel zum Biomasseertrag, so dass die ertragreichsten Probeernten auch die höchsten Methanerträge je Flächeneinheit realisierten.

Neben den o. g. Versuchen kam außerdem ein im Jahr 2005 mit einer Herkunft aus Norddeutschland in Dornburg angelegter Versuch 2009 zum vierten Mal zur Ernte. Auch hier wurde in Abhängigkeit vom TS-Gehalt zu drei unterschiedlichen Terminen geerntet. Die Wuchshöhen der norddeutschen Herkunft waren bei gleichem Erntetermin in allen Jahren geringer als die der vorab beschriebenen nordamerikanischen Silphie (Tab. 11). Ähnlich verhielten sich auch die Erträge, mit Ausnahme des Jahres 2007 (Tab. 12, Abb. 2), wenngleich die absolute Ertragshöhe der hier beschriebenen Herkunft in der Regel ebenfalls über dem Ertrag von Silomais in Dornburg lag. Eine Abhängigkeit des Ertrages vom Erntetermin war auch bei dieser Herkunft nicht erkennbar. Die Einhaltung der optimalen TS-

Gehalte stellte kein Problem dar. Der niedrige TS-Gehalt zum letzten Erntetermin 2009 resultiert aus anhaltend feuchten Witterungsbedingungen während der Ernteperiode.

Tabelle 11: Erntetermin und Wuchshöhe von Durchwachsener Silphie (Herkunft Norddeutschland, VS Dornburg 2006 bis 2009)

Variante	Erntetermin				Wuchshöhe (cm)			
	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009
1	21.08.	04.09.	07.08.	27.08.	230	259	248	294
2	06.09.	13.09.	18.08.	09.09.	260	281	253	308
3	15.09.	24.09.	27.08.	17.09.	280	257	255	293
GD t, 5 %					22,3	17,1	7,0	15,2

Tabelle 12: TS-Gehalt und TM-Ertrag von Durchwachsener Silphie (Herkunft Norddeutschland) in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg 2006 bis 2009

Variante	TS-Gehalt (%)				TM-Ertrag (dt/ha)			
	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009
1	26,7	26,2	26,8	26,5	133,6	202,1	169,2	254,6
2	30,1	26,2	29,2	27,3	156,2	204,2	186,6	226,1
3	31,6	34,2	30,8	25,9	164,3	184,1	179,3	166,5
\bar{x}					151,4	196,8	178,4	215,7
GD t, 5 %					29,7	30,3	12,4	42,8

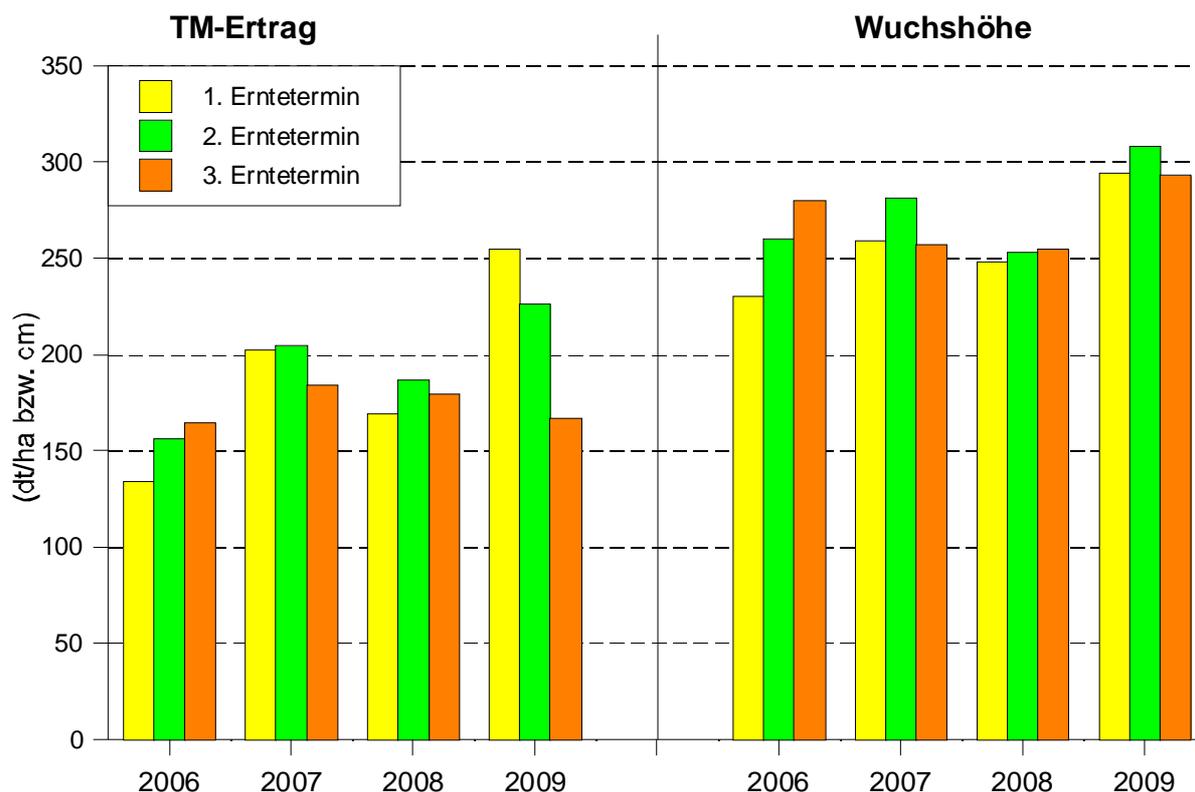


Abbildung 2: Ertrag (dt TM/ha) und Wuchshöhe (cm) von Durchwachsener Silphie in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg 2006 bis 2009

Das Erntegut dieses Versuchs wurde ebenfalls auf die für die Biogas- bzw. Methanbildung relevanten Inhaltsstoffe untersucht (Tab. 13).

Tabelle 13: Theoretischer Methangehalt und –ertrag von Durchwachsener Silphie (Herkunft Norddeutschland) in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg 2007 und 2009

Variante	Methangehalt (l/kg oTS)			Methanertrag (m ³ /ha)		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009
1	312,8	321,1	322,6	6.511	5.991	8.212
2	321,0	321,3	318,8	6.533	5.436	7.208
3	317,0	322,0	355,6	5.781	5.776	5.794
GD t, 5 %	n. b.	32,2	37,9	n. b.	700	1.118

Das Ergebnis der Untersuchungen lag auf ähnlichem Niveau wie bei der vorab beschriebenen Herkunft. Auch hier traten in der Regel zwischen den einzelnen Ernteterminen keine Unterschiede im Methangehalt auf. So folgte auch hier der Methanertrag je Flächeneinheit weitgehend den Biomasserträgen. Eine Ausnahme bildete lediglich die letzte Ernte 2009. Eine Ursache für den hohen Methangehalt konnte aber nicht festgestellt werden.

Eine grundlegende Empfehlung zur Vorzüglichkeit einer der beiden Herkünfte ist auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse nicht möglich.

3.1.2 Prüfung verschiedener Herkünfte

Entsprechend der je Herkunft vorhandenen Pflanzenzahl kam die Herkunftsprüfung in den vier Versuchsorten mit 5, 4 bzw. 3 Varianten in einem Pflanzabstand von 50 x 50 cm in der 2. Maihälfte 2007 zur Anlage. Die Pflanzen wuchsen an allen Standorten gut an. Mängel im Stand waren im Herbst des Anpflanzjahres kaum festzustellen, was die Boniturnoten von 1 bis 2 an allen Standorten für alle Herkünfte belegen. Auch nach dem Winter 2008/2009 mit starken Kahlfrösten traten keine Ausfälle auf. Die Pflanzen begannen jeweils im Mai zu schossen und bildeten ausgeglichene Bestände, die in Dornburg und Bingen 2008 sowie in Dornburg und Heßberg 2009 sehr hohe Erträge erbrachten (Tab. 14). Das Ertragsniveau der Standorte Gülzow und Heßberg lag 2008 auf etwas niedrigerem Niveau, was in Heßberg möglicherweise, wie vorab beschrieben, an den Witterungsverhältnissen in der Hauptwachstumsphase im Mai/Juni lag. Die im Vergleich in Gülzow geringer ausgefallenen Erträge sind wahrscheinlich dem stetig wehenden Wind an diesem Standort zu schulden. Die Pflanzen hatten keine Möglichkeit in den Bechern Tauwasser zu sammeln und die Blätter sahen welk aus.

Tabelle 14: TM-Ertrag (dt/ha) unterschiedlicher Herkünfte der Durchwachsenen Silphie, VS Dornburg, VS Gülzow, VS Bingen und VS Heßberg 2008 und 2009

Herkunft	2008				2009			
	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg
USA	197,8	82,7	162,0	120,8	221,9	114,4	126,3	213,4
Norddeutschl.	210,3	124,9	170,2	134,5	216,5	162,6	144,2	247,4
Rohrbach	204,4	103,6	166,8	132,8	254,0	121,2	131,6	182,8
Russland	190,1	85,4	214,5	-	280,6	131,9	163,7	-
Berlin	194,5	-	-	-	199,6	-	-	-
GD t, 5 %	27,9	20,9	25,5	10,1	43,5	28,2	6,5	40,0

Die Erntetermine und auch die TS-Gehalte zur Ernte an den einzelnen Standorten variierten relativ stark (Tab. 15 und 16). In Dornburg wurde 2008 bereits Ende August geerntet, trotzdem lagen die TS-Gehalte im optimalen Bereich. Mit einem Erntetermin Anfang Sep-

tember folgte der Standort Gülzow. Hier deuten die TS-Gehalte an, dass der optimale Erntetermin noch nicht erreicht war und gegebenenfalls noch ein Biomassezuwachs möglich gewesen wäre. In Bingen und Heßberg erfolgte die Ernte Ende September. Zu diesem Termin war in Bingen der TS-Gehalt für eine sichere Silierung teilweise bereits leicht überschritten, in Heßberg dagegen noch nicht erreicht, was die klimatischen Unterschiede der beiden Standorte unterstreicht. In 2009 wurde in Bingen bereits 4 Wochen früher als 2008 geerntet, in Dornburg dagegen ca. 4 Wochen später. Trotzdem gelang es im 2. Erntejahr an allen Standorten weitgehend, im optimalen TS-Bereich zu ernten. Die großen Unterschiede im Erntedatum unterstreichen aber gleichzeitig die Notwendigkeit, bei dieser neuen Kultur entsprechend der Jahreswitterung TS-bezogen zu ernten und sich nicht zu stark am Datum zu orientieren.

Tabelle 15: Erntetermin unterschiedlicher Herkünfte der Durchwachsenen Silphie, VS Dornburg, VS Gülzow, VS Bingen und VS Heßberg 2008 und 2009

Herkunft	2008				2009			
	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg
USA	27.08.	02.09.	29.09.	29.09.	23.09.	08.09.	03.09.	02.10.
Norddeut schl.	27.08.	02.09.	29.09.	29.09.	23.09.	08.09.	03.09.	02.10.
Rohrbach	27.08.	02.09.	29.09.	29.09.	23.09.	08.09.	03.09.	02.10.
Russland	27.08.	02.09.	29.09.	-	23.09.	08.09.	03.09.	-
Berlin	27.08.	-	-	-	23.09.	-	-	-

Tabelle 16: TS-Gehalt (%) unterschiedlicher Herkünfte der Durchwachsenen Silphie, VS Dornburg, VS Gülzow, VS Bingen und VS Heßberg 2008 und 2009

Herkunft	2008				2009			
	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg
USA	28,3	25,2	33,6	22,4	28,6	32,1	31,6	24,6
Norddeut schl.	28,2	25,6	35,1	23,4	29,4	34,9	32,3	29,8
Rohrbach	28,2	26,6	33,3	21,8	30,3	31,9	31,8	24,9
Russland	26,6	25,8	32,5	-	29,6	33,7	30,6	-
Berlin	28,0	-	-	-	29,4	-	-	-

Die Wuchshöhen der einzelnen Herkünfte waren untereinander relativ einheitlich, unterschieden sich standortabhängig aber sehr stark. Generell ist aber eine Zunahme der Höhen von 2008 zu 2009 zu verzeichnen (Tab. 17). Eine leichte Zunahme der Wuchshöhe vom ersten zum zweiten Erntejahr hin war bisher in allen Versuchen zu verzeichnen und liegt möglicherweise an der besseren Etablierung der Bestände mit zunehmendem Alter.

Tabelle 17: Wuchshöhe (cm) von unterschiedlichen Herkünften der Durchwachsenen Silphie, VS Dornburg, VS Gülzow, VS Bingen und VS Heßberg 2008 und 2009

Herkunft	2008				2009			
	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg
USA	266	156	213	219	328	207	302	285
Norddeut schl.	260	167	215	223	315	214	296	291
Rohrbach	263	153	220	225	332	204	307	290
Russland	256	158	223	-	340	210	322	-
Berlin	256	-	-	-	322	-	-	-
GD t, 5 %	15,5	13,9	n. b.	40,5	14,8	16,6	17,5	12,4

Die Ertragsunterschiede zwischen den Herkünften folgten an den unterschiedlichen Standorten keinem einheitlichen Muster. So war beispielsweise in Gülzow die Herkunft aus

Norddeutschland den anderen signifikant überlegen, in Bingen schnitt die russische Herkunft am besten ab. In Dornburg und Heßberg traten 2008 keine signifikanten Ertragsunterschiede auf (Tab. 14, Abb. 3).

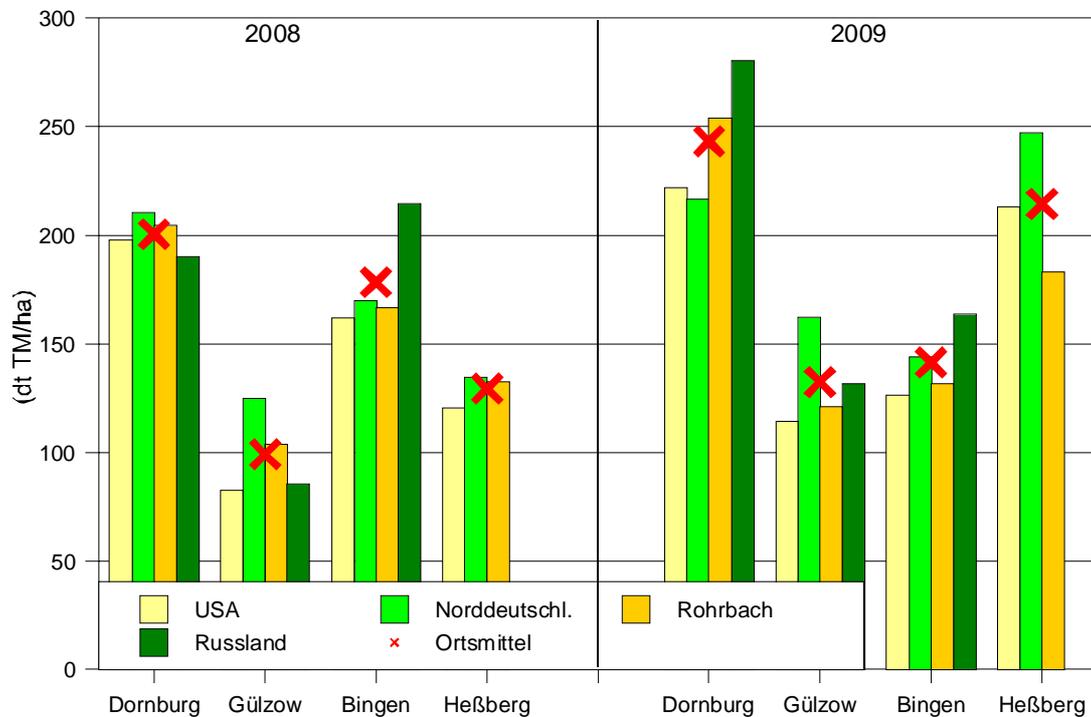


Abbildung 3: TM-Ertrag unterschiedlicher Herkünfte der Durchwachsenen Silphie im ersten und zweiten Ertragsjahr in Abhängigkeit vom Standort

In 2009 brachte in Dornburg und Bingen die russische, in Heßberg und Gülzow dagegen die norddeutsche Herkunft die höchsten Erträge, wobei die Ertragsunterschiede teilweise signifikant waren. Ob die beobachteten Ertragsunterschiede auf eine unterschiedliche Standorteignung hindeuten, muss jedoch die Weiterführung des Versuches zeigen.

Insgesamt ist einzuschätzen, dass sich die Herkünfte an den unterschiedlichen Standorten gut etabliert haben und sowohl 2008 als auch 2009 zufriedenstellende Erträge erzielten, wobei die am jeweiligen Standort beste Herkunft immer im Bereich bzw. über dem Mittel des entsprechenden Silomaisertrages lag (Abb. 4).

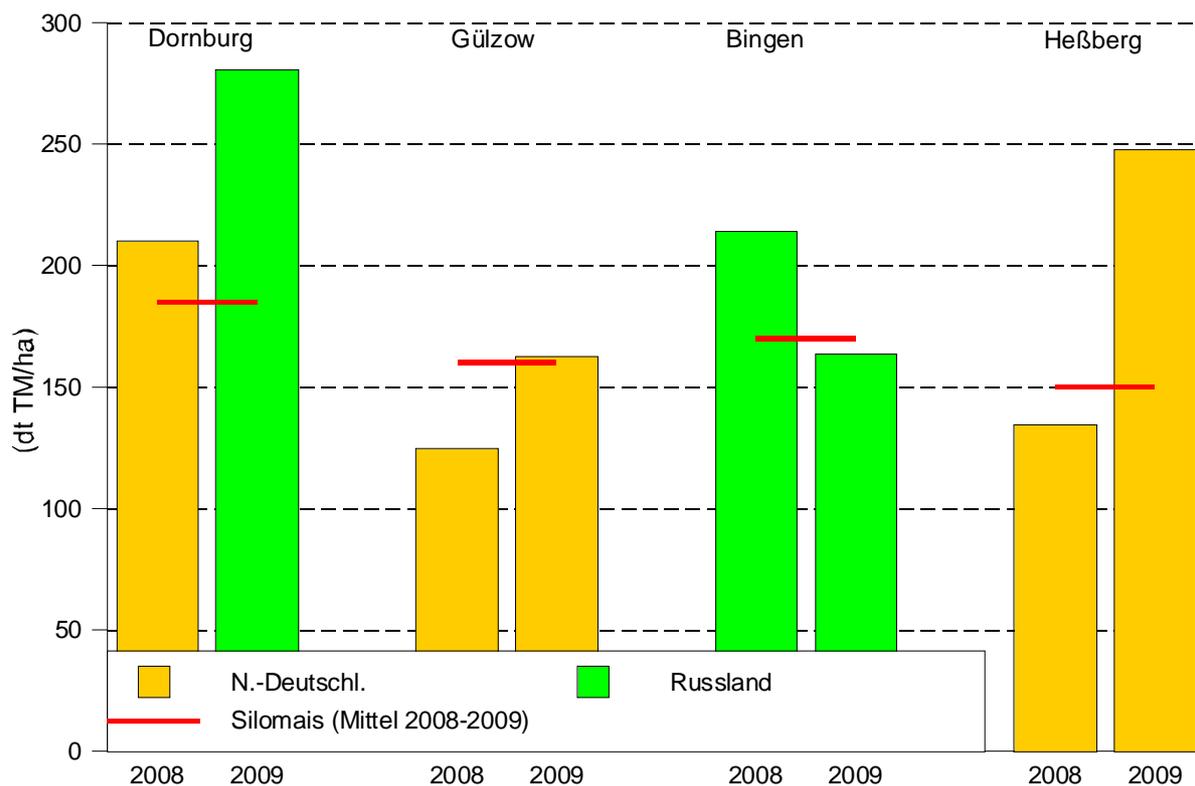


Abbildung 4: TM-Ertrag der jeweils besten Herkunft im Vergleich zum Silomais, VS Dornburg, VS Gülzow, VS Bingen und VS Heßberg 2008 und 2009

Das Erntegut der Versuche kam zur Inhaltsstoffanalyse ins Labor, um den theoretischen Methangehalt errechnen zu können (Tab. 18).

Tabelle 18: Theoretischer Methangehalt (l/kg oTS) von unterschiedlichen Herkünften der Durchwachsenen Silphie, VS Dornburg, VS Gülzow, VS Bingen und VS Heßberg 2008 und 2009

Herkunft	2008				2009			
	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg
USA	324,9	332,7	321,8	332,0	321,6	323,6	322,0	318,9
Norddeutschl.	322,7	329,8	326,5	332,0	321,3	324,8	323,5	320,5
Rohrbach	326,4	331,7	326,5	332,0	317,2	323,5	323,7	319,6
Russland	320,7	329,3	324,3	-	321,7	325,5	323,0	-
Berlin	326,7	-	-	-	321,4	-	-	-
GD t, 5 %	3,0	1,8	n. b.	n. b.	9,5	2,6	n. b.	3,0

Bezüglich der theoretischen Methangehalte traten zwischen den Standorten keine wesentlichen Unterschiede auf, auch die Herkünfte unterschieden sich nicht voneinander. Mit Werten zwischen 320 und 333 l/kg oTS lagen die Methangehalte auf dem Niveau der vorab beschriebenen Versuche und somit im Bereich des Silomaises.

Insgesamt ist festzustellen, dass, aufgrund der ähnlichen Methangehalte, die Gaserträge je Hektar den Biomasseerträgen folgten, so dass die ertragreichsten Herkünfte aus Norddeutschland in Heßberg und Gülzow sowie aus Russland in Dornburg und Bingen die höchsten theoretischen Methanerträge je Flächeneinheit aufwiesen (Tab. 19).

Tabelle 19: Theoretischer Methanertrag (m³/ha) unterschiedlicher Herkünfte der Durchwachsenen Silphie VS Dornburg, VS Gülzow, VS Bingen und VS Heßberg 2008 und 2009

Herkunft	2008				2009			
	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg	Dornburg	Gülzow	Bingen	Heßberg
USA	6.424	2.754	5.471	4.461	7.137	3.703	4.067	6.802
Norddeutschl.	6.787	4.119	5.453	4.409	6.956	5.286	4.667	7.928
Rohrbach	6.668	3.435	5.453	4.409	8.038	3.924	4.263	5.841
Russland	6.098	2.812	6.940	-	9.030	4.296	5.289	-
Berlin	6.354	-	-	-	6.413	-	-	-
GD t, 5 %	906	690	n. b.	n. b.	1.390	932	n. b.	1.268

Proben der in Dornburg angebauten Herkünfte wurden in Schläuchen einsiliert und die Silage nach 90 Tagen im Hohenheimer Biogasertragstest auf ihr Biogas- und Methanbildungsvermögen untersucht (Tab. 20).

Tabelle 20: Biogas- und Methangehalt von unterschiedlichen Herkünften der Durchwachsenen Silphie, Dornburg 2009 (HBT)

Herkunft	Biogasgehalt (l/kg oTS)	Methangehalt (l/kg oTS)
USA	497	281
Norddeutschland	496	280
Rohrbach	511	289
Russland	457	258
Berlin	448	253

Beim Vergleich der aus den Silagen theoretisch ermittelten Methangehalte mit den aus dem Pflanzenmaterial bestimmten Werten fällt auf, dass kaum Unterschiede auftreten und beide Ergebnisse deutlich über den im Batchtest ermittelten Methanausbeuten liegen (Abb. 5).

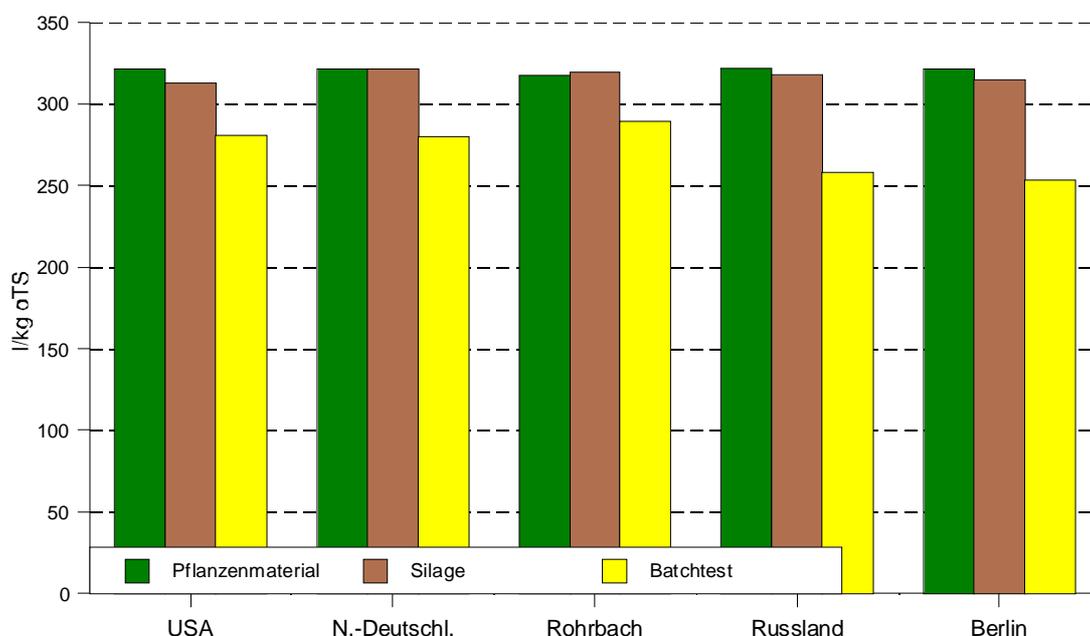


Abbildung 5: Vergleich der aus Pflanzenmaterial und Silage errechneten Methangehalte mit den im Hohenheimer Biogasertragstest ermittelten Werten, VS Dornburg 2009

Um Ursachen hierfür zu finden und die Ergebnisse weiter zu untersetzen, müssen die Versuche fortgeführt und insbesondere die Untersuchungen im Hohenheimer Biogasertrags-test intensiviert werden.

3.1.3 Prüfung unterschiedlicher Arten der Silphie

Im Jahr 2008 wurde mit der Prüfung zwei weiterer Arten der Silphie, *Silphium trifoliatum* und *Silphium lacinatum*, im Vergleich zu einer Brandenburger Herkunft von *Silphium perfoliatum* begonnen. Die Pflanzung erfolgte Ende Mai. Im Gegensatz zur Durchwachsenen Silphie, die zu Vegetationsende den Bestand komplett schloss, entwickelten die beiden anderen Arten keine echte Blattrosette und auch nur vergleichsweise wenige Blätter (Tab. 21).

Tabelle 21: Ergebnisse der Bestandesbonitur unterschiedlicher Arten der Silphie am 21.10.2008 (PG 1) bzw. 17.11.2008 (PG 2 und 3), VS Dornburg 2008

Prüfglied	Art bzw. Herkunft	Blätter/Pflanze	Bestandeshöhe (cm)	Bestandesschluss* (1 bis 9)
1	<i>Silphium trifoliatum</i> Nordamerika	9	102	7,5
2	<i>Silphium perfoliatum</i> Brandenburg	20	30	1
3	<i>Silphium lacinatum</i> Norddeutschland	7	11	9

* 1 = Bestand schließt sich, 5 = Blätter berühren sich, 9 = kein Bestandesschluss

Generell sahen die Pflanzen der anderen *Silphium*-Arten deutlich weniger wüchsig aus als die der Durchwachsenen Silphie. *Silphium trifoliatum* schosste bereits im Anpflanzjahr, erreichte aber nur einen Ertrag von ca. 20 dt TM/ha. Durch die geringe Bodenbedeckung war die Konkurrenzskraft gegenüber Unkräutern deutlich niedriger, was erhöhte Aufwendungen im Bereich der mechanischen Pflege nach sich zog. Dieser Nachteil setzte sich auch im Folgejahr fort. In 2009 schlossen sich die Bestände der beiden anderen Arten ebenfalls nicht komplett, wobei insbesondere *Silphium lacinatum* mit ihren gefiederten Blättern gegenüber den Unkräutern kaum konkurrenzfähig war. Hinsichtlich der Wuchshöhe unterschieden sich die drei Arten ebenfalls deutlich voneinander, wobei *S. trifoliatum* mit 230 cm am niedrigsten, *S. lacinatum* mit 285 cm am höchsten war, meist jedoch nur ein bis zwei Schosstriebe bildete. Zudem wies die letztgenannte Art eine sehr schlechte Standfestigkeit auf und lag zur Ernte nahezu vollständig, so dass der Bestand unter Praxisbedingungen möglicherweise nicht erntefähig gewesen wäre. In ertraglicher Hinsicht reichten die beiden neu geprüften Arten nicht an *S. perfoliatum* heran und scheinen deshalb für eine Biogasnutzung nicht geeignet zu sein, zumal sie sich bezüglich des Methanbildungsvermögens (berechnet) nicht von der Durchwachsenen Silphie abheben (Tab. 22).

Tabelle 22: Wuchshöhe, Biomasseertrag, Methangehalt und –ertrag unterschiedlicher Arten bzw. Herkünfte der Silphie, VS Dornburg 2008 und 2009

Art bzw. Herkunft	Wuchshöhe 2009	Ertrag (dt TM/ha)		Methangehalt (l/kg oTS) 2009	Methanertrag (m ³ /ha) 2009
		2008	2009		
<i>Silphium trifoliatum</i> Nordamerika	230	21,7	124,2	326,7	4.057
<i>Silphium perfoliatum</i> Brandenburg	260	-	262,5	323,9	8.503
<i>Silphium laciniatum</i> Norddeutschland	285	-	73,3	324,3	2.373
GD t, 5 %	n. b.	n. b.	82,3	2,8	2.657

3.1.4 Biomasseleistung russischer Silphie-Arten bzw. Herkünfte der Durchwachsenen Silphie

Ebenfalls im Jahr 2008 wurde das Herkunftsspektrum um weitere Herkünfte erweitert. Es handelt sich hierbei um drei unterschiedliche russische Abstammungen, die lt. Angaben des Lieferanten zu *Silphium perfoliatum* gehören sollten. Leider liefen nur zwei der Saatgutpartien auf, wovon sich eine im weiteren Wachstumsverlauf als *Silphium trifoliatum* erwies.

Die Pflanzung erfolgte wegen der verzögerten Saatgutbereitstellung zu einem sehr späten Termin Anfang August 2008. Obwohl sich die Pflanzen bis zu Vegetationsende noch recht gut entwickelten, schossten im zweiten Standjahr, insbesondere bei der Durchwachsenen Silphie, nicht alle Pflanzen und erreichten nur relativ geringe Wuchshöhen. Die nicht optimale Bestandessituation spiegelte sich auch in den unterdurchschnittlichen Erträgen wider. Belastbare Aussagen zum Ertragsvermögen beider Arten sind demzufolge erst 2010 zu erwarten (Tab. 23).

Tabelle 23: Prüfung russischer Arten bzw. Herkünfte der Silphie VS Dornburg 2009

Art bzw. Herkunft	Wuchshöhe (cm)	TS-Gehalt (%)	Ertrag (dt TM/ha)	Methangehalt (l/kg oTS)	Methanertrag (m ³ /ha)
<i>Silphium perfoliatum</i>	230	23,3	85,3	330,0	2.816
<i>Silphium trifoliatum</i>	229	27,0	118,2	330,8	3.904
GD t, 5 %	16,2		25,9	2,6	851

Da die berechneten Methangehalte wieder auf dem Niveau der anderen Versuche lagen, waren die Methanerträge pro Hektar aufgrund der geringen Erträge relativ niedrig.

3.1.5 Prüfung unterschiedlicher Pflanzdichten

Die Einzelpflanzen der Durchwachsenen Silphie sind sehr massewüchsig und schließen den Bestand bei Pflanzung relativ schnell. Deshalb sollte im nachfolgend beschriebenen Versuch an zwei Orten geprüft werden, ob eine Verringerung der Pflanzenzahl/Flächeneinheit von den derzeit üblichen 40.000 Pflanzen/ha auf 27.000 bzw. 18.000 Pflanzen ohne Ertragseinbußen möglich ist. Gleichzeitig war im Anpflanzjahr 2007 zu prüfen, ob sich durch die verringerte Bestandesdichte ein stärkerer Unkrautdruck aufbaut.

An den beiden Versuchsstandorten Dornburg und Großenstein wuchsen die Pflanzen gut an. Sowohl vor als auch nach Winter zeigten sich optimale Bestände, obwohl bei den weiten Pflanzabständen im Herbst kein voller Bestandesschluss erreicht wurde, wie beispielhaft für den Standort Dornburg in Tabelle 24 dargestellt ist. Bei den weiten Pflanzabständen war der Unkrautdruck während der gesamten Vegetationsperiode deutlich stärker und die Sauberhaltung der Varianten demzufolge mit höheren Aufwendungen verbunden.

Tabelle 24: Ergebnisse der Bestandesbonitur am 14.09.2007, VS Dornburg 2007

Prüfglied	Pflanzabstand	Blätter/Pflanze	Bestandeshöhe (cm)	Deckungsgrad (%)
1	50 x 50 cm	18	46,5	100
2	50 x 75 cm	20	34,8	85
3	75 x 75 cm	23	37,8	65
GD t, 5 %		3,5	6,1	15,0

Im Frühjahr 2008 begannen die Bestände zu schossen, wobei die Triebzahl/Pflanze bei den weiten Pflanzabständen über denen der engeren lag. In Großenstein zeigte sich Ende Juni ein Befall mit Sclerotinia, der sich aufgrund der feuchtwarmen Witterung relativ schnell über den gesamten Bestand ausbreitete. Aus diesem Grund erfolgte am 18.07.2008 eine Ernte des Versuches. Ursache für den Sclerotiniabefall kann ein starker Befallsdruck auf der Fläche, die zuvor mit Buschbohnen (Wirtspflanze) bestellt war, gewesen sein, der durch die für Pilzkrankheiten optimalen Witterungsbedingungen im Juni noch forciert worden ist.

Nach der frühen Ernte trieben die sclerotiniageschädigten Pflanzen gut wieder aus. Nur wenige Pflanzen wiesen im Herbst noch Schäden auf, meist war nur eine Pflanze/Parzelle abgestorben (Tab. 25).

Tabelle 25: Entwicklung der sclerotiniageschädigten Pflanzen vor Winter (20.10.08), Großenstein 2008

Pflanzvariante	Sollpflanzenzahl/Parz.	Gut entwickelte Pfl./Parz.	Schwach entwickelte Pfl./Parz.	Abgestorbene Pflanzen/Parz.
50 x 50 cm	60	56	3	1
50 x 75 cm	40	37	2	1
75 x 75 cm	27	25	1	1

Im Jahr 2009 entwickelte sich der Bestand völlig normal, wie die Ergebnisse der Wuchshöhenbestimmung in Tabelle 26 im Vergleich zu Dornburg belegen. Sclerotinia trat nicht in bekämpfungswürdigem Umfang auf.

Tabelle 26: Erntetermin und Wuchshöhe von Durchwachsener Silphie in Abhängigkeit vom Standort VS Dornburg und VS Großenstein 2008 und 2009

Pflanzvariante	Erntetermin				Wuchshöhe (cm)			
	2008		2009		2008		2009	
	Dornburg	Großenstein	Dornburg	Großenstein	Dornburg	Großenstein	Dornburg	Großenstein
50 x 50 cm	27.08.	18.07.*	21.09.	29.09.	268	154	306	303
50 x 75 cm	27.08.	18.07.*	21.09.	29.09.	272	164	301	304
75 x 75 cm	27.08.	18.07.*	21.09.	29.09.	261	165	304	290
GD t, 5 %					18,3	10,8	11,1	n. b.

- Noternte wegen starkem Sclerotiniabefall

In Dornburg erreichte 2008 die geringste Bestandesdichte einen signifikanten Mehrertrag gegenüber den höheren Pflanzdichten. In Großenstein zeichnete sich eine ähnliche Tendenz ab, indem die im Abstand 50 x 75 cm und 75 x 75 cm gepflanzten Varianten einen höheren Ertrag erzielten als die Standardvariante 50 x 50 cm. Dieses Ergebnis ist aufgrund der vorab beschriebenen Probleme und der frühen Ernte jedoch nur eingeschränkt zu werten. In 2009 glichen sich die Erträge aller Prüfglieder in Dornburg vollständig an (Tab. 27). Der Versuch in Großenstein konnte durch einen Fehler in der Probenahme leider nicht ausgewertet werden.

Tabelle 27: TM-Ertrag und TS-Gehalt von Durchwachsener Silphie in Abhängigkeit vom Standraum VS Dornburg und VS Großenstein 2008 und 2009

Pflanzvariante	TM-Ertrag (dt/ha)				TS-Gehalt (%)			
	2008		2009		2008		2009	
	Dornburg	Großenstein*	Dornburg	Großenstein	Dornburg	Großenstein*	Dornburg	Großenstein
50 x 50 cm	180,0	131,7	205,9	n. b.	28,0	33,4	25,6	n. b.
50 x 75 cm	179,0	151,6	206,0	n. b.	27,4	33,8	26,8	n. b.
75 x 75 cm	236,4	144,6	206,8	n. b.	28,2	34,2	25,7	n. b.
GD t, 5 %	35,6	14,1	18,5	-				

- Noternte wegen starkem Sclerotiniabefall

Trotz der frühen Ernte und des starken Sclerotiniabefalls im Erntegut in Großenstein unterschieden sich die theoretischen Methangehalte 2008 kaum von denen der zum optimalen Zeitpunkt geernteten Pflanzen in Dornburg. Sie lagen tendenziell sogar auf etwas höherem Niveau. Die Bestandesdichte hatte keinen Einfluss auf die gasbildungsrelevanten Inhaltsstoffe. Allerdings waren die berechneten Methanerträge in Großenstein aufgrund der frühen Ernte und der damit verbundenen geringen Biomasseerträge 2008 deutlich niedriger als in Dornburg (Tab. 28).

Tabelle 28: Theoretischer Methangehalt und –ertrag von Durchwachsener Silphie in Abhängigkeit vom Standraum, VS Dornburg und VS Großenstein 2008 und 2009

Pflanzvariante	Methangehalt (l/kg oTS)			Methanertrag (m ³ /ha)		
	Dornburg		Großenstein	Dornburg		Großenstein
	2008	2009	2008	2008	2009	2008
50 x 50 cm	321,4	324,0	330,3	5.786	6.673	1.255
50 x 75 cm	320,9	322,1	330,4	5.744	6.634	2.224
75 x 75 cm	322,9	321,9	331,4	7.634	6.656	2.104
GD t, 5 %	3,2	2,7		1.187	603	

Insgesamt deuten die bisherigen Ergebnisse darauf hin, dass es durchaus möglich sein sollte, die Bestandesdichte auf unter 40.000 Pflanzen/ha zu reduzieren. Allerdings sinkt damit die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern und es sind erhöhte Aufwendungen in der Bestandespflege zu kalkulieren. Gleichzeitig steigt auch das Risiko ungleichmäßiger Bestände, wenn durch Trockenheit nach der Pflanzung Probleme im Anwuchsverhalten auftreten.

3.1.6 Anbau unter Deckfrucht (Pflanzvariante)

Wie zahlreiche Stauden bildet die Durchwachsene Silphie im Anpflanzjahr lediglich eine bodenständige Rosette und damit noch keinen Ertrag. Deshalb wurde in einem Versuch 2007 in Dornburg untersucht, ob unter Deckfrüchten gepflanzte Bestände im zweiten Anbaujahr ähnlich hohe Erträge wie ohne Deckfrucht erreichen bzw. ob der Ertrag der Deckfrucht im ersten Standjahr die eventuellen Mindererträge kompensiert. Als Deckfrüchte kamen das Sudangras ‚Susu‘ und die frühe, kurzstänglige Hirse ‚Friggo‘ mit einer leicht verminderten Saatstärke (15 kg/ha) in einem Reihenabstand von 75 cm zum Anbau. Aufgrund der feuchten Witterung ab Ende Mai 2007 wuchsen alle Pflanzen an und bildeten kräftige Rosetten, obwohl die Pflanzen unter Deckfrucht deutlich schwächer entwickelt waren als in der Kontrollvariante ohne Deckfrucht (Tab. 29).

Tabelle 29: Blattzahl und Bestandeshöhe von Durchwachsener Silphie mit und ohne Deckfrucht (Bonitur am 14.09.2007), VS Dornburg 2007

Variante	Blattzahl/Pflanze	Bestandeshöhe (cm)
Ohne Deckfrucht	20,5	50,5
Deckfrucht Sudangras ‚Susu‘	6,2	35,0
Deckfrucht Hirse ‚Friggo‘	7,5	41,2
GD t, 5 %	6,8	7,6

Alle Varianten überwinterten optimal ohne Ausfälle und fingen 2008 an zu schossen, wobei die Deckfruchtvarianten in der Wuchshöhe und der Triebzahl deutlich hinter dem Prüfglied ohne Deckfrucht zurückblieben, was sich auch in den Erträgen widerspiegelt. Nachdem die unter Deckfrucht gepflanzten Varianten im ersten Erntejahr 2008 signifikant niedrigere Erträge erreichten als die Vergleichsvariante ohne Deckfrucht, war deren Biomasseleistung 2009 höher, beim Prüfglied mit Deckfrucht ‚Friggo‘ sogar signifikant. Der Gesamtertrag der Deckfruchtvarianten, über alle drei Standjahre gerechnet, liegt über dem der reinen Silphiepflanzung (Tab. 30, Abb. 6).

Tabelle 30: Wuchshöhe, TM-Ertrag und TS-Gehalt von Durchwachsener Silphie im 1. und 2. Ertragsjahr bei Pflanzung unter Deckfrucht, VS Dornburg 2008 und 2009

Variante	Wuchshöhe (cm)		TM-Ertrag (dt/ha)		Gesamt-TM-Ertrag inkl. Deckfrucht(dt/ha)
	2008	2009	2008	2009	
Ohne Deckfrucht	254	309	152,5	163,7	316,2
Deckfrucht Sudangras ‚Susu‘	188	312	108,0	175,0	420,0
Deckfrucht Zuckerhirse ‚Friggo‘	188	315	106,3	201,6	384,7
GD t, 5 %	33,7	9,4	24,0	20,0	

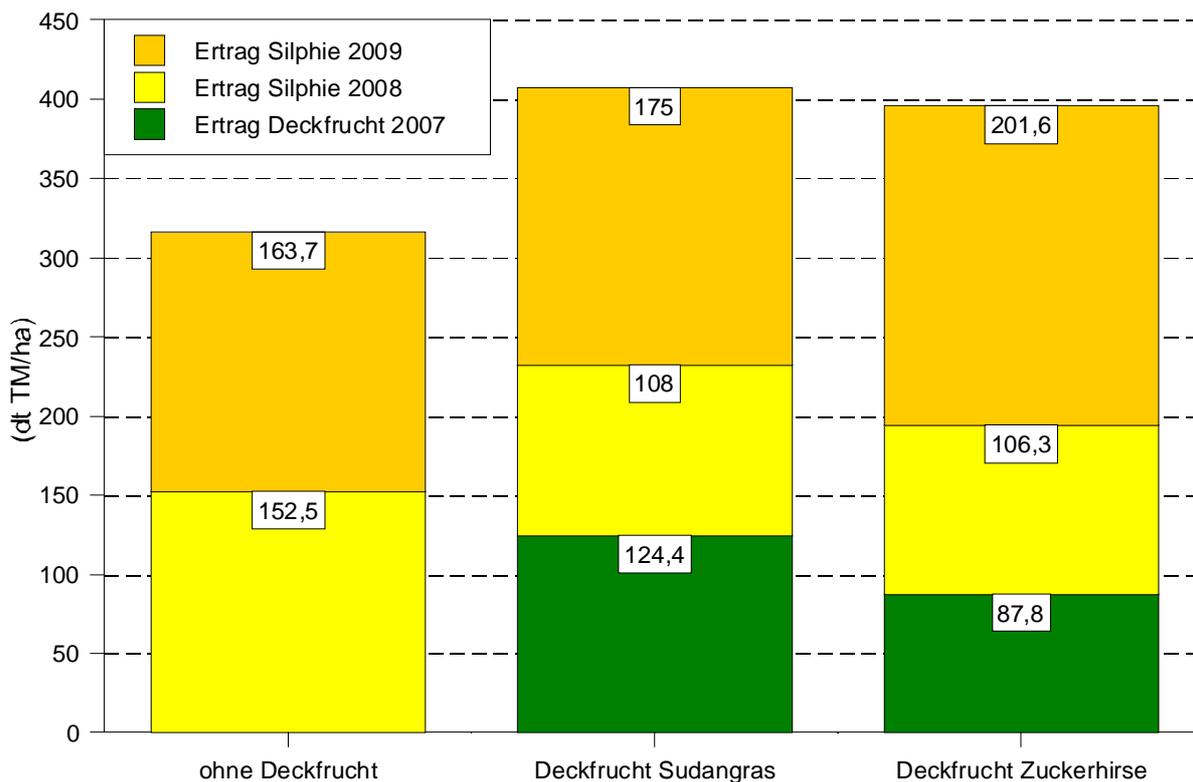


Abbildung 6: TM-Ertrag von Durchwachsener Silphie im ersten Ertragsjahr nach Pflanzung unter Deckfrucht, Dornburg 2008 und 2009

Da sich die Erträge der unter Deckfrucht angebauten Silphie im zweiten Erntejahr denen ohne Deckfrucht angleichen, könnte das Verfahren durchaus eine Möglichkeit zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sein. Gleichzeitig würde sich dadurch auch das Problem der Reinhaltung der Bestände im Anpflanzjahr vermindern, da unter den Deckfrüchten der Unkrautdruck deutlich niedriger war. Es ist jedoch zu bedenken, dass aufgrund der reichlichen Niederschläge 2007 keine Konkurrenz um das verfügbare Wasser zwischen Deckfrucht und Silphie auftrat. Unter für Mitteldeutschland normalen Witterungsverhältnissen ist durchaus eine schlechtere Bestandesetablierung zu befürchten.

Die für die Biogas- bzw. Methanausbeuten relevanten Inhaltsstoffe unterschieden sich bei den Varianten kaum voneinander, so dass die theoretischen Methangehalte auf nahezu dem gleichen Niveau lagen (Tab. 31). Die Methanerträge verliefen dementsprechend parallel zu den Biomasseerträgen.

Tabelle 31: Methangehalt und –ertrag von Durchwachsener Silphie im ersten Ertragsjahr bei Pflanzung unter Deckfrucht, VS Dornburg 2008 und 2009

Variante	Methangehalt (l/kg oTS)		Methanertrag (m ³ /ha)	
	2008	2009	2008	2009
Ohne Deckfrucht	324,4	323,4	4.947	5.296
Deckfrucht Sudangras ‚Susu‘	329,1	321,5	3.555	5.628
Deckfrucht Zuckerhirse ‚Friggo‘	329,0	322,4	3.497	6.497
GD t, 5 %	3,6	2,1	765	635

3.1.7 Anbau unter Deckfrucht (Aussaatvariante)

Da Pflanz- und Drillvarianten auf gleicher Fläche relativ schlecht praktisch realisierbar sind, wurde 2008 der Deckfruchtversuch wiederholt, wobei die Silphie im Gegensatz zum Vorjahr gedrilht worden ist. Als alleinige Deckfrucht kam das Sudangras ‚Lussi‘ zum Anbau.

Bei der Bonitur nach der Ernte der Deckfrucht, die 90 dt TM/ha erreichte, zeigte sich, dass die Pflanzenzahlen in der Deckfruchtvariante höher waren, die Einzelpflanzen aber wiederum deutlich kleiner. So hatten die Pflanzen der Blanksaat 20 Blätter bei einer Wuchshöhe von ca. 40 cm, die der Deckfrucht lediglich 10 Blätter bei etwa 15 cm Wuchshöhe. Auch der Deckungsgrad war in der Deckfruchtvariante deutlich schlechter (Tab. 32).

Tabelle 32: Blattzahl und Bestandeshöhe von Durchwachsener Silphie bei Direktsaat mit und ohne Deckfrucht (Bonitur am 21.10.2008), VS Dornburg 2008

Variante	Pflanzen/Parz.	Blattzahl/Pflanze	Bestandeshöhe (cm)	Deckungsgrad (%)	TM-Ertrag (dt/ha)
Ohne Deckfrucht	51	20	40,5	82,5	-
Deckfrucht Sudangras ‚Lussi‘	64	10	14,8	20,0	90,0
GD t, 5%	8	6	14,3	n. b.	

Die schlechtere Entwicklung der Pflanzen im Ansaatjahr wirkte sich auch im ersten Ertragsjahr negativ auf die Bestandesentwicklung aus. Dies widerspiegelt sich in der geringen Wuchshöhe und dem geringen Ertrag (Tab. 33). Gleichzeitig führten die dünnen Bestände der Deckfruchtvariante zu einer geringeren Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern, was mechanische Pflegemaßnahmen im Frühjahr erforderlich machte. Der Gesamtertrag der Varianten über beide Jahre war annähernd gleich, so dass der Deckfruchtanbau ökonomisch keinerlei Vorteil, eher durch die höheren Aufwendungen (Saatgut, etc.) negativ zu Buche schlagen würde.

Tabelle 33: Wuchshöhe, TS-Gehalt und TM-Ertrag von Durchwachsener Silphie im 1. Ertragsjahr bei Aussaat mit und ohne Deckfrucht VS Dornburg 2009

Variante	Wuchshöhe (cm)	TS-Gehalt (%)	TM-Ertrag (dt/ha)	Gesamt-TM-Ertrag 2008 u. 2009 (dt/ha)
Ohne Deckfrucht	278	29,0	198,8	198,8
Deckfrucht Sudangras ‚Lussi‘	240	27,4	111,7	201,7
GD t, 5%	22,3		52,6	24,3

Die Methangehalte der beiden Prüfglieder waren 2009 annähernd gleich, der des Sudangrases 2008 lag allerdings signifikant darunter, so dass die Deckfruchtvariante in Kumulation der Methanerträge 2008 und 2009 schlechter abschneidet (Tab. 34).

Tabelle 34: Methangehalt und –ertrag von Durchwachsener Silphie im ersten Ertragsjahr bei Aussaat mit und ohne Deckfrucht VS Dornburg 2008 und 2009

Variante	Methangehalt (l/kg oTS)	Gesamtmethanertrag 2008 + 2009 (m ³ /ha)
Ohne Deckfrucht	330,0	6.567
Deckfrucht Sudangras ‚Lussi‘	270,1 (‚Lussi‘)/326,5 (Silphie)	6.080
GD t, 5%	3,8	1.772

Insgesamt ist zu schlussfolgern, dass ein Silphieanbau unter Deckfrucht im Drillverfahren mit erheblichen Risiken verbunden ist und die in günstigen Jahren möglicherweise erreichbaren Mehrerträge die Kosten wahrscheinlich kaum decken können.

3.1.8 Direktsaatversuche

Der erste Aussaatversuch wurde mit chemisch vorbehandeltem Saatgut (12 h und 24 h Einwirkzeit) der Fa. Chrestensen mittels Einzelkorndrillmaschine am 28.05.2007 mit einem Reihenabstand von 50 cm und einer angestrebten Ablageentfernung von 18 cm in der Reihe ausgesät.

Die Pflanzen liefen nach ca. 14 Tagen nahezu geschlossen auf. Der Feldaufgang lag bei ca. 50 % der lt. Drillmaschineneinstellung berechneten Sollpflanzenzahl. Die Pflanzenverteilung war aber recht gleichmäßig und die Pflanzen entwickelten sich, begünstigt durch die anhaltend feuchte Witterung, zügig. Zu Vegetationsende hatten sich ausgeglichene, hinreichend dichte Bestände gebildet (Tab. 35), die auch gut überwinterten.

Tabelle 35: Ergebnisse der Bestandesbonitur am 20.09.2007, VS Dornburg 2007

Variante	Pflanzen/Parzelle	Blattzahl/Pflanze	Bestandeshöhe (cm)	Deckungsgrad (%)
12 h behandelt	71	7,8	13,2	67,5
24 h behandelt	79	9,8	15,2	72,5
GD t, 5 %	7,6	1,8	2,6	6,5

Beim Vergleich einer 2007 gepflanzten Variante derselben Herkunft zeigten sich hinsichtlich der Wuchshöhe im ersten Ertragsjahr 2008 nur geringe Unterschiede. In ertraglicher Hinsicht lagen jedoch die Drillvarianten signifikant unter denen der Pflanzung, erreichten aber mit 155 bzw. 159 dt TM/ha durchaus akzeptable Erträge bei optimalen TS-Gehalten für eine sichere Silierung (Tab. 36).

Tabelle 36: Wuchshöhe, TM-Ertrag und TS-Gehalt von Durchwachsener Silphie bei Direktsaat im Vergleich zur Pflanzung (Ernte: 27.08.2008), VS Dornburg 2008

Variante	Wuchshöhe (cm)	TM-Ertrag (dt/ha)	TS-Gehalt (%)
Pflanzung	260	180,9	27,7
Direktsaat Behandlung 1	264	154,7	27,8
Direktsaat Behandlung 2	241	158,9	27,8
GD t, 5 %	14,0	9,1	0,5

Bezüglich der Inhaltsstoffgehalte bzw. der daraus berechneten Methangehalte variierten die Prüfglieder wiederum nicht, so dass bei der ertragreicheren Pflanzung entsprechend höhere Methanerträge je Hektar als bei den Direktsaatvarianten mit niedrigerem Biomassertrag erzielt wurden (Tab. 37).

Tabelle 37: Methangehalt und –ertrag von Durchwachsener Silphie im ersten Ertragsjahr bei Direktsaat (Ernte: 27.08.2008), VS Dornburg 2008

Variante	Methangehalt (l/kg oTS)	Methanertrag (m ³ /ha)
Pflanzung	316,6	5.727
Direktsaat Behandlung 1	325,8	5.041
Direktsaat Behandlung 2	323,4	5.139

Insgesamt hat der Versuch gezeigt, dass eine erfolgreiche Bestandesetablierung durch Drillsaat möglich ist. Problematisch sind aber die langsame Jugendentwicklung und die geringe Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern während dieser Zeitspanne. Bis zur Erarbeitung effizienter chemischer Pflanzenschutzvarianten sind in diesem Zeitraum nur mechanische Pflegemaßnahmen möglich, die mit höheren Aufwendungen verbunden sind. Auf eine Weiterführung des Versuches nach der ersten Ernte wurde verzichtet.

3.1.9 Untersuchungen zur optimalen Pflanz- bzw. Saatzeit

Die optimale Pflanz- bzw. Saatzeit ist für die landwirtschaftliche Praxis von großer Bedeutung. Bei der bisher praktizierten Pflanzung bzw. Saat im Zeitraum von Mitte bis Ende Mai käme lediglich der Anbau einer Winterzwischenfrucht, wie Futterroggen oder Landsberger Gemenge, vor der Silphie zur Erhöhung der Produktivität der Fläche in Betracht. Wenn sich die Erträge der Silphie bei einer späteren Saat, etwa Mitte Juni (nach Ganzpflanzengetreide) oder gar Mitte Juli (nach Wintergerste) im ersten Ertragsjahr nicht wesentlich verringern würden, wäre zum einen die Flächeneffizienz deutlich höher, zum anderen wäre auch die Zeitspanne, in der Unkrautbekämpfungsmaßnahmen erforderlich sind, deutlich kürzer.

Aus diesem Grund wurde 2008 mit einem Saatzeitenversuch im Vergleich zur Pflanzung Ende Mai in Dornburg und Großenstein begonnen. Dazu erfolgte eine Pflanzung zum ersten Termin mit paralleler Saat mittels Einzelkorndrillmaschine in Reihenabständen von 50 cm und einer Ablage in der Reihe von 18 cm. Dann waren fünf weitere Saattermine im Abstand von zwei Wochen in Großenstein und zwei weitere Termine im vierwöchentlichen Abstand in Dornburg vorgesehen.

Die Etablierung der Pflanzvarianten gelang an beiden Standorten problemlos. Schwierigkeiten bereiteten die Saatvarianten, da die bis 2007 praktizierte Variante der Vorsaatbearbeitung von Treflan (Wirkstoff Trifluralin) mit 2,0 l/ha (Genehmigung der Anwendung nach § 18 b PSchG) ab März 2008 nicht mehr möglich war. Deshalb wurde nach Absprache mit den Pflanzenschutzexperten das in Korbblütlern, wie Sonnenblume oder Ringelblume, zugelassene Voraufauferbizid Bandur (Wirkstoff Aclonifen) mit 1,0 l/ha eingesetzt. Dieses beeinträchtigte zunächst das Auflaufen der Silphiepflanzen nicht, führte aber nach einer entsprechenden Akkumulation des Wirkstoffs zum Vergilben und anschließendem Absterben der Pflanzen im Dreiblattstadium.

Aufgrund der Trockenheit an beiden Standorten im Mai liefen die Pflanzen der ersten Saatzeit, die parallel zur Pflanzung erfolgte, erst nach 4 bis 6 Wochen auf. Bei der ersten Bonitur kurz nach Auflaufen zeigte sich in Dornburg ein relativ ausgeglichener Bestand, der jedoch nach weiteren zwei Wochen vollständig vergilbt war.

Bis die Ursache als Herbizidschaden definiert werden konnte, waren die Termine nahezu aller Saatzeiten verstrichen und entsprechend dem Versuchsplan mit dem Mittel behandelt. Infolgedessen gelang es nicht, die Saatvarianten zu etablieren und der Versuch ist umgebrochen worden.

Aufgrund der großen praktischen Bedeutung ist der Versuch 2009 in Dornburg leicht variiert wiederholt worden. Dabei wurde zu jedem Saattermin parallel auch eine Pflanzvariante

geprüft, da bei einer Pflanzung ab Ende Juni das Pflanzgut aufgrund der geringeren Energiekosten möglicherweise preiswerter zu erzeugen ist.

Die Bonitur der Bestandesentwicklung Ende September zeigte, dass lediglich mit der Pflanzung und der Einzelkornsaat zum Standardtermin Mitte Mai entsprechend gut entwickelte Pflanzen etablierbar waren, die die Reihen schlossen. Eingeschränkt galt das noch für den Pflanztermin Mitte Juni. Bereits zu diesem Termin blieben die gesäten Pflanzen deutlich kleiner und erreichten keinen Bestandesschluss. Gleichzeitig verringerten sich von Termin zu Termin die Pflanzenzahlen/Parzelle in den Drillvarianten (Tab. 38).

Tabelle 38: Einfluss der Pflanz- bzw. Saatzeit auf die Bestandesentwicklung der Durchwachsenen Silphie (Bonitur am 29.09.09), VS Dornburg 2009

Variante	Termin	Pflanzen/Parzelle	Wuchshöhe (cm)	Deckungsgrad (%)
Pflanzung	Mitte Mai	54	33	100
Einzelkornsaat	Mitte Mai	69	29	86
Pflanzung	Mitte Juni	54	21	90
Einzelkornsaat	Mitte Juni	39	14	kein Reihenschluss
Pflanzung	Mitte Juli	53	13	kein Reihenschluss
Einzelkornsaat	Mitte Juli	52	11	kein Reihenschluss
Pflanzung	Mitte August	54	10	kein Reihenschluss
Einzelkornsaat	Mitte August	27	nicht messbar	kein Reihenschluss

Trotz der niedrigen Temperaturen im Winter 2009/2010 traten im Versuch keine Ausfälle auf, was die Winterfestigkeit der Silphie auch im frühen Jungpflanzenstadium belegt. Inwiefern sich aus den unterschiedlich entwickelten Varianten erntewürdige Bestände bilden, muss die Weiterführung des Versuches zeigen.

Generell verdeutlichen die Ergebnisse des Versuchs, wie wichtig es ist, effiziente Unkrautbekämpfungsvarianten, insbesondere für die Aussaat, zu erarbeiten.

3.1.10 Organische und mineralische Düngung der Durchwachsenen Silphie

Wie alle massewüchsigen Pflanzen benötigt die Durchwachsene Silphie für die Bildung hoher Erträge eine ausreichende Nährstoffversorgung. Dabei liegt ihr Stickstoffbedarf mit ca. 1 kg N/dt TM etwas unterhalb von Mais.

Im nachfolgend beschriebenen Versuch, der 2008 angelegt und 2009 erstmalig beerntet wurde, soll untersucht werden, welche Biomasseerträge mit rein mineralischer, reiner Gärrestdüngung und einer Kombination beider Düngevarianten zu erzielen sind. Dazu kamen einmal eine mineralische N-Düngung zu Vegetationsbeginn auf einen N-Sollwert von 160 kg, eine rein organische Düngung mit der maximalen bei einer Überfahrt ausbringbaren Gärrestmenge von 50 m³ sowie eine Kombination von Gärrest (50 m³) und mineralischer Düngung auf einen N-Sollwert von 160 kg/ha.

Überraschender Weise erreichte die rein mineralisch auf den N-Sollwert von 160 kg N/ha gedüngte Variante 2009 die niedrigsten Erträge. Die besten Ergebnisse wurden bei kombinierter organischer und mineralischer Düngung erzielt. Auch das ausschließlich mit Gärrest versorgte Prüfglied, das eine geringere N-Gabe erhielt, schnitt sehr gut ab, obgleich die Wuchshöhe signifikant niedriger war als bei den beiden anderen Varianten (Tab. 39). Über-

raschend war die vergleichsweise höhere N-Hinterlassenschaft bei der ausschließlichen Gärrestdüngung, bei der ja eigentlich eine geringere N-Menge verabreicht worden ist.

Tabelle 39: Einfluss der Düngung auf Wuchshöhe, Biomassertrag, Methangehalt und –ertrag sowie N-Hinterlassenschaft bei Durchwachsener Silphie, VS Dornburg 2009

Düngung	Wuchshöhe (cm)	TS-Gehalt (%)	Ertrag (dt TM/ha)	N _{min} nach Ernte, 0–60 cm (kg/ha)	Methangehalt (l/kg oTS)	Methanertrag (m ³ /ha)
N-Sollwert 160 kg/ha, mineralisch	314	23,7	171,3	20	323,5	5.541
50 m ³ Gärrest/ha (89 kg N/ha, inkl. N _{min})	264	25,2	205,0	36	323,4	6.631
N-Sollwert 160 kg/ha (50 m ³ Gärrest/ha + min.)	314	28,1	225,3	28	324,2	7.304
GD t, 5 %	29,3		34,4		1,3	1.117

Die Methangehalte waren annähernd gleich und der Methanertrag pro Hektar korreliert demzufolge wieder mit dem Trockenmasseertrag.

Sollten sich die positiven Ergebnisse zur Wirkung von Gärresten in der Weiterführung des Versuches bestätigen, wäre eine derartige Düngungsvariante in Durchwachsener Silphie eine sehr günstige Alternative für die Landwirte.

3.1.11 Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden

Wie bereits vorab betont, bildet ein sachgerechter Pflanzenschutz, insbesondere die Bekämpfung von Unkräutern im Anpflanzjahr, die Voraussetzung für die Entwicklung guter Bestände. Da es gegenwärtig keine zugelassenen Herbizide für die Durchwachsene Silphie gibt, wurde 2007 in Straußfurt/Kirchengel und Dornburg mit der Herbizidprüfung in gepflanzter Silphie begonnen. Die Versuche sind ab 2008 in Dornburg und 2009 in Kirchengel auf Aussaatvarianten umgestellt worden. Die Auswahl der Herbizide erfolgte anhand der Vorversuche bzw. mittels Übertragung zugelassener Mittel aus anderen Korbbütlern.

In Straußfurt zeigte sich 2007 die gute Wirkung und Verträglichkeit von Treflan im Vorpflanzeinbearbeitungsverfahren und Stomp SC nach der Pflanzung. Der Unkrautdruck verminderte sich deutlich, Schäden an der Kultur traten nicht auf. Weniger gut verträglich waren die hier zusätzlich geprüften Mittel Lentrigran WP und Spectrum, die doch deutliche Wuchsdepressionen hervorriefen. Während Boxer in Tankmischung mit Stomp SC in den Vorversuchen in Dornburg keine Schäden hervorrief, traten in Straußfurt sowohl bei der Solanwendung als auch als Spritzfolge nach Treflan gravierende Schäden an der Kultur auf, die teilweise bis zum Totalausfall einzelner Parzellen führten (Tab. 40). Leider wurde der Wirkstoff Trifluralin (Treflan - Vorsaatbearbeitung) Ende 2007 gestrichen und eine Anwendung ist demzufolge nicht mehr zulässig. Für die Entwicklung praxistauglicher Herbizidstrategien bei Durchwachsener Silphie stellte diese Tatsache einen herben Rückschlag dar.

Tabelle 40: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Durchwachsener Silphie bei Pflanzung VF Straußfurt 2007

Sorte:	Fa. Jelitto		Bodenart/-zahl:	60					
Vorfrucht:	Winterweizen		N-Düngung:	50 kg/ha					
Pflanzung:	21.05.2007		Ernte:	keine					
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %)						Phytotox in % A ¹⁾ /W ²⁾
	l/ha	Datum ES	Bonitur: 12.07.07						
			ALOMY	ATXPA	POLCO	THLAR	CHEAL	GES.	
1 UK			30	14	6	6	9	65	-
2 Treflan	2,0	21.05. VPE	100	100	100	100	100		0/0
3 Boxer	5,0	12.06. ES 15	100	18	74	100	100		28/45
4 Stomp SC	4,0	12.06. ES 15	95	35	36	100	100		0/0
5 Lentagran WP	1,5 + 1,5	12.06. ES 15 25.06. ES 17	100	33	100	100	100		0/35
6 Spectrum	1,2	12.06. ES 15	96	34	25	13	100		0/43
7 Fusilade MAX	1,0	12.06. ES 15	0	0	0	0	92		0/0
8 SF Treflan + Boxer	2,0 4,0	21.05. VPE 12.06. ES 15	100	100	100	100	100		85/80

1) A = Ausdünnung, 2) W = Wuchsdepressionen

Die gute Wirkung von Stomp SC bestätigte sich am gleichen Standort im Jahr 2008 sowohl im Vor- als auch im Nachauflauf. Die restlichen Mittel wirkten gegen einzelne Unkräuter sehr gut, versagten aber bei anderen völlig. Ähnlich wie auch Boxer, verursachte Stomp SC Blattaufhellungen und partielle Nekrosen, die jedoch tolerierbar waren. Eine etwas stärkere Phytotoxizität hatte Lentagran WP. Hier kam es zu Wachstumsstockungen, die sich aber auch in relativ kurzer Zeit überwuchsen (Tab. 41).

Tabelle 41: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Durchwachsener Silphie, VF Straußfurt 2008

Sorte:	Fa. Jelitto		Bodenart/-zahl:	60					
Vorfrucht:	Winterweizen		N-Düngung:	50 kg/ha					
Pflanzung:	08.05.2008		Ernte:	keine					
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %)						Phytotox in % A ¹⁾ /W ²⁾
	l/ha	Datum ES	Bonitur: 20.06.2008						
			POLCO	AMARE	CHEAL	CIRSS	HERBA	GES.	
1 UK	-	-	6	30	30	2	4	72	-
2 Kerb 400 SC	1,25	07.05. VP	100	35	28	100	32		0
3 Stomp SC	3,5	07.05. VP	88	84	97	100	62		5/0
4 Venzar	1,0	07.05. VP	85	23	75	100	10		0
5 Boxer	4,0	26.05. EC 13	70	100	60	33	25		6/0
6 Stomp SC	3,5	26.05. EC 13	88	72	40	40	28		0
7 Lentagran WP	1,0 1,0	26.05. EC 13 06.06. EC 14	88	100	86	100	55		0/20
8 Aramo	2,0	26.05. EC 13	0	0	0	0	0		0

1) A = Ausdünnung, 2) W = Wuchsdepressionen

Im Unterschied zu den Vorjahren erfolgte in 2009 die Etablierung des Bestandes in Kirchengel durch Aussaat am 19.05.2009. Die beste herbizide Wirkung hatte Kerb 400 SC, das sofort nach der Aussaat gespritzt wurde. In ihrer Wirkung folgten Stomp Aqua und 2 x Lentagran WP mit deutlichem Abstand. Nach der Anwendung von Select 240 EC + Para Sommer wurden herbizide Effekte gegen die vorhandenen dikotylen Unkräuter beobachtet. Wegen des sehr uneinheitlichen Auflaufens der Kultur waren Bonituren zur Phytotoxizität leider nicht möglich, so dass der Versuch nur eingeschränkt zu bewerten ist (Tab. 42).

Tabelle 42: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Durchwachsener Silphie bei Aussaat VS Kirchengel 2009

Vorfrucht:	Sommergerste		N-Düngung:		50 kg/ha				
Aussaat:	19.05.2009		Ernte:		-				
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %)						Phytotox in %
	l/ha	Datum	Bonitur: 14.07.09						
			POLCO	POLLA	FUMOF	THLAR	HERBA	GESAMT	
UK			48,8	5,0	2,3	1,3	2,5	59,8	
Kerb 400 SC	1,25	NS 19.05	68	95	90	13	52	19	
Stomp Aqua	3,5	NS 19.05.	58	97	100	75	54	19	
Basagran	1,0 + 1,0	VA 25.05. NA 15.06.	56	86	47	67	69	26	
Boxer	4,0	NA 15.06.	43	62	100	67	50	31	
Stomp Aqua	3,5	NA 15.06.	35	96	50	67	25	37	
Lentagran WP	1,0 + 1,0	NA 15.06. NA 25.06.	80	88	78	75	25	15	
Para Sommer + SELECT 240 EC	1,0 + 0,75	NA 15.06.	15	72	50	50	19	45	
HERBA: VERSS, CIRAR; LAMAM;									

Am Standort Dornburg baute sich nach der Pflanzung 2007 in allen Parzellen ein gleichmäßiger und sehr gemischter Unkrautdruck auf. Die Wirkung von Treflan in Vorsaatbearbeitung als Vorlage kann als gut eingeschätzt werden. Auch die Tankmischung Stomp SC + Boxer zeigte einen guten bis sehr guten Wirkungsgrad und bestätigte somit die Ergebnisse aus den Vorjahren. Beste Variante mit guter Langzeitwirkung war die Spritzfolge Treflan + Stomp SC. Phytotoxizität wurde bei keiner der Varianten festgestellt. Die Maschinenhacke (MH) erfolgte am 21.06.2007 in der unbehandelten Kontrolle und am 03.07.2007 in den Prüfgliedern 1 bis 3. Die Wirkung unterstützte die chemischen Varianten (Tab. 43).

Tabelle 43: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Durchwachsener Silphie bei Pflanzung VS Dornburg 2007

Vorfrucht:	Körnererbse		N-Düngung:		45 kg/ha					
Pflanzung:	22.05.2007		Ernte:		keine					
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %)						Phytotox in %	
	l/ha	Datum ES	Bonitur: 01.08.07							
			THLAR	CHEAL	SOLNI	POLSS	FUMOF	HERBA	GES.	
LR UK + MH		21.06.	9	42	4	23	4	18	100	-
1 SF Treflan + MH	2,0	21.05. VSE 03.07.	30	75	100	100	100	70		0
2 SF Treflan + Stomp SC + MH	2,0+ 3,5	21.05. 19.06. ES 14 03.07.	100	100	100	100	100	85		0
3 TM Boxer + Stomp SC + MH	3,0 3,0	19.06. ES 14 03.07.	98	60	94	68	100	75		0
RR UK + MH		21.06.	6	45	6	20	4	15	96	
HERBA: GALAP, VERSS, URTUR, EUPSS, A-RAPS; CAPBP										

Im Jahr 2008 kam es nach der Aussaat aufgrund der Trockenheit im Mai zu einem sehr verzögerten Auflaufen der Pflanzen. Zusätzlich führten die Pflanzenschutzmittel in den

Varianten 2 bis 4 (Devrinol FL, Bandur und Stomp SC) zu einer 50- bis 95 %igen Ausdünnung der Silphie. Damit muss eingeschätzt werden, dass, außer Boxer, keines der geprüften Mittel für eine Vorsaat- bzw. Voraufbehandlung geeignet ist. Nach Niederschlägen Anfang bis Mitte Juni entstand ein gleichmäßiger und sehr gemischter Unkrautdruck.

Gute Wirkung und geringe Schädigungen der Kultur zeigten die Varianten mit Stomp SC im Nachauflauf, wobei sich Prüfglied 5 mit Boxer im Vorauf und Stomp SC im Nachauflauf sowie Prüfglied 7 mit beiden Mitteln als Tankmischung im Nachauflauf als die besten Varianten des Versuchs präsentierten. Auch in Variante 6 mit Spectrum im Vorauf und Stomp SC im Nachauflauf traten nur relativ geringe Schädigungen an der Kultur auf, jedoch konnte der Wirkungsgrad gegenüber Unkräutern nicht überzeugen.

Die Maschinenhacke erfolgte witterungsbedingt nicht zum optimalen Zeitpunkt, unterstützte aber trotzdem die chemischen Varianten (Tab. 44).

Tabelle 44: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Durchwachsener Silphie bei Aussaat, VS Dornburg 2008

Sorte:	Fa. Jelito		Bodenart/-zahl:		61					
Vorfrucht:	Körnererbse		N-Düngung:		45 kg/ha					
Aussaat:	22.05.2008		Ernte:		-					
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %)							Phytotox in %
	l/ha	Datum	Bonitur: 01.08.08							
			CHEAL	THLAR	SOLNI	A-RAPS	CABPS	HERBA	GESAMT	
UK + masch. Hacke		11.07.	12	10	8	4	12	14	60	-
SF Devrinol FL + Lentagran WP (Splitting) + masch. Hacke	1,7 1,0 1,0	VSE 19.05. NA 19.06. NA 30.06 11.07.	75	100	100	40	98	87		A 89
SF Bandur + Stomp SC + masch. Hacke	4,0 3,0	VA 22.05. NA 19.06. 11.07.	100	98	86	100	99	98		A 95
Stomp SC + Boxer + masch. Hacke	3,0 3,0	VA 22.05. NA 19.06. 11.07.	95	30	97	20	100	87		A 50
Boxer + Stomp SC + masch. Hacke	3,0 3,0	VA 22.05. NA 19.06. 11.07.	95	100	95	31	100	86		A 19
Spektrum + Stomp SC + masch. Hacke	1,2 3,0	VA 22.05. NA 19.06. 11.07.	93	94	95	23	99	93		A 19
TM Boxer + Stomp SC + masch. Hacke	3,0+ 3,0	NA 19.06. 11.07.	91	97	100	10	100	91		A 19

HERBA: GALAP, VERSS, URTUR, EUPSS, CIRAR; FUMOF

Bei der Wiederholung des Versuches 2009 unter Variation der eingesetzten Mittel, konnten die Herbizide termingerecht ausgebracht werden und die Voraufvarianten erreichten durch den leicht feuchten Boden eine sehr gute Wirkung. Die dokumentierten Auflaufverzögerungen sind wahrscheinlich nicht den Pflanzenschutzmitteln anzurechnen, sondern den recht kalten Nächten im Juni. Trotz dieser Tatsachen lief die Drillsaat doch relativ gleichmäßig auf. Auf der Fläche entstand ein gleichmäßiger und sehr gemischter Unkrautdruck. Gute Wirkung und Verträglichkeit zeigten die Varianten 4, 5 und 6. Hier lagen die

Wirkungsgrade zwischen 90 und 100 Prozent, was auch noch lange im Vegetationsverlauf sichtbar war (Tab. 45). Die Maschinenhacke erfolgte am 01.07.2009. Sie brachte einen guten Erfolg und unterstützte somit die chemischen Varianten.

Tabelle 45: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Durchwachsener Silphie bei Aussaat VS Dornburg 2009

Vorfrucht:	Körnererbse		N-Düngung:		98 kg/ha				
Aussaat:	19.05.2009		Ernte:		-				
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %)						Phytotox in %
	l/ha	Datum	Bonitur: 29.06.09						
			THLAR	CHEAL	POLSS	SOLNI	HERBA	GESAMT	
UK + MH		01.07.	8	5	8	9	7	37	-
Kerb 400 SC + MH	1,25	NS 19.05 01.07.	0	91	91	50	80		0
Butisan + MH	2,5	VA 25.05. 01.07.	50	92	92	80	92		AV 28
SF Basagran + MH	1,0 1,0	VA 25.05. NA 10.06. 01.07.	99	95	100	100	88		AV 25
SF Boxer Stomp AQUA + MH	3,0 2,5	VA 25.05. NA 10.06. 01.07.	100	99	96	100	95		AV 40
SF Basagran Select 240 SC + Öl + MH	1,0 0,75 +1,0	VA 25.05. NA 10.06. 01.07.	90	92	96	89	84		AV 11

HERBA: VERSS, CIRAR; LAMAM;

Im Ergebnis der bisherigen Herbizidversuche ist einzuschätzen, dass sich für gepflanzte Bestände aussichtsreiche Ansätze für eine effiziente Unkrautbekämpfung im Anpflanzjahr ergeben haben. Die Ergebnisse bei Drillsaat sind dagegen bisher noch relativ unbefriedigend und müssen dringend fortgesetzt werden.

3.2 Silierversuche

Im Ergebnis der mit dem Erntegut der unter Pkt. 3.1.1 beschriebenen Versuche 2007 durchgeführten Silierversuche zeigte sich, dass der Einsatz von Silierhilfsmitteln keinen wesentlichen Einfluss auf die Biogas- bzw. Methangehalte im Pflanzenmaterial hat. Im Mittel aller untersuchten Proben war bei der Zugabe von Silierhilfsmitteln ein leichter Anstieg des verdaulichen Rohproteins festzustellen, der jedoch mit einem Abfall der verdaulichen Rohfasergehalte einherging. Rohfett und N-freie Extraktstoffe wurden nicht beeinflusst, der theoretische Biogas- bzw. Methangehalt blieb gleich (Tab. 46).

Tabelle 46: Einfluss des Zusatzes von Silierhilfsmitteln auf die relevanten Inhaltsstoffe zweier Silphie-Herkünfte in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg 2007

Herkunft	Erntetermin 2007	Zusatz	Verdauliches Rohprotein (kg/kg TM)	Verdauliches Rohfett (kg/kg TM)	Verdauliche Rohfaser (kg/kg TM)	Verdauliche NfE (kg/kg TM)	Biogasgehalt (l/kg oTS)	Methan-gehalt (l/kg oTS)
Nordamerika	04.09.	Ohne	0,042	0,019	0,316	0,407	590,5	319,3
		Bio-Sil	0,042	0,018	0,316	0,407	590,0	318,9
		Blatti-Sil	0,043	0,019	0,311	0,412	591,7	320,0
		Sila-Sil	0,043	0,018	0,314	0,409	590,6	319,3
\bar{x}			0,043	0,018	0,314	0,409	590,7	319,4
Nordamerika	13.09.	Ohne	0,036	0,016	0,296	0,442	594,9	320,2
		Bio-Sil	0,035	0,018	0,297	0,439	594,7	320,3
		Blatti-Sil	0,035	0,017	0,302	0,435	594,5	320,0
		Sila-Sil	0,038	0,017	0,297	0,436	593,5	320,0
\bar{x}			0,036	0,017	0,298	0,438	594,4	320,1
Nordamerika	24.09.	Ohne	0,024	0,010	0,315	0,440	592,6	316,2
		Bio-Sil	0,026	0,011	0,307	0,445	593,1	317,1
		Blatti-Sil	0,039	0,016	0,301	0,433	593,1	319,6
		Sila-Sil	0,030	0,011	0,316	0,430	591,2	316,6
\bar{x}			0,030	0,012	0,310	0,437	592,5	317,3
Nord-deutschland	04.09.	Ohne	0,046	0,019	0,299	0,424	593,3	321,4
		Bio-Sil	0,052	0,021	0,276	0,444	596,6	324,2
		Blatti-Sil	0,048	0,019	0,294	0,427	593,0	321,4
		Sila-Sil	0,044	0,018	0,295	0,432	593,9	321,1
\bar{x}			0,048	0,019	0,291	0,431	594,2	322,0
Nord-deutschland	13.09.	Ohne	0,037	0,020	0,333	0,390	589,1	318,3
		Bio-Sil	0,044	0,020	0,305	0,417	592,9	321,1
		Blatti-Sil	0,044	0,020	0,321	0,396	589,8	319,6
		Sila-Sil	0,044	0,021	0,316	0,403	591,1	320,2
\bar{x}			0,042	0,020	0,319	0,401	590,7	319,8
Nord-deutschland	24.09.	Ohne	0,042	0,016	0,338	0,382	585,8	316,3
		Bio-Sil	0,037	0,014	0,350	0,376	584,2	314,3
		Blatti-Sil	0,042	0,016	0,344	0,367	578,2	312,2
		Sila-Sil	0,044	0,016	0,338	0,372	578,6	312,6
\bar{x}			0,041	0,015	0,342	0,375	581,7	313,9
\bar{x} ohne Zusätze			0,038	0,017	0,316	0,414	591,0	318,6
\bar{x} Bio-Sil			0,039	0,017	0,309	0,421	591,9	319,3
\bar{x} Blatti-Sil			0,042	0,018	0,312	0,412	590,0	318,8
\bar{x} Sila-Sil			0,041	0,017	0,313	0,414	589,8	318,3

Der berechnete Methanertrag je Flächeneinheit veränderte sich demzufolge parallel zum Biomassertrag bei den einzelnen Probeernten (Abb. 7).

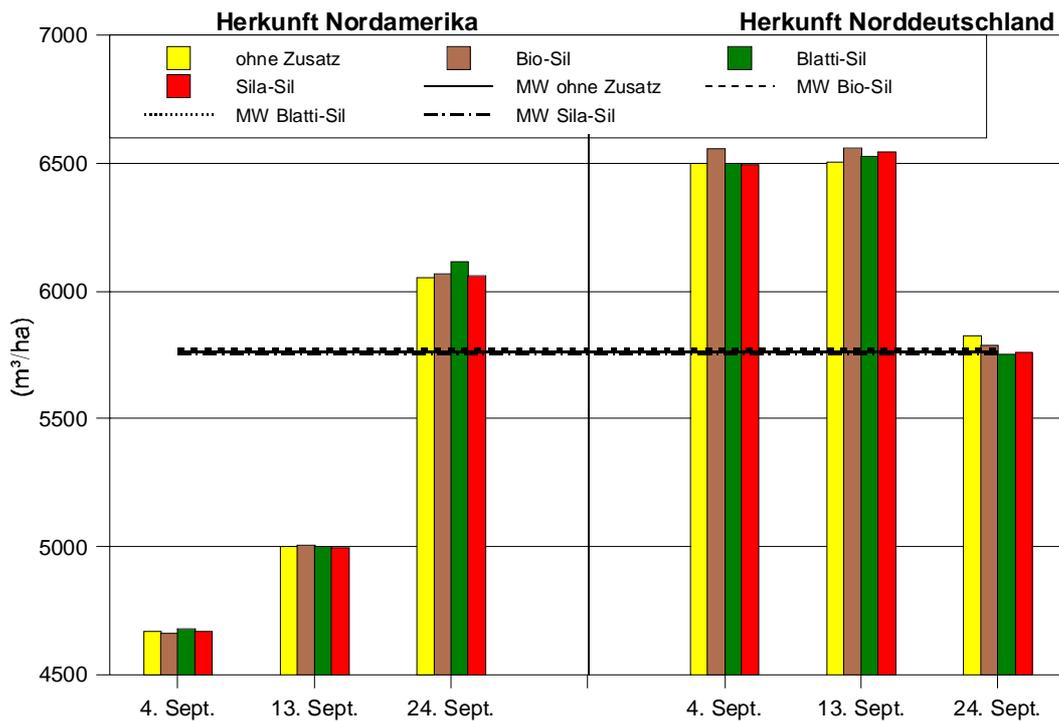


Abbildung 7: Theoretischer Methanertrag (m³/ha) zweier Silphie-Herkünfte in Abhängigkeit von Erntetermin und Nacherntebehandlung, VS Dornburg 2007

Nachdem die Silierzusätze 2007 kein Ergebnis zeigten, wurden 2008 weitere Siliermittel in die Prüfung einbezogen. Dabei kam das Erntegut der bereits 2007 geprüften norddeutschen Herkunft wiederum zu drei Ernteterminen zum Einsatz (Tab. 47).

Da die geprüften Silierhilfsmittel die Methanausbeute in den bisherigen Versuchen nicht signifikant verbesserten, wurde die Prüfung nach 2008 eingestellt und alle Silagen mit einem Standardsiliermittel hergestellt. Der generelle Verzicht auf die Zugabe von Siliermitteln ist nicht zu empfehlen, da diese zur Sicherung des Silierverlaufs und damit zur Verminderung des Verarbeitungsrisikos beitragen.

Tabelle 47: Einfluss des Zusatzes von Silierhilfsmitteln auf die relevanten Inhaltsstoffe einer Silphie-Herkunft mit und ohne Zusatz von Propionsäure, VS Dornburg 2008

Erntetermin	Zusatz	Ohne Propionsäure			Mit Propionsäure		
		pH-Wert	Biogas- gehalt (l/kg oTS)	Methan- gehalt (l/kg oTS)	pH-Wert	Biogas- gehalt (l/kg oTS)	Methan- gehalt (l/kg oTS)
07.08.2008	Ohne	4,4	594	320	4,5	590	319
	Bio-Sil	4,4	592	322	4,5	592	321
	Bio-Sil + NA Amasil	4,4	593	322	4,5	593	321
	Sila-Sil	4,7	590	321	4,5	592	320
	Bergo-Lactosil fresh	4,5	590	320	4,5	593	321
	Bergo-Lactosil duo	4,5	593	322	4,5	590	320
	Josiferm	4,5	589	319	4,5	594	321
	Josilac	4,5	593	322	4,4	592	320
	Appli-Pro	4,6	593	322	4,5	590	319
18.08.2008	Ohne	4,7	594	323	4,7	594	322
	Bio-Sil	4,9	593	322	4,8	594	323
	Bio-Sil + NA Amasil	4,4	593	322	4,6	592	321
	Sila-Sil	4,7	591	321	4,9	596	324
	Bergo-Lactosil fresh	4,8	592	322	4,7	596	323
	Bergo-Lactosil duo	4,4	594	322	4,8	595	323
	Josiferm	5,0	593	322	4,7	595	323
	Josilac	4,9	594	323	4,9	586	319
	Appli-Pro	4,6	593	322	4,6	588	319
27.08.2008	Ohne	5,0	592	322	4,6	593	322
	Bio-Sil	4,8	592	321	4,9	595	324
	Bio-Sil + NA Amasil	4,6	592	321	4,6	592	321
	Sila-Sil	5,3	591	322	4,6	591	322
	Bergo-Lactosil fresh	4,8	589	320	4,8	596	325
	Bergo-Lactosil duo	4,7	593	322	4,5	593	321
	Josiferm	4,7	590	321	4,7	590	321
	Josilac	4,5	588	319	4,6	587	318
	Appli-Pro	4,8	590	320	4,6	592	321

3.3 Versuche zur Saatgutvorbehandlung

Die Versuche nahm die N. L. Chrestensen Samenzucht und Produktion GmbH Erfurt vor. Ziel war es, die Keimruhe des Saatgutes zu brechen und somit einen zügigen und gleichmäßigen Aufgang des Saatgutes ohne vorherige Wechseltemperaturen hervorzurufen.

Die Keimruhe des Saatgutes (Dormanz) ist bei vielen Arten durch Phytohormone, Polyethylenglykoll (PEG 6000) und Vorkühlung beeinflussbar. Die Faktoren Phytohormone und Vorkühlung wurden in Tastversuchen auf ihre Wirksamkeit bei Silphie getestet.

Dazu kamen an einer einheitlichen Saatgutpartie verschiedene Vorbehandlungsvarianten zum Einsatz:

- Vorkühlen (5 Tage bei 5°C) und Anritzen
- Vorkühlen (14 Tage bei -18°C)
- Vorbehandlungsvarianten mit Gibberellinsäure (GA₃, 0,04%)
- Vorbehandlungsvarianten mit Kaliumnitrat (KNO₃, 0,15%)

Die Ergebnisse sind in Tabelle 48 zusammengefasst.

Tabelle 48: Ergebnisse der Vorversuche (Orientierungsproben S 213) zur Keimstimulation

Keimmethode	Anzucht	Temperatur (°C)	Chemische Vorbehandlung	Keimung (%)
Kontrolle Tetrazolium		20		88
Kontrolle	Erde	20	ohne	4
Vorkühlen, 5 Tage, 5 °C	Petrischale	20	ohne	52
Vorkühlen, 5 Tage, 5 °C	Petrischale	20 bis 30	KNO ₃	83
Vorkühlen, 5 Tage, 5 °C	Petrischale	20	GA ₃	83
Frost, 14 Tage	Petrischale	-18	ohne	4
Vorkühlen, 5 Tage, 5 °C	Erde	20	GA ₃ , Samen getaucht	72
Vorkühlen, 5 Tage, 5 °C	Erde	20	GA ₃ , Erde befeuchtet	52
Frost, 14 Tage	Erde	-18	ohne	8

Die potenzielle Keimfähigkeit im unbehandelten Saatgut wurde mit dem Tetrazolium-Test (TTC) nach ISTA-Vorschrift beurteilt. Über die Farbreaktion war eine Lebensfähigkeit von 88 % festzustellen. Nach einer Aussaat ohne Vorbehandlung in Erde konnten dagegen nur 4 % Keimlinge ermittelt werden. Die Dormanz-Reaktion war somit sehr stark ausgeprägt.

Die gewählte Kühlvorbehandlung erwies sich als sehr effektiv. Allein durch Kühlung stieg das Keimergebnis auf 52 %. Im Vergleich dazu waren Vorbehandlungen bei -18°C mit 4 % bzw. 8 % Keimrate wirkungslos.

Durch eine zusätzliche chemische Vorbehandlung konnten die nach TTC-Test theoretisch möglichen Werte nahezu erreicht werden. Die Behandlung mit GA₃ steigerte die Keimrate auf 83 % in der Petrischale und 72 % in Erdkultur. Ein Abgießen der Aussaatplatten mit GA₃-Lösung erbrachte 52 % Keimrate. Dieses Ergebnis entsprach der Kühlung ohne chemische Behandlung, so dass davon auszugehen ist, dass ein Abgießen mit GA₃ keinen positiven Effekt zeigte. Gleichzeitig sprechen die deutlich größeren Verbrauchsmengen an GA₃ gegen ein direktes Abgießen der Erde.

Etwas unerwartet war die Keimrate von 83 % bei der Behandlung mit KNO₃. Ob hier eine direkte Wirkung der Chemikalie oder ob ein zusätzlicher Effekt durch die Temperaturintervalle 16 h Zimmertemperatur und 8 h 30 °C eintrat, konnte in diesem Versuch nicht geklärt werden.

An einer zweiten Saatgutpartie (Partie 64052, Orientierungsprobe S 378, S 379) wurde die Bedeutung einer strengen mechanischen Vorreinigung (Sieben, Windsichten) deutlich. Von ursprünglich 1230 g Ausgangssaatgut entstanden 860 g gereinigtes Saatgut und 370 g Abgang. Mit der im Vorversuch erfolgreichen Kombination einer Wechseltemperatur (8 h 30 °C, 16 h Zimmertemperatur) mit einer chemischen Behandlung mit GA₃ oder KNO₃ sind mit dem gereinigten Saatgut 84 bzw. 85 % Keimfähigkeit erreicht worden. Die gleichen Vorbehandlungsbedingungen führten im Abgang zu keiner nutzbaren Keimrate (1 bzw. 4 %).

An einer weiteren Saatgutpartie aus der Ernte 2005 kamen zwei Einzellvarianten mit GA₃ zur Anwendung (Orientierungsprobe S 491). Das Ausgangsmaterial keimte mit 60 % (Abb. 8).



Abbildung 8 Keimversuch ohne Vorbehandlung

Nach 12 h GA₃-Einquellen wurden 92 %, nach 24 h GA₃-Einquellen 86 % Keimrate erreicht (Abb. 9).



Abbildung 9 Keimversuch mit chemischer Vorbehandlung (links 12 h GA₃, rechts 24 h GA₃)

Dieses Saatgut wurde nach dem Rücktrocknen an die TLL verschickt. Eine Überprüfung der Keimfähigkeit bestätigte mit 91 % (12 h) bzw. 90 % (24 h) die in Erfurt erreichten Keimraten. Das Material kam in einem Feldversuch zur Direktsaat in der TLL zum Anbau. In vier Wiederholungen liefen im Mittel 5,3 Pflanzen/m² mit der 12 h-Vorbehandlungsvariante und 5,8 Pflanzen/m² mit der 24 h-Vorbehandlungsvariante auf. Umgerechnet auf einen Hektar entsprach das 53.000 bzw. 58.000 Pflanzen. In beiden Fällen konnten somit die angestrebten 40.000 bis 50.000 Pflanzen/ha erreicht werden.

Außerdem wurde das Saatgut einer Keimprüfung in Saatschalen im untemperierten Gewächshaus unterzogen. Nach der Aussaat von jeweils 50 Samen in dreifacher Wiederho-

lung am 30.05.2007 erfolgte im wöchentlichen Abstand eine Auszählung der aufgelaufenen Pflanzen bis zum 10.07.2007 (6 Wochen). Die Ergebnisse der Pflanzenzählungen beinhaltet Abbildung 10.

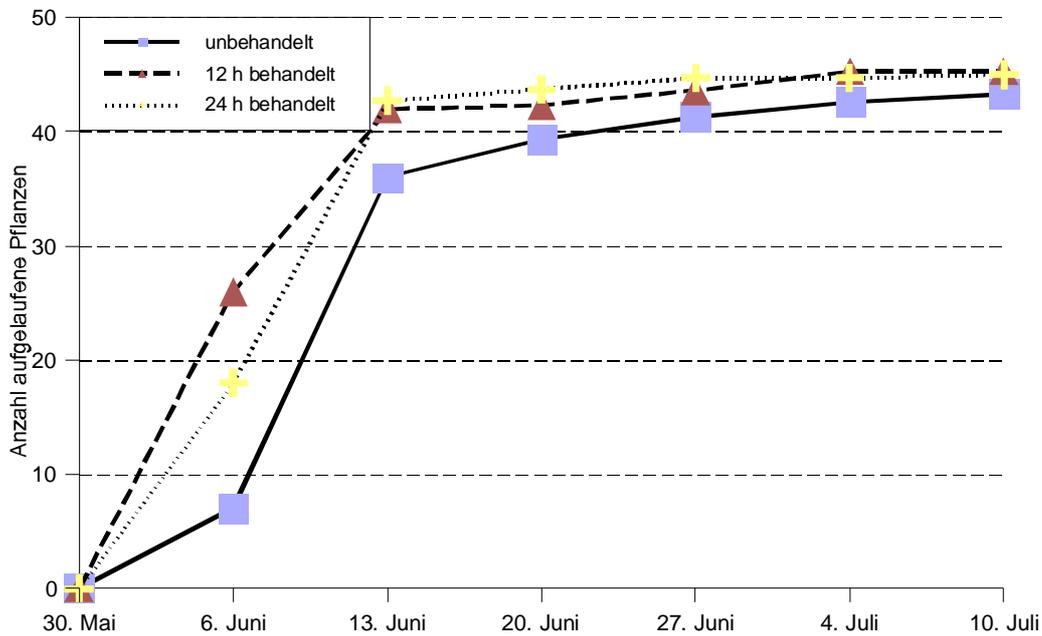


Abbildung 10: Ergebnisse der Pflanzenzählung von chemisch behandeltem Saatgut im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, Gewächshaus 2007

Auf gleiche Weise wurde mit wärmebehandeltem Saatgut der Exsemine GmbH verfahren. Die Ergebnisse sind in Abbildung 11 dargestellt.

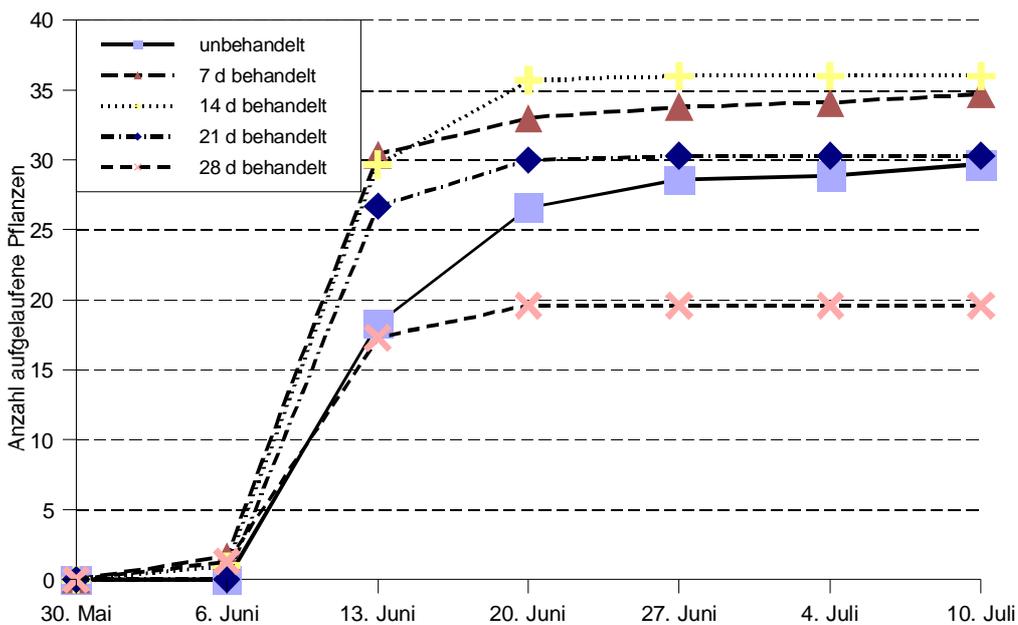


Abbildung 11: Ergebnisse der Pflanzenzählung von wärmebehandeltem Saatgut im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, Gewächshaus 2007

Es ist festzustellen, dass die Aufgangsraten des von der Exsemine GmbH behandelten Saatgutes deutlich unter denen der Fa. Chrestensen lagen. Dies liegt wahrscheinlich an der bei erstgenannter Firma fehlenden scharfen mechanischen Vorreinigung, die die Fa. Chrestensen vor der Saatgutbehandlung vornahm. Während bei der unbehandelten Kontrolle der Exsemine GmbH insgesamt 59 % der Pflanzen aufliefen, waren es bei der Chrestensen GmbH 87 %. Deshalb sind beide Partien getrennt betrachtet worden. Generell erfolgte der Aufgang beim wärmebehandelten Material etwas langsamer. Hier war nach 14 Tagen das Gros der Pflanzen in den behandelten Varianten aufgelaufen. Besonders gut schnitt mit 71 % die 14-tägige Wärmebehandlung ab.

Zwischen den Behandlungsstufen des chemisch behandelten Saatguts waren kaum Unterschiede festzustellen. Die Samen der 12-Stunden-Variante keimten geringfügig schneller.

Verwunderlich war insgesamt der recht rasche Aufgang des unbehandelten Saatguts. Dies ist nur durch die relativ starken Temperaturschwankungen im untemperierten Gewächshaus und die damit möglicherweise verbundene natürliche Brechung der Keimruhe zu erklären.

Zusammenfassend zu diesen ersten Versuchen ist festzustellen, dass bei der Durchwachsenen Silphie eine Saatgutvorbehandlung zur Brechung der Dormanz zwingend notwendig ist. Ein Einquellen des Saatgutes in GA₃ (0,4 %) für 12 h mit anschließendem Waschen und Rücktrocknen ist nach den bisherigen Ergebnissen ausreichend. Das zu behandelnde Saatgut muss durch eine scharfe mechanische Reinigung laufen, um die ca. 30 % nicht-keimfähigen Samen und andere Verunreinigungen abzutrennen.

Die beschriebene Vorbehandlung kam 2008 in mehreren Ansätzen zur Produktion von Jungpflanzen zum Einsatz. Dabei bestätigte sich der positive Effekt auf Keimfähigkeit und Keimschnelligkeit. Die Jungpflanzenpaletten konnten mit einer Einzelkornablage besetzt werden, der Anteil pflanzfähiger Jungpflanzen lag zwischen 70 bis 80 %. Alle anderen Varianten zur Vorbehandlung naturellen Saatgutes wurden daher nicht weiter verfolgt.

Als weiterführender Versuchsansatz wurde an der Verbesserung der Eignung des Silphie-saatgutes zur Einzelkornsaat im Freiland gearbeitet. Im November 2007 erfolgte an einer ausgewählten Saatgutpartie eine GA₃-Vorbehandlung mit 15 h Dauer. Neben der Optimierung der Auflaufeigenschaften durch Keimstimulation (GA₃) stand hier vor allem das Problem besserer Fließeigenschaften des Saatgutes im Mittelpunkt des Interesses.

Erprobt wurde hierbei ein Saatgutcoating, das von der Fa. SUET nach Beauftragung durch die TLL durchgeführt wurde. Im Keimlabor der N. L. Chrestensen GmbH erfolgte die Prüfung der Auswirkungen der Saatgutbeschichtung. Hier zeigte sich, dass die Keimeigenschaften im Labortest nach ISTA drastisch schlechter wurden. Am 27.03.2008 wurde bei der Endauszählung nur eine Keimfähigkeit von 34 % erreicht. Auffällig war, dass 23 % der nicht gekeimten Samen äußerlich völlig unverändert in der Petrischale lagen. Was ursächlich zur Verschlechterung der Keimung führte, konnte nicht geklärt werden. Möglich wären erschwerter Wasserzutritt, direkte oder indirekte Einflüsse der Beschichtungsmaterialien auf den Keimling oder veränderte mikrobiologische Bedingungen beim Labortest auf Filterpapier. Auffällig war, dass bei einem parallelen Keimtest in Erde (Triebkrafttest) der Ab-

fall nicht ganz so deutlich war. Trotzdem ist einzuschätzen, dass diese Saatgutbeschichtung für eine Einzelkornaussaat sowohl im Gewächshaus wie auch im Freiland ungeeignet ist.

Auf Basis der Ergebnisse erfolgten im Winterhalbjahr 2008/2009 wiederum Versuche in Zusammenarbeit mit der N. L. Chrestensen GmbH und der Fa. SUET. Mit den erzeugten Partien, die in Gewächshausvorversuchen aussichtsreiche Aufgangsraten zeigten, wurde 2009 ein randomisierter Feldversuch angelegt. Zur Aussaat kamen fünf Varianten, von denen drei chemisch vorbehandelt und zwei unbehandelt waren, wobei bei einer unbehandelten Variante ein chemischer Zusatz in die Hüllmasse eingebracht wurde (Tab. 49). Dieses Verfahren wäre im Vergleich zur Vorbehandlung technisch leichter zu händeln. Durch die Inkrustierung wurde eine bessere Ablagegenauigkeit bei Einzelkornaussaat im Freiland angestrebt.

Erwartungsgemäß war der Feldaufgang bei der unbehandelten Variante am schlechtesten. Die chemisch vorbehandelten Saatgutvarianten unterschieden sich hinsichtlich der belegten Pflanzstellen und der Feldaufgangsrate nicht wesentlich voneinander, wengleich der Feldaufgang insgesamt nicht zufrieden stellen konnte, was auch die Vielzahl der Doppelbelegungsstellen zeigte. Der 2009 bonitierte Deckungsgrad der Varianten 2 bis 4 gibt aber Anlass weitere Versuche durchzuführen. Allerdings verbesserte die Inkrustierung nicht, wie angestrebt, die Ablagegenauigkeit, führte aber auch nicht zu verschlechtertem Aufgang.

Tabelle 49: Einfluss der Saatgutvorbehandlung auf den Feldaufgang, die Ablagegenauigkeit und die Bestandesentwicklung der Durchwachsenen Silphie VS Dornburg 2009

Variante	Belegte Pflanzstellen/Parzelle	Feldaufgangsrate (%)	∅ Pflanzenabstand (cm)	Doppelbelegungen (%)	Deckungsgrad (29.09.) (%)
unbehandelt, inkrustiert	18	9	129	30	24
chemisch vorbehandelt, nicht inkrustiert	66	33	38	17	79
chemisch vorbehandelt, inkrustiert Hüllmasse 1	84	42	33	18	86
chemisch vorbehandelt, inkrustiert Hüllmasse 2	72	36	43	11	88
unbehandelt, inkrustiert mit chemischem Zusatz	44	22	60	3	61

Zusätzlich wurden bei N. L. Chrestensen Bestände zur Saatgutproduktion aufgebaut. Bei einer tatsächlichen Etablierung eines Direktsaatverfahrens würde der Saatgutbedarf deutlich steigen. Eine erste Ernte von ca. 5 kg Saatgut konnte 2008 eingebracht werden. Die Fläche zur Saatgutproduktion wurde nochmals um 200 % mit einer Neupflanzung im Sommer 2008 aufgestockt. Die intensive Ernte auch der Versuchsbestände in Dornburg nach der Biomassernte im Jahr 2009 erbrachte bereits eine Saatgutmenge von ca. 80 kg, was aber für eine breite Einführung der Durchwachsenen Silphie in die landwirtschaftliche Praxis bei weitem nicht ausreicht. Hierzu sind im Folgeprojekt intensive Untersuchungen und Anstrengungen geplant.

3.4 Praxisanbau von Durchwachsener Silphie

Im Mai 2007 wurde erstmals im Hektarmaßstab Durchwachsene Silphie in der Pahren Agrar GmbH & Co KG angepflanzt. Der Bestand entwickelte sich bis zum Herbst sehr gut. Es traten kaum Pflanzenausfälle auf. Jedoch war auch ein relativ hoher Unkrautbesatz zu verzeichnen, da aufgrund der anhaltend feuchten Witterung im Juni bis Juli die vorgesehene Nachpflanzspritzung nicht durchgeführt werden konnte. Trotzdem entsprach der Entwicklungsstand der Pflanzen im September 2007 in etwa dem der VS Dornburg. Die Bestände waren zu 90 % geschlossen bei einer Bestandeshöhe zwischen 30 und 40 cm und ca. 12 bis 14 Blättern je Pflanze.

Zu Vegetationsbeginn erfolgte eine organische Düngung mit 20 m³ Rindergülle/ha (10 % TS). Entsprechend der durchschnittlichen Nährstoffgehalte erhielten die Bestände somit eine Düngergabe von etwa 90 kg N/ha, 15 kg P/ha, 100 kg K/ha und 10 kg Mg/ha. Zur Bekämpfung von Ausfallraps kam Roundup im Streichverfahren am 14.04.2008 zur Anwendung. Am 15.04.2008 wurde mineralisch mit Harnstoff (60 kg N/ha) gedüngt. Daraufhin entwickelten sich die Pflanzen sehr zügig, schlossen die Bestände und konnten Ende August bei TS-Gehalten von 34 % mit dem Feldhäcksler geerntet und anschließend separat siliert werden. Der Ertrag belief sich auf etwa 80 dt TM/ha. Dieser relativ niedrige Ertrag ist zum einen der starken Verunkrautung im Anpflanzjahr, zum anderen aber sicherlich zumindest teilweise der Witterung geschuldet. So erreichte die in der Pahren Agrar GmbH & Co. KG angebaute Hirse ‚Super Sile 18‘ in 2008 auch nur 45 dt TM/ha. Die Silage der Durchwachsenen Silphie wurde in der betriebseigenen Biogasanlage bei drei Beschickungen mit Koferment eingesetzt. Während der Vergärung der Silphiesilage traten keine messbaren Beeinträchtigungen bezüglich der Biogas- und Methanausbeute auf.

Die ursprünglich für Anfang August geplante zweite Pflanzung 2007 verzögerte sich wegen des schlechten Wetters bis Mitte September. Trotzdem wuchsen die Pflanzen noch an, kamen aber 2008 nicht zur Blüte. Es bildeten sich im Jahresverlauf nach Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen bis zum Herbst kräftige Rosetten. Die Beerntung des Bestandes in 2009 zeigte bereits einen deutlichen Mehrertrag von 26 % gegenüber dem an diesem Standort geernteten Mais.

Im Jahr 2008 wurde in Pahren auch eine Einzelkornsaat auf ca. 1.000 m² Fläche erprobt. Die Aussaat erfolgte Mitte Mai mit der Einzelkorndrillmaschine der TLL. Aufgrund der bereits vorab beschriebenen Probleme mit dem Herbizideinsatz (Bandur, 1,0 l/ha, im Voraufgang) gelang auch hier die Bestandesetablierung nicht.

Nach Rücksprache mit anderen Landwirtschaftsunternehmen, die 2008 mit dem Silphieanbau begannen, traten an keinem der Standorte größere Probleme auf. Selbst auf Extremstandorten, wie im Biogaspark Buchen, wo eine Rekultivierungsfläche für den Anbau genutzt worden ist, wuchsen die Pflanzen gut an.

Aufgrund des großen Interesses und zahlreicher Anfragen von Landwirtschaftsunternehmen war 2009 eine deutliche Zunahme der Anbaufläche zu verzeichnen und für 2010 sind bereits Jungpflanzen für weitere 25 Hektar geordert. So ist u. a. in der Agrarprodukte Ludwigshof e. G. in Ranis ein Bestand von 4 ha etabliert worden. Dieser wird 2010 erstmalig

beerntet, separat siliert und in der betriebseigene Biogasanlage vergoren. Hier werden zukünftig analoge Untersuchungen wie in Pahren durchgeführt werden

Ein größerer Direktsaatversuch mit mechanisch behandeltem Saatgut kommt an der Agrargenossenschaft e.G. Hedersleben 2010 zur Anlage.

4 Ökonomische Bewertung

Auf Basis der bisherigen Versuchsergebnisse und der angelegten Praxisflächen wurde eine ökonomische Bewertung des Silphieanbaus vorgenommen. Vergleichbare Verfahrensschritte bzw. Arbeitsgänge lehnen sich an die „Betriebswirtschaftlichen Richtwerte Silomaisproduktion“ (Degner, et al. 2010, www.tll.de/ainfo), die auf KTBL-Daten und eigenen Berechnungen basiert, an. Für die Berechnungen sind die Produktionsbedingungen von Thüringen auf 20 ha Schlaggröße mit 100 % Pachtflächenanteil unterstellt worden.

Die Nutzungsdauer der mehrjährigen Pflanze wurde mit 12 Jahren im unteren Bereich der in der Literatur angegebenen Werte gewählt. Die Ertragshöhe von 150 dt TM/ha (Praxisertrag) bzw. 170 dt TM/ha (hoher Ertrag) basiert auf den durchschnittlichen Praxis- und Parzellenerträgen und bewegt sich dabei leicht über denen des Silomaises (Tab. 50 und 51).

Tabelle 50: Parameter für die Silhieproduktion

Position	ME	Praxisertrag	hoher Ertrag	Praxisertrag Feldbereitstellung	Praxisertrag ohne Silo
TM-Ertrag im Erntejahr	dt TM/ha	150	170	150	150
Nutzungsdauer	Jahre	12	12	12	12
Erntejahre	Jahre	11	11	11	11

Parameter	ME	Silage mittel	Silage hoch	Silage mittel	Silage mittel
Energieverluste total	%	12,5	12,5	12,5	12,5
TS-Gehalt im Grüngut	%	28	28	28	28

Tabelle 51: Leistungen der Silhieproduktion

Nutzungsart	ME	Praxisertrag	hoher Ertrag	Praxisertrag Feldbereitstellung	Praxisertrag ohne Silo
TM-Ertrag z. Ernte	dt/ha	150	170	150	150
TS-Gehalt z. Ernte	%	28	28	28	28
Grünmasseeertrag, brutto	dt/ha	536	607	536	536
Energie Erntegut	MJ NEL/kg TM	6,9	6,9	6,9	6,9
TM-Verluste	%	8,9	8,9	8,9	8,9
TM-Ertrag netto	dt/ha	137	155	137	137
Energieertrag netto	MJ NEL/ha	90.563	102.638	90.563	90.563
TS-Gehalt z. Fütterung	%	28	28	28	28
FM-Ertrag Futter netto	dt/ha	488	553	488	488
FM-Ertrag Futter brutto	dt/ha	536	607	536	536

Für die Kalkulation wurde des Weiteren für den Praxisertrag eine Landwirtschaftliche Vergleichszahl von 45 bzw. 55 (hoher Ertrag) herangezogen. Gleiches gilt für die Ackerzahl. Die Unterteilung in Nutzungs- und Erntejahre resultiert daraus, dass die Durchwachsene Silphie im Anlagejahr keinen Ertrag bildet. Die relativ hohen Anlagekosten sind kapitalisiert mit 5 % verzinst und auf die 11 Erntejahre aufgeteilt. Unterschiede in der Höhe ergeben sich aus dem unterschiedlichen Pachtansatz der beiden Ertragsstufen.

Hinsichtlich der Verwertungs-Varianten ist der in den neuen Ländern übliche Leistungsübergang frei Biogasanlage abgebildet worden. Zusätzlich erfolgte die Kostenermittlung in den Varianten Feldbereitstellung (Verkauf des erntefähigen Bestandes) und „ohne Silo“ (Verkauf frei Biogasanlage, wobei die Siloanlage Eigentum der Biogasanlage ist), jeweils bei Rückführung der Biogasgülle an den Landwirt.

Um die Kosten für die Anlage eines Silphiebestandes durch Pflanzung detailliert erfassen zu können, sind, neben den Versuchsergebnissen, die realen Aufwendungen eines 4 ha-Praxisschlages herangezogen und das Anlagejahr gesondert berechnet worden. In die Kalkulation (Tab. 52) gingen dabei Pflanzgutkosten von 0,09 €/Pflanze bei 40.000 Pflanzen/ha sowie die Pflanzung selbst mit 500 €/ha Lohnarbeit ein. Des Weiteren wurden ein dreimaliger Herbizideinsatz und eine zweimalige Maschinenhacke kalkuliert. Die Aufwendungen für die Reinhaltung der Bestände sind damit relativ großzügig bemessen und sind bei einem normalen Unkrautdruck auf der Fläche und wüchsigen Witterungsbedingungen in diesem Umfang höchstwahrscheinlich nicht erforderlich.

Gemäß den gewählten Unterstellungen belaufen sich damit die Anlagekosten auf 4.650 €/ha (Praxisertrag) bzw. 4.680 €/ha bei hohem Ertragsniveau. Unter Berücksichtigung der 11 Erntejahre entstehen somit jährliche Kosten von 539 €/ha bzw. 542 €/ha aus der mit 5 % verzinsten Anlage der Plantage. Diese reduzieren sich mit steigender Nutzungsdauer. Geht man von einer 15jährigen Nutzungsdauer, d. h. 14 Erntejahren aus, wären es 426 bzw. 429 €/ha.

Tabelle 52: Richtwerte für Herstellungskosten zur Anlage eines Silphiebestandes bei zwei Intensitätsstufen

Position		ME	Praxis- ertrag	hoher Ertrag
Jahresertrag		dt TM/ha	0	0
Futtermittel frei Krippe bzw. Maul		dt/ha	0	0
Direktkosten	Pflanzgut	€/ha	3600	3600
	Düngemittel	€/ha	96	96
	Pflanzenschutzmittel	€/ha	152	152
	Summe	€/ha	3848	3848
Arbeits erledigungs-kosten	Unterhaltung Maschinen	€/ha	60	60
	Kraft- u. Schmierstoffe	l/ha	51	51
	Kraft- u. Schmierstoffe	€/l	0,70	36
	Maschinenvermögen	€/ha	801	801
	Schlepperleistungsbesatz	kW/ha	0,42	0,42
	AfA Maschinen	€/ha	66	66
	Arbeitszeitbedarf termingebunden	AKh/ha	4,5	4,5
	Arbeitszeitbedarf nicht termingeb.	AKh/ha	2,2	2,2
	Personalkosten	9,04 €/h Nebenk. 50 %	€/ha	91
	Lohnarbeit		€/ha	500
Summe			753	753
Arbeits erl. inkl. L+V	Summe	€/ha	794	794
Kosten für Zahlungsansprüche		€/ha		
Flächenkosten	Pacht	€/BP	BP	45
		3	€/ha	135
Sonstige	Berufsgenossenschaft	€/ha	20	20
	sonstiger allg. Betriebsaufwand	€/ha	50	50
	Summe	€/ha	70	70
Summe Kosten		€/ha	4846	4876
Flächenzahlungen	dar. Zahlgs. anspr. AL	8 % 322 Mod.	€/ha	296
	dar. Ausgleichszulage LVZ	45	€/ha	0
	Saldo Herstellungskosten und Flächenzahlungen		€/ha	4550
			€/dt	0,0
Herstellungs- inkl. Nutzungskosten		€/ha	4650	4680
Gewinnbeitrag v. Marktfrüchten		100 €/ha		

Erntejahre		Jahre	11	11
Zinsaufwand	5%	€/ha	116	117
Tilgung		€/ha	423	425
Aufwand Plantagenerrichtung (abgezinst)		€/ha	539	542

Diese berechneten Kosten für die Bestandesanlage gingen in die ökonomische Bewertung des Verfahrens ein. Die Berechnung der Düngerkosten erfolgte anhand der ermittelten mittleren Entzüge von 1,00 kg N/dt TM, 0,19 kg P/dt TM, 1,60 kg K/dt TM und 0,40 kg Mg/dt TM als Mineraldüngung für die Erntejahre. Da ab dem zweiten Anbaujahr ein Herbizideinsatz in der Regel nicht mehr erforderlich ist und Krankheiten sowie Schädlinge bisher nicht in bekämpfungswürdigem Umfang auftraten, sind hierfür keine gesonderten Kosten veranschlagt (Tab. 53).

Tabelle 53: Richtwerte für die Produktion von Silphie bei zwei Intensitätsstufen

Position	ME	Praxisertrag	hoher Ertrag	Praxisertrag Feldbereitstellung	Praxisertrag ohne Silo
Jahresertrag	dt TM/ha	150	170	150	150
Futtermittel frei Krippe bzw. Maul	dt/ha	488	553	488	488
Direktkosten					
Saatgut	€/ha	0	0	0	0
Düngemittel	€/ha	426	483	426	426
Pflanzenschutzmittel	€/ha	0	0	0	0
Konservierung	€/ha	38	43	0	0
Summe	€/ha	464	526	426	426
Arbeitserledigungskosten					
Unterhaltung Maschinen	€/ha	85	93	2	88
Kraft- u. Schmierstoffe	l/ha	95	105	2	82
Kraft- u. Schmierstoffe	€/l 0,70	66	73	1	57
Maschinenvermögen	€/ha	1372	1479	24	1385
Schlepperleistungsbesatz	kW/ha	0,83	0,94	0,02	0,70
AfA Maschinen	€/ha	124	133	2	129
Arbeitszeitbedarf termingebunden	AKh/ha	11,2	12,6	0,3	8,0
Arbeitszeitbedarf nicht termingeb.	AKh/ha	2,5	2,5	0,1	2,5
Personalkosten 9,04€/h Nebenk. 50 %	€/ha	186	204	5	143
Lohnarbeit	€/ha	0	0	0	0
Summe		462	503	11	418
Arbeitserl. inkl. L+V					
Summe	€/ha	545	595	13	482
Kosten f. Zahlungsanspr.					
	€/ha				
Gebäude					
Vermögen	€/ha	4945	5604	0	0
Unterhaltung	€/ha	27	30	0	0
AfA (ant. Neuwert) 100 % 30 J. NND	€/ha	165	187	0	0
Summe	€/ha	192	217	0	0
Flächenkosten					
Pacht €/BP	BP	45	55	45	45
	€/ha	135	165	135	135
Sonstige					
Berufsgenossenschaft	€/ha	20	20	20	20
sonstiger allg. Betriebsaufwand	€/ha	50	50	50	50
Summe	€/ha	70	70	70	70
Anlagekosten Kosten für Plantagenetablierung	€/ha	539	542	539	539
Summe Kosten	€/ha	1945	2116	1184	1652
	€/dt	3,98	3,82	2,42	3,38
	€/dt TM	14,2	13,7	8,7	12,1
Flächenzahlungen	dar. Zahl.anspr. AL 322 8 % Mod.	€/ha	296	296	296
Saldo Herstellungskosten und Flächenzahlungen		€/ha	1649	1819	887
		€/dt	3,38	3,29	1,8
Herstellungskosten incl. Nutzungskosten		€/ha	1749	1919	987
Gewinnbeitrag v. Marktfrüchten 100 €/ha	€/dt	3,58	3,47	2,02	2,98
Gärrest	100 % Masseverl. 25 %	t/ha	40	46	40
	Bruttowert	€/ha	378	429	378
abzgl. Gärrestausbr. zzgl. Grundd.streuen = Nettowert 70 % Anrechnung		€/ha	178	201	178
Kostendifferenz durch Gülle	€/ha	0	0	0	0
Herstellungskosten inkl. Nutzungskosten u. Gärrestwert		€/dt	3,22	3,10	1,7
Kapitalbindung 50 % Sachanl. 60 % var. Kosten + Personal	€/ha	3583	4014	168	1053
Zinsansatz 3,5 %	€/ha	125	140	6	37
Herstellungskosten incl. Nutzungskosten, Gärrestwert u. Zinsansatz		€/ha	1696	1859	815
	€/dt	3,47	3,36	1,67	2,69

Weitere Arbeitsgänge, die sich im Wesentlichen auf Ernte und Konservierung beschränken, entsprechen weitgehend der Silomaisproduktion unter den Bedingungen Thüringens. In-

nerhalb der Gebäudekosten wirken der höhere Ertrag und der geringere TS-Gehalt im Vergleich zu Mais kostensteigernd. Für die Festkosten, Flächen- und sonstige Kosten ergeben sich keine Änderungen. Daraus resultieren Kosten von 1.945 €/ha bzw. 3,98 €/dt FM bei mittlerem Ertrag und 2.116 €/ha bzw. 3,82 €/dt FM bei hohem Ertrag. Unter Berücksichtigung der Flächenzahlungen von 296 €/ha (Durchschnitt Thüringen incl. Modulation für 2010) verringern sich die Aufwendungen auf 3,38 €/dt FM bzw. 3,29 €/dt FM. Vergleicht man diese Werte mit dem Silomais, der bei mittlerem Ertrag 3,60 €/dt FM kostet, schneidet die Silphie geringfügig besser ab. Dies ist vor allem durch das etwas höhere Ertragspotenzial begründet. Die geringeren Aufwendungen im Pflanzenbau in den Nutzungsjahren werden durch die hohen Kosten für die Plantagenerrichtung mit den Schwerpunkten Pflanzkosten und Kosten der Pflanzen (3.600 €/ha) fast wieder ausgeglichen. Da Ernte, Transport und Konservierung im Wesentlichen masseabhängige Aufwendungen darstellen, ist durch den höheren Ertrag und den geringeren TS-Gehalt keine Absenkung der Stückkosten zu erwarten.

Der Bruttowert des Gärrestes bei einer Nutzung im eigenen Betrieb ist mit 378 €/ha bzw. 429 €/ha berechnet. Abzüglich der Ausbringungskosten, der nach Düngeverordnung unterstellten N-Verluste (wie Schweinegülle) und des Mineraldüngeräquivalentes ergibt sich ein Nettowert 178 €/ha FM bzw. 201 €/ha FM, der der Fruchtart Silphie gutzuschreiben ist. Dies führt zu einer Reduzierung der Kosten auf 3,22 €/dt FM (mittlerer Ertrag) bzw. 3,10 €/dt FM (hoher Ertrag). Zuzüglich der Kapitalbindung und des Zinsansatzes von 3,5 % belaufen sich die Vollkosten auf 3,47 €/dt FM bzw. 3,36 €/dt FM.

Bei Betrachtung der o. g. Werte ist festzustellen, dass die Durchwachsene Silphie auch bei dem relativ aufwändigen Pflanzverfahren aufgrund ihrer langen Nutzungsdauer in geeigneten Gebieten eine ökonomisch sinnvolle Alternative zum Silomais darstellt. Reserven sind hier vorrangig im Bereich der Nutzungszeit der Plantagen zu erwarten. Zudem bieten sich im Anbauverfahren, z. B. durch die Etablierung der Bestände durch Aussaat, noch deutliche Einsparpotenziale. Trotzdem sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass das Anbau-risiko bei dieser noch neuen Kultur vergleichsweise höher ist als bei etablierten Kulturen, wie Silomais oder Ganzpflanzengetreide.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In Auswertung der bereits 2004 im Rahmen des Projektes „Optimierung der Verfahrenskette der Bereitstellung und Nutzung von Energiepflanzen zur Kofermentation im Biogasreaktor“ angelegten Versuche zur Biomasseleistung in Abhängigkeit von Nutzungsdauer und Erntetermin kann festgestellt werden, dass die Erträge während der bisher fünfjährigen Nutzungsdauer an beiden Orten auf hohem, dem Silomais vergleichbarem Niveau lagen und in durchschnittlichen Jahren auch die erforderliche Trockensubstanz für eine erfolgreiche Silierung erreicht wurde.

Die Prüfung verschiedener Herkünfte kam entsprechend der je Herkunft verfügbaren Pflanzen in den Versuchsstandorten mit 3, 4 bzw. 5 Varianten in 2007 mit einem Pflanzabstand von 50 x 50 cm zur Anlage. Die Ertragsunterschiede zwischen den Herkünften folgten an den unterschiedlichen Standorten keinem einheitlichen Muster, so dass noch keine Aussagen zur Standorteignung getroffen werden können. Allerdings zeigte sich, dass in den beiden Erntejahren die besten Herkünfte an jedem Standort über dem Mittel des Silomaisertrages lagen und die Durchwachsene Silphie somit durchaus in unterschiedlichen Regionen Deutschlands als alternatives Koferment in Betracht zu ziehen ist.

Im Jahr 2008 wurde mit der Prüfung zweier weiterer Silphiearten, *Silphium trifoliatum* und *Silphium lacinatedum*, im Vergleich zu einer Herkunft von *Silphium perfoliatum* aus Brandenburg begonnen, die lt. Literaturangaben ebenfalls sehr hohe Biomasseerträge aufweisen sollen. Leider bestätigten sich diese Angaben im ersten Erntejahr 2009 nicht. Beide Arten blieben in ertraglicher Hinsicht deutlich hinter der Durchwachsenen Silphie zurück und wiesen eine schlechtere Anbaueignung auf. Beide Arten bedeckten den Boden nicht vollständig, so dass der Unkrautdruck deutlich höher war als bei *Silphium perfoliatum*. Dazu kam bei *Silphium lacinatedum* noch eine geringe Standfestigkeit, die bei der Ernte zu totalem Lager führte. Da sich die theoretischen Methangehalte beider Arten nicht von der Durchwachsenen Silphie unterschieden, sind sie wahrscheinlich nicht für einen Anbau als ertragreiches Koferment geeignet.

Im Spätsommer 2008 wurde das Herkunftsspektrum um zwei russische Akzessionen erweitert, von denen eine der Art *Silphium trifoliatum*, die andere *Silphium perfoliatum* angehört. Aufgrund des späten Pflanztermins und der unzureichenden Bestandesetablierung erreichten beide Herkünfte 2009 keinen vollen Ertrag und können hinsichtlich ihrer Biomasseleistung noch nicht abschließend bewertet werden.

Ein Versuch mit unterschiedlichen Pflanzdichten hatte das Ziel, die Pflanzen pro Fläche und damit die durch die Pflanzung verursachten Kosten zu minimieren. Es wurden Bestandesdichten von 40.000, 27.000 und 18.000 Pflanzen/ha geprüft. Die drei Varianten erreichten ab dem 2. Erntejahr ähnliche Erträge, nachdem im ersten Erntejahr die geringeren Bestandesdichten etwas besser waren. Somit sollte es möglich sein, die Pflanzzahlen/ha bei Pflanzung unter das bisher empfohlene Maß von 40.000 zu senken. Dies setzt aber einerseits effiziente Herbizidvarianten voraus, da der Zeitraum bis zum Bestandeschluss bei den geringeren Pflanzdichten deutlich länger währt. Zum anderen erhöht sich das Risiko ungleichmäßiger Bestände, wenn es nach der Pflanzung, beispielsweise durch ungünstige Witterungsbedingungen, zu Ausfällen kommt.

Bei einem Versuch der Pflanzung von Durchwachsener Silphie unter den Deckfrüchten Sudangras und Zuckerhirse wurde deutlich, dass die Deckfruchtvarianten in Wuchshöhe, Triebzahl und Ertrag hinter der Variante ohne Deckfrucht zurückblieben. In Kumulation der Erträge der Deckfrüchte 2007 und der Durchwachsenen Silphie 2008 und 2009 erreichten die Deckfruchtvarianten jedoch höhere Gesamterträge. Der Versuch wurde 2008 im Aussaatverfahren wiederholt. Als Deckfrucht diente Sudangras. Hier entwickelte sich die Silphie deutlich schlechter, was möglicherweise auch den trockeneren Witterungsbedingungen des Jahres 2008 geschuldet ist und erreichte im ersten Anbaujahr nur ca. 50 % des Ertrages der Blanksaatvariante. Zudem war der Unkrautdruck in den ungleichmäßigen Beständen deutlich größer, was das Risiko einer derartigen Vorgehensweise bei der Bestandesetablierung unterstreicht.

Des Weiteren kam in Dornburg 2007 ein Aussaatversuch in Einzelkornablage zur Anlage. Verwendet wurde chemisch vorbehandeltes Saatgut (12 h und 24 h mit Gibberelinlösung) der Fa. Chrestensen neben einer Vergleichsvariante mit gepflanzter Silphie. Beim Vergleich der Wuchshöhen zeigten sich nahezu keine Unterschiede. In ertraglicher Hinsicht lagen die gedrillten Varianten im ersten Erntejahr allerdings signifikant unter denen der Pflanzung, erreichten aber mit 155 bzw. 159 dt TM/ha durchaus ansprechende Erträge, so dass davon auszugehen ist, dass es durchaus möglich ist, die Bestände durch Einzelkornsaat erfolgreich zu etablieren. Allerdings setzt dies qualitativ hochwertiges Saatgut und effiziente Herbizidstrategien voraus.

Untersuchungen zur optimalen Pflanz- bzw. Saatzeit deuten darauf hin, dass die Aussaat bis Ende Mai erfolgen sollte. Die Pflanzung kann eventuell bis Ende Juni herausgezögert werden, um einen Bestandesschluss im Anpflanzjahr und zufriedenstellende Erträge im 2. Standjahr zu erzielen. Hier sind jedoch noch intensivere Untersuchungen nötig.

Erste Untersuchungen zur Düngung der Silphie mit Gärresten im Vergleich zur mineralischen Düngung lieferten 2009 aussichtsreiche Ansätze, muss für generelle Aussagen aber dringend weitergeführt werden. Diese Fragestellung ist insbesondere für die Betreiber von Biogasanlagen von großer Bedeutung.

In Auswertung der Versuche zur Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden ist festzustellen, dass sich sowohl für gepflanzte als auch für gesäte Bestände erste aussichtsreiche Varianten abzeichnen. Dabei stehen die Chancen für die Pflanzung deutlich besser, da hier bis zum Bestandesschluss eine deutlich kürzere Zeitspanne überbrückt werden muss. Insgesamt sind für gesicherte Empfehlungen aber dringend weitere Versuche erforderlich, zumal bisher kein Herbizid eine Zulassung für Silphie besitzt. Anwendungen sind gegenwärtig nur nach der Einholung von Genehmigungen nach § 18b PSchG bei der zuständigen Pflanzenschutzstelle möglich.

Silievierversuche wurden zu drei Erntezeitpunkten mit acht verschiedenen Siliermitteln im Vergleich zu einer Nullvariante durchgeführt. Zwischen diesen Varianten konnten keine Unterschiede hinsichtlich Biogas- und Methanausbeute gefunden werden, so dass der Einsatz eines für die Maissilierung üblichen Mittels ausreichend sein dürfte.

Zur Saatgutvorbehandlung, die der Brechung der Keimruhe dienen und somit zu einem verbesserten und gleichmäßigen Aufgang führen sollte, hat sich in Vorversuchen das 12-

bis 14stündige Einquellen des Saatgutes in Gibberilinlösung (GA₃) erwiesen. Diese Behandlung ist mittlerweile Standard bei der Gewächshausaussaat in Paletten bei der N. L. Chrestensen GmbH. Die bisher erprobten Saatgutbeschichtungen zur Verbesserung der Ablagegenauigkeit erwiesen sich dagegen als nicht praxistauglich, lieferten aber aussichtsreiche Ansätze für weitere Versuche, zumal qualitativ hochwertiges Saatgut mit hoher Keimfähigkeit und schnellem, gleichmäßigem Aufgang eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Bestandesetablierung durch Aussaat ist.

Der Anbau der Durchwachsenen Silphie unter Praxisbedingungen in der Pahren Agrar GmbH & Co KG (Pflanzung 2007) verlief erfolgreich. Die Ende August mit einem Feldhäcksler geerntete Silphie wurde separat siliert und in der betriebseigenen Biogasanlage bei drei Beschickungen als Koferment eingesetzt. Während der Vergärung traten keine messbaren Beeinträchtigungen bezüglich Biogas- und Methanausbeute auf. Die Ernte 2009 wies einen Mehrertrag der Silphie gegenüber Mais an dem genannten Standort von 26 % auf.

Im Ergebnis der ökonomischen Bewertung des Silphieanbaus ist festzustellen, dass die Pflanze in geeigneten Gebieten aufgrund ihres hohen Ertragspotenzials und ihrer langen Nutzungsdauer durchaus eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zu Silomais darstellt.

In 2010 ist eine deutliche Anbauerweiterung auf ca. 50 ha zu erwarten, wie die zahlreichen Anfragen nach Saatgut bzw. Jungpflanzen bei der Fa. N. L. Chrestensen belegen. Trotzdem ist eine breite Einführung der Pflanze in die landwirtschaftliche Praxis nur durch die Erarbeitung sicherer Drillverfahren möglich, die Hauptbestandteil des derzeit laufenden Nachfolgeprojektes sind.