

Energiepflanzen

Daten für die Planung
des Energiepflanzenanbaus

KTBL-Datensammlung



mit Online-Zugang
www.ktbl.de



Gefördert durch:



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die 2. Auflage wurde bearbeitet von

Till Belau | Helmut Döhler | Henning Eckel | Dr. Jürgen Frisch | Dr.-Ing. Norbert Fröba | Mathias Funk | Sven Grebe | Dr. Jens Grube | Stefan Hartmann | Dr. Dieter Horlacher | Christian Horn | Dr. Florian Kloepfer | Felipe Ruiz Lorbacher | Dr. Norbert Sauer | Dr. Jan Ole Schroers | Bernd Wirth | Ernst Witzel

Mitwirkende Institutionen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) | Fachhochschule Südwestfalen (FH-SWF) | Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg (LELF) | Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) | Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK NI) | Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) - Außenstelle Forchheim | Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) | Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LFULG) | Technologie- und Förderzentrum (TFZ) | Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)

Projektleitung

Sven Grebe, Stefan Hartmann | KTBL

Finanzielle Förderung

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Projekträger: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) | Gülzow
Fördernummer: 22002610

Für Entscheidungen, die auf Basis der Angaben in der Datensammlung getroffen werden, und deren Folgen schließen das KTBL und die beteiligten Institutionen jegliche Haftung aus.

Online-Anwendung siehe Seite 368

© 2012, 2. Auflage

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)

Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Telefon 06151 7001-0 | Fax 06151 7001-123 | E-Mail: ktbl@ktbl.de | <http://www.ktbl.de>

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Lektorat

Claudia Molnar, Monika Pikart-Müller, Elke Zimmer | KTBL

Redaktion

Sven Grebe, Stefan Hartmann, Christian Horn | KTBL

Fotos

Titelfoto | ©Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Vertrieb

KTBL | Darmstadt

Druck

Lokay | Reinheim

Printed in Germany

ISBN 978-3-941583-65-8

Vorwort

In vielen landwirtschaftlichen Betrieben besteht ein großes Interesse am Anbau von Energiepflanzen als Alternative und Ergänzung zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln. Damit steigt bei der Beratung und in der Praxis der Bedarf an speziell auf diese Produktionsrichtung zugeschnittenen Informationen.

Die „Datensammlung Energiepflanzen“ bietet nun in zweiter Auflage umfassende Informationen zum Energiepflanzenanbau. Die Produktionsverfahren für eine Vielzahl von Kulturen werden mit allen relevanten Verfahrensschritten detailliert dargestellt. Weitere Abschnitte befassen sich mit der Lagerung der Erntegüter und den für die Bereitstellung an der Verwertungsanlage notwendigen Transporten. So ermöglicht die Datensammlung eine detaillierte Kostenkalkulation für die Bereitstellung von Biomasse zur Verwendung als Biogassubstrat, Brennstoff oder Rohstoff für die Pflanzenöl- und Ethanolproduktion.

Ergänzend zu den ökonomischen Planungsdaten werden Hinweise zum Anbau der Kulturen und zur Gestaltung von Fruchtfolgen dargestellt, unter besonderer Berücksichtigung der Unterschiede zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Beschrieben werden sowohl bekannte Energiepflanzen als auch neue Kulturen, für die noch vergleichsweise wenige Anbauerfahrungen vorliegen, die aber ein großes Potenzial für die Verbreitung in der landwirtschaftlichen Praxis haben.

Die Zusammenstellung der Informationen für die Datensammlung Energiepflanzen war nur möglich durch die engagierte Mitarbeit der Projektpartner und die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, vertreten durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Allen Beteiligten gilt unser Dank.

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)

Fachagentur nachwachsende
Rohstoffe e. V. (FNR)

DR. HEINRICH DE BAEY-ERNSTEN

DR. ANDREAS SCHÜTTE

Inhalt

I	EINFÜHRUNG	9	1.5	Winterweizen, Korn und Stroh: thermische Nutzung	57
1	Aufbau der Datensammlung	9	2	Mais	61
2	Die Annahmen im Überblick	11	2.1	Anbauhinweise	61
3	Methodische Grundlagen	12	2.1.1	Standortanforderungen	61
3.1	Planungsebene Gebrauchsgüter	12	2.1.2	Fruchtfolge	62
3.1.1	Planungsanlässe für Gebrauchsgüter	13	2.1.3	Sortenwahl	62
3.1.2	Kostenkalkulation von Gebrauchsgütern	14	2.1.4	Düngung	62
3.2	Planungsebene Arbeitsverfahren	19	2.1.5	Bodenbearbeitung und Aussaat	65
3.2.1	Planungsanlässe für Arbeitsverfahren	20	2.1.6	Pflanzenschutz	66
3.2.2	Kalkulation des Zeitbedarfs von Arbeitsverfahren	21	2.1.7	Ernte	67
3.2.3	Kalkulation der Arbeitserledigungskosten von Arbeitsverfahren	21	2.1.8	Lagerung und Konservierung	68
3.3	Planungsebene Produktionsverfahren	23	2.2	Energieertrag	68
3.3.1	Planungsanlässe für Produktionsverfahren	23	2.3	Silomais: Biogasproduktion	70
3.3.2	Kostenkalkulation von Produktionsverfahren	24	2.4	Corn-Cob-Mix: Biogasproduktion	74
3.3.3	Kalkulation der ökonomischen Erfolgs- größen von Produktionsverfahren	26	2.5	Körnermais: Bioethanolproduktion	77
3.3.4	Kalkulationsmethode für mehrjährige Produktionsverfahren	28	3	Durchwachsene Silphie	81
II	ENERGIEPFLANZENPRODUKTION	31	3.1	Anbauhinweise	81
1	Getreide	31	3.1.1	Standortanforderungen	81
1.1	Anbauhinweise	31	3.1.2	Fruchtfolge	82
1.1.1	Standortanforderungen	32	3.1.3	Sortenwahl	82
1.1.2	Fruchtfolge	32	3.1.4	Düngung	82
1.1.3	Sortenwahl	33	3.1.5	Bodenbearbeitung und Aussaat	84
1.1.4	Düngung	36	3.1.6	Pflanzenschutz	85
1.1.5	Bodenbearbeitung und Aussaat	39	3.1.7	Ernte	85
1.1.6	Pflanzenschutz	40	3.1.8	Lagerung und Konservierung	86
1.1.7	Ernte	42	3.2	Energieertrag	86
1.1.8	Lagerung und Konservierung	45	3.3	Durchwachsene Silphie: Biogasproduktion	88
1.2	Energieertrag	45	4	Sorghum	93
1.3	Winterweizen, Korn: Bioethanol- produktion	50	4.1	Anbauhinweise	93
1.4	Wintertriticale, Ganzpflanzensilage: Biogasproduktion	54	4.1.1	Standortanforderungen	93
			4.1.2	Fruchtfolge	93
			4.1.3	Sortenwahl	94
			4.1.4	Düngung	94
			4.1.5	Bodenbearbeitung und Aussaat	96
			4.1.6	Pflanzenschutz	96
			4.1.7	Ernte	96
			4.1.8	Lagerung und Konservierung	97
			4.2	Energieertrag	98

4.3	Sudangrashybride: Biogasproduktion	100
4.4	<i>Sorghum bicolor</i> : Biogasproduktion	103
5	Zucker- und Futterrüben	107
5.1	Anbauhinweise	107
5.1.1	Standortanforderungen	107
5.1.2	Fruchtfolge	107
5.1.3	Sortenwahl	107
5.1.4	Düngung	108
5.1.5	Bodenbearbeitung und Aussaat	111
5.1.6	Pflanzenschutz	111
5.1.7	Ernte	112
5.1.8	Lagerung und Konservierung	113
5.2	Energieertrag	115
5.3	Zuckerrüben: Biogasproduktion	118
5.4	Futterrüben: Biogasproduktion	121
5.5	Zuckerrüben: Bioethanolproduktion	125
6	Grünland	129
6.1	Anbauhinweise	129
6.1.1	Standortanforderungen	129
6.1.2	Fruchtfolge	129
6.1.3	Bestandeszusammensetzung und Sortenwahl	129
6.1.4	Düngung	134
6.1.5	Bestandesführung	136
6.1.6	Pflanzenschutz	139
6.1.7	Ernte	139
6.1.8	Lagerung und Konservierung	140
6.2	Energieertrag	141
6.3	Dauergrünland: Biogasproduktion	142
7	Ackergräser und Leguminosen- Gras-Gemenge	150
7.1	Anbauhinweise	150
7.1.1	Standortanforderungen	150
7.1.2	Fruchtfolge	150
7.1.3	Arten- und Sortenwahl	151
7.1.4	Düngung	156
7.1.5	Bodenbearbeitung und Aussaat	158
7.1.6	Pflanzenschutz	159
7.1.7	Ernte	159
7.1.8	Lagerung und Konservierung	160
7.2	Energieertrag	160
7.3	Ackergras und Leguminosen-Gras- Gemenge: Biogasproduktion	162
8	Raps	170
8.1	Anbauhinweise	170
8.1.1	Standortanforderungen	170
8.1.2	Fruchtfolge	170
8.1.3	Sortenwahl	171
8.1.4	Düngung	171
8.1.5	Bodenbearbeitung und Aussaat	173
8.1.6	Pflanzenschutz	175
8.1.7	Ernte	177
8.1.8	Lagerung und Konservierung	177
8.2	Energieertrag	178
8.3	Winterraps: Rapsöl	179
9	Miscanthus	183
9.1	Anbauhinweise	183
9.1.1	Standortanforderungen	183
9.1.2	Fruchtfolge	184
9.1.3	Sortenwahl	184
9.1.4	Düngung	185
9.1.5	Bodenbearbeitung und Pflanzung	186
9.1.6	Pflanzenschutz	187
9.1.7	Ernte und Rekultivierung	188
9.1.8	Lagerung und Trocknung	189
9.2	Energieertrag	190
9.3	Miscanthus, Häcksel: thermische Nutzung	191
9.4	Miscanthus, Ballen: thermische Nutzung	195
10	Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb	201
10.1	Anbauhinweise	201
10.1.1	Standortanforderungen	201
10.1.2	Fruchtfolge	202
10.1.3	Sortenwahl	202
10.1.4	Düngung	205
10.1.5	Bodenbearbeitung und Pflanzung	206
10.1.6	Pflanzenschutz	208
10.1.7	Ernte und Rekultivierung	209
10.2	Energieertrag	212
10.3	Pappeln: thermische Nutzung	213
10.4	Weiden: thermische Nutzung	217

III	MISCHFRUCHTANBAU	223
1	Hintergrund und Ziele	223
2	Vorteile des Mischfruchtanbaus	223
3	Mischfruchtanbau von Wintergetreide mit Leguminosen	224
4	Winterroggen-Zottelwicken- Gemenge – Ganzpflanzensilage: Biogasproduktion	226
5	Mischfruchtanbau von Mais mit Sorghum	229
6	Silomais-Sorghum-Gemenge: Biogasproduktion	231
7	Weitere mögliche Mischungen	234
IV	ZWISCHENFRUCHTKULTUREN	237
1	Hintergrund und Ziele	237
2	Fruchtfolge	237
3	Qualitätsansprüche	238
4	Standortanforderungen	238
5	Winterzwischenfrüchte	238
5.1	Arten- und Sortenwahl	238
5.2	Bodenbearbeitung und Aussaat	239
5.3	Düngung und Pflanzenschutz	239
5.4	Ernte und Silierung	240
5.5	Energieertrag	241
5.6	Winterroggen, Ganzpflanzensilage: Biogasproduktion	242
6	Sommerzwischenfrüchte	245
6.1	Arten- und Sortenwahl	245
6.2	Bodenbearbeitung und Aussaat	247
6.3	Düngung	248
6.4	Energieertrag	248
6.5	Sommerzwischenfrucht, Sorghum: Biogasnutzung	249
V	BIOMASSEFRUCHTFOLGEN	253
1	Einführung	253
1.1	Pflanzenbauliche Aspekte	253
1.2	Standortspezifische Fruchtfolgen	255
2	Ökonomische Kennzahlen	259
3	Humusbilanz	269
3.1	Methode	270
3.2	Humusreproduktionsleistung	272
3.3	Kalkulationshilfen für die Gärrestbewertung	278
VI	BEWÄSSERUNG VON ENERGIEPFLANZEN	281
1	Anbauhinweise	281
2	Pflanzenbauliche Aspekte	281
3	Bewässerung	283
4	Ergebnisse aus Bewässerungsversuchen	284
5	Verfahrensvergleich	286
VII	DÜNGUNG MIT RESTSTOFFEN AUS DER BIOENERGIEERZEUGUNG	287
1	Einführung	287
2	Gärreste	287
2.1	Eigenschaften von Gärresten aus der Vergärung von Wirtschaftsdüngern	287
2.2	Eigenschaften von Gärresten aus der Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdüngern	288
2.3	Nährstoffwirkung	290
2.4	Humuswirkung von Gärresten	291
2.5	Schadstoffe	291
2.6	Ausbringungszeitpunkte für Gärreste nach Düngeverordnung	292
2.7	Maßnahmen zur Verringerung der Ammoniakverluste nach der Ausbringung von Gärresten	294
3	Aschen	300

VIII	NACHERNTETECHNOLOGIEN	303	IX	ALLGEMEINE KENNWERTE	329
1	Biomassetransporte	303	1	Richtwerte für die Gasausbeuten	329
2	Silagelagerung	312	2	Stoffkenndaten von Energiepflanzen ..	331
2.1	Fahrsilo	312	3	Raumgewichte	345
2.2	Lagerungskosten von Silagen	314	4	Maßeinheiten	347
2.3	Auslagerungskosten von Silagen	314	5	Abkürzungsverzeichnis	348
2.4	Gesamtkosten	316	6	Glossar	350
3	Rübenlagerung	317	X	LITERATURVERZEICHNIS	355
3.1	Lagerstätten	317		Autoren	361
3.1.1	Silierung von Rüben im Folienschlauch	317		KTBL-Veröffentlichungen	363
3.1.2	Rübenbreilagerung	318		aid-Veröffentlichungen	367
3.2	Kosten der Einlagerung, Lagerung und Auslagerung von Rüben	320		Online-Anwendung	368
3.3	Gesamtkosten	321			
4	Druschfruchtlagerung	322			
4.1	Rundsilos	322			
4.2	Kosten der Einlagerung, Lagerung und Auslagerung von Druschfrüchten	323			
5	Hackgutlagerung	323			
5.1	Lagerstätten	323			
5.1.1	Bauweise und Form	324			
5.1.2	Investitionsbedarf und jährliche Anlagenkosten	325			
5.2	Einlagerungskosten	326			
5.3	Lagerungskosten	327			
5.4	Auslagerungskosten	327			
5.5	Gesamtkosten	328			



3 Durchwachsene Silphie

Zum Anbau und zur Verwendung der Durchwachsenen Silphie liegen bislang nur wenige Praxiserfahrungen vor. Die folgenden Ausführungen beruhen auf Versuchsergebnissen und sind als Richtlinie zu betrachten. Sie beschreiben kein ausgereiftes Produktionsverfahren.

3.1 Anbauhinweise

Die Durchwachsene Silphie wurde ursprünglich als Futterpflanze in Europa eingeführt, konnte sich jedoch u. a. aus Gründen geringer Akzeptanz bei Wiederkäuern nicht durchsetzen. Der ausdauernde, aus Nordamerika stammende Korbblütler bildet im Anpflanzjahr nur eine bodenständige Rosette aus, aus der ab dem 2. Standjahr im April bis Mai 1,80 bis 3,00 m hohe, vierkantige Stängel treiben, die mit ungeteilten lanzettförmig gegenständigen, an der Basis verwachsenen Blättern besetzt sind. In Abhängigkeit von Standraum und Alter bildet jede Pflanze 3 bis 10 Stängel aus. Sie wird als mehrjährige Kultur angebaut und kann ca. 12 Jahre genutzt werden.

Im Juli beginnt die Silphie zu blühen. Die leuchtend gelben, ca. 6 bis 8 cm breiten Blütenköpfchen stehen einzeln und endständig. Die Samenreife setzt im September ein. Sowohl Blüte als auch Reife erstrecken sich über einen relativ langen Zeitraum.

Die gegenwärtig betriebenen Anstrengungen zur Einführung der Pflanze in die landwirtschaftliche Praxis verfolgen das Ziel, vor allem in Mais dominierten Regionen eine Alternative zu Mais als Biogassubstrat zu schaffen.

Dabei hat die Silphie gegenüber dem Mais ökologische Vorteile, wie die ganzjährige Bodenbedeckung und die damit verbundene Verminderung der Erosionsgefahr sowie die Bereicherung der Artenvielfalt. Zudem wird die Pflanze von zahlreichen Insekten besucht und ist hinsichtlich des Pollen- und Nektarwertes als mittel eingestuft, sodass sie als Bienenweidepflanze in Betracht kommt.

3.1.1 Standortanforderungen

Boden

Hinsichtlich des Bodens ist die Durchwachsene Silphie relativ anspruchslos, sodass der Anbau auch in ackerbaulichen Grenzlagen (bis 600 m ü. NN, ab AZ 25) möglich ist. Am besten wächst sie aber auf humosen Standorten mit guter Wasserführung. Staunasse Lagen sind für den Anbau nicht geeignet.

Insgesamt zeichnet sich die Durchwachsene Silphie durch eine hohe Standortvariabilität aus.

Temperatur

Die Silphie zählt zu den Frost- bzw. Wechselkeimern, d. h., die Samen keimen erst nach einer längeren Periode wechselnder Temperaturen. In der Regel erfolgt das Auflaufen natürlich ausgefallener Samen im Frühjahr bei Temperaturen über 5 °C. Bereits die Keim- und Jungpflanzen sind frostverträglich, etablierte Pflanzen vertragen Kahlfröste von unter – 25 °C.

Niederschlag

Aufgrund ihres stark verzweigten, tiefgehenden Wurzelwerks ist die Silphie in der Lage, sich Wasser aus tieferen Bodenschichten zu erschließen. Die Silphie gehört zu den trockenoleranten Pflanzen, insbesondere Perioden der Frühjahrs- oder Vorsommertrockenheit im April bis Juni kann sie gut kompensieren. Insgesamt sind Jahresniederschläge zwischen 400 und 500 mm für Biomasserträge auf Maisniveau ausreichend. Während der Vegetation sollten ca. 200 bis 250 mm zur Verfügung stehen.

Charakteristisch für die Pflanze sind die an der Basis verwachsenen Blätter, die den Stängel umfassen. In diesen „Bechern“ sammelt die Silphie Tau- und Regenwasser.

3.1.2 Fruchtfolge

Die Durchwachsene Silphie stellt keine besonderen Ansprüche an die Vorfrucht. Da die Pflanze im ersten Jahr relativ langsam wächst, sollte auf Unkraut unterdrückende Eigenschaften der Vorfrucht geachtet werden.

Aufgrund des Aussaat- oder Pflanztermins zwischen Mitte Mai und Mitte Juni kommt ein Anbau nach einer früh räumenden Winterzwischenfrucht (z. B. Grünroggen) in Betracht.

Als Nachfrucht ist Getreide geeignet, um eventuellen Durchwuchs bekämpfen zu können.

3.1.3 Sortenwahl

Zugelassene Sorten der Durchwachsenen Silphie existieren noch nicht. Im Versuchsanbau werden verschiedene Herkünfte aus geografisch unterschiedlichen Regionen und dem Zierpflanzenhandel geprüft.

3.1.4 Düngung

Die Kultur hinterlässt nur geringe Ernterückstände von ca. 1 bis 1,5 t TM/ha. Abtransportierte und auf dem Feld verbleibende Nährstoffmengen sind in die Nährstoffbilanz einzubeziehen (Tab. II 3-1).

Tab. II 3-1: Nährstoffgehalte im Erntegut

Erntegut	TM [%]	N	P % der FM	K	Mg
Silphie Ganzpflanze (Mittelwert)	28	0,28	0,054	0,48	0,11

Organische Düngung

Bei der Neuanlage von Beständen sollte die Gärrestdüngung 2–4 Wochen vor der Pflanzung/Saat erfolgen.

In etablierten Beständen ist Gärrest- oder Gülleausbringung rechtzeitig im Frühjahr vorzunehmen, um Beschädigungen an den Schosstrieben gering zu halten.

Eine geringe Gabe nach der Ernte im September ist möglich, um den Wiederaustrieb zu beschleunigen.

Erfahrungen bezüglich der Ausbringung von Stallmist und/oder Gründüngung liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht vor. Ausgehend von den Ergebnissen der Gülle- bzw. Gärrestdüngung ist aber davon auszugehen, dass beide Varianten von der Silphie gut vertragen werden.

Grunddüngung

Der Nährstoffbedarf der Durchwachsenen Silphie ist von der Gehaltsstufe des Bodens abhängig (Tab. II 3-2). Der Hauptnährstoffbedarf liegt zwischen Ende Juni und Mitte August.

Tab. II 3-2: Grunddüngung von Durchwachsener Silphie in Abhängigkeit von der Bodengehaltsstufe

Gehaltsstufe	P ₂ O ₅	K ₂ O kg/ha	MgO
A	140–170	300–330	140–150
B	80–115	240–270	115–130
C	55–65	200–220	100–110
D	40–50	130–170	0
E	0	0	0

Phosphor-, Kalium- und Magnesiumdüngung

- Das Prinzip der Grunddüngung besteht mittelfristig im Ersatz des Nährstoffentzuges bzw. der -abfuhr vom Feld bei einem anzustrebenden optimalen Niveau des Nährstoffversorgungszustandes des Bodens (Gehaltsklasse C für Phosphor, Kalium, Magnesium und pH-Klasse C).

- In der Dauerkultur Silphie empfehlen sich regelmäßige Bodenuntersuchungen im 2-jährigen Turnus, um das entsprechende Versorgungsniveau aufrechtzuerhalten.

Stickstoffdüngung

- Im Anlagejahr benötigt die Silphie ca. 100 kg N/ha.
- In den Folgejahren erhöht sich der Stickstoffbedarf in Abhängigkeit vom Ertragsniveau auf ca. 150 kg N/ha. Der Hauptstickstoffbedarf besteht bei einsetzendem Massewachstum von Mitte April bis Ende Juni. Im Juli setzt die Blüte ein und das Massewachstum verlangsamt sich.
- Eine N_{\min} -Untersuchung zwischen Mitte und Ende März ist unerlässlich, um den Düngebedarf zu ermitteln. Zu hohe Stickstoffgaben können zu Lager führen. Zum Ausgleich fehlender Stickstoffmengen eignen sich beispielsweise Kalkammonsalpeter oder Ammonsulfatsalpeter.
- Die Düngung sollte in einer einmaligen Stickstoffgesamtgabe erfolgen, da zu späte Überfahrten zu Beschädigungen der Schosstriebe führen. Lediglich in jungen Beständen und auf leichten, auswaschungsgefährdeten Böden bzw. bei starker Geländeneigung sowie hohen Düngermengen aufgrund niedriger N_{\min} -Gehalte ist ein Splitting der Stickstoffgabe in Erwägung zu ziehen.

3.1.5 Bodenbearbeitung und Aussaat

Für tiefe Durchwurzelbarkeit sowie gute Wasser- und Nährstoffversorgung ist eine homogene und feinkrümelige Bodenstruktur zu schaffen. Bei konventioneller Grundbodenbearbeitung empfiehlt sich auf schweren Böden die Herbstfurche, da Frostsprengung die Bodengare fördert. Auf leichten, sandigen Böden ist die Frühjahrsfurche oft besser geeignet. Erfolgt vor der Silphie der Anbau einer Winterzwischenfrucht, sollte eine Schälfrucht vorgenommen werden. Organische Reste von Vor- und Zwischenfrüchten werden gleichmäßig in den Boden eingearbeitet und verbessern so die biologische Aktivität und das Wasserspeichervermögen des Bodens.

Bei konservierender Bearbeitung erfolgt eine 6–8 cm tiefe Durchmischung des Bodens. Die verbleibende Mulmschicht aus Pflanzenresten beugt Wind- und Wassererosion vor und verringert das Verschlammungsrisiko.

Wichtig sind eine Feuchtigkeit bewahrende Saatbettbereitung und die Schaffung eines feinkrümeligen Saat- oder Pflanzbetts.

Die Samen der Silphie benötigen zum Keimen eine Keimstimulation, sonst keimen sie sehr unregelmäßig. Zudem entwickeln sich die Jungpflanzen nur langsam, sodass es bei einer Direktsaat mit unbehandeltem Saatgut zu erheblichen Problemen durch die mangelnde Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern kommen kann. Die Aussaat vorbehandelten Saatgutes mit Einzelkorndrillmaschinen sowie die Pflanzung vorkultivierter Jungpflanzen sind ab Mitte April möglich. Eine Aussaat sollte spätestens bis Mitte Juni, eine Pflanzung bis Mitte Juli erfolgt sein.

Bei der Einzelkornsaat werden 12 bis 15 keimfähige Samen/m² abgelegt, bei der Pflanzung reichen 3–4 Pflanzen/m² aus. Die Reihenabstände richten sich nach den Möglichkeiten der mechanischen Pflege und können zwischen 45 und 75 cm liegen.

Gegenwärtig ist die Pflanzung das weniger risikobehaftete Verfahren und deshalb aus pflanzenbaulicher Sicht der Aussaat vorzuziehen. Das Pflanzverfahren ist allerdings, bedingt durch den Arbeitskraftbedarf, mit hohen Kosten von etwa 3.600 €/ha verbunden. Gegenwärtig gibt es Bestrebungen, die Saatgutgewinnung zu intensivieren und die Saatgutqualität zu verbessern, um damit das Aussaatverfahren wirtschaftlich tragfähiger zu machen.

3.1.6 Pflanzenschutz

Unkraut

Die Durchwachsene Silphie entwickelt sich im Jungpflanzenstadium relativ langsam und bildet im Anpflanzjahr lediglich eine grundständige Blattrosette. Eine Unkrautbekämpfung ist unbedingt notwendig, um gleichmäßige und dichte Bestände zu erhalten.

Zugelassene Herbizide für die Silphie gibt es nicht. Über den aktuellen Zulassungsstand bzw. die Möglichkeiten der Erteilung von Genehmigungen der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln nach § 22.2 PflSchG (PflSchG 2012) informieren die zuständigen Pflanzenschutzstellen. In die Kostenkalkulation gingen folgende in Versuchen geprüfte Mittel ein: Stomp Aqua (2,0 l/ha im Vorauflauf), Basagran (1,0 l/ha im Nachauflauf) und Boxer (3,0 l/ha im Nachauflauf).

Eine Maschinenhacke ist aufgrund der weiten Reihenabstände möglich.

Bei rechtzeitiger Anlage schließt die Silphie ab dem 2. Jahr die Bestände und entwickelt sich sehr üppig, Unkraut bekämpfende Maßnahmen sind dann nicht mehr erforderlich.

Krankheiten und Schädlinge

- Schädlinge traten bisher in den Beständen der Durchwachsenen Silphie nicht in ertragsrelevantem Umfang auf.
- Bei größerem Anbauumfang kann es in ungünstigen Jahren und in Abhängigkeit von der Vorfrucht zum Auftreten von Sclerotinia kommen. Bei stärkerem Befall sollte schnellstmöglich geerntet werden, um die Bildung von Dauerkörpern einzuschränken. Erfahrungsgemäß regenerieren sich die Bestände im Folgejahr.

3.1.7 Ernte

Die Ernte der gesamten Pflanze erfolgt bei Trockenmassegehalten zwischen 26 und 30 % mit einem praxisüblichen Feldhäcksler mit Häcksellängen zwischen 4 und 6 mm.

Je nach Anbauregion erreicht die Silphie dieses Entwicklungsstadium Anfang bis Ende September. Die Pflanzen befinden sich zu diesem Zeitpunkt im Stadium Blüte/Beginn Samenreife. Für die exakte Festlegung des Erntetermins ist eine Trockenmassebestimmung zu empfehlen.

Nach der Ernte wird das Häckselgut siliert. Bei geringerem Flächenumfang kann dies zusammen mit Mais erfolgen. Der Ertrag liegt bei ca. 13 bis 18 t TM/ha ab dem 2. Standjahr (Tab II 3-3).

Tab. II 3-3: Ertragsniveau von Durchwachsener Silphie (TM-Gehalt 28 %)

Merkmal	Ertragsniveau [t FM/ha]		
	niedrig	mittel	hoch
Durchwachsene Silphie	40 - 45	45 - 55	55 - 60

3.1.8 Lagerung und Konservierung

Bei der Silierung ist das Erntegut auf 650 kg/m³ zu verdichten, um anaerobe Verhältnisse für Milchsäurebakterien zu schaffen. Das Silo sollte möglichst schnell befüllt und nach 1-2 Tagen verschlossen werden. Um Luft und Regenwasser während der Gärung und Lagerung fernzuhalten, ist eine sofortige Oberflächenabdeckung mit qualitätsgeprüften Polyethylensilofolien (dünne Unterzieh- und wieder verwendbare Abdeckfolie) sowie ein ganzflächiges Beschweren der Folie mit einer 5-cm-Sandschicht, Sandsäcken, Autoreifen oder Ähnlichem erforderlich. Eine reflektierende Abdeckfolie verhindert ein zu starkes Aufheizen des Silos.

Es gelten die gleichen Prämissen wie bei der Silierung von Silomais. Festzuhalten ist jedoch, dass auch bei Silierung von Erntegut mit Trockenmassegehalten von ca. 25 % keine Sickersaftbildung eintritt.

3.2 Energieertrag

Die Tabellen II 3-4 und II 3-5 geben die Produkteigenschaften und den flächenbezogenen Energieertrag von Durchwachsener Silphie für die Nutzung in Biogasanlagen wieder. Allerdings ist darauf zu hinzuweisen, dass gegenwärtig noch relativ wenig verlässliche Daten vorliegen. Die nachfolgenden Angaben beziehen sich auf Untersuchungen im Hohenheimer Biogasertragstest (Probenanzahl = 15).

Tab. II 3-4: Produkteigenschaften von Durchwachsener Silphie für Biogasanlagen

Produkteigenschaften	Einheit	Wert
TM-Gehalt	%	28
davon oTM-Gehalt	%	93
Gasausbeute	l _n /kg oTM	480
	m _n ³ /t FM	125
Methangehalt	%	58
Methanertrag ¹⁾	l _n /kg oTM	278
	m _n ³ /t FM	72
	MJ/t FM	2 610
	kWh/t FM	725
Ertrag el. Strom (el. Wirkungsgrad 37 %)	kWh _{el} /t FM	268
Ertrag Wärme (th. Wirkungsgrad 48,5 %)	kWh _{th} /t FM	352

¹⁾ Heizwert von Methan = 9,93 kWh/m³.

Tab. II 3-5: Flächenbezogene Angaben zum Energieertrag von Durchwachsener Silphie für Biogasanlagen

Flächenbezogene Angaben	Einheit	Ertragsniveau		
		niedrig	mittel	hoch
Ertrag	t FM/ha	45	55	60
Lagerungsverluste ¹⁾	%	12	12	12
Silage	t FM/ha	39,6	48,4	52,8
	m _n ³ /ha	2 871	3 509	3 828
Methanertrag ²⁾	GJ/ha	103	126	138
	kWh/ha	28 708	35 088	38 278
Ertrag el. Strom (el. Wirkungsgrad 37 %)	kWh _{el} /ha	10 622	12 982	14 163
Ertrag Wärme (th. Wirkungsgrad 48,5 %)	kWh _{th} /ha	13 923	17 018	18 565

¹⁾ Enthält Trockenmasseverluste 6 %, Randverluste 5 % und Entnahmeverluste 1 %, Sickersaft wird in die Biogasanlage geführt.

²⁾ Heizwert von Methan = 9,93 kWh/m³.

3.3 Durchwachsene Silphie: Biogasproduktion

Die nachfolgende Kalkulation bezieht sich auf die Aussaat der Silphie mit einer Nutzungsdauer von 12 Jahren. Das Pflanzverfahren wird hier nicht berücksichtigt.

Produktionsverfahren für Mechanisierungsvariante 67 kW auf ebenem 2-ha-Schlag mit mittlerem Bodenbearbeitungswiderstand und 2 km Feld-Hof-Entfernung

Häufigkeit	Zeitraum	Arbeitsgang	Menge je ha	Arbeitszeit h/ha	Diesel l/ha	Maschinenkosten €/ha	
						fix	variabel
Anpflanzjahr							
1	OKT1	BP Bodenprobe: Entnahme von Hand; Fahrten mit Pick-up		0,20	0,13	1,00	0,26
1	OKT1	FA Pflügen mit Drehpflug: 4 Schare, 1,4 m, angebaut; 67 kW		1,89	22,85	20,92	45,25
1	APR1	BLA Mineraldünger ausbringen, loser Dünger: Düngerrührschnecke		0,02	0,01	0,07	0,04
		FA Anbauschleuderstreuer, 0,8 m ³ ; 45 kW PK-Dünger (16 % P ₂ O ₅ , 16 % K ₂ O), lose	300 kg	0,21	0,78	1,64	2,02
1	APR1	FA Eggen mit Saatbettkombination: 4 m; 67 kW		0,58	5,73	8,18	13,01
1	APR1	FA Eggen mit Kreiselegge: 2,5 m; 45 kW		1,17	9,40	8,27	22,06
1	APR2	FA Einzelkornsaat von Durchwachsener Silphie: 4 Reihen, 3 m; 45 kW		0,81	3,39	27,48	15,2
		FA Saatgut	2 U				
1	APR2	FA Pflanzenschutzmaßnahme: Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1 000 l; 45 kW		0,28	1,01	4,24	3,01
		FA Wasser	300 l				
1	MAI1	BLA Mineraldünger ausbringen, loser Dünger: Düngerrührschnecke		0,02	0,01	0,08	0,04
		FA Anbauschleuderstreuer, 0,8 m ³ ; 45 kW Kalkammonsalpeter (27 % N), lose	370 kg	0,23	0,82	1,88	2,19
1	MAI1	FA Bestandesbonitur: Visuelle Bonitur; Fahrten mit Pick-up		0,13	0,12	0,91	0,22
1	MAI1	FA Pflanzenschutzmaßnahme: Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1 000 l; 45 kW		0,28	1,01	4,24	3,01
		FA Wasser	300 l				
1	MAI1	FA Bestandesbonitur: Visuelle Bonitur; Fahrten mit Pick-up		0,13	0,12	0,91	0,22
1	JUN1	FA Durchwachsene Silphie hacken: 4-reihig, 45 kW		0,73	3,64	13,23	10,34
1	JUL1	FA Durchwachsene Silphie hacken: 4-reihig, 45 kW		0,73	3,64	13,23	10,34
		Zinskosten variable Maschinenkosten					1,28
		Summe		7,40	52,66	106,25	128,81

Fortsetzung nächste Seite

Häufigkeit	Zeitraum	Arbeitsgang	Menge je ha	Arbeitszeit h/ha	Diesel l/ha	Maschinenkosten €/ha	
						fix	variabel
Erntejahr							
1	FEB1	FA Gärrest ausbringen, ab Hof mit Pumptankwagen, Schleppschlauch: 5 m ³ , 7,5 m; 45 kW		3,08	10,40	32,62	39,97
		FA Gärrest	30 m ³				
0,2	APR1	BP Bodenprobe: Entnahme von Hand; Fahrten mit Pick-up		0,04	0,03	0,20	0,05
1	APR1	BLA Mineraldünger ausbringen, loser Dünger: Düngerrührschnecke		0,01	0,01	0,04	0,03
		FA Anbauschleuderstreuer, 0,8 m ³ ; 45 kW Kalkammonsalpeter (27 % N), lose	150 kg	0,17	0,71	1,11	1,66
1	APR2	FA Gärrest ausbringen, ab Hof mit Pumptankwagen, Schleppschlauch: 5 m ³ , 7,5 m; 45 kW		3,08	10,40	32,62	39,97
		FA Gärrest	30 m ³				
1	SEP2	KO Durchwachsene Silphie häckseln, transportieren, festfahren: Dienstleistung					380
		FA Durchwachsene Silphie, Erntegut, 28 % TM	55 t				
0,33	OKT1	BLA Kalk ab Feld streuen: Frontlader, 1 300 daN; Mineraldüngerschaukel, 0,55 m ³ ; 45 kW		0,05	0,26	0,34	0,57
		FA Anhängeschleuderstreuer, 4 m ³ ; 67 kW Kohlensaurer Kalk	3 t	0,10	0,84	4,04	1,85
		Zinskosten variable Maschinenkosten und Dienstleistungen					4,64
		Summe		6,53	22,65	70,97	468,74
		davon Dienstleistungen					383,80
		davon variable Maschinenkosten					84,94
Rekultivierung							
1	SEP2	TR Wasser-Transport: Tankanhänger, 12 m ³ ; 67 kW	300 l	0,23	1,03	1,61	2,52
1	SEP2	FA Pflanzenschutzmaßnahme: Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1 000 l; 45 kW		0,28	1,01	4,24	3,01
		FA Wasser	300 l				
		FA Totalherbizid					
1	OKT1	FA Pflügen mit Drehpflug: 4 Schare, 1,4 m, angebaut; 67 kW		1,89	22,85	20,92	45,25
		Zinskosten variable Maschinenkosten					0,51
		Summe		2,40	24,89	26,77	51,29

Leistungen und Direktkosten

Leistungs-/Kostenart	Einheit	Menge Einheit/ha	Preis €/Einheit	Betrag €/ha
Anpflanzjahr				
Summe Leistungen				0,00
Saatgut	U	2	670,00	1.340,00
KAS	kg	370	0,31	114,70
PK 16-16	kg	300	0,29	87,00
Wasser (Pflanzenschutz)	m ³	1,2	2,50	3,00
Zinskosten (3 Monate)	€/a	386,18	0,04	15,45
Summe Direktkosten				1.560,15
Direktkostenfreie Leistung				-1.560,15
Erntejahr				
Durchwachsene Silphie, 28 % TM (frei Silo, gehäckselt)	t	55	20,00	1.100,00
Summe Leistungen				1.100,00
KAS	kg	150	0,31	46,50
Kalk	t	1	56,00	56,00
Gärrest	m ³	60	0,00	0,00
Zinskosten (3 Monate)	€/a	25,63	0,04	1,03
Summe Direktkosten				103,53
Direktkostenfreie Leistung				996,47
Rekultivierung				
Summe Leistungen				0,00
Herbizide	pauschal			30,00
Wasser (Pflanzenschutz)	m ³	0,3	2,50	0,75
Zinskosten (3 Monate)	€/a	7,69	0,04	0,31
Direktkostenfreie Leistung				-31,06

Durchwachsene Silphie, berechnet nach der Annuitätenmethode, Nutzungsdauer 12 Jahre

Arbeiterledigung

Mechanisierung Schlaggröße [ha]	67 kW				102 kW				200 kW			
	1	2	5	20	1	2	5	20	1	2	5	20
Hof-Feld-Entfernung 2 km												
Arbeitszeitbedarf [AKh/ha]	6,5	6,3	6,2	6,5	8,1	8,7	7,7	7,6	6,3	5,9	5,4	5,1
Fest-AK												
Dienstleistungen [€/ha]	344	319	269	260	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Variable MK ¹⁾ [€/ha]	89,42	87,20	86,00	86,87	186	177	170	170	164	157	150	147
Fixe MK ¹⁾ [€/ha]	73,14	71,64	70,96	71,99	235	219	205	197	224	210	198	190
Fixe Lohnkosten [€/ha]	98,69	95,16	93,75	98,16	122	132	116	115	96,79	89,67	82,34	77,22
Dieselbedarf [l/ha]	26,3	25,3	24,6	23,8	79,5	76,0	73,6	75,9	78,0	75,6	73,1	72,5
Hof-Feld-Entfernung 5 km												
Arbeitszeitbedarf [AKh/ha]	8,3	8,0	8,0	8,2	9,9	10,4	9,2	9,0	7,5	7,4	6,7	6,2
Fest-AK												
Dienstleistungen [€/ha]	386	361	294	285	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Variable MK ¹⁾ [€/ha]	109	106	105	105	211	201	194	194	186	178	171	167
Fixe MK ¹⁾ [€/ha]	81,27	79,54	78,71	79,70	249	233	218	209	236	221	208	200
Fixe Lohnkosten [€/ha]	126	122	120	125	150	157	138	135	114	112	101	93,57
Dieselbedarf [l/ha]	36,2	35,1	34,2	33,4	95,5	91,6	89,0	91,3	95,9	93,0	90,2	89,4

¹⁾ MK = Maschinenkosten.

Leistungen, Kosten, Erfolgsgrößen

Mechanisierung Schlaggröße [ha]	67 kW				102 kW				200 kW			
	1	2	5	20	1	2	5	20	1	2	5	20
Leistung [€/ha]	914											
Hof-Feld-Entfernung 2 km												
Variable Kosten [€/ha]	688	661	609	602	441	432	425	425	419	412	405	402
Deckungsbeitrag [€/ha]	226	253	304	312	473	483	489	489	496	503	509	512
AEK ¹⁾ fix [€/ha]	172	167	165	170	358	351	321	311	321	300	280	267
DAKfL ²⁾ [€/ha]	54,28	86,50	139	142	116	131	169	178	175	203	229	245
Deckungsbeitrag [€/AKh]	34,89	40,46	49,22	48,19	58,59	55,22	63,95	64,43	78,16	85,20	93,57	100
DAKfL ²⁾ [€/AKh]	8,38	13,82	22,57	21,94	14,34	15,02	22,04	23,42	27,53	34,40	42,11	47,92
Hof-Feld-Entfernung 5 km												
Variable Kosten [€/ha]	750	722	653	646	466	456	449	449	441	433	425	422
Deckungsbeitrag [€/ha]	165	192	261	269	449	458	465	465	473	481	489	492
AEK ¹⁾ fix [€/ha]	207	201	199	204	399	390	356	345	350	333	309	293
DAKfL ²⁾ [€/ha]	-42,47	-9,18	61,62	64,37	49,48	68,26	109	121	123	149	180	198
Deckungsbeitrag [€/AKh]	19,84	23,92	32,78	32,60	45,18	43,96	50,76	51,88	63,20	65,38	73,16	79,30
DAKfL ²⁾ [€/AKh]	-5,12	-1,14	7,75	7,81	4,98	6,55	11,91	13,47	16,45	20,19	26,91	31,98

¹⁾ AEK = Arbeiterledigungskosten.

²⁾ DAKfL = Direkt- und arbeiterledigungskostenfreie Leistung.