

ABSCHLUSSBERICHT

Durchwachsene Silphie als Kosubstrat für Biogasanlagen

Gülzow 2024



IMPRESSUM

Titel

Durchwachsene Silphie als Kosubstrat für Biogasanlagen

Forschungs-Nr.

3/13

Berichtszeitraum

2008 - 2024

Herausgeber

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft

SG Klimaschutz und Analytik

Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen

Telefon: 0385/588-60001

Fax: 0385/588-60011

poststelle@lfa.mvnet.de

www.lfamv.de

Autoren

Dr. Andreas Gurgel • Telefon: +49(0)385 588-60220

M.sc. Ahmad Ali • Telefon: +49(0)385 588-60234

Titelfoto

Dr. A. Gurgel

Gülzow, 03.12.2024

INHALT

1	Zusammenfassung	5
2	Einleitung	5
3	Stand des Wissens	6
3.1	Anbau der Durchwachsenen Silphie:.....	8
3.2	Ziel des Projekts:.....	9
4	Material und Methoden.....	9
4.1	Datengrundlage	9
4.2	Exaktversuch in Gülzow	9
4.2.1	Charakterisierung des Versuchssandortes	9
4.2.2	Versuchsdurchführung	10
4.2.3	Statistische Auswertung	11
4.3	Praxiserprobung	11
4.3.1	Anbauverfahren.....	11
4.3.2	Nutzung in der Biogasanlage	12
5	Ergebnisse und Interpretation	13
5.1	Exaktversuch in Gülzow	13
5.1.1	Trockenmasseerträge	13
5.2	Nährstoffentzüge und Düngung	15
5.3	Nährstoffentzüge - Vergleich zwischen Literatur, dem Versuch Gülzow und Silomais	16
5.4	Praxiserprobung in der Gut Dummerstorf GmbH	17
5.5	Qualitäten und Gasausbeuten.....	19
5.6	Nmin-Gehalte des Bodens.....	20
6	Wirtschaftlichkeit	21
7	Schlussfolgerungen.....	22
8	Literaturverzeichnis	24
9	Überleitung	25

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Vergleich von Silphie und Silomais	8
Tabelle 2:	Prüfglieder im Exaktversuch Durchwachsene Silphie in Gülzow	10
Tabelle 3:	prüfgliedweise Trockenmasseerträge im Exaktversuch in dt/ha (Prüfgliedmittelwerte vor der statistischen Auswertung)	13
Tabelle 4:	Erträge im Produktionsexperiment	17
Tabelle 5:	kalkulierte Ausgangsrationen für die Substratzufuhr	17
Tabelle 6:	Biogasausbeute und Methanausbeute für den Durchwachsene Silphie Versuch in Gülzow	20
Tabelle 7:	ausgewählte Qualitätseigenschaften der Silagen aus der Ernte der Durchwachsenen Silphie in Dummerstorf (Untersuchungsergebnisse der LUFA Rostock)	20
Tabelle 8:	Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen Durchwachsener Silphie (in der Praxis und als ökologisches Substrat) und Mais in MV (€/ha)	22

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Anlageplan des Feldversuches als randomisierte Blockanlage	10
Abbildung 2:	Trockenmasseerträge im Exaktversuch mit Regressionsgraphen	14
Abbildung 3:	Erträge von Durchwachsener Silphie und Silomais (mittelfrüh) am Standort Gülzow in Abhängigkeit von den Niederschlägen in der Vegetationsperiode ..	15
Abbildung 4:	Nährstoffentzüge der Durchwachsene Silphie als (Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2023)	16
Abbildung 5:	Vergleich der Nährstoffentzüge zwischen Literatur, den Versuch Gülzow und Silomais	16
Abbildung 6:	erwarteter und realisierter Stromertrag 2014 während der Versuchsdauer im Fermenter	18
Abbildung 7:	erwarteter und realisierter Stromertrag 2015 während der Versuchsdauer im Fermenter	19
Abbildung 8:	Nmin Gehalte im Boden über die Jahre 2008 bis 2023	21

1 Zusammenfassung

Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*) hat als Dauerkultur zur Biogasproduktion eine gewisse Bedeutung erlangt, die sich aber bisher in einer nur relativ geringen Anbaufläche niedergeschlagen hat. Die Vorteile der Dauerkulturen werden vor allem in Einsparungen für die jährliche Bodenbearbeitung und Bestellung gesehen. So können Mindererträge gegenüber der dominierenden Biogasfruchtart Silomais zumindest teilweise kompensiert werden. Die Silphie wird außerdem als ökologisch sehr wertvoll eingestuft, da sie als lange und relativ spät blühende Pflanze für Blütenbesucher einschließlich der Honigbiene eine wichtige Nahrungsgrundlage sein kann.

In Feldversuchen der LFA in Gülzow wie auch in einem Produktionsexperiment in der Gut Dummerstorf GmbH hat die Durchwachsene Silphie die Ertragserwartungen von etwa 70 bis 80 % des Silomaisniveaus etwa bestätigt.

Im Exaktversuch wurde eine relativ starke Abhängigkeit der Trockenmasseerträge von der jährlichen Wasserversorgung in der Vegetationsperiode festgestellt. Die vier geprüften Herkünfte unterschieden sich dabei signifikant.

Die Nutzung der von Silage der Durchwachsenen Silphie gestaltete sich im Produktionsexperiment zunächst unkompliziert. Es ergaben sich jedoch aus dem ungleichmäßigen Silierprozess z. T. Probleme in der korrekten Bemessung der Ration. Wegen der geringeren Biogasausbeute gegenüber Silomais muss bei der Substitution von Mais mit einer Zunahme des Trockenmassegehaltes im Fermenter gerechnet werden.

Die Durchwachsene Silphie wird als ökologisch wertvolles Substrat zur Biogasproduktion gesehen und sollte darum aktiv von den Landwirtschaftsbetrieben in diesem Sinne genutzt werden. Da der Deckungsbeitrag geringer als der von Silomais ist, sollte der Anteil aber begrenzt bleiben.

2 Einleitung

Durch die seit der Novelle des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) 2004 günstigen Rahmenbedingungen für die Biogasproduktion ist der Maisanbau zur Produktion von Kosubstraten teilweise stark ausgedehnt worden. Der Anbau von Mais für die Biogasproduktion hat dazu geführt, dass sich der Anteil der Maisanbaufläche an landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland von 2005 bis 2011 enorm gestiegen ist (von 14,3% im Jahr 2005 auf 17,1 im Jahr 2011, 2020 19,7%) (Destatis, 2024). Dieser Anteil ist jedoch nun leicht rückläufig und wird voraussichtlich weiter abnehmen. Allerdings ist die hohe Maisanbaukonzentration für die Fruchtfolge nicht gut und in einigen Bundesländern wie Niedersachsen, Bayern und Schleswig-Holstein gibt es sehr hohe Konzentrationen, was sich negativ auf die Photosynthese und die Fruchtfolge auswirkt.

Die Hauptbedenken im Zusammenhang mit der Zunahme der Maiskonzentration sind:

1. Eine Reduzierung der Biodiversität
2. Eine negative Beeinträchtigung der charakteristischen Landschaft (die seit Jahrhunderten von Getreide dominiert wird)
3. Ökologisch nachteilige Auswirkungen wie Nitrat-Auswaschung, Bodenerosion und eine Abnahme des Humusgehalts im Boden (Bauböck, et al., 2014).

Im Landesdurchschnitt von Mecklenburg-Vorpommern liegt der Maisanteil an der Ackerfläche mit 10 bis 15 % (2024: 14,5 %) auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau, trotzdem gibt es punktuell im Einzugsgebiet von Tierproduktions- und Biogasanlagen bedenklich hohe Maiskonzentrationen.

Die Nutzung von Mais als Substrat für Biogas in landwirtschaftlichen Betrieben wurde mit jeder Novelle des EEG weiter eingeschränkt. Das EEG wird turnusmäßig fortgeschrieben und angepasst. Um den Maisanteil in Biogasanlagen zu begrenzen, wurde 2017 ein sogenannter "Maisdeckel" eingeführt: Der Maisdeckel besagte,

dass der Anteil von Silomais, Corn-Cob-Mix (CCM), Lieschkolbenschrot (LKS) und Getreidekorn zusammen maximal 60 % betragen darf. Mit einer weiteren Anpassung des EEG 2023 wurde der „Maisdeckel“ für gasförmige Brennstoffe, zu denen auch Biogas zählt, stufenweise abgesenkt: Ab 2024 soll der Maisdeckel von 40 % auf 35 % und ab 2026 auf 30 % abgesenkt werden (<https://eps-bhkw.de>, 2023). Andernfalls entfällt die Vergütung nach dem EEG.

Aus diesen Gründen können als alternative Kulturen bzw. Pflanzen u. a. die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*) als potenzielles Kosubstrat in Erwägung gezogen werden. Durchwachsene Silphie als Dauerkultur kann möglicherweise auch günstiger als Silomais bereitgestellt werden. Obwohl der Ertrag der Durchwachsenen Silphie geringer als der von Mais ist, könnte u. U. der Stückpreis der Silage möglicherweise günstiger sein als beim Mais.

Ein weiterer Vorteil der alternativen Pflanzen wie der Durchwachsenen Silphie besteht darin, dass sie nicht unter den Maisdeckel fallen und im Substratmix in beliebiger Menge eingesetzt werden können. Eine Begrenzung des Maisanteils führt zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit alternativer Pflanzen wie der Durchwachsenen Silphie.

Grundsätzlich besitzt der Silomais für die Biogasproduktion die größte Vorzüglichkeit, sowohl aus der Sicht des Produktionsverfahrens als auch der Nutzung in der Biogasanlage. Alternative Fruchtarten müssen darum neben der eigentlichen Ertragsleistung und Wirtschaftlichkeit noch andere Vorzüge mitbringen, wenn sie erfolgreich in die Praxis eingeführt werden sollen. Im Fall der Durchwachsenen Silphie ist das der Anbau als Dauerkultur. Mit einer einmaligen Investition in die Anlage kann über mehrere Jahre ein hoher Ertrag geerntet werden. Dabei werden nach der Bestandsetablierung die Kosten für die Bodenbearbeitung und Bestellung eingespart. Mit der Einführung der EEG-Novelle 2014 wird Biomasse zwar nicht mehr separat vergütet, dennoch besitzt die Durchwachsene Silphie als ökologisch wertvolles Substrat auch für Bestandsanlagen eine große Bedeutung im Sinne der Fruchtartendiversifizierung.

Darum ist es auch sinnvoll, dass das bereits 2007 begonnene Vorhaben trotz Verlust der Vergütung von Anbaubiomasse in Biogasanlagen planmäßig bis zu dem hier vorliegenden Abschlussbericht fortzuführen. Der wissenschaftliche Wert des Vorhabens bleibt hier von den agrarpolitischen Rahmenbedingungen unberührt.

3 Stand des Wissens

Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) ist eine ausdauernde Staude, mehrjähriger Korbblütler C3-Pflanze, kommt aus Prärien Nordamerikas. Die Silphie wird auch Becherpflanze genannt, da die gegenständigen, am Stängel zusammengewachsenen Blattpaare einen kleinen Becher bilden, in dem sich Tau und Niederschlagswasser sammelt. Anfänglich wurde diese Pflanze eher von Gärtnern und Imkern geschätzt oder als Grünfutter für Kleintiere genutzt. Die Durchwachsene Silphie rückte jedoch dank ihrer hohen Biomasseproduktion auch als Energiepflanze zur Nutzung als Biogassubstrat in den Blickpunkt. Im Pflanz- oder Saatjahr bildet die Pflanze nur eine bodenständige Rosette und erbringt keine Ernte. Sie hat eine Nutzungsdauer von 10 bis 20 Jahren. Erst ab dem 2. Standjahr wächst sie in die Höhe, wird über 3 m hoch. Neben einem hohen Ertragspotential bietet die Durchwachsene Silphie die ökologischen Vorteile einer Dauerkultur. Zudem hat die Pflanze eine lange Blühdauer (Juli bis September), die gelben Blüten werden von zahlreichen Insekten besucht und dienen somit als wertvolle Bienenweide. Ein weiterer Vorteil dieser Kultur ist die Vergütung des erzeugten Stromes nach Einsatzstoffklasse II für alle Biogasanlagen, die nach Gültigkeit des EEG 2012 in Betrieb gegangen wurden. Diese Regelung der ökologisch wertvollen Substrate wurde allerdings mit dem EEG 2014 wieder eingestellt (Fritz, et al., 2023) (Parzefall, 2023). (KTBL, 2014) (Hartmann, et al., 2016).

In einem gemeinsamen Projekt des Thünen Instituts und des JKI belief sich die Einbuße im Trockenmasseertrag der Silphie trockenheitsbedingt um 33 % gegenüber Mais (18 %). Im Mittel der

Wasserregime und Versuchsjahre lag der Methanertrag von Silphie ($4.155 \text{ Nm}^3 \text{ ha}^{-1}$) um 38 % unter dem von Mais ($7.153 \text{ Nm}^3 \text{ ha}^{-1}$). Die Wassernutzungseffizienz (WUE) der Silphie lag im Mittel der Versuchsjahre und Wasserregime mit $33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ deutlich unter der von Mais ($50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Der mittlere Evapotranspirationskoeffizient der Silphie war deutlich höher als der von Mais (315 vs. 204 l kg^{-1}). Im Vergleich zur Silphie bildete der Mais pro mm verbrauchten Wassers 54 % mehr Trockenmasse. Hinsichtlich der um die Evaporation bereinigten Transpirationsnutzungseffizienz (TUE) war der Mais der Silphie sogar noch deutlicher überlegen (109 vs. $47 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Im Vergleich zu Mais hat die Durchwachsene Silphie einen höheren Wasserbedarf. Der durchschnittliche Wasserverbrauch von Durchwachsener Silphie lag bei 426 mm und die Wassernutzungseffizienz bei $33 \text{ kg h}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, während diese Werte für Mais bei 400 mm und $50 \text{ kg h}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ lagen (Dauber, et al., 2016).

Im Vergleich zum Mais ist der Anbau der Silphie mit weniger Aufwand verbunden, jedoch erbringt sie auch weniger Erträge. Insofern benötigt sie mehr Anbaufläche, um die gleiche Erntemenge wie der Mais zu erzielen. Pro Hektar kann die Silphie vielleicht günstigere CO_2 -Emissionen aufweisen, aber, wenn man den Ertrag je Kubikmeter Biogas oder je Tonne betrachtet, muss man sorgfältig abwägen, ob sie besser oder schlechter abschneidet als der Mais.

Trotzdem gibt es auch Nachteile beim Anbau von Silphie. Sie ist noch nicht so weit verbreitet wie der Mais und es gibt weniger Erfahrungswerte im Anbau. Auch die Ernte und Konservierung der Silphie ist aufwendiger als beim Mais.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die Silphie als alternative Energiepflanze durchaus Potenzial hat, aber sorgfältig abgewogen werden muss, ob sie im Vergleich zum Mais wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll ist.

Durchwachsene Silphie als Kosubstrat für Biogasanlagen

Tabelle 1: Vergleich von Silphie und Silomais

	Silomais		Durchwachsene Silphie	
Wasserbedarf	mittleres Wasserbedürfnis (C4 Pflanze)	+	hohes Wasserbedürfnis (C3 Pflanze)	-
Nutzungsdauer	1 Jahr	-	10 bis 20 Jahre	++
typischer Trockenmassegehalt in der Frischmasse %	31 - 40	+	24 - 31	-
Ökologisch	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hohe Erträge - hohe Methangasausbeuten - einfaches Produktionsverfahren - lange Anbauerfahrungen - optimierte Anbauverfahren - sehr gute Stickstoffausnutzung - züchterische Bearbeitung seit über 30 Jahren <p>Nachteile (bei hoher Anbaukonzentration):</p> <ul style="list-style-type: none"> - weiter Reihenabstand - Sommerkultur - stark Humus zehrend - geringe Wurzel- und Ernterückstände - steigende Schädlingskonzentration - erhöhter Krankheitsbefall - erhöhte Lachgasemissionen - Trockenheitsanfälligkeit - Wildschäden 	+	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - geringerer Bewirtschaftungsaufwand - mehr Erosionsschutz - mehr Biodiversität - weniger Lachgasemissionen - niedrigeres Nmin-Niveau <p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - geringere Erträge und Methangasausbeute - große Investition, hoher Aufwand und kein Ertrag im Anbaujahr - lange Blütezeit (bis in den September) kann wegen später Winterruhe der Honigbienen problematisch sein 	++

Derzeit ist eine Auswahl an verschiedenen Sorten der Durchwachsenen Silphie nicht verfügbar. Die Unterscheidung erfolgt lediglich nach der ursprünglichen Herkunft des Pflanzenmaterials, wobei nur geringe genetische Unterschiede festgestellt wurden. In Versuchen am TFZ wurden über einen Zeitraum von mindestens zehn Jahren keine Ertragsunterschiede beobachtet. Die im Handel erhältlichen Pflanzen stellen in der Regel eine Mischung verschiedener Herkünfte dar (Fritz, et al., 2023).

3.1 Anbau der Durchwachsenen Silphie:

Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn die Samen der Silphie im Gewächshaus ausgesät und aufgezogen werden und als Jungpflanzen mit drei oder vier Blättern im Mai oder Juni auf die Felder gepflanzt werden. Im ersten Jahr sollte sich die Pflanze im Boden etablieren. Die Pflanzen sollten vor dem ersten Winter nur eine Blattrosette bilden. Im folgenden Frühjahr wachsen die Pflanzen sehr schnell und können im Frühherbst die erste Ernte liefern. Ein großer Vorteil dieser Kulturform ist die Tatsache, dass sie nach dem ersten Jahr keine weitere Unkrautbekämpfung und keine zusätzlichen Pflanzenschutzmittel benötigt. Weitere Vorteile ergeben sich durch den Verzicht auf eine jährliche Bodenbearbeitung, die eine CO₂-Speicherung im Boden verursacht. Durch tiefere Wurzeln wird zudem die Gefahr von Bodenerosionen durch Wind und Wasser stark vermindert. Die lange Blütezeit der Silphie bietet darüber hinaus einen weiteren Vorteil, da sie von den

Honigbienen zum Sammeln von Pollen und Nektar genutzt wird, was für das Überleben und die Vermehrung der Bienen von Bedeutung ist. Die Saatgutqualität dieser Pflanze muss jedoch noch verbessert werden, um die Verwendung von Silphie als allgemein genutzte Energiepflanze zu erweitern (Bauböck, et al., 2014). Der Wiederaustrieb der Durchwachsenen Silphie nach der Ernte fungiert ähnlich wie eine Zwischenfrucht als temporärer Stickstoffspeicher und dient damit dem Boden und Grundwasserschutz (Dauber, et al., 2016).

Die Ernte erfolgt ab etwa Ende August bis Mitte September mit dem Feldhäcksler. Der Trockenmassegehalt sollte möglichst über 25 % liegen, um im Silo die Sickersaftbildung zu minimieren und Transportkosten zu begrenzen.

3.2 Ziel des Projekts:

Das Ziel des Projektes besteht in der Untersuchung der Eignung der Durchwachsene Silphie als Alternative zu Mais für Biogasanlagen in Mecklenburg-Vorpommern. Dabei gilt es, die spezifischen Eigenschaften der Durchwachsene Silphie im Vergleich zu Mais zu ermitteln, um mögliche Vorteile der Durchwachsene Silphie gegenüber Mais zu identifizieren. Zu diesem Zweck wurde die Durchwachsene Silphie im Vergleich mit Mais hinsichtlich folgender Merkmale untersucht:

- Ertragspotential unter den Standortbedingungen Nordostdeutschlands
- Nährstoffentzüge
- N_{\min} Gehalte
- Biogasausbeute
- Wirtschaftlichkeit

Mit dem vorliegenden Bericht soll ein Fazit gezogen werden, ob mit dem Anbau und der Nutzung der Durchwachsenen Silphie die Möglichkeit der Ergänzung der Kosubstratpalette für Biogasanlagen besteht.

4 Material und Methoden

4.1 Datengrundlage

Die Bearbeitung des Themas zur Durchwachsenen Silphie gliedert sich in zwei Teilbereiche:

- Ein Exaktversuch auf dem Gülzower Versuchsfeld zum Vergleich von vier Herkünften seit 2007
- Ein Praxisexperiment in der Gut Dummerstorf GmbH zur Prüfung des Produktionsverfahrens in der Praxis sowie des Einsatzes in einer Biogasanlage.

4.2 Exaktversuch in Gülzow

4.2.1 Charakterisierung des Versuchssandortes

Der Versuchsstandort Gülzow liegt 10 m über NN im norddeutschen Grund- und Endmoränengebiet der Weichselkaltzeit. Ein leicht welliges Relief charakterisiert das Gebiet. Als Ausgangsmaterial der Bodendecke wird Geschiebemergel mit ca. 0,5 bis 10 m mächtiger periglaziärer Sanddecke im Versuchsfeld vorgefunden. Die ursprüngliche Sanddecke verlagerte sich häufig infolge von Ackernutzung und Erosion. Daraus resultieren eine reliefgeprägte Substratverteilung und starke Heterogenität des Versuchsfeldes, die sich in Form von Lehmkuppen und eingesenkten Kolluvien äußert. Die Bodenart ist zumeist schwach bis stark lehmiger Sand. Als Bodentyp herrscht eine Pseudogley-Parabraunerde vor. Die Ackerzahl liegt bei etwa 50. Die Tallage im Bereich von Nebel und Warnow bedingt eine teilweise erhöhte Spätfrostgefahr (Michel 2007).

Durchwachsene Silphie als Kosubstrat für Biogasanlagen

Am Standort Gülzow werden relativ geringe Feldkapazitäten festgestellt, bedingt durch nur geringe Anteile an Ton und Feinschluff. Trockenperioden werden darum ertragsrelevanter als die Reichsbodenschätzung dies zunächst vermuten lässt (Deumlich, 2008).

4.2.2 Versuchsdurchführung

2007 wurde ein Feldversuch als Prüfung von 4 verschiedenen Herkünften (Tabelle 2) angelegt. Es handelt sich um eine randomisierte Blockanlage in vierfacher Wiederholung (Abbildung 1).

Tabelle 2: Prüfglieder im Exaktversuch Durchwachsene Silphie in Gülzow

Prüfglied Nr.	Herkunft
1	USA
2	Norddeutschland
3	Rohrbach
4	Russland

D	Rand	4	3	1	2	Rand
C	Rand	3	4	2	1	Rand
B	Rand	2	1	4	3	Rand
A	Rand	1	2	3	4	Rand

Abbildung 1: Anlageplan des Feldversuches als randomisierte Blockanlage

Der Bestand wurde am 5.6.2007 durch Pflanzung vorgezogener Pflanzen im Pflanzverband von 50 x 50 cm, also 4 Pflanzen/m², etabliert. Eine Trockenperiode unmittelbar nach der Pflanzung in Kombination mit hohen Temperaturen wurde durch Bewässerung überbrückt. Die Anwuchsrate lag bei 100 %.

Zur Pflanzung wurde in Bezug auf die Grundnährstoffe P, K und Mg die Versorgungsstufe C des Bodens geprüft und entsprechend korrigiert. In den Folgejahren wurde Grunddünger nach Entzug zugeführt.

Jährlich wurden 120 kg/ha N zu Vegetationsbeginn gedüngt.

Im Pflanzjahr wurde vor Bestandesschluss eine manuelle Unkrautregulierung durchgeführt, ab dem 2. Standjahr waren keine Pflegemaßnahmen mehr erforderlich. Ebenso erfolgte kein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Da im Etablierungsjahr 2007 noch kein erntewürdiger Bestand aufgewachsen war und eine Schwächung der Stauden ausgeschlossen werden sollte, wurde die erste Ernte im Jahr 2008 vorgenommen.

Die Ernte wurde ab dem 2. Standjahr bei einem angestrebten TM-Gehalt von 27 bis 35 % mit einem Anbaufeldhäcksler mit kombinierter Wiegeeinrichtung und automatischer Probenahme durchgeführt. Von jeder Parzelle wurde dabei die Frischmasse gewogen und anhand einer Erntegutprobe von etwa 1 kg der Trockenmassegehalt durch zweistufige Trocknung analog dem Verfahren bei Silomais ermittelt (Bundessortenamt, 2008). Die Beprobung der Inhaltsstoffe erfolgte nur im Ausnahmefall.

Anhand der Frischmasse pro Parzelle und des TM-Gehaltes wurde als Zielgröße dann der Trockenmasseertrag in dt/ha errechnet.

4.2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Prozedur der Software SAS, angesteuert durch die Software PIAFStat, Verfahren EVA (Einfaktorielle Versuchs-Auswertung). Da es sich um einen stationären Dauerversuch mit jährlich einer Ernte handelt, wurden die Trockenmasseerträge der einzelnen Jahre einer Regressionsanalyse unterzogen, um den zeitlichen Verlauf der Erträge über die Jahre abzubilden und zu prüfen. Die vier Herkünfte wurden auf signifikante Unterschiede in der Ertragshöhe sowie auf einen zeitlichen Verlauf der Erträge getestet. Dabei wurde festgestellt, dass eine polynomische Regression 2. Grades den besten fit an das Datenmaterial liefert. Die Ertragsverläufe wurden nach diesem Regressionsansatz angepasst.

Demgegenüber ist eine Regressionsanalyse des Trockenmassegehaltes zur Ernte wenig zielführend, da dieser im Mittel jahresweise schwankt und außerdem zur Terminierung der Ernte herangezogen wird. Hier ist eher die Frage zu stellen, ob die Herkünfte sich signifikant in den einzelnen Jahren voneinander unterscheiden, ob es also frühreife und später reifende Herkünfte gibt. Der probeweise Test der Autokorrelation, also der Zusammenhang der TM-Gehalte zu früheren Messungen, ergab keine Verbesserung der statistischen Auswertung und wurde darum verworfen.

Die statistische Auswertung liegt bis zur letzten Ernte 2023 vor.

4.3 Praxiserprobung

Da der praktische Anbau der Durchwachsenen Silphie zunächst nur wenig bekannt war, wurde in Zusammenarbeit mit der Gut Dummerstorf GmbH in dem Landwirtschaftsbetrieb eine Fläche von etwa 4 ha als Praxiserprobung und Demonstrationsfläche angelegt.

Diese Anlage der Dauerkultur diente der Erprobung eines mit dem Betrieb abgestimmten Produktionsverfahrens sowie auch der Erntegutbereitstellung für die Biogasanlage. Hierzu wurde für den anteiligen Einsatz der Silage von Durchwachsener Silphie über mehrere Verweilzeiten jährlich eine Erntemenge von etwa 150 t bereitgestellt.

4.3.1 Anbauverfahren

Nach dem Umbruch einer Ackergrasfläche wurde der Silphiebestand im Mai 2012 mit einer Pflanzdichte von 4 Pflanzen/m² mittels einer Pflanzmaschine aus dem Gemüsebau gepflanzt. Da zur Ausbringung von Wirtschaftsdüngern Fahrgassen erforderlich sind, ergab sich über die Gesamtfläche eine Bestandesdichte von 3,83 Pflanzen/m².

Die Unkrautregulierung erfolgte durch eine einmalige Behandlung mit 3,0 l/ha Stomp aqua nur im Jahr 2012, danach waren weitere Behandlungen nicht erforderlich.

Bereits mit der Pflanzung wurden Fahrgassen für Gülleausbringungstechnik angelegt, so dass jährlich zu Vegetationsbeginn eine erste N-Gabe von 20 bis 25 m³/ha Gülle bzw. Gärreste erfolgen konnte. Danach wurde eine Ergänzung auf ein Niveau von etwa 120 kg/ha N-Düngung in mineralischer Form vorgenommen.

Die Ernte wurde durch ein Lohnunternehmen vorgenommen. Dabei erwies sich ein Kemper-Maisvorsatz für den Claas Jaguar im Jahr 2014 als ungeeignet, da die Quersammenführung des gemähten Erntegutes nicht hinreichend erfolgte, was immer wieder zu Verstopfungen am Einzug des Häckselaggregates führte. Seitdem wurde auf einen Claas-Vorsatz bei der Ernte orientiert.

Der Erntezeitpunkt wurde durch vorherige Beprobungen des Bestandes ermittelt. Es wurden mindestens 27 % TM angestrebt.

Da in der Gut Dummerstorf GmbH keine Fuhrwerkswaage vorhanden ist, wurden jeweils zwei befüllte Erntefahrzeuge im Nachbarort gewogen und die Erntemenge durch Zählung der Fuhren hinreichend genau bestimmt.

4.3.2 Nutzung in der Biogasanlage

In der Gut Dummerstorf GmbH werden die Tiere und die Biogasanlage in der Regel aus einem Silo versorgt. Weil aber die Durchwachsene Silphie kaum als Rinderfutter geeignet ist, wurde das Erntegut der Durchwachsenen Silphie separat in einem Schlauch siliert, was in dem Fall auch eine separate Dosierung in die Biogasanlage erlaubte. Zunächst wurde in der Planung der Ration angestrebt, etwa 20 % des produzierten Biogases aus Mais durch Biogas aus der Durchwachsenen Silphie zu substituieren und dabei eventuelle Veränderungen zu registrieren. Als Versuchsdauer wurde ein Zeitraum von deutlich mehr als einer Verweilzeit angestrebt, um den Mikroorganismen auch die Möglichkeit zur Adaptation zu bieten. Das konnte mit einer Versuchsdauer von jeweils 8 Wochen im ersten und zweiten Jahr realisiert werden.

Da die Veränderung der Ration relativ gering war, konnte auf eine Anpassung des TM-Gehaltes im Fermenter verzichtet werden. Aufgrund von technischen und biologischen Störungen, vor allem aber wegen der geringen aeroben Stabilität der Silphiesilage musste von diesem Plan abgewichen werden, siehe auch Kapitel 5.4.

Die Einbringung in den Fermenter erfolgte analog der anderen festen Substrate mittels eines Futtermischwagens über die Vorgrube.

Die substratspezifischen Biogausbeuten der Einzelkomponenten waren bekannt, so dass aus dem Stromertrag die tatsächliche Ausbeute aus der Durchwachsenen Silphie errechnet werden konnte. Daraufhin wurde die täglich dann tatsächlich benötigte Menge an Silphiesilage errechnet, um so den Biogasbedarf von etwa 120 m³/h abzusichern. Hier ergibt sich eine doch relativ deutliche Differenz zu Tabellenwerten von etwa 150 m³/h (FNR, 2005). Die Ursache hierfür konnte nicht ermittelt werden. Es liegt aber nahe, dass die Biogasanlage aufgrund der relativ intensiven Betreuung eine höhere Effizienz aufweist als Richtwerte aussagen.

5 Ergebnisse und Interpretation

5.1 Exaktversuch in Gülzow

5.1.1 Trockenmasseerträge

Die Trockenmasseerträge der Durchwachsenen Silphie schwankten zwischen 71,3 und 159,9 dt/ha (Tabelle 3).

Tabelle 3: *Trockenmasseerträge nach Pflanzgutherkunft im Exaktversuch in dt/ha (Prüfgliedmittelwerte vor der statistischen Auswertung)*

Jahr	Herkunft				Mittelwert
	USA	Norddeutschland	Rohrbach	Russland	
2008	82,7	124,9	103,6	85,4	99,2
2009	114,4	159,9	121,3	131,9	131,9
2010	132,8	171,4	155,5	162,8	155,6
2011	136,6	175,6	167,6	168,3	162,0
2012	112,7	128,7	130,0	109,0	120,1
2013	135,9	132,9	156,3	137,1	140,5
2014	110,4	71,3	66,9	84,2	83,2
2015	91,2	110,0	119,6	103,4	106,0
2016	76,0	84,0	82,8	82,5	81,3
2017	96,6	101,1	88,7	101,4	97,0
2018	52,0	50,7	64,1	43,8	52,6
2019	31,5	33,6	27,1	28,5	30,2
2020	46,9	50,8	45,4	49,2	48,1
2021	88,2	94,0	85,5	88,9	89,2
2022	98,4	106,1	92,8	93,2	97,6
2023	76,7	80,8	76,6	79,6	78,4
Mittelwert	92,7	104,7	99,0	96,8	98,3

Es ist eine zeitliche Entwicklung der Trockenmasseerträge zu erkennen: Nachdem im Etablierungsjahr 2007 keine Ernte erfolgte, um die nötige Pflanzenentwicklung abzusichern, stiegen die Erträge zunächst mehrere Jahre lang an, gingen im weiteren Verlauf aber wieder zurück bis das Jahr 2019. Ab 2020 bis 2022 konnte ein Anstieg der Erträge beobachtet werden, welcher jedoch nicht im Durchschnitt aller Herkünfte das Niveau der ersten sechs Jahre erreichte. Im Jahr 2023 gingen die Erträge wieder zurück.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Durchwachsende Silphie keinen typischen Lebenszyklus einer Dauerkulturanlage aufweist, wie er z. B. aus Kurzumtriebsplantagen bekannt ist. Vielmehr konnte festgestellt werden, dass die Wasserverfügbarkeit den entscheidenden Einfluss auf das Wachstum ausübt. Das Lebensalter spielt demgegenüber eine untergeordnete Rolle. Die durchwachsene Silphie wies keine stabilen Erträge auf, sondern zeigte eine relativ starke Schwankung der Erträge in Abhängigkeit von der Wasserversorgung. (Abbildung 2).

Die einzelnen Herkünfte unterscheiden sich zwar in ihrem Absolutertrag, statistisch jedoch nur in ihrem Ertragsniveau voneinander, nicht aber im zeitlichen Verlauf der Erträge. Dieser Sachverhalt kann als paralleler Verlauf der Ertragskurven interpretiert werden (Abbildung 2). Ein zunächst vermuteter unterschiedlicher Zeitpunkt des Ertragsplateaus der verschiedenen Herkünfte ließ sich also nicht bestätigen.

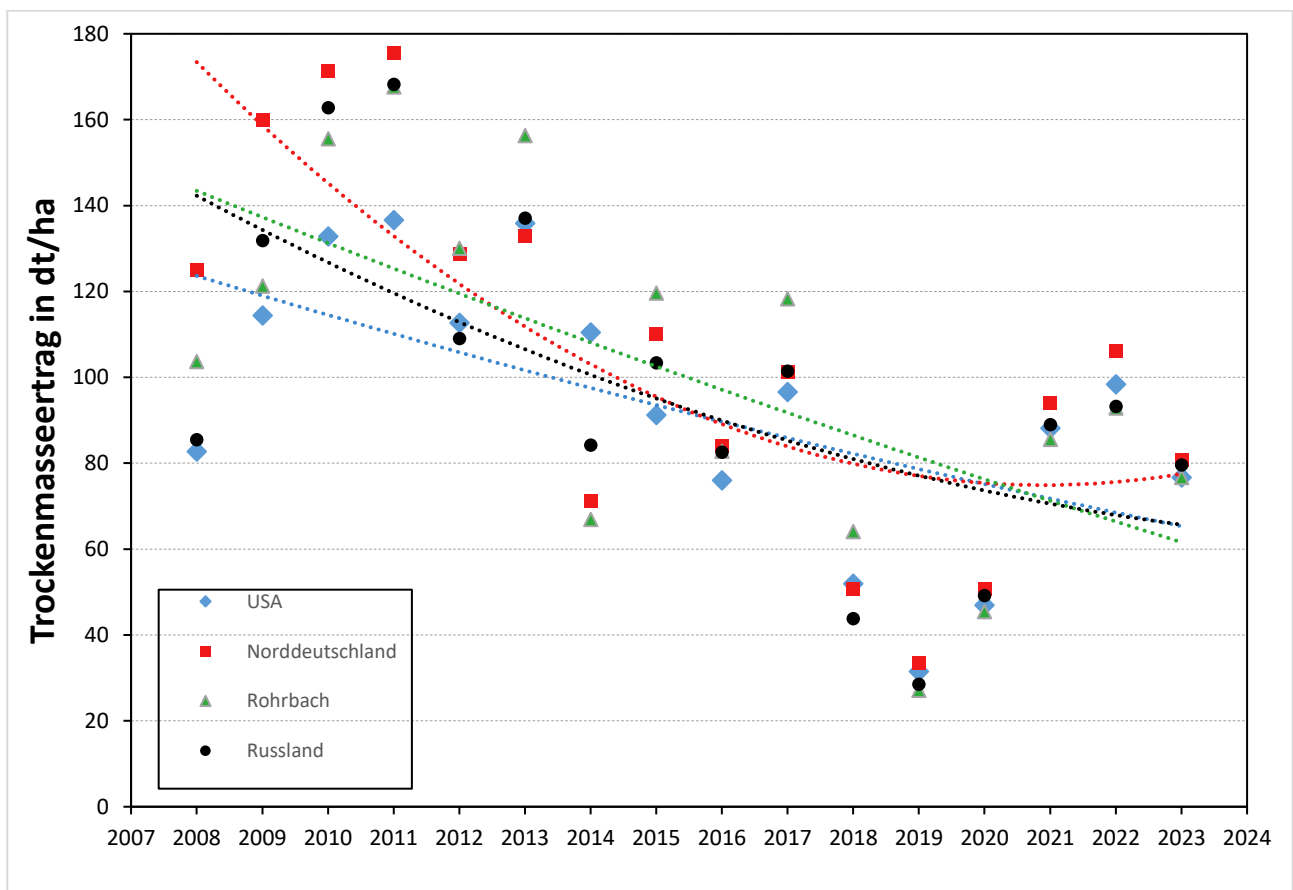


Abbildung 2: Trockenmasseerträge nach Pflanzgutherkunft im Exaktversuch mit Regressionsgraphen

Diese Entwicklung über die Jahre wird überlagert durch Effekte der unterschiedlichen Jahresniederschläge in der Vegetationszeit. So wurde die Entwicklung der Bestände im Jahr 2011 durch die ungewöhnlich reichlichen Sommerniederschläge stark begünstigt, Trockenheit in den Jahren 2012 und besonders 2018 und 2019 bedingte Mindererträge (Abbildung 3).

Die vermutete höhere Ertragsstabilität der Durchwachsenen Silphie im Vergleich zu Silomais lässt sich anhand der vorliegenden Ergebnisse bisher nicht bestätigen. Silphie reagierte auf Unterschiede in der Wasserversorgung deutlich stärker als zu Silomais (Abbildung 3). Das erklärt auch die gegenüber Silomais höheren Trockenmasseerträge in Fällen sehr guter Wasserversorgung. Diese Ergebnisse bestätigen die sehr tiefgründigen Arbeiten von Schittenhelm et al. (2016). Hier wurden gegenüber Silomais ein deutlich höherer Wasserverbrauch und eine geringere Wassernutzungseffizienz ermittelt. Offensichtlich ist das Wurzelsystem der Durchwachsenen Silphie trotz der Mehrjährigkeit weniger leistungsfähig als das vom Mais. Hier besitzt der Mais außerdem als C4-Pflanze hinsichtlich der Assimilation bei Trockenheit und hohen Temperaturen deutliche Vorteile.

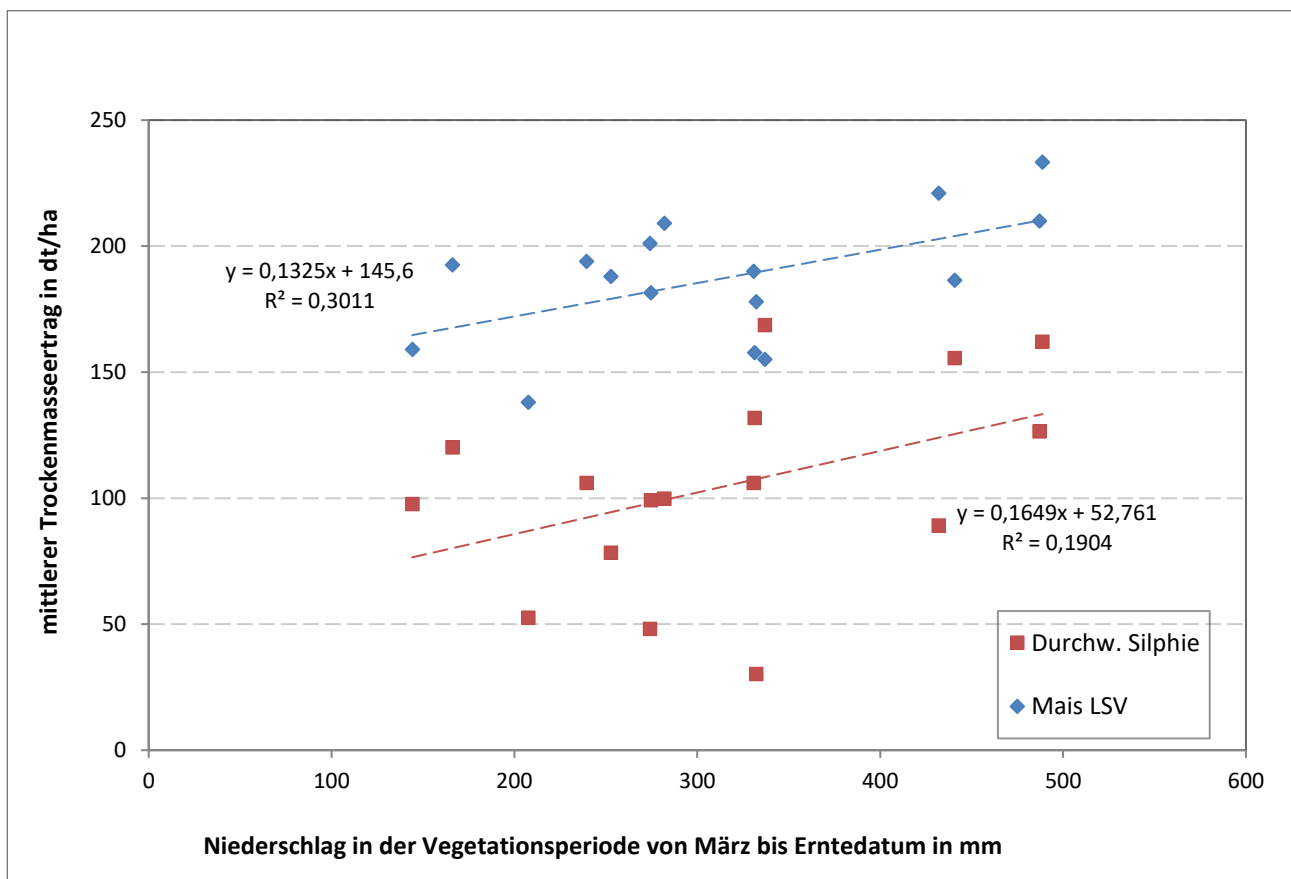


Abbildung 3: Erträge von Durchwachsener Silphie und Silomais (mittelfrüh) am Standort Gülzow in Abhängigkeit von den Niederschlägen in der Vegetationsperiode

5.2 Nährstoffentzüge und Düngung

Es wurde untersucht, wie viele Nährstoffe die Durchwachsene Silphie jährlich mit dem Erntegut entzieht. Dabei wurde festgestellt, dass sie hauptsächlich Kalzium und Kalium entzieht, gefolgt von Stickstoff (Abbildung 4).

Der auffällig hohe Kalzium-Entzug könnte wahrscheinlich auf die Eigenschaften der Pflanze Silphie zurückzuführen sein. Aufgrund ihres erhöhten Wasserbedarfs und tieferen Wurzelsystems zieht die Silphie viel Wasser aus dem Boden. Dieses Wasser enthält auch gelöstes Kalzium, das nicht in den Blättern verdünnt wird und keine spezifische Funktion in der Pflanze hat. Daher sammelt sich Kalzium in den Pflanzengeweben an und resultiert in erhöhten Kalziumkonzentrationen.

Mit ihrem im Vergleich zu anderen Kulturen hohen Wasserverbrauch entzieht die Durchwachsene Silphie auch hohe Mengen an Kalzium. Darum ist es ratsam, die Boden-pH-Werte zu überwachen und den Boden regelmäßig mit Kalkdünger zu versorgen.

Anhand der Versuchsergebnisse aus Gülzow lässt sich schlussfolgern, dass die Durchwachsene Silphie einen erhöhten Bedarf an Kalium und Kalzium sowie einen moderaten Bedarf an Stickstoff aufweist. Der Bedarf der Durchwachsene Silphie an Magnesium, Phosphor und Schwefel ist vergleichsweise niedrig (Abbildung 4). Diese Informationen können wertvolle Hinweise für die Düngungsempfehlung darstellen.

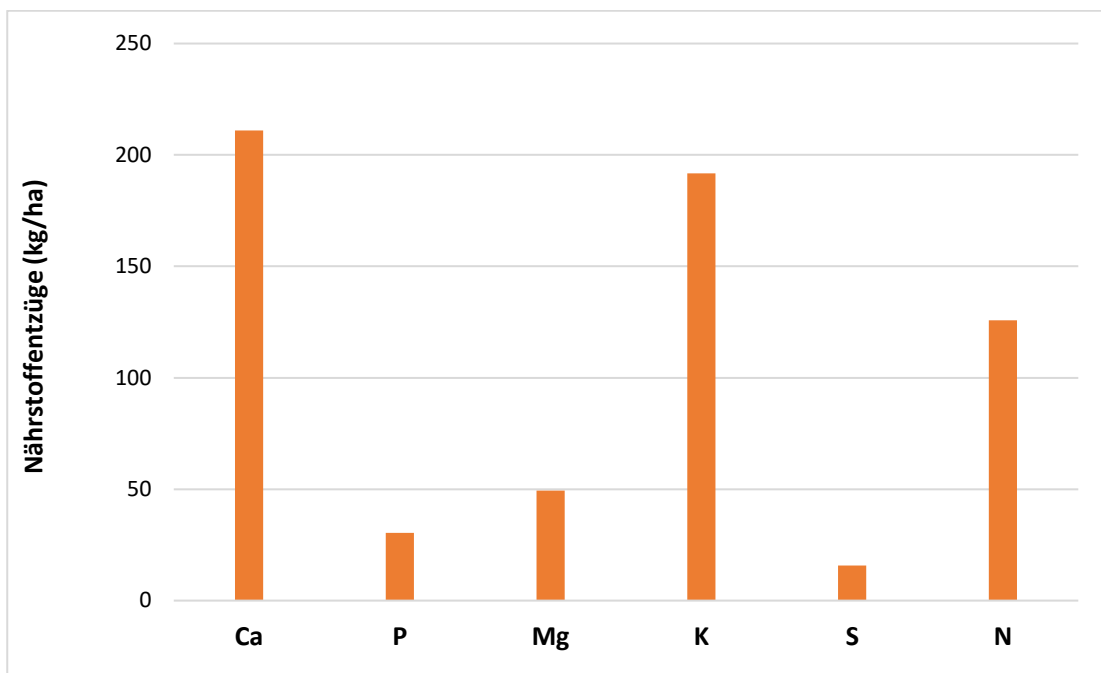


Abbildung 4: Nährstoffentzüge der Durchwachsene Silphie als (Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2023)

5.3 Nährstoffentzüge - Vergleich zwischen Literatur, dem Versuch Gülzow und Silomais

Es bestanden geringe Unterschiede zwischen den Nährstoffentzügen im Gülzower Versuch und den Literaturwerten. Lediglich bei Kalium waren die Literaturwerte moderat höher. Im Vergleich zu Silomais weisen Maispflanzen leicht erhöhte Stickstoff- und leicht verringerte Kalium- und Magnesium-Entzugsraten auf. Die Phosphor-Entzugsraten sind nahezu gleich. Darüber hinaus entziehen Maispflanzen dem Boden fast zehnmal weniger Kalzium als Durchwachsene Silphie-Pflanzen (Abbildung 5).

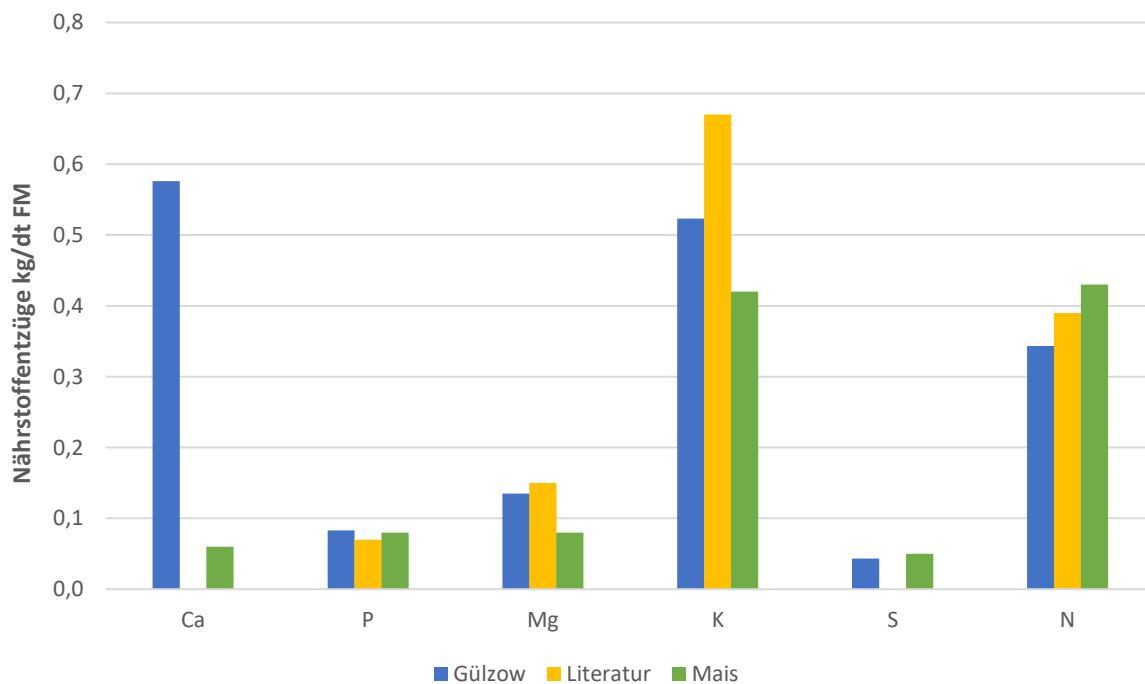


Abbildung 5: Vergleich der Nährstoffentzüge zwischen Literatur, den Versuch Gülzow und Silomais

Literaturquelle: (Kape, et al., 2021)

5.4 Praxiserprobung in der Gut Dummerstorf GmbH

Die im Produktionsexperiment festgestellten Erträge entsprachen im Wesentlichen den Erwartungen am Standort (Tabelle 4). Wie auch im Exaktversuch in Gülzow wurde im Etablierungsjahr keine Ernte eingefahren und die erste Ernte im 2. Standjahr lag unter dem Mittel der Folgejahre. Die Ertragsrelation zum mittelfrühen Silomais (154 dt/ha TM, Annen, 2016) ist mit etwa 80 % ähnlich wie im Exaktversuch (75 %) einzuschätzen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Ganzpflanzen-Erträge von Durchwachsener Silphie im Produktionsexperiment

Erntedatum	Erntemenge Frischmasse in dt	Trockenmassegehalt zur Ernte in %	Trockenmasseertrag in dt/ha
11.10.2013	1480	28	103,6
02.10.2014	1700	32	136,0
30.09.2015	1410	31	116,3

Die geernteten Mengen der Durchwachsenen Silphie wurden 2013 und 2014 in einem Folienschlauch separat siliert, um das Erntegut vom Mais zu trennen. Die Ernte 2015 wurde in einem Fahrsilo ebenfalls getrennt vom Mais siliert. Gründe für den Wechsel des Konservierungsverfahrens waren:

- Kostengründe: Die Schlauchsilierung ist wegen des Schlauches und der Technik teurer als die Konservierung im Fahrsilo.
- Qualitätsrisiken: Das Gelingen des Silierprozesses gestaltete sich komplizierter als zunächst vermutet. Die Schlauchsilierung birgt das Risiko einer geringeren Verdichtung und damit des Vorhandenseins von Luftsauerstoff im Futterstock trotz des guten Luftabschlusses durch den Schlauch.

Aus den bekannten Gasausbeuten der verschiedenen eingesetzten Substrate und der Gestaltung der Ration unter Einbeziehung der Durchwachsenen Silphie ergab sich beispielhaft eine Ration, die zum Start des Silphieeinsatzes genutzt und dann anhand der tatsächlichen Gasproduktion korrigiert wurde (Tabelle 5). Dabei war es das Ziel, 20 % des Biogases, das aus Maissilage produziert wurde, durch Biogas aus der Durchwachsenen Silphie zu substituieren (Tabelle 5).

Tabelle 5: Kalkulierte Ausgangsrationen für die Substratzufuhr

Substrat	spezifische Biogausbeute in Nm ³ /t FM	ohne Durchwachsene Silphie		mit Durchwachsener Silphie	
		t FM/d	m ³ Biogas	t FM/d	m ³ Biogas
Gülle	14,8	60	890,5	60	890,5
Maissilage	185,3	3,5	648,5	2,8	518,8
Silphiesilage	143,3	0,0	0,0	0,905	129,7
Grassilage	158,0	1,4	221,2	1,4	221,2
Futterreste	126,4	0,7	88,5	0,7	88,5
ZR-Silage	154,9	6,2	960,2	6,2	960,2
Stallmist	60,5	1,2	72,6	1,2	72,6
Summe/d		73	2881,4	73,2	2881,4

Wegen der geringeren spezifischen Gasausbeute der Durchwachsenen Silphie wurde die Gesamtfuttermenge in der Ration um 200 kg/d erhöht. Die damit verbundene geringe Veränderung des TS-Gehaltes im Fermenter sowie der hydraulischen Verweilzeit von 32,38 auf 32,25 Tage wurde toleriert.

Bereits in der ersten Einsatzperiode 2014 (Ernte 2013) wurde vom Anlagenfahrer allerdings von einer Erhöhung des TM-Gehaltes im Fermenter berichtet, die durch Analysen auch bestätigt wurden. Es musste mit erhöhtem Rühraufwand reagiert werden. Da seit Beginn der Silphiefütterung auch ein Rückgang der täglichen Biogasproduktion zu verzeichnen war, wurde die Einsatzmenge der Silphiesilage und auch der anderen Substrate erhöht, um diesen Rückgang auszugleichen. Es wurde vermutet, dass mit fortschreitender Einsatzzeit die Biogasausbeute der Silphie bzw. des Gesamtsystems zurückging. Als Hauptursache musste ein Rückgang des Ausnutzungsgrades der Durchwachsenen Silphie angenommen werden. Der aus den Substraten erwartete Stromertrag wich zum Ende der Versuchsperiode um etwa 35 % vom realisierten ab (Abbildung 6).

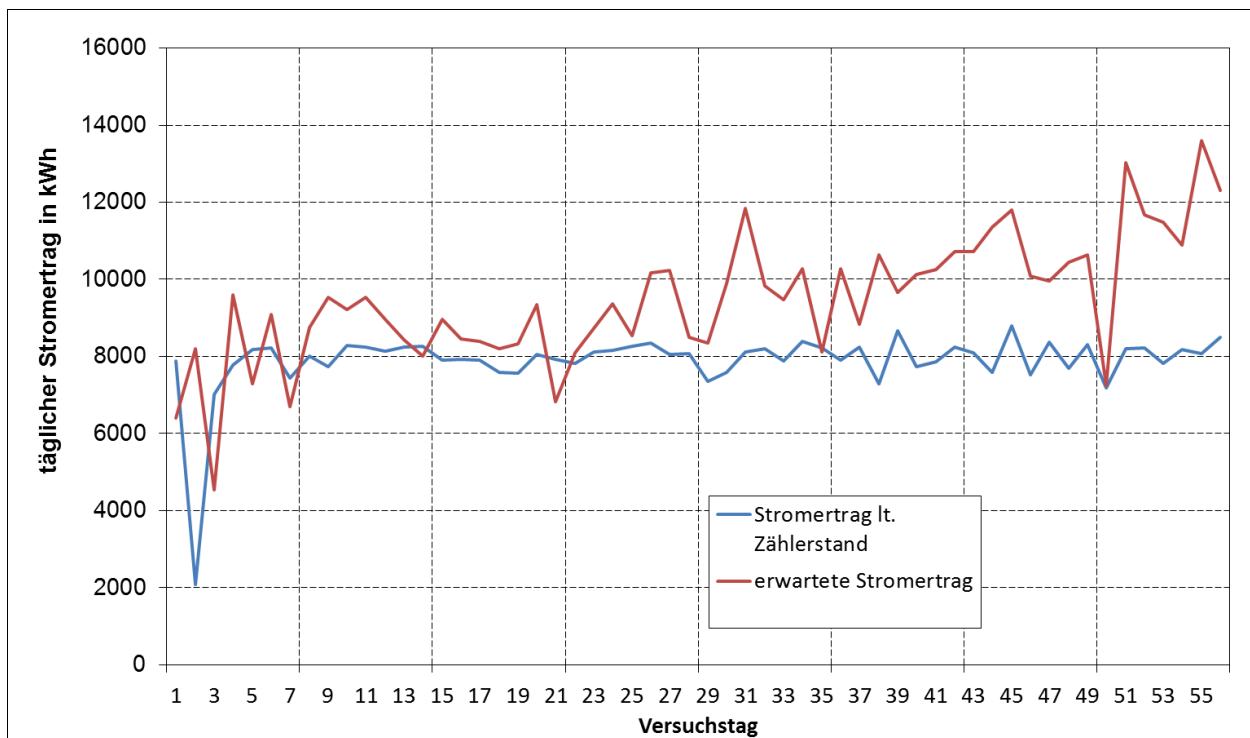


Abbildung 6: Erwarteter und realisierter Stromertrag 2014 während der Versuchsdauer im Fermenter

Während dieser Trend 2014 langsam fortschreitend entstand, wurde die Differenz während des Versuches 2015 sehr diskontinuierlich festgestellt (Abbildung 7). Der Silphiesilage musste also eine sehr unterschiedliche Qualität im Futterstock unterstellt werden. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Witterungsentwicklung während des Fütterungsversuches. Die aerobe Stabilität der Silage ist aufgrund der Inhaltsstoffe und des Epiphytenbesatzes zur Ernte als niedrig einzuschätzen, so dass sie bei den ungewöhnlich hohen Temperaturen an der Anschnittfläche des Silos sehr schnell verdarb. Durch Entnahme einer Teilprobe, die innerhalb weniger Stunden völlig verschimmelte, wurde das bestätigt. Das machte die korrekte Kalkulation der Fütterungsration sehr schwierig. In Betrieben, die die Biogasanlage aus separaten Silos versorgen, sollte darum eine gemeinsame Silierung mit Mais erwogen werden, zumal die mögliche Erntezeitspanne dies beim frühen Silomais meistens zulässt. In der Gut Dummerstorf GmbH werden jedoch Biogasanlage und Rinderställe aus demselben Silo versorgt, so dass diese Möglichkeit hier ausscheidet. Zur Ernte 2015 wurde darum wegen der besseren Verdichtungsmöglichkeit auf ein kleines, einzelnes Fahrsilo ausgewichen.

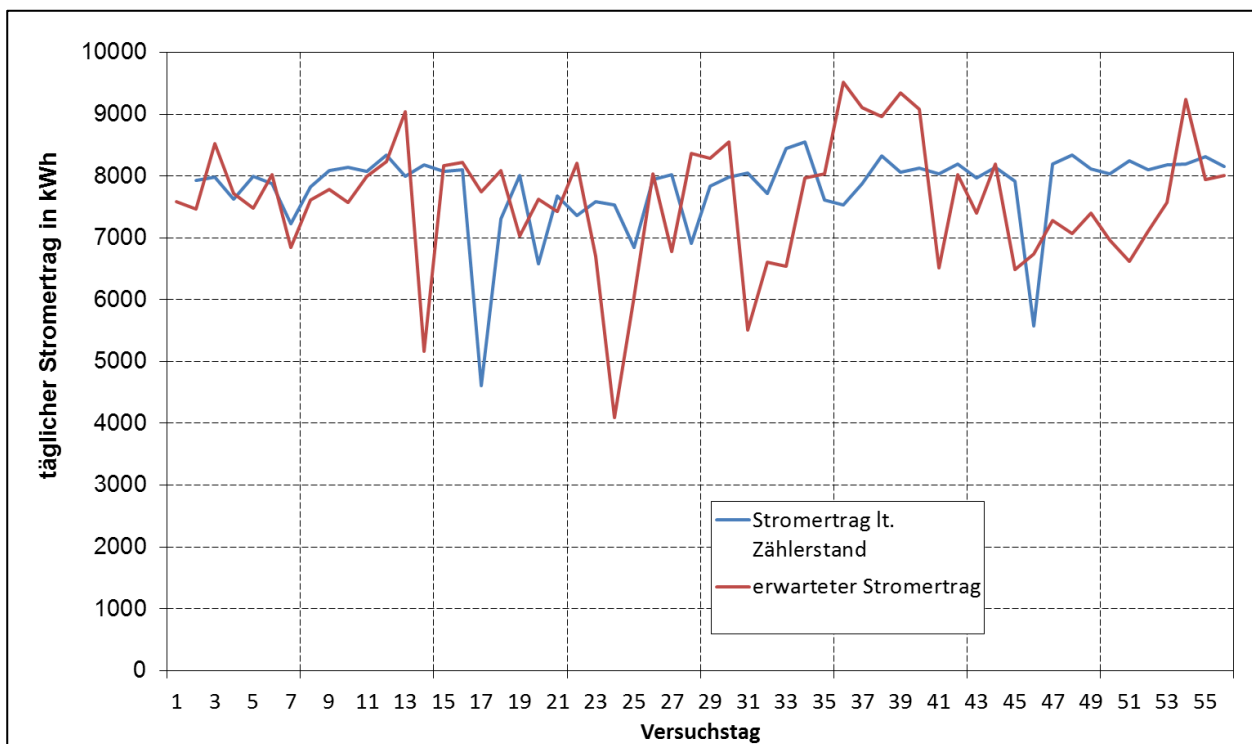


Abbildung 7: erwarteter und realisierter Stromertrag 2015 während der Versuchsdauer im Fermenter

5.5 Qualitäten und Gasausbeuten

Aufgrund der Zusammensetzung ihrer Inhaltsstoffe ist die Biogasausbeute aus der Durchwachsenen Silphie niedriger zu erwarten als beispielsweise aus Silomais. Immer wieder wird von Befürwortern des Silphieanbaus allerdings von gleichwertigen oder gar höheren Gasausbeuten gegenüber Mais berichtet (z. B. Janzing, 2015). Diese sind anhand der vorliegenden Ergebnisse allerdings nicht nachvollziehbar.

Für Biogasanlagen ist zur Kalkulation der Rationen die Bestimmung der Biogasausbeute nach Weißbach praktikabel. Dazu erforderliche Ergebnisse aus Verdauungsversuchen sind allerdings nicht vorhanden. Darum wurde auf Ergebnisse von Sonnenblumen und Topinamburkraut zurückgegriffen (Weißbach, 2014). Die fermentierbare organische Trockensubstanz kann nach der Formel:

$$F_{oTS} = 1000 - XA - 0,878 \cdot XF$$

errechnet werden. Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes kann dabei anhand der Bestimmung der organischen Säuren bzw. näherungsweise nach der Formel:

$$T_{Sk} = 26,2 + 0,970 \cdot T_{Sn}$$

erfolgen.

Darin bedeuten:

F_{oTS}: Fermentierbare organische Trockensubstanz [% oTS]

XA: Rohasche [g/kg TS]

XF: Rohfaser [g/kg TS]

T_{Sk}: korrigierter Trockensubstanzgehalt [%]

T_{Sn}: gemessener TS-Gehalt [%]

Die Biogasausbeute für Durchwachsene Silphie kann nach dem Erntezeitpunkt und den Witterungsbedingungen variieren. In einem Versuch bei der Firma Donau Silphie ergab sich (nach Baserga) eine

Durchwachsene Silphie als Kosubstrat für Biogasanlagen

Biogasausbeute für früh geerntete Durchwachsene Silphie (13.08.2016) von 553 Liter/kg TS und für spät geerntete Durchwachsene Silphie (23.09.2016) 555 Liter/kg TS. Die Methanausbeute betrug für früh geerntete Durchwachsene Silphie 295 Liter/kg TS und für spät geerntete Durchwachsene Silphie 291 Liter/kg TS, während für Silomais die Biogasausbeute bei 562 und Methanausbeute bei 292 Liter/kg TS lag.

Aus unserem Versuch in Gülzow ergab sich die folgende Biogas- und Methanausbeute (nach Weißbach):

Tabelle 6: *Biogasausbeute und Methanausbeute für den Durchwachsene Silphie Versuch in Gülzow*

		2019	2020	2021	2022	2023	Mittelwert
Erntedatum		16.09.2019	29.10.2020	23.09.2021	07.09.2022	21.09.2023	
Biogas	l/kg TM	518	507	473	492	506	499
Methan	l/kg TM		266	248	259	266	260

Die Ergebnisse im Praxisexperiment in der Dummerstorf GmbH zeigten deutlich, dass die realisierten Gasausbeuten stark von der aktuellen Silagequalität abhängen. Damit werden auch die relativ großen Abweichungen zwischen dem erwarteten und dem realisierten Stromertrag im Jahr 2015 erklärt. Während bei der ersten Beprobung der Ernte 2014 mit 426 l/kg TM eine Biogasausbeute auf dem Niveau der Ernte 2013 festgestellt wurde, ergab sich bei der zweiten Beprobung der Silage ein deutlich höherer Wert (Tabelle 7).

Tabelle 7: *Ausgewählte Qualitätseigenschaften der Silagen aus der Ernte der Durchwachsenen Silphie in Dummerstorf (Untersuchungsergebnisse der LUFA Rostock)*

Parameter	Einheit	Ernte 2013	Ernte 2014 erste Beprobung	Ernte 2014 zweite Beprobung
Trockenmasse (TSn)	g/kg	269	265	289
Trockenmasse (TSk)	g/kg	291,87		
Essigsäure	g/kg TSk	29,47	15,47	24,22
n-Buttersäure	g/kg TSk	34,26	12,45	<0,10
Milchsäure	g/kg TSk	11,31	60,00	83,39
FoTS nach Weißbach	g/kg TM	546	533	629
Biogasausbeute nach Weißbach	l/kg TM	437	426	504
Methanausbeute nach Weißbach	l/kg TM	229	224	264

5.6 Nmin-Gehalte des Bodens

Es hat sich gezeigt, dass die Silphie nur geringfügige Mengen an Stickstoff nach der Ernte im Boden hinterlässt. Regelmäßig wurden Bodenproben im Frühjahr und im Herbst entnommen, um den Stickstoffgehalt im Boden zu bestimmen. Dabei zeigte sich, dass die Nmin-Werte im Boden generell niedrig bis sehr niedrig waren. In den ersten Versuchsjahren waren die Nmin-Werte höher als in den späteren Versuchsjahren, blieben aber dennoch gering. Die Nmin-Gehalte in den letzten Versuchsjahren waren besonders niedrig (Abbildung 8).

Das könnten möglicherweise auf die spezielle Pflanzennatur der Silphie zurückzuführen sein. Sie besitzt tiefe Wurzeln, die Stickstoff sowohl aus tieferen Bodenschichten als auch aus oberen Bodenschichten aufnehmen. Die Silphie bildet früh im Jahr Vegetationsmasse und kann den Stickstoff im Boden möglicherweise entziehen,

bevor er ausgewaschen wird. Die Silphie ist zudem eine ausdauernde Kulturpflanze und entzieht über einen längeren Zeitraum im Vergleich zu einjährigen Kulturen Stickstoff aus dem Boden.

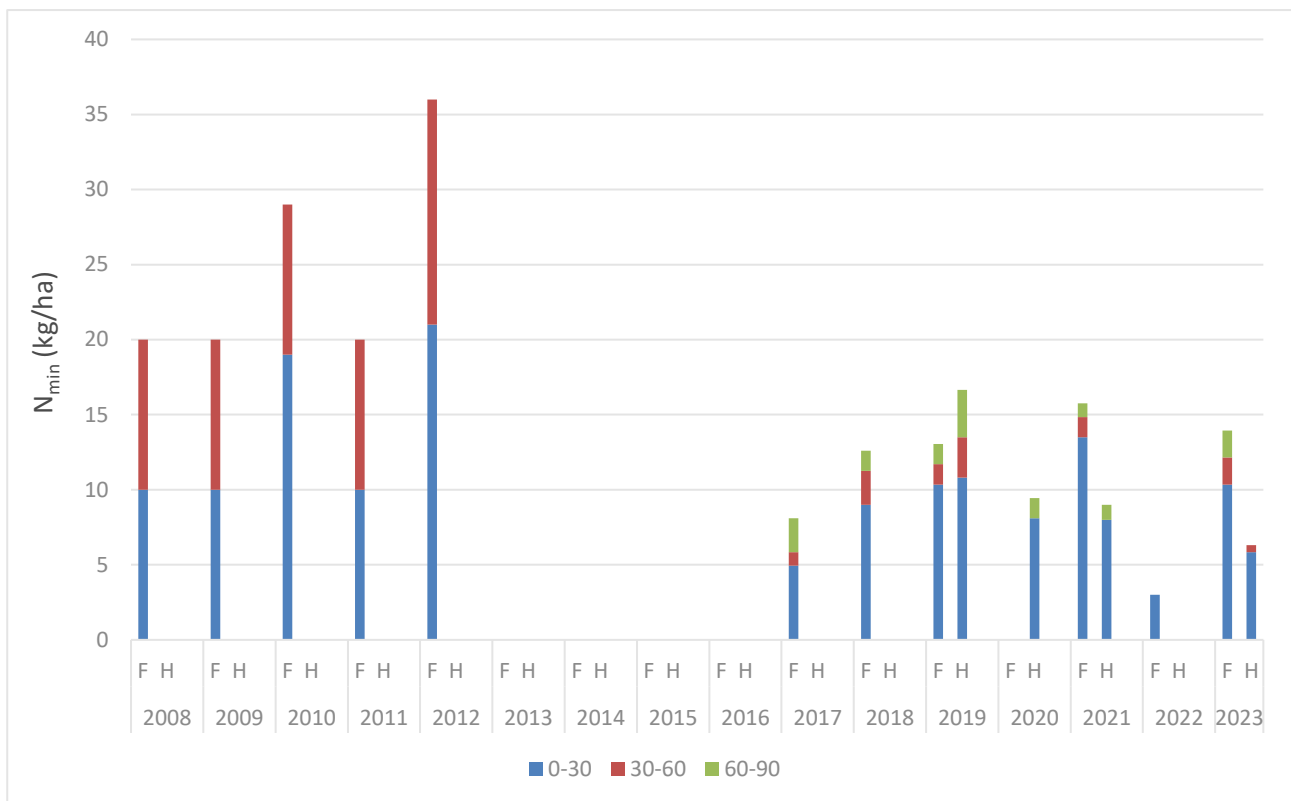


Abbildung 8: Nmin Gehalte im Boden über die Jahre 2008 bis 2023

6 Wirtschaftlichkeit

Um die Wirtschaftlichkeit der Durchwachsenen Silphie im Vergleich zum Deckungsbeitrag von Silomais zu ermitteln, wurde die Investitionsrechnung über einen Zeitraum von 20 Jahren angewendet.

Die hohen Einmalkosten, die im ersten Jahr bei der Durchwachsenen Silphie anfallen, wurden über 20 Jahre verzinst und dann auf die Jahre umgelegt. Die Annuität der Durchwachsenen Silphie betrug -597,05 €/ha, während der Deckungsbeitrag für Mais (aus der Praxis) -180,88 €/ha betrug (Tabelle 8).

Im Jahr 2012 wurde das Erneuerbare-Energien-Gesetzes erneut überarbeitet, und seit dieser Neuerung gibt es eine wichtige Entwicklung zu vermerken: die Einführung der Sondervergütungsklasse für ökologisch wertvolle Substrate (ÖWS). Diese Regelung besagt, dass beim Einsatz von Substraten aus ökologisch wertvollen Rohstoffen in Biogasanlagen die Vergütung in die Sonderklasse für ÖWS fällt. Zu den Einsatzstoffen, die diese Kategorie umfassen, gehören unter anderem Blühstreifen, Miscanthus, Durchwachsene Silphie, Leguminosen, Pferdemit, Phacelia sowie viele andere Materialien mit hohem ökologischem Wert.

In diesem Zusammenhang wurde gerechnet, ob der Einsatz von Durchwachsener Silphie als ÖWS die Wirtschaftlichkeit von Durchwachsener Silphie im Vergleich zu Mais verbessern könnte. Die Rechnung ergab, dass diese Maßnahme die Rentabilität von Durchwachsener Silphie leicht erhöhte, jedoch noch nicht das Niveau von Silomais erreichte (Tabelle 8).

Tabelle 8: Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen Durchwachsener Silphie (in der Praxis und als ökologisches Substrat) und Mais in MV (€/ha)

	Silphie Praxis	Silphie (ÖWS)	Mais (Praxis)
Bodenbearbeitung	163	163	129
Düngerausbringung	34	34	24
Pflanzung /Bestellung	565	565	48
Düngermittel	496	496	532
Kleinpflanzen/Saatgut	6800	6800	260
Pflanzenschutz	45	45	161
Hagelversicherung	41	41	41
Häckseln	237	237	264
Rodung (abgezinst)	52	52	
Ertrag TM dt/ha*	84	99	120**
Methanausbeute l/kg TM	260	260	304
Methanertrag m ³ /ha	2188	2574	3648
Preis €/m ³ Methan	0,35	0,35	0,35
Leistung €/ha/Jahr	766	1201	1277
Summe der einmaligen Kosten	7625	7625	
Verzinsung über 20 Jahre	11109	11109	
Jährliche Kosten mit Verzinsung	555	555	
Standard Deckungsbeitrag (SDB)		-162	-180,88
Annuität (jährlicher Überschuss)	-597,05		

* Der durchschnittliche Ertrag aus dem Exaktversuch wurde für die Übertragung in die Praxis um 15 % reduziert.

** Statistisches Amt MV (Durchschnitt der Jahre 2018-2023 umgewandelt in TS)

Es wurde festgestellt, dass ein Kubikmeter Methan, der aus Durchwachsene Silphie gewonnen wird, 0,55 € kostet, ein Kubikmeter Methan aus Mais gewonnen kostet 0,22 € bis 0,40 €.

7 Schlussfolgerungen

Der Dauerversuch in Gülzow wurde nach der Ernte 2023 beendet. Mit den erfolgten 16 Ernten ist dieser Feldversuch von hohem wissenschaftlichem Wert.

Die politisch gewollte Suche nach Alternativen zu hohen Anbaukonzentrationen von Silomais ist durch die mehrfache Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes zwar kaum noch aktuell, die Durchwachsene Silphie sollte dennoch eine gewisse Anbaubedeutung gewinnen. Sie besitzt einen hohen landschaftskulturellen Wert und ist außerdem auch als Bienenweide für Spätsommertrachten gut geeignet. Gerade auf windexponierten Standorten ist die durchwachsene Silphie mit der guten Bodenbedeckung gegenüber Mais im Frühjahr ebenso positiv zu bewerten.

Die Durchwachsene Silphie erzielte sowohl in Bezug auf den Ertrag als auch auf den Methanertrag nicht das Niveau von Silomais. Darüber hinaus war sie wirtschaftlich weniger rentabel als Mais. Ein Kubikmeter Methan aus Durchwachsener Silphie war deutlich kostspieliger als aus Mais.

Dennoch gibt es positive Aspekte, die für den Anbau von Durchwachsene Silphie sprechen. Dazu zählen ein geringerer Bewirtschaftungsaufwand, verbesserte Erosionsschutzmaßnahmen, erhöhte Biodiversität, reduzierte Lachgasemissionen und niedrigere Nmin-Gehalte im Boden.

In Anbetracht der gesetzlichen Beschränkungen des Maisanteils in Biogasanlagen gemäß dem EEG wäre es ratsam, die Durchwachsene Silphie nicht nur mit Mais, sondern in betrieblichen Entscheidungen auch mit anderen alternativen Kulturpflanzen für Biogassubstrate zu vergleichen.

Im Ergebnis der Arbeiten in der LFA kann die Durchwachsene Silphie als alternative Biogaspflanze nur eingeschränkt für den Anbau und die Nutzung empfohlen werden. Nennenswerte Bedeutung kann sie jedoch nur gewinnen, wenn der hohe ökologische Wert sich auch in der Wirtschaftlichkeit wiederfindet. Dazu ist eine Änderung der politischen Rahmenbedingungen und des Vergütungsgefüges für die Landwirtschaftsbetriebe erforderlich.

8 Literaturverzeichnis

- Adler, Philipp, et al. 2005.** *Leitfaden Biogasaufbereitung und -Einspeisung*. OT Gülzow : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2005.
- Annen, Thomas. 2016.** *Silomaisertrag in der Gut Dummerstorf GmbH*. Gülzow, 2016.
- Bauböck, Roland, Karpenstein-Machan, Marianne und Kappas, Martin. 2014.** Computing the biomass potentials for maize and two alternative energy crops, triticale and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.), with the crop model BioSTAR in the region of Hannover (Germany). *Environmental Sciences Europe*. 2014, Bd. 26, 19.
- Bundessortenamt. 2008.** *Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen*. Hannover : Landbuch Verlagsgesellschaft mbH , 2008.
- Dauber, Jens, et al. 2016.** *Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie (Silphium perfoliatum L.) als eine Biomassepflanze der Zukunft* . Braunschweig : s.n., 2016.
- Dauber, Jens, et al. 2016.** *Schlussbericht zum Vorhaben „Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie (Silphium perfoliatum L.) als eine Biomassepflanze der Zukunft“*. Braunschweig: Institut für Biodiversität, 2016.
- Destatis. 2024.** © Statistisches Bundesamt (Destatis), 2024 | Stand: 04.09.2024 / 16:28:48. 2024.
- Deumlich. 2008.** *Schriftliche Mitteilung zur Standortaufnahme*. Müncheberg : Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, 2008.
- Fritz, Maendy, et al. 2023.** *Durchwachsene Silphie - Fachinformationen*. Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. 85354 Freising : Biogas Forum Bayern, 2023.
- Hartmann, Anja und Lunenberg, Tatjana. 2016.** Ertragspotenzial der Durchwaschenen Silphie unter bayerischen Anbaubedingungen. [Hrsg.] EUGEN ULMER KG. *Journal für Kulturpflanzen*. 07. 12 2016, Bd. 68 (12), S. 385-388.
- 2023.** <https://eps-bhkw.de>. [Online] 21. 06 2023. [Zitat vom: 05. 09 2024.] <https://eps-bhkw.de/eeg-gesetz-2023-biogasanlagen>.
- Janzing, Bernward. 2015.** Praktiker ebnen der Silphie den Weg. *Biogas Journal*. 06 2015, S. 42-45.
- Kape, Hans-Eberhard, et al. 2021.** *Richtwerte für die Untersuchung und Beratung zur Umsetzung der Düngeverordnung 2020 in Mecklenburg-Vorpommern*. 2021.
- KTBL.** <https://www.ktbl.de>. [Online] [Zitat vom: 11. 09 2024.] <https://daten.ktbl.de/sdb/source.do?selectedAction=weiter>.
- . **2014.** *Vergütungsstruktur für Biogasanlagen gemäß EEG 2012*. Darmstadt : s.n., 2014.
- Mecklenburg-Vorpommern, Statistisches Amt. August 2024.** *Ernteberichterstattung über Feldfrüchte und Grünland in Mecklenburg-Vorpommern, Wachstumsstand und Ernte C II - m*. August 2024.
- Michel, Volker. 2007.** *Das Versuchsnetz der LFA in Mecklenburg-Vorpommern*. OT Gülzow : Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei M-V, 2007.
- Michel, Volker, Bombowsky, Beate und de Mol, Friederike. 2023.** *Mais, Ergebnisse Landessortenversuche, Anbaugesbiet „D-Nord/ MV-Süd“*. Gülzow-Prüzen : Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, 2023.
- Michel, Volker, Bombowsky, Beate und Zink, Andreas. 2008-2015.** *Silomais, Energiemais, Körnermais, Ergebnisse Landessortenversuche; Anbaugesbiet "D-Nord/MV-Süd"*. OT Gülzow : Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei M-V, 2008-2015.

Parzefall, Sebastian. 2023. Mit Silphie Treibhausgasemissionen mindern? Braunschweig : s.n., 28. 06 2023.

Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern . 2024. *Ernteberichterstattung über Feldfrüchte und Grünland in Mecklenburg-Vorpommern, Wachstumsstand und Ernte C II - m.* MV : s.n., 2024. C II - m.

9 Überleitung

Die Überleitung der im Rahmen dieses Forschungsthemas gewonnenen Ergebnisse erfolgte in Form nachfolgender Publikationen und Vorträge:

Im Mai 2016 entstand ein Rundfunkbeitrag zur Durchwachsenen Silphie vor Ort in Gülzow. Er wurde als Interview im Juni 2016 im NDR Landfunk ausgestrahlt.

Auf Felddagen der LFA (Mähdruschtag und Maistag) wurden die aktuellen Ergebnisse regelmäßig vorgestellt.

In mehreren Veröffentlichungen und Vorträgen wurde die Durchwachsene Silphie neben anderen Kulturpflanzen abgehandelt, so z. B.:

Gienapp, C.; Gurgel, A. (2010): Nachhaltige Biomassebereitstellung aus der Landwirtschaft. Rostocker Bioenergieforum, Vortrag und Tagungsband.

Gurgel, A.; Peters, J. (2012): Biogasproduktion – Alternativen zur Maiselbstfolge. Vortrag, Medrow, 5.6.2012.

Gurgel, A.; Peters, J. (2012): Produktion von durchwachsener Silphie sowie Getreideganzpflanzen als Alternativen zu hohen Maiskonzentrationen. Rostocker Bioenergieforum, Vortrag und Tagungsband.

Gurgel, A. (2012): Nachhaltigkeit im Anbau und in der Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Vortrag, Sitzung des Agrarausschusses im Landtag MV, Schwerin, 23.8.2012.

Vorträge Alternative Substrate für die Biogasproduktion.

21.11.2012 Schildfeld

9.6.2015, Viecheln

14.1.2017 Universität Rostock

4.6.2018 Gülzow

8.5.2019 Todendorf

Biogasschulung nach TRGS 529, Sievershagen 14.12.2022, 18.1.2023, 1.2.2024

Gurgel, A.; Bull. I.: Neue Auflagen durch Greening und Düngeverordnung – Welche Möglichkeiten haben Betreiber bei der Substratauswahl und Fruchtfolge? Hohen Luckow, 5.11.2015

Gurgel, A.: Anbau und Verwertung der Durchwachsenen Silphie als Alternative für Mais, Miltzow/Sundhagen, 29.6.2017

Gurgel, A.: Ergebnisse aus Mecklenburg-Vorpommern zum Anbau der Durchwachsenen Silphie, Sternberg 24.05.2018

Gurgel, A.: Ergebnisse aus Mecklenburg-Vorpommern zum Anbau der Durchwachsenen Silphie, Kolloquium 10.12.2018, Gülzow

Gurgel, A.: Vorlesungsreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ im Masterstudiengang, Universität Rostock, jährlich im Wintersemester 2014 - 2024