



TFZWISSEN

Forschung für die Praxis

April 2024 | #3





TFZWissen



Impressum:

Autoren:

Dr. Maendy Fritz
Florian Hoyer
Sebastian Parzefall
Gawan Heintze
Michael Grieb
Lena Förster
Franz Heimler
Redaktion: Stephanie Althammer, Klaus Reisinger

Herausgeber:

Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
Leiter: Dr. Bernhard Widmann
Schulgasse 18
94315 Straubing

Fotos: Hase Tobias (S. 11, oben rechts, unten links), alle weiteren Abbildungen TFZ

Erscheinungsjahr: 2024
Erscheinungsort: Straubing
2. überarbeitete Auflage
Verlag: Eigenverlag
Layout: Uli Eidenschink, TFZ

© Alle Rechte vorbehalten

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Forschungsarbeiten wurden mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unterstützt.

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

Inhalt

Dauerkulturen

für die energetische Nutzung 4

Förderung 8

Durchwachsene Silphie 10

Steckbrief..... 10

Vorbereitung der Bestandsanlage..... 12

Ansaat 13

Pflanzenschutz 16

Düngung..... 19

Ernte..... 20

Erträge 20

Methanausbeute 22

Umbruch/Rekultivierung der Fläche 23

Miscanthus 24

Steckbrief..... 24

Vorbereitung der Bestandsanlage..... 26

Pflanzung 27

Pflanzenschutz 28

Düngung..... 30

Ernte..... 31

Erträge 32

Ergebnisse 33

Brennstoffeigenschaften 34

Methanausbeute 34

Umbruch/Rekultivierung der Fläche 34

Riesenweizengras 35

Steckbrief..... 35

Vorbereitung der Bestandsanlage..... 37

Saat 37

Pflanzenschutz 39

Düngung..... 40

Ernte..... 40

Erträge 42

Methanausbeute 43

Umbruch/Rekultivierung der Fläche 43

Switchgras 44

Steckbrief..... 44

Vorbereitung der Bestandsanlage..... 46

Saat 47

Pflanzenschutz 48

Düngung..... 49

Ernte 49

Erträge 51

Methanausbeute 51

Umbruch/Rekultivierung der Fläche 51

Sida 52

Steckbrief..... 52

Vorbereitung der Bestandsanlage..... 55

Pflanzung und Saat..... 56

Pflanzenschutz 57

Ernte..... 58

Erträge/Fazit 58

Vergleich der Kulturen auf verschiedenen bayerischen

Standorten..... 59

Erträge 61

Bodenstickstoff zum Vegetationsende 66

Potenzial der Dauerkulturen
für den Gewässerschutz 67

Quellenverzeichnis 68

Dauerkulturen für die energetische Nutzung

Biomasse ist der „Alleskönner“ unter den erneuerbaren Energieträgern: Sie liefert Strom, Wärme und Kraftstoffe, ist leicht speicherbar, damit rund um die Uhr verfügbar und kann flexibel eingesetzt werden.

Deutschlandweit findet derzeit auf etwa 2,4 Millionen Hektar Energiepflanzenanbau statt. Dabei fokussiert sich der Anbau auf eine kleine Auswahl von Kulturen: hauptsächlich Mais, Raps oder Getreide. Diese fehlende Vielfalt wirkt sich nachteilig auf die Fruchtfolgen aus und hat negative Effekte auf den Boden und

seine Eigenschaften. Zudem begünstigt eine enge Auswahl an Kulturen die Ausbreitung von Schädlingen und Krankheiten und verschlechtert die Akzeptanz der Bioenergie in der Bevölkerung.

Der Anbau von Dauerkulturen bietet eine Möglichkeit, die Biodiversität auf den Feldern durch mehr Pflanzenarten und neue ökologische Nischen zu erhöhen. Zudem kann die Akzeptanz in der Bevölkerung gesteigert werden – beispielsweise durch besonders bienenfreundliche Kulturen.



Ein regional hoher Silomaisanteil in der Fruchtfolge verschlechtert die Akzeptanz von Energiepflanzen in der Bevölkerung

Bislang werden die hier gezeigten Dauerkulturen nur in geringem Umfang angebaut, da es neben einer Reihe von ökologischen Vorteilen immer noch einige Herausforderungen zu lösen gilt.

Nachteile von Dauerkulturen

- **Schwierige Etablierung:**
Das Saatgut der Dauerkulturen weist häufig eine geringe Keimfähigkeit auf, die den Feldaufgang verzögert und die Etablierung eines gleichmäßigen Bestands erschwert. Durch entsprechende Saatgutbehandlung lässt sich die Keimfähigkeit aber deutlich erhöhen. Auch das Saatverfahren bereitet häufig Probleme, da die verfügbare Technik nicht an die zum Teil sehr unförmigen Saatkörner angepasst ist. Manche Dauerkulturen können nicht angesät werden, sondern müssen kosten- und arbeitsintensiv durch Anpflanzung von Rhizomen oder Jungpflanzen etabliert werden.
- **Langfristige Festlegung:**
Für einen wirtschaftlich sinnvollen Anbau müssen die Dauerkulturen nach der Etablierung über ihre gesamte potenzielle Lebensdauer genutzt werden. Für Landwirtinnen und Landwirte bedeutet dies eine langfristige Bindung der dafür ausgewählten Flächen in Zeiten volatiler Märkte und damit eine geringere Flexibilität. Auch auf Pachtflächen ist der Dauerkulturanbau kritisch einzustufen, da die optimale Standdauer die Pachtdauer häufig überschreitet.
- **Langsame Jugendentwicklung:**
Nach der Keimung wachsen die Dauerkulturen zunächst sehr langsam. Sie bilden im ersten Jahr überwiegend ihr unterirdisches Wurzelsystem aus. Häufig tritt in dieser Zeit wegen der Konkurrenzschwäche der Dauerkultur eine hohe Verunkrautung auf. Aufgrund der geringen Herbizidverträglichkeit bzw. den geringen Kenntnissen zur Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln ist in den meisten Fällen eine mechanische Bestandspflege notwendig.
- **Ertragsunsicherheit:**
Auch wenn vom TFZ langjährige Versuche an verschiedenen bayerischen Standorten mit unterschiedlichen boden-klimatischen Bedingungen durchgeführt wurden, gibt es noch offene produktionstechnische Fragen. Der Ertrags- und Qualitätsrückstand im Vergleich zu züchterisch intensiv bearbeiteten, etablierten Kulturpflanzen ist teilweise groß, sodass für die gleiche produzierte Energie- oder Rohstoffmenge der Flächenbedarf für Dauerkulturen oftmals höher ist.
- **Hohe Etablierungskosten:**
Saat- oder Pflanzgut der Kulturen wird bisher nur von wenigen Anbietern vertrieben und die finanziellen Aufwendungen sind teilweise hoch. Vor allem bei der Pflanzung der Kulturen kommen auf Landwirtinnen und Landwirte hohe Kosten zu, die sich erst nach einer mehrjährigen Nutzung amortisieren. Gleichzeitig kann im Pflanz- bzw. Anlagejahr meist kein Ertrag eingefahren werden, da sich die Bestände erst entwickeln müssen.



Dauerkulturen wie Miscanthus lockern das Landschaftsbild auf und bieten Strukturen in der Agrarlandschaft

Vorteile von Dauerkulturen

Dauerkulturen bieten auch Vorteile, die sie zu einer echten Alternative für Landwirtinnen und Landwirte machen können.

- **Nahezu ganzjährige Bodenbedeckung:**
Durch den fast ganzjährigen Bewuchs der Fläche und eine meist intensive Durchwurzelung wird das Risiko für Bodenerosion und Nährstoffauswaschung deutlich reduziert. Damit wird nicht nur der Boden geschützt, sondern auch Nitrat- und Phosphateinträge in Grund- und Oberflächengewässer werden deutlich reduziert. Gleichzeitig entsteht ein wertvoller Deckungsraum für Wildtiere.
- **Reduzierte Bodenbearbeitung:**
Durch die mehr- bis vieljährige Nutzung des Bestands kann nach dem Etablierungsjahr auf Bodenbearbeitungsmaßnahmen verzichtet werden. Dadurch werden nicht nur Zeit und Kosten, sondern auch Ressourcen eingespart. Zusätzlich hilft die Bodenruhe wertvollen Humus aufzubauen. Dieser bindet Nährstoffe, erhöht das Bodenporenvolumen und die Wasser-

speicherfähigkeit und verbessert damit die Eigenschaften des Bodens entscheidend. Ferner kann Humus Kohlenstoffdioxid (CO₂) temporär aufnehmen und speichern. Da Dauerkulturen meist tiefer wurzeln als einjährige Kulturpflanzen erfolgt der Humusaufbau teilweise in sehr tiefen Bodenschichten und ist dort länger vor Wiederabbau geschützt.

- **Geringerer Pflanzenschutzmitteleinsatz:**
Die meisten Dauerkulturen bilden nach der Etablierung einen dichten Bestand. Ein Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel zur Beikrautkontrolle ist deshalb meist nur in den ersten beiden Jahren nötig, falls überhaupt mangels Zulassungen und Verträglichkeit möglich. Häufig sind während der Etablierung mechanische Maßnahmen zur Beikrautkontrolle, wie hacken oder fräsen zwischen den Reihen, notwendig. Ist der Bestand einmal geschlossen, kann auf weitere Pflanzenschutzmaßnahmen meist vollständig verzichtet werden.
- **Förderung der Agrarfauna und Erhöhung der Akzeptanz:**
Die zum Teil sehr lang andauernde Blüte vieler Dauerkulturen bereichert das Landschaftsbild und trägt damit zu einer Verbesserung der Akzeptanz von Energiepflanzen und der Landwirtschaft insgesamt bei. Gleichzeitig stellen die Blüten eine wichtige Nahrungsquelle und einen Zufluchtsort für Insekten dar. Von diesem Nahrungsangebot profitieren auch Vögel, Igel, Fledermäuse und andere Tiere, die sich von Insekten ernähren.



Die lang andauernde Blüte der Silphie bereichert das Landschaftsbild

Förderung

Im Rahmen der aktuellen Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU-Kommission sind Dauerkulturen im Bereich der bayerischen Agrar-, Umwelt- und Klimamaßnahmen, sowie im Rahmen der Öko-Regelungen (Eco-Schemes) förderfähig.

Öko-Regelungen/Eco-Schemes

Mit Inkrafttreten der GAP 2023 entfällt das bisherige „Greening“ inklusive der „Ökologischen Vorrangflächen“. Öko-Regelungen/Eco-Schemes (ÖR) sind einjährige freiwillige Maßnahmen, die gesondert gefördert werden.

- ÖR1 - Bereitstellung von Flächen zur Verbesserung der Biodiversität und Erhaltung von Lebensräumen (Ackerbrache/Blüh-/Altgrasstreifen und -flächen) - 1c: Blühstreifen in Dauerkulturen.
- ÖR2 - Anbau vielfältiger Kulturen mit mindestens fünf Hauptfruchtarten im Ackerbau einschließlich des Anbaus von Leguminosen mit einem Mindestanteil von 10 %.
- ÖR3 - Beibehaltung einer agroforstlichen Bewirtschaftungsweise auf Ackerland und Dauergrünland.
- ÖR4 - Extensivierung des gesamten Dauergrünlandes des Betriebes.
- ÖR5 - Ergebnisorientierte extensive Bewirtschaftung von einzelnen Dauergrünlandflächen mit Nachweis von mindestens vier regionalen Kennarten.
- ÖR6 - Bewirtschaftung von Acker- oder Dauerkulturflächen des Betriebes ohne Verwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln.
- ÖR7 - Landbewirtschaftung in Natura 2000-Gebieten entsprechend der Schutzziele [7]

Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM)

Neben dem Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz haben diese Maßnahmen vor allem den Erhalt und die Steigerung der biologischen Vielfalt, die Verbesserung der Bodenstruktur, die Verringerung der Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinträge – auch an sensiblen Gewässern – und den Tierschutz zum Ziel.

Die Förderung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) ist neben der Förderung des Ökolandbaus und von Tierschutzmaßnahmen der wesentliche Bestandteil der Nationalen Strategie der Bundesrepublik Deutschland zur Entwicklung ländlicher Räume.

Mit der Durchführung von AUKM verpflichten sich Landwirte freiwillig, für einen Zeitraum von in der Regel fünf Jahren, die in den Förderrichtlinien der Länder festgelegten Bewirtschaftungsauflagen im Rahmen der AUKM auf ihrem Betrieb einzuhalten. Die in diesen Förderrichtlinien festgeschriebenen Auflagen gehen über die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestanforderungen hinaus [7].

KULAP

Das bayerische Kulturlandschaftsprogramm – kurz KULAP – ist der Überbegriff für Umweltmaßnahmen, an denen landwirtschaftliche Betriebe freiwillig teilnehmen können. Das heißt, Landwirtinnen und Landwirte, die über die gesetzlichen Vorgaben hinaus besonders umweltschonend wirtschaften, bekommen Geld von der EU, vom Bund und vom Land Bayern. Beispielsweise, wenn sie weniger Tiere pro Hektar halten, Blühflächen anlegen oder ihre Wiesen weniger häufig mähen. Die folgenden Maßnahmen können im Zusammenhang mit Dauerkulturen umgesetzt werden:

- K32: Vielfältige Fruchtfolgen mit blühenden Kulturen
- K33: Vielfältige Fruchtfolgen zum Humus-

erhalt

- K34: Vielfältige Fruchtfolgen zur Verbesserung der Bodenstruktur
- K44: Verzicht auf Intensivkulturen
- K46: Konservierende Saatverfahren

In Tabelle 1 werden die für Dauerkulturen relevanten Öko-Regelungen und Maßnahmen aus dem AUKM-Programm dargestellt. Diese können bei der jährlichen Antragstellung über das integrierte Bayerische Landwirtschaftliche Informations-System (iBALIS) ggf. auch in Kombination beantragt werden (bitte dazu die Merkblätter des Landwirtschaftsministeriums beachten) [7].

Tabelle 1: Fördermaßnahmen von Dauerkulturen mit Angabe des Nutzungscodes (NC) über Öko-Regelungen (ÖR) und die bayerischen Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM)

Kultur	NC	ÖR	AUKM
Durchwachsene Silphie	802	1c, 2, 6, 7	K32, K44
Miscanthus	852	2, 6, 7	K33, K34, K44
Riesenweizengras	853	2, 6, 7	K33, K34, K44
Switchgras	181	6, 7	K44, K46
Sida	804	1c, 2, 6, 7	K32, K44

Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*)

Steckbrief	
Saatgut	Herkunftsmischung
Verwendung	Biogassubstrat
Saatzeit	Mitte April bis Mitte Juni
Pflanzung	Anfang Mai bis Mitte Juni
Erntezeit	Ende August bis Mitte September
Erträge	150 bis 200 dt TM/ha, auf flachgründigen Standorten weniger
Besonderheiten	ertragreiche Dauerkultur beachtliches Biomassebildungspotenzial Insektenweide zögerliche Jugendentwicklung im Ansaat-/Pflanzjahr nur Rosettenbildung, kein beerntungswürdiger Aufwuchs einfache Rekultivierung der Fläche
Förderung	ÖR 1c, 6 und 7 kombinierbar mit KULAP (NC 802) bzw. mit Maßnahmen nach K 32 (Basis GAP Öko-Regelung ÖR 2) und 44

Die aus den gemäßigten Breiten Nordamerikas stammende Pflanzengattung *Silphium* [36] erhielt im Jahr 1750 durch den berühmten Botaniker Carl von Linné ihren Namen. Sie zählt zur Familie der Korbblütler (Asteraceae) und umfasst mehr als 20 Arten, die überwiegend im Zierpflanzenbau Verwendung finden. Lediglich die Durchwachsene Silphie wurde für die landwirtschaftliche Nutzung entdeckt. In den 1980er Jahren wurde sie in der ehemaligen

DDR als Futterpflanze angebaut und zur Fütterung von Kleintieren, wie Schafen, Ziegen und Kaninchen genutzt. Nach der Wende geriet sie in Vergessenheit und wurde erst rund 20 Jahre später wiederentdeckt. Seitdem wird sie als mehrjährige Energiepflanze angebaut und ihre Eignung als Biogassubstrat untersucht. Auch am TFZ in Straubing werden seit 2011 Versuche mit Durchwachsener Silphie durchgeführt.



Der Name Durchwachsene Silphie ist auf die am Stängel verwachsenen Blattpaare zurückzuführen: Sie bilden eine Art Becher und erwecken den Anschein, als würde der Stängel durch die Blätter hindurch wachsen



Die lange Blühdauer, der hohe Pollenanteil und die gute Qualität des Honigs machen die Durchwachsene Silphie zu einer beliebten Bienentrachtpflanze: Ihre Blüten liefern einen Honigertrag von bis zu 150 kg/ha [61]

Die Durchwachsene Silphie kann bis zu 20 Jahre lang genutzt werden [9]. Im Pflanzjahr bildet sie lediglich eine runde Blattrosette mit einem Durchmesser von 40 bis 60 cm aus [10]. Erst ab dem zweiten Jahr wächst sie in die Höhe und zu einem erntewürdigen Bestand heran. Botanisch weist die Durchwachsene Silphie eine Reihe charakteristischer Merkmale auf:

- zwischen 3 und 10 Stängel je Pflanze, vierkantig, bis zu 3,5 m hoch [61],
- ungeteilt lanzettliche Blätter mit leichter Behaarung, kreuzgegenständig angeordnet, in der Mitte zu einer Art Becher verwachsen,
- mehrere einzelne, endständige Blütenstände (Körbchen), 6 bis 8 cm groß [55], leuchtend gelbe Kronblätter, Blüte von Juli bis September,
- flache, „geflügelte“ Samen mit geringem Tausendkorngewicht [36].



Entwicklungsverlauf der Durchwachsenen Silphie von oben links nach unten rechts: „geflügelte“ Samen; frisch gepflanzte Silphie; Blattrosette im Etablierungsjahr; abgefrorener Bestand im Winter; Wiederaustrieb im Frühjahr; nach den Wiederaustrieb im Mai; Blüte im Juli

Vorbereitung der Bestandsanlage

Aufgrund der langen Nutzungsdauer von bis zu 20 Jahren sollte die Fläche für die Anlage eines Silphie-Bestands sorgfältig ausgewählt werden. Von drainierten Flächen wird abgeraten, da die tiefwurzenden Pflanzen die Drainageröhre zuwachsen könnten. Eine gründliche Flächenvorbereitung ist Voraussetzung für den Erfolg, da die Etablierung über den Ertrag und

die Qualität in den folgenden Jahren entscheidet. Folgende Punkte müssen bei der Flächenauswahl und -vorbereitung beachtet werden:

- Die Durchwachsene Silphie ist winterfest [36].
- Der Anbau ist auch in ackerbaulichen Grenzlagen und auf leichteren Standorten möglich [9], verringert dort allerdings das

Ertragspotenzial, ist dafür aber möglicher Weise über dem Ertragspotential klassischer Kulturen.

- Für das Erreichen hoher Erträge sind humose Böden mit einer guten Wasserführung notwendig [9].
- Staunasse [9] und ausgesprochen trockene Standorte sind nicht geeignet; auf flachgründigen Standorten kann sie ihre Vorteile als Dauerkultur mit tiefreichendem Wurzelwerk nicht ausspielen.
- Die Durchwachsene Silphie stellt keine besonderen Ansprüche an die Vorfrucht, allerdings sollten aufgrund der Gefahr des Sclerotinia-Befalls Sonnenblumen, Raps

und Buschbohnen vermieden werden [61]. Der Anbau einer unkrautunterdrückenden Vorfrucht ist ratsam.

- Wurzelunkräuter sollten im Vorfeld bekämpft werden [9].
- Der Anbau auf Brach-, Splitter- oder Restflächen ist möglich [61].
- Auf Brachflächen sollte im Vorfeld eine eventuell vorhandene Altverunkrautung entfernt werden [61].
- Insgesamt sollte ein feinkrümeliges Saatbett vorbereitet und eine feuchtigkeitsbewahrende Bodenbearbeitung durchgeführt werden.

Ansaat

Die Etablierung der Durchwachsenen Silphie erfolgt heute üblicherweise durch Aussaat und hat die Pflanzung abgelöst. Als Kalt- bzw. Wechselkeimer wird die Keimung der Samen erst nach einer längeren Phase mit wechselnden und gefrierenden Temperaturen ausgelöst. Eine Aussaat ist deshalb nur nach einer entsprechenden Vorbehandlung des Saatguts sinnvoll, dieses ist paxisverfügbar [36]. Die triebsschwachen Silphiesamen benötigen zum Quellen und Keimen sehr viel Wasser, sodass diese im Boden gut angedrückt werden müssen und mit einer lockeren, feinkrümeligen Erdschicht von ca. 1 cm überdeckt werden sollen. Dementsprechend ist bei der Saatbettvorbereitung auf eine sehr flache Bodenbearbeitung zu achten. Dabei ist wichtig, dass der Boden gut abgetrocknet ist, da dieser sonst Klumpen bildet, was das Auflaufen der Saat bedeutend verschlechtert. Das Saatbett sollte nach der Vorbereitung einen ausreichend festen Grund,

der den Aufstieg von kapillarem Wasser ermöglicht, sowie eine feine an die Ablagetiefe angepasste Bodenschicht besitzen. Die Ablagetiefe des Saatguts ist je nach Standort zu wählen. Hat man es mit einem trockenen Standort zu tun, empfiehlt es sich den Samen bis zu 2 cm tief abzulegen, bei feuchten Standorten, die zu Verschlammung neigen, flacher als 1 cm. Nach Versuchen am TFZ eignen sich sowohl Drill- als auch Einzelkornsägeräte. Am effektivsten haben sich Sägeräte mit einer in der Saattrille nachlaufenden Rolle mit einer Breite von bis zu 2 cm erwiesen, da diese das Saatgut optimal mit Bodenschluss andrückt. Gute Ergebnisse erbringen auch Andruck- und Packerrollen, welche den Säscharen vorauslaufen. Es ist darauf zu achten, dass die Zustricher und Saattriegel so eingestellt sind, dass das Saatgut nicht zu tief verschüttet wird. Meistens ist der nach der Schar in die Saattrille zurückfallende Boden für die Saatgutabdeckung ausreichend.

Neben der Reinsaat ist auch eine Ansaat als Untersaat unter Silomais üblich, um so auch im Etablierungsjahr einen Ertrag zu erzielen. Die Maisbestandsdichte wird dabei auf fünf bis sechs Pflanzen pro Quadratmeter reduziert, um den Silphiepflanzen genügend Licht zur Verfügung zu stellen. Da die Aussaat in einem Arbeitsgang nur von darauf spezialisierten Dienstleistern durchgeführt werden kann, empfiehlt es sich, bei eigener Aussaat zuerst die Deckfrucht einzusäen. Sonst wird bereits ausgebrachtes Silphiesaatgut in den Fahrspuren zu tief in den Boden gedrückt, was einen schlechteren Feldaufgang zur Folge hat.

Um das Risiko von Ausfällen und Bestands-

lücken zu minimieren, ist auch die Anlage des Bestands durch das Pflanzen von Setzlingen möglich. Allerdings ist die Pflanzung mit einem größeren Aufwand (Pflanzung erfordert in der Regel Bewässerung) und höheren Kosten verbunden. Gleichzeitig gewinnen die Pflanzen aber einen Vorsprung vor konkurrierendem Unkraut, das vor allem während der langsamen Jugendentwicklung der Pflanzen Probleme bereiten kann. In einem Praxisprojekt in Oberfranken waren die Erträge nach Pflanzung jedoch nicht besser als von angesäten Flächen und auch am Straubinger Standort erbrachte eine gesäte Fläche genauso hohe Erträge wie eine gepflanzte (Daten nicht veröffentlicht).

Tabelle 2: Hinweise für die Pflanzung und Saat der Durchwachsenen Silphie

Saat

Saattermin	Mitte April bis spätestens Mitte Juni
Saattechnik	Drillmaschine oder Einzelkornsägerät
Saatstärke	2,3 bis 3 kg/ha, 15 bis 25 kf Körner/m ²
Reihenabstand	37,5 bis 75 cm, bis max. 50 cm empfohlen
Saattiefe	1 cm, bei Trockenheit maximal 2 cm möglich

Untersaat unter Mais

Saattermin	Mitte April bis spätestens Mitte Juni
Saattechnik Silphie	Drillmaschine oder Einzelkornsägerät
Saatstärke Silphie	2,3 bis 3 kg/ha, 15 bis 25 kf Körner/m ²
Reihenabstand Silphie	75 cm (alternierend mit Mais, gemeinsam 37,5 cm)
Saattiefe Silphie	0,5 bis max. 2,0 cm, exakte Tiefenablage wichtig
Saattechnik Mais	Einzelkornsaat
Saatstärke Mais	5 bis 6 Pflanzen/m ²
Reihenabstand Mais	75 cm (alternierend mit Silphie; gemeinsam 37,5 cm)
Saattiefe Mais	4 bis 7 cm (je nach Boden)

Pflanzung

Pflanztermin	Anfang Mai bis Mitte Juni
Pflanztechnik	per Hand oder mittels Pflanzmaschine aus dem Gemüsebau
Pflanzdichte	4 Pflanzen/m ²
Reihenabstand	37,5 bis 75 cm (oder angepasst an mechanische Unkrautbekämpfung)

Vor- und Nachteile Untersaatverfahren

Bei einer Reinsaat kann erst im zweiten Standjahr geerntet werden, im ersten Jahr bildet die Silphie nur eine bodenständige Rosette aus, aus welcher die Pflanze dann ab dem zweiten Anbaujahr in das Massewachstum geht. Um auch im Etablierungsjahr einen Ertrag zu ermöglichen, kann die Silphie unter einer Deckfrucht etabliert werden. In der Praxis ist die Etablierung unter Silomais Standard, andere Deckfrüchte wie Sorghum sind aber auch möglich. Bei einer Silphie-Untersaat unter Mais liegt der Maisertrag 50 bis 80 % unter dem einer Maisreinsaat, da die Maispflanzenzahl deutlich verringert werden muss. Die Fläche ist dann als Mais codiert und sämtliche Pflanzenschutzmittel, die für den Mais zugelassen sind, dürfen eingesetzt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Silphie nicht alle dieser Mittel verträgt. Auch die Düngung richtet sich im Un-

tersaatverfahren nach der Deckfrucht. Mais unterstützt die Unkrautunterdrückung nicht unerheblich, jedoch sind die Einsatzmöglichkeiten von Hackgeräten dadurch zeitlich eingeengt. Zudem geht die Silphie etwas schwächer ins zweite Jahr und durch die größeren Reihenabstände von dann 75 cm erfolgt der Reihenschluss auch im voll etablierten Silphiebestand später. Dadurch ist häufig noch in den Folgejahren eine Unkrautbekämpfung erforderlich. Oft etablieren sich durch den verzögerten Reihenschluss Schadgräser. Gemäß Versuchen am TFZ liegen die Erträge im zweiten Jahr noch unter denen einer Silphie-Reinsaat und gleichen sich erst nach drei bis vier Jahren Standdauer an.

In Gebieten mit Sommertrockenheit sollte eine Silphie-Reinsaat erfolgen, damit sich die Pflanzen ohne Konkurrenz um Wasser durch den Mais etablieren können.



Silphieaussaat in Untersaat unter Mais



Junge Silphiepflanzen in Untersaat unter Mais

Pflanzenschutz



Silphiebestand mit hoher Verunkrautung im Etablierungsjahr

Die Jugendentwicklung der Durchwachsenen Silphie verläuft zögerlich und ihre Konkurrenzkraft gegenüber Beikräutern ist dementsprechend gering. Vor allem in den ersten acht bis zwölf Wochen nach der Aussaat bzw. Pflanzung sind Unkrautbekämpfungsmaßnahmen deshalb unbedingt erforderlich [9]. Ist der Bestand geschlossen, kann auf weitere Maßnahmen verzichtet werden. Erfahrungsgemäß erreicht die Silphie den Bestandesschluss im Herbst des Pflanzjahres, bei Untersaat eventuell erst im zweiten Jahr. Danach hat die Kultur dann in aller Regel eine gute Konkurrenzkraft gegenüber standortspezifischer Verunkrautung und bildet dichte Bestände aus.

Mechanisch

Wird die Silphie mit einem Reihenabstand von mehr als 25 cm angebaut, kann die Unkrautbekämpfung sehr gut mechanisch durchgeführt werden. Geeignet sind zum Beispiel Hacke, Rollkuli oder Reihenfräse. Letztere ist insbesondere bei sehr dichter Verunkrautung, vielen Unkraut-Altpflanzen, kräftiger Maisreststoppel

sowie bei problematischer Verunkrautung wie Disteln deutlich im Vorteil. In laufenden Versuchen am TFZ hat sich herausgestellt, dass mit einer Reihenfräse auch Beigräser gut bekämpft werden können.

Zur Unterstützung einer raschen Jugendentwicklung sollte die Unkrautbekämpfung bereits zu einem frühen Zeitpunkt erfolgen. Zusätzlich sollte auch noch ein später Termin als Abschlussmaßnahme eingeplant werden, um das Unterdrücken des Unkrauts mit Reihenschluss bestmöglich zu gewährleisten. In laufenden Versuchen am TFZ konnten Reihenfräsen, je nach Fräse und Schlepper, bis zu einer Bestandeshöhe von 70 bis 100 cm eingesetzt werden.

Bei sehr starker Verunkrautung ist als letztes Mittel eine Notbeerntung möglich. Diese sollte spätestens zum Ende der Blühphase des Unkrauts durchgeführt werden. Um möglichst alle Unkrautsamen von der Fläche zu entfernen, sollte stets der gesamte Bestand abgeerntet und unbedingt auch abgefahren werden.

Chemisch

Chemische Pflanzenschutzmaßnahmen zur Unkrautkontrolle sind in Silphie eingeschränkt möglich. Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die von Silphie vertragenen Mittel und Wirkstoffe. Die Informationen beziehen sich auf den Stand des Drucks. Vor Anwendung der chemischen Pflanzenschutzmittel muss immer in der Online-Datenbank des BVL (<https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>) nach dem aktuellen Stand der Zulassung recherchiert werden. Weitergehende Informationen zu Abverkaufs- und Aufbrauchfristen sind auf der Homepage

des Pflanzenschutz-Informationssystems unter der URL <https://www.pflanzenschutz-information.de/> zu finden. Ist keine Zulassung vorhanden, muss eine Einzelfallgenehmigung nach § 22 Abs. 2 PflSchG eingeholt werden. Diese ist

beim zuständigen Pflanzenschutzdienst zu beantragen. Wird Silphie als Maßnahme ÖR 6 gemeldet, ist ein Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln in diesem Jahr nicht erlaubt.

Tabelle 3: Übersicht zugelassener und verträglicher Wirkstoffe für den Einsatz in der Durchwachsenen Silphie (Stand März 2024)

Wirkstoff	Schadorganismus	Handelsname	Zulassungsende; Aufwandsmenge
Pendimethalin	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Stomp Aqua, Stomp Raps	30.06.2024; bis 3,5 U/ha in 150 bis 400 U/ha Wasser; aufbrauchen bis 30.12.2025
Dimethenamid-P	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Spectrum	30.04.2025; bis 1,2 U/ha in 150 bis 400 U/ha Wasser; aufbrauchen bis 30.10.2026
Mit Einzelfallgenehmigung nach § 22 Abs. 2 einsetzbare, kulturverträgliche Pflanzenschutzmittel			
Pendimethalin	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	InnoProtect Pendi 400 SC, ACTIVUS SC	31.12.2024; aufbrauchen bis 30.06.2026
Pendimethalin	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	SHARPEN 33 EC	31.05.2025; aufbrauchen bis 30.11.2026
Pendimethalin mit Dimethenamid-P (2:1)	Einjährige einkeimblättrige Unkräuter, Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Spectrum Plus	31.12.2027
Fluazifop-P	Einkeimblättrige Unkräuter	Fusilade Max u. a. wie Flusha, Phantom, ...	31.12.2024; aufbrauchen bis 30.06.2026
Clethodim	Einjährige einkeimblättrige Ungräser	Select 240 EC	31.12.24; bis 1,0 U/ha; Wasser: 200 bis 400 U/ha Wasser; aufbrauchen bis 30.06.2026

Tabelle 3 (Fortsetzung): Übersicht zugelassener und verträglicher Wirkstoffe für den Einsatz in der Durchwachsenen Silphie (Stand März 2024)

Im Ansaatjahr für die Deckfrucht Mais zugelassene Herbizide ohne Schädigungsrisiko für die Durchwachsene Silphie			
Wirkstoff	Schadorganismus	Handelsname	Zulassungsende; Aufwandmenge
Pendimethalin	Einjährige einkeimblättrige Unkräuter, Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Stomp Aqua, Stomp Raps	30.06.2024; bis 4,4 l/ha in 300 bis 400 l/ha Wasser; aufbrauchen bis 30.12.2025
Dimethenamid-P	Schadhirsens, Amarant-Arten, Kamille-Arten	Spectrum	30.04.2025; bis 1,4 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser; aufbrauchen bis 30.10.2026
Pendimethalin mit Dimethenamid-P (2:1)	Einjährige einkeimblättrige Unkräuter, Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Spectrum Plus	31.12.2027; bis 4 l/ha in 300 bis 400 l/ha Wasser
Pyridat	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Onyx	31.12.2031; bis 1,5 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
Cycloxydim	Einjährige einkeimblättrige Unkräuter	Focus Ultra	31.12.2025; Möglich nur bei resistenten Duo-Maissorten! Bis 2,0 l/ha in 150 bis 300 l/ha Wasser

Am TFZ wurden weitere Herbizide, die unterschiedlich gut vertragen wurden, getestet. Die Biomassedepressionen erreichten im Maxi-

- Metazachlor
- Pyridat
- Bifenox
- Phenmedipham und Ethofumesat
- Metamitron
- Ethofumesat

Die oben aufgeführten Wirkstoffe können auf Grund der Biomassedepressionen und begrenzter Zulassungsfrist nicht uneingeschränkt empfohlen werden. Auch zu den Mischbarkeiten und den daraus resultierenden Wechselwirkungen gibt es keine Erkenntnisse. In den Versuchen zeigte sich Pyridat schwach gegen Kamille und Knöterich. Ethofumesat wirkt hauptsächlich gegen Klettenlabkraut und

mum 5 % bis 25 %. Bei den Wirkstoffen, die mit Einzelfallgenehmigung eingesetzt werden können, handelte es sich im Versuch um:

- Depression bis zu 25 %
- Depression bis zu 20 %
- Depression bis zu 20 %
- Depression bis zu 10 %
- Depression bis zu 10 %
- Depression bis zu 5 %

Vogelmiere. Der Wirkstoff Phenmedipham erwies sich unwirksam gegen Kamille und sehr schwach gegen Knöterich. Metazachlor zeigte eine schwache Wirkung gegen Gänsefuß und Knöterich und kann bei Starkregen mit Einspülung in den Boden zu einem Totalausfall in der Silphie führen. Der Bericht zu diesen Versuchen ist noch nicht veröffentlicht.

Schadorganismen

Die Durchwachsene Silphie zeigt sich anfällig gegenüber diversen Bakterien- und Pilzkrankheiten. Am bedeutendsten ist dabei die Weißstängeligkeit, *Sclerotinia sclerotiorum*. Während Bakterienkrankheiten wie beispielsweise *Pseudomonas* keine nennenswerten Auswir-

kungen auf den Ertrag haben, sollte der Bestand bei einem stärkeren Befall mit *Sclerotinia* umgehend geerntet werden, um die Ausbildung von Dauerkörpern (Sklerotien) des Pilzes zu vermeiden [9].

Düngung

Für Silphie ist aktuell eine bayerische Ausnahmeregelung gültig, die eine Stickstoffdüngung im Etablierungsjahr bei Reinsaat ermöglicht, obwohl im ersten Jahr keine Ernte erfolgt. Der Bedarfswert beträgt in diesem Fall 50 kg N/ha (abzüglich N_{\min}). Wird die Silphie als Untersaat unter Deckfrucht Silomais (oder einer anderen Kultur) gesät, richtet sich der Düngebedarf im Etablierungsjahr nach der zu beerntenden Deckfrucht.

In den Folgejahren richtet sich die Düngung nach dem Nährstoffentzug, da Durchwachsene Silphie als mehrjähriger Feldfutterbau eingestuft ist. Es gelten die entsprechenden Sperrfristen und nach der Ernte ist eine Herbstdüngung bis zum 31.10. (Rote Gebiete bis 30.09.) erlaubt. Diese muss vollständig auf den Düngebedarf des Folgejahrs angerechnet werden. In bisherigen Versuchen des TFZ wirkte sich die Herbstdüngung leicht negativ auf den Ertrag aus. Die restlichen Makronährstoffe sollten entsprechend der Abfuhr ausgeglichen werden, wobei auch bei Gärrestrückführung eine zusätzliche mineralische Düngung erforderlich sein kann. Für einen Ausgleich der hohen Ca-Abfuhr muss auf eine regelmäßige Kalkung der Fläche geachtet werden.

Silphie verfügt über ein ausgeprägtes Nähr-

stoffrückhaltevermögen. Gegenüber Silomais weist sie außer bei Stickstoff einen gleichwertigen oder höheren Nährstoffentzug auf. Eine deutlich höhere Abfuhr liegt vor allem bei den basischen Nährelementen K, Ca und Mg vor:

Tabelle 4: Nährstoffentzug von Durchwachsener Silphie

	Nährstoffentzug in kg/dt TM
N (Stickstoff)	1,0
P ₂ O ₅ (Phosphat)	0,48
K ₂ O (Kali)	2,283
MgO (Magnesiumoxid)	0,64 [2]
CaO (Calciumoxid)	2,7 [72]

Die Stickstoffdüngung kann mineralisch oder organisch verabreicht werden. Eine organische Düngung mit Gärresten verwertet die Silphie gut, allerdings sollte die Düngung zu Vegetationsbeginn erfolgen, um Beschädigungen an den Schosstrieben gering zu halten. Eine Aufteilung der Düngung ist bei mittleren bis schweren Standorten nicht erforderlich und wenn, dann nur auf eher leichten Standorten sinnvoll. Um deutliche Wachstumsrückstände der Triebe in den Fahrspuren zu vermeiden, sollte bei geteilter Düngung die 2. Gabe spä-

testens Anfang Mai vor dem Schossen erfolgen. Als Rosette verträgt die Silphie Überfahrten gut ohne bleibende Schäden. Eine Einarbeitung organischer Dünger ist nur begrenzt möglich, wenn nach der Ausbringung die mechanische Unkrautbekämpfung mit Hacke oder Fräse er-

folgt. Erste Ergebnisse zu organischer Düngung im Schlitzverfahren weisen darauf hin, dass dieses Ausbringverfahren für Silphiebestände geeignet ist und zu keinen nennenswerten Schäden an den Pflanzen führt. Hier besteht allerdings noch weiterer Forschungsbedarf.

Ernte

Im Pflanzjahr bildet die Durchwachsene Silphie nur eine Blattrosette, eine Ernte bleibt somit aus. Erst ab dem zweiten Jahr liefert sie einen erntewürdigen Aufwuchs. Die Ernte erfolgt je nach Witterung und Standort in der Zeit von Ende August bis Mitte September. Die Trockensubstanzgehalte liegen zu diesem Zeitpunkt meist zwischen 25 % und 27 % [61], wobei bereits bei 25 % die Beerntung gut möglich ist und sich bei der Silierung nur wenig Sickersaft bildet [10]. Am besten eignet sich zur Ernte ein Maishäcksler mit Direct-Disc-Schneidwerk mit seitlichen Trennmessern und einem Rollniederhalter. Nach der Ernte wird das Erntegut einsiliert. Kleinflächen können problemlos zusammen mit Silomais geerntet und einsiliert werden.



Ernte der Durchwachsenen Silphie mit einem Parzellenhäcksler mit Wiegeeinrichtung, im Vordergrund üppig entwickelte Silphie-Ansaat im Reinbestand

Erträge

Versuchsanlage

Der Anbau der Durchwachsenen Silphie zur Biogasnutzung wird am TFZ seit 2011 untersucht. An den zwei Standorten Straubing und Aholting wurden dazu Parzellenversuche angelegt. Der Standort Straubing zeichnet sich durch einen sehr guten Boden (Ackerzahl: 73 bis 75), mittlere Temperaturen (langjähriges Mittel: 8,6°C)

und ausreichend Niederschläge (langjährige Summe: 757 mm) aus. In Aholting können dieselben Temperatur- und Niederschlagswerte zugrunde gelegt werden, jedoch haben die sandigen Böden nur eine geringe Wasserspeicherkapazität (Ackerzahl 45).

Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte verschiedener Silphieherkünfte an zwei verschiedenen bayerischen Standorten in den Jahren 2012 bis 2020

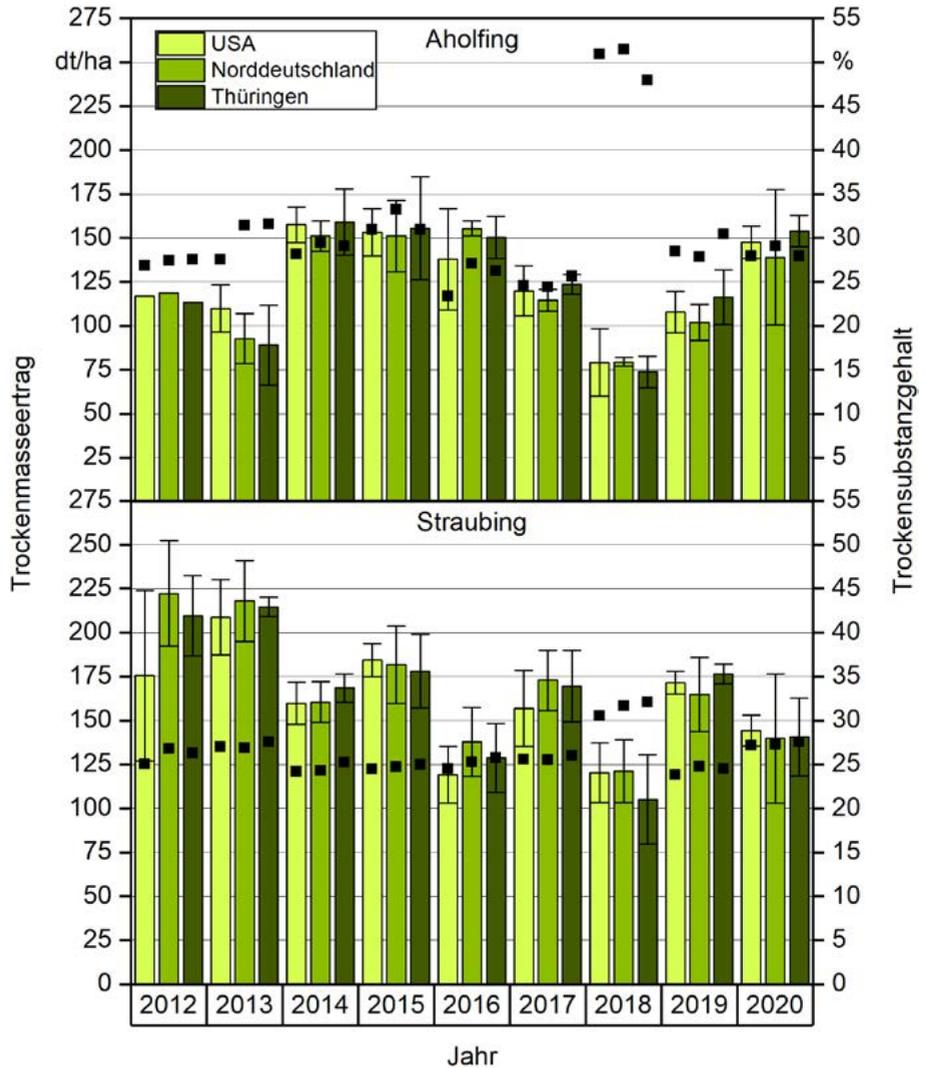
Versuchsdurchführung

Die beiden Standorte wurden mit einer Pflanzstärke von 4 Pflanzen/m² angelegt. Es kamen Herkünfte aus Thüringen, den USA und Norddeutschland zum Einsatz. Im ersten Jahr erhielten die Pflanzen eine Startgabe von 60 kg N/ha. In den Folgejahren wurden die Bestände mit 80 bis 160 kg N/ha in Form von Kalkammonsalpeter versorgt. Die Unkrautkontrolle fand rein mechanisch statt. Ab dem zweiten Standjahr wurden die Bestände mit einem Parzellenhäcksler beerntet und der Ertrag in einem Probenehmer verwogen. Der Erntetermin lag zwischen Mitte August bis Ende September.

Ergebnisse

Die durchschnittlichen Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte an den zwei Versuchsstandorten sind im Diagramm (oben) dargestellt. Die Herkünfte haben kaum Einfluss auf die Ertragshöhe, während sich die Jahre und der Standort deutlich auswirkten. Das Biomassepotenzial der Durchwachsenen Silphie ist beachtlich und auf dem guten Gäu-Standort Straubing wurden in den ersten beiden Jahren

Erträge über 200 dt TM/ha erreicht. Auf dem kiesig-sandigen Standort Aholting brauchte die Silphie aufgrund des geringen Wasserspeichervermögens und Sommertrockenheit länger, bis sie voll etabliert war. Die niedrigen Erträge in Aholting im eher feuchten Jahr 2013 sind auf einen Hagelschaden zurückzuführen. Das sehr trockene Jahr 2018 wirkte sich in Aholting stärker aus als in Straubing und es traten starke



Trockenschäden auf (vgl. Trockensubstanzgehalte des Diagramms und Bild). Insgesamt liegt das Ertragsniveau der Silphie in Straubing deutlich höher als in Aholting. Laut Literatur liegen die Erträge zwischen 150 und 190 dt TM/ha [70] und in bayernweiten Anbauversuchen (vgl. Kap. 8) wurden im Mittel 149 dt TM/ha geerntet, auf besseren Standorten 176 dt TM/ha [33].

Die Silphie gilt als flexible Pflanze, die sich an viele verschiedene Bedingungen anpassen kann [29]. Hohe Temperaturen im Sommer kann sie gut überstehen, solange genügend Wasser zur Verfügung steht [71]. Mit Mais vergleichbare Erträge kann die Silphie nur auf Standorten mit guter Wasserversorgung realisieren [66].



Trockenschäden in der Silphie

Methanausbeute

Bei der Verwendung als Biogassubstrat spielt neben dem Ertrag auch die Qualität des Erntematerials, also vorrangig die Methanausbeute, eine Rolle. Im Zuge verschiedener Versuche am TFZ wurden deshalb Batchtests an 90 Tage siliertem Material durchgeführt, um die Methanausbeute zu bestimmen. Die Untersuchungen haben eine Methanausbeute im Bereich von 216 bis 260 lN/kg oTM ergeben und liegen damit sowohl unter als auch über den Literaturangaben mit Werten von 203 lN/kg oTS [38] bzw. 289 lN/kg oTS [65]. In einem laufendem bayernweiten

Versuch des TFZ wurden zudem Methanausbeuten an sechs Standorten an direkt nach der Ernte getrocknetem Material untersucht. Dabei wurden im Mittel 248 lN/kg oTM ermittelt, mit Werten von 222 bis 289 lN/kg oTM. Im Vergleich zu den Literaturangaben von getrocknetem Material von 265 bis 293 lN/kg oTS liegen die gemessenen Werte damit etwas niedriger [12] [13] [27] [46] [76]. Insgesamt liegen die Methanausbeuten damit deutlich unter dem für Mais gemittelten Wert von 355 lN/kg oTM [45].

Umbruch/Rekultivierung der Fläche

Die Silphie kann wirtschaftlich genutzt werden, bis es zu einer deutlichen Ertragsdepression kommt. Diese wird nach aktuellem Wissensstand nach 15 bis 20 Jahren erwartet. Da die Silphie keine unterirdischen Ausläufer oder Rhizome ausbildet, stellt die Rekultivierung der Fläche in der Regel keine Probleme dar. Silphie besitzt zwar eine große Triebkraft, diese lässt sich aber durch Zerkleinerung des Wurzelballens stark reduzieren. Zur Rekultivierung hat sich deshalb vor allem ein ca. 10 cm tiefes Auffräsen bewährt. Alternativ sind auch andere Bearbeitungsmaßnahmen geeignet, bei denen die Wurzelstöcke zerstört und nicht vergraben werden, wie bei Umbruch mit dem Pflug oder dem Einsatz einer Scheibenegge. Als Nach-

früchte nach dem Umbruch sind vor allem Getreide oder Mais gut geeignet, um einen eventuell auftretenden Durchwuchs chemisch bekämpfen zu können. Besonders Mais überwächst die Silphie gut, nachdem diese durch Herbizide zurückgedrängt wurde. Die chemische Durchwuchsbekämpfung in der Folgekultur sollte am besten mit einem Clopyralidhaltigen Herbizid (z. B. Lontrel, Ariane C) erfolgen. In Mais zeigte außerdem Arrat eine gute Wirkung gegen Silphie.



Umbruch der Silphie mit einer Fräse

Miscanthus (*Miscanthus spp.*)

Steckbrief	
Saatgut	<i>Miscanthus x giganteus</i> , Rhizom oder Jungpflanzen
Verwendung	<ul style="list-style-type: none">• Brennstoff zur thermischen Nutzung• Mulchmaterial• Tiereinstreu• Stofflich• (Biogassubstrat)
Pflanzung:	Anfang Mai
Erntezeit	Februar bis Mai
Erträge	150 bis 340 dt TM/ha
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none">• anspruchslose Dauerkultur• liebt lockeren, tiefgründigen Boden mit guter Wasserversorgung• zögerliche Jugendentwicklung• beachtliches Biomassebildungspotenzial• vergleichsweise hoher Aufwand bei der Rekultivierung der Fläche
Förderung	<ul style="list-style-type: none">• ÖR 6 und 7• kombinierbar mit KULAP (NC 852) bzw. mit Maßnahmen nach K 33, 34 (Basis GAP Öko-Regelung ÖR 2) und 44

Miscanthus oder Chinaschilf ist eine ausdauernde Pflanzengattung aus der Familie der Süßgräser (*Poaceae*), zu der rund 20 Arten zählen. Ursprünglich stammt die Pflanze aus China, Japan und Korea [28]. Die für die landwirtschaftliche Nutzung wichtigste Varietät, *Miscanthus x giganteus*, ist wahrscheinlich aus einer zufälligen und natürlichen Kreuzung der Arten *Miscanthus sacchariflorus* und *Miscanthus sinensis* in Japan entstanden [28]. Die Hybridart zeichnet sich durch eine sehr hohe Biomasse-

bildung und einen schnellen Wuchs aus. Miscanthus kann vielfältig eingesetzt werden: als Brennstoff, Mulchmaterial, Tiereinstreu und Zusatzstoff für Baumaterial. Auch als Biogassubstrat ist er geeignet, solange er nicht vor der Nährstoffrückverlagerung im Herbst geerntet wird. Eine zu frühe Ernte führt zur Ertragsdepression, während sich eine Ernte ab Oktober als nicht ertragsmindernd herausgestellt hat [43].



Miscanthus im Sommer und Frühjahr

Die ausdauernde Kultur kann bis zu 20 Jahre lang genutzt werden [28], nach TFZ-Erfahrungen auch deutlich darüber hinaus. Den ersten erntewürdigen Aufwuchs bildet Miscanthus jedoch erst im dritten Jahr. Im Anlagejahr steckt die Pflanze ihre Kraft in die Ausbildung des Wurzelsystems. Botanische Merkmale des Chinaschilfs sind:

- C4-Pflanze,
- unterirdisch liegendes Rhizom, das als Speicher- und Überwinterungsorgan dient,
- lockere bis dichte Horste, die aus dem Rhizom wachsen,
- schilfartiger Wuchs,
- standfeste, unverzweigte Halme, bis zu 2 cm dick [11], bis zu 4 m hoch,
- aufrechtstehende Blätter, wechselständig angeordnet [28],
- leicht behaarte Rispe, 10 cm bis 40 cm lang [28],
- speziell für *Miscanthus x giganteus*: steril, d. h. keine Samenbildung, keine Florenverfälschung durch Auswanderung, Vermehrung durch Rhizome oder mittels Meristemkultur [73].



Entwicklungsverlauf von Miscanthus: Pflanzen im Sommer und Winter des Anlagejahrs; Wiederaustrieb im Frühjahr; Bestand im Sommer; erntereifer Bestand nach dem Winter (von links oben nach rechts unten)



Vorbereitung der Bestandsanlage

Miscanthus gilt als anspruchslose Kultur. Erwartet man jedoch hohe Erträge, sollte der Standort sorgfältig ausgewählt werden. Folgende Anforderungen stellt Miscanthus [73]:

- lockerer, tiefgründiger Boden mit guter Wasserversorgung,
- jährliche Durchschnittstemperatur über 7°C,
- keine sehr trockenen Standorte,
- keine Staunässe,
- keine exponierten oder spätfrostgefährdeten Lagen,
- keine trockenen Standorte,
- keine Höhenlagen über 700 m oder schneereiche Lagen,
- keine Grünlandumbruchflächen (Lager- und Auswinterungsgefahr sowie Abster-

ben der Rhizomaugen durch Befall mit Drahtwürmern),

- kein Anbau in einem Maiswurzelbohrer-Befallsgebiet.

Des Weiteren sind beim Anbau zu beachten:

- Unkrautkontrolle bereits in der Vorfrucht (v. a. Wurzelunkräuter) und direkt vor der Anlage,
- Bodenbearbeitung wie beim Hackfruchtanbau [8],
- tiefgründige Herbstfurche mit mindestens 25 cm Tiefe [8],
- vor der Pflanzung im Frühjahr Bearbeitung des Pflanzbetts mit einer Fräse oder Grubber-Eggen-Kombination rund 8 bis 10 cm tief, um den Anschluss an das Bodenwasser für die Rhizome zu sichern [8].



In schneereichen Lagern besteht hohes Lagerrisiko mit folgenden Ernteschwernissen und Qualitätsverlust des Häckselguts

Pflanzung

Bei der Anlage eines Miscanthusbestands wird die Pflanzung von Rhizomen fast ausschließlich der Meristemkultur vorgezogen, da die Rhizome günstiger und weniger anfällig gegenüber Auswinterungsschäden sind [28]. Entscheidend für die Etablierung eines dichten Bestands ist eine rechtzeitige Pflanzung im Frühjahr. Bei einer zu späten Anlage steigt das Ausfallrisiko aufgrund von Sommertrockenheit [28].

Tabelle 5: Hinweise für die Pflanzung von Miscanthus

Pflanzung	
Pflanztermin	Anfang Mai, nach dem letzten Frost
Pflanztechnik	Pflanzmaschine aus dem Kartoffel- und Gemüsebau oder Forst
Pflanzdichte	je m ² 1 Rhizom mit mehreren Augen
Reihenabstand	1 m (oder an mechanische Unkrautbekämpfung angepasst)
Pflanzabstand	1 m
Pflanztiefe	10 cm



Miscanthus-Rhizom



Pflanzung von Miscanthus-Rhizomen zur Anlage eines Bestands

Pflanzenschutz

Die Jugendentwicklung von Miscanthus verläuft in unseren Breiten eher langsam, da die C4-Pflanze aufgrund ihrer Herkunft besser an wärmere Temperaturen angepasst ist. Verbunden mit dem weiten Reihenabstand tritt nicht selten eine Verunkrautung auf, welche die Pflanzen beeinträchtigt. Eine sorgfältige Unkrautbekämpfung ist deshalb essenziell und entscheidend für einen langfristigen Anbauerfolg. Sie sorgt dafür, dass die Pflanzen gut entwickelt in den ersten Winter gehen. Die Unkrautbekämpfung kann mechanisch oder chemisch erfolgen. Mechanisch wird bis zu einer Wuchshöhe von 50 cm der Striegel, ab 50 cm der Einsatz einer Reihenhacke empfohlen. Auch chemische Maßnahmen sind möglich. Tabelle 6 zeigt eine Übersicht, welche Wirkstoffe nach jetzigem Stand des Wissens von Miscanthus vertragen

werden. Sofern für ein Pflanzenschutzmittel keine Zulassung vorhanden ist, muss eine Einzelfallgenehmigung nach § 22 Abs. 2 PflSchG beantragt werden. Wird Miscanthus als Maßnahme ÖR 6 gemeldet, ist ein Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln in diesem Jahr nicht erlaubt.

Ab dem dritten Jahr ist der Bestand geschlossen bzw. der Boden von einer dicken Multschicht bedeckt, die das Auflaufen von Unkräutern verhindert und so weitere Pflanzenschutzmaßnahmen überflüssig macht. Untersuchungen zeigen, dass Miscanthus eine mögliche Wirtspflanze für den Westlichen Maiswurzelbohrer ist [4]. Um einen wirtschaftlichen Schaden zu vermeiden, wird vom Anbau in einem Befallsgebiet abgeraten. Ertraglich relevante Krankheiten sind nicht bekannt.

Tabelle 6: Übersicht zugelassener und verträglicher Pflanzenschutzmittel für den Einsatz in *Miscanthus* (Stand März 2024)

Wirkstoff	Schadorganismus	Handelsname	Zulassungsende/ Anmerkung
Dicamba	Amarant, Gänsefuß, Melde, Kreuzkraut, Nachtschatten, Windenknöterich, Winden	Mais-Banvel WG	31.12.2026; 0,5 kg/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
Dicamba mit Tritosulfuron	Amarant, Knöterich-Arten, Gänsefuß-Arten, Kamille, Klettenlabkraut, Kreuzkraut, Ausfallraps, Vogelmiere, Winden, Disteln	Arrat	30.11.2024; aufbrauchen bis 30.05.2026; 200 g/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser;
Dimethanamid-P	Hühnerhirse, Borstenhirse, Fingerhirse, Jährige Rispe, Kamille, Franzosenkraut, Taubnessel, Storchschnabel	Spectrum	30.04.2025; aufbrauchen bis 30.10.2026; 1,2 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
Fluroxypyr	Franzosenkraut, Klettenlabkraut, Nachtschatten, Knöterich-Arten, Ampfer, Winden	Tandus, Profi Fluroxypyr 200 EC	31.12.2025; bis 2,0 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
MCPA	Ackerkratzdistel, Ackersenf, Hederich, Melde, Wicke, Gänsefuß, Hirtentäschel	Dicopur M, Lotus MCPA, MCPA 500, Profi M Fluid, U 46 M-Fluid	31.10.2024; aufbrauchen bis 30.04.2026; 1,5 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
Thifensulfuron	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter (Amarant-Arten, Acker-Hundskamille, Holzzahn-Arten, Kamille-Arten, Vogel-Sternmiere)	Harmony SX, Lupus SX Mais	30.06.2024; aufbrauchen bis 30.12.2025; bis 15 g/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
Pendimethalin	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter, ausgenommen: Acker-Hundskamille, Kletten-Labkraut, Kamille-Arten, Gemeines Kreuzkraut, Franzosenkraut-Arten	Stomp Aqua, Stomp Raps	30.06.2024; aufbrauchen bis 30.12.2025; bis 3,5 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser

Düngung

In Bezug auf die Nährstoffverwertung ist *Miscanthus* sehr effizient und gilt hinsichtlich Düngung als Low-Input-Pflanze. Im Herbst verlagert er die Nährstoffe aus den Blättern und den Halmen in die unterirdischen Rhizome. Im Frühjahr kann er diese dann für den Wiederaustrieb nutzen. Gleichzeitig trägt der Blattfall im Herbst zur Nährstoffrückführung und zum Humusaufbau bei.

Wenn *Miscanthus* im Etablierungsjahr nicht geerntet wird, ist gemäß Düngeverordnung

2020 eine Stickstoffdüngung nicht erlaubt. Auch pflanzenbaulich empfiehlt es sich, auf die Stickstoffdüngung zu verzichten, da diese die Abreife verzögert und die Auswinterungsgefahr erhöht. Gleichzeitig fördert eine Düngung aufgrund des weiten Reihenabstandes und des geringen Zuwachses im ersten Jahr das Wachstum von Unkräutern [34].

In den Folgejahren richtet sich die Düngung nach dem Nährstoffentzug bei:

Tabelle 7: Nährstoffentzug von *Miscanthus*

	Nährstoffentzug in kg/dt TM
N (Stickstoff)	0,15 bzw. 0,19
P ₂ O ₅ (Phosphat)	0,12 bzw. 0,15
K ₂ O (Kali)	0,42 bzw. 0,53
MgO (Magnesiumoxid)	0,06 bzw. 0,08 [2]

Bei Grünschnitt liegt der N-Gehalt bei 0,215 % in der Trockenmasse.

Der Einsatz von organischen Düngern, wie Gülle oder Gärrest, ist prinzipiell möglich, jedoch verhindert der dichte Blättermulch häufig eine

bodennahe Ausbringung und die Einarbeitung in den Boden, wodurch gasförmige N-Verluste begünstigt werden.

Ernte

Miscanthus benötigt etwa zwei bis drei Jahre um sich zu etablieren, ein erntewürdiger Aufwuchs entsteht in dieser Zeit nicht. Der Bestand wird daher in den ersten beiden Jahren nur gemulcht, eine Ernte findet erst ab dem dritten Aufwuchsjahr statt. Miscanthus wird nach dem Winter zwischen Februar und Mai geerntet, wenn der Bestand abgetrocknet und das Erntegut ohne weitere Trocknung ab Feld lagerfähig ist. Der optimale TS-Gehalt liegt bei über 85 %. Zur Ernte eignen sich am besten Maishäcksler mit reihenunabhängigen Schneidwerken oder ein Scheibenmäher mit nachfolgender Ballenpresse. Da das Häckselgut nur eine geringe Schüttdichte von 110 bis 130 kg/m³ aufweist, ist für den Transport und die Lagerung ein relativ großes Volumen notwendig. Sofern Miscanthus als grüne Biomasse geerntet wird, ist ein spä-

ter Erntezeitpunkt entscheidend. Wird Miscanthus zu früh geerntet, kann er keine Nährstoffe in das Rhizom rückverlagern. Die Folge ist ein schlechter Wiederaustrieb der Pflanzen im darauffolgenden Frühjahr und eine langfristige Schwächung des Bestands. Eine Ernte ab Mitte Oktober führte aber in Versuchen von KIESEL [43] zu keinem Ertragsrückgang im Folgejahr. Anscheinend ist die Nährstoffrückverlagerung dann schon ausreichend abgeschlossen. Allerdings liegt der TS-Gehalt dann häufig schon über 40 %, weshalb die Einsilierung als Mischsilage mit einer anderen Kultur erfolgen sollte. Nachteilig ist auch, dass ein Schnitt im Herbst den Blattfall und damit den Humusaufbau und die Nährstoffrückführung in den Boden verhindert [24].



Ernte von Miscanthus nach dem Winter bei einem TS-Gehalt von über 85 % mit dem Feldhäcksler



Erträge

Versuchsanlage

Die Eignung von Miscanthus als biogener Brennstoff wird am TFZ bereits seit längerer Zeit untersucht. An den Standorten Freising, Puch und Güntersleben wurden Parzellenversuche angelegt, die eine langjährige Erhebung ermöglichen. Die Versuchsfelder in Freising (Landkreis Freising) und Puch (Landkreis Fürstfeldbruck) liegen beide in der Münchner Schotterebene. Sie zeichnen sich durch einen guten Boden (Ackerzahl: 70 bzw. 64), kühle Temperaturen (langjähriges Mittel: 7,5°C) und mittlere bis hohe Niederschläge (langjährige Summe: 788 mm bzw. 864 mm) aus. Beim Standort Güntersleben (Landkreis Würzburg) im Fränkischen Gäu handelt es sich um einen Trockenstandort (langjährige Niederschlags-

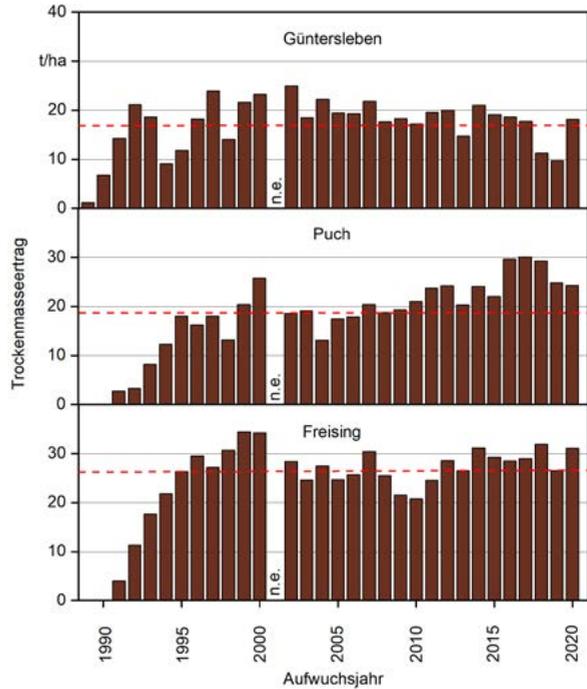
summe: 602 mm) mit hohen Temperaturen (langjähriges Mittel: 9,1°C) und einem guten Boden (Ackerzahl: 65). Die Miscanthuspflanzen wurden im Frühjahr 1991 mit einem Pflanzabstand von 0,9 m x 0,9 m gepflanzt. Dabei kam überwiegend die ertragreiche Varietät *Miscanthus x giganteus* zum Einsatz. Die Miscanthusbestände wurden ab dem zweiten Jahr jährlich mit einem reihenunabhängigen Parzellenhäcksler beerntet und der Ertrag in einem Probenehmer verwogen. Der Erntetermin war jeweils im Frühjahr. Um die Jahreseffekte leichter den Erträgen zuordnen zu können, werden die folgenden Ertragsdaten immer mit Bezug zum Aufwuchsjahr (und nicht Erntejahr) angegeben.



Ernte der Miscanthusbestände in Güntersleben mit einem reihenunabhängigen Parzellenhäcksler mit Probenehmer

Ergebnisse

Die Abbildung (rechts) zeigt den Trockenmasseertrag der Varietät *Miscanthus x giganteus* an den drei bayerischen Standorten im Zeitraum 1991 bis 2020 mit einer Düngung von 75 kg N/ha in Freising und Puch bzw. 100 kg N/ha in Güntersleben. Das Biomassebildungspotenzial von *Miscanthus* ist beachtlich. Zwar fällt der Ertrag in den ersten Jahren geringer aus, dafür liefert der *Miscanthus*bestand nach der Etablierungsphase kontinuierlich hohe Erträge. Vor allem auf dem guten Freisinger Standort stieg der Ertrag im Zeitraum 1991 bis 2000 auf bis zu 340 dt TM/ha an, im Mittel über die Jahre wurden 260 dt TM/ha erreicht. Auch in Puch wurden im selben Zeitraum Erträge von bis zu 260 dt TM/ha verzeichnet, mit einem Mittelwert von 180 dt TM/ha. Auf dem schwächeren Standort in Güntersleben unterliegen die Erträge generell größeren Schwankungen. Der Standort ist trockener als die beiden anderen, aber selbst hier sind die Erträge mit durchschnittlich 170 dt TM/ha immer noch zufriedenstellend. Eine Umpflanzung des Bestands im Februar 1994 erklärt den deutlichen Ertragsrückgang in den Jahren 1994 und 1995. In der Literatur wird für *Miscanthus* eine Nutzungsdauer von 20 Jahren angegeben. Die letzten Ernteergebnisse der mittlerweile 29 Jahre alten Bestände zeigen jedoch keinerlei Anzeichen von Ermüdungserscheinungen. Im Gegenteil, in Puch stieg der Ertrag im Vergleich zu den Vorjahren sogar wieder an, in Freising blieb er gleich. In Güntersleben zeigte sich der Einfluss der Trockenjahre 2018 und 2019, im Jahr 2020 wurden aber wieder 181 dt TM/ha erreicht. Die Literatur bestätigt das hohe Ertragspotenzial von *Miscanthus* auf unterschiedlichen



Trockenmasseerträge von *Miscanthus x giganteus* in den Aufwuchsjahren 1991 bis 2020 an drei Standorten in Bayern, rote gestrichelte Linie zeigt den Mittelwert je Standort

Standorten. HIMKEN et al. (1997) erzielten auf einem Standort nahe Duisburg nach drei Jahren Etablierung einen Ertrag von 150 bis 180 dt TM/ha [39]. In Untersuchungen auf unterschiedlichen Standorten in Europa von LEWANDOWSKI et al. (2016) wurden auf einem trockenen Mittelmeerstandort in Adana in der Türkei bis zu 150 dt TM/ha erreicht, in der Nähe von Stuttgart auf einem flachgründigen Boden bis zu 180 dt TM/ha. Die höchsten Erträge von bis zu 200 dt TM/ha wurden von diesen Autoren auf einem guten tonreichen Boden mit guter Wasserversorgung erzielt [49].

Brennstoffeigenschaften von Miscanthus

Der untere Heizwert von Miscanthus liegt zwischen 17,05 bis 18,91 MJ/kg TS [46] [50] und damit etwas unter dem von Nadelholz [28]. Der Aschegehalt ist hoch und bewegt sich zwischen 1,79 und 5,60 Gew. % [35] [28]. Die hohen Aschemengen führen zu höheren Aufwendungen bei der Verwertung bzw. Entsorgung und müssen zudem vom Ascheaustragesystem bewältigt werden können. Die Asche besteht vorwiegend aus Kalzium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), Phosphor (P) und Natrium (Na) und kann unter bestimmten Bedingungen als Dünger eingesetzt werden [35]. Ein bekanntes Problem bei

der thermischen Nutzung von Miscanthus ist die niedrige Ascheerweichungstemperatur von 900°C und weniger [49] [51] [35], was zu Schlackebildung und damit zu Ablagerungen bei der Verbrennung führen kann. Zudem bilden höhere Gehalte an Stickstoff, Kalium und Chlor im Brennstoff korrosive Eigenschaften aus und es bedarf korrosionsbeständiger Materialien im Feuerraum und auf den Wärmeübertragungsflächen. Die Verbrennung von Miscanthus in einem Kessel ist daher nur möglich, wenn dieser dafür geeignet und auch für diesen Brennstoff zugelassen ist.

Methanausbeute

Da mit dem richtig abgestimmten Erntetermin auch eine Nutzung von Miscanthus als Biogassubstrat möglich ist, wurden in Batchtest die Methanausbeuten von getrocknetem Material erhoben. Dabei wurden durchschnittlich 246 lN/kg oTS ermittelt, es wurden aber auch schon deutlich höhere substratspezifische Methanausbeuten von 325 lN/kg oTS gemessen [53]. Eine mechanische Aufbereitung kann dabei helfen, die Methanausbeute zu erhöhen [48].

Umbruch/Rekultivierung der Fläche

Im Laufe der Jahre erschließt das unterirdisch liegende Rhizom ein großes Areal. Gegen Ende der Nutzphase ist der Boden deshalb von einem dichten Wurzelnetz durchzogen. Um die Fläche zu rekultivieren, empfiehlt es sich, vor der einsetzenden Abreife im Juli/August passende Herbizide mit maximaler Aufwandmenge einzusetzen und den Bestand anschließend umzubrechen. Alternativ kann die Fläche auch durch mehrmaliges Mähen und Aufgrubbern der Rhizome vor dem Winter bzw. durch mehrmaliges Aufgrubbern der Rhizome während der Sommermonate rekultiviert werden. Ein Durchwuchs in der Folgekultur kann entweder mit Gräsermitteln oder durch den Anbau einer konkurrenzstarken Frucht mit hoher Schnitthäufigkeit bekämpft werden. Vor dem Umbruch des Bestands ist die Gewinnung von Pflanzgut möglich, da für *Miscanthus x giganteus* kein Sortenschutz besteht. Damit die Rhizome eine hohe Qualität besitzen und ein guter Feldaufgang gewährleistet wird, sollte der Bestand jedoch nicht älter als vier Jahre sein [28] [34].



Riesenweizengras im Sommer

Riesenweizengras (*Thinopyrum ponticum*)

Steckbrief

Saatgut	Green Star bzw. Alkar
Verwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Futterpflanze • Biogassubstrat • Stofflich
Saatzeit	März bis September
Erntezeit	zweimal jährlich: Juni und Ende September bis Mitte Oktober
Erträge	160 bis 200 dt TM/ha
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • anspruchslose Dauerkultur • trockentolerant und wärmeliebend • gute Methan-Hektar-Erträge • zögerliche Jugendentwicklung • Pflanzenschutz-Zulassungen unter „Langährige Quecke“
Förderung	<ul style="list-style-type: none"> • ÖR 6 und 7 • kombinierbar mit KULAP (NC 853) bzw. mit Maßnahmen nach K 33, 34 (Basis GAP Öko-Regelung ÖR 2) und 44

Das Riesenweizengras wird auch als Ungarisches Riesengras, Hohes Weizengras, Langährige Quecke oder Hirschgras bezeichnet und zählt neben rund 250 weiteren Arten zur Gattung der Quecken und zur Familie der Süßgräser (Poaceae). Ursprünglich ist es in Vorderasien und im Kaukasusgebiet beheimatet, wo es aufgrund seiner guten Salztoleranz vor allem auf Salzwiesen und an der Meeresküste wächst [69] [60]. Das Gras wurde im Jahr 1909 erstma-

lig in den westlichen U.S.A., Kanada und Australien für Futterzwecke angebaut und genutzt. Erst Jahre später wurde es in Europa bekannt und züchterisch bearbeitet. Die Hybridsorte Szarvasi 1 (sprich „Sorwoschi“) wurde in ganz Europa für den Energiepflanzenanbau verkauft und zählt noch heute zu den bekanntesten Sorten [68]. Auch am TFZ werden Versuche zum Anbau von Riesenweizengras als Energiepflanze für die energetische Nutzung durchgeführt.



Entwicklungsverlauf des Riesenweizengrases: kurz nach dem Auflaufen; im Sommer des zweiten Jahres; Rispen; Bestand kurz vor der Ernte; Bestand nach der Ernte (von links oben nach rechts unten)

Das ausdauernde Gras kann nach der Etablierungsphase mindestens fünf Jahre lang genutzt werden. Es besitzt folgende botanische Eigenschaften:

- C3-Pflanze mit „cold season“-Wachstumsrhythmus (d. h. es legt während der heißen Sommermonate eine Wachstumspause ein) [19],
- tiefreichendes Wurzelsystem,
- dichte Horste mit ca. 10 cm Durchmesser

[37],

- aufrechte und kahle Halme, bis zu 2 m hoch, dadurch gewisses Lagerrisiko,
- endständig, jähriger Blütenstand, 10 bis 30 cm lang [68],
- 1,5 bis 2,5 cm lange Ährchen mit fünf bis elf Blüten, vor der Blüte anliegend, später spreizend [68],
- bläulich-grüne Blätter mit kurzen Haaren, rau und steif [68]

Vorbereitung der Bestandsanlage

Bei der Flächenauswahl und Bodenbearbeitung sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Das Riesenweizengras stellt geringe Ansprüche an Boden und Klima. Es kann auf nahezu allen Standorten angebaut werden.
- Es ist eine gute Alternative für trockene Lagen, da es aufgrund der tiefen Bodendurchwurzelung und der Wachstumspause im Sommer mit Sommertrockenheit gut zurecht kommt [37].
- Auch auf Grenzstandorten oder schwer zugänglichen Flächen bietet sich der Anbau an, da nach der Etablierung nur ein geringer Pflegeaufwand notwendig ist.
- Das Gras mag sandig-lehmige Böden.
- Es besitzt eine hohe pH-Wert-Toleranz und wächst auch auf salzigen Böden [68].
- Ein Anbau nach Druschgetreide ist nicht zu empfehlen, da ein eventuell auftretender Durchwuchs nicht bekämpft werden kann.
- Die Nutzungsdauer beträgt fünf bis zehn Jahre [37], kann aber auch bis zu fünfzehn Jahren betragen [20]. Die nach und nach stattfindende Verungrasung beschränkt die Nutzungsdauer nach TFZ-Erfahrungen allerdings auf etwa fünf Jahre.
- Der Ackerstatus der Fläche geht bei entsprechender Codierung im Flächen- und Nutzungsnachweis („Riesenweizengras (Szarvasigras), Nutzungscode 853“) nicht verloren.
- Bei der Flächenvorbereitung spielt vor allem die Unkrautbekämpfung eine wichtige Rolle. Ungräser sollten bereits in der Vorfrucht ausreichend bekämpft werden.
- Für ein optimales Saatbett sollte der Boden feinkrümelig vorbereitet werden. Am besten eignen sich eine tiefe Pflugfurche und der Einsatz einer Kreiselegge zur Saat.
- Bei tief gelockerten Böden ist eine Rückverfestigung des Bodens notwendig, um eine exakte, flache Saatgutablage zu ermöglichen. Auch nach der Saat ist das Walzen des Bodens zur Festigung des Saatbetts von Vorteil.

Saat

Der Saatzeitpunkt des Riesenweizengrases erstreckt sich über einen sehr langen Zeitraum und ist von März bis September möglich. Eine Aussaat im März als Untersaat kann den Ertragsausfall im ersten Jahr kompensieren. Bei einer Aussaat ab Juni nach einer Vorfrucht kann Sommertrockenheit und der dadurch bedingt lückige Feldaufgang ein Problem darstellen.

Die Etablierung als Untersaat ist im Sommer ungünstig, da dies die Konkurrenz um Wasser verschärft. Ein Aussaatzeitpunkt im September sollte standortabhängig beurteilt werden und ist an wärmeren Standorten bis Mitte des Monats möglich.

Tabelle 8: Hinweise für die Aussaat des Riesenweizengrases

Saat	
Saattermin	März bis September
Saattechnik	Drillmaschine
Saatstärke	15 bis 25 kg/ha
Reihenabstand	13 bis 15 cm (Getreideabstand)
Saattiefe	max. 1 cm

Die Saatstärke orientiert sich an den Eigenschaften des Bodens. Je schwerer der Boden ist, desto höher sollte die Saatstärke sein. Im

Vergleich zu vielen anderen Dauerkulturen weist das Saatgut des Riesenweizengrases eine hohe Keimfähigkeit auf.



Saatgut Riesenweizengras

Pflanzenschutz

Im ersten Jahr der Aussaat entwickelt sich das Riesenweizengras sehr langsam und wird maximal 30 cm hoch. Oft bildet es auch nur einen zarten grünen Flaum auf der Fläche. Konkurrierendes Unkraut spielt deshalb eine große Rolle. Vor allem bei einer Saat bis Mitte Juli muss aufgrund der sommerlichen Wachstumspause des Grases eine sorgfältige Unkrautkontrolle erfolgen. Es eignen sich sowohl mechanische als auch chemische Pflanzenschutzmaßnahmen.

Mechanisch können bis zu Beginn des Längenwachstums im zweiten Jahr Schröpfschnitte in einer Höhe von nicht unter 10 cm durchgeführt werden. Diese regen gleichzeitig die Bestockung an und fördern somit das spätere

Massenwachstum. Ab dem 3-Blattstadium können außerdem Herbizide eingesetzt werden. Es sind Herbizide unter der Bezeichnung „Langährige Quecke“ zugelassen. Auch ein Antrag nach § 22 Abs. 2 PflSchG für eine Einzelfallerlaubnis beim zuständigen Pflanzenschutzdienst ist möglich. Tabelle 9 zeigt eine Übersicht, welche Pflanzenschutzmittel nach jetzigem Stand des Wissens vertragen werden.

Vereinzelt wurde in Riesenweizengrasbeständen ein Befall mit Mehltau festgestellt. Nach bisherigen Erkenntnissen wirkt sich der Befall nicht negativ auf den Ertrag aus. Tierische Schädlinge wurden bisher nicht beobachtet.

Tabelle 9: Übersicht der in Riesenweizengras zugelassenen und vertragenen Wirkstoffe (Stand März 2024)

Wirkstoff	Schadorganismus	Handelsname	Zulassungsende; Aufwandsmenge
Clodinafop + Cloquintocet + Pinoxaden	Acker-Fuchsschwanz, Gemeiner Windhalm, Weidelgras-Arten, Schadhirsens, Flughafer	Traxos	31.12.2026; bis 1,2 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
Clopyralid + Fluoroxypyryl + Florasulam	Ackerkratzdistel, Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Ariane C	30.04.2025; aufbrauchen bis 30.10.2026; bis 1,5 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
Florasulam	Ausfallraps, Kamillearten, Klettenlabkraut, Klatschmohn	Saracen	31.12.31; bis 0,1 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
MCPA	Acker-Kratzdistel, Ackerwinde	Dicopur M, MCPA 500, ProfiM Fluid, U 46 M-Fluid	31.10.2024; aufbrauchen bis 30.04.2026; Aufwandmenge: 1,5 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
MCPA + Clopyralid + Fluoroxypyryl	Ackerkratzdistel, Kamillearten, Knötericharten	Amario, Bofix, Duanti	31.10.24; aufbrauchen bis 30.04.2026; bis 4,0 l/ha in 200 bis 400 l/ha Wasser
Mit Einzelfallgenehmigung einsetzbare, da kulturverträgliche Pflanzenschutzmittel			
Clopyralid	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Vivendi 100	31.12.2024; aufbrauchen bis 30.06.2026

Düngung

Im ersten Anbaujahr steckt das Riesenweizen-gras seine Energie in die Ausbildung des Wur-zelsystems und wächst deshalb nicht in die Höhe. Nach der neuen Düngeverordnung (DüV 2020) ist eine Startdüngung (60 kg N/ha) nur er-laubt, wenn eine Ernte im selben Jahr erfolgt.

Eine Düngung zur Etablierung ist nicht zuläs-sig und auch nicht notwendig, da üblicherweise keine Ernte stattfindet. Ab dem zweiten Jahr liegt der Nährstoffentzug von Riesenweizen-gras bei:

Tabelle 10: Nährstoffentzug von Riesenweizengras

	Nährstoffentzug in kg/dt TM
N (Stickstoff)	1,18
P ₂ O ₅ (Phosphat)	0,39
K ₂ O (Kali)	1,89
MgO (Magnesiumoxid)	0,14 [2]

Die Berechnung des N-Düngebedarfs erfolgt nach Düngeverordnung auf Basis der N-Abfuhr, da Riesenweizengras als mehrjähriger Feldfut-terbau eingestuft ist. Demzufolge gelten auch die entsprechenden Sperrfristen. Nach der Ernte ist eine Herbsdüngung bis zum 31.10. (Rote Gebiete 30.09.) erlaubt, diese muss aller-dings vollständig auf den Düngebedarf des Fol-

gejahrs angerechnet werden.

Die Düngung sollte in zwei bis drei (inkl. Herbsdüngung) Gaben ausgebracht werden. Zu Vegetationsbeginn kann eine Düngergabe von bis zu 99 kg N/ha und zum zweiten Auf-wuchs in Höhe von bis zu 66 kg N/ha erfolgen. Zu beachten ist der hohe Kaliumbedarf des Rie-senweizengrases.

Ernte

Eine Ernte im ersten Anbaujahr ist nur bei ei-ner sehr frühen Aussaat und bei optimalen Ent-wicklungsbedingungen möglich. In der Regel erreicht das Gras jedoch keinen erntewürdigen Aufwuchs, vor allem wenn Schröpfungsschnitte zur Unkrautbekämpfung durchgeführt wurden. Ab dem zweiten Anbaujahr kann das Gras je nach Nutzungsrichtung bis zu zweimal jährlich ge-

erntet werden. Zur Ernte eignen sich am bes-ten ein Häcksler mit GPS-Schneidwerk oder ein zweistufiges Verfahren mit vorheriger Mahd. Der Schnitt sollte nicht tiefer als 10 cm erfol-gen [37], um einen kräftigen Wiederaustrieb zu erreichen.

Die erste Ernte sollte im Juni zwischen Ende Rispenschieben und Mitte Blüte erfol-



Ernte des Riesenweizengrases als Substrat für die Biogasanlage

gen. Ab Ende Juni zum Ende der Blüte liegt der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) teilweise schon zu hoch. Der zweite Schnitt erfolgt zum Vegetationsende, zwischen Ende September und Mitte Oktober. Werden die gewünschten TS-Gehalte von mindestens 28 % dann nicht mehr erreicht, ist eine vorherige Mahd mit Anwelkung des Materials sinnvoll [37]. Wie in der

Abbildung auf Seite 43 zu sehen ist, schwanken die TS-Gehalte stark und können bei zu später Ernte und entsprechender Witterung auch beim zweiten Schnitt zu hoch liegen. Um eine verlustarme Silierung und gute Methanausbeuten durch passende TS-Gehalte zu gewährleisten muss die Abreife beobachtet und rechtzeitig geerntet werden.

Erträge

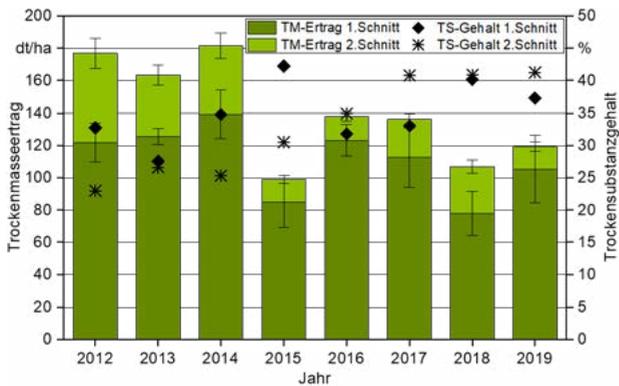
Versuchsdurchführung:

Seit dem Jahr 2011 werden am TFZ Parzellenversuche zum Einsatz von Riesenweizengras als Biogassubstrat durchgeführt. Der Versuchsstandort zeichnet sich durch einen sehr guten Boden (Ackerzahl: 73 bis 75), mittlere Temperaturen (langjähriges Mittel: 8,3°C) und ausreichend Niederschläge (langjährige Summe: 783 mm) aus. Das Riesenweizengras der Sorte „Szarvasi 1“ wurde Mitte Mai 2011 mit einer Drillmaschine in 20 cm Reihenweite und mit einer Saatstärke von 15 kg/ha bzw. 25 kg/ha gesät, in jeweils vier Wiederholungen. Im ersten Jahr erhielt der Bestand eine Startgabe von 60 kg N/ha (nicht mehr empfohlen). In den Folgejahren wurden je nach N_{\min} zwischen 120 und 180 kg N/ha in Form von Kalkammonsalpeter, verteilt auf zwei Gaben, ausgebracht. Der Bestand entwickelte sich im ersten Jahr sehr langsam, sodass Unkrautbekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden mussten. Diese fanden rein mechanisch statt. Eine Ernte war aufgrund des geringen Aufwuchses und der Unkrautproblematik nicht möglich. Ab dem zweiten Jahr wurden die Bestände jährlich mit einem reihenunabhängigen Parzellenhäcksler

Ende Juni sowie im Oktober beerntet und der Ertrag in einem Probenehmer verwogen.

Ergebnisse

Die Abbildung auf Seite 43 zeigt die Trockenmasseerträge und den Trockensubstanzgehalt von Riesenweizengras. Da zwischen den beiden Saatstärken (15 kg/ha bzw. 25 kg/ha) kaum Ertragsunterschiede festzustellen waren, wurde diese nicht als Versuchsfaktor berücksichtigt. Insgesamt lieferte das Riesenweizengras in den ersten drei Erntejahren hohe Erträge von 163 bis 182 dt TM/ha und bestätigte damit das in der Literatur angegebene hohe Ertragspotenzial von 160 [12] [75] [76] bis zu 200 dt TM/ha [20] [30]. Der deutlich geringere Ertrag im Jahr 2015 von rund 99 dt TM/ha wurde durch einen Hagelschaden verursacht. In den Folgejahren erhöhte sich der Ertrag zwar wieder, es wurde aber nicht mehr das Niveau der ersten Anbaujahre erreicht. Aufgrund von zunehmender Verungrasung und Trockenheit gingen die Erträge in den letzten Versuchsjahren insgesamt zurück, sodass nach der letzten Ernte im Jahr 2019 umgebrochen wurde. Die in der Litera-



Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Riesenweizen-gras in den Jahren 2013 bis 2019

Die in der Literatur angegebene Nutzungsdauer von zehn [37] bis 15 Jahren [20] konnte in den Versuchen nicht bestätigt werden und liegt eher bei fünf bis maximal acht Jahren. Den Großteil des gesamten Trockenmasseertrags liefert der erste Aufwuchs. Der zweite Aufwuchs macht meist nur ein Viertel des Gesamtertrags aus. Die TS-Gehalte lagen in den ersten Jahren besonders beim zweiten Schnitt unter den geforderten 28 % TS, in den trockenen Jahren allerdings teilweise deutlich über 35 %. Dies kann zu Problemen bei der Silagebereitung führen.

Methanausbeute

Bei der Verwendung als Biogassubstrat spielt neben dem Ertrag auch die Qualität des Erntematerials, also vorrangig die Methanausbeute, eine Rolle. Daher wurden am TFZ Batchtests an 90 Tage siliertem Material durchgeführt, um die Methanausbeute zu bestimmen. Untersuchungen an getrocknetem Erntegut von vier Jahren an sechs Standorten haben zum ersten Schnitt Methanausbeuten von im Mittel 304 lN/kg oTS und zum zweiten Schnitt 310 lN/kg oTS ergeben. Minimale und maximale Ausbeuten lagen bei

260 und 361 lN/kg oTS. Die in der Literatur angegebenen Ausbeuten von bis zu 376 lN/kg oTS [55] konnten damit bestätigt werden, die meisten Werte liegen aber um 310 lN/kg oTS [30] [76] [37] [55]. Insgesamt kommen die Methanausbeuten von Riesenweizen-gras nahe an die von Mais heran. Es ist damit sehr gut für eine Nutzung als Biogassubstrat geeignet und liefert dank hoher Biomasseleistung hohe Gaserträge.

Umbruch/Rekultivierung der Fläche

Zur Rekultivierung des Ackers am Ende der Nutzphase eignet sich am besten ein Flächenumbruch mit dem Pflug. Sollte in der Folgekultur Durchwuchs auftreten, kann dieser

vergleichsweise leicht durch den Einsatz von Herbiziden mit guter Gräserwirkung beseitigt werden. Getreide scheidet aus diesem Grund als Folgefrucht aus.

Switchgras (*Panicum virgatum*)

Steckbrief	
Saatgut	Shawnee (Biogassubstrat), Cave in Rock (thermische Verwertung)
Verwendung	<ul style="list-style-type: none">• Futterpflanze• Biogassubstrat• Zierpflanze• Gewässer- und Biotopschutz• Brennstoff zur thermischen Nutzung
Saat	Mitte Mai bis Juli
Ernte	<ul style="list-style-type: none">• abhängig von Nutzungsrichtung• bei Verwendung als Biogassubstrat zweimal jährlich: Juli und Ende September bis Anfang Oktober• Thermische Nutzung: nach dem Winter
Erträge	80 bis 160 dt TM/ha
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none">• anspruchslose Dauerkultur• trockentolerant und wärmeliebend• sehr geringe Keimfähigkeit• zögerliche Jugendentwicklung
Förderung	<ul style="list-style-type: none">• ÖR 6 und 7• kombinierbar im KULAP [NC 181] bzw. mit Maßnahmen nach K 44 und K 46

Switchgras stammt ursprünglich aus Nordamerika und ist von der mexikanischen Karibikküste über die Prärie Nordamerikas bis nach Kanada verbreitet. Das Switchgras wird auch Rutenhirse genannt und gehört zur Familie der Süßgräser (*Poaceae*), wobei die Gattung *Panicum* rund 450 Arten zählt. Nachdem es in seiner Heimat durch die Einfuhr europäischer Futtergräser fast verdrängt wurde, gewann es in den 1930er Jahren wieder an Bedeutung. Nach großen Schäden durch Winderosion war es eine der wenigen Kulturen, die unter den trockenen Bedingungen etabliert werden konnte. Mit Beginn der 1970er Jahre wurde es vermehrt als Futtergras eingesetzt und 1991 entdeckte das amerikanische Energieministerium das Gras als Energiepflanze wieder. Es wurde zur

Modellpflanze für die Entwicklung eines mehrjährigen, robusten, ertragreichen und ressourcenschonenden Energiegrases, wodurch zum ersten Mal auch die Präriegebiete für die Energie- und Rohstoffherzeugung in den Mittelpunkt des Interesses rückten. In Deutschland wurde das Gras überwiegend als Zierpflanze angebaut oder für den Gewässer- und Biotopschutz genutzt. Daher gibt es bereits über 20 zugelassene Sorten. Erst durch das „European Switch Grass Project“, in dem seine Anbauwürdigkeit für den europäischen Raum und die Eignung als Energie- und Rohstoffpflanze untersucht wurden, starteten in Deutschland die ersten Versuche [78]. Am TFZ wird die Eignung von Switchgras als Energiepflanze für die energetische Nutzung untersucht.



Switchgrasbestand in der Blüte

Das Switchgras kann rund 15 Jahre lang genutzt werden. Im Ansaatjahr erreicht es eine Wuchshöhe von maximal 0,5 m. Erst in den folgenden Jahren erreicht es seine volle Größe von bis zu 2,5 m. Zu den botanischen Eigenschaften der Kultur zählen:

- Familie: Süßgräser, Gattung: Rispenhirsen [78],
- C4-Pflanze, mit „warm season“-Wachstumsrhythmus (d. h. es legt während der kalten Wintermonate eine Wachstumspause ein) [42],
- wärmeliebend, Hauptwachstumsphase von Juni bis August,
- unterirdisch liegendes Rhizom, das als Speicher- und Überwinterungsorgan dient [32],
- horstbildend,
- schilfartige Halme, bis zu 2,5 m hoch,
- bis zu 20 cm lange Rispe,
- sehr trocken tolerant, rollt bei Trockenstress die Blätter ein und passt das osmotische Potenzial der Zellen an,
- Unterscheidung der Sorten in Hochland- und Tieflandtypen mit differenzierten Standortansprüchen, Morphologie und Ertragspotenzial (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Entsprechend der Morphologie und der Herkunft werden zwei verschiedene Switchgras-Typen unterschieden [78]

Hochlandtyp	Tieflandtyp
trockene, kühle Standorte	warme, feuchte Standorte
gute Winterhärte	sehr frostempfindlich (Auswinterungsgefahr)
feiner Wuchs, dünne Halme	großer Halmdurchmesser und Wuchshöhe
früh einsetzende Lignifizierung	spät einsetzende Lignifizierung
frühe Abreife	späte Abreife
mittleres Biomassepotenzial	großes Biomassepotenzial

In Bayern werden überwiegend Hochlandtypen angebaut, da sie besser abreifen und weniger auswinterungsgefährdet sind.

Vorbereitung der Bestandsanlage

Anforderungen des Switchgras an den Standort und die Flächenvorbereitung:

- warmer, trockener Standort,
- minimale Keimtemperatur 5,5 bis 12°C (deutlich über heimischen Gräsern),
- Hauptwachstumsphase Juni bis August,
- keine schneereichen Lagen bei thermischer Nutzung zu Vermeidung von Lager,
- Lehme oder sandige Lehme ideal,
- idealer pH-Wert des Bodens bei 5,
- geringe Wasser- und Nährstoffansprüche,
- Anbau nach Druschgetreide meiden (Bekämpfung Ausfallgetreide schwierig),
- unkrautfreies Saatbett, Altverunkrautung im Vorfeld bekämpfen,
- feinkrümeliger, feuchter Saathorizont.



Entwicklungsverlauf des Switchgras:
Bestand nach dem Auflaufen; Bestand zur Blüte; erntereifer Bestand vor dem Winter; Bestand nach dem Winter (von links oben nach rechts unten)

Saat

Die Keimfähigkeit des Saatguts ist aufgrund einer ausgeprägten Keimruhe sehr gering und muss vor der Saat durch eine Stratifikationsmaßnahme verbessert werden. Eine Möglichkeit besteht darin, das Saatgut zwei bis vier Jahre lang trocken und bei Raumtemperatur zu lagern. Weniger zeitintensiv ist die nass-kalte Stratifikation. Hierzu sind mehrere Schritte notwendig [77]:

- Saatgut in einen perforierten Beutel geben und 24 Stunden wässern.
- Den Beutel abtropfen lassen und für zwei bis vier Wochen bei 4 °C in einem Kühlraum/Kühlschrank lagern.
- Während dieser Zeit das Saatgut stets feucht halten und gelegentlich wenden, damit keine Wärmenester entstehen.
- Nach der Kühlungsphase das Saatgut flach ausbreiten und trocknen lassen.

Wurde das Saatgut vier Wochen lang gekühlt, kann es nach der Trocknung noch einige Zeit gelagert werden, bevor es erneut in die Keimruhe fällt. Bei einer zweiwöchigen Kühlung muss das Saatgut direkt nach dem Trocknen ausgesät werden [77]. Zur Kontrolle sollte vor und nach der Stratifikation sowie direkt vor der Saat ein Keimfähigkeitstest durchgeführt werden.

Die Bodentemperatur sollte zur Saat 15 °C erreicht haben [22]. Am besten lässt sich Switchgras im Juni oder Juli etablieren, dann kann die Vegetationszeit vorher noch für eine andere Kultur (z. B. Grünroggen oder Getreide für Ganzpflanzensilage) genutzt werden. Auf kühleren Standorten ist eine Aussaat ab August mit zunehmendem Überwinterungsrisiko verbunden. Auch eine Saat im Frühjahr, vor dem letzten Frost, ist nicht sinnvoll.

Tabelle 12: Hinweise zur Saat des Switchgrases [78]

Saat

Saattermin	Mitte Mai bis Juli, Mindest-Keimtemperatur 5,5 bis 12 °C
Saattechnik	Drillmaschine
Saatstärke	8 kg/ha
Reihenabstand	12 bis 15 cm, bei mechanischer Hacke mehr
Saattiefe	1 cm



Saatgut Switchgras

Pflanzenschutz

In den gemäßigten Breiten entwickelt sich das Gras nach der Saat relativ langsam. Unkräuter und Ungräser stellen deshalb eine große Konkurrenz dar und können das Wachstum massiv unterdrücken. Auch in späteren Standjahren spielt Unkraut aufgrund der langanhaltenden Winterruhe, die bis in den April hinein dauert, eine Rolle. Pflanzenschutzmaßnahmen sind deshalb unbedingt erforderlich. Mechanisch kann im Ansaatjahr gehackt oder gestriegelt werden. Die Reihenweiten bei Aussaat sind entsprechend anzupassen. Ab dem zweiten Anbaujahr kann auch ein Schröpfschnitt in einer Höhe von mindestens 10 bis 15 cm durchgeführt werden, um das Unkraut zu beseitigen. Chemische

Pflanzenschutzmittel sind bisher nicht für den Einsatz in Switchgras-Beständen zugelassen. Bei der Verwendung muss im Vorfeld eine Genehmigung nach § 22 Abs. 2 beantragt werden. Die Anwendung sollte nicht vor dem 4- bis 5-Blattstadium stattfinden. Gute Ergebnisse gegen zweikeimblättrige Unkräuter wurden mit Wuchsstoffpräparaten erzielt [78]. Aufgrund des späten Austriebs besteht ab dem zweiten Jahr zudem die Möglichkeit, den Bestand vor Wiederaustrieb im Frühjahr mit einem Totalherbizid zu behandeln [78]. Später im Jahr ist der Bestand erfahrungsgemäß geschlossen und keine Unkrautbekämpfungsmaßnahme mehr erforderlich.

Tabelle 13: Übersicht über vom Switchgras vertragenen Wirkstoffe, die mit Einzelfallgenehmigung eingesetzt werden können (Stand März 2024)

Mit Einzelfallgenehmigung einsetzbare Herbizide			
Wirkstoff	Schadorganismus	Handelsname	Zulassungsende
Metsulfuron	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Accurate, Finy, Gropper SX, Savvy	31.03.2027
2,4-D	Zweikeimblättrige Unkräuter	Darby, Stapler, U 46 D Fluid	31.12.2031
MCPA	Zweikeimblättrige Unkräuter	Dicopur M, MCPA 500, ProfiM Fluid, Profi MCPA, U 46 M-Fluid	31.10.2024; aufbrauchen bis 30.04.2026

Düngung

Switchgras gilt als sogenannte Low-Input-Pflanze, das heißt, sie benötigt nur eine geringe Düngung und nur wenig Pflanzenschutz. So ist

aufgrund des zögerlichen Wachstums im ersten Jahr keine Düngung erforderlich.

Tabelle 14: *Empfohlene Düngegaben ab dem zweiten Aufwuchsjahr*

	Düngegaben in kg/dt TM
N (Stickstoff)	1,11
P ₂ O ₅ (Phosphat)	0,32
K ₂ O (Kali)	1,75
MgO (Magnesiumoxid)	0,32 [2]

Die Berechnung des N-Düngebedarfs erfolgt nach Düngeverordnung auf Basis der N-Abfuhr, da Switchgras als mehrjähriger Feldfutterbau eingestuft ist. Demzufolge gelten auch die entsprechenden Sperrfristen und nach der Ernte ist eine Herstdüngung bis zum 31.10. (Rote Gebiete 30.09.) erlaubt. Diese muss vollständig auf den Düngebedarf des Folgejahrs angerech-

net werden.

Sollte ein zweiter Schnitt möglich sein, ist eine Nachdüngung erforderlich, die Dünge- menge muss dann auf zwei Gaben aufgeteilt werden. Der Switchgras-Bestand kann bei Bedarf auch mit organischen Düngemitteln gedüngt werden.

Ernte

Unter günstigen Bedingungen und einer guten Entwicklung des Switchgrases kann bereits im Ansaatjahr ein erster Schnitt erfolgen. Dabei sollte vor allem auf eine ausreichende Schnitthöhe von 10, besser 15 cm geachtet werden, um den Bestand langfristig nicht zu beeinträchtigen. Ab dem zweiten Jahr kann das Switchgras ein- bis zweimal jährlich geerntet werden. Zur Ernte eignet sich am besten ein Feldhäcksler mit reihenunabhängigem Gebiss.

Wird das Gras als Substrat für die Biogasnut-

zung einsiliert, findet die erste Ernte im Juli bei einem TS-Gehalt von rund 28 % statt. Wächst das Gras erneut gut auf, kann Ende September bis Anfang Oktober ein zweites Mal geschnitten werden. Der gewünschte TS-Gehalt wird beim zweiten Schnitt häufig nicht mehr erreicht. Ein der Bergung vorgelagertes Anwelken des Ernteguts kann hier Abhilfe verschaffen [32]. Je nach Standort kann nur ein Schnitt im Jahr vorteilhafter sein [56] [57], zu bayerischen Standorten gibt es aber noch keine klaren Empfeh-

lungen. Für die thermische Nutzung bleiben die Pflanzen, ähnlich wie Miscanthus, über Winter auf dem Feld. Switchgras wird nach dem Winter geerntet, wenn der Bestand abgetrocknet und das Erntegut ohne weitere Trocknung ab

Feld lagerfähig ist. Der optimale TS-Gehalt liegt bei über 85 %. Zur Ernte eignen sich am besten Maishäcksler mit reihenunabhängigen Schneidwerken.

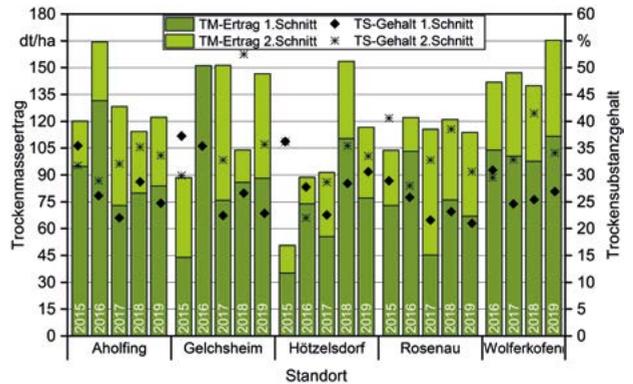


Ernte von Switchgras im Sommer mit einer Parzellenerntemaschine bei einem TS-Gehalt von rund 28 % und nach dem nach dem Winter bei einem TS-Gehalt von über 85 % für die thermische Verwertung



Erträge

Die in der Literatur angegebenen Erträge bei der Biogasnutzung von 80 bis 160 dt TM/ha [78] [57] [44] [31] konnten in einem Versuch auf fünf verschiedenen Standorten in Bayern bestätigt werden (vgl. Kapitel 8). Nachdem sich das Gras voll etabliert hatte, lieferte es auf allen Standorten zuverlässige Erträge, auch in den Trockenjahren 2018 und 2019. Da Switchgras erst im dritten Jahr das volle Ertragspotenzial erreicht, kann das Jahr 2015 noch als Etablierungsjahr gezählt werden. Im Mittel der Jahre 2016 bis 2019 wurden 131 dt TM/ha erreicht. Dabei hat das Gras auf fast allen Standorten gut, aber nicht überragend abgeschnitten. Für den kühlen Standort Hötzelstdorf als Vertreter für Höhenlagen ist es aufgrund seines hohen



Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Switchgras in den Jahren 2015 bis 2019

Wärmebedarfs nicht geeignet und kann dort nur in außergewöhnlich warmen und trockenen Jahren hohe Erträge liefern.

Methanausbeute

Untersuchungen der Methanausbeute an getrocknetem Material aus den TFZ-Versuchen ergaben im Mittel 292 lN/kg oTM zum ersten Schnitt und 313 lN/kg oTM zum zweiten Schnitt.

Damit liegen diese etwas über den Literaturangaben von 266 und 309 lN/kg oTM für den ersten Schnitt und 269 und 276 lN/kg oTM für den zweiten Schnitt (MASSÉ *et al.* (2010) [54]).

Umbruch/Rekultivierung der Fläche

Zum Umbruch von Switchgrasbeständen ist nur wenig in der Literatur zu finden. Das Fräsen, Pflügen oder mehrmaliges Grubbern, bei dem das Wurzelwerk zerstört wird, scheint ratsam. Auftretender Durchwuchs in der Folgefrucht lässt sich dann mit einem Gräsermittel gut bekämpfen.

Sida (*Sida hermaphrodita*)

Steckbrief	
Saatgut	Sida East
Verwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Futterpflanze • Biogassubstrat • Brennstoff zur thermischen Nutzung • Stofflich • Bodenschutz sowie Rekultivierung
Saatzeit	ab Mitte Mai
Erntezeit	<ul style="list-style-type: none"> • einmal jährlich, abhängig von Nutzungsrichtung • Verwendung als Biogassubstrat: Anfang August • Thermische Nutzung: Februar bis April (Folgejahr)
Erträge	relativ geringe Erträge unter bayerischen Anbaubedingungen maximal 80 bis 200 dt TM/ha, abhängig von Nutzungsrichtung
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • sehr geringe Keimfähigkeit und schwierig zu etablieren • zögerliche Jugendentwicklung • nach Etablierung anspruchslose Dauerkultur • liebt feuchte schwere Böden mit guter Wasserversorgung • Bienenweide • Rekultivierungspflanze für degradierte Böden
Förderung	<ul style="list-style-type: none"> • ÖR 1c, 6 und 7 • kombinierbar mit KULAP (NC 804) bzw. mit Maßnahmen nach K 32 (Basis GAP Öko-Regelung ÖR 2) und 44
Besonderheiten	konnte in den Versuchen am TFZ insgesamt nicht überzeugen

Die Sida zählt neben mehr als 100 weiteren Arten zu der gleichnamigen Pflanzengattung und zur Familie der Malvengewächse (Malvaceae). Der Name ist von der botanischen Bezeichnung abgeleitet, da sie offiziell keinen deutschen Namen besitzt. Aufgrund ihrer nordamerikanischen Herkunft wird sie vereinzelt auch als Virginiamalve bezeichnet. Bereits im 18. Jahrhundert wurde die Sida in Nordamerika als Grünfutterpflanze kultiviert. Ab den 1930er Jahren wurde die Pflanze über die ehemalige Sowjetunion und Polen auch in Europa bekannt und hinsichtlich ihrer Eignung als Futter- und

Faserpflanze erforscht [79] [60]1955 wurde sie in Polen eingeführt, die agrarwissenschaftliche Akademie in Lublin griff die Pflanze auf und führte intensive Versuche zu Anbau und Nutzung durch [16] [41]. Bis heute hat Polen die europaweit umfangreichsten Anbauflächen und Kenntnisse über Sida. Auch in Deutschland wurden in den letzten Jahren Versuche angelegt. Am TFZ steht vor allem die energetische Eignung als Brennstoff und als Energiepflanze für die Biogaserzeugung im Vordergrund. Aber auch die stoffliche Nutzung, zum Beispiel als Faserpflanze oder Rohstoff für die Pharmain-

dustrie, wird von einigen Einrichtungen geprüft. Gleichzeitig eignet sich die Sida als Boden-

schutz [79] sowie als Rekultivierungspflanze für degradierte Böden [16].



Blühender Bestand der Sida (links) und Bestand nach dem Winter für die thermische Verwertung (rechts)

Die Nutzungsdauer von Sida beträgt 15 bis 20 Jahre, laut Literatur sogar bis zu 25 Jahre [23] [79]. Die ausdauernde Pflanze wird im Anlagejahr nur rund 1 m hoch und bildet in dieser Zeit ihr Wurzelsystem aus. Ab dem zweiten Jahr wächst sie dann in die Höhe und wird 2 bis 3 m hoch. Weitere botanische Merkmale der Sida sind [33]:

- tiefreichendes Wurzelsystem,
- bis zu 20 aufrechte Triebe je Pflanze [16],
- stark verzweigter Stängel, bis zu 3 m hoch und 3 cm dick, mit zunehmender Abreife verholzend,
- handflächig große Blätter, gestielt und gezähnt, tief gelappte Blattspreite mit mehreren lanzettlichen Lappen,
- endständig rispige Blütenstände mit 11 bis 15 Einzelblüten [79],
- Einzelblüten weiß, 1 bis 2 cm groß, Blüte von Juli bis Oktober.



Entwicklungsverlauf der Sida: Jungpflanze kurz nach der Bestandsanlage; Bestand im Sommer des Anlagejahres; Wiederaustrieb im Frühjahr; Bestand im Sommer des zweiten Jahres; Blüte im August; abgetrockneter Bestand nach dem Winter; Wurzelstock nach der Ernte (von links oben nach rechts unten)

Die Sida ist eine beliebte Bienen-tracht-pflanze, die kleinen weißen Blüten liefern einen Honigertrag von rund 120 kg/ha [59]



Vorbereitung der Bestandesanlage

Die Sida wächst auf nahezu jedem Standort. Auch auf Grenzstandorten, kontaminierten, degradierten oder erodierten Böden ist ihr Anbau möglich. Jedoch richtet sich der Ertrag nach der Qualität und Fruchtbarkeit des Bodens [16]. In ihrer Heimat Nordamerika wächst die Sida natürlicherweise in Flusstälern, an Seeufern und auf zeitweise überschwemmten Flächen. Um einen guten Ertrag zu erzielen und damit die hohen Saatgutkosten zu kompensieren, sollten deshalb auch in unseren Breiten einige Punkte bei der Flächenauswahl für die mehrjährige Kultur beachtet werden. Folgende Anforderungen stellt die Sidamalve an den Standort und die Bodenbearbeitung [33]. Ideal sind:

- feuchte, schwere Böden mit guter Wasserversorgung,
- sonniges, warmes Klima,
- keine sauren Böden mit einem pH-Wert unter 5,5,
- keine steinigen Böden,
- keine schneereichen Lagen bei thermischer Nutzung, um Lager zu vermeiden, selbst ausgeprägter Frost ist aber kein Problem,
- Fläche mit geringem Unkrautdruck und gute Unkrautkontrolle in der Vorfrucht,
- keine Vorfrüchte, die anfällig gegenüber Sclerotinia sind,
- tiefe Herbstfurche,
- feuchtigkeitsbewahrende und feinkrümelige Saatbettbereitung.

Pflanzung und Saat

Das Saatgut des Malvengewächses weist eine sehr geringe Keimfähigkeit auf, die oft nur bei rund 40 % liegt. Auch mit einer Erhöhung der Saatstärke sind ein ausreichender Feldaufgang und eine gleichmäßige Verteilung der Pflanzen auf der Fläche nicht einfach zu realisieren. Die Pflanzung von Setzlingen wird daher der Saat häufig vorgezogen. Sie gewährleistet eine sichere Etablierung der gewünschten Pflanzenanzahl pro Quadratmeter und verschafft den

Pflanzen einen Vorsprung vor konkurrierenden Unkräutern. Allerdings sind die Kosten für das Pflanzgut in der Regel sehr hoch und die Pflanzung ist sehr aufwendig. Die Drillsaat ist ein einfaches und im Vergleich zur Pflanzung deutlich kostengünstigeres Verfahren, jedoch bedarf es hier einer intensiveren Pflege des Bestands. Somit wiegen die Vor- und Nachteile beider Verfahren auf.

Tabelle 15: Hinweise für die Pflanzung und Saat der Sida

Pflanzung

Pflanztermin	ab Mitte Mai
Pflanztechnik	per Hand oder mittels Pflanzmaschine aus dem Gemüsebau
Pflanzdichte	5 bis 8 Pflanzen/m ²
Reihenabstand	37,5 cm oder mehr beim Einsatz einer Hacke

Saat

Pflanztermin	ab Mitte Mai in sehr gut erwärmten Boden
Pflanztechnik	Drillmaschine
Saatstärke	500 g/ha (Keimfähigkeit beachten und ggf. Saatstärke erhöhen)
Reihenabstand	37,5 cm oder mehr beim Einsatz einer Hacke
Sattiefe	0,5 bis max. 1 cm, gute Rückverfestigung wichtig

Das Saatgut der Sidamalve ist sehr feinkörnig. Für eine leichtere Ausbringung und zum Schutz des Samens ist auch pilliertes Saatgut erhältlich.

Die Saatstärke steigt beim Einsatz von pilliertem Saatgut auf 3 kg/ha.



Pilliertes Saatgut (links), unpilliertes Saatgut (Mitte) und Setzling (rechts)

Pflanzenschutz

Auch wenn die Sida später eine sehr anspruchslose Kultur darstellt, ist sie vor allem während der Etablierungsphase im ersten Jahr anfällig gegenüber Konkurrenzverunkrautung. Dies setzt vor allem in der ersten Zeit nach der Saat bzw. Pflanzung eine intensive Bestandspflege voraus. Eine chemische Unkrautbekämpfung ist kaum möglich, da die Sida sehr empfindlich

auf Herbizide reagiert. In ausführlichen Versuchen des TFZ wurde Sida von allen getesteten Herbiziden geschädigt, was eine flexible Unkrautkontrolle schwierig macht [33]. Deshalb empfiehlt sich eine mechanische Bestandspflege mit Striegel und Hacke, die bis zu einem vollständigen Bestandsschluss wiederholt durchgeführt werden sollte.



Verunkrauteter Sidabestand

Je nach Witterungsbedingungen und Vorfrucht kann Sclerotinia, auch Weißstängeligkeit genannt, auftreten. Ein Befall führt in erster Linie zum Abknicken der Pflanzentriebe in rund 10 cm Höhe. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich eine Weißfärbung des Stängels und im späteren Stadium werden in seinem Inneren schwarze Dauerkörper sichtbar. Damit diese nicht in den Boden gelangen, wo sie mehrere Jahre überdauern können, empfiehlt es sich, den Bestand bei einem Befall umgehend grün zu ernten. Bei einer rechtzeitigen Ernte konnten dabei keine Ertragseinbußen beobachtet werden. Um das Befallsrisiko zu minimieren, sollten Raps, Sonnenblumen und Buschbohnen als Vorfrucht gemieden werden.

Mit Sclerotinia befallene Sida-Pflanze (links), schwarze Dauerkörper im Inneren des Stängels (rechts)



Ernte

Eine Ernte im ersten Anbaujahr ist aufgrund des geringen Aufwuchses nicht rentabel. Es empfiehlt sich, den Bestand nach dem Winter zu mulchen. Erst ab dem zweiten Jahr bildet Sida einen erntewürdigen Bestand. Zur Ernte eignet sich am besten ein Maishäcksler mit reihenunabhängigem Schneidwerk. Der Erntetermin für das Malvengewächs richtet sich in erster Linie nach der Nutzungsrichtung. Wenn das Erntegut als Substrat für die Biogasgewinnung einsiliert werden soll, wird der Bestand einmal pro Jahr etwa Anfang August geerntet. Zum Ende der Blüte Anfang August liegen die Trockensubstanzgehalte häufig schon über 35 %, was für eine problemlose Silierung schon fast zu trocken ist. Deshalb sollte nicht zu spät geerntet werden. Die doppelte Beerntung in grünem Zustand schwächt den Bestand auf Dauer und wird vom TFZ nicht empfohlen. Ein zweiter Schnitt kann nach dem Winter erfolgen und die Biomasse für eine thermische Verwertung genutzt werden. JABLONOWSKI et al. berechne-



Ernte von Sida nach dem Winter bei einem TS-Gehalt von über 85 %

ten hier eine höhere Energieausbeute je Hektar [41].

Für die thermische Nutzung bleiben die Pflanzen, ähnlich wie Miscanthus, über Winter auf dem Feld. Die Blätter fallen ab, die Pflanzen verholzen, der Bestand trocknet und wird zwischen Februar und April bei einem lagerfähigen TS-Gehalt von über 80, besser 85 % geerntet.

Erträge/Fazit

Die vom Research Review von NAHM et al. 2018 genannten Erträge von 80 bis 200 dt TM/ha pro Jahr [60] wurden in einem umfangreichen sechsjährigen Feldversuch des TFZ auf sechs verschiedenen bayerischen Standorten nicht erreicht und die Sida konnte insgesamt nicht überzeugen. Sie war extrem schwierig zu etablieren und die Bestände verunkrauteten stark,

wodurch die Erträge massiv zurückgingen. Der Ertrag lag mit durchschnittlich nur 80 dt TM/ha als Biogassubstrat und 55 dt TM/ha in der thermischen Variante deutlich zu niedrig. Selbst auf den Standorten, auf denen die Etablierung der Sida erfolgreich war, lagen die Erträge deutlich unter denen der anderen Kulturen.

Vergleich der Kulturen auf verschiedenen bayerischen Standorten

Um die Standorteignung der Dauerkulturen zu untersuchen, wurden auf sechs verschiedenen bayerischen Standorten Feldversuche angelegt. Die Standorte decken ein breites Spektrum an Bodenverhältnissen und Klimabedingungen ab.

Angaben zur Bodengüte, Vorfrucht und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens sind in Tabelle 16 dargestellt und Angaben zu Temperatur und Niederschlag in Tabelle 17.

Tabelle 16: Beschreibung der Versuchsstandorte

Standort	Beschreibung	Wasserspeicherfähigkeit	Höhe in m über NN	Bodenart	AZ	Vorfrucht vor Versuchsbeginn
Wolferkofen	sehr guter Boden, Gäulage, mild	gut	337	uL	76	Zuckerrüben
Aholting	leichter Boden, mild Schotterstandort	gering	324	lS	45	Kartoffeln, Hybrid-Roggen
Rosenau	humoser Boden, mild, degradiertes Niedermoor	gut	346	huL	58	Silomais, Winterrüben
Hötzelendorf	Hochlage bzw. Mittelgebirgslage, kalt	gering	648	lS	35–45	Wintertriticale, Alexandrinerklee
Parsberg	lehmiger, steiniger Boden, kühl, Jurasstandort	mittel	466	tL	32–59	Kleegras und Luzerne
Gelchsheim	sehr guter Boden, warm, Gäulage, trocken	gut	309	tL	72–76	Wintergerste, Winterweizen

Tabelle 17: Langjährige mittlere Monatstemperatur und mittlerer Monatsniederschlag (1981–2010, DWD-Station in Klammern)

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

Die Feldversuche zur Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen wurden größtenteils bereits im Jahr 2014 angelegt, lediglich der Standort Wolferskofen wurde erst 2015 etabliert. Folgende mehrjährige Kulturen wurden angebaut und untersucht:

- Silphie,
- Miscanthus,
- Riesenweizengras,
- Switchgras (Hochlandtyp und Tieflandtyp) und
- Sida.

Folgende einjährige Kulturen der Referenzfruchtfolge standen im Wechsel:

- Mais,
- Winterweizen und
- GPS-Roggen.

Zur Ernte wurden die Zielgrößen Frischmasseertrag, Trockenmasseertrag, Trockensubstanzgehalt, BBCH-Stadium, Wuchshöhe, Lager, und Substratqualität erfasst.

Die Etablierung der mehrjährigen Kulturen erfolgte mittels Pflanzung oder Drillsaat (Tabelle 18). Die Parzellengröße betrug jeweils 100 m², die Größe der Erntefläche etwa 50 m². Die Versuche waren an jedem Standort als randomisierte, vollständige Blockanlage mit jeweils vier Wiederholungen angelegt. In Parsberg mussten die beiden Versuchsvarianten zu Switchgras 2017 aufgegeben werden sowie am Standort Rosenau die Variante Sida für die Verwertung als Biogassubstrat im Frühjahr 2019.

Tabelle 18: Versuchsvarianten des Feldversuchs zur Anbaueignung und zum Ertragspotenzial mehrjähriger Energiepflanzen

Zeitraum	Etablierung (2014, Wolferkofen 2015); Ertragserfassung (2015 bis 2020)
Versuchsdesign	4 Wiederholungen
Varianten	Verwertung als Biogassubstrat, Ernte im Sommer/Herbst Silphie: Pflanzung, Herkunftsmischung Sida: Saat/Pflanzung, Sorte Sida East Riesenweizengras (RWG): Saat, Sorte Green Star Riesenweizengras (RWG): Saat, Sorte Alkar Switchgras (SG): Saat, Sorte Shawnee (Hochlandtyp)
	Thermische Verwertung, Ernte im Frühjahr Sida: Saat, Sorte Sida East Switchgras (SG): Saat, Sorte Cave in Rock (Tieflandtyp) Miscanthus: Pflanzung, Sorte <i>Miscanthus x giganteus</i>
	Referenzkulturen Mais, Winterroggen-GPS (Winterweizen als Füllfrucht)

Bodenanalysen aus den vier Wiederholungen der jeweiligen Variante wurden prüfgliedweise an einer Mischprobe in zertifizierten Laboren durchgeführt. Die Probenahme erfolgte in den

drei Tiefen 0 - 30, 30 - 60 und 60 - 90 cm. Die Bodenproben wurden jährlich im Frühjahr und im Herbst gezogen.

Erträge

Die Durchwachsene Silphie war im Mittel über alle Standorte die ertragreichste mehrjährige Energiepflanze, siehe Abbildung auf Seite 63. Das Riesenweizengras der Sorte GreenStar zeigte ebenfalls ein hohes Ertragspotenzial. Das Switchgras kam nie an die hohen Erträge der beiden Kulturen heran, war aber ausgesprochen stabil in den Erträgen, auch auf schlechteren Standorten in trockeneren Jahren. Im Vergleich zu Silomais bleiben die erzielbaren Erträge bei allen untersuchten Dauerkulturen aber deutlich zurück, dieser sollte allerdings in einer ausgewogenen Fruchtfolge mit anderen

Kulturen stehen. Im Vergleich mit GPS-Roggen wurden bei der Durchwachsenen Silphie, bei Riesenweizengras und Switchgras dagegen höhere Erträge erzielt. Nur die Sida konnte ertragsmäßig nicht überzeugen. Die Abbildung auf Seite 65 zeigt eine Übersicht der Erträge der Dauerkulturen sowie der Referenzkulturen über alle Standorte. Um die Standorteignung bewerten zu können, gibt die Abbildung (S.63) einen Überblick über die Biomasseleistung der mehrjährigen Energiepflanzen auf den unterschiedlichen Standorten für die Jahre 2016 bis 2019.

Silphie

Die Ergebnisse zeigen, dass die Silphie ein hohes Ertragspotenzial besitzt [33], das am besten auf nährstoffreichen Böden und bei ausreichender Wasserverfügbarkeit ausgeschöpft wird, wie an den Standorten Wolferkofen, Rosenau und Gelchsheim zu sehen. Zum relativ guten Abschneiden in Gelchsheim, dem Standort mit der geringsten Niederschlagsmenge, lassen sich nur Vermutungen anstellen. Da auf diesem Standort die geringsten Niederschlagsmengen fielen, waren die Silphiepflanzen dort wahrscheinlich sehr gut an Trockenphasen adaptiert (z. B. Wurzelmenge und -tiefe). Eine besondere Eignung der Silphie für schlechte Böden oder trockene Regionen kann aus den vorliegenden Ergebnissen jedoch nicht abgeleitet werden, da die Silphie insgesamt einen relativ hohen Wasserbedarf hat [21]. Auf warm-trockenen Standorten ist generell eher mit Ertragseinbußen zu rechnen.

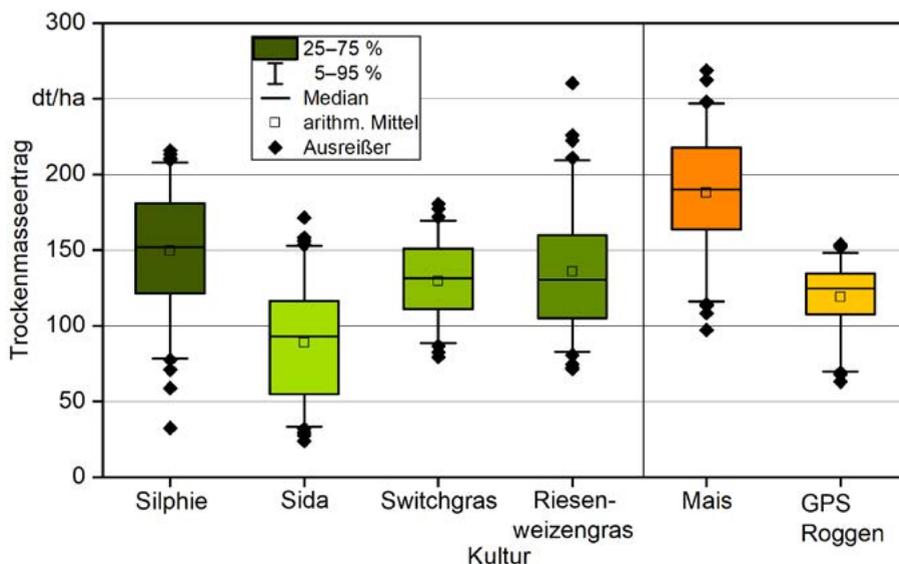
Der hohe Biomasseaufwuchs auf sehr nährstoffreichen Standorten kann sich auch als Nachteil auswirken und es können Lager auftreten, die zu Ernteproblemen führen. Dies war hauptsächlich in Rosenau der Fall, trotzdem war dort die Silphie mit Abstand die beste Dauerkultur. Der Standort hat eine hohe Mineralisationsrate und wie beim Silomais und an der Silphie zu beobachten war, konnten auf diesem Standort auch ohne Stickstoffdüngung hohe Erträge erzielt werden. Die Silphie konnte als einzige der Dauerkulturen die Standortvorteile von Rosenau nutzen. Die Ernte war zwar aufgrund auftretenden Lagers erschwert, aber ohne Verluste möglich.

Die Ertragsangaben in der Literatur beziehen sich meist auf die erste oder zweite Ernte nach dem Etablierungsjahr. Auf einem leichten und sandigen Boden in Polen wurden 2017

157 dt TM/ha und 2018 191 dt TM/ha geerntet (SIWEK et al. [2019] [70]), auf einem schweren Lehmboden mit Lössauflage wurden 2012 im Abstand von zwei Wochen Erträge von 171 dt TM/ha Ende August erreicht, die bis Anfang Oktober auf 130 dt TM/ha abfielen (MAST et al. [2014] [55]) und auf einem Lehmboden wurden auf einem Standort mit geringen Niederschlägen und kühlen Temperaturen von 2011 bis 2016 im Mittel 126 dt TM/ha geerntet (Landwirtschaftlichen Versuchswesens Rheinland-Pfalz [76]). Die zitierten Erträge decken sich nicht ganz mit den Ergebnissen auf den untersuchten Standorten, bei denen die leichteren Böden niedrigere Erträge brachten. Sie zeigen aber das hohe Ertragspotenzial der Silphie auf unterschiedlichen Standorten. Silphie gilt als flexible Pflanze, die sich an viele verschiedene Bedingungen anpassen kann [29]. Hohe Temperaturen im Sommer kann sie gut überstehen, solange genügend Wasser zur Verfügung steht [70]. Mit Mais vergleichbare Erträge kann die Silphie nur auf Standorten mit guter Wasserversorgung realisieren [65] [33].

Riesenweizengras

Riesenweizengras zeigt auf Standorten mit guter Wasser- und Nährstoffversorgung, wie Wolferkofen, die höchsten Erträge. Es hat den Vorteil, dass es mit temporärem Wassermangel im Sommer gut zurechtkommt, was sich beim guten Abschneiden in Aholting widerspiegelt. Zur Hauptwachstumsphase im Frühjahr und im Spätsommer/Herbst sind dann allerdings Niederschläge notwendig, damit diese Kultur ihr hohes Biomassepotenzial auch ausschöpfen kann, wie sich im trockenen und heißen Jahr 2018 zeigte. Die kalten Winter in Hötzelsdorf überstand das Gras gut. Hier hat sich aufgrund der schlechten Wasserspeicherkapazität des



Trockenmasseerträge der mehrjährigen Energiepflanzen für die Biogasnutzung über die Versuchsjahre und Standorte in den Jahren 2016 bis 2019, [Silphie n = 94, Sida n = 87, Switchgras n = 69, RWG GreenStar n = 92, Mais n = 95, GPS-Roggen n = 92]

Bodens die Trockenheit der Jahre 2018 und 2019 besonders stark ausgewirkt und zusammen mit der verkürzten Vegetationsperiode aufgrund der Höhenlage waren die Erträge niedrig. In Rosenau kam das Gras nicht zurecht, Erträge unter 100 dt TM/ha können auf diesem Standort nicht überzeugen. Die Erträge der Sorte GreenStar waren zum Teil deutlich höher als die der Sorte Alkar. Offenbar ist für süddeutsche Anbauggebiete die Sorte GreenStar besser geeignet. Die Sorte Alkar wurde ursprünglich für die Beweidung nasser Flächen gezüchtet [64], was ein Grund für den geringeren Ertrag der Sorte sein könnte.

Auf warm-trockenen Standorten wurden gemäß Literatur Riesenweizengraserträge zwischen 179 und 193 dt TM/ha [Triesdorf [30]] bzw. im Mittel über 160 dt TM/ha (maximal 265 dt TM/ha) [Dornburg [12]] gemessen, auf Böden mit sandigem Lehm, geringen Niederschlägen und kühlen Temperaturen im Mittel 160 dt TM/ha (Landwirtschaftliches Versuchswesen Rheinland-Pfalz [76]) und auf einem Boden

mit moderatem Tongehalt und hohem Grundwasserspiegel bis 200 dt TM/ha [CSETE et al. (2011) [20]]. Die hohen Erträge auf verschiedenen Standorten, die in der Literatur zu finden sind, veranschaulichen die Anbaueignung des Grases auch für trockenere Standorte sowie das hohe Ertragspotenzial.

Switchgras

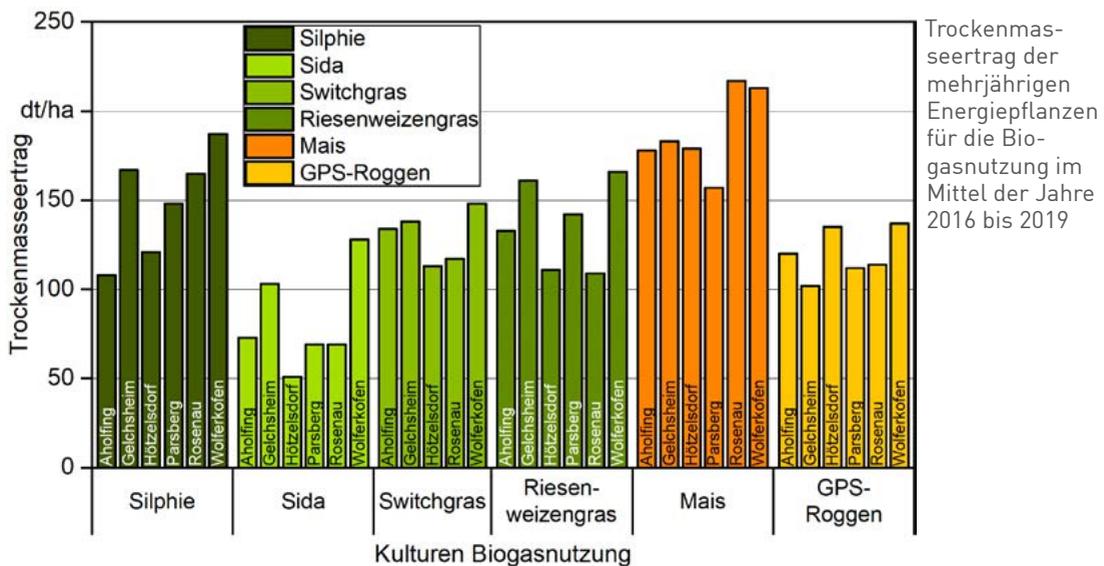
Switchgras (Hochlandtypen) ist trockentolerant und wärmeliebend. Daher empfiehlt sich ein Anbau auf warmen und trockenen Standorten. In Bayern sind solche Standorte eher in Mittel- oder Unterfranken oder im Donau / Isar / Inn-Hügelland zu finden. Den höchsten Biomasseaufwuchs hatte das Gras auf den Hohertragsstandorten in Wolferkofen und Gelchsheim, war dort aber nicht die ertragreichste Kultur. Besonders in den trockenen Jahren 2018 und 2019 konnte das Gras seine Ertragsbeständigkeit und Trockentoleranz zeigen und überzeugte auf den sandigen Böden in Aholting und in Hötzelstdorf. Das Gras profitiert

weniger vom Nährstoffreichtum eines Bodens als vielmehr von warmen Temperaturen und einer langen Vegetationszeit. Sollten zukünftig immer häufiger trockene und warme Jahre wie 2018 und 2019 auftreten, wird der Anbau dieser Kultur für sandige und trockene Standorte interessant.

Nach Literaturangaben betragen die mittleren Switchgraserträge 160 dt TM/ha (maximal 220 dt TM/ha) (LEWANDOWSKI et al. (2003) [51]). Dies sind höhere Erträge als bei den durchgeführten Versuchen auf bayerischen Standorten [33]. Andere Literaturangaben aus Texas (einschnittiges System 100 bis 160 dt TM/ha, zweischnittiges System 80 bis über 150 dt TM/ha [57]) und aus der Nähe von Stuttgart (84 bis 142 dt TM/ha [44]) sind eher mit den vorliegenden Ergebnissen vergleichbar. Der Unterschied in den Erträgen kann in der Sortenwahl liegen. Tieflandsorten sind ertragreicher [77], haben aber einen deutlich höheren Wärmeanspruch [51], der nicht zu bayerischen Anbaubedingungen passt. Auch die Schnitanzahl kann einen Einfluss auf den Ertrag haben. Im Süden der USA erzielte ein zweischnittiges System mit Ernten im Juli und Oktober höhere Erträge, während ein einschnittiges System im Norden vorteilhafter erscheint [56]. Ertragsdaten dreijähriger Feldversuche von MCLAUGHLIN et al. (1999) zeigen die Bedeutung regional angepasster Schnittpraktiken. Auf zwei Standorten in Virginia (Blacksburg) und Alabama (Auburn) wurden die höchsten Erträge mit zwei Schnitten im Jahr erreicht, während in Texas, mit häufig auftretender Trockenheit, ein Schnitt im Jahr ertragreicher war [57].

Sida

Die Ertragsergebnisse der Sida sind auf bayerischen Standorten insgesamt nicht zufriedenstellend. Aus rein ökonomischer Sicht sind die Erträge zu gering, um mit dieser Kultur rentabel wirtschaften zu können. Die Etablierung eines dichten Bestands als Grundlage für die Biomasseleistung der nächsten Jahre ist schwierig. Hinsichtlich des Bodens gilt sie als anspruchslos. Als Ausschlusskriterium für den Anbau gelten lediglich Staunässe oder sehr trockene Böden [59]. Da der Haupteinfluss auf die niedrigen Erträge in den Versuchen aber die Verunkrautung war, lässt sich die Standorteignung anhand der vorliegenden Daten nicht abschließend beurteilen. Die übermäßige Verunkrautung und eine nicht ausreichende Pflanzanzahl pro Quadratmeter war auch der Grund für das schlechte Abschneiden der Standorte Rosenau, Aholting und Hötzelendorf, da diese chemisch nicht kontrolliert werden kann. Gelingt es im Saat- oder Pflanzjahr nicht einen dichten Bestand zu etablieren, bieten die Lücken Platz und Licht für die Entwicklung von Unkraut, das sich im Laufe der Jahre immer mehr im Bestand ausbreiten kann. Das Unkraut entwickelt sich im Frühjahr meist schneller als die Kulturpflanze und auch das Samenpotenzial im Boden vermehrt sich von Jahr zu Jahr. Kühle Standorte mit spätem Vegetationsbeginn verschärfen dieses Problem, da die Sida für ihr Wachstum auf warme Temperaturen angewiesen ist. Eine Pflanzung anstelle der Etablierung im Saatverfahren kann hier Vorteile bringen, erhöht allerdings Kosten und Aufwand. Insgesamt gibt es für die zunehmende Verunkrautung der Sidabestände bisher keine Lösung, da eine chemische Unkrautkontrolle weder zugelassen noch verträglich ist [33]. Umso wichtiger ist es, bereits im ersten Jahr einen dichten, lü-



ckenlosen und wüchsigen Bestand zu etablieren.

Gemäß Literaturangaben liegen die mittleren Erträge auf trockenem, leicht sandigem Lehm bei 84 dt TM/ha [BORKOWSKA et al. (2009) [15]], bzw. bei 92 bis 150 dt TM/ha oder in trockenen Jahren bei 48 bis 85 dt TM/ha [SIWEK et al. (2019) [70]]. In Niedersachsen hingegen zeigte die Sida eine hohe Trockentoleranz. Dort wurden 2017 im Mittel 114 dt TM/ha geerntet und

2018 172,9 dt TM/ha. Dabei zeigte eine gedrillte Variante eine vergleichbare Ertragsleistung wie eine Jungpflanzenanlage. Eine der Hauptursachen für die deutlich besseren Ertragsergebnisse der hier genannten Experimente im Vergleich zu den Erträgen der untersuchten Standorte war vermutlich eine gelungene Etablierung. In Wolfertkofen, wo die Etablierung relativ unkrautfrei gelungen war, wurden höhere Erträge als auf den anderen Standorten erzielt.

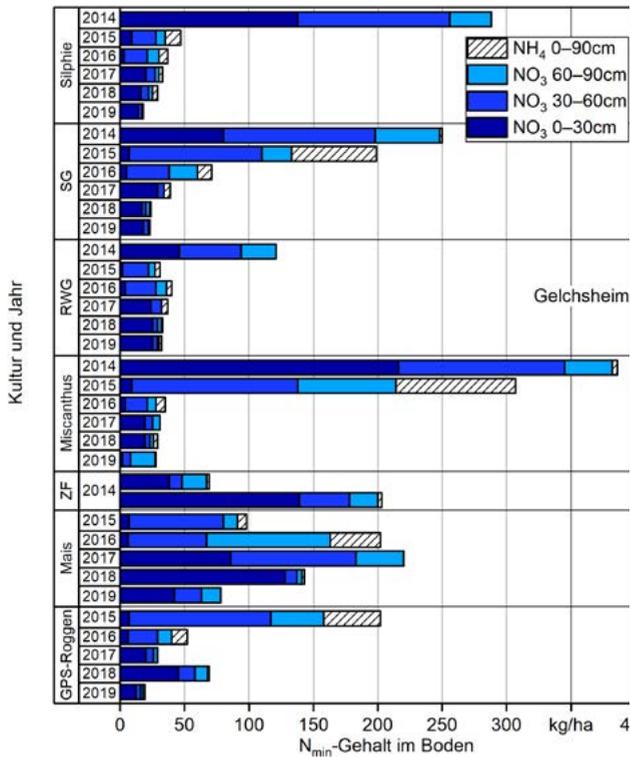
Bodenstickstoff zum Vegetationsende

Mineralisierter Stickstoff (N_{\min}) kann über den Winter aus dem Wurzelraum in tiefere Bodenschichten bis hin in das Grundwasser verlagert werden [52]. Daher ist es für den Grundwasserschutz wichtig, zum Vegetationsende nur geringe Mengen an N_{\min} im Boden zu haben. In den Abbildungen (S. 67) sind einmal ein warmer trockener und tiefgründiger Boden in Gelchsheim und ein feuchter Standort in der Höhenlage Hötzelstdorf.

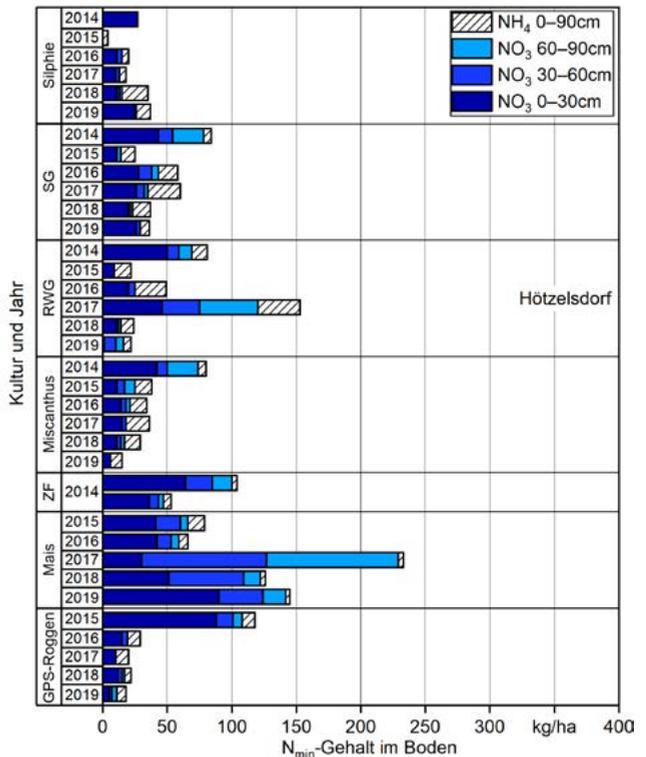
In Gelchsheim hat die dem Versuch vorausgehende intensive Bewirtschaftung sowie der Umbruch eines Winterweizenbestands vor Versuchsbeginn hohe Ausgangsgehalte an mineralischen Stickstoff hinterlassen. Im Herbst 2014 bestand eine hohe Auswaschungsgefahr durch hohe N_{\min} -Gehalte im Boden, da die Dauerkulturen im Etablierungsjahr nur einen sehr geringen N-Bedarf haben. Beim Miscanthus lässt sich vermuten, dass durch die Pflanzung und den lange offen liegenden Boden eine vermehrte Mineralisation im Boden stattgefunden hat. Miscanthus wird mit nur einem Rhizom pro Quadratmeter gepflanzt, wodurch der Bestand im ersten Jahr die Reihen nicht schließt. Auch die Zwischenfrucht Ramtillkraut, die im ersten Jahr statt Mais und GPS-Roggen als Hauptfrucht stand, konnte nicht allen verfügbaren Stickstoff aufnehmen. Die Düngemengen wurden 2015 deshalb moderat gewählt. Die Silphie und das Riesenweizengras konnten den Großteil des verfügbaren Stickstoffs nutzen und lieferten hohe Erträge. Switchgras und besonders Miscanthus benötigen zwei bis drei Jahre, bis sie vollständig etabliert sind, daher waren auch 2015 die N_{\min} -Werte noch hoch. In den Folgejahren nahmen aber auch unter diesen Kulturen

die N_{\min} -Werte ab. Waren die Kulturen erfolgreich etabliert, so waren im Vergleich zum Mais deutlich geringere N_{\min} -Werte zu finden. Nach dem GPS-Roggen wurde als Zwischenfrucht Ramtillkraut angebaut, das in den meisten Jahren ebenfalls die N_{\min} -Gehalte reduzieren konnte. Die N_{\min} -Gehalte der Etablierungsjahre auf diesem Standort zeigten deutlich, dass ein zu hohes Stickstoffangebot von den Dauerkulturen in dieser Phase nicht genutzt werden kann, ein Verzicht auf eine Stickstoffdüngung ist also nicht nur rechtlich, sondern auch ökonomisch und ökologisch sinnvoll.

Der Standort Hötzelstdorf wies am Versuchsanfang im Frühjahr 2014 schon geringere N_{\min} -Werte auf. Durch die Höhenlage, die niedrigeren Temperaturen und die dadurch verkürzte Vegetationszeit setzt die Mineralisation später ein und endet eher. Dadurch war das Stickstoffangebot im Etablierungsjahr geringer und zum Vegetationsende waren die N_{\min} -Werte niedriger als in Gelchsheim. Auch auf diesem Standort waren die N_{\min} -Werte unter den Dauerkulturen deutlich geringer als unter Mais. Die erhöhten Werte 2017 im Riesenweizengras sind nicht ganz nachvollziehbar, die Stickstoffdüngung war mit 90 kg N/ha eher moderat.



Boden N_{min}-Gehalte zum Vegetationsende am warm-trockenen Standort Gelchsheim in den Jahren 2014 bis 2019, RWG = Riesenweizengras, SG = Switchgras, ZF = Zwischenfrucht Ramtillkraut



Boden N_{min}-Gehalte zum Vegetationsende am kühl-feuchten Standort Hötzelndorf in den Jahren 2014–2019, RWG = Riesenweizengras, SG = Switchgras, ZF = Zwischenfrucht Ramtillkraut

Potenzial der Dauerkulturen für den Gewässerschutz

Die Ergebnisse veranschaulichen sowohl die Gefahr einjährig bewirtschafteter Kulturflächen als auch das Potenzial von Dauerkulturen und Zwischenfruchtanbau zur Minimierung der Auswaschung. Besonders die Ergebnisse der Bodenuntersuchung unter den mehrjährigen Energiepflanzen waren sehr vielversprechend. Sie belegen das Potenzial der mehrjährigen Kulturen für den Bereich Gewässerschutz durch ihren erhöhten Stickstoffentzug über die gesamte Vegetationsperiode. Da auf den Flächen der mehrjährigen Energiepflanzen im Herbst keine Bodenbearbeitung erfolgt, und teilweise ein Wiederaufwuchs und ein intaktes

Wurzelsystem auch nach der Ernte im Herbst noch Stickstoff aufnehmen können, sind diese Kulturen den Grundwasserschutz betreffend sehr vielversprechend. Laut den vorliegenden Erkenntnissen ist daher nach erfolgreicher Etablierung und Entwicklung eines dichten Bestands mit nur einer geringen Nitratauswaschung unter den getesteten mehrjährigen Energiepflanzen zu rechnen. Diese Kulturen könnten daher möglicherweise in der Beratung als interessante Alternative besonders für grundwassersensible Gebiete angegeben werden.

Quellenverzeichnis

- [1] ADLER, P. R.; SANDERSON, M. A.; BOATENG, A. A.; WEIMER, P. J.; JUNG, H.-G. (2006): Biomass Yield and Biofuel Quality of Switchgrass Harvested in Fall or Spring. *Agronomy Journal*, Bd. 98, S. 1518-1525
- [2] BASISDATEN 1E, DEZEMBER BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2020): Basisdaten (Düngeberatung/Düngeverordnung), Tabelle 9e. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/basisdaten21_tabelle_1e_20210302.pdf https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/basisdaten21_tabelle_1e_20210205.pdf (Stand: 22.02. 2021)
- [3] BASISDATEN 9E, DEZEMBER (2020) Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2020): Basisdaten (Düngeberatung/Düngeverordnung), Tabelle 9e. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/basisdaten21_tabelle_9e_20210205.pdf (Stand: 31.05. 2021)
- [4] BAUFELD, P.; UNGER J.-G.; HEIMBACH, U. (2011): Westlicher Maiswurzelbohrer. Julius-Kühn-Institut (JKI). URL: <https://www.julius-kuehn.de/media/Veroeffentlichungen/Flyer/Maiswurzelbohrer.pdf> (Stand: 31.05.2021)
- [5] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) MÄRZ (2021): Präparate zur Unkrautbekämpfung in Riesenweizengras* als nachwachsender Rohstoff https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/riesenweizengras_herbizid%C3%BCbersicht.pdf (Stand: 31.05.2021)
- [6] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) AUGUST (2019): Unkrautbekämpfung in Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) <https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/030142/index.php> (Stand: 02.06.2021)
- [7] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2023): Förderwegweiser. URL: <https://www.stmelf.bayern.de/foerderung/index.html> (Stand: 16.08.2023)
- [8] BIERTÜMPFEL, A. (2008): Anbautelegramm Chinaschilf. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. URL: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/misc0708.pdf> (Stand: 02.06.2021)
- [9] BIERTÜMPFEL, A.; CONRAD, M. (2012): Durchwachsene Silphie. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Bayern. Nr. 558. 2. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), S. 36–39
- [10] BIERTÜMPFEL, A.; CONRAD, M. (2013): Verbundvorhaben: Erhöhung des Leistungspotenzials und der Konkurrenzfähigkeit der Durchwachsenen Silphie als Energiepflanze durch Züchtung und Optimierung des Anbauverfahrens; Teilvorhaben 2: „Optimierung des Anbauverfahrens und Bereitstellung von Selektionsmaterial“ (Projekt-Nr.: 99.05, Laufzeit: 01.04.2010 bis 30.04.2013, FKZ-Nr.: 22012809 der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. [FNR]). Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 78 Seiten
- [11] BIERTÜMPFEL, A.; RUDEL, H.; WERNER, A.; VETTER, A.; GRAF, T. (2011): *Miscanthus*. 15 Jahre Thüringer Ergebnisse. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. URL: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/misc0611.pdf> (Stand: 02.06.2021)
- [12] BIERTÜMPFEL, A.; Wagner, M.; Gödeke, K. (2015): Prüfung der Anbau- und Verwertungseignung alternativer Biogaspflanzen unter Thüringer Bedingungen. Abschlussbericht Projekt-Nr. 94.16, De-

zember 2015. Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 35 Seiten

- [13] BOESE, L.; REICHARDT, I. (2013): Mehrjährige Energiepflanzen im Vergleich. In: DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (DWA) (Hrsg.): Energietage Biogas mit begleitender Fachausstellung, Garching, 09.–11. September. Hennef: DWA, S. 1-8
- [14] BORKOWSKA, H.; MOLAS, R. (2013): Yield comparison of four lignocellulosic perennial energy crop species. *Biomass and Bioenergy*, Bd. 51, S. 145-153
- [15] BORKOWSKA, H.; MOLAS, R.; KUPCZYK, A. (2009): Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) Cultivated on Light Soil, Height of Yield and Biomass Productivity. *Polish Journal of Environmental Studies*, Bd.18, Nr. 4, S. 563-568
- [16] BORKOWSKA, H.; STYK, B. (2006): STAUDE MIT POTENZIAL – SIDA ALS ENERGIE- UND FASERPFLANZE. IN: ENERGIE PFLANZEN II/2006. URL: http://www.sidapflanze.at/app/download/6461624984/EP_2_06_sida.pdf?t=1345552832 (Stand: 02.06.2021)
- [17] BRUHN, K.; REISINGER, K. (2015): Wärmegewinnung aus Biomasse. Vortragsfolien mit Erläuterungen. 3., erw. u. bearb. Aufl. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Berichte aus dem TFZ 8, 89 Seiten, ISSN 1614-1008
- [18] BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (2021): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel – Standardsuche. URL: <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp> (Stand 02.06.2021)
- [19] CIRIA, C.S.; BARRO, R.; SANZ, M.; CIRIA, P. (2020): Long-Term Yield and Quality Performance of Perennial Energy Grasses (*Agropyron* spp.) on Marinal Land. *Agronomy* 2020, 10,1051
- [20] CSETE, S.; STRANCZINGER, S.; SZALONTAI, B.; FARKAS, A.; PAL, R. W.; SALAMON-ALBERT, É.; KOCSIS, M.; TÓVÁRI, P.; VOJTELA, T.; DEZSÖ, J.; WALCZ, I.; JANOWSKY, Z.; JANOWSKY, J.; BORHIDI, A. (2011): Tall Wheatgrass Cultivar Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1) as a Potential Energy Crop for Semi-Arid Lands of Eastern Europe. Chapter 13. In: NAYERIPOUR, MAJID; KHESHTI, MOSTAFA (Hrsg.): Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources. London, UK: IntechOpen Limited, S. 269–294, ISBN 978-953-51-6081-6
- [21] DAUBER, J.; MÜLLER A. L.; SCHITTENHELM S.; SCHOO, B.; SCHROPP, Q.; SCHRADER, S.; SCHRÖETTER, S. (2016): Schlussbericht zum Vorhaben: Thema: Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie; Teilvorhaben 2: Wasserhaushalt und Ökophysiologie der Durchwachsenen Silphie; Laufzeit 01.02.2012 bis 31.07.2015. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 126p
- [22] DOUGLAS, J.; LEMUNYON, J.; WYNIA, J.; SALON, P. (2009): Planting and Managning Switchgrass as a Biomass Energy Crop. Hg. v. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service (Technical Note 3)
- [23] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFEROHSTOFFE E. V. (2014): Sida - *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. URL: <http://energiepflanzen.fnr.de/pflanzen/mehrjaehrige/sida/> (Stand: 02.06.2021)
- [24] FORMOWITZ, B.; FRITZ, M. (2014): EIGNET SICH MISCANTHUS ALS BIOGASSUBSTRAT? IN: BIOGAS-FORUM BAYERN NR. I-09/2010. ALB BAYERN E. V. (HRSG.). URL: http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Eignet_sich_Miscanthus_als_BiogassuBstrat_2014.pdf (Stand: 02.06.2021)

- [25] FORMOWITZ, B.; FRITZ, M.; GEHRING, K. (2012): Miscanthus als Energie- und Rohstoffpflanze. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (Hrsg.): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Bayern. Nr. 558. 2. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), S. 66–68
- [26] FÖRSTER, L.; BURMEISTER, J.; WALTER, R.; EBERTSEDER, F.; WIESMEIER, M.; SOLBACH, J.; PARZEFALL, S.; HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2020): Ertragsstabilität, Etablierung und Umweltparameter mehrjähriger Energiepflanzen Dauerkulturen II. Kurzfassung 2020.
- [27] FRANZARING, J.; HOLZ, I.; KAUF, Z.; FANGMEIER, A. (2014): Reaktionen der Energiepflanzen Sida und Silphie auf erhöhte Temperaturen, reduzierte Niederschläge und den CO₂-Düngeeffekt, Abschlussbericht, Hohenheim: Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie, 88 Seiten
- [28] FRITZ, M.; FORMOWITZ, B.; JODL, S.; EPPEL-HOTZ, A.; KUHN, W. (2009): Miscanthus. Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis. Projektpartner: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Abteilung Landespflege. Berichte aus dem TFZ, Nr. 19. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 37 Seiten, ISSN 1614-1008
- [29] GANSBERGER, M.; MONTGOMERY, L. F. R.; LIEBHARD, P. (2015): Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review. *Industrial Crops and Products*, Bd. 63, Nr. 1, S. 362-372
- [30] GEIßENDÖRFER, H. (2012): Mehr Gas mit Riesengras. *Dlz-Agrarmagazin*, Bd. 63, Nr. 10, S. 54-57
- [31] GLOWACKA, A.; SZOSTAK, B.; KLEBANIUK, R. (2020): Effect of Biogas Digestate and Mineral Fertilisation on the Soil Properties and Yield and Nutritional Value of Switchgrass Forage. *Agronomy*, 10, 490
- [32] GRUNEWALD, J. (2012): RUTENHIRSE, SWITCHGRAS. PANICUM VIRGATUM L. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Sachsen. Nr. 555. 1. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), S. 48
- [33] HARTMANN, A.; BURMEISTER, J.; FRITZ, M.; WALTER, R. (2018): Dauerkulturen. Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung. Förderkennzeichen: N/14/10, 01.04.2014–31.03.2017. Unter Mitarbeit von J. Wittmann, M. Lehner, M. Krinner, F. Heimler, S. Wiesent, F. Neumayr et al. Berichte aus dem TFZ, Nr. 54. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 240 Seiten, ISSN 1614-1008
- [34] HARTMANN, A.; FORMOWITZ, B.; FRITZ, M. (2011): Miscanthus. Vielfältig nutzbare Dauerkultur. TFZ-Kompakt, Nr. 5. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 15 Seiten
- [35] HARTMANN, H.; REISINGER, K.; TUROWSKI, P.; ROßMANN, P. (HRSG.) (2013): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Unter Mitarbeit von K. Bruhn, J.-M. Gittel, H. Eismann, H. Nielsen und M. Scherle. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). 3., vollst. überarb. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 192 Seiten

- [36] HARTMANN, A.; LUNEBERG, T.; STOCKMANN, F.; FRITZ, M.; BRODMANN, R. (20184): Durchwachsene Silphie als Biogassubstrat. In: BIOGAS FORUM BAYERN NR. 1-25/20184. ALB BAYERN E. V. (HRSG.). URL: http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Durchwachsene_Silphie_als_Biogassubstrat.pdf (Stand: 02.06.2021)
- [37] HEINZ, M.; ROTH, T. (2018): Hohes Weizengras als Biogassubstrat. In: BIOGAS FORUM BAYERN NR. 1-22/2013. ALB BAYERN E. V. (HRSG.). URL: <http://www.biogas-forum-bayern/media/hohes-weizengras-als-biogassubstrat.pdf> (Stand: 25.05.2021)
- [38] HERRMANN, C.; IDLER, C.; HEIERMANN, M. (2016): Biogas crops grown in energy crop rotations: Linking chemical composition and methane production characteristics. *Bioresource Technology*, Bd. 206, April, S. 23-35
- [39] HIMKEN, M.; LAMMEL, J.; NEUKIRCHEN, D.; CZYPIONKA-KRAUSE, U.; OLFS, H.-W. (1997): Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*, Bd. 189, Nr. 1, S. 117-126
- [40] IQBAL, Y.; GAUDER, M.; CLAUPEIN, W.; GRAEFF-HÖNNINGER, S.; LEWANDOWSKI, I. (2015): Yield and quality development comparison between *miscanthus* and *switchgrass* over a period of 10 years. *Energy*, Bd. 89, September, S. 268-276
- [41] JABLONOWSKI, N. D.; KOLLMANN, T.; NABEL, M.; DAMM, T.; KLOSE, H.; MÜLLER, M.; BLÄSING, M.; SEEBOLD, S.; KRAFFT, S.; KUPERJANS, I.; DAHMEN, M.; SCHURR, U. (2017): VALORIZATION OF SIDA (*SIDA HERMAPHRODITA*) BIOMASS FOR MULTIPLE ENERGY PURPOSES. *GCB BIOENERGY*, BD. 9, NR. 1, S. 202-214
- [42] JOHN VANDEVENDER, ALDERSON, WEST VIRGINIA PLANT MATERIALS CENTER: *Switchgrass Plant guide*. URL: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/wvpmcpg7033.pdf (Stand: 26.05.2021)
- [43] KIESEL, A. (2019): *Miscanthus für die Biogasnutzung: Anbau und Ertragspotential*. Vortrag. In: C.A.R.M.E.N. E. V. (Hrsg.): C.A.R.M.E.N.-Fachgespräch, Reutlingen, 17.09.2019, Straubing: C.A.R.M.E.N. e. V., 19 Seiten
- [44] KIESEL, A.; WAGNER, M.; LEWANDOWSKI, I. (2017): Environmental Performance of *Miscanthus*, *Switchgrass* and *Maize*: Can C4 Perennials Increase the Sustainability of Biogas Production? *Sustainability*, Bd. 9, Nr. 5, 1, S. 1-20
- [45] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2013): *Faustzahlen Biogas*. 3. Ausgabe. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 360 Seiten, ISBN 978-3-941583-85-6
- [46] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (KTBL) (HRSG.): (2012): *Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus*. Mit Online-Zugang www.ktbl.de. Unter Mitarbeit von T. Belau, H. Döhler, H. Eckel, J. Frisch, N. Fröba, M. Funk et al. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ). KTBL-Datensammlung. 2. Aufl. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 368 Seiten, ISBN 978-3-941583-65-8

- [47] KURUCZ, E.; FÁRI, M. G. (2013): Improvement of Germination Capacity of *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby by Seed Priming Techniques. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, Bd. 4, Nr. 2, S. 137-142
- [48] LEMMER, A. (2019): Mechanische Aufbereitung von lignocellulosehaltiger Biomasse. Einfluss auf den Methanertrag & Energiebilanz der Aufbereitung. C.A.R.M.E.N. Fachgespräch. Reutlingen, 17.09.2019, 32 Seiten
- [49] LEWANDOWSKI, I.; CLIFTON-BROWN, J.; TRINDADE, L. M.; VAN DER LINDEN, G. C.; SCHWARZ, K.-U.; MÜLLER-SÄMANN, K.; ANISIMOV, A.; CHEN, C.-L.; DOLSTRA, O.; DONNISON, I. S.; FARRAR, K.; FONTEYNE, S.; HARDING, G.; HASTINGS, A.; HUXLEY, L. M.; IQBAL, Y.; KHOKHLOV, N.; KIESEL, A.; LOOTENS, P.; MEYER, H.; MOS, M.; MUYLLE, H.; NUNN, C.; ÖZGÜVEN, M.; ROLDÁN-RUIZ, I.; SCHÜLE, H.; TARAKANOV, I.; VAN DER WEIJDE, T.; WAGNER, M.; XI Q.; KALININA, O. (2016): Progress on Optimizing *Miscanthus* Biomass Production for the European Bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTIMISC. *Frontiers in Plant Science*, Bd.18, Nr. 7, S. 1-23
- [50] LEWANDOWSKI, I.; KICHERER, A. (1997): Combustion quality of biomass. Practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *European Journal of Agronomy*, Bd. 6, Nr. 3, S. 163-177
- [51] LEWANDOWSKI, I.; SCURLOCK, J. M. O.; LINDVALL, E.; CHRISTOU, M. (2003): The Development and Current Status of Perennial Rhizomatous Grasses as Energy Crops in the US and Europe. *Biomass & Bioenergy*, Bd. 25, Nr. 4, S. 335-361
- [52] LÜTKE ENTRUP, N.; OEHMICHEN, J. (2006): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 1: Grundlagen. Bonn: AgroConcept, 823 Seiten, ISBN 9783981057515
- [53] MANGOLD, A. (2019): *Miscanthus* als Biogassubstrat: Methangehalt und Silageeigenschaften. In: C.A.R.M.E.N. E. V. (Hrsg.): C.A.R.M.E.N.-Fachgespräch, Reutlingen, 17.09.2019, Straubing: C.A.R.M.E.N. e. V., 21 Seiten
- [54] MASSÉ, D.; GILBERT, Y.; SAVOIE, P.; BELANGER, G.; PARENT, G.; BABINEAU, D. (2010): Methane yield from switchgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada. *Bioresource Technology*, Bd. 101, Nr. 24, S. 9536-9541
- [55] MAST, B.; LEMMER, A.; OECHSNER, H.; REINHARDT-HANISCH, A.; CLAUPEIN, W.; GRAEFF-HÖNINGER, S. (2014): Methane yield potential of novel perennial biogas crops influenced by harvest date. *Industrial Crops and Products*, Bd. 58, July, S. 194-203
- [56] MCLAUGHLIN, S. B.; SAMSON, R.; BRANSBY, D.; WISELOGEL, A. (1996): Evaluating physical, chemical, and energetic properties of perennial grasses as biofuel. In: NATIONAL BIOENERGY CONFERENCE (Hrsg.): *Bioenergy '96 – Proceedings of the Seventh National Bioenergy Conference*, September 15-20. Muscle Shoals, AL: Southeastern Regional Biomass Energy Program, Tennessee Valley Authority, S. 1-8
- [57] MCLAUGHLIN, S.; BOUTON, J.; BRANSBY, D.; CONGER, B.; OCUMPAUGH, W.; PARRISH, D.; TALIAFERRO, C.; VOGEL, K.; WULLSCHLEGER, S. (1999): Developing Switchgrass as a Bioenergy Crop. In: JANICK, J. (Hrsg.): *Perspectives on new crops and new uses. Proceedings of the 4th National symposium "New crops and new uses: biodiversity and agricultural sustainability"*, November 8-11, 1998, Phoenix, Arizona. Alexandria, VA, USA: ASHS Press, S. 282-299

- [58] MIEDANER, T.; LONGIN, F.(2012): Unterschätzte Getreidearten. Einkorn, Emmer, Dinkel & Co. Clenze: Agrimedia/Erling-Verlag, 136 Seiten, ISBN 978-3-86263-079-0
- [59] NAHM, M.; BURY, M.; FACCIOTTO, G.; GRAVES, A.; KAHLE, H.-P.; MORHART, C.; PARIS, P.;MARTENS, R. (2018): Short Management Guide Sida hermaphrodita. URL: <http://www.researchgate.net/publication/341298240> (Stand: 31.05.2021)
- [60] NAHM, M.; MORHART, C. (2018): Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) as perennial multipurpose crop: biomass yields, energetic valorization, utilization potentials, and management perspectives. *GCB Bioenergy*, 10, 393–404.
- [61] N. L. CHRESTENSEN ERFURTER SAMEN- UND PFLANZENZUCHT GMBH (2019): Die Durchwachsene Silphie. *Silphium perfoliatum* L. Erfurt, URL: <https://www.chrestensen.de/durchwachsene-silphie/> (Stand 31.05.2021)
- [62] PARZEFALL, S.; GRIEB, M.; FRITZ, M. (2020): Entwicklung von Umbruchstrategien für Dauerkulturflächen und Weiterführung des Gärestdüngungsversuchs in Durchwachsener Silphie. Zwischenbericht 2020.
- [63] PFEIFER, J.; HOTHO A. (2013): Standortangepasster Anbau von Biomasse auf schwermetallkontaminierten Arealen der Region Freiberg unter Nutzung bewährter Anbausysteme auf Bergbaufolgelandschaften der Region Chomutov – Begleitstudie zum Anbauversuch im Rahmen des Ziel3 Projektes 'RekultA', 66 Seiten
- [64] SCHEINOST, P.; TILLEY, D.; OGLE, D.; STANNARD, M. (2008): Plant guide for Tall Wheatgrass (*Thinopyrum ponticum*). (Podp.) Z.-W. Liu & R.-C. Wang, Plant Symbol = THP07. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (Hrsg.). Edited August 10, 2008. Pullman, Washington: Plant Materials Center, 6 Seiten
- [65] SCHMIDT, A.; LEMAIGRE, S.; DELFOSSE, P.; FRANCKEN-WELZ, H. VON; EMMERLING, C. (2018): Biochemical methane potential (BMP) of six perennial energy crops cultivated at three different locations in W-Germany. *Biomass Conversion and Biorefinery*, Jg. 8, Nr. 4, S. 873–888
- [66] SCHOO, B.; SCHROETTER, S.; BÖTTCHER, U.; KAGE, H.; SCHITTENHELM, S. (2015): Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Durchwachsenen Silphie. In: KAGE, H.; SIELING, K.; FRANCKE-WELTMANN, L.; GESELLSCHAFT FÜR PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN E. V. (GFP) (Hrsg.): Multifunktionale Agrarlandschaften - Pflanzenbaulicher Anspruch, Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen. Kurzfassungen der Vorträge und Poster. 58. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., 22.-24. September, Braunschweig. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nr. 27. Göttingen: Verlag Liddy Halm, S. 19-20, ISSN 0934-5116
- [67] SCHOO, B.; WITTICH, K. P.; BÖTTCHER, U.; KAGE, H.; SCHITTENHELM, S. (2017): Drought Tolerance and Water-Use Efficiency of Biogas Crops. A Comparison of Cup Plant, Maize and Lucerne-Grass. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Bd. 203, Nr. 2, S. 117-130
- [68] SCHRABAUER, J. (2010): Trockentolerante, perennierende Gräserarten für eine Futternutzung bzw. energetische Verwertung im semihumiden und semiariden Produktionsgebiet. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur, Wien. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 177 Seiten
- [69] SCHRABAUER, J. (2013): Die besten Vier für Biogas. Mehrjährige Gräser. In: *Dlz- Agrarmagazin*, Jg. 54, Nr.11, S.112–115

- [70] SIWEK H.; WŁODARCZYK M.; MOZDZER E.; BURY M.; KITCZAK T (2019): Chemical Composition and Biogas Formation potential of *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum*. Applied Sciences, Bd. 9, Nr. 19, S. 4016, 1-11
- [71] STANFORD, G. (1992): *Silphium Perfoliatum* (cup-plant) as a new forage. In: Smith, D. D.; Jacobs, C. A. (Hrsg.): Recapturing a Vanishing Heritage. Proceedings of the 12th North American Prairie Conference, August 5-9, 1990, Cedar Falls, Iowa. Cedar Falls, Iowa, USA: University of Northern Iowa, S. 33-38
- [72] STOLZENBURG, K.; BRUNS, H.; MONKOS, A.; OTT, J.; SCHICKLER, J. (2016): Produktion von Ko-substraten für die Biogasanlage. Ergebnisse der Versuche mit Durchwachsener Silphie (*Silphium perfoliatum*) in Baden-Württemberg. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (Hrsg.), 100 Seiten
- [73] STOLZENBURG, K.; MASTEL, K. (2010): Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) – Anbau, Verwertung und rechtliche Rahmenbedingungen. Hg. v. Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg. URL: <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Kulturpflanzen/Miscanthus>, 12
- [74] TALIAFERRO, C. M. (2002): Breeding and Selection of new Switchgrass. Varieties for Increased Biomass Production. December 2002. ORNL-Report, Nr. ORNL/SUB-02-19XS162C/01. Oak Ridge, Tennessee, USA: Oak Ridge National Laboratory, managed by UT-Battelle LLC, 69 Seiten
- [75] TECHNOLOGIE UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (2020): FRED Feste Regenerative Energieträger Datenbank URL: <https://www.fred.bayern.de/cadenza/pages/selector/index.xhtml> (Stand 21.07.2020/26.05.2021)
- [76] THIELEN, S.; FRANKEN-WELZ, H.; LANG, O.; ANDERL, A.; GOETZ, M. (2017) Versuchsbericht Biomasse 2016, Landwirtschaftliches Versuchswesen Rheinland-Pfalz, Stand: 20.01.2017. DLR-Bericht, Nr. 11/2016. Bad Kreuznach: Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (DLR), Abt. Landwirtschaft (Hrsg.), 35 Seiten
- [77] TRESELER, C. H.; PUDE, R.; FRANKENH.; NOGA, G. (2006): Anbauwürdigkeit und Rohstoffqualität von ausgewählten Switchgrass-Sorten (*Panicum virgatum* L.) für Baustoffanwendungen. Pflanzenbauwissenschaften, Jg. 10, Nr. 2, S. 75-81
- [78] TRESELER, C.-H. (2006): Optimierung ausgewählter Biomasseparameter von Switchgras (*Panicum virgatum* L.) für die industrielle Verwertung. Dissertation. Bonn: Universität Bonn – ILB, 147 Seiten, ISBN 978-3-932887-87-1
- [79] VEREIN ZUR FÖRDERUNG VON BIOMASSE UND NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN FREIBERG E. V. (HRSG.) (2013): Anbau und Verwertungsmöglichkeiten von *Sida hermaphrodita* in der Tschechischen Republik. Praxisempfehlungen. Projektpartner: Institut für Pflanzenbau Prag. Freiberg: Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e. V., Projekt RekulTA, 23 Seiten, ISBN 978-80-87011-74-4

Notizen:

