



# **Entwicklung von Umbruch- strategien für Dauerkulturflächen und Weiterführung des Gärrestdüngungsversuchs in Durchwachsener Silphie**

**Kurzfassung TFZ-Bericht 75**

Sebastian Parzefall  
Michael Grieb  
Dr. Maendy Fritz

**Straubing, Juni 2022**

**Titel:** Entwicklung von Umbruchstrategien für Dauerkulturflächen und Weiterführung des Gärrestdüngungsversuchs in Durchwachsener Silphie (Kurzfassung TFZ-Bericht)

**Autoren:** Sebastian Parzefall  
Michael Grieb  
Dr. Maendy Fritz

**Mitarbeiter:** Stefan Wiesent  
Isabella Wohlfeld (Bachelorandin, TUM)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Förderkennzeichen G2/N/18/04 gefördert. Die Projektlaufzeit ging vom 01.01.2019 bis zum 31.12.2021. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2022  
Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

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

**Hrsg.:** Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)  
Schulgasse 18, 94315 Straubing

**Internet:** [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

**Redaktion:** Sebastian Parzefall, Anna Grundner, Ulrich Eidschink  
**Verlag:** Eigenverlag  
**Erscheinungsort:** Straubing  
**Erscheinungsjahr:** 2022

**Fotos:** TFZ

## Abstract (deutsch)

Die Dauerkulturen *Silphium perfoliatum* (Durchwachsene Silphie) und *Sida hermaphrodita* (Sida) können als Inputsubstrat für die Biogaserzeugung eingesetzt werden. Nach Ablauf der Nutzungsdauer müssen mehrjährige Energiepflanzen wieder umgebrochen werden. Im Zeitraum von 2019 bis 2021 wurden in Ostbayern Feldversuche durchgeführt, um die Stickstoff-Düngung (N-Düngung) von Durchwachsener Silphie (D. Silphie) zu untersuchen und Strategien für den Umbruch von D. Silphie und Sida zu entwickeln.

Im Versuch zur Optimierung der N-Düngung von D. Silphie wurden drei Faktoren variiert: 1) Düngerart (Gärreste nur Frühjahr, Gärrest Herbst und Frühjahr, Mineraldünger), 2) Düngungszeitpunkt im Frühjahr (früh, früh und spät) und 3) N-Bedarfswert (100, 150, 200 kg N/ha, inkl.  $N_{\min}$ ). Im Gesamtmittel wurde ein Ertrag von 136,6 dt TM/ha erreicht. Eine mineralische N-Düngung führte gegenüber einer Gärrestdüngung zu signifikant höheren Erträgen und N-Abfuhr. Bei einer Gärrestdüngung nur im Frühjahr wurden gegenüber der Variante mit Herbstdüngung ebenfalls signifikant höhere Erträge erreicht, was auf eine schlechtere N-Effizienz der Herbstgabe hinweist. Eine Aufteilung der Frühjahrsdüngung zeigte keine eindeutigen Effekte. Bis zu einem N-Bedarfswert von 150 kg N/ha nahmen die Trockenmasseerträge signifikant zu, bei weiterer Steigerung der N-Zufuhr war der Ertragszuwachs geringer. Die N-Gehalte des Ernteguts lagen mit 0,73 kg N/dt TM auf einem niedrigen Niveau. Dadurch fiel auch die N-Abfuhr sehr niedrig aus, so dass in den mit Gärrest gedüngten Varianten hohe N-Bilanzüberschüsse gegeben waren. Dennoch waren nach der Ernte und zu Vegetationsende durchgehend sehr niedrige  $N_{\min}$ -Mengen im Boden vorhanden. Eine vollständige Deckung des N-Bedarfs von D. Silphie ausschließlich mit Gärresten erscheint nach derzeitigem Versuchsstand wegen nicht optimaler N-Verwertung zumindest bei oberflächlicher Ausbringung nicht sinnvoll.

Für die Untersuchung des Umbruchs von D. Silphie und Sida wurden die Umbruchmethode (Fräse, Grubber, Pflug) und die nachfolgende Kultur (Wintergetreide, Mais) variiert. Der Umbruch und die Ansaat von Triticale wurde bei beiden Dauerkulturen Ende September 2019 durchgeführt, Mitte April des Folgejahrs wurde Mais gesät. Im zweiten Jahr nach dem Umbruch wurden die Kulturen getauscht. Bezüglich Sida wurde ein zweiter Umbruchversuch im Frühjahr 2021 mit Mais als Folgekultur angelegt. Der geringste Durchwuchsbesatz war bei beiden Dauerkulturen nach dem Umbruch mit der Fräse (ca. 7–8 cm tief) zu beobachten, wobei bei Sida weniger deutliche Unterschiede zwischen den Varianten vorhanden waren. Durch die Fräse zerkleinerte Wurzeln stellten für einen Wiederaustrieb weniger Reservestoffe zur Verfügung, so dass kleinere, schwächere Triebe mit einer geringeren Triebkraft resultierten. Einzelne kräftige Triebe wiesen allerdings darauf hin, dass eine etwas größere Arbeitstiefe gewählt und gleichmäßig eingehalten werden sollte. Der Umbruch von D. Silphie mit dem Pflug führte nachfolgend zum stärksten Durchwuchs, der zudem zeitlich versetzt erschien, was die Bekämpfung erschwerte. Als Folgekultur erwies sich Mais besser geeignet, da dieser Vorteile bei der chemischen Bekämpfung und durch seine Wuchshöhe eine bessere Durchwuchsunterdrückung bietet. Eine erhöhte N-Nachlieferung nach dem Umbruch der Dauerkulturen war nicht festzustellen, dafür war jedoch vermutlich die Standdauer der untersuchten Bestände mit fünf Jahren zu kurz.

## Abstract (englisch)

The perennial crops *Silphium perfoliatum* (cup plant) and *Sida hermaphrodita* (sida) can be used as input substrate for biogas production. At the end of their useful cropping time, stands with perennial energy crops must be converted to arable land again. In the period from 2019 to 2021, field trials were conducted in Eastern Bavaria to investigate the nitrogen (N) fertilisation of cup plant and to develop strategies for the conversion of cup plant and sida.

In the field trial to optimise N fertilisation of cup plant, three factors were varied: 1) type of fertiliser (digestate only spring, digestate autumn and spring, mineral fertiliser), 2) fertilisation timing in spring (early, early and late) and 3) N demand (100, 150, 200 kg N/ha, incl.  $N_{\min}$ ). The overall average yield was 136,6 dt DM/ha. Mineral N fertilisation resulted in significantly higher yields and N removal compared to digestate fertilisation. With digestate fertilisation only in spring, significantly higher yields were achieved compared to the variant with autumn fertilisation, indicating a poorer N efficiency of the autumn application. Splitting the spring fertilisation showed no clear effects. Dry matter yields increased significantly up to an N demand of 150 kg N/ha. Yield increases were lower with further increases in N supply. The N content of the harvested crop reached a level of only 0,73 kg N/dt DM. As a result, N removal was also very low, resulting in high N balance surpluses in the variants fertilised with digestate. Nevertheless, very low  $N_{\min}$  quantities were consistently present in the soil after harvest and at the end of vegetation. A complete coverage of the N requirement of cup plant exclusively with digestate does not appear to be reasonable according to the current results due to non-optimal N utilisation, at least in case of surface application.

For the study of the conversion of cup plant and Sida stands, the conversion method (rotary hoe, cultivator, plough) and the subsequent crop (winter cereals, maize) were varied. The conversion and subsequent sowing of triticale was carried out for both permanent crops at the end of September 2019, maize was sown in mid-April of the following year. In the second year after conversion, the crops were swapped. Regarding Sida, a second conversion experiment was set up in spring 2021 with maize as the subsequent crop. The lowest infestation with volunteer plants was observed after conversion with the rotary hoe (approx. 7–8 cm deep), with less clear differences between the variants in the case of Sida. Roots shredded by the rotary hoe provided less reserve material for resprouting, resulting in smaller, weaker shoots with less vigour. However, individual strong shoots indicated that a slightly greater working depth should be selected and uniformly maintained. The ploughing conversion of cup plant subsequently led to the strongest growth of volunteer plants, which also appeared staggered, making control more difficult. Maize proved to be a more suitable successor crop, as it offers advantages in chemical control and better suppression of volunteer plants due to its height. An increased N supply after the conversion of the permanent crops could not be determined, but the stand duration of the investigated perennial crops (five years) was probably too short.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Abstract (deutsch)</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract (englisch)</b> .....	<b>4</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Zielsetzung</b> .....	<b>7</b>
<b>3 Material und Methoden</b> .....	<b>8</b>
3.1 <b>Versuchsstandort</b> .....	<b>8</b>
3.2 <b>Feldversuch zur Optimierung der Stickstoffdüngung in Durchwachsener Silphie</b> .....	<b>8</b>
3.3 <b>Entwicklung von Umbruchstrategien für Dauerkulturflächen</b> .....	<b>10</b>
<b>4 Ergebnisse und Diskussion</b> .....	<b>12</b>
4.1 <b>Optimierung der Stickstoffdüngung in Durchwachsener Silphie</b> .....	<b>12</b>
4.2 <b>Umbruch von Durchwachsener Silphie</b> .....	<b>16</b>
4.3 <b>Umbruch von Sida</b> .....	<b>24</b>
<b>5 Schlussfolgerungen für die Praxis</b> .....	<b>27</b>
5.1 <b>Stickstoffdüngung von Durchwachsener Silphie</b> .....	<b>27</b>
5.2 <b>Umbruch von Durchwachsener Silphie</b> .....	<b>28</b>
5.3 <b>Umbruch von Sida</b> .....	<b>30</b>
<b>Quellenverzeichnis</b> .....	<b>31</b>

## 1 Einleitung

Der Anbau mehrjähriger Energiepflanzen wie der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) gewinnt in der landwirtschaftlichen Praxis zunehmend an Bedeutung. Wegen ihrer hohen Biomasseproduktion ist die Durchwachsene Silphie als alternatives Substrat für Biogasanlagen von Interesse [9]. Im Zeitraum von 2015 bis 2020 stieg die Anbaufläche in Bayern von etwa 65 ha auf 1.769 ha (davon 764 ha ökologische Vorrangfläche) an. Die Dauerkultur Sida (*Sida hermaphrodita* L.) ist hingegen für eine Biogasnutzung wegen geringer Methanerträge nur bedingt geeignet und kann über eine Festbrennstoffnutzung deutlich besser verwertet werden [2]. Gegenüber einjährigen Energiepflanzen wie Mais besitzen Dauerkulturen vielfältige ökologische Vorteile, insbesondere im Bereich des Boden- und Gewässerschutzes [7].

Wegen der Verwendung als Biogassubstrat ist bei Durchwachsener Silphie zur Nährstoffrückführung eine Düngung mit Gärresten anzustreben. Eine hohe Stickstoff-Ausnutzung (N-Ausnutzung) einer Gärrestdüngung durch die Pflanzen ist für eine geringe Umweltwirkung von entscheidender Bedeutung. Neben der Aufwandmenge beeinflussen insbesondere der Düngetermin und die angewandte Ausbringtechnik die Effizienz einer organischen Düngung [8]. Bisherige Untersuchungsergebnisse zur Düngung von Durchwachsener Silphie mit Gärresten weisen auf eine gute N-Verwertung hin [1]. Für eine Überprüfung der Ergebnisse und möglicher Einflussfaktoren sind weitere mehrjährige Versuche auf unterschiedlichen Standorten notwendig.

Trotz des ausdauernden Wuchstyps der entsprechenden Pflanzenarten müssen auch Flächen mit Dauerkulturen spätestens bei Eintreten deutlicher Ertragsdepressionen oder der Beendigung von Pachtverhältnissen umgebrochen werden. Da sich die Praxisetablierung dieser Kulturen noch in der Anfangsphase befindet, liegen hierzu nur wenige Informationen vor. Somit ist es bedeutend, entsprechendes Wissen zu erlangen, um interessierten Landwirten bereits vor der Anlage Informationen über die spätere Rückführung der Fläche in die betriebliche Fruchtfolge geben zu können.

## 2 Zielsetzung

### **Optimierung der Stickstoffdüngung von Durchwachsener Silphie**

Ziel des Versuchsvorhabens ist es, verschiedene Strategien und Stellgrößen der N-Düngung von Durchwachsener Silphie zu untersuchen und deren Einfluss auf den Ertrag und die N-Ausnutzung zu identifizieren. Im Vordergrund steht die Verwertung einer Gärrestdüngung von Durchwachsener Silphie zu verschiedenen Ausbringterminen. Zu diesem Zweck soll die Ertragswirkung des über eine Gärrestdüngung zugeführten Stickstoffs mit einer rein mineralischen N-Düngung verglichen werden. Zusätzlich soll die Frage beantwortet werden, ob eine Gärrestdüngung im Herbst zu Durchwachsener Silphie sinnvoll ist oder mangels Verwertung nur unnötig das Nitratauswaschungspotenzial erhöht. Auch der Zeitpunkt der Düngergabe im Frühjahr kann die Effizienz der organischen Düngung beeinflussen. Als weiterer Versuchsfaktor soll deshalb die Aufteilung der Frühjahrsdüngung auf einen oder zwei Termine untersucht werden. Durch die Variation der Höhe der N-Zufuhr soll der N-Düngebedarf von Durchwachsener Silphie überprüft werden.

Darüber hinaus soll der genaue Wachstumsverlauf inklusive des zeitlichen Verlaufs der N-Aufnahme von Durchwachsener Silphie bei optimaler N-Versorgung durch wiederholte Analysen ermittelt werden. Die gewonnenen Ergebnisse könnten zusammen mit dem bisherigen Wissen Möglichkeiten für eine weitere Optimierung der N-Verwertung aufzeigen.

### **Entwicklung von Umbruchstrategien**

Ziel ist es, Umbruchstrategien für die Dauerkulturen Durchwachsene Silphie und Sida zu entwickeln, die auf den Einsatz nicht selektiver Herbizide verzichten. Hierfür sollen verschiedene rein mechanische Umbruchverfahren als Alternative zu Totalherbiziden bewertet und zusätzlich die nachfolgende Kultur variiert werden, um Unterschiede hinsichtlich der Konkurrenzkraft gegenüber einem möglichen Dauerkulturdurchwuchs sowie die vorhandenen Bekämpfungsmöglichkeiten zu prüfen.

Des Weiteren ist die Höhe der N-Nachlieferung in den Folgejahren von großem Interesse, da aufgrund der erwarteten Humusanreicherung sowie der großen Menge an Ernte- und Wurzelrückständen ein gesteigertes Mineralisationspotenzial vermutet wird [3]. Aufgrund der relativ kurzen Standdauer der für das Projekt verfügbaren Dauerkulturflächen wird die tatsächliche Humusanreicherung allerdings deutlich geringer ausfallen als nach Ablauf der anzustrebenden Nutzungsdauer von etwa fünfzehn Jahren [5]. Dennoch sollen durch die Auswertung der Versuche erste Strategien erarbeitet werden, um Stickstoffausträge während und nach der Umbruchphase zu vermeiden.

Für beide Fragestellungen (Durchwuchs und Nährstoffnachlieferung) soll der Einfluss des für den Umbruch verwendeten Bodenbearbeitungsgeräts untersucht werden.

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Versuchsstandort**

Alle Versuchsanlagen des Projekts befanden sich in Niederbayern, südlich von Straubing. Die flache und intensiv landwirtschaftlich geprägte Region wird dem Boden-Klima-Raum „Gäu, Donau- und Inntal“ zugeordnet. Die Böden sind aus Lössablagerungen entstanden und die Bodenart (nach Bodenschätzung) ist als Lehm eingestuft. Dadurch weisen die verwendeten Flächen Bodenzahlen im Bereich von 76 bis 80 auf. Das vieljährige Mittel (1961–1990) der Jahresdurchschnittstemperaturen des Versuchsstandorts beträgt 8,3 °C bei einer Jahresniederschlagssumme von 783,5 mm. Die Standorte der Versuchsflächen bieten somit ideale Bedingungen für eine pflanzenbauliche Nutzung.

Für die Untersuchung des Umbruchs der Dauerkulturen Durchwachsene Silphie und Sida standen bereits etablierte Versuchsanlagen mit den jeweiligen Kulturen zur Verfügung. Die beiden im Herbst 2019 umgebrochenen Versuchsanlagen (je eine mit Durchwachsener Silphie und eine mit Sida) wurden ursprünglich im Jahr 2015 für Herbizidversuche angelegt und bis 2016 rein mineralisch gedüngt. Von 2017 bis 2018 wurden die beiden Dauerkulturversuche für Feldversuche zur Gärrestdüngung von Dauerkulturen genutzt. Dabei wurden die Versuchsanlagen über einen Zeitraum von zwei Jahren streifenweise rein mineralisch oder ausschließlich mit Gärresten aus der Biogaserzeugung gedüngt. Die entsprechende Sidafläche war allerdings nur bis Ende 2020 für Versuche verfügbar. Als Ersatz wurde im Frühjahr 2021 der Umbruch von Sida anhand einer weiteren Versuchsanlage untersucht. Dieser Bestand wurde im Jahr 2011 durch Pflanzung etabliert und wie die Sida des ersten Umbruchversuchs anschließend jährlich im Herbst für eine Biogasverwertung geerntet. Durch den Schnitt der Sida im grünen Zustand werden die Pflanzen stärker geschädigt als bei einer Brennstoffnutzung der abgestorbenen Biomasse im Frühjahr, weshalb beide Bestände bereits stark verunkrautet waren.

#### **3.2 Feldversuch zur Optimierung der Stickstoffdüngung in Durchwachsener Silphie**

Die zugrundeliegende Versuchsanlage wurde im Rahmen des Vorgängerprojekts im Frühjahr 2017 neu angelegt mit der Zielsetzung die N-Düngung von Durchwachsener Silphie weiter zu untersuchen. Die Etablierung erfolgte als Untersaat unter der Deckfrucht Silomais. Der Feldversuch wurde im Rahmen dieses Projekts mit identischem Aufbau fortgeführt. Als Versuchsdesign wurde ein vierfach wiederholtes lateinisches Rechteck mit vollständigen Blöcken und Säulen (semilateinisches Quadrat) verwendet, um mögliche Bodenunterschiede auszugleichen. Damit die Effekte verschiedener Stellgrößen der N-Düngung getrennt betrachtet werden können, wurde ein dreifaktorieller Versuchsaufbau gewählt (Tabelle 1, Abbildung 1).



*Tabelle 1: Faktorielle Struktur des Feldversuchs zur Optimierung der Stickstoffdüngung von Durchwachsener Silphie*

---

Faktoren	Faktorstufen
----------	--------------

---

1. Faktor: Düngerart und Strategie der Gärrestdüngung

- 1) Gärrest nur Frühjahr
- 2) Gärrest Herbst und Frühjahr
- 3) mineralisch nur Frühjahr

2. Faktor: Düngungszeitpunkt Frühjahr

- a) eine Gabe: früh
- b) Aufteilung in zwei Gaben: früh und spät

3. Faktor: N-Bedarfswert (inkl.  $N_{\min}$ )

- A) 100 kg N/ha
- B) 150 kg N/ha
- C) 200 kg N/ha

Versuchsdesign: dreifaktorielles semilateinisches Quadrat mit vier Wiederholungen

Alle Varianten erhielten einen mineralischen P- und K-Ausgleich bezogen auf die Abfuhr bei standorttypischem Ertrag.

---



*Abbildung 1: Blick auf den Feldversuch zur Optimierung der Stickstoffdüngung von Durchwachsener Silphie am 22. Juni 2021*

### 3.3 Entwicklung von Umbruchstrategien für Dauerkulturflächen

Für die Untersuchung der Umbruchstrategien wurde im Jahr 2019 je ein Versuch für den Umbruch von Durchwachsener Silphie und Sida mit identischem Aufbau angelegt (Abbildung 2). Der Umbruch der vorhandenen Sida- bzw. Silphieversuche erfolgte am 27. bzw. 30. September 2019. Während der Silphieumbruchversuch bis Projektende fortgeführt wurde, musste der entsprechende Versuch zum Umbruch von Sida Ende 2020 beendet werden. Im Jahr 2021 wurde ein neuer Versuch zum Umbruch von Sida im Frühjahr angelegt, wobei der Umbruch am 21. April durchgeführt wurde.



Abbildung 2: Blick auf die Versuchsanlage zur Untersuchung des Umbruchs von Durchwachsener Silphie am 21. Juli 2020 im ersten Jahr nach dem Umbruch

Als Varianten für die Umbruchmethode wurden die Bodenbearbeitungsgeräte Pflug, Grubber und Fräse gewählt (Abbildung 3). Neben der Umbruchmethode wurde als zweiter Versuchsfaktor die nachfolgende Kultur variiert. Da die Dauerkulturen Durchwachsene Silphie und in geringem Maße auch Sida primär in Biogasbetrieben Verwendung finden, wurden als Folgekulturen nach dem Umbruch Mais (*Zea mays* L.) und Triticale (*Triticum* × *Secale cereale*) verglichen. Im zweiten Jahr nach dem Umbruch wurden die Folgekulturen jeweils vertauscht. Wegen der feuchten Herbstwitterung im Jahr 2020 verschob sich der Saatzeitpunkt des Wintergetreides sehr weit nach hinten, so dass anstelle von Triticale nach der ersten Folgekultur Mais ein Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) gesät wurde. Auf einem Teil der Parzellen erfolgte für die Untersuchung der N-Nachlieferung keine N-Düngung. Der gedüngte Bereich diente in erster Linie für die Untersuchung des Dauerkulturdurchwuchses.



Abbildung 3: In den Umbruchversuchen eingesetzte Bodenbearbeitungsgeräte (von links nach rechts: Pflug, Grubber, Fräse)



Abbildung 4: Umbruch von Durchwachsener Silphie mit einer Fräse am 30.09.2019

Der im Jahr 2021 angelegte Versuch zum Umbruch von Sida sollte aufzeigen, wie sich ein Umbruch im Frühjahr auf den nachfolgenden Durchwuchsbesatz in einer Sommerung (Sisolmais) auswirkt. Wegen der begrenzten Fläche konnten bei vier Wiederholungen nur der Umbruch mit der Fräse und dem Pflug untersucht werden. Das Versuchsdesign war eine randomisierte Blockanlage mit vollständigen Blöcken.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Optimierung der Stickstoffdüngung in Durchwachsener Silphie

Das Ertragsniveau der Durchwachsenen Silphie betrug im Mittel der drei Versuchsjahre 116, 140 bzw. 155 dt TM/ha bei einem N-Bedarfswert (N-Düngung inklusive  $N_{min}$ ) von 100, 150 bzw. 200 kg N/ha (Abbildung 5). Es lag damit meist etwas unterhalb des Niveaus anderer Untersuchungen bei entsprechender N-Düngung [7]. Im Vergleich zum bayernweiten Mittel von 148 dt TM/ha (sechs Standorte, fünf Jahre [9] [5]) wurden ähnlich hohe Erträge erreicht. Das Ertragsniveau des untersuchten Gäubodenstandorts war jedoch mit 187 dt TM/ha deutlich höher. Im Jahr 2019 konnte dieses Niveau auch im vorliegenden Versuch bei maximaler mineralischer N-Düngung erreicht werden, während in den Jahren 2020 und 2021 die Erträge deutlich niedriger lagen. Dieser Ertragsrückgang war vermutlich witterungsbedingt, so dass nicht beurteilt werden kann, ob der Bestand im zweiten Erntejahr (2019), bereits seine maximale Ertragsfähigkeit erreicht hat.

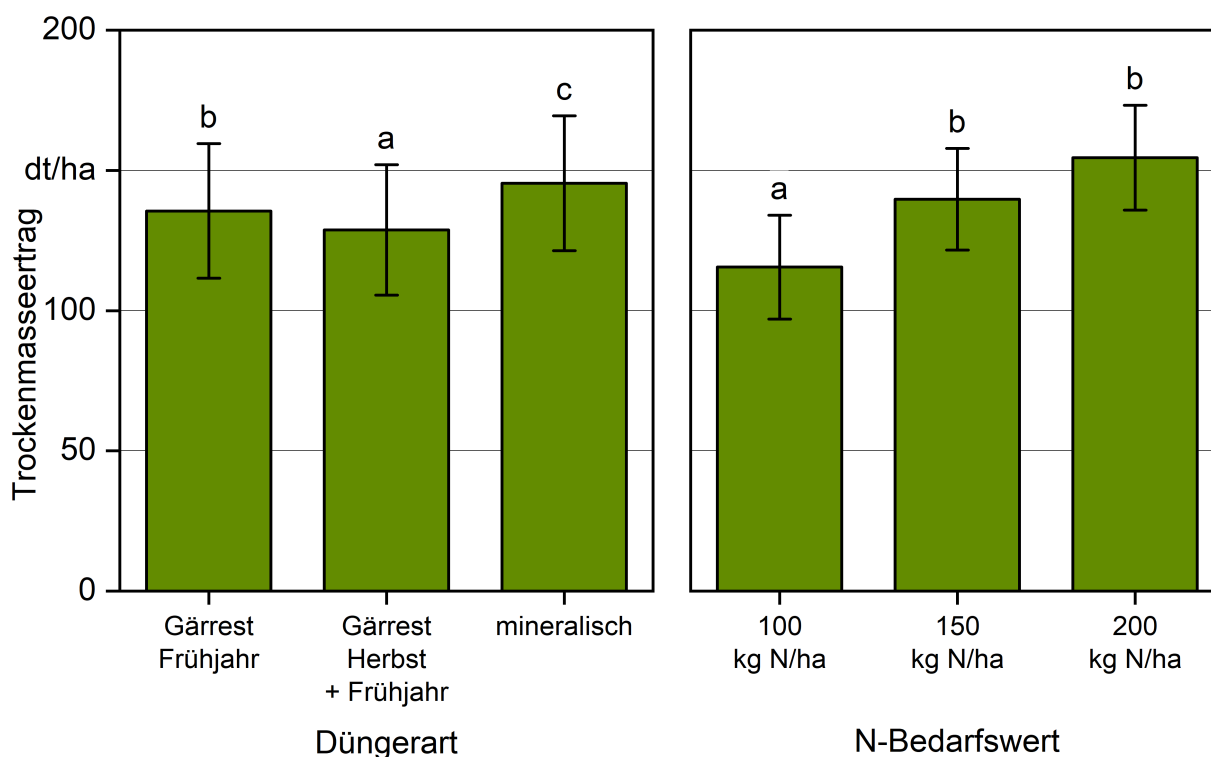


Abbildung 5: Trockenmasseertrag von Durchwachsener Silphie in Abhängigkeit von der Düngerart (links) und dem N-Bedarfswert (inkl.  $N_{min}$ , rechts); unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen nach Tukey, Fehlerbalken repräsentieren Standardabweichungen

Im Vergleich der Düngevarianten waren bei Gärrestdüngung sowohl signifikant niedrigere Erträge als auch N-Gehalte wie bei entsprechender rein mineralischer N-Düngung festzustellen (Abbildung 5). Demzufolge wurde bei einer Gärrestdüngung die unterstellte Düngewirkung nicht erreicht und es lag eine schlechtere N-Verwertung als bei einer rein mineralischen N-Düngung vor. Dennoch nahm bei beiden Düngerarten mit zunehmender N-Zufuhr der daraus resultierende Ertragszuwachs ab. Signifikante Ertragsunterschiede waren nur zwischen einem N-Bedarfswert von 100 und 150 kg N/ha vorhanden.

Neben dem für den Standort unterdurchschnittlichen Ertragsniveau lagen auch die N-Gehalte (Gesamtmittel 0,73 kg N/dt TM) deutlich unterhalb des bayerischen Standardwerts von 1,0 kg N/dt TM, der auch in einer Vielzahl anderer Untersuchungen nachgewiesen wurde [11] [5]. Es konnte zwar eine (teilweise signifikante) Zunahme der N-Gehalte mit steigender N-Zufuhr festgestellt werden, jedoch wurden selbst bei mineralischer N-Düngung und einem N-Bedarfswert von 200 kg N/ha maximal 0,88 kg N/dt TM erreicht (Abbildung 6). Im Rahmen der Untersuchung des Wachstumsverlaufs von Durchwachsener Silphie war festzustellen, dass die N-Gehalte der oberirdischen Biomasse mit zunehmender Abreife der Pflanzen deutlich zurückgingen. Dies ist ebenso wie der leichte Ertragsrückgang ab Mitte August auf Blattverluste [15], eine Nährstoffrückverlagerung in die Wurzeln und Verringerung des Blattanteils [16] zurückzuführen. Der relativ späte Erntetermin trug deshalb wahrscheinlich teilweise zu den geringen N-Gehalten bei.

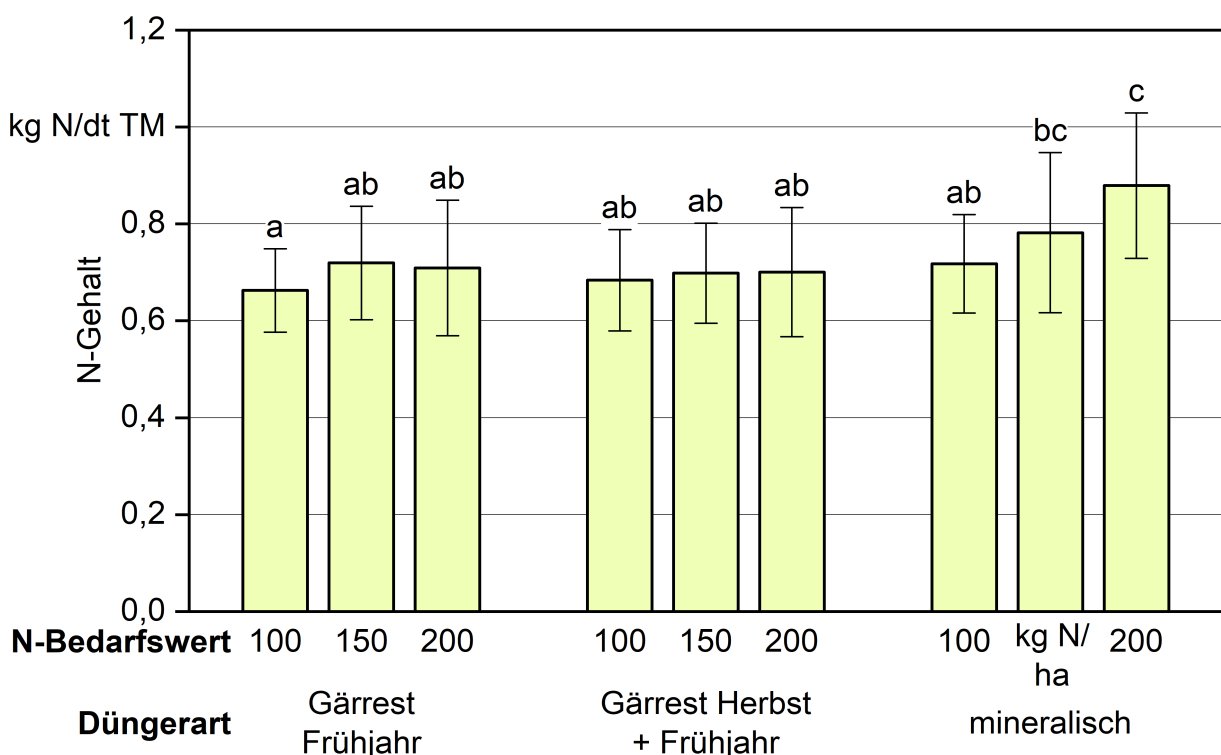


Abbildung 6: N-Gehalte des Ernteguts von Durchwachsener Silphie in Abhängigkeit von der Düngerart und dem N-Bedarfswert (inkl.  $N_{min}$ ); unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen nach Tukey, Fehlerbalken repräsentieren Standardabweichungen

Wegen der niedrigen N-Gehalte zum Erntetermin erreichte auch die N-Abfuhr in allen Jahren nur ein unterdurchschnittliches Niveau. Deshalb und wegen der insgesamt höheren N-Zufuhr bei Gärrestdüngung lagen dort entsprechend negative N-Bilanzen vor (Abbildung 7). Im Gegensatz zu anderen Versuchen [7] waren auch bei rein mineralischer N-Düngung nur bei einem Bedarfswert von 100 kg N/ha ausgeglichene N-Bilanzen vorhanden. Dennoch war das Niveau der  $N_{min}$ -Mengen nach der Ernte und zu Vegetationsende auch bei einem N-Bedarfswert von 200 kg N/ha sehr niedrig. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Durchwachsene Silphie wegen ihres ausdauernden Wuchstyps einen Teil des zuvor aufgenommenen Stickstoffs gegen Ende der Wachstumsphase für eine Regeneration im Folgejahr in unterirdische Pflanzenteile zurückverlagerte. Da unter Silphiebeständen ein Humusaufbau zu erwarten ist [12], wäre es außerdem denkbar, dass ein Teil der N-Zufuhr in den Humusaufbau floss.

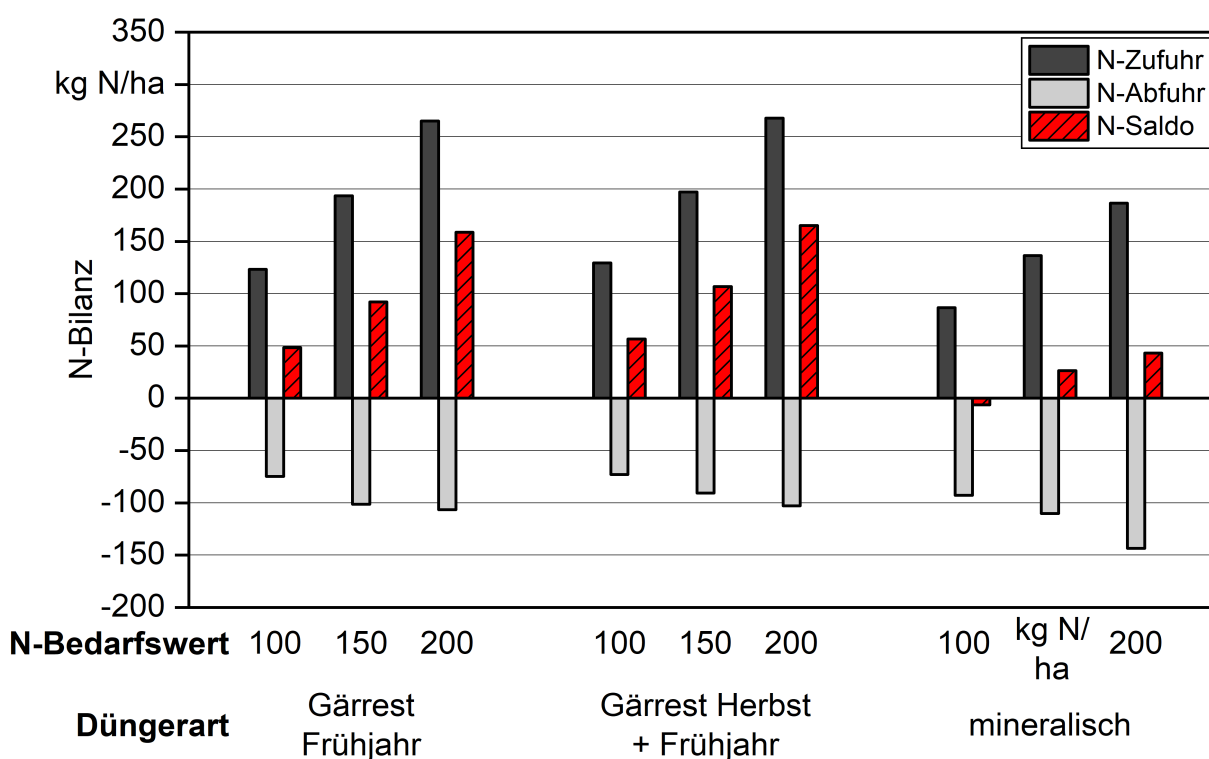


Abbildung 7: Stickstoffbilanz von Durchwachsener Silphie bei Düngung mit Gärresten (nur Frühjahr bzw. Herbst und Frühjahr) und rein mineralischer N-Düngung in Abhängigkeit vom N-Bedarfswert (inkl.  $N_{min}$ ); N-Verluste und sonstige N-Einträge wurden nicht berücksichtigt

In den Gärrestvarianten ging zusätzlich ein Teil des ausgebrachten Ammoniumstickstoffs nach der Ausbringung über Ammoniakvolatilisation verloren. Da in Beständen mit Durchwachsener Silphie keine Einarbeitung nach der Ausbringung erfolgen kann, sind die Witterungsbedingungen im Anschluss an die Ausbringung und eine bodennahe Ablage bzw. direktes Einbringen in den Boden von besonderer Bedeutung für die Reduktion von Ammoniakverlusten [18]. Im Anschluss an die Gärrestausringung im Projekt infiltrierten die Gärreste teilweise nur langsam in den Boden (Abbildung 8). Dadurch wurden vermutlich

die gasförmigen N-Verluste erhöht [17] und die N-Düngewirkung der Gärreste konnte das angestrebte Niveau nicht erreichen. Bei Gärrestdüngung in Durchwachsener Silphie kann eine eingeschränkte Infiltration dadurch bedingt sein, dass der Boden bei der Ernte unter feuchten Bedingungen zumindest oberflächlich festgefahren wird und keine Bodenbearbeitung erfolgt. Bei der Beerntung der Versuche mit geringer Arbeitsbreite wurden die Parzellen zu mindestens 70 % überfahren, was den Effekt eventuell verstärkte. Dies gilt insbesondere für die erste Gärrestdüngung im Frühjahr, denn etwa eine Woche nach der ersten N-Gabe wurde durch eine mechanische Unkrautbekämpfung mit einer Reihenfräse der Zwischenreihenbereich flach bearbeitet. Die zweite Gärrestgabe konnte dadurch bereits besser in den Boden infiltrieren. Höhere Temperaturen zum zweiten Düngetermin im Frühjahr hoben diesen Vorteil jedoch vermutlich wieder auf.



*Abbildung 8: Erste Gärrestdüngung im Frühjahr am 25. März 2021 mit schlechter Infiltration der Gärreste in den Boden*

Eine Aufteilung der Frühjahrsdüngung brachte im Versuch keine signifikanten Vorteile hinsichtlich des Ertrags oder der N-Verwertung. Während bei einer mineralischen N-Düngung tendenziell höhere Erträge bei geteilter Frühjahrsdüngung beobachtet wurden, wirkte sich bei der Düngung mit Gärresten eine Aufteilung der Frühjahrsdüngung tendenziell eher negativ aus. Pflanzenschäden, die durch eine zusätzliche Überfahrt im Rahmen einer geteilten Ausbringung entstehen [10], waren im Versuch nicht enthalten, da für die Gärrestausbringung Pflegewege zwischen den Parzellen verwendet wurden. Zur Vermeidung

von Pflanzenschäden durch die Überfahrt sollte eine Gärrestdüngung im Frühjahr folglich an einem Termin zu Vegetationsbeginn erfolgen.

Die Ausbringung eines Teils des gesamten Düngedarfs im Herbst über Gärreste (maximal 60 kg N<sub>ges</sub>/ha bzw. 30 kg NH<sub>4</sub>-N/ha) wies im Mittel der Versuchsjahre eine etwas schlechtere N-Verwertung gegenüber einer ausschließlichen Frühjahrsdüngung mit Gärresten auf. Die N-Düngewirkung des im Herbst ausgebrachten Stickstoffs war dabei ungefähr halb so hoch wie bei einer Düngung im Frühjahr. Signifikant erhöhte N<sub>min</sub>-Mengen im Boden zu Vegetationsende oder Vegetationsbeginn waren allerdings nicht zu beobachten. Unter Inkaufnahme einer etwas schlechteren Düngewirkung kann zur Entlastung des Gärrestlagers eine Teilgabe bereits im Herbst ausgebracht werden.

Im Hinblick auf die Düngedarfsermittlung von Durchwachsener Silphie scheint der aktuelle N-Bedarfswert von 1,0 kg N/ha je dt TM/ha Ertragserwartung unter Berücksichtigung der im Versuch erreichten Düngewirkung angemessen, auch wenn eine entsprechend hohe N-Abfuhr nicht erreicht wurde. Dies zeigt, dass Durchwachsene Silphie im Vergleich zu Mais über eine schlechtere N-Nutzungseffizienz verfügt. Zudem muss berücksichtigt werden, dass am Versuchsstandort optimale Bodenverhältnisse vorzufinden sind. Um den N-Bedarf von Durchwachsener Silphie auch bei Gärrestdüngung und an kühleren Standorten ausreichend zu decken, sollte das Niveau des N-Bedarfswerts beibehalten oder eventuell auf 0,9 kg N/dt TM abgesenkt werden. Auf günstigen Standorten mit hoher N-Nachlieferung sind Abschläge von bis zu 25 % von der nach Düngeverordnung aktuell maximal möglichen N-Düngung sinnvoll. Eine überzogene N-Düngung sollte stets vermieden werden, denn im vorliegenden Projekt war bei einer N-Düngung von ca. 185 kg N/ha deutliches Lager vorhanden. Mit zunehmender N-Düngung nahm zwar der Stängeldurchmesser zu, aber auch die Wuchshöhe und die Anzahl der Blüten. Dadurch verlagert sich der Schwerpunkt der Pflanzen nach oben und die Triebe geraten bei Wind und Regen in Schräglage oder knicken ganz um.

## 4.2 Umbruch von Durchwachsener Silphie

Die Gefahr für einen möglichen Besatz mit Durchwachsener Silphie in der Folgekultur geht einerseits von einem direkten Wiederaustrieb aus den unmittelbar an bzw. leicht unter der ursprünglichen Bodenoberfläche angelegten Knospen aus (Abbildung 9). Diese Erneuerungsknospen werden an den Stängelansätzen der Vorjahrestriebe angelegt und sind insbesondere an größeren Wurzelstöcken zahlreich vorhanden. Andererseits können auch während der Abreife und der Ernte ausgefallene Samen keimen. Die Samen von Durchwachsener Silphie zeigen jedoch eine ausgeprägte Dormanz, was eine ungleichmäßige und verzögerte Keimung zur Folge hat [6]. Demzufolge keimt meist nur ein Teil der jährlich gebildeten Samen, so dass aus dieser Quelle mit einem längeren Auftreten von Durchwachsener Silphie auf der Fläche gerechnet werden muss. Nach der Keimung zeigt die Silphie eine langsame Jugendentwicklung und kein Längenwachstum im ersten Jahr, so dass die aus Samen gekeimten Pflanzen von den meisten Kulturen überwachsen und zurückgedrängt werden sollten. Im Versuch stellten die samenbürtigen Triebe keine



Konkurrenz für die Folgekulturen dar und wurden im Rahmen der Herbizidanwendungen fast vollständig beseitigt. Der Austrieb aus den Erneuerungsknospen ist hingegen problematischer zu bewerten, da bei weitgehend intakten Wurzelballen genug Reservestoffe für die Ausbildung kräftiger Triebe, ähnlich einem normalen Wuchsjahr, zur Verfügung stehen.



*Abbildung 9: Aufsicht auf einen Wurzelstock von Durchwachsener Silphie mit zahlreichen rosa gefärbten Knospen zum Zeitpunkt des beginnenden Austriebs der Pflanze im Frühjahr*

Im Hinblick auf den Besatz mit Durchwuchstrieben in der Folgekultur erscheint es nach bisherigen Ergebnissen am sinnvollsten den ersten Bodenbearbeitungsschritt beim Umbruch von Silphiebeständen mit einer Fräse durchzuführen. Der oft empfohlene Einsatz des Pflugs für den Umbruch von Durchwachsener Silphie hatte im Versuch hingegen den stärksten und am schwierigsten bekämpfbaren Durchwuchs zur Folge (Abbildung 10). In einer Studie in Braunschweig wurde ein Silphiebestand durch zweimaliges Fräsen nach Vegetationsende und anschließendem Pflügen im Frühjahr umgebrochen [13]. Im Vergleich zum vorliegenden Projekt war nahezu ein identischer Durchwuchsbesatz festzustellen, so dass der erste Bearbeitungsgang mit der Fräse offenbar die entscheidende Schädigungswirkung mit sich bringt.

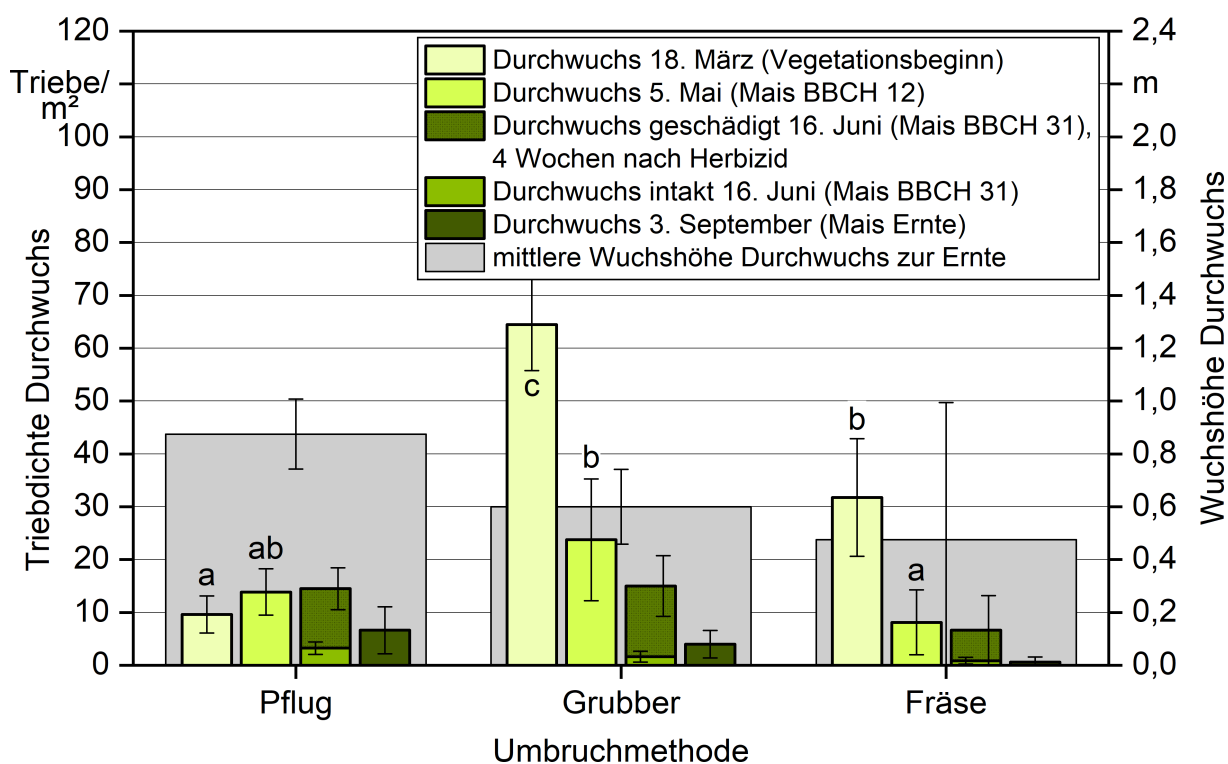
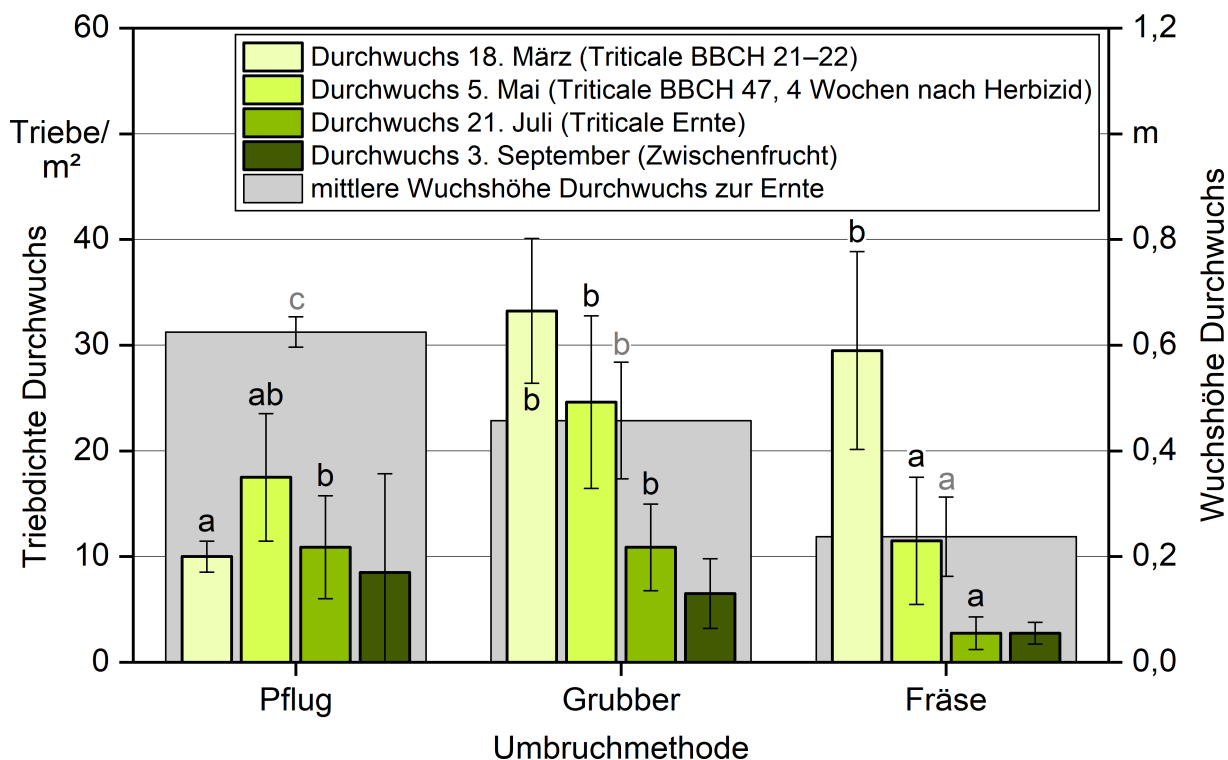


Abbildung 10: Durchwuchs von Durchwachsener Silphie im ersten Jahr nach dem Umbruch in nachfolgend gesäeter Wintertriticale (oben) bzw. Mais (unten) in Abhängigkeit von der Umbruchmethode; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen jeweils für einen Boniturtermin, Fehlerbalken repräsentieren Standardabweichungen

Hinsichtlich der Durchwuchsvermeidung wäre somit eine einmalige Bearbeitung mit der Fräse ausreichend. Die Aussaat wurde dabei nicht durch Wurzelreste beeinträchtigt. Wenn keine Schadverdichtungen als Folge einer nassen Ernte vorliegen, ist eine tiefere Lockerung beim Umbruch von Durchwachsener Silphie in der Regel nicht erforderlich. Durch die tiefreichenden Silphiewurzeln [14] und den höheren Besatz mit tiefgrabenden Regenwürmern [5] liegt normalerweise bereits eine günstige Bodenstruktur vor.

Die Ursache für die Wirkung der Fräse liegt vermutlich darin, dass die Wurzeln stark zerkleinert werden. Die beschädigten Wurzelteile stellen für den Austrieb der dort ansetzenden Knospen weniger Reservestoffe bereit. Zudem verfügten die Wurzelstockfragmente nur noch über wenige intakte Wurzeln für eine rasche Nährstoffaufnahme. Folglich kam es in dieser Variante zu kleineren und schwächeren Trieben, die kaum Längenwachstum aufwiesen. Die Konkurrenzkraft des Durchwuchses und auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber den Herbiziden war dadurch in der Fräsvariante bis auf einzelne kräftigere Triebe am geringsten (Abbildung 11). In den mit dem Pflug umgebrochenen Parzellen blieben dagegen die Wurzelstöcke und Wurzeln bis auf Krumentiefe größtenteils intakt. Den Knospen standen somit mehr Reservestoffe zur Verfügung (Abbildung 12). Die Folge waren deutlich kräftigere Triebe, die sich auch nach einer Herbizidbehandlung besser regenerierten, so dass diese dort einen geringeren Wirkungsgrad zeigte.



**Abbildung 11:** *Bis auf einzelne kräftige Silphietriebe weitgehend durchwuchsfreie Silomaisparzelle Anfang September 2020 nach dem Umbruch von Durchwachsener Silphie mit einer Fräse im Herbst des Vorjahrs*



*Abbildung 12: Silphiedurchwuchs in Silomais Anfang September 2020 nach dem Umbruch der Dauerkultur mit einem Pflug im Herbst des Vorjahrs*

Die Arbeitstiefe der Fräse muss nicht bis auf Krumentiefe reichen, da sich Knospen nur bis zu einer Tiefe von maximal 10 cm an den Triebansätzen des Vorjahrs befinden (Abbildung 13). Auf die Einhaltung einer Arbeitstiefe von mindestens 7–8 cm ist allerdings zu achten. Zudem ist für eine gute Zerkleinerungswirkung der Fräse eine geringe Fahrgeschwindigkeit erforderlich. Da die Durchwachsene Silphie keine richtigen Rhizome, also unterirdisch verlaufende Sprosse ausbildet, ist eine Vermehrung der Pflanze bei deren Zerkleinerung nicht zu befürchten.

Nach dem Umbruch im Herbst konnte bis Vegetationsende bzw. Vegetationsbeginn keine nennenswerte N-Mineralisation festgestellt werden. Der Vergleich der N-Nachlieferung nach dem Umbruch von Durchwachsener Silphie im vorliegenden Projekt mit der benachbarten Praxisfläche ließ darüber hinaus keine erhöhte N-Nachlieferung in den ersten beiden Jahren nach dem Umbruch erkennen. Das Niveau der Praxisfläche war allerdings vermutlich etwas überschätzt, da die Beprobungspartellen, die nahe des Schlagrands platziert waren, nur eingeschränkt repräsentativ waren. Gegenüber der N-Mineralisation der Praxisfläche neben dem Sidaumbruchversuch in Wolferkofen waren ebenfalls kaum Unterschiede vorhanden. In einer anderen Untersuchung wurde dagegen nach dem Umbruch eines acht Jahre alten Silphiebestands eine sehr hohe N-Nettomineralisation ermittelt [13].



Abbildung 13: Vertikale Ausdehnung der Knospen bildenden Strukturen der Wurzelstöcke von Durchwachsener Silphie

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die während der Standdauer von Dauerkulturen angereicherte organische Bodensubstanz nach Umbruch wieder abgebaut wird und zu einer erhöhten N-Nachlieferung führt. Da der Silphiebestand im Versuch allerdings nur eine Standdauer von fünf Jahren aufwies, war der Humusaufbau dementsprechend wahrscheinlich nur gering [12], so dass nach dem Umbruch keine erhöhte N-Nachlieferung nachgewiesen werden konnte. Die Ergebnisse des vorliegenden Projekts deuten zudem darauf hin, dass die Intensität der Bodenbearbeitung beim Umbruch keinen Einfluss auf die Höhe der N-Nachlieferung im weiteren Verlauf hat. Aus dem Abbau der Ernte- und Wurzelrückstände ist hingegen wegen des relativ weiten C/N-Verhältnisses [13] zunächst eher eine N-Immobilisation zu erwarten. Dieser Prozess wurde eventuell durch eine Zerkleinerung der Wurzelstöcke mit der Fräse beschleunigt und hemmte anfangs das Wachstum der Wintertriticale im Versuch.

Bei älteren Beständen kann es folglich je nach Standort durchaus problematisch sein, die hohe N-Nachlieferung durch die nachfolgenden Kulturen zu nutzen. Im vorliegenden Projekt erwiesen sich die gewählten Abschläge vom N-Düngebedarf der Folgekulturen im ersten Jahr nach dem Umbruch in Höhe von 10 kg N/ha bei Triticale bzw. 20 kg N/ha bei Mais als passend, da sowohl bei Triticale als auch bei Mais keine stark positiven N-Salden und nach der Ernte keine erhöhten  $N_{\min}$ -Mengen nachzuweisen waren. Vor dem Hintergrund einer potenziell erhöhten N-Nachlieferung bietet sich bei der Wahl einer Sommerung als Folgekultur auch ein Umbruch erst im Frühjahr an. Wegen des zeitigen Austriebs der Silphiebestände müsste dieser erfolgen, sobald der Boden ausreichend abgetrocknet ist.

Als Folgekultur nach dem Umbruch von Durchwachsener Silphie hat sich im Versuch sowohl Getreide als auch Mais als geeignet erwiesen. Jedoch zeigte der Mais ab dem Schossen eine bessere Durchwuchsunterdrückung und zur Ernte einen geringeren Durchwuchsbesatz. Bei einem Umbruch mit Pflug oder Grubber ist in beiden Kulturen im ersten Jahr nach dem Umbruch mit erhöhtem Durchwuchs zu rechnen (Abbildung 10). Hierdurch kann ein erhöhter Herbizidaufwand entstehen oder zusätzliche mechanische Unkrautregulierungsmaßnahmen erforderlich werden. Mit einer einmaligen chemischen Maßnahme, wie im vorliegenden Versuchsvorhaben, war keine ausreichende Bekämpfung des Durchwuchses möglich. Im Falle des Pflugs gilt dies auch für das zweite Jahr nach dem Umbruch. Bei Getreide als erste Folgekultur wäre auch bei einem Umbruch mit der Fräse eine zweite Herbizidmaßnahme notwendig gewesen.

Die beste Herbizidwirkung gegenüber dem Silphiedurchwuchs konnte im Versuch mit dem Wuchsstoffherbiziden „Arrat“ in Mais und „Ariane C“ in Getreide erreicht werden. In diesen Herbiziden sind als Wuchsstoffkomponenten die Wirkstoffe Dicamba bzw. Clopyralid enthalten. Mit den praxisüblichen Herbizidtypen wie Triketone in Mais und Sulfonylharnstoffe in Getreide wurde im ersten Jahr nach dem Umbruch vor allem in Getreide keine ausreichende Wirkung erreicht. Trotz einmaliger Herbizidanwendung wurden später erscheinene Triebe oder von der Herbizidmaßnahme erholte Pflanzen durch den Mais meist noch ausreichend unterdrückt und stellten nur vereinzelt eine Konkurrenz dar. In diesem Zusammenhang muss auch beachtet werden, dass wegen der kleinen Parzellen im Versuch bei hochwachsenden Kulturen wie Mais keine mit einem flächigen Bestand vergleichbare Beschattung vorlag.

Das grundlegende Problem beim Herbizideinsatz nach dem Umbruch von Durchwachsener Silphie in beiden Folgekulturen war, dass das zeitlich verzögerte Erscheinen der Triebe die optimale Terminierung einer Herbizidapplikation erschwerte. Dies gilt insbesondere für den Umbruch mit dem Pflug, da durch das Unterpflügen die Triebe die Bodenoberfläche unterschiedlich schnell und auch nach dem optimalen Bekämpfungstermin der sonstigen Unkräuter erreichten (Abbildung 14). Demzufolge müssen zumindest im ersten Jahr nach dem Umbruch je nach Verwertungsziel der Kultur immer mindestens zwei Behandlungen mit blattaktiven Herbiziden eingeplant werden. Ein Umbruch mit dem Pflug ohne sonstige Zerkleinerung der Wurzelstöcke ist somit sehr kontraproduktiv, da Wurzeln intakt vergraben werden und dadurch kräftigere Triebe vorliegen, die zudem zeitlich verzögert hervortreten. Des Weiteren sind die Knospenansätze der Witterung und weiteren Bodenbearbeitungsschritten weniger ausgesetzt, was vermutlich dazu führte, dass der Durchwuchsbesatz nach dem Umbruch mit dem Grubber in der Kombination Triticale–Mais im zweiten Jahr nach dem Umbruch deutlich abnahm.



*Abbildung 14: Nach dem Herbizideinsatz an der Bodenoberfläche erschienene Silphietriebe ohne Herbizidschädigung am 3. Juni 2020 in einer mit dem Pflug umgebrochenen Silphieparzelle*

Durch Fräsen war insgesamt die beste Reduktion von Durchwuchs nach dem Umbruch von Durchwachsener Silphie zu erreichen, so dass wenn möglich diese Bearbeitungsmaßnahme gewählt werden sollte. (Winter-)Getreide benötigt für eine gute Beschattung eine ausreichende Bestandsdichte, die im vorliegenden Projekt im ersten Jahr nach dem Umbruch wegen ungünstiger Witterung und eventuell zu geringer Startdüngung nicht erreicht wurde. Darüber hinaus wurde das Wachstum der unmittelbar nach dem Umbruch mit der Fräse gesäten Triticale negativ beeinflusst. Dieser Effekt wurde nur nach dem Umbruch mit der Fräse beobachtet. Folglich ist nach aktuellem Stand Mais als erste Folgekultur besser geeignet. Durch die effektivere Durchwuchsunterdrückung, auch spät erscheinender Silphietriebe, war im vorliegenden Projekt der Durchwuchsbesatz im ersten Folgejahr deutlich niedriger als bei Triticale. Des Weiteren ist Mais wegen seiner hohen N-Aufnahmekapazität auch im Hinblick auf die Verwertung einer erhöhten N-Nachlieferung nach dem Umbruch von Durchwachsener Silphie als Folgefrucht gut geeignet [13], wie die hohen N-Abfuhrer beider Jahre zeigten. Nach der Ernte stiegen die  $N_{\min}$ -Mengen im Boden bis Vegetationsende jedoch deutlich an. Hier besteht allerdings das Problem, dass es bei Mais kaum Möglichkeiten gibt, diesen N-Überschuss zu verwerten.

### 4.3 Umbruch von Sida

Im Gegensatz zum Umbruch von Durchwachsener Silphie waren hinsichtlich des Durchwuchsbesatzes nach dem Umbruch von Sida im Herbst keine deutlichen Unterschiede zwischen den getesteten Umbruchverfahren festzustellen. In der nachfolgend gesäten Triticale zeigte jedoch auch der Umbruch mit der Fräse tendenziell den niedrigsten Durchwuchsbesatz. Der Durchwuchsbesatz lag zur Ernte sowohl von Triticale als auch von Mais in allen Varianten zwischen 5 und 10 Trieben/m<sup>2</sup> und somit auf einem ähnlichen Niveau wie bei Durchwachsener Silphie oder dem Umbruch von Sida im Frühjahr. Der Umbruch mit einer Fräse im Frühjahr führte allerdings im Vergleich zur Pflugvariante zu einem signifikant niedrigerem Durchwuchsbesatz im nachfolgenden Mais (Abbildung 15). Eine Erklärung für diese Unterschiede könnte sein, dass beim ersten Umbruchversuch im Herbst 2019 mit der Fräse keine ausreichende Arbeitstiefe erreicht wurde. Eine Arbeitstiefe der Fräse von ca. 10 cm ist entsprechend dem Umbruch von Durchwachsener Silphie erforderlich, um die knospenbildenden Strukturen zu erfassen und vollständig zu zerkleinern.

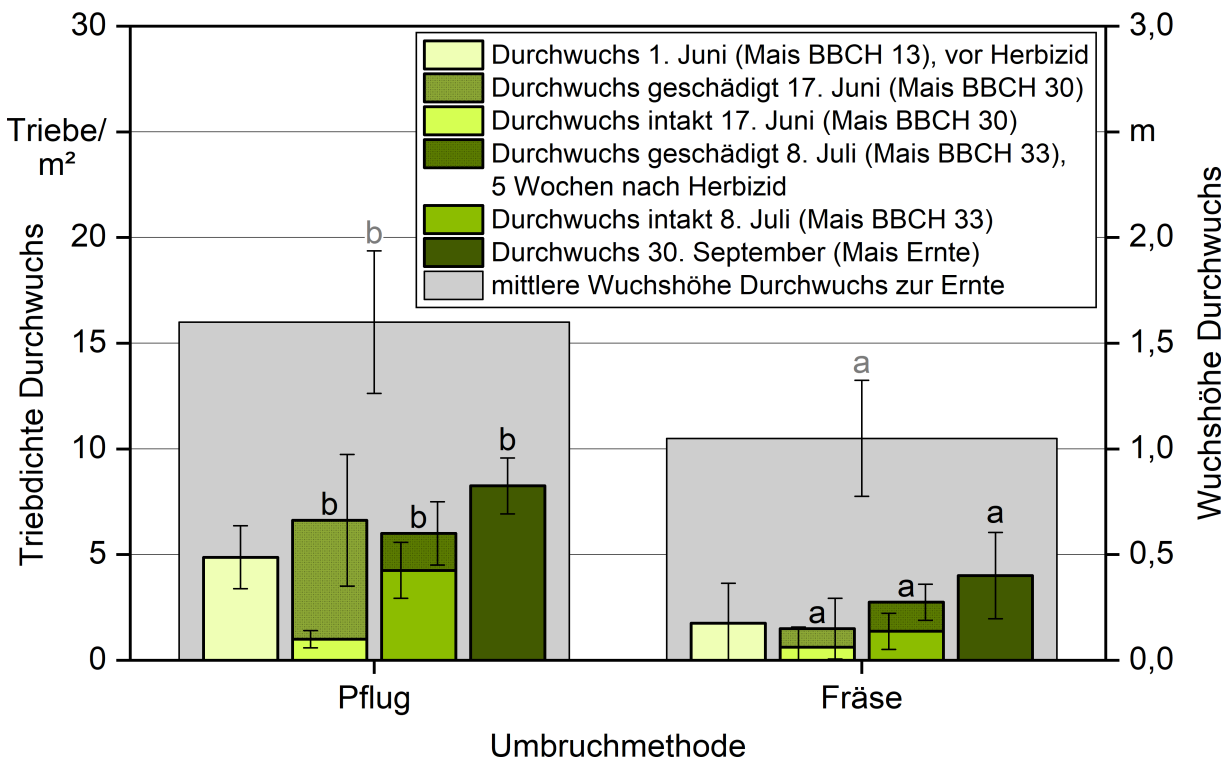


Abbildung 15: Durchwuchs von Sida nach einem Umbruch im Frühjahr 2021 in der Folgekultur Mais in Abhängigkeit von der Umbruchmethode; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen jeweils für einen Boniturtermin, Fehlerbalken repräsentieren Standardabweichungen

Anders als bei Durchwachsener Silphie wirkte sich der Umbruch von Sida mit einer Fräse nicht negativ auf das Wachstum der darauffolgend gesäten Wintertriticale aus. Die Pflugvariante zeigte jedoch wiederum ein besseres Wachstum und tendenziell höhere Erträge, da die Zerkleinerung der Wurzelteile mit der Fräse wahrscheinlich ebenfalls zu einer



erhöhten N-Immobilisation im Frühjahr führte. Kräftiger Durchwuchs war bei Triticale in allen Varianten zu beobachten, so dass im ersten Jahr nach dem Umbruch von Sida ein Getreideanbau mit Kornnutzung weniger geeignet scheint (Abbildung 16). Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die Triticaleparzellen aufgrund der trockenen Frühjahrswitterung eine relativ geringe Bestandsdichte aufwiesen. Eine unterdrückende Wirkung auf das Wachstum der Sidatriebe durch Beschattung war somit nur eingeschränkt gegeben. Auch bei Mais als Folgekultur waren sowohl beim Umbruch im Herbst als auch im Frühjahr kräftige Sidatriebe vorhanden, die den Raum zwischen den Maisreihen beanspruchten. Die Sidapflanzen erreichten bis zur Ernte des Mais nicht ganz dessen Wuchshöhe. Eine nachhaltige Unterdrückung durch Beschattung war im Vergleich zum deutlich niedrigeren Getreide auch nicht möglich. Der geringste Sidabesatz war trotz der lückigen Maisbestände nach dem etwas tieferen Umbruch mit der Fräse im Frühjahr gegeben.



*Abbildung 16: Sidadurchwuchs überragt Triticale deutlich gegen Ende der Abreife der Triticale am 14. Juli 2020*

Problematisch für die Bekämpfung von Sidadurchwuchs mit Herbiziden war, dass die Sidatriebe im Frühjahr relativ spät und laufend bis zur Ernte erschienen. Das war im Gegensatz zu Durchwachsener Silphie unabhängig von der Umbruchmethode zu beobachten. Demzufolge war eine Erfassung der bekämpfungsrelevanten Triebe zum Termin einer normalen Frühjahrsherbizidanwendung unmöglich. In der Folgekultur ist deshalb auf jeden Fall eine zusätzliche spätere Behandlung mit einem Wuchsstoffherbizid erforderlich. Die im Rahmen der normalen Frühjahrsbehandlung eingesetzten Sulfonylharnstoffe zeigten

gegenüber Sida nur eine verhaltene Wirkung. Wuchsstoffherbizide in Getreide wurden im vorliegenden Projekt zur Sidabekämpfung zwar nicht getestet, aber das im Jahr 2021 in Mais eingesetzte Herbizid „Arrat“ mit der Wuchsstoffkomponente Dicamba hatte gegenüber Sidadurchwuchs eine bessere Wirkung als die Mischung aus Triketon-Herbizid und Photosynthesehemmer im Vorjahr. Nach dem Umbruch von Sida sollte deshalb ähnlich wie bei Durchwachsener Silphie eine zweimalige Behandlung mit einem Wuchsstoffherbizid eingeplant werden. Ob sich hierbei der Wirkstoff Clopyralid, der eine gute Wirkung gegen Korbblütler aufweist, ebenfalls eignet, wurde im Versuch nicht überprüft.

Wie bei Durchwachsener Silphie wurde nach dem Umbruch von Sida im Versuchsjahr 2019 kein Anstieg der  $N_{\min}$ -Mengen im Boden zwischen dem Umbruch Ende September und Vegetationsende beobachtet. Die laufenden  $N_{\min}$ -Untersuchungen im Jahr 2020 zeigten ebenfalls keine erhöhte N-Nachlieferung im ersten Folgejahr auf. Die N-Mineralisation lag dabei in etwa auf dem Niveau des Silphieumbruchs. Eine Verschiebung des Umbruchtermins, andere Folgekulturen oder sonstige Maßnahmen erscheinen in dieser Hinsicht nach aktuellem Stand der Untersuchungen zumindest beim Umbruch jüngerer Bestände nicht erforderlich. Darüber hinaus lässt sich aus den niedrigen  $N_{\min}$ -Mengen im Boden nach der Ernte der Triticale und des Mais ableiten, dass der vorgenommene Abschlag vom N-Düngebedarf von 10 kg N/ha bei Getreide und 20 kg N/ha bei Mais ausreichend war. Das gilt auch für den Umbruch des älteren Bestands im Frühjahr. Bei einem Alter der Bestände von über 15 Jahren muss dennoch mit einem stärkeren Anstieg der Humusgehalte gerechnet werden [4], der zu einer deutlich erhöhten N-Mineralisation nach dem Umbruch führen könnte.

Beide im Rahmen dieses Projekts umgebrochenen Sidabestände waren wegen der Ernte für eine Biogasnutzung im grünen Zustand teilweise stark verunkrautet und die Wachstumsleistung der Sidapflanzen war geringer als bei einer Nutzung als Festbrennstoff im Frühjahr. Dennoch verfügte Sida über eine beachtliche Triebkraft und erwies sich gegenüber Herbiziden widerstandsfähiger als Durchwachsene Silphie. Nach aktuellem Stand scheint es so, dass die nachhaltigste Schädigung ebenfalls durch mindestens 8 cm tiefes Fräsen erreicht wird. Diese Arbeitstiefe sollte bei Sida mindestens eingehalten werden, da ansonsten die Knospen bildenden Bereiche und Wurzeln nicht ausreichend geschädigt und zerkleinert werden. Als Folgekultur nach Umbruch von Sida weist Mais mehrere Vorteile auf. Mais ist wegen seiner Wuchshöhe eher in der Lage, den hochwachsenden Sidadurchwuchs durch Beschattung zu unterdrücken, auch wenn diesbezüglich keine eindeutigen Effekte beobachtet werden konnten. Darüber hinaus beginnt Sida im Frühjahr erst relativ spät mit dem Austrieb und bildet dann aber kontinuierlich mehrere Triebe aus, so dass Mais wegen seiner späteren Saat ein günstigeres Zeitfenster für notwendige Herbizidmaßnahmen bietet. Nicht zuletzt stellt ein geringfügiger Sidadurchwuchs in Mais kein Problem dar, wenn dieser als Silomais in einer Biogasanlage verwertet wird. Bei einem Einsatz in der Tierfütterung kann ein zu großer Besatz allerdings wie bei Silphie den Futterwert reduzieren.

## 5 Schlussfolgerungen für die Praxis

### 5.1 Stickstoffdüngung von Durchwachsener Silphie

Grundsätzlich gilt, dass Durchwachsene Silphie zur Schließung von Stoffkreisläufen mit Gärresten gedüngt werden sollte, wobei die Gärrestzufuhr den der Biomasse- und Nährstoffabfuhr der Durchwachsenen Silphie entsprechenden Gärrestanfall nicht überschreiten sollte. Eine Deckung des gesamten N-Bedarfs von Durchwachsener Silphie ausschließlich mit Gärresten erscheint unter diesen Vorgaben allerdings anhand der bisherigen Versuchsergebnisse kaum möglich und zudem wenig sinnvoll. Eine Gärrestzufuhr von 170 kg  $N_{\text{ges}}$ /ha sollte auch auf Einzelschlägen nicht überschritten werden. Sind im Betrieb ausreichend Flächen für eine Gärrestausrückführung vorhanden, sollte auch bei Durchwachsener Silphie die über Gärreste zugeführte Menge auf 120 kg  $N_{\text{ges}}$ /ha bzw. 60 bis 70 % des gesamten N-Düngebedarfs beschränkt werden. Dadurch wird eine optimale Verwertung des Stickstoffs aus organischer Düngung ermöglicht. Der verbleibende N-Düngebedarf ist über Mineraldünger abzudecken, die je nach Befahrbarkeit zeitlich deutlich früher als Gärreste eingesetzt werden können. Von sehr späten Mineraldüngergaben ab Beginn des Schossens ist wegen der erhöhten Verätzungsgefahr abzusehen. Die Aufteilung einer mineralischen N-Düngung oder Gärrestdüngung ist nicht erforderlich. Bei einer Gärrestdüngung führt eine zusätzliche Überfahrt zu zusätzlichen Pflanzenschäden, so dass eine Gärrestdüngung in einer Gabe zu Vegetationsbeginn ausgebracht werden sollte.

Im Hinblick auf die Düngebedarfsermittlung von Durchwachsener Silphie scheint der aktuelle N-Bedarfswert von 1,0 kg N/ha je dt TM/ha Ertragserwartung angemessen (Düngebedarfsermittlung wie mehrjähriger Feldfutterbau ohne  $N_{\text{min}}$ ), um auch unter weniger günstigen Bedingungen ein angemessenes Ertragsniveau erreichen zu können. Auf günstigen Standorten und bei hoher N-Nachlieferung sind jedoch Abschläge von bis zu 25 % von der nach Düngeverordnung maximal möglichen N-Düngung sinnvoll. Es muss bedacht werden, dass mit zunehmendem N-Angebot die Lagergefahr zunimmt. Sehr hohe Düngergaben entsprechen deshalb bei Durchwachsener Silphie nicht mehr der guten fachlichen Praxis. In lagernden Beständen kann die Ernte erheblich erschwert sein, vor allem wenn am Häcksler kein Direktschneidwerk mit Seitenmessern zur Verfügung steht.

Um eine bestmögliche N-Wirkung von Gärresten zu erreichen, sollten Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniakverlusten konsequent umgesetzt werden. Hierzu zählt die streifenförmige und bodennahe Ausbringung mit Schleppschlauch- oder Schleppschuhverteiltern. Trotz des Einsatzes dieser Technik sollte eine Gärrestdüngung zu Durchwachsener Silphie wenn möglich nur bei günstiger Witterung erfolgen. Wegen der ausbleibenden Bodenbearbeitung werden Verdichtungen der Oberfläche nicht gelockert, wodurch die Infiltration der Gärreste reduziert sein kann. Unter diesen Bedingungen kann es im Frühjahr sinnvoll sein, den Boden im Rahmen einer mechanischen Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen flach zu lockern bzw. die Gärreste über diese Maßnahme einzuarbeiten. Stehen Schlitzscheibenverteiler für ein direktes Einbringen der Dünger in den Boden zur Verfügung, lohnt sich sicherlich ein erster probeweiser Einsatz in Durchwachsener Silphie, um zu überprüfen, ob mit Pflanzenschäden zu rechnen ist.

Bei Durchwachsener Silphie ist außerdem eine Gärrestdüngung im Herbst von bis zu 60 kg N<sub>ges</sub>/ha bzw. 30 kg NH<sub>4</sub>-N/ha erlaubt. Bei einer Gärrestdüngung im Herbst ist gegenüber einer Frühjahrsdüngung mit einer etwa halb so hohen N-Düngewirkung zu rechnen. Die Herbstdüngung muss vollständig auf den Düngbedarf im Folgejahr (gleiches Düngjahr) angerechnet werden. Bei einer Gärrestdüngung im Herbst und einer insgesamt knappen N-Versorgung kann folglich nicht das Ertragsniveau einer reinen Frühjahrsdüngung erreicht werden. Unter Inkaufnahme einer etwas schlechteren N-Verwertung kann zur Entlastung des Gärrestlagers eine Teilgabe aber bereits im Herbst ausgebracht werden. Ein zusätzlicher Vorteil wäre eventuell, dass auf Standorten mit schlechter Befahrbarkeit im Frühjahr die Dringlichkeit einer frühzeitigen Startdüngung entschärft wird. Derzeit kann noch nicht abgeschätzt werden, welchen Einfluss der Düngzeitpunkt im Herbst auf die Verwertung hat. Eine möglichst frühe Ausbringung deutlich vor der gesetzlichen Frist und zeitnah nach der Ernte ist anzuraten, um aktives Pflanzenwachstum und eine gute Befahrbarkeit auszunutzen. Primär sollte dennoch auch eine günstige Witterung zur Vermeidung von Ammoniakverlusten abgewartet werden. Von einer Herbstdüngung mit Mineraldünger ist dagegen abzuraten, da kein Ertragsvorteil zu erwarten ist.

## **5.2 Umbruch von Durchwachsener Silphie**

Die bisherigen Versuchsergebnisse zeigen, dass der Umbruch von Durchwachsener Silphie mit einer Fräse zum geringsten Durchwuchs in den Folgekulturen führt. Darüber hinaus verbleiben im Gegensatz zum Umbruch mit dem Grubber keine größeren Wurzelteile an der Bodenoberfläche, die die nachfolgende Aussaat behindern könnten. Der Umbruch von Durchwachsener Silphie sollte deshalb nach Möglichkeit mit einer Fräse durchgeführt werden. Die Arbeitstiefe der Fräse muss dabei nicht bis auf Krumentiefe reichen, da sich Knospen nur bis zu einer Bodentiefe von maximal 10 cm an den älteren Triebansätzen befinden. Wichtig ist eine geringe Fahrgeschwindigkeit für eine ausreichende Zerkleinerung der Wurzelstöcke, um die Knospen zu schädigen und durch eine Reduktion der zum Wiederaustrieb zur Verfügung stehenden Reservestoffe die Triebkraft zu verringern. Die Konkurrenzkraft des Durchwuchses und auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber den Herbiziden waren deshalb nach dem Umbruch mit der Fräse am geringsten. Eine tiefere Lockerung ist normalerweise nicht erforderlich. Ist zur Beseitigung von Verdichtungen dennoch eine tiefere Bearbeitung geplant, so sollte für eine optimale Zerkleinerung der Wurzelstöcke zuerst gefräst werden. Pflügen im Anschluss an die Bearbeitung mit der Fräse ist allerdings nicht zu empfehlen, da durch das Unterpflügen die Silphietriebe die Bodenoberfläche unterschiedlich schnell erreichen und nicht optimal im Rahmen von Herbizidmaßnahmen erfasst werden können. Ein Umbruch mit dem Pflug ohne sonstige Bearbeitung der Wurzelstöcke ist somit besonders unvorteilhaft, da Wurzeln und Knospenansätze intakt vergraben werden. Dadurch liegen kräftigere Triebe vor, die zudem zeitlich verzögert hervortreten. Des Weiteren sind die Knospenansätze der Witterung und weiteren Bodenbearbeitungsschritten weniger ausgesetzt, was im Versuch zum höchsten Durchwuchsbesatz in den Folgejahren führte.

Nach aktuellem Stand ist Mais als Folgekultur nach dem Umbruch von Durchwachsener Silphie besser geeignet, da dieser wegen seiner Wuchshöhe eine gute Durchwuchsunterdrückung bietet. Darüber hinaus kann durch das hohe N-Aufnahmevermögen die N-Nachlieferung während der Vegetation gut verwertet werden. Prinzipiell wäre auch Wintergetreide geeignet und würde eine zeitnahe Ansaat nach der Silphieernte ermöglichen. Jedoch zeigte bei einem Umbruch mit der Fräse das nachfolgende Getreide ein deutlich schlechteres Wachstum, was zu einer geringeren Bestandsdichte und niedrigeren Erträgen als nach dem Umbruch mit Pflug oder Grubber führte. Die genauen Ursachen hierfür wurden noch nicht geklärt. Dennoch bietet Getreide die Möglichkeit, dass durch eine frühere Ernte ein stärkerer Durchwuchsbesatz früher entfernt wird, bei extremem Besatz als GPS-Getreide. Im Anschluss können durch Stoppelbearbeitung oder Herbizidapplikation auf die Stoppel weitere Bekämpfungsmaßnahmen zeitnah durchgeführt werden. Außerdem könnte eine Zwischenfrucht zur Bodenbedeckung und N-Verwertung gesät werden. Mais zeigte nach einem Umbruch mit einer Fräse keine Beeinträchtigung des Wachstums, so dass für eine effektive und einfache Reduktion des Durchwuchspotenzials mit einer Fräse umgebrochen und Mais als Folgekultur gewählt werden sollte.

Das grundlegende Problem beim Herbizideinsatz nach dem Umbruch von Durchwachsener Silphie ist, dass durch das zeitlich verzögerte Erscheinen der Triebe die optimale Terminierung einer Herbizidapplikation erschwert ist. Ein Teil der Triebe war zum optimalen Bekämpfungstermin der normalen Verunkrautung noch nicht erschienen. Dies gilt insbesondere nach einem Umbruch mit dem Pflug, so dass zusätzliche chemische oder mechanische Unkrautregulierungsmaßnahmen erforderlich werden können. Wird keine Fräse eingesetzt, müssen zumindest im ersten Jahr nach dem Umbruch je nach Verwertungsziel der Kultur mindestens zwei Behandlungen mit blattaktiven Herbiziden eingeplant werden. Beim Umbruch mit der Fräse und Mais als Folgekultur kann eine gut platzierte Anwendung ausreichend sein. Die beste Herbizidwirkung gegenüber Silphiedurchwuchs konnte im Versuch mit dem Wuchsstoffherbiziden „Arrat“ in Mais und „Ariane C“ in Getreide erreicht werden. In diesen Herbiziden sind als Wuchsstoffkomponenten die Wirkstoffe Dicamba und Clopyralid enthalten. Mit Triketon-Herbiziden in Mais und Sulfonylharnstoffen in Getreide wurde keine ausreichende Wirkung erzielt. Zu beachten ist, dass keine Herbizide zur Bekämpfung von Silphiedurchwuchs zugelassen sind und die zum Einsatz der Herbizide erforderliche Indikation vorliegen muss. Alternativ kann eine Ausnahmegenehmigung beantragt werden.

Da während des Silphieanbaus mit einer Humusanreicherung zu rechnen ist, ist nach dem Umbruch von Beständen mit einer längeren Standdauer eine erhöhte N-Nachlieferung zu erwarten. Darüber hinaus liegt wegen der intensiven Durchwurzelung und des gesteigerten Regenwurmbesatzes eine optimale Bodenstruktur vor, so dass vor allem bei Mais die standorttypische Düngung um mindestens 20 kg N/ha reduziert werden sollte. Die N-Nachlieferung setzt allerdings normalerweise erst später ein, weshalb eine N-Startdüngung bei Mais für eine rasche Jugendentwicklung sinnvoll ist. Bisher liegen nur Erfahrungen zu einem Umbruch nach der Ernte im Herbst vor. Vor dem Hintergrund einer potenziell hohen N-Nachlieferung bietet sich bei einer Sommerung als Folgekultur auch ein Umbruch erst im Frühjahr an, um Auswaschungsverluste über den Winter zu vermeiden. Dieser

könnte erfolgen, sobald der Boden ausreichend abgetrocknet ist. Eine weitere Möglichkeit zur Vermeidung von N-Verlusten bei einem Umbruch nach der Ernte wäre die zeitnahe Etablierung einer wuchsfreudigen Zwischenfrucht mit guter Unkrautunterdrückung.

Insgesamt zeigten die ersten Versuchsergebnisse, dass ein Umbruch von Durchwachsener Silphie unter Wahl geeigneter Bodenbearbeitungsmaßnahmen, Folgekulturen und deren Herbizidmanagement auch ohne den Einsatz von Totalherbiziden vor dem Umbruch erfolgreich durchgeführt werden kann. Die aus den Ergebnissen des Projekts abgeleiteten ersten Empfehlungen basieren allerdings nur auf einem Versuch und sind noch nicht endgültig abgesichert. Wenn eine Fräse als erste Bearbeitungsmaßnahme für den Umbruch verwendet wird, sollte dennoch ein geringer Durchwuchsbesatz einfach zu erreichen sein. Zusätzliche Kosten entstehen für den Einsatz der Fräse und die zweimalige Ausbringung eines gegen Korbblütler wirksamen Wuchsstoffherbizids. Unter diesen Umständen ist insbesondere bei Mais als Folgekultur ein nahezu durchwuchsfreier Bestand möglich. Im Gegenzug können beim Umbruch langjähriger Silphiebestände wegen einer erhöhten N-Nachlieferung zudem N-Dünger eingespart werden. Zusätzlich ist wegen der besseren Bodenstruktur mit höheren Erträgen zu rechnen, die die Umbruchkosten in etwa ausgleichen sollten [13].

### **5.3 Umbruch von Sida**

Grundsätzlich gelten alle Aussagen zum Umbruch von Durchwachsener Silphie auch für den Umbruch von Sida. Im Vergleich zu Durchwachsener Silphie verfügt Sida jedoch über größere Wurzelstöcke mit deutlich dickeren Wurzeln sowie eine höhere Triebkraft. Außerdem erwies sie sich gegenüber Herbiziden als widerstandsfähiger. Nach aktuellem Stand scheint die nachhaltigste Schädigung ebenfalls durch ein mindestens 8 cm tiefes Fräsen erreicht zu werden. Diese Arbeitstiefe sollte bei Sida mindestens eingehalten werden, da ansonsten die Knospen bildenden Bereiche nicht ausreichend geschädigt werden. Noch mehr als bei Durchwachsener Silphie sollte nach dem Umbruch von Sida als Folgekultur Mais gewählt werden, da er wegen seiner Wuchshöhe eher in der Lage ist, den hochwachsenden Sidadurchwuchs durch Beschattung zu unterdrücken. Darüber hinaus treibt Sida im Frühjahr ohnehin erst relativ spät und kontinuierlich aus, so dass Mais wegen seiner späteren Saat ein günstigeres Zeitfenster für notwendige Herbizidmaßnahmen bietet. Das Mais-Herbizid „Arrat“ zeigte ebenfalls eine relativ gute Wirkung gegen Sidadurchwuchs. Der Umbruch mit der Fräse im Frühjahr vor der Saat sollte auf geeigneten Standorten bevorzugt werden, da keine Nachteile gegenüber einem Umbruch nach der Ernte im Herbst festgestellt werden konnten. Neben der Bekämpfung des Dauerkulturdurchwuchses erwiesen sich insbesondere bei den beiden Sidaumbruchversuchen die starke Verunkrautung der Dauerkultur und demzufolge das starke Unkrautaufkommen nach dem Umbruch als problematisch. Nimmt bei Dauerkulturen gegen Ende der Nutzungsdauer die Wuchsleistung ab und die Verunkrautung zu, sollten diese Bestände möglichst zeitnah umgebrochen werden. Ansonsten kann die erneute Verringerung des Unkrautdrucks auf der Fläche mit größerem Aufwand als der eigentliche Umbruch der Dauerkultur und deren Durchwuchsbeseitigung verbunden sein.

## Quellenverzeichnis

- [1] 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. FKZ-Nr.: 22012809. Abschlussbericht. Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 78 Seiten
- [2] BORKOWSKA, H.; MOLAS, R. (2013): Yield comparison of four lignocellulosic perennial energy crop species. *Biomass and Bioenergy*, Bd. 51, April, S. 145–153
- [3] DAUBER, J.; MÜLLER, A. L.; SCHITTENHELM, S.; SCHOO, B.; SCHORPP, Q.; SCHRADER, S.; SCHROETTER, S. (2015): Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) als eine Biomassepflanze der Zukunft. Teilvorhaben 1: Ober- und unterirdische Biodiversität in Beständen der Durchwachsenen Silphie Teilvorhaben 2: Wasserhaushalt und Ökophysiologie der Durchwachsenen Silphie. Schlussbericht zum Vorhaben. Stand: 10/2015. Braunschweig; Quedlinburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Julius Kühn-Institut, 138 Seiten
- [4] FELTEN, D.; EMMERLING, C. (2012): Accumulation of Miscanthus-derived carbon in soils in relation to soil depth and duration of land use under commercial farming conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Bd. 175, Nr. 5, S. 661–670
- [5] FÖRSTER, L.; BURMEISTER, J.; ROSWITHA, W.; EBERTSEDER, F.; WIESMEIER, M.; SOLBACH, J.; PARZEFALL, S.; HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2020): Ertragsstabilität, Etablierung und Umweltparameter mehrjähriger Energiepflanzen – Dauerkulturen II. Berichte aus dem TFZ, Nr. 71. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) (Hrsg.), 308 Seiten, ISSN 1614-1008
- [6] GANSBERGER, M.; STÜGER, H.-P., WEINHAPPEL, M.; MODER, K.; LIEBHARD, P.; GEHREN, P. VON; MAYR, J.; RATZENBÖCK, A. (2017): Germination characteristic of *Silphium perfoliatum* L. seeds. *Journal of Land Management, Food and Environment*, Bd. 68, Nr. 2, S. 73–79
- [7] GRUNWALD, D.; PANTEN, K.; SCHWARZ, A.; BISCHOFF, W.; SCHITTENHELM, S. (2020): Comparison of maize, permanent cup plant and a perennial grass mixture with regard to soil and water protection. *GCB Bioenergy*, Bd. 12, Nr. 9, S. 694–705
- [8] GUTSER, R.; EBERTSEDER, T.; WEBER, A.; SCHRAML, M.; SCHMIDHALTER, U. (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Bd. 168, Nr. 4, S. 439–446
- [9] HARTMANN, A.; BURMEISTER, J.; FRITZ, M.; WALTER, R. (2017): Dauerkulturen. Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung. Berichte aus dem TFZ, Nr. 54. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) (Hrsg.), 229 Seiten, ISSN 1614-1008
- [10] PARZEFALL, S.; FRITZ, M. (2018): Düngung mit Gärresten in Dauerkulturen: Optimierung der Düngetermine. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 130 Seiten

- [11] PICHARD, G. (2012): Management, production, and nutritional characteristics of cup-plant (*Silphium perfoliatum*) in temperate climates of southern Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, Bd. 39, Nr. 1, S. 61–77
- [12] RUF, T.; EMMERLING, C. (2020): Soil organic carbon allocation and dynamics under perennial energy crops and their feedbacks with soil microbial biomass and activity. *Soil Use and Management*, Bd. 36, S. 646–657
- [13] SCHITTENHELM, S.; PANTEN, K.; GABRIEL, D. (2021): Converting perennial energy crops cup plant and field grass to arable cropping affects weed infestation, soil nitrogen mineralization and subsequent silage maize yield. *Global Change Biology Bioenergy*, Bd. 13, Nr. 8, S. 1232–1246
- [14] SCHOO, B.; SCHROETTER, S.; KAGE, H.; SCHITTENHELM, S. (2017): Root traits of cup plant, maize and lucerne grass grown under different soil and soil moisture conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Bd. 203, Nr. 5, S. 345–359
- [15] SCHOO, B.; WITTICH, K. P.; BÖTTCHER, U.; KAGE, H.; SCHITTENHELM, S. (2016): 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
- [16] SOKOLOV, V. S.; GRITSAK, Z. I. (1972): SILPHIUM - a valuable fodder and nectariferous crop. *World Crops*, Bd. 24, Nr. 6, S. 299–301
- [17] SOMMER, S. G.; ERSBØLL, A. K. (1994): Soil Tillage Effects on Ammonia Volatilization from Surface Applied or Injected Animal Slurry. *Journal of Environmental Quality*, Bd. 23, Nr. 3, S. 493–498
- [18] SOMMER, S. G.; HUTCHINGS, N. J. (2001): Ammonia emission from field applied manure and its reduction - invited paper. *European Journal of Agronomy*, Bd. 15, Nr. 1, S. 1–15