



# **Ertragsstabilität, Etablierung und Umweltparameter mehnjähriger Energiepflanzen (Dauerkulturen II)**

**Kurzfassung TFZ-Bericht**

Lena Förster  
Johannes Burmeister  
Roswitha Walter  
Florian Ebertseder  
Dr. Martin Wiesmeier  
Jan Solbach  
Sebastian Parzefall  
Dr. Anja Hartmann  
Dr. Maendy Fritz

**Straubing, Oktober 2020**

**Titel:** Ertragsstabilität, Etablierung und Umweltparameter mehrjähriger Energiepflanzen (Dauerkulturen II)

**Autoren:** Lena Förster (TFZ), Johannes Burmeister (LfL), Roswitha Walter (LfL), Florian Ebertseder (LfL), Dr. Martin Wiesmeier (LfL), Jan Solbach (TFZ), Sebastian Parzefall (TFZ), Dr. Anja Hartmann (TFZ), Dr. Maendy Fritz (TFZ)

**Mitarbeiter (TFZ):** Franz Heimler, Josef Wittmann, Heide Lummer, Martina Lehner, Daniel Leidl;

**Mitarbeiter (LfL):** Sebastian Wolfrum, Josefa Weinfurtner, Franziska Heine, Sabine Topor, Michael Weber, Jürgen Kler, Veronika Ilmberger, Monika Dirscherl, Heidi Scherzer-Gois, Sandra Schwarzmaier;

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Förderkennzeichen N/16/08 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2020  
Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.  
Kein Teil dieses Werks 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

**E-Mail:** [poststelle@tfz.bayern.de](mailto:poststelle@tfz.bayern.de)

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

**Verlag:** Eigenverlag

**Erscheinungsort:** Straubing

**Erscheinungsjahr:** 2020

**Redaktion:** Ulrich Eidenschink

**Gestaltung:** Lena Förster

**Fotonachweis:** Hartmann (11); Walter (13, Bild in der Mitte); Burmeister (13)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Problemstellung und Zielsetzung</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Material und Methoden</b> .....	<b>9</b>
2.1 Feldversuche (TFZ).....	9
2.2 Auswirkungen von Dauerkulturen auf Umweltparameter (LfL).....	12
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Feldversuche (TFZ)</b> .....	<b>15</b>
3.1.1 Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen für die Biogasnutzung .....	15
3.1.1.1 Lageranfälligkeit.....	17
3.1.1.2 Entwicklung von Trockensubstanzgehalt im Erntezeitraum .....	17
3.1.2 Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen für eine thermische Verwertung .....	18
3.1.2.1 Lageranfälligkeit.....	19
3.1.3 Etablierung und Standdauer .....	19
3.1.4 Etablierung von Silphie als Untersaat unter der Deckfrucht Silomais .....	21
<b>3.2 Substratqualität (TFZ)</b> .....	<b>21</b>
3.2.1 Entwicklung der Methanausbeute im Erntezeitraum .....	21
3.2.2 Methanertrag .....	22
3.2.3 Brennstoffqualität thermisch genutzter Energiepflanzen .....	24
<b>3.3 Bodenstickstoff und -nitrat zum Vegetationsende (TFZ)</b> .....	<b>25</b>
<b>3.4 Ökologie (LfL)</b> .....	<b>25</b>
3.4.1 Humusgehalte und -Vorräte .....	25
3.4.2 Textur, Lagerungsdichte und Porenverteilung.....	26
3.4.3 Regenwurmfauna.....	26
3.4.4 Laufkäfer (Bodenfallen).....	28
3.4.5 Fauna von Riesenweizengras und GPS-Roggen nach der Ernte – Erfassung mit Minibarberfallen.....	29
3.4.6 Arthropodenerfassung mit Laubsaugern .....	29
3.4.7 Insektenfauna von Praxisflächen im Vergleich – Silphie versus Mais .....	31
<b>4 Schlussfolgerung für die Praxis</b> .....	<b>33</b>
4.1 Pflanzenbau.....	33
4.2 Boden.....	36
4.3 Fauna und Biodiversität .....	37
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>41</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>42</b>
<b>Quellenverzeichnis</b> .....	<b>43</b>



## Einleitung

Die Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen hat stark zugenommen, vor allem Silomais spielt dabei im Biogassektor eine große Rolle. Aufgrund der Forderung nach umweltschonenden Anbaumethoden sollen jedoch weitere Kulturen hinsichtlich ihrer Anbaueignung geprüft werden. Besonders der Energiepflanzenanbau und der Mais als Rohstoff für die Biogasproduktion werden in der Öffentlichkeit oft kritisch diskutiert. Enge Fruchtfolgen, ein intensiver Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln sowie die Struktur- und Artenarmut der Agrarlandschaft sind einige der Kritikpunkte. Während im Biogasbereich sowohl durch die öffentliche Debatte wie auch durch die Einführung des Maisdeckels alternative Substrate ohnehin dringend gesucht werden, ist die thermische Verwertung nicht holziger Rohstoffe derzeit noch ein Nischengeschäft ohne größere Flächenbedeutung. Zunehmende Verwertungsmöglichkeiten energetischer und stofflicher Art können jedoch auch hier in Zukunft einen steigenden Bedarf erzeugen. Eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion wird in Zukunft nicht um die vorausschauende Berücksichtigung von Aspekten des Schutzes von Boden, Wasser, Luft und Biodiversität herumkommen. Über diese Aspekte in Zusammenhang mit den produktiven Leistungen Kenntnisse zu gewinnen und mögliche Synergien zu fördern, ist eine wichtige Aufgabe aktueller, angewandter, agrarökologischer Forschung. Aufgrund der Gunststellung der Landwirtschaft unter mitteleuropäischen Standortbedingungen ist hierbei insbesondere der Bereich der hochproduktiven, aber deutlich umweltverträglicheren Landnutzungsoptionen zu prüfen.

Mehrjährige Kulturen, wie z. B. Miscanthus, Durchwachsene Silphie oder Riesenweizengras, haben zumindest im Energiepflanzenbereich das Potential, Ökosystemleistungen der Agrarlandschaft zu fördern und zur Erhaltung der für diesen Raum typischen biologischen Vielfalt beizutragen. Sie sorgen für mehr Vielfalt an Kulturen und Habitaten und können das Deckungs- und Lebensraumangebot für die Agrarfauna erweitern. Abhängig von der Fruchtart liefern ihre Blüten Nahrung für Insekten in einer Zeit, in der eine wenig strukturierte Agrarlandschaft nur ein geringes Nahrungsangebot bereitstellt. Mehrjährige Energiepflanzen bieten zudem eine nahezu ganzjährige Bodenbedeckung. Nach dem Etablierungsjahr kann auf die jährliche Bodenbearbeitung verzichtet werden, wodurch Zeit, Kosten und Ressourcen eingespart werden. Der kontinuierliche Bewuchs in Verbindung mit einer meist intensiven Durchwurzelung reduziert das Risiko für Bodenerosion und Nährstoffauswaschung. Zudem ermöglicht die Mehrjährigkeit der Kulturen die Entwicklung eines tiefreichenden Wurzelsystems, das bei extremer Trockenheit von Vorteil sein kann. Dieser Punkt wird gerade im Hinblick auf den Klimawandel und die erwartete Häufung von Extremwetter zur Risikoabsicherung wichtiger. Die lange Bodenruhe und die intensive Durchwurzelung können sich möglicherweise auf den Humusaufbau im Boden positiv auswirken.

In einer ersten Projektphase wurden auf sechs Standorten erfolgreich Versuchspartellen mit Miscanthus, Durchwachsener Silphie, Riesenweizengras, Sida und Switchgras etabliert. Erste Ertragsergebnisse und Erfahrungen mit dem Anbau und der Kulturführung liegen bereits vor [2]. Die Ertragsstabilität über mehrere Jahre ist insbesondere für mehr-

jährige Kulturen, welche meist im ersten Jahr hohe Etablierungskosten verursachen, wesentlich. Die aktuell dargestellte zweite Projektphase soll zeigen, wie sich die Erträge auf den unterschiedlichen Standorten über mehrere Jahre entwickeln.

Hinsichtlich der Etablierung hat sich in der ersten Projektphase besonders die Kultur Sida als problematisch erwiesen. Diese Pflanze schließt die Reihen nur sehr langsam und ist im Etablierungsjahr sehr konkurrenzschwach gegenüber Unkraut. Herbizide werden so gut wie gar nicht vertragen [2]. Hierzu soll in der aktuellen Projektphase ein produktionstechnischer Versuch die Möglichkeiten der Etablierung als Untersaat prüfen.

Eine Bewertung der Umwelteffekte des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen erfolgt gemeinsam mit dem Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Es werden ökologische Parameter, wie die Veränderungen des Bodenlebens, die Aktivität und Artenvielfalt der Fauna auf der Bodenoberfläche sowie die Attraktivität der Pflanzen für Blütenbesucher erforscht. Dies soll wichtige Erkenntnisse zur Einschätzung des agrarökologischen Potenzials von mehrjährigen Energiepflanzen liefern.

In der zweiten Projektphase „Etablierung, Ertragsstabilität und Langzeit-Umweltparameter mehrjähriger Energiepflanzen“ wird die Untersuchung des Einflusses mehrjähriger Energiepflanzen auf die Fauna an unterschiedlichen Standorten in Bayern in den nun etablierten Kulturen fortgeführt. Durch vielfältige Methoden und Indikatororganismen (Regenwürmer, Laufkäfer, Bodenmesofauna, flugfähige Insekten) wird ein breites Spektrum faunistischer Aspekte mehrjähriger Energiepflanzen abgebildet. Die Beurteilung der Biodiversität als Gesamtheit ist durch die sehr aufwändige und unvollständige Erfassbarkeit sowie die starke Abhängigkeit vom räumlichen Kontext grundsätzlich schwierig. Umso wichtiger ist es, die Wirkung landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsoptionen auf einzelne Bestandteile der Biodiversität zu kennen, besonders wenn diese – wie beispielsweise die Regenwürmer – wichtige funktionale Leistungen für die Landwirtschaft erbringen. Auch hinsichtlich der Auswirkungen mehrjähriger Energiepflanzen auf die Bodenstruktur und den Bodenkohlenstoffhaushalt fehlen Ergebnisse für bayerische Standortsverhältnisse. Diese sind für die Beurteilung der Auswirkungen dieser Kulturen auf Bodenfruchtbarkeit und Kohlenstoffbilanz wichtig.

# 1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Vorteile mehrjähriger Energiepflanzen sind bekannt: Sie kommen ohne jährliche Bodenbearbeitung aus, bieten eine weitgehende Bodenbedeckung über das ganze Jahr und benötigen nach der Etablierung meist auch keine Herbizidanwendungen. Hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Ertrag können solche, bisher nur in geringem Umfang angebauten Kulturen mit gängigen Energiepflanzenarten aber oft nicht mithalten. Im Projekt „Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung“ hatte sich jedoch bereits im ersten Versuchsjahr gezeigt, dass einige der mehrjährigen Kulturen, die als Ganzpflanzensilage (GPS) in der Biogasanlage genutzt werden, in Bezug auf den Ertrag recht nahe an Referenzkulturen wie Mais oder GPS-Getreide herankommen. Standortunterschiede in Ertrag und Entwicklung gaben erste Hinweise auf die unterschiedliche Eignung der Kulturen für variierende boden-klimatische Verhältnisse. Es hat sich allerdings auch herausgestellt, dass einige der Kulturen eine längere Etablierungsphase brauchen und im ersten Erntejahr noch unzureichende Erträge liefern. Ebenso traten kulturartsspezifische Probleme wie z. B. bei der Etablierung oder Ernte zu Tage.

Eine Fortführung des Projektes bzw. der bereits etablierten Versuchsfelder um drei weitere Erntejahre soll eine langjährige Betrachtung ermöglichen und zeigen, wie sich der Ertrag, die Qualität des Erntegutes und ökologisch relevante Faktoren über mehrere Jahre auf den verschiedenen Standorten entwickeln. Für die Untersuchungen zu ökologischen Parametern wie Humus oder Regenwurmbesatz sind ebenfalls langjährige Ergebnisse notwendig, um die Umwelteffekte des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen beurteilen zu können. Eine kurzfristige Beeinflussung dieser Parameter kann in der Regel nur schwer detektiert werden. Bedingt durch die bisher nur geringen Anbauerfahrungen auf dem Gebiet der mehrjährigen Energiepflanzen zur energetischen Nutzung in Bayern sind noch viele Fragen zur Etablierung, Anbautechnik und deren ökologischen Wirkung unbeantwortet.

Die wesentlichen Arbeitspakete der ersten Projektphase (2014 bis 2016) sollen dabei fortgeführt und um einige wichtige Fragestellungen zur Bestandesdichte und Etablierung ergänzt werden:

- Fortführung des Feldversuches zur Anbaueignung verschiedener mehrjähriger Energiepflanzen auf sechs unterschiedlichen Standorten in Bayern,
- Vervollständigung der Untersuchungen zur Substratqualität des Erntegutes und Erweiterung um Analysen zu unterschiedlichen Erntezeitpunkten,
- Fortführung und Ausweitung der ökologischen Bewertung der mehrjährigen Kulturen (Bodenfauna, Insekten, Humus,  $N_{\min}$  und N-Bilanz),
- Neuanlage eines Feldversuchs zur Etablierung von Sida unter verschiedenen Deckfrüchten,
- Fortführung des Wissenstransfers zu alternativen, mehrjährigen Energiepflanzen unter Einbeziehung der Hemmnisse in der Praxis.



## 2 Material und Methoden

### 2.1 Feldversuche (TFZ)

#### Standortbedingungen der Feldversuche

Die Feldversuche zur Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen befanden sich auf sechs Standorten in unterschiedlichen Regionen in Bayern: in Wolferkofen, Aholting, Rosenau, Hötzelsdorf, Parsberg und Gelchsheim. Die Standorte decken ein breites Spektrum an Bodenverhältnissen und Klimabedingungen ab. Angaben zur Bodengüte, Vorfrucht und Wasserspeicherefähigkeit des Bodens sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Beschreibung der Versuchsstandorte

Standort	Beschreibung	Wasserspeicherefähigkeit	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	IS	45	Kartoffeln/ Hybrid-Roggen
Rosenau	humoser Boden, mild, degradiertes Niedermoor	gut	346	huL	58	Silomais/ Winterrüben
Hötzelsdorf	Hochlage bzw. Mittelgebirgslage, kalt	gering	648	IS	35–45	Wintertriticale/ Alexandrinerklee
Parsberg	lehmiger, steiniger Boden, kühl, Jurastandort	mittel	466	tL	32–59	Klee gras und Luzerne
Gelchsheim	sehr guter Boden, warm, Gäulage, trocken	gut	309	tL	72–76	Wintergerste/ Winterweizen

#### Feldversuch Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen

Die Feldersuche zur Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen wurden größtenteils bereits im Jahr 2014, zum Start der ersten Projektphase, angelegt. Lediglich ein Standort (Wolferkofen, siehe Abbildung 1) konnte erst in 2015 etabliert werden. Es wuchsen im Feldversuch die mehrjährigen Kulturen Silphie, Sida, Riesenweizengras, Switchgras und Miscanthus. Die einjährigen Kulturen der Referenzfruchtfolge Mais, Winterweizen und GPS-Roggen standen im Wechsel. 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 2). Die Parzellengröße betrug jeweils 100 m<sup>2</sup>, die Größe der Erntefläche etwa

50 m<sup>2</sup>. Die Versuche waren an jedem Standort als randomisierte, vollständige Blockanlage mit jeweils vier Wiederholungen angelegt. In Parsberg mussten beide Versuchsvarianten Switchgras in 2017 aufgegeben werden, und am Standort Rosenau die Variante Sida für die Verwertung als Biogassubstrat im Frühjahr 2019.

Ein Anbauversuch mit Silphie als Untersaat unter Silomais kam 2017 hinzu. Auf den Standorten Wolferkofen, Aholfing, Rosenau und Hötzelsdorf wurden im Frühjahr 2017 Mais (6 Körner/m<sup>2</sup>) und Silphie (25 Körner/m<sup>2</sup>) in alternierenden Reihen mittels Parzellen-Einzelkorntechnik gesät (Abstand innerhalb der jeweiligen Kultur 75 cm).

**Tabelle 2:** *Versuchsvarianten des Feldversuchs zur Anbaueignung und zum Ertragspotenzial mehrjähriger Energiepflanzen*

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

### **Substratqualität**

Für eine Qualitätsuntersuchung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten wurden zu fünf Terminen in den Biogaskulturen Proben entnommen. In den Jahren 2017 und 2018 wurden der Trockensubstanzgehalt und die Methanausbeuten bestimmt, in 2019 nur der Trockensubstanzgehalt.

In den thermisch genutzten Kulturen wurden Proben zur Ernte genommen und Trockensubstanzgehalt, Heizwert, Aschegehalt, Ascheschmelzpunkt und eine Elementaranalyse durchgeführt.

### **Bestimmung des mineralischen Stickstoffs im Boden und Grundbodenuntersuchung**

Die Durchführung der Bodenanalysen im Feldversuch zur Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen wurde prüfgliedweise an einer Mischprobe aus den vier Wiederholungen der jeweiligen Variante in zertifizierten Laboren durchgeführt. Die Probenahme erfolgt in den drei Tiefen 0–30, 30–60 und 60–90 cm. Die Bodenproben wurden jährlich im Frühjahr und im Herbst gezogen.



*Abbildung 1: Versuchsstandort Wolferkofen im Gäuboden, Foto: 25.09.2018*

## 2.2 Auswirkungen von Dauerkulturen auf Umweltparameter (LfL)

### Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungen zum Boden fanden an den Standorten Aholting, Gelchsheim und Wolferkofen jeweils in den Varianten Silphie, Riesenweizengras, Miscanthus und Mais (Referenz) im Oktober 2019 statt. Pro Parzelle wurde ein Bodenkern bis 1 m Tiefe gezogen und der organischen Bodenkohlenstoff ( $C_{org}$ ), Gesamtstickstoffs ( $N_t$ ), die Lagerungsdichte (LD), Steingehalte und die pH-Werte für die Tiefenstufen von 0–15, 15–30, 30–50, 50–70 und 70–100 cm ermittelt. Die  $C_{org}$ -Vorräte wurden als das um den Steingehalt korrigierte Produkt aus den  $C_{org}$ -Gehalten und der Lagerungsdichte berechnet.

Die Korngrößenzusammensetzung wurde in einer Tiefe von 10 bis 15 cm aus Bodenmischproben untersucht. Für die Bestimmung der Trockenrohddichte (TRD) und der Porenverteilung (Gesamtporenvolumen, FK, nFK, Totwasser) wurden jeweils sechs Stechzylinder pro Parzelle aus 10–15 cm sowie 30–35 cm Tiefe entnommen. Im Frühjahr 2019 wurde für die thermisch genutzten Kulturen die aktuelle Bodenfeuchte im Vergleich zur Referenz mit Winterweizen mit je fünf Messungen pro Parzelle gemessen.

### Regenwurmfauna

Die Erhebung der Regenwurmfauna fand vier bis fünf Jahre nach Etablierung der mehrjährigen Biogaskulturen Silphie, Sida, RWG an den Standorten Aholting, Hötzelsdorf, Parsberg, Rosenau und Wolferkofen im Herbst 2018 statt. Die thermischen genutzten Kulturen Miscanthus, Sida, und Switchgras wurden im Frühjahr 2019 untersucht. Als Referenz dienten 2018 die Parzellen mit Ramtillkraut nach Roggen-GPS, 2019 Winterweizen mit Mais als Vorfrucht. Der Standort Gelchsheim wurde wegen der starken Sommer-trockenheit 2018 im Frühjahr 2019 für alle Kulturen beprobt. Die Erfassung erfolgte mit einer Austreibung der Regenwürmer auf 0,5 m<sup>2</sup> (siehe Abbildung 2) und anschließender Handauslese auf einem Teil der Probestelle (0,1 m<sup>2</sup>) mit zwei Proben je Parzelle. Im Labor erfolgte die Bestimmung der Regenwurmartensowie der Siedlungsdichte (Individuen/m<sup>2</sup>) und ihrer Biomasse (g/m<sup>2</sup>).

### Laufkäferfauna (Bodenfallen)

An den Versuchsstandorten Rosenau, Wolferkofen, Aholting und Hötzelsdorf wurden im Frühjahr 2017 in den Varianten Silphie, Sida (Biogas), RWG und der Referenz Winterweizen je Parzelle zwei Bodenfallen zur Erfassung der Laufkäferfauna aufgestellt. Die Fallen waren im Zeitraum vom 02.03.2017 bis 16.05.2017 fängig und wurden fünfmal geleert. Am Standort Rosenau wurden zusätzlich Fallen über den Winter aufgestellt. Adulte Laufkäfer wurden bis zur Art, Laufkäferlarven bis zur Gattung bestimmt.

### Fauna von Riesenweizengras und GPS-Roggen nach der Ernte (Minibarberfallen)

Um die Fauna von Riesenweizengras und GPS-Roggen im Sommer nach der gleichzeitigen Ernte der Kulturen zu vergleichen wurden an den Standorten Aholting und Rosenau von 2015 bis 2019 Minibarberfallen eingesetzt. In jeder Parzelle wurden zehn mit 75 %-igem Ethylenglycol gefüllte Glasröhrchen mit einer Öffnungsweite von 13 mm für 48 h eingegraben. Im Labor wurde das Material nach taxonomischen Einheiten sortiert und die mittlere Individuenzahl pro Minibarberfalle berechnet.

### Arthropodenerfassung mit Laubsaugern (LfL)

An den Versuchsstandorten Rosenau, Wolferkofen, Aholfing wurde die Fauna der Bodenoberfläche im Herbst in den Kulturen Mais, Silphie, Sida und Riesenweizengras mit Hilfe von Laubsaugern erfasst. Proben wurden auf den Pflanzen bzw. abgeernteten Pflanzenstängel und neben den Pflanzen genommen. Für eine Stichprobe wurde der Laubsauger 20 Mal für je fünf Sekunden aufgesetzt. Die Proben wurden gesiebt (4 mm, 2 mm, 1 mm), das Material in 70 %-igem Alkohol konserviert und nach taxonomischen Einheiten sortiert. Ein Teil der Proben wurden als Mischproben mit dem DNA-Metabarcoding-Verfahren untersucht. DNA-Metabarcoding ist die genetische Analyse von Mischproben bestehend aus einer Vielzahl von Individuen zur qualitativen Bestimmung der Artenzusammensetzung.

### Insektenfauna von Praxisflächen im Vergleich – Silphie versus Mais

Für den Vergleich der Insektenfauna von Silphie- und Maisflächen unter praktischen Anbaubedingungen wurden an sechs über ganz Bayern verteilten Standorten jeweils eine Malaisefalle (vorwiegend flugaktive Insekten) und sechs Bodenfallen (Laufkäfer) über einen Zeitraum von ca. zwei Wochen im Sommer 2018 aufgestellt. Für das Material in den Malaisefallen erfolgte die Bestimmung der Insektenbiomasse, in Form des Abtropfgewichtes. Die enthaltenen Arthropoden wurden anschließend auf Ordnungsebene sortiert. Aus dem sortierten Bodenfallenmaterial wurden die Laufkäfer bestimmt.



Abbildung 2: *Eingesetzte Methoden zur Erfassung der Fauna (von links: Malaisefalle, Bodenfalle, Regenwurmaustreibung, Minibarberfalle, eingesaugte Probe)*



## 3 Ergebnisse

### 3.1 Feldversuche (TFZ)

Nach der erfolgreichen Etablierung der Feldversuche zur Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen in 2014 und 2015, standen ab 2017 meist gut entwickelte Bestände zur Ernte bereit. Für die thermisch genutzten Kulturen war es die zweite Ernte, die als Biogassubstrat eingesetzten Pflanzen wurden 2017 bereits das dritte Mal geerntet. Bei der in 2017 gesäten Variante „Etablierung der Silphie als Untersaat unter Mais“ stand in 2017 nur die Silomaisernte an, ab 2018 wurde hier Silphie geerntet.

#### 3.1.1 Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen für die Biogasnutzung

Im Mittel über alle Standorte betrachtet war die Kultur Silphie die ertragreichste mehrjährige Energiepflanze. 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. Nach wie vor sind jedoch mit Silomais deutlich höhere Erträge zu erzielen. Allerdings sollte dieser in einer ausgewogenen Fruchtfolge mit anderen Kulturen stehen. Den Vergleich zum Beispiel mit GPS-Roggen brauchen besonders Silphie, Riesenweizengras und Switchgras nicht zu scheuen. Nur die Sida konnte ertragsmäßig nicht überzeugen.

Um die Standorteignung bewerten zu können, gibt Tabelle 3 einen Überblick über die Biomasseleistung der mehrjährigen Energiepflanzen auf den unterschiedlichen Standorten für die Jahre 2016 bis 2019. Damit beinhaltet sie auch Ergebnisse aus der ersten Projektphase, wobei die Jahre 2014 und 2015 als Etablierungsjahre angesehen wurden und nicht in die Erträge eingeflossen sind.

Die Ergebnisse bestätigen die Schlussfolgerung der ersten Versuchsphase, dass die Silphie ein hohes Ertragspotenzial besitzt [2]. Dieses wird am besten auf nährstoffreichen Böden und bei ausreichender Wasserverfügbarkeit wie Wolferkofen, Rosenau und Gelchsheim ausgeschöpft. Zum relativ guten Abschneiden in Gelchsheim, dem Standort mit der geringsten Niederschlagsmenge, lassen sich nur Vermutungen anstellen. Da auf diesem Standort immer die geringsten Niederschlagsmengen fallen, sind die Silphiepflanzen dort wahrscheinlich am besten an Trockenphasen adaptiert (z. B. Wurzelmenge und -tiefe). Eine besondere Eignung für schlechte Böden oder trockene Regionen kann aus den vorliegenden Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Die Silphie konnte als einzige der Dauerkulturen die die Vorteile des humosen Standortes Rosenau nutzen. Die Ernte war aufgrund auftretenden Lagers (vgl. 3.1.1.1) erschwert, aber ohne Verluste möglich.

Insgesamt zeigt auch das Riesenweizengras auf Standorten mit guter Wasser- und Nährstoffversorgung wie Wolferkofen die höchsten Erträge. Es hat den Vorteil, dass es mit temporärem Wassermangel im Sommer gut zurecht kommt, was sich beim guten Abschneiden in Aholting widerspiegelte. Zur Hauptwachstumsphase im Frühjahr und im

Spätsommer/Herbst sollten dann allerdings Niederschläge einsetzen, 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 Bodens die Trockenheit der Jahre 2018 und 2019 besonders stark ausgewirkt. 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 konnten auf diesem Standort nicht überzeugen.

*Tabelle 3: Trockenmasseertrag nach Standort für die Versuchsjahre; abnehmender Ertrag von links nach rechts sortiert; Mittelwerte aus den Jahren 2016 bis 2019; Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen*

Standort (Ackerzahl/ Wasser- speicherfähig- keit)	Trockenmasseertrag in dt TM/ha								
	—————→								
Aholting (45/gering)	Switchgras	RWG	RWG	Silphie	Sida	Mais	GPS- Roggen		
	134 b	GreenStar 133 bc	Alkar 108 cd	108 cd	73 d	178 a	120 bc		
Gelchsheim (72–76/gut)	Silphie	RWG	RWG	Switchgras	Sida	Mais	GPS- Roggen		
	167 ab	GreenStar 161 ab	Alkar 153 ab	138 b	103 c	183 a	102 c		
Hötzelsdorf (35–45/gering)	Silphie	Switchgras	RWG	RWG	Sida	Mais	GPS- Roggen		
	121 bc	113 bcd	GreenStar 111 cd	Alkar 88 de	51 f	179 a	135 bc		
Parsberg (32–59/mittel)	Silphie	RWG	RWG	Sida		Mais	GPS- Roggen		
	148 ab	GreenStar 142 abc	Alkar 79 cd	69 de		157 a	112 bc		
Rosenau (58/gut)	Silphie	Switchgras	RWG	RWG	Sida	Mais	GPS- Roggen		
	165 b	117 c	GreenStar 109 cd	Alkar 86 de	69 e	217 a	114 c		
Wolferkofen (76/gut)	Silphie	RWG	RWG	Switchgras	Sida	Mais	GPS- Roggen		
	187 ab	GreenStar 166 bc	Alkar 158 bc	148 cd	128 d	213 a	137 cde		

Der Anbau von Switchgras empfiehlt sich eher auf warmen und trockenen Standorten. Hier kann das Gras, welches auch Sommertrockenheit gut übersteht, seinen Vorteil nutzen. 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, dort war es aber nicht die ertragreichste Kultur. Besonders in den trockenen Jahren 2018 und 2019 konnte das Gras seine Ertragsbeständigkeit und Trockentoleranz zeigen. Auf den sandigen Böden in Ahol-

fung und in Hötzelsdorf überzeugte das Switchgras gerade in diesen beiden Jahren mit Ertragsstabilität. Wie schon die Vorjahre gezeigt haben, profitiert dieses Gras weniger vom Nährstoffreichtum eines Bodens, als vielmehr von warmen Temperaturen und einer langen Vegetationszeit. Dies war 2018 sogar in der Höhenlage in Hötzelsdorf gegeben. Sollten zukünftig immer häufiger trockene und warme Jahre wie 2018 und 2019 auftreten, wird der Anbau dieser Kultur für sandige und trockene Standorte interessant.

Insgesamt sind die Ertragsergebnisse der Sida auf bayerischen Standorten nicht zufriedenstellend. Da der Haupteinfluss auf die Erträge im Experiment die Verunkrautung war, lässt sich die Standorteignung anhand der vorliegenden Daten schlecht beurteilen. Als Grund für das schlechte Abschneiden der Standorte Rosenau, Aholting und Hötzelsdorf war eine nicht ausreichende Pflanzenzahl pro m<sup>2</sup> und die übermäßige Verunkrautung, die in der Sida chemisch nicht kontrolliert werden kann, anzugeben.

### **3.1.1.1 Lageranfälligkeit**

Starkes Lager senkt oftmals den Trockensubstanzgehalt, verursacht Probleme bei der Ernte und führt zu Ertragseinbußen und Qualitätseinbußen durch Verschmutzung. Sida und die Referenzkultur Mais waren ausgesprochen standfest. Beim Switchgras war zum Zeitpunkt des ersten Schnitts kein Lager festzustellen, beim zweiten Schnitt hingegen trat leichtes Lager auf. In der ersten Projektphase war der Fall genau umgekehrt, hier lag der erste Schnitt teilweise im Lager, wenn auch nicht stark, aber der zweite Schnitt nicht [2]. Da der Erntezeitpunkt in der zweiten Projektphase um die 4 Wochen eher stattfand, liegt die Vermutung nahe, dass Switchgras bei längerer Standdauer ins Lager gehen kann. Eine Ernte war aber auch in der ersten Projektphase zum zweiten Schnittzeitpunkt problemlos möglich. Die Silphie neigte auf dem guten Standort Wolferkofen zu Lager, Boniturwerte über 5 wurden jedoch ausschließlich in Rosenau vergeben. In Rosenau ist das Stickstoffangebot durch Mineralisation des humusreichen Bodens durchgehend hoch, dies wirkt sich negativ auf die Standfestigkeit der Silphie aus. Das Riesenweizen-gras neigte zum Lager, auf allen Standorten kam es zu beiden Schnitten vor. Von den Biogaskulturen hat das Riesenweizen-gras das größte Lagerproblem, starkes Lager kam besonders bei der Sorte GreenStar vor. Nur bei starkem Lager kam es auch zu Ernteverlusten.

### **3.1.1.2 Entwicklung von Trockensubstanzgehalt im Erntezeitraum**

Untersuchungen zur Entwicklung des Trockensubstanzgehalts sollten Aufschluss über den geeigneten Erntezeitpunkt der unterschiedlichen Biogaskulturen geben.

Das Riesenweizen-gras reifte am frühesten ab und erreichte schon Anfang Juni 28 % Trockensubstanzgehalt. Das BBCH-Stadium zu diesem Zeitpunkt lag bei Mitte bis Ende Rispenschieben. Danach stieg der Trockensubstanzgehalt relativ schnell an. Ende Juni, zum Ende der Blüte, lagen die Trockensubstanzgehalte teilweise schon zu hoch. Die Ernte sollte daher frühzeitig, zwischen Ende Rispenschieben und Mitte Blüte erfolgen.

Das Switchgras erreichte Anfang Juli einen Trockensubstanzgehalt von 28 %. Zu diesem Zeitpunkt befand sich das Gras im Rispschieben. Die 35 % wurden Anfang August zum Ende der Blüte überschritten. Eine späte Ernte wirkt sich negativ auf den Ertrag des zweiten Schnittes aus, da dann die begrenzte Zeit und abnehmende Temperaturen keinen erntewürdigen Bestand mehr ermöglichen.

Der Trockensubstanzgehalt der Sida stieg langsam an. Allerdings waren zur ersten Ernte Ende Juni die angestrebten 28 % bereits überschritten. Das BBCH-Stadium zu diesem Zeitpunkt lag bei Anfang bis Mitte Blüte. Der Trockensubstanzgehalt ist zum Ende der Blüte zu hoch, ab Anfang August liegt er über den optimalen 35 %.

Die Silphie veränderte ihren Trockensubstanzgehalt im Erntezeitraum nur langsam. Dies hängt sicherlich mit der sehr lange andauernden Blüte und den bis in den Herbst grün bleibenden Blättern der Silphie zusammen. Im Projekt wurde der gewünschte Trockensubstanzgehalt nur im trockenen Jahr 2018 erreicht. Eine Silierung ist allerdings auch mit geringeren Trockensubstanzgehalten von 25 oder 26 % verlustfrei möglich [4], eine Ernte ab Ende August bis Mitte September erscheint daher auf bayerischen Standorten sinnvoll.

### **3.1.2 Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen für eine thermische Verwertung**

Von den drei Kulturen zur thermischen Nutzung lag Miscanthus ertragsmäßig eindeutig vorne, wie in Tabelle 4 zu sehen ist. Im Versuch erbrachte Miscanthus auf allen Standorten hohe Erträge. Miscanthus brauchte etwa drei bis vier Jahre um das maximale Ertragsniveau zu erreichen, was die teilweise noch recht niedrigen Erträge im Jahr 2017 erklärt. Dies war erst die zweite Ernte im Versuch. Auf Langzeitversuchen des TFZ wurden von 1991 bis 2017 auf drei Standorten mittlere Erträge von 170 bis über 250 dt TM/ha erzielt. Zusammenfassend kann man sagen, dass Miscanthus auf vielen Standorten hohe Erträge erbringt, aber durchaus von besseren Standorten mit guter Wasserversorgung profitiert. Bei der Ernte sollte darauf geachtet werden, dass der Miscanthus ausreichend abgetrocknet ist.

Switchgras und Sida lagen ertragsmäßig weit unter Miscanthus. Die Erträge des Switchgrases wurden durch Probleme bei der Ernte, bedingt durch starkes Lager, beeinflusst. Beide Kulturen können für die thermische Nutzung unter bayerischen Anbaubedingungen nicht empfohlen werden.

**Tabelle 4:** Trockenmasseertrag nach Standort, Mittelwert für die Versuchsjahre 2017 bis 2020; abnehmender Ertrag von links nach rechts sortiert; Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen

Standort (Ackerzahl/ Wasser- speicherfähigkeit)	Trockenmasseertrag in dt TM/ha		
	—————→		
Aholting (45/gering)	Miscanthus 143 a	Switchgras 89 ab	Sida 47 b
Gelchsheim (72–76/gut)	Miscanthus 140 a	Switchgras 88 b	Sida 80 b
Hötzelsdorf (35–45/gering)	Miscanthus 139 a	Switchgras 91 b	Sida 34 c
Parsberg (32–59/mittel)	Miscanthus 127 a	Sida 38 b	
Rosenau (58/gut)	Miscanthus 133 a	Switchgras 72 b	Sida 63 b
Wolferkofen (76/gut)	Miscanthus 140 a	Switchgras 107 b	Sida 73 c

### 3.1.2.1 Lageranfälligkeit

Die bereits diskutierten Ernteprobleme und -verluste bei stark lagernden Beständen sind insbesondere beim Anbau der Kultur Switchgras zu bedenken. Die Lageranfälligkeit der thermisch genutzten Switchgras-Variante war besonders bei der Ernte problematisch. Der Switchgrasanbau zur thermischen Verwertung ist für Bayern weitgehend ungeeignet. Lediglich trockene und milde Standorte ohne nennenswerten Schneefall können für den Anbau in Betracht gezogen werden. In den Miscanthusparzellen wurde nur in wenigen Fällen Lager bonitiert, obwohl diese Kultur in schneereichen oder windexponierten Lagen durchaus anfällig dafür ist. Auch die Sida konnte ohne Probleme weitgehend ohne Lager beerntet werden, lediglich am Standort Gelchsheim wurde geringes Lager notiert.

### 3.1.3 Etablierung und Standdauer

Das Riesenweizengras (Abbildung 3) hatte schon im zweiten Jahr einen hohen Ertrag der zum dritten Jahr noch anstieg, in den darauf folgenden Jahren wurde kein weiterer Ertragszuwachs festgestellt. Das Riesenweizengras neigte in der Wachstumspause im Sommer zur Verunkrautung und Verungrasung, was sich ertragsmindernd auswirken kann und damit die Nutzungsdauer begrenzt. Auch im Laufe des Projekts blieben die Erträge stabil und die Bestände waren unkrautfrei. Die Erträge der Sida stiegen von der ersten zur zweiten Ernte an. Mit den weiteren Jahren nahm die Verunkrautung zu und ein Ertragszuwachs konnte nicht festgestellt werden.

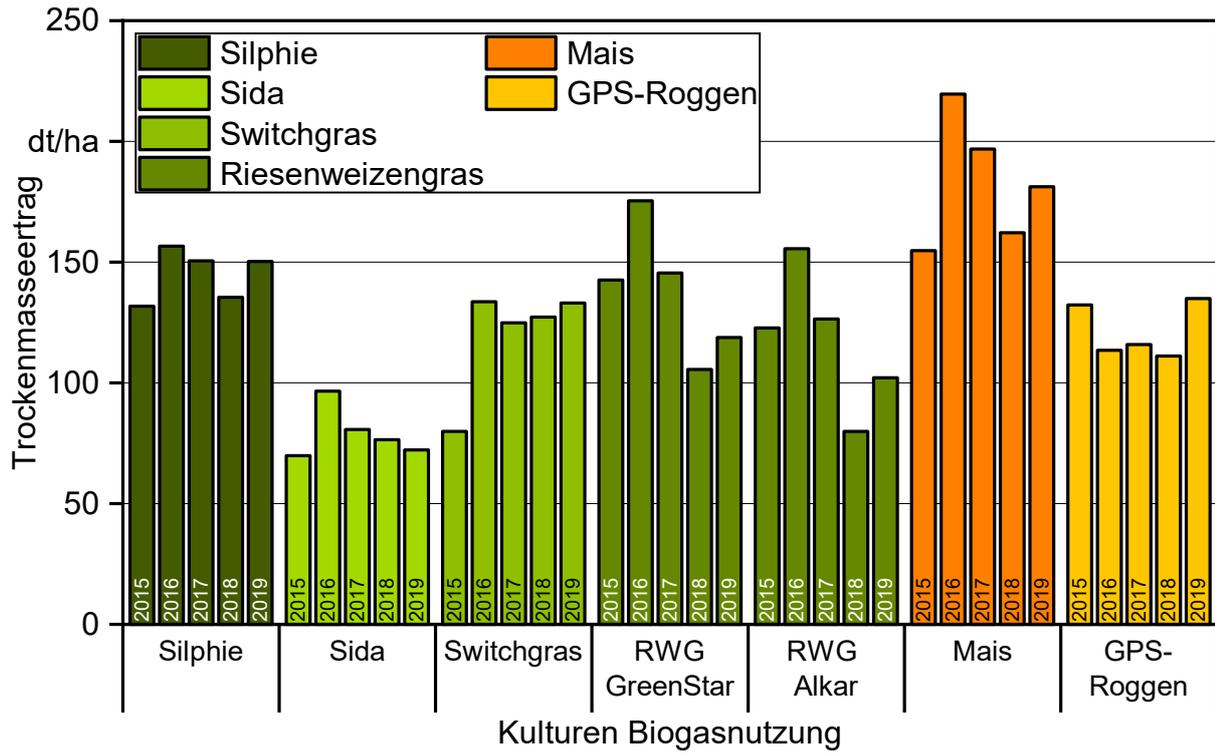


Abbildung 3: Trockenmasseertrag der mehrjährigen Energiepflanzen für die Biogasnutzung im Mittel der Standorte, Jahre 2015 bis 2019

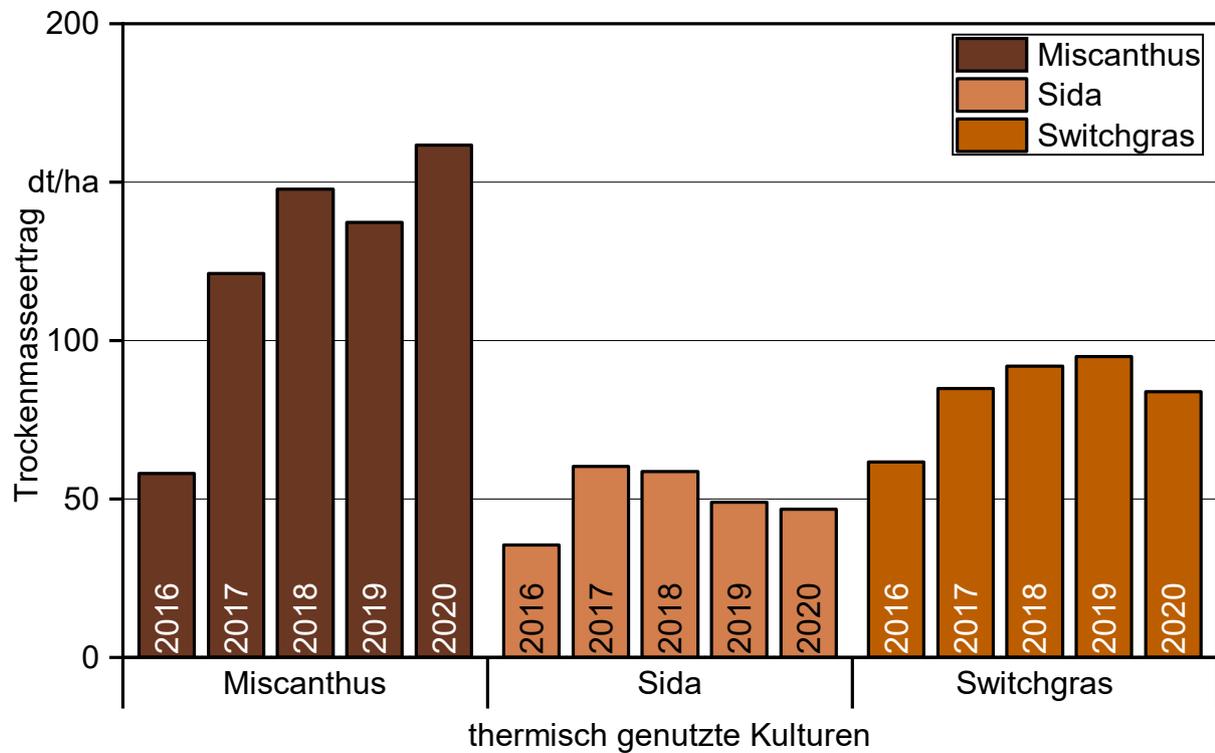


Abbildung 4: Trockenmasseertrag der mehrjährigen Energiepflanzen für die thermische Nutzung im Mittel der Standorte; Jahre 2016 bis 2020

Die Ergebnisse für Switchgras (Abbildung 3 und Abbildung 4) aus den beiden Projektphasen zeigten einen deutlichen Ertragsanstieg vom zweiten zum dritten Jahr. Danach stiegen die Erträge nur noch leicht an, was auch mit den für Switchgras günstigen warmen Jahren 2018 und 2019 zusammenhängen kann. Der Miscanthus brauchte vier Jahre um den vollen Ertrag zu erreichen. In Wolferkofen war das Jahr 2017 das erste Erntejahr, auch hier waren die Erträge noch niedrig. Auf den anderen Standorten, auf denen das Jahr 2017 schon das zweite Erntejahr, und damit das dritte Standjahr war, waren die Erträge 2017 höher als im Vorjahr. Bis auf Aholting hatte Miscanthus im Jahr 2018 nochmals einen Ertragszuwachs. Die Erträge im Jahr 2019 waren vom Trockenjahr 2018 beeinflusst.

### **3.1.4 Etablierung von Silphie als Untersaat unter der Deckfrucht Silomais**

Der Vorteil der Etablierung der Silphie in Untersaat ist die zusätzliche Maisernte im Etablierungsjahr. Da die Silphie im Ansaatjahr nur eine bodennahe Blattrosette bildet, ist normalerweise eine Ernte nicht möglich. 2017 wurde der Mais geerntet. In 2018 und 2019 erfolgte die Ernte der Silphiepflanzen. Eine Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums der Untersaat-Variante, bedingt durch die schlechtere Entwicklung im Vorjahr, wurde deutlich. Als problematisch erwies sich auch der weite Reihenabstand von 75 cm. Bedingt durch die weiten Reihen erfolgte der Reihenschluss sehr spät und es verblieb viel Raum und Licht für die Entwicklung von Unkräutern.

Der Maisertrag war im Untersaatverfahren etwas geringer als normalerweise. Es wurden noch 68 % bis 93 % des Ertrags des Maises in der Referenzvariante geerntet. Der Minderertrag des Silomais im Vergleich zur Referenzvariante war begründet in der geringeren Aussaatstärke und der unterschiedlichen Sorte.

Die Silphieerträge lagen 2018 im Mittel bei 57 dt TM/ha. 2019 gab es einen Anstieg bei den Erträgen auf 94 dt TM/ha. Damit lagen die Erträge der in Untersaat gesäten Silphie auf allen Standorten für beide Jahre unter denen der Reinsaat. Der Vergleich ist nicht ganz korrekt, da die Vergleichsvariante schon in 2014 bzw. 2015 etabliert wurde und der Reihenabstand bei 50 cm liegt. Auch im Vergleich mit den Erträgen der ersten Versuchsphase lagen die Erträge der Silphie in Untersaat deutlich unter denen der Reinsaat, hier waren die Witterungsbedingungen aber natürlich anders.

## **3.2 Substratqualität (TFZ)**

### **3.2.1 Entwicklung der Methanausbeute im Erntezeitraum**

Neben dem in Kapitel 3.1.1.2 diskutierten Trockensubstanzgehalt und BBCH-Stadium spielen auch die Veränderungen der Inhaltsstoffe und den damit auch verbundenen Änderungen in der Methanausbeute eine wichtige Rolle zur Bestimmung des geeigneten Erntezeitpunkts.

Die höchsten Methanausbeuten wurden in den Proben des Riesenweizengrases festgestellt. Diese lagen in den beiden Versuchsjahren bei 351 l<sub>N</sub>/kg oTS und 361 l<sub>N</sub>/kg oTS.

Die Methanausbeuten des Riesenweizengrases lagen damit in etwa auf dem gleichen Niveau wie die der Referenzkulturen. Außerdem war zu beobachten, dass die Methanausbeuten mit späterem Erntedatum tendenziell abnahmen. Ähnlich wie auch im Riesenweizengras lagen die höchsten Methanausbeuten im Switchgras in beiden Versuchsjahren zu den frühen Erntezeitpunkten vor. Zur frühesten Ernte wurden in den beiden Jahren mit je 323 l<sub>N</sub>/kg oTS und 353 l<sub>N</sub>/kg oTS die höchsten Ausbeuten festgestellt. Mit zunehmender Reife bis circa Mitte Juli nahmen die Ausbeuten um etwa 10 bis 20 % ab. Eine Vergärung der Kultur Sida ist weniger effektiv als die der geprüften Gräservarianten. Die Methanausbeuten im Versuch von 2017 lagen zwischen 246 l<sub>N</sub>/kg oTS und 313 l<sub>N</sub>/kg oTS. Die höchsten gemessenen Ausbeuten in 2018 lagen bei etwa 290 l<sub>N</sub>/kg oTS. Wie auch in den Gräservarianten erkennbar, zeichneten sich mit fortschreitenden Reifen Abnahmen in den Methanausbeuten in beiden Versuchsjahren ab. Eine Abnahme um circa 10 % war Mitte August 2018 sehr deutlich sichtbar. Die niedrigsten Methanausbeuten wurden in der Silphie gemessen. Die Ausbeuten lagen in den beiden Versuchsjahren zwischen etwa 220 l<sub>N</sub>/kg oTS und 280 l<sub>N</sub>/kg oTS. In 2017 deutete sich eine tendenzielle Zunahme der Methanausbeuten mit voranschreitendem Erntedatum an; während in 2018 zunächst ein Abfall der Ausbeuten zu beobachten war.

### 3.2.2 Methanertrag

Zum Vergleich der Ertragspotenziale der Kulturarten sollte nicht nur der Biomasse- bzw. Trockenmasseertrag, sondern auch der hochgerechnete Methanertrag je Hektar betrachtet werden. Der Methanertrag pro Hektar setzt sich aus dem Trockenmasseertrag und der Methanausbeute pro kg organischer Trockenmasse zusammen.

Ziel des Projekts war die Standorteignung der Kulturen zu ermitteln. Deshalb wurden auf Grundlage der gemittelten Methanausbeuten der Haupterntetermine aus Wolferkofen die theoretischen Methanerträge der anderen Standorte für die Jahre 2016 bis 2019 berechnet. In Tabelle 5 und Tabelle 6 wurden jeweils die Daten aller Erntetermine jeder Kultur gemittelt, um eine Selektion möglichst günstiger oder ungünstiger Bedingungen zu verhindern und auch die unterschiedlichen Abreifezustände aller Bestände an den diversen Standorten mitberücksichtigen zu können. Auf Grundlage der erarbeiteten Standorteignung wurden nochmals die Methanerträge unter der Annahme ermittelt, dass die Kulturen nur auf geeigneten Standorten angebaut wurden.

Auffällig war, dass die Dauerkulturen im Vergleich der Trockenmasseerträge dem seit Jahrzehnten züchterisch bearbeiteten Mais schon recht nahe kommen (vergleiche Tabelle 5), die Silphie schaffte durchschnittlich 80 % und Riesenweizengras (Sorte Green Star) sowie Switchgras erreichten 73 bzw. 70 % des Maisertrags. GPS-Roggen lag mit 64 % hinter diesen Dauerkulturen, bietet allerdings noch ein nutzbares Vegetationszeitfenster nach seiner Beerntung. Die Sida lag mit nur 43 % vom Trockenmasseertrags des Mais weit abgeschlagen am Ende der Kulturreihenfolge. Bei einer Betrachtung der Methanerträge je Hektar verschoben sich diese Relationen nochmals zugunsten des Silomais, da dieser eine insgesamt sehr gut im Fermenter verdauliche Biomasse liefert. Die Silphie fiel dabei mit nur 51 % des Mais-Methanertrags je Hektar deutlich hinter Riesen-

weizen gras mit immerhin noch 67 % zurück. Dies war vor allem an dem hohen Aschegehalt bzw. im Umkehrschluss dem vergleichsweise geringen Gehalt an organischer Trockensubstanz der Silphie (nur um 91,7 % im Vergleich zu 94,5 bis 96,9 % der anderen Kulturen im Test) sowie ihrer ebenfalls niedrigen Methanausbeute von im Mittel nur 243 l<sub>N</sub>/kg oTS begründet.

*Tabelle 5: Trockenmasse- und Methanerträge im Kulturartenvergleich, alle Standorte einbezogen, Erträge aus Versuchsjahren 2016 bis 2019 (ohne Etablierungsjahre 2014 und 2015)*

Kulturart	Sorte	Ertrag in dt TM/ha	Relativer TM- Ertrag zu Mais in %	Methanertrag in m <sup>3</sup> <sub>N</sub> CH <sub>4</sub> /ha	Relativer Me- thanertrag zu Mais in %
Silomais	Atletas	187,5	100	6493	100
GPS-Roggen	Brasetto	119,2	64	3854	59
RWG	GreenStar	136,0	73	4354	67
Silphie	-	149,1	80	3323	51
Switchgras	Shawnee	131,0	70	3805	59
Sida	-	80,3	43	2056	32

*Tabelle 6: Trockenmasse- und Methanerträge im Kulturartenvergleich mit Berücksichtigung der Standorteignung von Riesenweizen gras und Silphie, Erträge aus Versuchsjahren 2016 bis 2019 (ohne Etablierungsjahre 2014 und 2015)*

Kulturart	berücksichtigte, ge- eignete Standorte	Ertrag in dt TM/ha	Relativer TM- Ertrag zu Mais in %	Methanertrag in m <sup>3</sup> <sub>N</sub> CH <sub>4</sub> /ha	Relativer Methanertrag zu Mais in %
Silomais	alle	187,5	100	6493	100
GPS-Roggen	alle	119,2	64	3854	59
RWG	tiefgründig, lange Vegetationsperiode <sup>1)</sup>	153,1	82	4898	75
Silphie	tiefgründig, grund- wassernah <sup>2)</sup>	173,4	92	3866	60
Switchgras	alle	131,0	70	3805	59
Sida	alle	80,3	43	2056	32

<sup>1)</sup> Standorte Aholting, Gelchsheim, Wolferkofen; <sup>2)</sup> Standorte Gelchsheim, Wolferkofen, Rosenau

Bei einer geeigneten Standortwahl für die Dauerkulturen Riesenweizen gras und Silphie wurde dieses Bild nochmals verschoben. Für Riesenweizen gras wurden dabei nur die Trockenmasseerträge der Standorte mit tiefgründigem Boden und langer Vegetationspe-

riode berücksichtigt. Wird Riesenweizengras unter solchen Bedingungen angebaut, konnte es im Mittel 82 % des Trockensubstanzertrags und 75 % des Methanhektarertrags von Silomais erzielen, siehe Tabelle 6. Silphie bevorzugt ebenfalls tiefgründigen Boden, um ihre Vorteile als Dauerkultur mit tiefreichendem Wurzelsystem ausspielen zu können, sie hingegen hat einen noch höheren Anspruch an die Wasserversorgung als Riesenweizengras. An für Silphie passenden Standorten betrug der Trockenmasseertrag sogar 92 % des Silomais, für eine ökologisch und arbeitswirtschaftlich so vorteilhafte Kultur sehr beachtlich. Bezüglich des Methanertrags sank die Relation ab, es wurden nur 62 % des Methanertrags je Hektar ermittelt, den Silomais erreichte. Für Switchgras wurden keine Standorte ausgeschlossen. Auch für Sida konnten keine besonders geeigneten Standortgegebenheiten extrahiert werden, da sie unter allen Bedingungen Probleme bei der Etablierung und der Beikrautunterdrückung zeigte. Daher blieben für diese beiden Dauerkulturen die Relativerträge bezüglich Trockenmasse und Methan wie bereits in Tabelle 5 gezeigt.

### 3.2.3 Brennstoffqualität thermisch genutzter Energiepflanzen

Bezüglich des Heizwertes unterschieden sich die Kulturen Miscanthus, Sida und Switchgras kaum. Die Heizwerte der drei Kulturen lagen im Bereich von 17,8 bis 18,1 MJ/kg TS. Damit war der Heizwert etwas niedriger als beispielsweise der von Fichtenholz (18,8 MJ/kg TS), lag aber etwas über vergleichbaren halmgutartigen Brennstoffen wie Weizenstroh (17,2 MJ/kg TS) [1].

Der Aschegehalt lag für Sida in 2017 im Mittel über fünf Standorte bei 2,4 Gewichtsprozent (Gew.%), für Miscanthus bei 2,3 Gew.% und für Switchgras bei 3,4 Gew.%. 2018 wurden nur in Wolferkofen Proben genommen. Dort lagen die Werte etwas unter denen des Vorjahres. Insgesamt sind die Aschegehalte der drei Kulturen deutlich höher als die von Holz (Fichte: 0,6 %), aber geringer als die von Weizenstroh (5,7 %) [1].

Für das Häckselgut der Sida ergaben die Analysen eine Ascheschmelztemperatur von deutlich über 1200 °C so wie es zur Vermeidung von Schlackebildung im Feuerraum gefordert wird [5]. Switchgras lag zumeist darunter mit Werten ab 1060 °C. Die Asche von Miscanthus hingegen erweichte schon ab 900 °C und weniger, was zu Schlackebildung und damit zu Ablagerungen bei der Verbrennung führen kann. Insgesamt bringen Sida und Switchgras gute Eigenschaften für die Verbrennung mit. Die Eigenschaften des Miscanthus sind für die Verbrennung nicht ganz so vorteilhaft. Die Öfen müssen auf jeden Fall für die Verwendung von Agrarbrennstoffe ausgelegt sein. Praktiker berichten jedoch, dass die Verschlackung durch angepasste Kesseltechnik und eine optimale Einstellung des Kessels in den Griff zu bekommen sei.

Die Schüttdichte des Häckselgutes der drei Kulturen und der damit benötigte Lagerumbedarf unterscheidet sich deutlich von den Werten der Holzhackschnitzel ( $\geq 200$ ). Sida-Hackschnitzel der Ernte 2017 wogen im Mittel nur 69 kg/m<sup>3</sup>, die der Ernte 2018 wogen im Mittel nur 88 kg/m<sup>3</sup>. Die Switchgras-Hackschnitzel der beiden Erntejahre lagen bei 69 kg/m<sup>3</sup> und 73 kg/m<sup>3</sup> und die des Miscanthus bei 94 kg/m<sup>3</sup> und 110 kg/m<sup>3</sup>. Der Be-

darf an Lagerraum liegt damit deutlich über den gängigen Kapazitäten, die für Holzhack-schnitzel vorgehalten werden müssen.

### 3.3 Bodenstickstoff und -nitrat zum Vegetationsende (TFZ)

Der Herbst- $N_{\min}$ -Wert beschreibt den Gehalt an Mineralstickstoff in der Wurzelzone (0–90 cm) zu Beginn der Sickerwasserbildung im Winterhalbjahr. Über alle Jahre betrachtet wiesen die Flächen der Dauerkulturen auf den Standorten Aholfing, Gelchsheim, Hötzelstdorf, Parsberg, und Wolferkofen nur geringe Stickstoffgehalte im Boden auf. Die  $N_{\min}$ -Gehalte in den Bodenschichten von 0 bis 90 cm lagen zumeist unter 40 kg  $N_{\min}$ /ha. Laut HENNINGS und SCHEFFER (2000) ist dies ein Wert für einen tolerierbaren  $N_{\min}$ -Gehalt im Boden für Schluffe, Lehme und Tone [3]. Auch die Variante GPS-Roggen mit anschließender Zwischenfrucht (über den Winter) schnitt über die Jahre gut ab und hinterließ nur geringe auswaschbare Stickstoffmengen im Boden. Der Anbau der einjährigen Kulturen Mais und Winterweizen hinterließ oft höhere, potenziell auswaschbare Stickstoffmengen.

Die Ergebnisse veranschaulichen sowohl die erhöhte Nitratauswaschungsgefahr sehr humushaltiger Anbauflächen und einjährig bewirtschafteter Kulturlächen als auch das Potential von Dauerkulturen und Zwischenfruchtanbau zur Minimierung der Auswaschung. 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, was den Grundwasserschutz betrifft, sehr vielversprechend.

### 3.4 Ökologie (LfL)

#### 3.4.1 Humusgehalte und -Vorräte

Unabhängig von der untersuchten Kultur wurden die höchsten  $C_{\text{org}}$ - und  $N_{\text{t}}$ -Gehalte entsprechend des höheren Tongehalts am Standort Gelchsheim festgestellt. Der Standort Aholfing mit leichterem Boden zeigte deutlich niedrigere  $C_{\text{org}}$ - und  $N_{\text{t}}$ -Gehalte. Zwischen den Kulturen ergaben sich etwa 5 Jahre nach Etablierung der mehrjährigen Energiepflanzen an allen untersuchten Standorten und Tiefen keine signifikanten Unterschiede der  $C_{\text{org}}$ - und  $N_{\text{t}}$ -Gehalte. In Gelchsheim wurden in den obersten 15 cm lediglich unter Riesenweizengras tendenziell etwas höhere mittlere Gehalte an  $C_{\text{org}}$  (14,6 mg/g) und  $N_{\text{t}}$  (1,6 mg/g) gegenüber der Referenz und den anderen Kulturen festgestellt (12,2–13,1 mg/g  $C_{\text{org}}$  und 1,4 mg/g  $N_{\text{t}}$ ). An den Standorten Aholfing und Wolferkofen sind keine Unterschiede zwischen den Kulturen erkennbar. Die pH-Werte lagen im Bereich von 6,5–7,1 (Oberboden) und zeigten mit Ausnahme der Silphie keine signifikanten Veränderungen zwischen den Kulturen. Unter Silphie ergab sich an den Standorten Aholfing und Wolferkofen ein Rückgang der pH-Werte auf 6,0–6,2 im Oberboden, der sich bis in den Unterboden vollzog. Die Gründe hierfür sind nicht bekannt. Die Menge, der bei der Pro-

benaufbereitung ausgesiebten Grobwurzeln ( $<2$  mm) weist auf eine deutlich höhere Wurzelmasse von Dauerkulturen hin, die die Referenz (Mais) deutlich übersteigt. Die aus den C<sub>org</sub>-Gehalten und Lagerungsdichten berechneten C<sub>org</sub>-Vorräte zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kulturen an allen drei Standorten. Die höchsten C<sub>org</sub>-Vorräte waren am Standort Gelchsheim (8,4–9,9 kg/m<sup>2</sup>), gefolgt von Wolferkofen (6,3–7,1 kg/m<sup>2</sup>) und Aholting (5,0–6,1 kg/m<sup>2</sup>) festzustellen. Es ist zu vermuten, dass das Ausbleiben eines positiven Effekts der untersuchten Dauerkulturen auf C<sub>org</sub> auf die relativ kurze Versuchsdauer von etwa 5 Jahren zurückzuführen ist und langfristig möglicherweise mit einer Zunahme der C<sub>org</sub>-Vorräte zu rechnen ist.

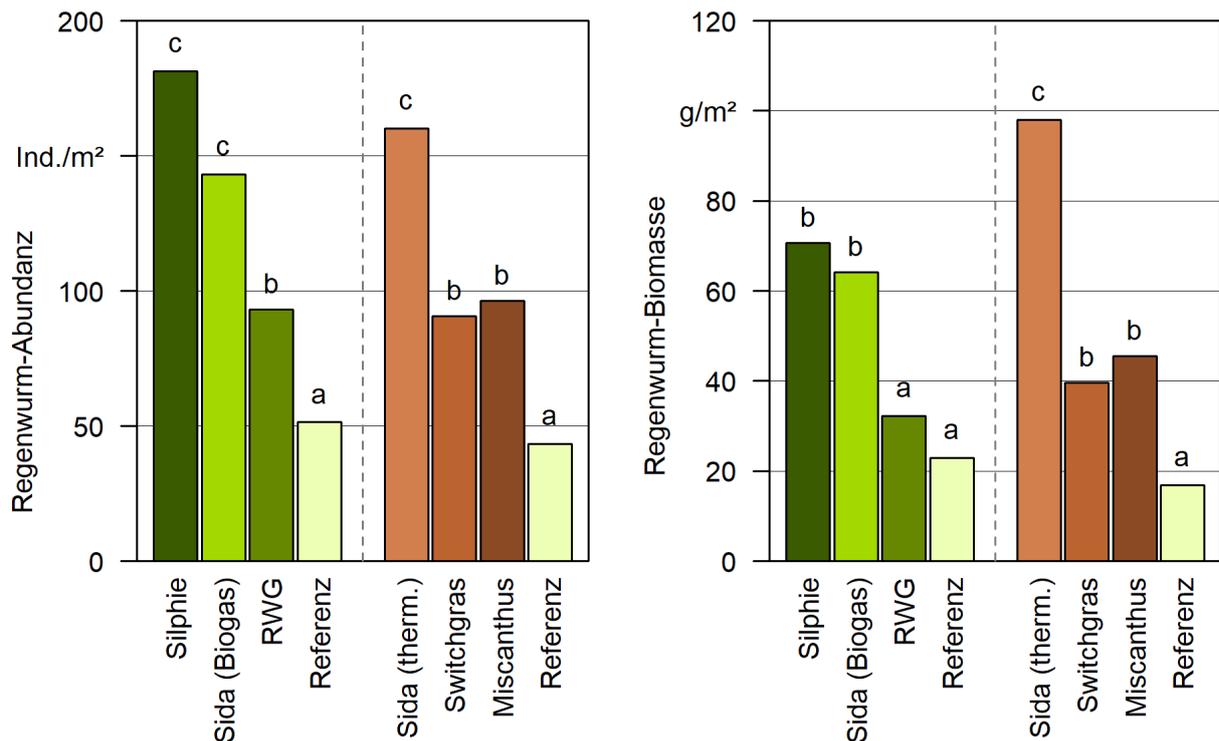
### 3.4.2 Textur, Lagerungsdichte und Porenverteilung

Die Texturanalyse ordnete die Standorte Gelchsheim und Wolferkofen der Bodenarten-Gruppe Tonschluffe und Schlufftone zu. Die Bodenart der Versuchsfläche in Aholting weist hohe Sandanteile auf und ist über die Versuchsfläche sehr heterogen, was auf die Wiederholbarkeit aller Ergebnisse einen Einfluss haben kann. Das Gesamtporenvolumen war in Aholting über alle Varianten und beide Tiefen deutlich geringer als an den übrigen Standorten. Für die Trockenrohddichte wurden in Aholting deutlich höhere Werte in 10–15 cm Tiefe in der Referenz, als in den mehrjährigen Kulturen gefunden. In Wolferkofen lagerte der Boden in 10–15 cm Tiefe nicht nur in der Referenz, sondern auch im Miscanthus deutlich dichter als unter Silphie und Riesenweizengras. Die Bodenfeuchte zur Momentaufnahme im Frühjahr war unter Switchgras und Miscanthus signifikant höher als unter Sida und der Referenz mit Winterweizen. Die Streuauflage bei Miscanthus und der dichte Bestand des Switchgrases scheinen den Boden vor Austrocknung zu schützen.

### 3.4.3 Regenwurmfauna

Über alle Versuchsstandorte wurden insgesamt zwölf Regenwurmartens nachgewiesen. Bezieht man ergänzend zu den Feldversuchsstandorten noch die im ersten Untersuchungsabschnitt des Projektes beprobten mehrjährigen Praxisflächen von Dauerkulturen mit ein, so konnten unter mehrjährigen Energiepflanzen in Bayern bislang in der Summe 14 Regenwurmartens nachgewiesen werden. Auf dem kühlen Mittelgebirgsstandort im Bayerischen Wald wurde mit acht Regenwurmartens die höchste Artenvielfalt der Versuchsstandorte nachgewiesen.

Die zur Biogasverwertung genutzten Dauerkulturen Silphie, Sida und Riesenweizengras wiesen vier bis fünf Jahre nach ihrer Etablierung im Mittel über die sechs in 2018 und 2019 beprobten Versuchsstandorte eine signifikant höhere Regenwurmsiedlungsdichte (Abundanz) im Vergleich zu der als Referenz dienenden dreigliedrigen Fruchtfolge auf (Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Abundanz und Biomasse der Regenwürmer im Boden von als Biogas-substrat und thermisch genutzten Kulturen im Mittel über 6 Versuchsstandorte 4 bis 5 Jahre nach Etablierung der Dauerkulturen, Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen

Insbesondere von der Silphie und von der Sida profitieren Regenwürmer, was sich auch in der signifikant höheren Regenwurmbiomasse im Vergleich zur Referenz und zum Riesenweizengras bestätigte. Auffallend sind die sehr niedrigen Abundanz- und Biomassewerte der Regenwürmer in der Referenzvariante, die deutlich unterhalb des für bayerische Äcker bekannten Durchschnitts liegen. Dauerkulturen weisen möglicherweise nach Trockenheit wie im Sommer und Herbst 2018 günstigere Lebensbedingungen für Regenwürmer auf, sodass Populationsrückgänge geringer ausfallen, als in annualen Kulturen mit regelmäßiger Bodenbearbeitung. Die besseren Lebensbedingungen führen wahrscheinlich auch zu der tendenziell etwas höheren Artenvielfalt im Boden unter Dauerkulturen. Auch die thermisch genutzten Dauerkulturen Sida, Switchgras und Miscanthus wiesen im Mittel über alle sechs Versuchsstandorte sowohl eine signifikant höhere Siedlungsdichte als auch eine signifikant höhere Biomasse der Regenwürmer als die Referenz auf. Auch hier profitieren Regenwürmer insbesondere von der Sida. Im Miscanthus wurde mit insgesamt neun Regenwurmartentypen die höchste Artenzahl erfasst. Hier ist trotz ungünstiger Streuqualität die über den Winter anfallende Streumenge hoch und schützt den Boden vor Kälte und Austrocknung. Trockenheitsbedingt waren die Bestandswerte der Regenwürmer in der Referenzvariante wiederum sehr niedrig.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse aus den Feldversuchen ca. 4,5 Jahre nach Versuchsbeginn einen klaren Vorteil der Dauerkulturen für Regenwürmer gegenüber der als Referenz dienenden dreigliedrigen Fruchtfolge mit einer regelmäßigen Bodenbearbeitung.

Damit bestätigen sich die bereits auf Praxisflächen in Bayern festgestellten deutlichen positiven Effekte der Dauerkulturen auf die Regenwurmdichte und -biomasse. Ein hoher Regenwurmbesatz regt v.a. den Zersetzungsprozess von abgestorbenem organischem Material an, fördert den Aufbau eines stabilen Bodengefüges und erhöht die Drändefähigkeit und Durchlüftung des Bodens.

#### 3.4.4 Laufkäfer (Bodenfallen)

Insgesamt wurden in der Summe über vier Versuchsstandorte 5.916 Laufkäfer aus 60 Arten im Zeitraum von 02.03.2017 bis 16.05.2017 gefangen. Die häufigste Art war *Bembidion lampros*. Die Aktivitätsdichte nahm von der ersten Fangperiode zur zweiten deutlich zu, was auf das Erscheinen von adulten Laufkäfern aus den Überwinterungsquartieren hindeutet. Die meisten Arten wurden in Rosenau (46) nachgewiesen, am wenigsten in Wolferkofen (25). In Hötzelsdorf wurden 28 und in Aholfing 38 Arten festgestellt.

*Tabelle 7: Ergebnisse zur Laufkäferfauna im Frühjahr 2017 über die vier untersuchten Standorte Rosenau, Wolferkofen, Aholfing und Hötzelsdorf (fett gedruckte = höchster Wert), Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen*

	WW (nach Mais)	Silphie	Sida	RWG
Artenzahl (gesamt)	44	43	<b>49</b>	44
Diversität-Inv(Simpson)	5,73 <sup>b</sup>	5,52 <sup>b</sup>	<b>5,86<sup>b</sup></b>	4,00 <sup>a</sup>
Aktivitätsdichte (Individuen / Tag)	0,64 <sup>ab</sup>	0,64 <sup>ab</sup>	<b>0,69<sup>a</sup></b>	0,50 <sup>b</sup>
Anzahl samenfressender Arten	89 <sup>b</sup>	148 <sup>b</sup>	<b>327<sup>a</sup></b>	45 <sup>c</sup>
Anzahl kleiner räuberischer Arten	608 <sup>ab</sup>	<b>855<sup>a</sup></b>	662 <sup>a</sup>	466 <sup>b</sup>
Larven				
Anzahl Gattungen	4	8	8	4
Larven (Anzahl)	55 <sup>a</sup>	<b>62<sup>a</sup></b>	51 <sup>a</sup>	7 <sup>b</sup>

Standortseigenschaften, die vorausgegangene Bewirtschaftungsweise und die umgebende Lebensraumvielfalt hatten einen deutlich größeren Einfluss auf die Zusammensetzung der Laufkäferfauna als die Kulturart. Nimmt man alle Proben zusammen, so war die Artenvielfalt der Laufkäfer am höchsten unter Sida (Tabelle 7). Die übrigen Kulturen zeigten eine vergleichbare Gesamtartenzahl. Die Sida wies im Vergleich zum RWG eine signifikant höhere Artenzahl je Wiederholung auf. Da in den vorliegenden Untersuchungen der Sommeraspekt der Laufkäferfauna nicht mitberücksichtigt wurde ist es möglich, dass die komplexe Vegetationsstruktur und das geringe Wachstum im Sommer die Laufkäferfauna des RWG später im Jahr bereichern. Auf Parzellen mit Sida war wegen der Verunkrautung die Aktivitätsdichte von samenfressenden Laufkäfern mehr als 2, 3 bzw. 7 Mal höher als auf Parzellen mit Silphie, Winterweizen bzw. Riesenweizengras. Samen-

fressende Laufkäfer tragen einen großen Teil zur Artenvielfalt der Laufkäfer in der Agrarlandschaft bei. Kleine räuberische Laufkäferarten waren aktiver in Silphie. Besonders die Arten *Bembidion lampros* und *Bembidion tetracolum*, die in Felldrändern überwintern und relevant für die natürliche Schädlingsregulation sind, traten früher im Jahr und individuenerreicher auf.

638 Laufkäferlarven aus 14 Gattungen wurden in der gesamten Untersuchung gefangen. Auffällig war das Fehlen von Larven der Gattung *Nebria* und *Calathus* im Riesenweizengras, wo insgesamt am wenigsten Laufkäferlarven festgestellt wurden. Tiere der Gattung *Nebria* waren ebenfalls häufig im Winterweizen nachzuweisen, jedoch war die Aktivitätsdichte auf Silphie und Sida Parzellen wesentlich größer - besonders im Winter.

#### **3.4.5 Fauna von Riesenweizengras und GPS-Roggen nach der Ernte – Erfassung mit Minibarberfallen**

Insgesamt wurden 9.628 Milben und 20.745 Springschwänze bei der Untersuchung festgestellt. Im Durchschnitt wurden 39 Individuen der Mesofauna in einer Minibarberfalle in 48 Stunden gefangen. Die mittlere Aktivitätsdichte der Mesofauna war auf dem sandigen Schotterstandort Aholting (49) höher als auf dem humosen, anmoorigen Boden in Rosenau (20). Im Mittel aller Proben war die Aktivitätsdichte der Mesofauna im GPS-Roggen etwa 1,8-mal höher als im Riesenweizengras. Dies konnte sowohl für die Springschwänze (1,6-mal) als auch für die Milben (2,4-mal) beobachtet werden. Im ersten Jahr nach der Etablierung war die Aktivitätsdichte zwischen den Kulturen sehr ähnlich und differenzierte sich erst in den folgenden Jahren aus, wobei allerdings kein gleichgerichteter Trend beobachtet werden konnte. In den fünf Untersuchungsjahren wurden auch 752 Laufkäfer aus 40 Arten nachgewiesen. Etwa 47 % der Individuen waren kleine räuberische Tiere. Sowohl in Aholting als auch in Rosenau wurden im Riesenweizengras vier Arten mehr gefunden als im GPS-Roggen. Kleine Laufkäferarten waren ähnlich wie die oberflächlich aktive Bodenmesofauna, die ihnen auch als Nahrung dienen, häufiger in der annualen Kultur. Ein Beispiel für die ausgeprägte Anpassung an Ackerflächen als Lebensraum ist die Art *Bembidion quadrimaculatum*. 88 % der Individuen dieser Art wurden im GPS-Roggen gefangen. Vermutlich wird durch die jährliche Bodenbearbeitung der besiedelbare Teil des Bodens für die nur in geringem Umfang selbst aktiv grabenden Tiere vergrößert, indem Poren geschaffen werden und organisches Material in den Boden gelangt. Langfristig spielt die Anreicherung von organischem Material an der Bodenoberfläche eine Rolle für die Fauna.

#### **3.4.6 Arthropodenerfassung mit Laubsaugern**

Insgesamt wurden 27.890 Tiere in den eingesaugten Proben gefunden. Die häufigste taxonomische Gruppe waren die Springschwänze (42 %), gefolgt von Milben (19 %), Zikaden (7 %) und Spinnen (7 %). Im Durchschnitt aller untersuchten Kulturen lag die Siedlungsdichte bei 1.800 Individuen/m<sup>2</sup> in Aholting, 1.300 Individuen/m<sup>2</sup> in Wolferkofen und 1.200 Individuen/m<sup>2</sup> in Rosenau.

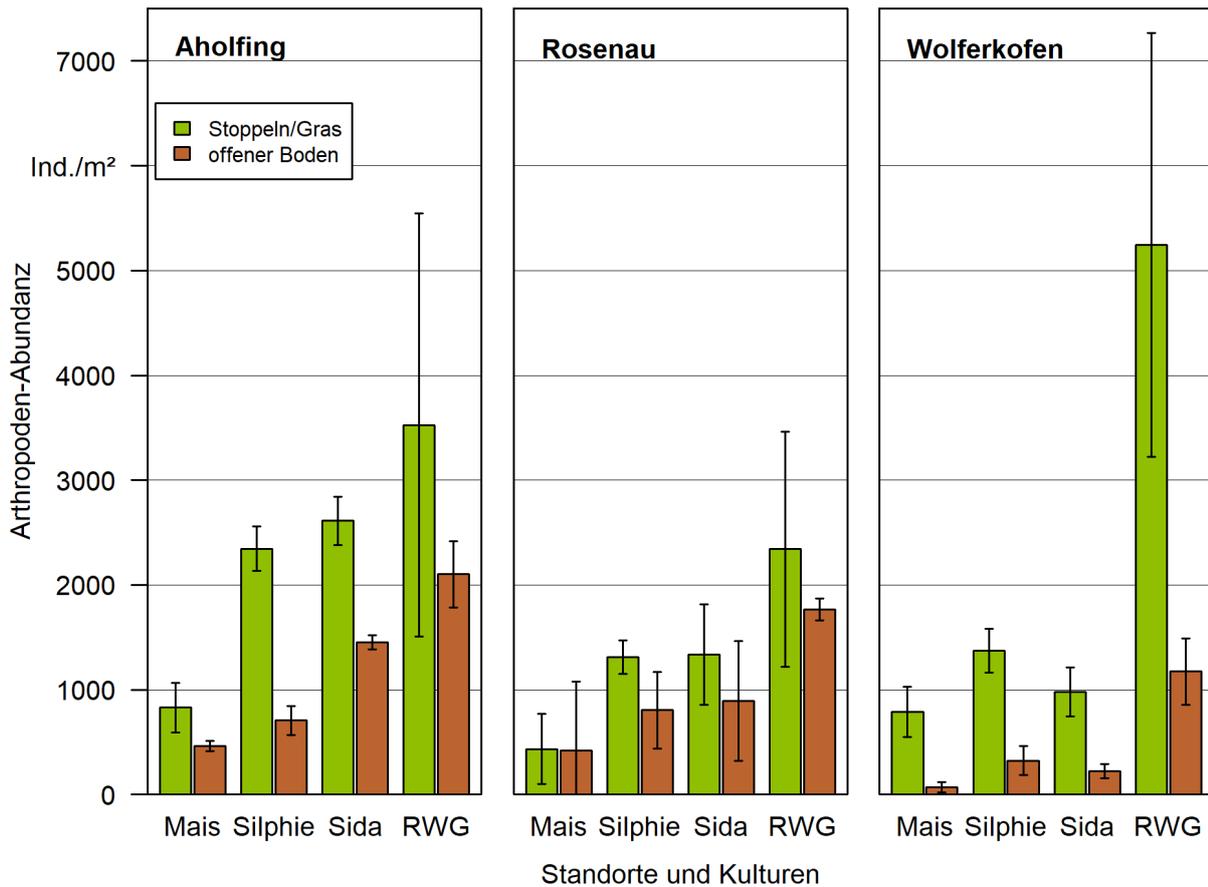


Abbildung 6: Abundanz der mit Laubsaugern im September 2017 erfassten Arthropoden für die Kulturen und die Position an den Standorten, Fehlerbalken mit Standardabweichung des Mittelwertes aus  $n = 4$

Der Vergleich der Kulturen ergab die signifikant höchste Siedlungsdichte von Arthropoden im Riesenschnittgras (Abbildung 6). Silphie und Sida wiesen ebenfalls signifikant höhere Werte, als die Parzellen mit Mais, auf. Überproportional stark profitierten Pflanzensauger (Wanzen, Zikaden, Blattläuse) vom zu diesem Zeitpunkt noch grünen Riesenschnittgras. Relativ über alle Kulturen war die Dichte der erfassten Arthropoden etwa 2,3-mal höher auf den Stoppeln bzw. Pflanzen als auf den dazwischenliegenden offenen Bodenstellen. Die Arten, die am häufigsten mit dem Metabarcoding erfasst wurden, waren die Springschwänze *Orchesella villosa* mit 44 % der gesamten Sequenzen, gefolgt von *Lepidocyrtus paradoxus* mit 11 %. Weitere häufig detektierte Arten waren Zikaden. Insgesamt machten Springschwänze 63 % der gesamten erfassten Sequenzen aus, bei den vorangegangenen Zählungen für diese Proben waren es 52 %. In den analysierten Proben waren mindestens 259 verschiedene Arthropoden-Arten vorhanden. Nimmt man beide Standorte zusammen, wurden die meisten Arten im Riesenschnittgras (138), gefolgt von Sida (113) und Silphie (112), nachgewiesen. Die geringste Artenzahl wurde auf den Parzellen mit Mais festgestellt (84). Allen Kulturen waren nur 25 Arten gemeinsam was darauf hindeutet, dass die Erfassung der Artengemeinschaft nicht vollständig ist. 78 Arten wurden nur im Riesenschnittgras gefunden und nur 22 ausschließlich auf Mais-Parzellen (Sida: 36; Silphie: 34).

### 3.4.7 Insektenfauna von Praxisflächen im Vergleich – Silphie versus Mais

Die als Abtropfgewicht erfasste Biomasse der Insekten aus den Malaisefallen lag zwischen 2,5 und 8,6 g pro Tag. Überraschenderweise konnten keine Unterschiede zwischen Mais- und Silphiefeldern im Hochsommer festgestellt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die umgebende Landschaft einen deutlichen Einfluss auf die Fänge von flugfähigen Insekten in Malaisefallen hat. Im Verhältnis mehr Insektenbiomasse im Mais wurde besonders an den beiden Standorten mit den älteren Silphiebeständen in Lappersdorf und Petersdorf festgestellt, während die Silphie im ersten Jahr nach der Etablierung in Froschbach eine nahezu dreimal höhere Biomasse zeigte, als das nur durch einen Feldweg getrennte Maisfeld. Zweiflügler, also Fliegen und Mücken, machten typischerweise den größten Teil der gefangenen Individuen in Malaisefallen aus. Bei dieser Untersuchung lag der Anteil zwischen 64 und 87 % der gefangenen Arthropoden. Signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen konnten nur für die „sonstigen Insekten“ nachgewiesen werden und hierbei waren es vor allem die Schmetterlinge, die etwa 70 % dieser Gruppe ausmachten und in größerer Anzahl in Silphie als in Mais erfasst wurden. Auch Thripse, Staubläuse, Milben und Ohrwürmer waren in der Summe mehr als dreimal häufiger in den Fallen von Silphie- als in Maisfeldern zu finden. Über die genaue Artenvielfalt der mit den Malaisefallen gefangenen Tiere können leider keine Aussagen getroffen werden. Insgesamt wurden 47 Laufkäferarten mit Bodenfallen auf Silphie und Maisfeldern unter Praxisbedingungen gefangen. Aufsummiert über die Standorte wurden 29 Arten in Maisfeldern und 38 Arten in Silphiefeldern nachgewiesen. Allerdings war an vier Standorten die Artenzahl in der Silphie höher, an zwei Standorten in Maisfeldern.



## 4 Schlussfolgerung für die Praxis

Aus ökologischer Sicht besitzen die mehrjährigen Energiepflanzen sehr viele Vorteile, so dass die Ergänzung oder teilweise Substitution von annualen Kulturen wie GPS-Getreide und Silomais durch mehrjährige Dauerkulturen für die Produktion von Biogas klar befürwortet wird. Auch thermisch genutzte Kulturen können in Zukunft eine wichtige Ergänzung zu Brennholz werden.

### 4.1 Pflanzenbau

Das erste Jahr dient bei den Dauerkulturen der Etablierung. Ein erntewürdiger Biomasseaufwuchs wird nicht gebildet, aber die Kulturpflege während der Anwuchsphase ist beim Anbau von Dauerkulturen besonders wichtig. Ein ungleichmäßiger, lückiger Bestand mit Verunkrautung kann zu Ertragsminderung während der gesamten Standdauer und zum vorzeitigen Umbruch führen. Dies zeigte sich besonders bei der **Sida**. Sie war schwierig zu etablieren (vgl. Kapitel 3.1.3) und die Bestände verunkrauteten stark, wodurch die Erträge massiv zurückgingen. Aber auch dort, wo die Etablierung gelungen war, waren die anderen Dauerkulturen ertragsreicher. Auf bayerischen Standorten konnte Sida nicht überzeugen. Sida ist als Biogassubstrat und für die thermische Nutzung verwendbar. Die Methanausbeuten liegen im mittleren Bereich, der Heizwert ist gut und für die thermische Nutzung bringt Sida eine hohe Ascheerweichungstemperatur von etwa 1.400 °C mit, das heißt, es besteht keine Gefahr der Verschlackung im Brennraum. Trotz dieser Vorzüge kann Sida aus pflanzenbaulicher Sicht aufgrund ihrer unsicheren Etablierung, starken Neigung zur Verunkrautung und geringem Ertragsniveau nicht empfohlen werden.

Für die **Durchwachsene Silphie** ist die Etablierung durch Saat mittlerweile gängig, eine teure Pflanzung ist nicht mehr nötig. In der Praxis hat Aussaat der Silphie in Untersaat unter Mais stark zugenommen. Das Verfahren hat den Vorteil, dass man im ersten, normalerweise ertragslosen Jahr eine Maisernte einfahren kann, die nur wenig unter den üblichen Maiserträgen liegt. Zumindest in den ersten Erntejahren verringert sich dadurch aber der Ertrag der Silphie. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens hängt davon ab, ob und wie schnell sich die Silphieerträge an die der Reinsaat angleichen und wie viele Jahre der Bestand genutzt wird. Für Lagen, in denen Sommertrockenheit erwartet werden kann, sollte auf eine Silphie-Reinsaat ausgewichen werden. Damit kann sich die Silphie ohne Konkurrenz durch den Mais etablieren und es steht ein längeres Zeitfenster zur mechanischen Beikrautkontrolle zur Verfügung.

Auf Standorten mit guter Nährstoff- und Wasserversorgung konnte die Silphie im Versuch hohe Erträge über 180 dt TM/ha liefern, die in guten Jahren fast an die Maiserträge heran kamen. Auf trockenen flachgründigen Standorten sowie in trockenen Jahren gingen die Erträge zurück. Im Mittel wurden 149 dt TM/ha erreicht. Die Methanausbeute der Silphie ist deutlich niedriger als die des Mais. Die Trockensubstanzgehalte lagen meist unter den geforderten 28 %, die Silierung ist aber trotzdem verlustarm möglich. Die Ernte

sollte auf bayerischen Standorten Ende August bis Ende September erfolgen. Für tiefgründige oder grundwassernahe Standorte ist die Silphie zu empfehlen, vor allen, wenn weitere Punkte wie ungünstiger Flächenzuschnitt, weit entfernte Lage und auch ökologische Gesichtspunkte dazukommen.

Auch das **Riesenweizengras** zeigte auf Standorten mit guter Wasser- und Nährstoffversorgung, wie beispielsweise Wolferkofen, die höchsten Erträge. Riesenweizengras hat die Hauptwachstumsphasen im Frühjahr und Herbst, im Sommer legt es eine Wachstumspause ein. Dadurch kommt es mit Sommertrockenheit gut zurecht. Zu den Hauptwachstumsphasen müssen aber ausreichend Niederschläge fallen, sonst kommt es zu Ertragseinbußen. Es wurden im Versuch Erträge bis zu 180 dt TM/ha erreicht, im Mittel über alle getesteten Standorte lagen sie aber nur bei 117 bis 136 dt TM/ha, je nach Sorte. Die Sortenwahl hatte einen großen Einfluss auf die Ertragshöhe. Durch die Wachstumspause im Sommer besteht die Gefahr, dass sich Unkräuter etablieren, eine Herbizidbehandlung kann hier nötig sein. Die Methanausbeuten des Grases sind hoch, die Methanerträge kamen aber nicht an die von Mais heran. Lager war beim Riesenweizengras ein Problem und kann zu Ernteverlusten führen. Zwischen Ende Rispenschieben und Mitte Blüte lag der Trockensubstanzgehalt im optimalen Bereich zwischen 28 und 35 %. Der erste Schnitt sollte bis Ende Juni erfolgen, der zweite Schnitt im Oktober.

**Switchgras** ist sowohl als Biogassubstrat als auch thermisch nutzbar, je nach Sorte. Für die Biogasnutzung wird es zweimal, im Sommer sowie im Herbst, geschnitten. Für die thermische Nutzung wird der über Winter abgetrocknete Bestand im zeitigen Frühjahr vor Wiederaustrieb geerntet. Das Switchgras zeigte sich sehr trockentolerant. Auf den Hohertragsstandorten sind für die Biogasnutzung mit Riesenweizengras und Silphie höhere Erträge möglich. Aber auf den trockeneren Standorten und in den Trockenjahren 2018 und 2019 zeigte sich Switchgras sehr ertragsstabil mit Durchschnittserträgen von 131 dt TM/ha. Damit ist es eine gute Alternative für Grenzertragsstandorte, besonders wenn in Zukunft trockene Jahre häufiger auftreten werden. Die Methanausbeute ist gut und der Methanertrag je Hektar lag auf ähnlichem Niveau wie bei Silphie und Riesenweizengras. Das gute Abschneiden des Switchgrases lag sicher auch daran, dass zwei von drei Versuchsjahren überdurchschnittlich warm und trocken waren und dem wärmeliebenden Gras damit sehr günstige Witterung boten. Um einen ausreichenden Trockensubstanzgehalt zu erreichen, sollte der erste Schnitt ab Anfang Juli erfolgen, sobald 28 % Trockensubstanzgehalt erreicht sind. Bei einer späteren Ernte ermöglichen die begrenzte Zeit und abnehmende Temperaturen keinen erntewürdigen Bestand für einen zweiten Schnitt. Für die thermische Nutzung lagen die Erträge mit durchschnittlich 90 dt TM/ha deutlich unter denen von Miscanthus. Der Heizwert ist gut und die Ascheerweichungstemperatur liegt höher als beim Miscanthus, aber nicht immer über den geforderten 1.200 °C, um eine Verschlackung zu vermeiden. Bei Schneefall im Winter kommt es zu starkem Lager und entsprechenden Ertrags- und Qualitätsverlusten, deshalb kann für bayerische Standorte für die thermische Nutzung keine Anbauempfehlung gegeben werden.

Der **Miscanthus** war auf allen Standorten die beste thermisch nutzbare Kultur mit einem Durchschnittsertrag von 142 dt TM/ha. Nur bei extrem trockenen Bedingungen kam es

zur Ertragsminderung. Miscanthus hat eine lange Nutzungsdauer von 15 bis über 25 Jahren (vgl. Kapitel 3.1.3 Etablierung und Standdauer) und der Heizwert ist gut. Ein Problem mit Miscanthus ist die niedrige Ascheerweichungstemperatur von etwa 900 °C, die zu Verschlackung im Ofen führen kann. Diese müssen speziell an die Verbrennung von Miscanthus angepasst werden. Ein ausreichender Trockensubstanzgehalt von mindestens 85 % für die Lagerung wurde nicht immer erreicht, eine Trocknung ist eventuell nötig.

### **Pflanzenbauliche Vor- und Nachteile der Kulturen**

Die Durchwachsene Silphie zeigt ihr volles Ertragspotenzial besonders auf tiefgründigen Böden mit guter Wasserversorgung. Riesenweizengras kann Sommertrockenheit gut überstehen, für hohe Erträge braucht das Gras ausreichend Niederschläge in Frühjahr und Herbst. Für ganzjährig trockene Standorte ist es weniger geeignet. Beide Kulturen kommen im Winter auf Höhenlagen zurecht, durch die verkürzte Vegetationsperiode werden allerdings keine Höchsterträge erreicht. Switchgras bevorzugt warme Standorte und kann Trockenheit gut überstehen. Es kann problemlos auf Hohertragsstandorten wachsen, aber hier gibt es ertragsstärkere Alternativen. Höhenlagen sind normalerweise zu kühl für Switchgras. Die Winter übersteht es ohne Auswinterungsverluste, aber in der Vegetationsperiode hat es einen zu hohen Wärmeanspruch. Eine wirkliche Standortempfehlung für Sida kann aufgrund der überall beobachteten starken Verunkrautung nach mangelhafter Etablierung nicht abgeleitet werden. Miscanthus sollte nur auf extrem trockenen Standorten nicht angebaut werden, ansonsten stellt er geringe Ansprüche an den Standort.

Um eine Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser zu vermeiden, sind möglichst niedrige  $N_{\min}$ - bzw. Nitratgehalte im Boden vor Vegetationsende anzustreben. Auf den Flächen der mehrjährigen Energiepflanzen erfolgt im Herbst keine Bodenbearbeitung. Teilweise können ein Wiederaufwuchs und das intakte Wurzelsystem auch nach der Ernte im Herbst noch Stickstoff aufnehmen, daher sind diese Kulturen vielversprechend für den Grundwasserschutz. Bodenuntersuchungen haben im Vergleich mit den einjährigen Referenzkulturen und benachbarten Praxisäckern das Potenzial der Dauerkulturen im Gewässerschutz gezeigt. Der Anbau der einjährigen Kulturen Mais und Winterweizen hinterließ oft deutlich höhere, potentiell auswaschbare Stickstoffmengen.

Beim Anbau von Dauerkulturen fallen nach dem ersten Jahr die jährliche Bodenbearbeitung und Ansaat weg, dies spart Zeit und Ressourcen. Der Düngemiteleinsatz ist besonders bei den thermisch genutzten Kulturen gering, da dort viele Nährstoffe im Herbst in die Wurzeln rückverlagert werden. Die Stickstoffbedarfswerte sind für Silphie (140 kg N/ha), Sida (100 kg N/ha) und Switchgras (100 kg N/ha) für die Biogasnutzung laut Gelben Heft niedrig, Riesenweizengras (200 kg N/ha) hingegen benötigt eine hohe Stickstoffdüngung für hohe Erträge [6]. Die Unkrautkontrolle ist besonders während der Etablierung wichtig. War die Etablierung gelungen, überwuchsen Miscanthus und Silphie die Beikräuter im Frühjahr und ein Herbizideinsatz war selten nötig. In Switchgras und Riesenweizengras mussten häufiger Herbizide gegen zweikeimblättrige Beikräuter eingesetzt werden, um den Unkrautbesatz gering zu halten, wenn auch nicht in jedem Jahr auf jedem Standort. Besonders Riesenweizengras neigt zu Verunkrautung im Sommer

zur Wachstumspause, nehmen die Unkräuter und vor allem Ungräser überhand, verkürzt sich die Nutzungsdauer oder endet ganz.

## 4.2 Boden

Auch wenn die Untersuchungen zu den  $C_{org}$ -Vorräten von Silphie, Riesenweizengras und Miscanthus in diesem Versuch keine nachweisbaren Unterschiede erkennen lassen, kann davon ausgegangen werden, dass langfristig unter diesen Dauerkulturen Humus aufgebaut wird. Dies ist aufgrund der Festlegung bedeutender Mengen atmosphärischen Kohlenstoffs nicht nur ein Beitrag zum Klimaschutz, sondern auch ein Beitrag zur Aufrechterhaltung der Funktionalität von Böden bzw. Ökosystemdienstleistungen wie Wasser- und Nährstoffspeicherung und Erosionsschutz. Der zu erwartende positive Effekt hinsichtlich Humus begründet sich im hohen Eintrag organischer Substanz bei mehrjährigen Energiepflanzen auf Grund der intensiven Bewurzelung, die bedeutend höher ist als bei Fruchtfolgen mit Silomais. Für die Biogaskulturen ist zusätzlich noch die Wirkung der erzeugten Gärreste zu berücksichtigen, während für den Vergleich mit Energiepflanzenfruchtfolgen Aspekte wie die Strohnutzung und der Zwischenfruchtanbau entscheidend sind. Kulturen wie Miscanthus und Sida, die bei Ernte im Frühjahr und über Blattfall im Winter organische Substanz und Nährstoffe vor Ort in den Kreislauf zurückführen, sind in der Regel ebenfalls mit einem im Vergleich mit Ganzpflanzensilagen erhöhten Eintrag organischer Substanz verbunden. Inwieweit die Bodenruhe und die bestandes- und bodenklimatischen Verhältnisse in den mehrjährigen Energiepflanzenkulturen sich auf den Abbau bzw. die Stabilisierung der organischen Substanz auswirken, insbesondere bei sich ändernden Klimabedingungen, ist bisher nur schwer abzuschätzen. Für die Bilanzierung des festgelegten Kohlenstoffs in den mehrjährigen Energiepflanzen ist neben dem Humus auch das ausgedehnte Wurzelsystem mit den Rhizomen einiger Dauerkulturen zu berücksichtigen. Hierzu besteht jedoch noch Forschungsbedarf.

Unterschiede in der Lagerungsdichte, die bei ausbleibender Bodenbearbeitung erwartet wurden, konnten nur an einzelnen Standorten nachgewiesen werden. Hierbei lagerten die Referenzparzellen mit Maistoppeln im Oktober im Mittel der Standorte trotz jährlicher Bodenbearbeitung dichter als die Parzellen mit Silphie oder Riesenweizengras. Dies kann durch die erhöhte Durchwurzelung und Regenwurmaktivität der Dauerkulturen erklärt werden. Da die Ergebnisse zwischen den Standorten jedoch variierten, müssten zu diesem Zeitpunkt weitere Untersuchungen die Schlussfolgerungen zu Auswirkungen auf Oberflächenabfluss und Erosionsgefährdung stützen. Der zeitliche Verlauf von Bodenbearbeitung, ober- und unterirdischem Wachstum sowie der Ernte der Kulturen, beeinflusst die Bodeneigenschaften, die neben den Lebensraumbedingungen und den organischen Prozessen im Boden auch die Erosionsneigung auf der Fläche prägen. Sind die mehrjährigen Kulturen etabliert, liefern sie im Vergleich mit klassischen Energiepflanzenfruchtfolgen durch die längere Bodenbedeckung, die intensive Durchwurzelung und das Vorhandensein von Ernteresten und verrottendem organischem Material jedoch in der Regel einen besseren Schutz vor Bodenabtrag.

### 4.3 Fauna und Biodiversität

Die Untersuchungen zur Fauna konnten vier bis fünf Jahre nach der Etablierung der mehrjährigen Kulturen nachweisen, dass der Regenwurmbestand im Vergleich zu einer Fruchtfolge mit annuellen Kulturen, Zwischenfrüchten und regelmäßiger Bodenbearbeitung gefördert wird. Insbesondere die Silphie und die Sida führten zu einem höheren Regenwurmbestand. Aber unter allen mehrjährigen Kulturen lag die Siedlungsdichte der Regenwürmer signifikant höher als in der Fruchtfolge mit regelmäßiger Bodenbearbeitung. Insgesamt nimmt der Regenwurmbestand im Boden in folgender Reihenfolge zu: Referenz (3-gliedrige Fruchtfolge) < Riesenweizengras, Switchgras, Miscanthus < Sida, Silphie. Für die positive Wirkung der Dauerkulturen auf Regenwürmer ist wahrscheinlich die seit Jahren andauernden Bodenruhe, der hohe und längere Bodenbedeckungsgrad z. B. durch Streuaufgabe sowie das gute Nahrungsangebot durch Erntereste, Wurzelmasse im Boden verantwortlich. Bei der Artenvielfalt der Regenwürmer profitieren auch die Energiegräser inklusive Miscanthus, wenngleich sich standortspezifisch unterschiedliche Effekte zeigen. Größere Regenwurmpopulationen steigern die biologische Aktivität, ihre Leistungen unterstützen viele wichtige Funktionen im Boden, z. B. das Nährstoffrecycling und ein stabiles Bodengefüge. Weiterhin verbessern sie die Dränfähigkeit und Durchlüftung des Bodens. Vor allem die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris*, die von Dauerkulturen besonders profitiert, fördert mit ihren stabilen vertikalen Röhren die Wasserversickerung in den Boden. Dieser Aspekt spielt besonders bei ausbleibender Bodenbearbeitung eine wichtige Rolle, beispielsweise für den Erosionsschutz. Für die Biogaskulturen wäre zudem eine zusätzliche Anregung der Regenwurmbesiedlung durch die Rückführung der Gärreste zu erwarten. Bemerkenswert ist, dass die Dauerkulturen auch nach dem besonders trockenen Jahr 2018 einen für bayerische Verhältnisse normalen Regenwurmbesatz aufwiesen, während die regelmäßig bearbeiteten Flächen deutliche Einbußen verzeichneten. Bei der im Rahmen des Klimawandels zu erwarteten Häufung von Extremwettern inklusive lang anhaltender Trockenperioden könnten sich mehrjährige Kulturen als stabilere Lebensräume resilienter gegenüber widrigen Bedingungen für die Bodenfauna erweisen. Insgesamt kann der Anbau von mehrjährigen Energiepflanzen zu einem biologisch aktiven und somit funktionsfähigen Boden beitragen und ist vor allem in intensiv genutzten Ackerbaugebieten zur Diversifizierung von Anbauverfahren und Risikostreuung, um sich den Herausforderungen des Klimawandels zu stellen, empfehlenswert.

Hinsichtlich der Auswirkungen auf die Insektenfauna einschließlich nützlicher Tiere wie Bestäuber und Schädlingsantagonisten sind die gewonnenen Ergebnisse nicht so eindeutig. Insbesondere konnte gezeigt werden, dass

- samenfressende Laufkäfer aufgrund der dichten und diversen Beikrautflora besonders häufig in der Sida auftraten,
- die Silphie Winterlager für kleine und regulatorische wirksame Laufkäfer bieten kann,
- auf sechs Praxisflächen die Artenzahl der Laufkäfer für die Silphie um neun Arten höher war als für Mais,
- das Riesenweizengras im Herbst als grüne Inselrefugien für pflanzensaugende und andere Insekten dienen kann,
- im September auf abgeernteten Parzellen von Silphie und Sida eine höhere Siedlungsdichte an Arthropoden zu finden ist, als auf abgeernteten Maisflächen,
- Stoppeln und Stängel attraktive Strukturen für verschiedene Arthropoden sind und ihre Besiedlungsdichte dort höher lag als auf den unmittelbar umgebenden offenen Bodenstellen.

Der Beikrautflora kommt durch ihr Angebot an Blüten, Samen und Blättern eine zentrale Bedeutung für die Biodiversität im Ackerbau zu. Andererseits muss festgestellt werden, dass auch typische Ackerkulturen einer Vielfalt von angepassten Tierarten als Lebensraum dienen und hier häufig vorkommen. So waren in den Parzellenversuchen keine Unterschiede in der Diversität der Laufkäferfauna zwischen Silphie und der Referenz festzustellen. Der GPS-Roggen zeigte nach der Ernte höhere bzw. vergleichbare Werte hinsichtlich der oberflächlichen Aktivität von Springschwänzen und Milben wie das Riesenweizengras. Auch in Maisfeldern, die in der Öffentlichkeit oft den Ruf als von Insekten unbesiedelte Fläche haben, war im Hochsommer mit Malaisefallen im Mittel über sechs Standorte keine geringere Insektenbiomasse nachzuweisen als in Silphiefeldern. Zwar sind entsprechende Ergebnisse immer vor dem Hintergrund der angewandten Methodik zu beurteilen und keine nachweisbaren Unterschiede sind keineswegs mit „ist identisch“ gleichzusetzen. Doch wird zum einen klar, dass die Erfassung und Beurteilung der Biodiversität sich nicht immer auf einfache Aussagen reduzieren lässt. Und zum anderen, dass die Wechselwirkungen von verschiedenen Lebensräumen mit den Ansprüchen der Arten und daher die Strukturvielfalt in der Agrarlandschaft, insbesondere für mobile, flugfähige Arten, ein entscheidender Aspekt ist.

Mehrjährige Energiepflanzen bieten für die Biodiversität in der Agrarlandschaft vor allem die Chance der Erweiterung des Nischen-Angebots. Die Ansprüche der verschiedenen Arten, Entwicklungsstadien und Lebensgemeinschaften sind komplex und diversere Landschaften sind für deren Erhaltung besser geeignet. Kulturen mit eher außergewöhnlichen Wachstums- und Erntezyklen können die zeitliche und räumliche Diversität und das Nutzungsmosaik in einer ackerdominierten Agrarlandschaft deutlich erhöhen. So bietet das Riesenweizengras im Herbst vor dem zweiten Schnitt einen bis zu 60 cm hohen grünen Bestand mit intensiver Bodenbedeckung, der über Jahre hinweg aus Grä-

sen besteht und nicht wie eine Zwischenfrucht extra etabliert werden muss. Alle im Frühjahr trocken geernteten Kulturen liefern über Winter Schutz vor Kälte und Frost, was sich auch auf Teile der Fauna positiv auswirken kann. Nektar- und Pollenangebot gegen Ende der Vegetationsperiode durch eine hochwüchsige, am Boden sehr schattige Staude, zusätzlich kombiniert mit verfügbarem Wasser in den Blattachseln, kann momentan auch nur die Durchwachsene Silphie liefern. Werden mehrjährige Energiepflanzen so angelegt, dass sich die Grenzliniendichte in der Agrarlandschaft erhöht, sind zusätzliche positive Effekte auf die Fauna zu erwarten.

Silphie, Riesenweizengras und Miscanthus bleiben jedoch hochproduktive Monokulturen und sind in ihrer ökologischen Wertigkeit in der Regel geringer als Blühmischungen für die Biogasproduktion oder artenreiches Grünland einzuordnen. Als nicht autochthone Pflanzen treffen sie in Bayern auf keine speziell angepasste Fauna. Jedoch sind viele pflanzenfressende Arten nicht so stark spezialisiert, wie das Auftreten des Malven-Erdfloh auf der Sida oder verschiedener Pflanzensauger am Riesenweizengras belegen. Auch Pollen, Nektar und abgestorbenes Pflanzenmaterial ist in der Regel für wenig spezialisierte heimische Arten nutzbar. Andere Arten profitieren lediglich von den spezifischen mikroklimatischen Bedingungen oder dem Angebot an Beute. Für die Diversität der Kulturarten stellt der Ersatz einer Fruchtfolge durch mehrjährige Monokulturen eine Verringerung der Diversität dar. Endet die Nutzungsdauer der Dauerkulturen kann sich dies wieder ändern. Von Bedeutung ist also auch der zeitliche Kontext. Für viele Tierarten kann die Dauerhaftigkeit des Habitats auch Vorteile haben, vor allem wenn die neuen mehrjährigen Energiepflanzen im räumlichen Kontext die Kulturartenvielfalt der Agrarlandschaft bereichern.

Will man Maßnahmen zur weiteren Verbesserung der ökologischen Wertigkeit der mehrjährigen Energiepflanzen durchführen, muss man meist Ertragseinbußen, Risiken oder Minderungen bei der Substratqualität hinnehmen. Mögliche geänderte Bewirtschaftungsmaßnahmen hierbei könnten sein:

- Begründung von Silphie bei reduziertem Herbizideinsatz oder rein mechanischer Beikrautkontrolle, Akzeptanz von mehr Beikräutern im Etablierungsjahr, allerdings hohes Risiko von lückigem Kulturbestand mit nachfolgender Ertrags- und Qualitätsminderung,
- spätere Erntezeitpunkte der Silphie zur Maximierung der Blühdauer mit verlängertem Nektar- und Pollenangebot, dabei verminderte Silierbarkeit und Methanausbeute,
- verlängerte Nutzungsdauer durch längere Standzeiten der Dauerkulturen, trotz abnehmender Erträge und zunehmendem Beikrautbesatz, andauernde Bodenruhe mit der Möglichkeit zur Etablierung der Fauna und Entwicklung des Bodens,
- Verzicht auf Herbizide beim Anbau von Riesenweizengras, allerdings hohes Risiko von entsprechender Ertrags- und Qualitätsminderung,

- Erhöhung der Grenzliniendichte und Nutzungsvielfalt in ausgeräumten Agrarlandschaften oder auf großen Schlägen durch Integration von mehrjährigen Energiepflanzen.

Eine klare Absage im Zusammenhang mit dem Anbau von mehrjährigen Energiepflanzen muss einer Intensivierung auf naturschutzfachlich wertvollen, artenreichen Flächen wie Grenzertragsäckern oder Dauergrünland erteilt werden, auch wenn so die geringere Flächenproduktivität kompensiert werden könnte. Beispielsweise ist auch die Bepflanzung von Gewässerrändern mit Silphie – um den Ackerstatus nicht zu verlieren – nicht nur auf Grund der Verbreitung der möglicherweise invasiven Silphie kritisch zu sehen, sondern sollte nicht dem Leitbild einer synergetischen, landschaftlich integrierten Biogasproduktion entsprechen. Der Anbau von Dauerkulturen auf Gewässerrandstreifen ist in Bayern nur noch übergangsweise bis zur Ernte 2020 in Bayern zulässig. Danach müssen Dauerkulturen auf Gewässerrandstreifen gerodet werden.

Insgesamt kann bestätigt werden, dass Dauerkulturen ein gutes agrarökologisches Potential bieten. Mit Ihnen kann die biologische Funktionalität des Bodens verbessert werden und vor allem in strukturarmen, ackerdominierten Agrarlandschaften die Nischenvielfalt, die Grenzliniendichte sowie das räumliche und zeitliche Nutzungsmosaik erhöht und dadurch ein Beitrag zur Verbesserung der Biodiversität geleistet werden.

## Zusammenfassung

Die Vorteile mehrjähriger Energiepflanzen sind bekannt: Sie benötigen keine jährliche Bodenbearbeitung, bieten weitgehende Bodenbedeckung und nach der Etablierungsphase werden meist keine chemischen Pflanzenschutzmittel angewendet. Hinsichtlich Biomasseertrag und Wirtschaftlichkeit können sie an gängige Energiepflanzen leider oft nicht heranreichen. An sechs bayerischen Standorten (Wolferskofen, Aholting, Rosenau, Hötzelsdorf, Parsberg und Gelchsheim) wurde die Anbaueignung verschiedener mehrjähriger Energiepflanzen im Vergleich zur Fruchtfolge mit den Kulturarten Mais, Ganzpflanzen-Roggen (GPS) und Weizen untersucht. Die Parzellenversuche umfassten jeweils zwölf Varianten in vier Wiederholungen und 100 m<sup>2</sup> großen Teilstücken. Sie wurden 2014 bzw. 2015 angelegt und bis Herbst 2019 (Parsberg und Gelchsheim) bzw. Frühjahr 2020 (alle anderen Orte) bewirtschaftet. Ziele waren die Substratqualität des Erntegutes zu unterschiedlichen Erntezeitpunkten, die Fortführung und Ausweitung der ökologischen Bewertung der mehrjährigen Kulturen und Fruchtfolge bezüglich Bodenfauna, Blütenbesucher, Humus, N<sub>min</sub> und Stickstoff-Bilanz, die mögliche Etablierung von Sida unter verschiedenen Deckfrüchten sowie der Wissenstransfer in die Praxis.

Riesenweizengras der Sorte GreenStar war mit mittleren 136 dt TM/ha und 4354 m<sup>3</sup><sub>N</sub> Methan/ha die ertragreichste mehrjährige Biogaskultur. Dicht gefolgt von Silphie mit 149,1 dt TM/ha, aber nur knapp 3323 m<sup>3</sup><sub>N</sub> Methan/ha. Das zweischnittige Switchgras erzielte mit 131 dt TM/ha bzw. 3805 m<sup>3</sup><sub>N</sub> Methan/ha ähnlich hohe Erträge, war dabei aber ausgesprochen ertragsstabil, auch auf schlechteren Standorten und in trockenen Jahren. Silomais hatte mit durchschnittlich 187,5 dt TM/ha und knapp 6493 m<sup>3</sup><sub>N</sub> Methan/ha die höchsten Erträge, während GPS-Roggen mit den mehrjährigen Kulturen gleichauf lag. Zur Festbrennstoffnutzung war Miscanthus eindeutig ertragstärker als Switchgras und Sida, das macht die geringere Brennstoffqualität wett. Sida konnte weder als Biogaskultur noch zur thermischen Nutzung überzeugen und ließ sich mit keiner Methode zu einem Pflanzenbestand mit mindestens vier Pflanzen/m<sup>2</sup> und guter Beikrautunterdrückung etablieren. Diese Art ist nicht praxisreif, und ihr Anbau wird nicht empfohlen.

Die Untersuchungen zur Fauna wiesen etwa fünf Jahre nach der Etablierung der Dauerkulturen nach, dass der Regenwurmbestand im Vergleich zu einer Fruchtfolge mit annuellen Kulturen und Zwischenfrüchten gefördert wird. Unter allen mehrjährigen Kulturen lag die Siedlungsdichte der Regenwürmer auch nach dem trockenen Jahr 2018 signifikant höher als in der dreigliedrigen Fruchtfolge, die deutliche Einbußen verzeichnete. Hinsichtlich der Auswirkungen auf die Arthropoden- und Insektenfauna sind die gewonnenen Ergebnisse nicht so eindeutig. Bei den Laufkäfern profitierten samenfressende Arten von der Beikrautflora besonders in der Sida, kleine regulatorisch wirksame Laufkäfer finden in der Silphie zum Teil geeignete Winterlager. Das Riesenweizengras kann im Herbst Refugien für pflanzensaugende und andere Insekten bieten.

Aus ökologischer Sicht besitzen die mehrjährigen Energiepflanzen sehr viele Vorteile, so dass die Ergänzung oder teilweise Substitution von annuellen Kulturen durch mehrjährige Dauerkulturen klar befürwortet wird.

## Abstract

The advantages of perennial energy crops are well known: they do not require annual tillage, offer extensive soil coverage and after establishment, pesticides are rarely applied. Considering biomass yield and economy, they unfortunately often do not achieve the same level as conventional energy crops. At six Bavarian locations (Wolferkofen, Aholting, Rosenau, Hötzelsdorf, Parsberg and Gelchsheim) the suitability for cultivation of various perennial energy crops in comparison to the conventional crop rotation maize, biomass-rye and wheat was evaluated. The experimental design included twelve variants with four replicates each in 100 m<sup>2</sup> plots. They were established in 2014 and 2015 and cultivated until autumn 2019 (Parsberg and Gelchsheim) and spring 2020 for all other locations. The objectives were to investigate the substrate quality on different harvest dates, to continue and extend the ecological evaluation of the perennial crops as well as the control crop rotation regarding soil fauna, flower visiting species, humus, N<sub>min</sub>, and nitrogen-balance, the possibility of establishing sida under different cover crops as well as knowledge transfer.

Tall wheat grass, variety GreenStar, was the highest yielding perennial biogas crop with an average of 136.0 dt DM/ha and 4354 m<sup>3</sup><sub>N</sub> methane/ha. Followed closely by silphium with the highest biomass yield of 149.1 dt DM/ha but only 3323 m<sup>3</sup><sub>N</sub> methane/ha. Switchgrass, cut twice a year, achieved similarly high yields of 131.0 dt DM/ha and 3805 m<sup>3</sup><sub>N</sub> methane/ha. Switchgrass turned out to produce stable yields also on poorer soils and in dry years. Silage maize was the highest yielding control crop with an average of 187.5 dt DM/ha and 6493 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/ha methane/ha, whereas biomass-rye was on the same level as the perennial crops. Of the crops investigated as solid fuel, miscanthus yielded clearly higher than sida and switchgrass, thereby compensating the low combustion quality. Sida could not convince neither as a crop for biogas use nor for combustion. By any means it was not possible to establish a plant population of four plants/m<sup>2</sup> and good weed suppression. This species is not ready for agricultural practice, a recommendation for its cultivation cannot be given.

About five years after the establishment of the perennial crops, investigations of the fauna showed that they enhance the earthworm population in comparison to a crop rotation including annual and catch crops. For all perennial crops the population density of earthworms was significantly higher than in the tripartite crop rotation. Even in the dry year 2018, in which a notable decrease was registered. Regarding the impact on arthropod and insect fauna the findings are less conclusive. Seed eating ground beetles benefitted of the weeds especially in sida, whereas small beneficial ground beetles found suitable hibernation sites in silphium to some extent. Tall wheat grass can offer refuges in autumn for pant-sucking and other insects.

From an ecological point of view perennial energy crops have various advantages, the supplementation or partially substitution of annual crops by perennial crops is clearly advocated.

## Quellenverzeichnis

- [1] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2013): Handbuch Bioenergie Kleinanlage 3. Aufl. Gülzow-Prüzen Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 195 Seiten
- [2] 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. Witmann, M. Lehner, M. Krinner, F. Heimler, S. Wiesent, F. Neumayr *et al.*, Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Berichte aus dem TFZ 54, 240 Seiten
- [3] HENNINGS, H. H.; SCHEFFER, B. (2000): Zum Nitrataustrag ins Grundwasser – Stand der Erkenntnisse. Wasserwirtschaft, Jg. 90, Nr. 7/8, S. 348–355
- [4] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (KTBL) (HRSG.): (2012): Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenbaus. mit Online-Zugang [www.ktbl.de](http://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). 2. Aufl. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) (KTBL-Datensammlung)
- [5] PROSKE, S. (2010): Das Gütesiegel ENplus – neuer Maßstab für Holzpellets. In: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e. V. (OTTI) (Hg.): 19. Symposium Bioenergie. Festbrennstoffe – Bioenergie – ökonomisch, ökologisch, effizient; Unverzichtbar – Energieeffiziente Wärme- und Gasnetze, Feuerungs- und Vergasungstechnik, Nachhaltigkeit und Effizienz, Qualität und Nutzung, Bioenergie und Nachhal. Regensburg: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e. V. (OTTI) (Wissen für Profis), S. 230–234
- [6] WENDLAND, M.; DIEPOLDER, M.; OFFENBERGER, K.; RASCHBACHER, S. (2018): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Stand: Januar 2018. 14. Aufl. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz. Freising-Weißenstephan (LfL-Information; Gelbes Heft), 98 Seiten