

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

30/08/2016

Projekttitle: Erhöhung der Biomasseproduktion durch *Silphium perfoliatum* L. zur energetischen Verwertung in Österreich.

Projektnummer: 834.657

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	5. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020
Projektstart	01/04/2012
Projektende	31/03/2016
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	48 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES)
AnsprechpartnerIn	Josef Mayr, Dr.
Postadresse	Spargelfeldstrasse 191, 1220 Wien
Telefon	050 555/33130
Fax	050 555/33133
E-mail	josef.mayr@ages.at
Website	www.ages.at

Erhöhung der Biomasseproduktion durch *Silphium perfoliatum* L. zur energetischen Verwertung in Österreich.

Akronym: Bioenergy-*Silphium*

AutorInnen:

**Josef Mayr, Markus Gansberger, Philipp von Gehren, Johannes Hösch, Harald Bock
Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES)**

**Peter Liebhard, Lucy Montgomery, Günther Bochmann, Michael Eder, Ferdinand Deim
Universität für Bodenkultur (BOKU)**

**Siegfried Legath
Biogas Strem Errichtungs- und BetriebsGmbH & Co KG**

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1 Aufgabenstellung	6
1.2 Schwerpunkte des Projektes	8
1.3 Einordnung in das Programm	8
1.4 Verwendete Methoden	8
2. Inhaltliche Darstellung der verwendeten Methoden	9
2.1 Wahl und Beschreibung der Versuchsstandorte	9
2.2 Bestandesbegründung	10
2.2.1 Bestandesbegründung durch Pflanzung	10
2.2.2 Bestandesbegründung durch Saat	11
2.3 Bestandesführung	13
2.3.1 Unkrautbekämpfung	13
2.3.2 Düngung	13
2.3.3 Wachstums- und Entwicklungsverlauf	14
2.3.4 Pflanzengesundheit	14
2.3.5 Überwinterungsrate und Trockenresistenz	14
2.4 Ermittlung des Biomasseertragspotentials	15
2.5 Energetische Verwertung	16
2.5.1 Biogaserzeugung	16
2.5.2 Bioethanolerzeugung	16
2.5.3 Thermische Verwertung	16
2.6 Evaluierung ausgewählter Umweltparameter	16
2.6.1 Beurteilung des Potentials als CO ₂ -Senke	16
2.6.2 Beurteilung der bodenbürtigen Emissionen (Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas)	16
2.6.3 N _{min} -Gehaltsermittlung, Stickstoffaustrag in Grund- und Oberflächenwasser	17
2.6.4 Beurteilung der Bodenerosion (inkl. der Wassererosionsgefährdung)	17
2.6.5 Blühphänologische Daten und Beflugzählungen	17
2.7 Ökonomische Bewertung	17

3. Ergebnisse	19
3.1 Bestandesbegründung	19
3.1.1 Bestandesbegründung durch Pflanzung	19
3.1.2 Bestandesbegründung durch Saat	19
3.2 Bestandesführung	24
3.2.1 Unkrautbekämpfung	24
3.2.2 Wachstums- und Entwicklungsverlauf	24
3.2.3 Pflanzengesundheit	25
3.2.4 Überwinterungsrate und Trockenresistenz	25
3.3 Biomasseertragspotential	26
3.4 Energetische Verwertung	28
3.4.1 Biogaserzeugung	28
3.4.2 Bioethanolerzeugung	32
3.4.3 Thermische Verwertung	32
3.5 Evaluierung ausgewählter Umweltparameter	34
3.5.1 Beurteilung des Potentials als CO ₂ -Senke	34
3.5.2 Beurteilung der bodenbürtigen Emissionen (Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas)	34
3.5.3 N _{min} -Gehaltswertermittlung, Stickstoffaustrag in Grund- und Oberflächenwasser	35
3.5.4 Beurteilung der Bodenerosion (inkl. der Wassererosionsgefährdung)	36
3.5.5 Blühphänologische Daten und Beflugzählungen	36
3.6 Ökonomische Bewertung	37
4. Schlussfolgerung	40
5. Ausblick und Empfehlungen	42
6. Literaturverzeichnis	43
7. Anhang	45
7.1 Temperatur- und Niederschlagsgrafiken von 2012 bis 2015 der Versuchsstandorte	45
7.2 Ergänzende Tabellen	48
7.3 Publikationen im Zuge des Forschungsprojektes:	50
7.4 Abbildungsverzeichnis	57
7.5 Tabellenverzeichnis	58

1. Einleitung

Die Energiepolitik der Europäischen Union zielt darauf ab, den Anteil an erneuerbaren Energiequellen an der Gesamtheit der verbrauchten Energie zu steigern (Richtlinie 2009/28/EG). Aus diesem Grund gewinnt die Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen an Bedeutung und führt oftmals zur Ausweitung der Anbauflächen dominierender Energiepflanzen, wie z. B. Mais, Hirse, etc. Die Folge sind vermehrter Schädlings- und Krankheitsbefall (*Diabrotica virgifera* bzw. *Fusarium* spp.) und regional erhöhte Umweltbelastungen durch Anbau in Monokultur. Simultan führt der zwangsweise Rückgang der Flächen für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion zu Spannungen am Lebensmittelmarkt.

Um diese zu minimieren werden Alternativen zu den dominierenden Energiepflanzen benötigt. *Silphium perfoliatum* L. könnte so eine Alternative sein, da sie eine ertragsstarke, mehrjährige, anspruchslose Pflanze ist, die auch auf Nichtackerflächen (Brach-, Kommunalflächen, ehemaligen Abraum- bzw. Deponieflächen, etc.) und erosionsgefährdeten Flächen (u. a. Hanglagen) kultiviert werden kann. Dadurch ließen sich die verfügbaren Flächen für die Produktion von Biomasse erhöhen, ohne die Flächen für die Futter- und Nahrungsmittelproduktion einzuschränken.

Das zentrale Ziel des Projektes „Bioenergy-Silphium“ ist die nachhaltige Erhöhung der Biomasseproduktion zur energetischen Verwertung in Österreich, ohne dabei die Ernährungssicherung einzuschränken. Die Pflanzung auf Flächen bisheriger Biomasseproduktion und auf nicht oder in geringem Umfang landwirtschaftlich genutzten Flächen soll die Biomasseproduktion erhöhen und eine nachhaltige Energieversorgung sichern.

1.1 Aufgabenstellung

Bei der Erzeugung von erneuerbarer Energie spielt die Biomasse eine wesentliche Rolle. Werden zur Rohstoffgewinnung Acker- oder Grünlandflächen verwendet, ergibt sich zwischen Futter- bzw. Nahrungsmittelproduktion und der Biomasseerzeugung ein Konfliktpotential. Um dieses zu minimieren, braucht es Alternativen. *S. perfoliatum* L. könnte so eine Alternative sein, da sie eine ertragsstarke, mehrjährige, anspruchslose Pflanze ist, die auch auf Nichtackerflächen (Brach-, Kommunalflächen, ehemaligen Abraum- bzw. Deponieflächen, etc.) und erosionsgefährdeten Flächen (u. a. Hanglagen) kultiviert werden kann. Damit ließen sich die verfügbaren Flächen für die Produktion von Biomasse erhöhen, ohne die Flächen für die Futter- und Nahrungsmittelproduktion einzuschränken. Weiterhin würden die Blüten eine zusätzliche Nahrungsquelle für Bienen und andere blütenbesuchenden Insekten bieten (**Abbildung 1**).



Abbildung 1: Etablierter *S. perfoliatum* Bestand im Sommer des zweiten Vegetationsjahres mit zahlreichen Blüten als Nahrungsquelle für blütenbesuchende Insekten

Bis dato liegen noch keine wissenschaftlich fundierten Ergebnisse aus Anbauversuchen unter den verschiedenen österreichischen Klimabedingungen vor. Die Potentiale der Bioenergieerzeugung bzw. die Biomasseerträge sind in hohem Maße durch klimatische Bedingungen bestimmt, wodurch eine Prüfung der Anbaueignung in den unterschiedlichen Klimazonen Österreichs notwendig ist.

Laut den Ergebnissen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) können Bestände von *S. perfoliatum* mittels Pflanzung angelegt werden. Diese Methode hat jedoch erhebliche wirtschaftliche Nachteile (aktuelle Pflanzgutkosten rd. 5000 € ha⁻¹), auch wenn von einer etwa 10-jährigen Bestandsdauer von *S. perfoliatum* auszugehen ist. Um in Zukunft eine wirtschaftliche Nutzung der Vorteile der Energiepflanze in größerem Ausmaß zu ermöglichen, ist die Entwicklung eines praxistauglichen Säverfahrens notwendig sowie die passenden Saatbedingungen und -zeiten zu finden (GANSBERGER et al., 2015). Eine Saat wird derzeit durch fehlendes geeignetes Saatgut mit ausreichender Keimfähigkeit verhindert. Für die Entwicklung eines hochqualitativen Saatgutes fehlen Erkenntnisse über die keimungsbeeinflussenden Faktoren und Ansprüche für die Keimlingsentwicklung, über die Stresstoleranz der Keimlinge im Zuge des Feldaufganges und insbesondere über die ausgeprägte Keimruhe (Dormanz) der Samen. Erste Saatversuche der TLL ergaben, dass eine Saat mittels einer Einzelkornsämaschine durchaus möglich ist (CONRAD et al., 2019), jedoch die empfohlene Pflanz- bzw. Saatzeit bis Ende Mai oder unter Umständen bis Ende Juni noch intensiverer Untersuchungen bedarf, um einen zufriedenstellenden Bestandesschluss im Anbaujahr erzielen zu können. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden Methoden konzipiert und Versuche durchgeführt, um eine für eine Saat erforderliche Saatgutqualität zu erreichen sowie um den optimalen Saattermin zu ermitteln.

Die Literaturangaben bezüglich des Trockenmasse(TM)-Ertrags pro Hektar variieren stark. Für österreichische Klimabedingungen liegen noch keine Ergebnisse vor. Der TM-Ertrag pro Hektar - in Kombination mit der Energieausbeute pro Kilogramm organischer Trockensubstanz (oTS; z. B. Methanertrag [m³ CH₄ kg⁻¹ oTS]; Ethanolausbeute) - bestimmen den Energieertrag pro Hektar und somit den Energieoutput. Durch den Einsatz neuer Verfahren soll der Biomasseaufschluss verbessert, und der Biogasertrag je Kilogramm oTS gesteigert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Biomasse für die Ethanolherzeugung aufzuschließen und zu nützen. Die Möglichkeit einer thermischen Verwertung von *S. perfoliatum* wurde ebenfalls untersucht.

Die Ernte ist problemlos mit einem herkömmlichen, reihenlosen Feldhäcksler möglich. Die Ernte mit absätzigen Verfahren (Mähen inkl. Mähgutaufbereitung, Schwaden, Abtransport) zur Verringerung des Trockensubstanzgehaltes, vor allem bei einem frühen Erntezeitpunkt für eine Silierung, wurde bis jetzt für *S. perfoliatum* noch nicht getestet.

Für einen zufriedenstellenden Ertrag ist ein lückenloser Austrieb aus dem Wurzelstock essentiell. Es liegen jedoch keine Ergebnisse vor, wie sich das Befahren des Bestandes bei der Ernte und bei den Pflegemaßnahmen auf den Wiederaustrieb der Pflanze auswirkt.

Zusätzlich zu den Ertragsfaktoren wurden auch ökologische Effekte beurteilt. Wichtige umweltrelevante Effekte wie das Potential als CO₂-Senke, die Ermittlung des Gesamtstickstoffgehaltes zur Beurteilung des potenziellen Austrags des Nitrat-Stickstoffs in Grund- und Oberflächengewässer, mögliche bodenbürtigen CO₂-Emissionen sowie die Erosionsgefahr wurden erhoben.

Schlussendlich ist eine ökonomische Beurteilung – beginnend bei der Bestandesgründung über die Kulturführung bis hin zur Ernte und Verwertung – notwendig, um *S. perfoliatum* mit anderen Kulturen zur

Biomasseerzeugung vergleichen zu können und eine Aussagekraft zur Wettbewerbsfähigkeit unter österreichischen Bedingungen zu erhalten.

1.2 Schwerpunkte des Projektes

Das zentrale Ziel war die nachhaltige Erhöhung der Biomasseproduktion zur energetischen Verwertung in Österreich. Im Detail sollten die Bestandesbegründung, die Bestandespflege, die Ernte und die energetischen Verwertungsmöglichkeiten in den unterschiedlichen Klimagebieten in Österreich untersucht werden.

Daraus wurden folgende Schwerpunkte abgeleitet:

- Erfolgreiche Bestandesetablierung von *S. perfoliatum* in Österreich in drei begünstigten Klimazonen und einer Grenzertragslage
- Entwicklung eines qualitativ hochwertigen Saatgutes und Optimierung des Saatgutes hinsichtlich der Säbarkeit, sodass eine zeit- und kostensparende Bestandesbegründung mit einer handelsüblichen Sämaschine möglich ist
- Erhebung von Parametern zur Optimierung der Kulturführung und in weiterer Folge zur Erstellung von Anbauempfehlungen für die Praxis
- Untersuchung ausgewählter umweltrelevanter Faktoren wie CO₂-Emission, Erosionsstabilität, Eintrag von Nitrat und gelöster Stoffe in Oberflächengewässer sowie ins Sicker- und Grundwasser
- Erhebung des Energiepotentials der produzierten Biomasse (Biogas, Ethanol, thermische Energie)
- Erlangung praktischer Erkenntnisse zur Bestandesgründung, Kulturführung, Ernte (Befahrbarkeit, Wiederaustrieb, etc.) sowie zur Verwertung in der Biogasanlage
- Ökonomische Bewertung der Daten zur Biomasseproduktion von *S. perfoliatum* im Vergleich mit anderen Energiepflanzen

1.3 Einordnung in das Programm

Das Projekt „Bioenergy-Silphium“ wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ durchgeführt. Zugeordnet ist es dem Schwerpunkt „Erneuerbare Energieträger“ und dem Subschwerpunkt „Bioenergie“.

1.4 Verwendete Methoden

In dem Projekt wurde die Energieoptimierung entlang der Wertschöpfungskette im ganzheitlichen Ansatz von der Saat über die Bestandesführung hin zur energetischen Verwertung analysiert.

Ausgehend von den ermittelten Schwerpunkten wurden die durchzuführenden Arbeiten und Versuche im Rahmen des Projektes aufbauend auf einer umfassenden Literaturrecherche und Expertenwissen konzipiert. Es erfolgte eine Unterteilung in Arbeitspakete, bei denen jeder Projektpartner sein Fachwissen einbringen konnte. Wissenstransfer zwischen den strukturierten Arbeitspaketen wurde beim Projektstart geplant und durchgängig umgesetzt.

Um den ganzheitlichen Ansatz der Energieoptimierung entlang der Wertschöpfungskette zu verfolgen, wurde bereits bei der Bestandesbegründung angesetzt. Es erfolgte eine Optimierung der

Saatgutaufbereitung, eine Ermittlung der notwendigen Umweltbedingungen für eine erfolgreiche Keimung sowie für die Erzielung eines geschlossenen Feldaufganges und eine Verbesserung der Säbarkeit, um zukünftig eine kosteneffiziente Bestandesetablierung von *S. perfoliatum* mittels Saat (Lead: AGES) zu ermöglichen. Weiters wurden in unterschiedlichen Klimazonen Österreichs Versuche zur Begründung und Kultivierung von *S. perfoliatum* Beständen vorgenommen (Lead: AGES). Über den Projektzeitraum wurde eine Optimierung der Bestandesführung und des Biomasseertragspotentials verfolgt, mit besonderer Berücksichtigung der umweltrelevanten Effekte eines Anbaus von *S. perfoliatum* in Österreich (Lead: BOKU). Im nächsten Schritt entlang der Wertschöpfungskette wurde die produzierte Biomasse hinsichtlich ihrer energetischen Verwertungsmöglichkeiten untersucht (Lead: BOKU). Zur Einschätzung des Potentials von *S. perfoliatum* wurde zudem eine vollständige ökonomische Bewertung vorgenommen (Lead: BOKU). Die erhobenen Daten und Ergebnisse wurden zentral zusammen geführt sowie fortlaufend aktualisiert und abgeglichen (Lead: AGES).

Ein kontinuierlicher Austausch mit Stakeholdern wurde durch eine Disseminierung der Ergebnisse in wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Zeitschriften, auf Tagungen und Konferenzen, auf Homepages, mittels Medienbeiträgen und im Rahmen eines praxisorientierten Feldtages gewährleistet.

2. Inhaltliche Darstellung der verwendeten Methoden

2.1 Wahl und Beschreibung der Versuchsstandorte

Die Versuchsstandorte (Abbildung 2) wurden so gewählt, dass sie die für Österreich typischen Ackerbaugebiete in den drei unterschiedlichen Klimagebieten (semihumid – Grabenegg [NÖ], pannonisch – Hirschstetten [W], illyrisch – Strem [NÖ]) abdecken. Zusätzlich wurde ein Standort mit einem Übergangsklima in einer Grenzlage im Ackerbau gewählt (Schönfeld [NÖ]).



Abbildung 2: Lage der Versuchsstandorte

Die Versuchsanlage am Standort **Grabenegg** befindet sich im semihumiden Klimaraum und liegt auf 260 m Seehöhe. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8,4 °C und im Jahresmittel fallen 686 mm Niederschlag. Der Bodentyp stellt eine vergleyte, carbonathaltige Braunerde aus feinem Schwemmmaterial dar. Der A Horizont reicht bis 30 cm, ist mittelhumos (Mull) und karbonathaltig,

gefolgt von einem schwach humosem AB Überhangshorizont bis ca. 80 cm Bodentiefe. Der Standort wird als hochwertiges Ackerland eingestuft.

Die Versuchsanlage am Standort **Hirschstetten** liegt im pannonischen Klimagebiet und wurde auf geschüttetem Material errichtet. Der Standort ist daher nur bedingt repräsentativ für das „Pannonische Produktionsgebiet“. Die Versuchsfläche liegt auf einer Seehöhe von 168 m bei einer Jahrestemperatur von 10,6 °C und einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 536 mm.

Die Versuchsanlage am Standort **Strem** befindet sich im „Südöstliches Flach- und Hügelland“ auf einer Ackerfläche unmittelbar angrenzend zur Biogasanlage Strem. Diese Versuchsanlage liegt im Illyrischen Klimaraum auf 225 m Seehöhe. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 10,8 °C und im Durchschnitt fallen 759 mm Jahresniederschlag. Der Bodentyp ist ein typischer Pseudogley aus feinen eiszeitlichen, kalkfreien Deckschichten. Der A Horizont reicht teilweise bis 30 cm Bodentiefe und besteht vorwiegend aus Schluff oder lehmigem Schluff. Der Boden ist mittelhumos (Humusform Mull), kalkfrei und sauer. Der Standort wird als mittel- bis geringwertiges Ackerland oder mittelwertiges Grünland eingestuft.

Die Versuchsanlage **Schönfeld** befindet sich auf einer Grenzlage des Ackerbaues im mitteleuropäischen Übergangsklima und liegt auf 585 m Seehöhe. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 6,8 °C. Im langjährigen Mittel ist mit 643 mm Jahresniederschlag zu rechnen. Der Bodentyp ist eine pseudovergleyte, kalkfreie Lockersediment-Braunerde aus vorwiegend Silikatmaterial über alter Verwitterung. Der A Horizont reicht teilweise bis 30 cm Tiefe und besteht vorwiegend aus lehmigem Sand, ist mittelhumos (Mull), kalkfrei und sauer. Der Standort wird als mittelwertiges Ackerland oder hochwertiges Grünland eingestuft.

Auf diesen Standorten wurden im ersten Projektjahr unterschiedlich große (aufgrund standörtlicher Gegebenheiten) Versuchsflächen ausgepflanzt. In Grabenegg betrug die Größe der Versuchsanlage 600 m², in Schönfeld 300 m², in Hirschstetten 1200 m² und am Praxisversuchsstandort 9000 m². In den Versuchsflächen wurden drei Einzelparzellen mit je 100 m² definiert, auf den die Untersuchungen vorgenommen wurden.

In Hirschstetten wurde zusätzlich im dritten Projektjahr ein Saatversuch angelegt.

2.2 Bestandesbegründung

2.2.1 Bestandesbegründung durch Pflanzung

Die Feldvorbereitung auf den vier definierten Versuchsstandorten erfolgte durch eine Herbstfurche und einer Saatbettvorbereitung im Frühjahr mittels Kultivator oder Egge (wie für Mais).

Für die Pflanzungen wurde im Glashaus vorgezogenes Pflanzgut (Herkunft Deutschland) verwendet. Die ersten Pflanzungen am Standort Wien erfolgten mit einer 3-reihigen Pflanzensetzmaschine, bei der die Setzlinge an den dafür vorgesehenen Stellen am Setzrad eingeklemmt wurden. Das Ergebnis dieser Pflanztechnik war sichtbar mangelhaft, da die Pflanzen nur unzureichend im Boden verankert wurden. Die weiteren Pflanzungen erfolgten mit einer 4-reihigen Becherpflanzmaschine. Die Pflanzdichte betrug bei beiden Pflanzmethoden vier Pflanzen pro m².



Abbildung 3: Bestandesbegründung durch Pflanzung mit einer Becherpflanzmaschine

Die frisch gesetzten *S. perfoliatum* Pflanzen wurden unmittelbar nach Abschluss der Setzarbeiten mit einer geringen Gabe von 3 bis 8 mm Wasser beregnet. Bis sich die Pflanzen gut verwurzelt hatten wurden an allen Standorten in regelmäßigen Abständen Zusatzberegungen (Tabelle 1) durchgeführt. Bis Anfang Juli wurden nachstehende Gesamtberegungsmengen auf die Bestände aufgebracht.

Tabelle 1: Zusatzberegung

Standort	Beregungsmenge	Anzahl der Beregungstermine
Grabenegg (NÖ)	60 mm	10
Hirschstetten (W)	45 mm	9
Schönfeld (NÖ)	24 mm	4
Strem (B)	9 mm	3

2.2.2 Bestandesbegründung durch Saat

Zur Erarbeitung einer kosteneffizienten Bestandesetablierung von *S. perfoliatum* mittels Saat wurden im ersten Arbeitsschritt die keimfähigkeitsbeeinflussenden Faktoren definiert und eine Keimfähigkeitsprüfmethode entwickelt.

Dazu wurden zwei unterschiedliche Samenherkünfte verwendet (Samenherkunft A: Ernte September 2012 in Wien, Österreich und Samenherkunft B: Ernte September 2011, Rheinstetten-Forchheim, Deutschland). Auf Basis von Literaturrecherche und Vorversuchen wurde ein Versuchsmodell mit ausgewählten Prüffaktoren (Medium, Licht, Temperatur, Vorbehandlung, Stratifikation) und Faktorstufen (z. B. unterschiedliche Temperaturen) definiert, um eine Methode zur Brechung der Keimruhe (Dormanz) und Erhöhung der Keimfähigkeit von *S. perfoliatum* zu ermitteln. Das finale Ziel war eine standardisierte und reproduzierbare Keimfähigkeitsprüfmethode für *S. perfoliatum* Saatgut. Das angewendete Versuchsmodell lieferte 2304 Beobachtungen und statistisch abgesicherte Ergebnisse. Als Endergebnis wurde eine Keimfähigkeitsprüfmethode definiert, mit der das Keimfähigkeitspotential des Saatgutes von *S. perfoliatum* bestimmt werden kann.

Um den Keimruheverlauf zu ermitteln wurde die Keimfähigkeit von Saatgut der Samenherkunft A im Laufe des Projektes mehrfach mit gleichbleibender Keimfähigkeitsprüfmethode erhoben. Die Parameter der angewendeten Keimfähigkeitsprüfmethode waren: „Faltenfilter / 12 Stunden Licht / Wechseltemperatur 20 ⇔ 30 °C / H₂O als Keimflüssigkeit.“

Zur Erhöhung der Saatgutqualität wurden Untersuchungen zu samenanhaftenden Pathogenen durchgeführt, wobei das Hauptaugenmerk auf den pathogenen Keimen *Alternaria*, *Botrytis*, *Cladosporium* und *Fusarium* lag. In einem Versuchsmodell mit fünf Prüffaktoren und bis zu drei Faktorstufen wurden 20 verschiedene Methoden in 4-facher Wiederholung an Samenherkunft A und Samenherkunft B geprüft. Es erfolgte eine statistische Verrechnung der Ergebnisse.

Als nächster Schritt hinsichtlich einer kosteneffizienten Bestandesetablierung von *S. perfoliatum* mittels Saat erfolgten Versuche zur maschinellen Aufbereitung des Saatgutes. In Zusammenarbeit mit der Cimbria Heid GmbH kamen unterschiedliche Geräte und Verfahren zur Saatgutaufbereitung zum Einsatz, die nach verschiedensten Trenn- und Sortiereigenschaften arbeiten. Die durchgeführten Abläufe und die Verteilung der Fraktionen in Gewichtsprozent (Ausputz, Mischware, Reinware, etc.) wurden dokumentiert. Die zielführendste Variante wurde schließlich definiert und der Besatz, die Reinheit sowie die Keimfähigkeit von der Reinware bestimmt.

Anschließend wurden in Glashausversuchen weiterführende Arbeiten zur Jungpflanzenentwicklung durchgeführt um einen weiteren Schritt in Richtung Anwendbarkeit bzw. Umsetzbarkeit der Laborergebnisse im Feld vorzunehmen.

Im letzten Teilabschnitt des Projektes erfolgte die Umsetzung der Erkenntnisse aus den Laborversuchen, sprich die Überführung in die landwirtschaftliche Praxis in Form eines Saatversuches. Für diesen wurden neun unterschiedliche Saatgutvorbehandlungen ausgewählt, welche zum einen die Dormanz des Saatgutes brechen und die Keimung positiv beeinflussen und zum anderen zu einer Optimierung der Säbarkeit mit einer Einzelkornsämaschine beitragen. Zudem wurden fünf unterschiedliche Saatzeitpunkte ausgewählt, um den optimalen Saatzeitpunkt zu ermitteln (Tabelle 1).

Tabelle 2: Prüffaktoren und Faktorstufen des Saatversuchs

Prüffaktoren	Faktorstufen
Saatzeitpunkt	5 Saattermine (Intervall 14 Tage)
Saatgutvorbehandlung	V1: Keine Saatgutvorbehandlung V2: Vorquellung 24h – 0,2% KNO ₃ V3: Vorquellung 24h – 0,05% GA ₃ V4: Beizen mit TMTD V5: Pillierung – Pilliermasse mit GA ₃ & direkter Trocknung V6: Pillierung – Pilliermasse mit GA ₃ & Trocknung nach 14h V7: Pillierung – Pilliermasse mit GA ₃ & TMTD & direkter Trocknung V8: Pillierung – Pilliermasse mit GA ₃ & TMTD & Trocknung nach 14h V9: Stratifikation: 5 °C / 7 Tage – nach dem Vorquellen

Die Saat erfolgte von Ende April bis Mitte Juni im Intervall von 14 Tagen an fünf Saatterminen. An jedem Termin wurden 36 Parzellen (neun Vorbehandlungsvarianten in vierfacher Wiederholung) ausgesät.



Abbildung 4: Bestandesbegründung durch Saat mit einer Parzellen-Einzelkornsämaschine

In Summe wurden 180 Parzellen im Split Plot Design angelegt. Zwei Wochen nach der Saat wurde einmal wöchentlich an fünf aufeinander folgenden Wochen der Feldaufgang dokumentiert. Zudem wurde für ausgewählte Saatgutvarianten der Bodenbedeckungsgrad und der Blattflächenindex ermittelt, um den Wachstumsverlauf des Bestandes zu dokumentieren. Am Ende der zweiten Vegetationsperiode wurde zudem für alle vier Wiederholungen jeden Saattermins der Ertrag in $t\ TM\ ha^{-1}$ erhoben, um Rückschlüsse auf den Einfluss des Saattermins auf den Ertrag zu erzielen.

Ergänzend wurde am Standort Strem in einem Probeversuch eine maschinelle Samengewinnung mit einem Mähdrescher durchgeführt.

2.3 Bestandesführung

2.3.1 Unkrautbekämpfung

Im Anlagejahr (2012) wurde an den drei AGES Versuchsstandorten Grabenegg, Hirschstetten und Schönfeld bis zum Reihenschluss der Bestände die Unkrautbekämpfung händisch durchgeführt. Dafür waren je nach Unkrautdruck zwischen drei und fünf Arbeitsgänge mittels Handhacke erforderlich. Am Praxisversuchsstandort Strem wurde die Unkrautbekämpfung aufgrund des bereits zu hohen Unkrautdrucks nicht wie geplant mit einer Hackmaschine, sondern mittels zweimaliger Handhacke durchgeführt. In den Ertragsjahren (2013-2015) wurde weder auf den Parzellenversuchsflächen noch auf der Praxisversuchsfläche eine Unkrautbekämpfung durchgeführt.

2.3.2 Düngung

An keinem der vier Versuchsstandorte wurde im Anlagejahr gedüngt. Ab dem zweiten Versuchsjahr wurde bei der Zweischnitt-Variante (zweimalige Ernte des Bestandes in einer Vegetationsperiode) an zwei unterschiedlichen Zeitpunkten (vor Bestandesschluss bzw. nach der ersten Ernte), bei der Einschnitt-Variante (einmalige Ernte des Bestandes in einer Vegetationsperiode) nur einmal vor Bestandesschluss gedüngt (Tabelle 3).

Am Versuchsstandort Strem wurde ausschließlich mit Biogasgülle gedüngt, sodass hier ein geschlossener Kreislauf an Nährstoffabfuhr und Nährstoffzufuhr gegeben war. Im ersten Ertragsjahr (= zweites Vegetationsjahr) wurde in Strem keine Düngung bei der Einschnitt-Variante vorgenommen.

Tabelle 3: Düngungstermine (2012-2015); *zweite Düngung bei der Zweischnitt-Variante

Jahr	Zeitpunkt	Hirschstetten	Grabenegg	Schönfeld	Strem
2012	- zu Vegetationsbeginn: - nach 1. Ernte:	-	-	-	-
2013	- zu Vegetationsbeginn: - nach 1. Ernte:	08.04.2013 18.07.2013*	05.03.2013 18.07.2013*	22.04.2013* 18.07.2013*	- 11.07.2013*
2014	- zu Vegetationsbeginn: - nach 1. Ernte:	13.03.2014 -	11.03.2014 -	01.04.2014 -	15.03.2014 18.07.2014*
2015	- zu Vegetationsbeginn: - nach 1. Ernte:	26.03.2015 -	19.03.2015 -	24.03.2015 -	23.03.2015 29.07.2015*

Je nach Schnittvariante und Düngerart wurden unterschiedliche Düngemengen ausgebracht (Tabelle 4).

Tabelle 4: Düngetabelle der *S. perfoliatum* Flächen 2012-2015

Standort	Ernte- strate- gie	Düngung (Nährstoffe kg ha ⁻¹)											
		2012			2013			2014			2015		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Grabenegg	E1	-	-	-	81*	68**	216	130*	40**	120***	130*	40**	120***
	E2	-	-	-	81+40*	68**	216	130*	40**	120***	130*	40**	120***
Hirschstetten	E1	-	-	-	81*	68**	216	130*	40**	120***	130*	40**	120***
	E2	-	-	-	81+40*	68**	216	130*	40**	120***	130*	40**	120***
Schönfeld	E1	-	-	-	81*	68**	216	130*	40**	120***	130*	40**	120***
	E2	-	-	-	81+40*	68**	216	130*	40**	120***	130*	40**	120***
Strem	E1	-	-	-	-	-	-	141 ^b	49 ^b	235 ^b	157 ^d	58 ^d	259 ^d
	E2	-	-	-	86 ^a	34 ^a	126 ^a	141 ^b + 95 ^c	49 ^b + 33 ^c	235 ^b + 159 ^c	157 ^d + 96 ^e	58 ^d +3 5 ^e	259 ^d + 158 ^e

Legende: E1= Einschnitt-Variante, E2= Zweischnitt-Variante, *= Nitramoncal, **=Triplesuperphosphat, ***=Patentkali, ^a= 30 m³ ha⁻¹ Biogasgülle, ^b= 40 m³ ha⁻¹ Biogasgülle, ^c= 27 m³ ha⁻¹ Biogasgülle, ^d= 67 m³ ha⁻¹ Biogasgülle, ^e= 41 m³ ha⁻¹ Biogasgülle

2.3.3 Wachstums- und Entwicklungsverlauf

Der Wachstums- und Entwicklungsverlauf wurde anhand von Messungen zur Veränderung des LAI (Blattflächenindex) mittels ACCU PAR, einem Gerät zur Messung der durch den Bestand durchgelassenen photosynthetisch aktiven Strahlung, erhoben.

Da es durch das Befahren mit schweren Geräten während der Bestandesführung und der Ernte zu Beschädigungen der Pflanzen kommen kann, wurden ergänzend am Standort Strem Bonituren vorgenommen.

2.3.4 Pflanzengesundheit

Die Bestände von *S. perfoliatum* wurden hinsichtlich des Auftretens von Pflanzenkrankheiten untersucht und auftretende Pathogene im Labor bestimmt.

2.3.5 Überwinterungsrate und Trockenresistenz

Die Überwinterungsrate wurde an allen vier Standorten durch Zählung der ausgefallenen Pflanzen im Frühjahr 2013 und 2014 ermittelt.

Die Trockenresistenz von *S. perfoliatum* wurde beurteilt nach vorzeitigem Laubfall und physiologischem Absterben der oberirdischen Pflanze sowie nach dem Entwicklungsverlauf und den Trockenmasseerträgen.

2.4 Ermittlung des Biomasseertragspotentials

Das Biomasseertragspotential wurde in einem repräsentativen Pflanzenbestand auf rotierenden Kleinparzellen (2,0 x 2,5 m = max. 20 Pflanzen) in dreifacher Wiederholung durch Handernte ermittelt. Zudem wurden zwei Beerntungsvarianten getestet: Eine Einschnitt-Variante mit nur einer Ernte und eine Zweischnitt-Variante mit zwei Ernten im Jahr. Die Erntetermine sind in Tabelle 5 ersichtlich. Die Pflanzen wurden geerntet und der TS-Gehalt sowie der TM-Ertrag pro Hektar ermittelt.

Vergleichserträge von Silomais für die Versuchsstandorte:

Grabenegg: 2013/14/15 Sortenwertprüfung Mais AGES Grabenegg; Schönfeld : 2013/14 Sortenwertprüfung Mais AGES Schönfeld, 2015 LFS Zwettl; Strem: 2013/14/15 LFS Güssing; Hirschstetten: 2013/2014 eigene Ertragsmessungen vor Ort, 2015 LFS Obersiebenbrunn

Tabelle 5: Termine der Exakternterversuche

Standort	Erntetermine		
	Einschnitt-Variante	Zweischnitt-Variante 1. Termin	Zweischnittvariante 2. Termin
Grabenegg	23.09.2013	12.07.2013	14.11.2013
	22.09.2014	09.07.2014	29.10.2014
	24.09.2015	01.07.2015	16.10.2015
Schönfeld	23.09.2013	12.07.2013	14.11.2013
	25.09.2014	09.07.2014	29.10.2014
	03.09.2015	06.07.2015	20.10.2015
Hirschstetten	19.09.2013	11.07.2013	12.11.2013
	25.09.2014	14.07.2014	*
	30.09.2015	09.07.2015	*
Strem	25.09.2013	26.07.2013	13.11.2013
	24.09.2014	11.07.2014	28.10.2014
	04.10.2015	02.07.2015	*

(*wegen zu geringem Aufwuchs keine Ernte durchgeführt)

Bei der Ernte am Praxisversuchsstandort Strem wurden zudem der Einsatz der Maiserntetechnik sowie das absätzigere Ernteverfahren (Mähen, Aufbereiten, Schwaden, Abtransportieren nach Antrocknung) getestet. Das zerkleinerte Erntegut wurde anschließend im Fahrsilo mit einem 12,5 t schweren Radlader verdichtet und mit einem separierten Gärrückstand abgedeckt. Zur Konservierung wurde kein Siliermittel verwendet.

2.5 Energetische Verwertung

2.5.1 Biogaserzeugung

Das Methanpotential wurde nach VDI 4630 mit einer Gärzeit von 35 Tagen bei allen *S. perfoliatum* Ernteproben von 2013, 2014 und 2015 bestimmt. Allerdings wurden nicht die Ein- und Zweischnitt-Variante verglichen, sondern die Ernten im Juli und im September.

Zur Evaluierung der Prozessstabilität wurde zudem ein kontinuierlicher Vergärungsversuch über 180 Tage ausschließlich mit Biomasse von *S. perfoliatum* durchgeführt.

Um das Methanpotential zu steigern, wurden mehrere Vorbehandlungsmethoden untersucht und das Potential durch Batchtests ermittelt. Bei der thermischen Vorbehandlung wurden zwei Parameter untersucht: Temperatur (120-180 °C) und Wasserzugabe (1-10% der Trockensubstanz). Als Indikator für das Methanpotential wurde der Gehalt an Gesamtzucker gemessen (mehr Zucker deutet auf mehr Faser-Abbau und deswegen schnellere Methanbildung hin). Zusätzlich wurden thermochemische Vorbehandlungen mit einem dritten Parameter (verschiedene Schwefelsäurekonzentration) getestet.

Am Standort Strem wurde zudem der Einsatz in einer Biogasanlage getestet. Die Silage wurde vorerst mehrere Monate im Fahrsilo gelagert und anschließend die Silagequalität beurteilt. Vor dem Einbringen in den Fermenter wurde ein Teil des Erntegutes mit einem Querstromzerkleinerer mechanisch vorbehandelt. Während der Fermentationen wurden prozessbestimmende Eigenschaften erfasst (z. B. Einbringbarkeit, Mischbarkeit des frischen Substrats mit dem vorhanden, vergorenen Substrat im Fermenter, Bildung von Sink- bzw. Schwimmschichten, Verstopfungsrisiko).

2.5.2 Bioethanolerzeugung

Die Biomasse von *S. perfoliatum* wurde nach der Methode von NREL 2011 verzuckert (anhand einer Reihe von Vorbehandlungen inkl. mit Enzymen). Das Ethanolpotential der Biomasse wurde theoretisch über den Zuckerertrag berechnet.

2.5.3 Thermische Verwertung

Zur Beurteilung der thermischen Verwertung der Biomasse wurden Ganzpflanzen geerntet, nach der Trocknung in einer Kugelmühle vermahlen, im Labor analysiert (Wassergehalt, Aschegehalt, Brenn- und Heizwert, Elementgehalt mittels ICP-Methode) und die Ergebnisse zur Beurteilung der Eignung zur thermisch energetischen Verwertung herangezogen.

2.6 Evaluierung ausgewählter Umweltparameter

2.6.1 Beurteilung des Potentials als CO₂-Senke

Die Beurteilung des Potentials als CO₂-Senke erfolgte auf allen Standorten durch Bewertung der Veränderung des organischen Kohlenstoffgehaltes des Bodens (0-25 cm und 25-50 cm Bodentiefe).

2.6.2 Beurteilung der bodenbürtigen Emissionen (Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas)

Die bodenbürtigen CO₂-Emissionen wurden an zwei Jahren gemeinsam mit Lachgas und Methan im Feld in Grabenegg gemessen. Die quantitative Bestimmung der flächenbezogenen Gasmenge wurde im Labor des Institutes für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur Wien mittels Gaschromatographie durchgeführt.

2.6.3 N_{\min} -Gehaltswernermittlung, Stickstoffaustrag in Grund- und Oberflächenwasser

Für die N_{\min} -Gehaltswernermittlung (potenzielle Austrag von Nitratstickstoff) in das Grund- bzw. Oberflächengewässer wurden auf allen vier Standorten über den ursprünglich vorgesehenen Versuchszeitraum von Frühjahr 2012 bis November 2014, drei bis viermal Mal jährlich gemäß Ö-Norm Bodenproben gezogen. Die jeweiligen Einstiche wurden in Oberboden (0 – 25 cm Bodentiefe) und Unterboden (25 – 50 cm Bodentiefe) getrennt. Unmittelbar nach der Probenziehung wurden die Proben in einer Kühltasche gelagert und schnellstmöglich im gekühlten Zustand in eine Gefriertruhe, zur vorübergehenden Lagerung, gebracht. Die Mengenbestimmung des mineralisierbaren Nitrat(NO_3)-Stickstoffes (N_{\min} -Gehaltswert) erfolgte nach Ö-Norm im Labor der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß-Enzersdorf. Der Probenumfang je Einzelprobe umfasste mind. 500 g Boden. Je Probenziehungstermin wurden insgesamt acht Proben von den vier Versuchsstandorten gezogen.

2.6.4 Beurteilung der Bodenerosion (inkl. der Wassererosionsgefährdung)

Zur Beurteilung der Erosionsgefährdung wurden bodenphysikalische Parameter bestimmt, die Veränderungen des LAI herangezogen und Beschreibungen anhand vergleichender mehrjähriger Kulturarten vorgenommen.

2.6.5 Blühphänologische Daten und Beflugzählungen

Blühphänologische Daten wurden durch das Beobachten der Bestände erhoben. Zudem wurde der Blühverlauf kalendarisch festgehalten. Zur Feststellung der Blütenbesucher auf *S. perfoliatum* wurden von 2013 bis 2015 an drei unterschiedlichen Tagen (Anfang, Mitte, Ende der Blütezeit) zu drei unterschiedlichen Tageszeiten (Morgens, Mittags, Abends) Beflugzählungen durchgeführt und ausgewertet.

2.7 Ökonomische Bewertung

Auf Basis der Versuchsergebnisse der vier Versuchsstandorte, die das Anpflanzjahr 2012 und die drei Ertragsjahre 2013, 2014 und 2015 umfassen, ist eine ökonomische Bewertung des Anbaus von *S. perfoliatum* durchgeführt worden. Da *S. perfoliatum* eine mehrjährige Pflanze ist, wurde für eine zehnjährige Nutzungsdauer ein durchschnittlicher jährlicher Deckungsbeitrag mit Hilfe der Annuitätenrechnung (10 Jahre Nutzungsdauer, 2% kalk. Zinssatz) ermittelt. Dieser kann in weiterer Folge mit dem Deckungsbeitrag einer einjährigen Kultur (z. B. Silomais) verglichen werden und ermöglicht damit, Aussagen über die Wettbewerbsfähigkeit von *S. perfoliatum* zu treffen.

Auf Grundlage der Daten aus den Versuchsflächen auf den vier Standorten wurden die Kosten der Bestandesbegründung, der Kulturführung und der Ernte von *S. perfoliatum* ermittelt. TM-Erträge je Hektar, Trockensubstanzgehalte und Methanerträge je Hektar wurden aus den Versuchsergebnissen abgeleitet und stellen die Leistungsseite der Kostenrechnung dar. Im Jahr der Bestandesbegründung war kein nutzungswürdiger Ertrag zu verzeichnen, somit standen für die Berechnungen die Ergebnisse von drei Erntejahren zur Verfügung. Die für die Annuitätenrechnung notwendigen Erntejahre 5 bis 10 wurden - unter Zugrundlegung der Ertragsdaten aus den Versuchen - mit der Methode der Monte-Carlo-Simulation simuliert.

In die Berechnung der variablen Kosten flossen Daten von den ProjektpartnerInnen (Biogas Strem Errichtungs- und BetriebsGmbH & Co KG, Universität für Bodenkultur und AGES). Relevant sind hierbei

die Verfahrensschritte der jeweiligen Kultur im jeweiligen Jahr. Anzumerken ist, dass sofern die experimentellen Daten eine unzureichende Orientierung lieferten, vergleichbare Verfahrensschritte mit Daten aus dem KTBL-Datenkatalog (KTBL, 2015a; KTBL, 2015c) und eigenen Berechnungen Verwendung fanden. Die zugrunde gelegten Kosten stammen im Wesentlichen aus den KTBL-Daten, den ÖKL-Richtwerten, der Preisliste des Maschinenrings und den online-Applikationen der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und der LfL Bayern (KTBL, 2012; MASCHINENRING KLAGENFURT, 2013; ÖKL, 2014; KTBL, 2015a; KTBL, 2015b; KTBL, 2015c; LFL, s.a.). Zur Berechnung der Nährstoffabfuhr und damit der Düngemittelkosten werden durchschnittliche Nährstoffentzüge sowohl für *S. perfoliatum* als auch für Mais unterstellt (WENDLAND et al., 2012). Es werden dabei keine unvermeidlichen Ausbringungsverluste bei Stickstoff angenommen und etwaige praxisrelevante Düngeobergrenzen finden keine Berücksichtigung. Die Transportkosten für den Transport des Erntegutes und die Kosten der Ausbringung der Biogasgülle wurden ertragsabhängig modelliert.

Auf Grund unterschiedlicher Erntezeitpunkte ergeben sich je Versuchsstandort drei unterschiedliche Deckungsbeitragskalkulation für *S. perfoliatum*:

- **EV_spät:** Einschnitt-Variante zu einem späten Zeitpunkt (September)
- **EV_früh:** Einschnitt-Variante zu einem frühen Zeitpunkt (Juli)
- **ZV:** Zweischnitt-Variante (Juli und September)

Da für zwei Versuchsstandorte (Hirschstetten, Strem) keine vollständigen Versuchsergebnisse für die zweite Ernte der Variante ZV zur Verfügung standen, wurden für diese keine Deckungsbeiträge gerechnet.

Für den Vergleich wurden Kennzahlen mit unterschiedlicher Bezugsbasis ermittelt:

- (1) **Durchschnittlicher jährlicher Deckungsbeitrag je Hektar - mit** Bewertung der Düngerkosten
Aus der Summe der Barwerte der Bestandesbegründungskosten und der neun Jahre mit Ernteertrag wird eine Annuität errechnet (10 Jahre, 2% Zinsen)
Als Leistung in der DB-Rechnung werden 100 € je t TM angenommen.
- (2) **Durchschnittlicher jährlicher Deckungsbeitrag je Hektar - ohne** Bewertung der Düngerkosten
Wie oben, jedoch erfolgt keine Bewertung der Düngerkosten (geschlossener Kreislauf durch Rückführung der Gärreststoffe)
- (3) **Kosten je m³ Methan**
Die jährlichen variablen Kosten (ohne Düngerkosten) je Hektar werden durch die produzierte Menge an Methan je Hektar (nach Abzug von 12% Silierverlusten) dividiert.
Das Jahr der Bestandesbegründung (ohne Methanproduktion) bleibt unberücksichtigt.

Kennzahl **(2) Durchschnittlicher jährlicher Deckungsbeitrag je Hektar - ohne Bewertung der Düngerkosten** stellt die für die Praxis meist relevante Kennzahl bei Überlegungen zur Neuanlage einer *S. perfoliatum* Kultur dar. Die Kennzahl **(3) Kosten je m³ Methan**, bei der die Kosten für das Jahr der Bestandesbegründung unberücksichtigt bleiben, ist für die Entscheidungsfindung bei bereits bestehenden Kulturen von *S. perfoliatum* maßgeblich.

Die Berechnung des Deckungsbeitrages der Vergleichskultur Silomais erfolgte auf Basis der Daten der online-Applikationen der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft. Die zugrundeliegenden Ertragsdaten stammen aus Ergebnissen von den Versuchsstandorten naheliegenden Feldversuchen zu Mais.

Zur Abschätzung des Risikos der Kultivierung von *S. perfoliatum* gegenüber von Silomais wurde Deckungsbeitragssimulationen mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation angestellt. Als veränderlicher Parameter wurden die Ertragsschwankungen der drei Erntejahre je Versuchsstandort festgelegt. Die Ertragsdaten flossen als Parameter einer Dreiecksverteilung in die Simulation ein. In den Deckungsbeitragsmodellen wurden ertragsabhängige Kosten (Ernte und Transport, Biogasgülleausbringung, Dünger) als variabel formuliert. Je Simulation wurden 10.000 Durchläufe generiert und die Ergebnisse statistisch bzw. grafisch aufbereitet.

3. Ergebnisse

3.1 Bestandesbegründung

3.1.1 Bestandesbegründung durch Pflanzung

Die Bestandesbegründung durch Pflanzung erwies sich als sehr arbeits- und kostenintensiv (Pflanzenkosten, Pflanzung). Pflanzmaschinen bei denen die Setzlinge an den dafür vorgesehenen Stellen am Setzrad eingeklemmt wurden müssen sind ungeeignet. Um eine ausreichende Pflanzqualität mit Becherpflanzmaschinen, wie sie auch zur Gemüsepflanzung verwendet werden, zu gewährleisten, müssen das Pflanzbeet gut vorbereitet und die Pflanzenballen ausreichend groß und gut durchwurzelt sein. Zur Vermeidung von Fehlstellen muss händisch nachgepflanzt werden. Eine Wassergabe bei Trockenheit nach der Pflanzung ist von Vorteil.

Die Entwicklung einer alternativen Bestandesbegründung durch Saat zur Verringerung des hohen Aufwandes bei der Bestandesbegründung durch Pflanzung ist notwendig.

3.1.2 Bestandesbegründung durch Saat

Ziel der durchgeführten Versuche war die Entwicklung einer Saatguttechnologie zur kosteneffizienten Bestandesetablierung von *S. perfoliatum* mittels Saat. Dafür wurden in Laborversuchen zunächst die keimfähigkeitsbeeinflussenden Faktoren definiert und eine Keimfähigkeitsprüfmethode entwickelt.

Alle im entwickelten Versuchsmodell getesteten Prüffaktoren hatten einen signifikanten Effekt auf die Keimfähigkeit (Tabelle 6), wobei der Faktor Temperatur (insbesondere Wechseltemperaturen mit hohen Temperaturamplituden) sich als besonders keimfördernd erwies. Die Ergebnisse bestätigen zudem die vorhandene physiologische Dormanz von frischem *S. perfoliatum* Saatgut. Sowohl eine Stratifikation als auch die Zugabe von GA₃ oder KNO₃ erzielten einen signifikant positiven Effekt auf die Keimfähigkeit.

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichung der gekeimten Samen der Faktoren und Faktorlevel Saatgutvarianten unter Angabe der homogenen Untergruppen (a, b, c, d) lt. Tukey-Test

Faktor	Faktorlevel			
Medium	Faltenfilter (PP) 48,24 ^b ± 30,69%	Top of paper (TP) 46,63 ^a ± 30,39%		
Vorbehandlung	Wasser 39,29 ^a ± 29,80%	KNO₃ (200 mg l⁻¹) 47,04 ^b ± 30,58%	GA₃ (500 mg l⁻¹) 55,97 ^c ± 28,94%	
Licht	24 Stunden Licht 44,31 ^a ± 29,36%	12 Stunden Licht 50,55 ^b ± 31,38%		
Temperatur	20 °C 18,62 ^a ± 18,67%	30 °C 48,49 ^b ± 20,98%	20 ⇔ 30 °C 75,18 ^c ± 20,21%	
Stratifikation	keine Stratifikation 33,44 ^a ± 26,64%	7 Tage / 10 °C 48,75 ^b ± 31,12%	7 Tage / 5 °C 51,82 ^c ± 29,94%	7 Tage / 0 °C 55,72 ^d ± 29,57%

Basierend auf diesen Ergebnissen wurde eine einheitliche Keimfähigkeitsprüfmethode zum Erzielen einer höchstmöglichen Keimfähigkeit des Saatgutes definiert. Unter Verwendung der Parameter **Faltenfilter / Keimflüssigkeit bzw. Vorbehandlung GA₃ / 12 Stunden Licht / Wechseltemperatur 20 ⇔ 30 °C / Stratifikation 7 Tage – 0 °C** wurde eine Keimfähigkeit des verwendeten Saatgutes im Labor von bis zu 96% erreicht.

Bei dem im Projekt verwendeten Saatgut der Samenherkunft A war eine Erhöhung der Keimfähigkeit bzw. eine Abnahme der Keimruhe (Tabelle 7) mit fortschreitender Lagerung (10 °C, Dunkelheit) des Saatgutes zu erkennen. Älteres Saatgut erzielte höhere Keimfähigkeitswerte, da die intrinsische physiologische Dormanz der Samen mit fortlaufender Lagerung abnahm.

Tabelle 7: Keimruheverlauf des *S. perfoliatum* Saatgutes (Samenherkunft A, Ernte 2012)

Datum	03.04.2013	22.04.2014	13.05.2014	21.05.2014	04.06.2014	16.06.2014	05.08.2014
Keimfähigkeit (%)	25	78	74	74	88	88	90

Das verwendete Versuchsmodell zum Nachweis von samenanhaftenden, pilzlichen Pathogenen wurde auf die zwei im Forschungsprojekt verwendeten, unterschiedlichen Samenherkünfte (A und B) angewendet. Beide Samenherkünfte zeigten bei nahezu 100% aller Samen einen Befall mit *Alternaria*. *Cladosporium* trat je nach Methode bei 43% (Filterpapier, 20 °C, Dunkelheit, 7 Tage Bebrütungsdauer) respektive 41% (Wasser-Agar, 20 °C, Dunkelheit, 7 Tage Bebrütungsdauer) aller untersuchten Samen der Samenherkunft A bzw. 22% (Filterpapier, 20 °C, Dunkelheit, 7 Tage Bebrütungsdauer) respektive 12% (Wasser-Agar, 20 °C, Dunkelheit, 7 Tage Bebrütungsdauer) aller Samen der Samenherkunft B auf. Zudem konnten an den untersuchten Samen beider Herkünfte auch Köpfchenschimmel, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Apsergillus* und *Neocosmospora* festgestellt werden.

Im Rahmen des Projektes wurde durch eine qualitätsverbessernde, maschinelle Saatgutaufbereitung nach der Samenernte hochwertiges Saatgut aufgereinigt. Die Parameter „Sinkgeschwindigkeit“, „Samendicke“, „Samenbreite“, „Dichte“ und „Raummaße“ stellten sich bei der maschinellen Sortierung als zielführend heraus. Die effektivste Variante zur maschinellen Reinigung war eine Kombination aus Siebmaschine und Gewichtsausleser. In der Siebmaschine wurde mit einem Rundlochsieb nach

Samenbreite und mit zwei Langlochsieben nach Samendicke sortiert, wobei dem Rundlochsieb (≥ 8.5 mm) als oberstes Sieb ein Langlochsieb (≥ 3 mm) und ein weiteres Langlochsieb ($\geq 1,5$ mm) folgten. Die Fraktion auf dem Langlochsieb $\geq 1,5$ mm wurde anschließend mit dem Gewichtsausleser nach Dichte und Raummaße verlesen. Die schwerste Fraktion entsprach der Reinware, mit einem Reinheitsgrad von rund 99% und einer Keimfähigkeit $> 90\%$ bei Anwendung der definierten Keimfähigkeitsprüfmethode.

Im Glashausversuch zur Jungpflanzenentwicklung ließen sich Wechseltemperaturen (bei einer Tagesdurchschnittstemperatur von 25 °C) sowie ein 12 Stunden Licht/Dunkelheit-Zyklus als vorteilhafte Wachstumsbedingungen feststellen. 24 Stunden vorquellen in GA_3 -Lösung stellte sich als optimale Vorbehandlungsvariante des Saatgutes heraus. Eine Woche nach der Saat im Glashaus durchstießen die beiden Keimblätter von *S. perfoliatum* die Erdkruste. Nach zwei Wochen war der Ansatz des ersten Primärblattes zu sehen, welches sich nach drei Wochen voll entfaltet hatte.

Aufbauend auf den vorangegangenen saatguttechnologischen Versuchen erfolgte eine praxistaugliche Umsetzung am Feld im Rahmen eines Saatversuches. An fünf Saatterminen erfolgte die Saat von neun verschiedenen Saatgutvarianten (Tabelle 1). Eine Pillierung (entspricht den Varianten V5, V6, V7, V8) ermöglichte eine maschinelle und exakte Saat mit einer pneumatischen Einzelkornsämaschine. Bei Verwendung einer Sonnenblumen-Säuscheibe (18er Lochscheibe; 2,1 mm) wurde eine hohe Ablagegenauigkeit (90 - 95%) erreicht. Durch die maschinelle Saat des *S. perfoliatum* Saatgutes konnte der erste Schritt zur Bestandesetablierung mittels Saat umgesetzt werden (VON GEHREN et al., 2016).

Die Wahl des Saattermins hatte einen signifikanten Effekt auf den Feldaufgang von *S. perfoliatum* und ist bei einer Saat zu berücksichtigen (Abbildung 5). Mit fortlaufender Vegetationsperiode nahm der durchschnittliche Feldaufgang aller Saatvarianten des jeweiligen Saattermins ab. Für den ersten Saattermin wurde ein mittlerer Feldaufgang von 60,1% gemessen. Dieser Wert reduzierte sich kontinuierlich für den zweiten (50,2%), den dritten (47,6%) und den letzten (41,4%) Saattermin. Die Ausnahme stellt lediglich der vierte Saattermin (54,3%) Anfang Juni dar, was auf die bedarfsbedingte Bewässerung zurückzuführen ist. Zusätzlich zum Feldaufgang abhängig vom Saattermin wurde auch der Bodenbedeckungsgrad der Parzellen mit Saatgutvariante 8 erhoben, um Rückschlüsse auf den optimalen Saattermin ziehen zu können. Der Bodenbedeckungsgrad korrelierte dabei signifikant mit dem Feldaufgang ($r = 0,59$, $P = 0,05$). Am Ende der zweiten Wachstumsperiode (erstes Ertragsjahr) wurde weiterhin der durchschnittliche TM-Ertrag aller Parzellen der jeweiligen Saattermine erhoben. Einen signifikanten Effekt des Saattermins auf den ersten Ertrag konnte nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass für den Standort Hirschstetten eine Saat von Mitte – Ende April für eine angestrebte Bestandesetablierung vorteilhaft ist. Der Boden soll zum Zeitpunkt der Saat feinkrümlig und frei von Verkrustungen sein sowie eine Bodentemperatur von rund 10 °C aufweisen. Zudem muss ein guter Bodenschluss vorliegen, damit eine gesicherte Wasserversorgung gegeben ist. Zur Nutzung der keimfördernden Wechseltemperaturen ist eine geringe Saattiefe von rund 1 cm anzustreben.

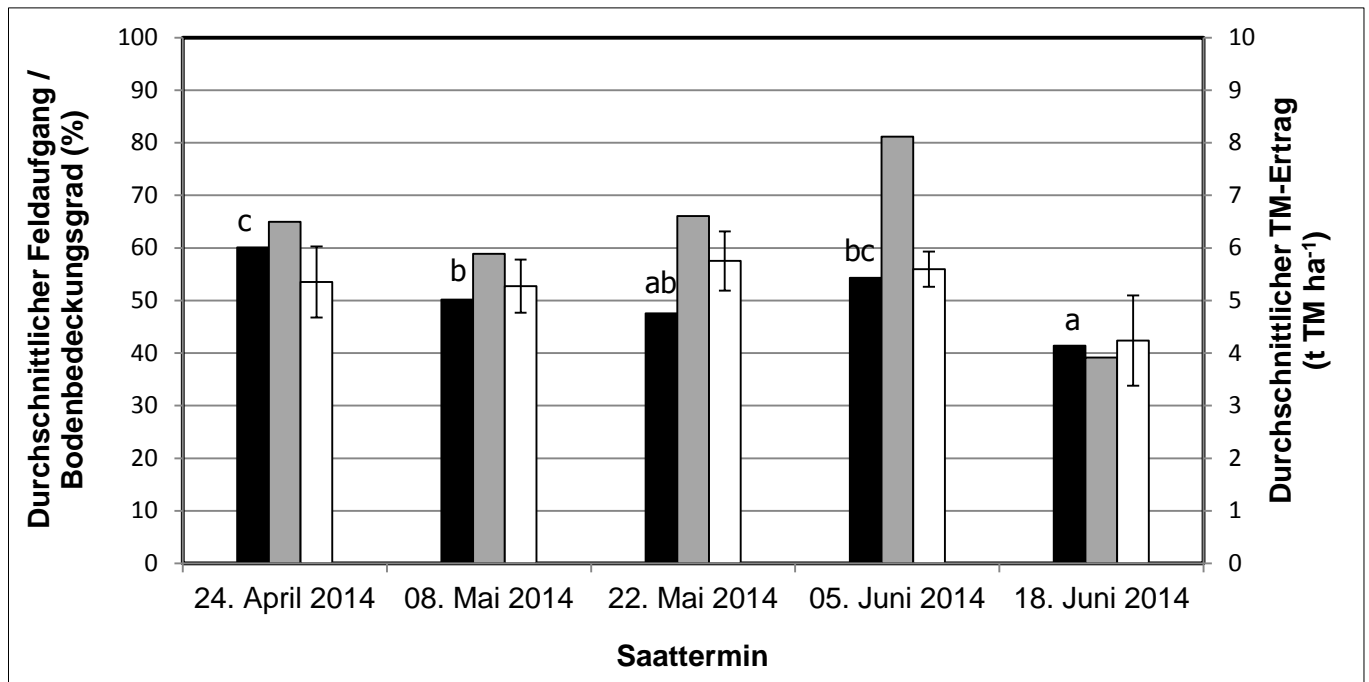


Abbildung 5: Durchschnittlicher Feldaufgang der neun ausgesäten Saatgutvarianten von *S. perfoliatum* (n = 36), durchschnittlicher Bodenbedeckungsgrad der Parzellen der Saatgutvariante 8 (n = 4) und durchschnittlicher TM-Ertrag am Ende des zweiten Vegetationsjahres (die Buchstaben a, b, c kennzeichnen die homogenen Untergruppen)

Die im Labor erprobten und bei der Saat angewandten Saatgutvorbehandlungen hatten ebenfalls einen signifikanten Effekt auf den Feldaufgang von *S. perfoliatum* (Tabelle 8). Eine dormanzbrechende Stratifikation des Saatgutes (V9) zeigte den höchsten Effekt auf die Keimfähigkeit gegenüber der Kontrollvariante (V1; 42%). Akkumuliert für alle fünf Sattermine konnte ein durchschnittlicher Feldaufgang von 61% erzielt werden, wobei der Feldaufgang am ersten Sattermin deutlich darüber lag (Daten nicht angeführt). Ähnlich hohe Werte (60,3%) wurden mit Saatgut, welches für 24 Stunden bei 7 °C in 0,05% GA₃ Lösung getränkt wurde, erzielt (V3). Ebenfalls einen signifikanten Effekt hatte das Tränken des Saatgutes in 0,02% KNO₃ Lösung bei 7 °C für 24 Stunden (V2). Bei dem pillierten Saatgut, welches aufgrund seiner Säbarkeit eine hohe Praxisrelevanz aufweist, zeigte die Einarbeitung von GA₃ in die Pilliermasse und eine Rücktrocknung nach 14 Stunden (V6) einen signifikanten Effekt auf den Feldaufgang (54,2%) gegenüber der Kontrollvariante. Die anderen drei getesteten pillierten Saatgutvarianten (V5, V7, V8) zeigten ebenfalls alle einen höheren mittleren Feldaufgang als die Kontrollgruppe, diese Werte waren aber laut Tukey HSD Test nicht statistisch signifikant.

Tabelle 8: Durchschnittlicher Feldaufgang aller neun ausgesäten Saatgutvarianten zusammengefasst für alle fünf Saattermine. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen dem mittleren Feldaufgang der Saatgutvarianten an.

Saatgutvariante	Feldaufgang (%, Mittelwert, n=20)	Blattflächenindex Mittelwert ± Standardfehler, n=16)
V1	42,0 ab	0,550 ± 0,138 ab
V2	52,9 cd	0,715 ± 0,136 bc
V3	60,3 d	0,873 ± 0,163 c
V4	38,5 a	0,397 ± 0,082 a
V5	50,2 bcd	0,647 ± 0,135 abc
V6	54,2 cd	0,722 ± 0,128 bc
V7	46,5 abc	0,591 ± 0,111 abc
V8	50,8 bcd	0,641 ± 0,122 abc
V9	61,0 d	0,881 ± 0,165 c

Keimfähigkeitstests mit den verwendeten Saatgutvarianten, welche parallel zu den Saatversuchen im Labor durchgeführt wurden, bestätigten den im Feldversuch erkennbaren Trend (Abbildung 6).

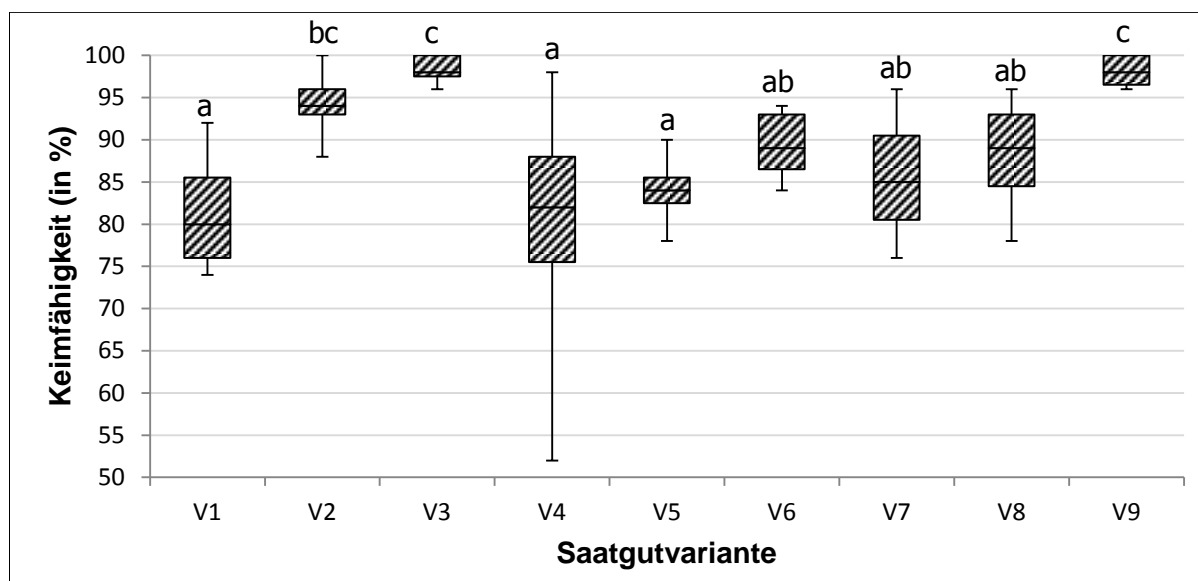


Abbildung 6: Boxplot der Keimfähigkeiten (%) der unterschiedlichen Saatgutvarianten

Generell konnte unter Laborbedingungen ein deutlich höherer Prozentsatz von gekeimtem Saatgut festgestellt werden, was auf den Einfluss von Umweltbedingungen beim Feldversuch zurückzuführen ist. Bei den Saatversuchen wurden zufriedenstellende Ergebnisse erzielt. Bei weiterführenden Arbeiten gilt es die gewonnenen Erkenntnisse zusammenzuführen und die pillierten Saatgutvarianten zu optimieren.

In Strem wurde zudem noch ein Versuch zur Samenernte mit einem herkömmlichen Mähdrescher durchgeführt. Die Ernte mit hoch gehobenem Getreidetisch funktionierte grundsätzlich. Dennoch traten Verluste auf, da die abgetrockneten Samen sehr leicht durch Berührung bzw. Wind verstreut wurden. Die am Dreschtisch des Mähdreschers vorgefundenen Samen wurden gesammelt und in den

Mähdrescher befördert. Das Erntegut war ein Gemisch aus reifen und unreifen Samen, Blütenständen sowie Stängel- und Blätterteilen.

3.2 Bestandesführung

3.2.1 Unkrautbekämpfung

Im Anlagejahr waren je nach Unkrautdruck drei bis fünf Unkrautbekämpfungen notwendig. Nahezu unkrautfreie Flächen führen zu einem frühen Bestandesschluss und damit zu einer optimalen Pflanzenentwicklung. In den Folgejahren wurde bei optimaler Entwicklung der Boden bereits sehr früh (Anfang bis Mitte April) vollständig mit Blattrosetten von *S. perfoliatum* überbedeckt und die Begleitvegetation unterdrückt. Unter optimalen Voraussetzungen sind keine weiteren Unkrautbekämpfungsmaßnahmen mehr notwendig.

Eine zweimalige händische Unkrautbekämpfung, wie sie am Praxisstandort Strem durchgeführt wurden, ist für eine optimale Entwicklung von *S. perfoliatum* zu wenig. Der Bestandesschluss, sowohl im Anlagejahr als auch in den Ertragsjahren, erfolgte deutlich später, die Pflanzen entwickelten sich schwächer. Die Unkräuter und Ungräser erreichten in den Ertragsjahren stellenweise ähnliche Wuchshöhen wie *S. perfoliatum*.

Für die Reduktion des Aufwandes bei der Unkrautbekämpfung im Anlagejahr ist die Erarbeitung einer geeigneten Pflanzenschutzstrategie notwendig. Eine Möglichkeit wären Maßnahmen wie Untersaaten mit Getreide, Mais oder Klee, die das Unkraut unterdrücken und zusätzlich eine Ernte im Anlagejahr ermöglichen.

3.2.2 Wachstums- und Entwicklungsverlauf

Mit Ausnahme des Versuchsstandortes Strem wuchsen die Bestände von *S. perfoliatum* ab Anfang April 2013 gegenüber den wurzel- und samenbürtigen Unkräutern und Ungräsern deutlich schneller. Trotz des extrem kühlen Frühjahres erreichten die Pflanzen am Standort Hirschstetten bereits am 17. Mai 2013 mehr als einen Meter Wuchshöhe. Die niedrigen Temperaturen im Spätfrühjahr und die hohen Niederschlagsmengen im Juni ergaben keine nachteiligen Auswirkungen auf das weitere vegetative Wachstum. Die hohen Temperaturen und die extreme Trockenheit im Juli und August 2013 stellten jedoch den weiteren Wachstums- und Entwicklungsverlauf ein. Die Blattneubildung war stark vermindert und es kam zu einem frühen Blattfall (besonders der unteren Blätter). Die Folge waren abnehmende Blattflächenindizes. *S. perfoliatum* bildete überwiegend nur eine Blütenebene aus. Durch die speziellen Witterungsbedingungen im Sommer 2013 kam es zu einem relativ einheitlichen Abblühen und zu einer relativ gleichmäßigen Samenbildung.

Im Jahr 2014 war die schnellere Jugendentwicklung auf den Standorten Strem und Hirschstetten auffallend, welche auf die etwas höheren Frühjahrstemperaturen und dem damit verbundenen früheren Wachstumsbeginn, speziell in Strem, zurückzuführen ist (Abbildung 7).

Dennoch kam es 2014 und 2015 durch die Trockenheit im Spätfrühjahr und im Frühsommer zu einem früheren Einstellen des Wachstumsverlaufes mit einem eher atypischen vorzeitigen Abreifen der Pflanzen.

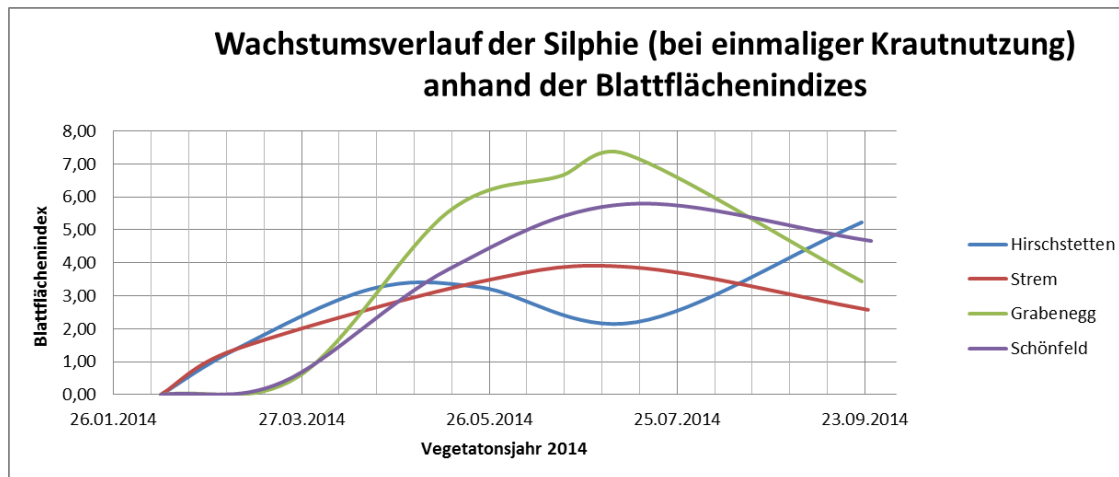


Abbildung 7: Wachstumsverlauf von *S. perfoliatum* anhand der Blattflächenindizes im Jahr 2014 an allen vier Standorten

Die ergänzende Beurteilung der Befahrbarkeit der Pflanzen zeigte, dass an den Pflanzen keine Schädigungen auftraten, die auf das Befahren der Versuchsflächen (Düngung, Ernte) zurückzuführen gewesen wären. Es kam auch zu keiner Pflanzenreduktion in den darauffolgenden Vegetationsjahren. Eine leichte Zunahme der Stängelzahl pro Pflanze wurde festgestellt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Vergleich des ersten und zweiten Vegetationsjahres bezogen auf die Stängelanzahl pro Pflanze

	Ø Stängelanzahl / Pflanze - 1. Vegetationsjahr (2012)	Ø Stängelanzahl / Pflanze - 2. Vegetationsjahr (2013)
gedüngte <i>S. perfoliatum</i> Fläche (n=221)	6,0	9,7
ungedüngte <i>S. perfoliatum</i> Fläche (n=168)	6,1	8,8

3.2.3 Pflanzengesundheit

In Schönfeld wurde 2012 im Bestand von *S. perfoliatum* ein leichter Befall durch den Echten Mehltau festgestellt. An allen vier Standorten wurde 2012 und 2013 ein Pilz aus der Gattung Ascochyta gefunden. Es stellte sich heraus, dass hier eine neue Spezies vorliegt (BEDLAN, 2014) und wurde mit dem Namen *Ascochyta silphii* Bedlan publiziert.

Schadbild: Auf den Blättern sind braune rundliche oder unregelmäßige Flecken mit dunkelbrauner Umrandung oder aber auch graue, dunkelgraue bis braune größere, unregelmäßige Flecken zu finden. Auf den Flecken sind blattoberseits die Conidiomata des Pilzes zu sehen, die etwa zur Hälfte im Blattgewebe eingesenkt, dunkelbraun und rundlich sind.

2014 waren an allen vier Standorten keine parasitären und nicht-parasitären Schadursachen nachzuweisen.

Aus heutiger Sicht sind keine wirtschaftlichen Schädigungen durch Pathogene zu erwarten, da einerseits die Befallshäufigkeit sehr gering ist und andererseits durch Schnittmaßnahmen das Inokulumpotential wesentlich reduziert wird.

3.2.4 Überwinterungsrate und Trockenresistenz

Geringe Ausfallraten gab es im Winter 2012/13 am Standort Hirschstetten mit ca. 1,46% und in Grabenegg mit 4,69%. Die erhöhte Auswinterungsrate am Standort Grabenegg ist auf die späte

Nachpflanzung der Pflanzlücken im Juli, die bei der Aupflanzung entstanden sind, zurückzuführen. Die Temperaturen 2012/13 lagen im Mittelwert der letzten 30 Jahre (ZAMG, Hohe Warte). Nach dem ersten Nutzungsjahr lagen die auswinterungsbedingten Ausfälle (2013 auf 2014) auf allen Standorten unter dem Erwartungswert.

Das Ertragsjahr 2013 war in Bezug auf die Beurteilung der Trockenresistenz von *S. perfoliatum* vorteilhaft. Vorwiegend am Standort Strem konnte durch die lang anhaltende Trockenheit im Sommer, von Ende Juni bis Anfang August, ein Vergleich zur Ertragsstabilität bei Mais gezogen werden. *S. perfoliatum* zeigte sich trockentoleranter im Vergleich zu Mais. Der Hauptgrund lag im unterschiedlichen Entwicklungsverlauf der beiden Pflanzenarten. *S. perfoliatum* war zu Beginn der Trockenperiode mit einem LAI von 2 bis 4 nahezu ausgewachsen. Mais wurde erst spät im Frühjahr ausgesät und hatte gegenüber *S. perfoliatum* einen deutlichen Entwicklungsrückstand. Insgesamt konnte beobachtet werden, dass *S. perfoliatum* Trockenperioden zwar problemlos überstehen kann, allerdings der Biomassezuwachs bei anhaltender Trockenheit deutlich abnimmt.

3.3 Biomasseertragspotential

Biomasseertrag im ersten Vegetationsjahr (2012):

Im ersten Vegetationsjahr bildet *S. perfoliatum* eine Blattrosette. Der Biomasseertrag lag in einem Bereich von 2,14 bis 4,60 t TM ha⁻¹. Eine Ernte war wirtschaftlich nicht sinnvoll und beeinflusst zudem die Kältefestigkeit des Bestandes negativ.

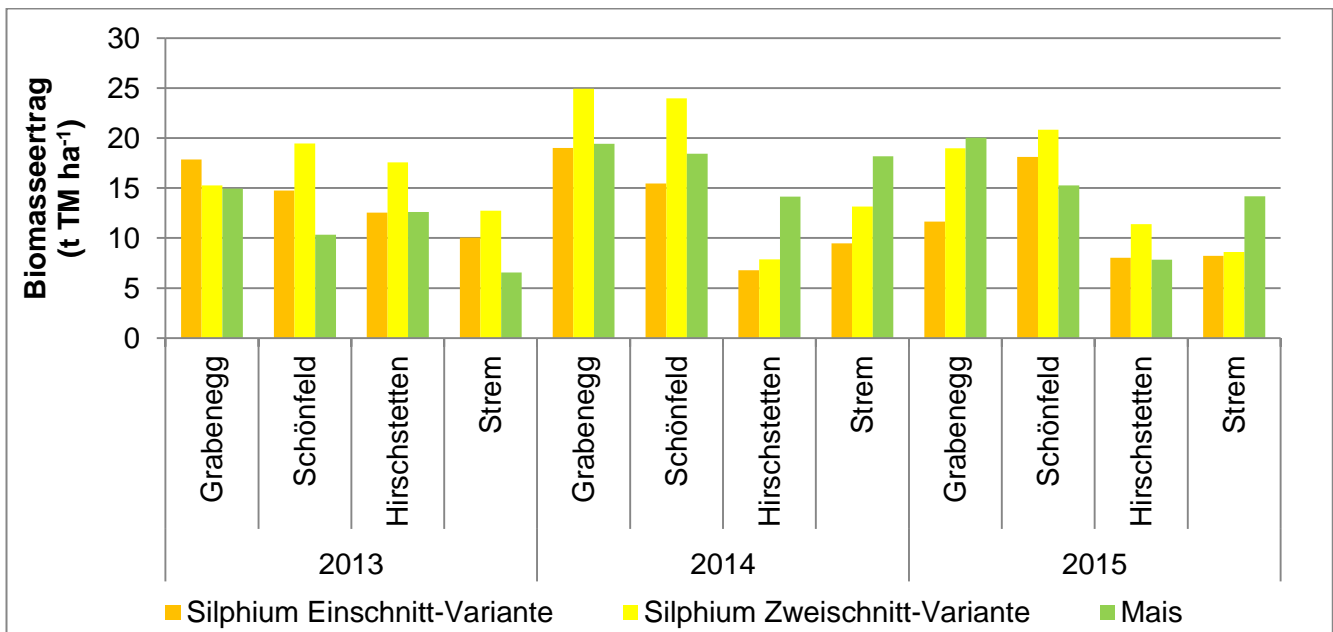


Abbildung 8: Biomasseerträge von *S. perfoliatum* bei ein- und zweimaligem Schnitt im Vergleich zu Mais von 2013 bis 2015

Biomasseertrag ab dem zweiten Vegetationsjahr (2013) im Vergleich zu Mais:

Ab dem zweiten Vegetationsjahr erfolgt der Biomassezuwachs der Pflanze durch das Ausbilden zahlreicher Stängel mit paarweise angeordneten Blättern. Erst in diesem Zustand ist eine Ernte ökonomisch sinnvoll.

Die TM-Erträge von *S. perfoliatum* waren im Jahr 2013 standortsbedingt unterschiedlich hoch und bewegten sich zwischen 19,47 t TM ha⁻¹ (der Zweischnitt-Variante mit einer Ernte im Juli und Oktober) in Schönfeld und 10,03 t TM ha⁻¹ (der Einschnitt-Variante mit einer Ernte im September) in Strem. Die TM-Erträge von *S. perfoliatum* lagen bei beiden Erntevarianten, trotz Kälte im Frühjahr, durchschnittlich hohen Niederschlagsmengen im Juni und extremer Hitze- und längerer Trockenperiode im Sommer, über jenen des Mais.

Im Jahr 2014 wurden bei *S. perfoliatum* auf den günstigen Standorten Grabenegg und Schönfeld hohe TM-Erträge (Einschnitt-Variante: 19,03 bzw. 15,46 t TM ha⁻¹; Zweischnitt-Variante: 24,94 bzw. 24,0 t TM ha⁻¹) erzielt. Die TM-Erträge auf den beiden Standorten waren ähnlich hoch oder höher als bei Silomais. Auf den weniger günstigen Standorten Strem und Hirschstetten war der geringe Ertrag auf die lange Trockenperiode und den stark erhöhten Bodeneindringwiderständen im Frühjahr zurückzuführen (Abbildung 8). Somit konnte das Ertragsniveau vom Mais nicht erreicht werden. SCHOO et al. (2016) bestätigen in ihren Versuchen, dass *S. perfoliatum* höhere Niederschläge als der Mais benötigt. In einem etablierten Bestand von *S. perfoliatum* sind höhere Niederschlagsmengen notwendig, damit das Regenwasser bis zum Boden durchdringt.

Im Jahr 2015 erzielte der Mais im Vergleich zur Einschnitt-Variante bei *S. perfoliatum* auf dem Standort Grabenegg einen um 8,39 t TM ha⁻¹ höheren Ertrag. Am Standort Strem lag der Ertrag bei Mais um 5,96 t TM ha⁻¹ höher als bei *S. perfoliatum*. Am Standort Hirschstetten lagen die TM-Erträge von *S. perfoliatum* und Mais etwa gleich hoch bei 8,00 t TM ha⁻¹. Am Standort Schönfeld erreichte *S. perfoliatum* einen um 2,71 t TM ha⁻¹ höheren Ertrag als Mais (Abbildung 8).

Vergleich der Ein- und Zweischnitt-Variante:

Die Erträge der Zweischnitt-Varianten lagen über denen der Einschnitt-Varianten, mit Ausnahme des Standortes Grabenegg im Jahr 2013.

Aufgrund der geringen Niederschläge in Hirschstetten (2014 und 2015) und Strem (2015) war bei der Zweischnitt-Variante der Aufwuchs nach dem ersten Schnitt sehr gering, sodass der zweite Schnitt nicht durchgeführt wurde. Es wurden somit nur Ernten im Juli (= erster Schnittzeitpunkt der Zweischnitt-Variante) und im September (= Schnittzeitpunkt der Einschnitt-Variante) durchgeführt. Beim Juli-Schnitt wurde zudem ein höherer Ertrag als beim September-Schnitt erzielt, da es schon zu verfrühtem Blattfall gekommen ist.

Fazit: Die Einschnitt-Variante erscheint praktikabler, da zu dem Zeitpunkt das Erntegut einen höheren Trockensubstanzgehalt als bei der Zweischnitt-Variante aufweist und eine bessere Silierung ermöglicht. Zudem können die ökologischen Vorzüge (Bienenweide, Bodendeckung, etc.) dieser Pflanze länger genutzt werden. Bei der Wahl des optimalen Erntezeitpunktes, bei der das Erntegut einen TS-Gehalt von rund 25% aufweist, sind voraussichtlich auch die Ertragsunterschiede zwischen den beiden Varianten gering. Die Zweischnitt-Variante ist nur bei ausreichend Niederschlag sinnvoll.

Ermittlung des optimalen Ersterntetermins bei der Zweischnitt-Variante

Am Standort Grabenegg wurden zur Ermittlung des optimalen Ersterntetermins bei der Zweischnitt-Variante zwei unterschiedliche Ersterntetermine gewählt. Der erste Termin war am 18.06.2014 und der zweite am 09.07.2014. Der zweite Schnitt erfolgte bei beiden Varianten Ende September.

Am 18.06.2014 wurden am Versuchsstandort Grabenegg 12,40 t TM ha⁻¹, bei einem TS Gehalt von 13%, geerntet. Der Erntetermin im Herbst brachte 6,70 t TM ha⁻¹, bei einem TS-Gehalt von 20%. Insgesamt erbrachten die beiden Ernten also 19,10 t TM ha⁻¹.

Die Ernte der drei Wochen späteren Ersternte (09.07.2014) brachte 20,58 t TM ha⁻¹, bei einem TS-Gehalt von 14%. Der Erntetermin im Herbst brachte 4,36 t TM ha⁻¹ geerntet, bei 17% TS-Gehalt im Erntegut. Insgesamt erbrachten die beiden Ernten also 25,16 t TM ha⁻¹.

Die TM-Erträge der Zweischnitt-Variante vom früheren Ersterntetermin lagen folglich um etwa 6 t TM ha⁻¹ unter dem um drei Wochen späteren Ersterntetermin.

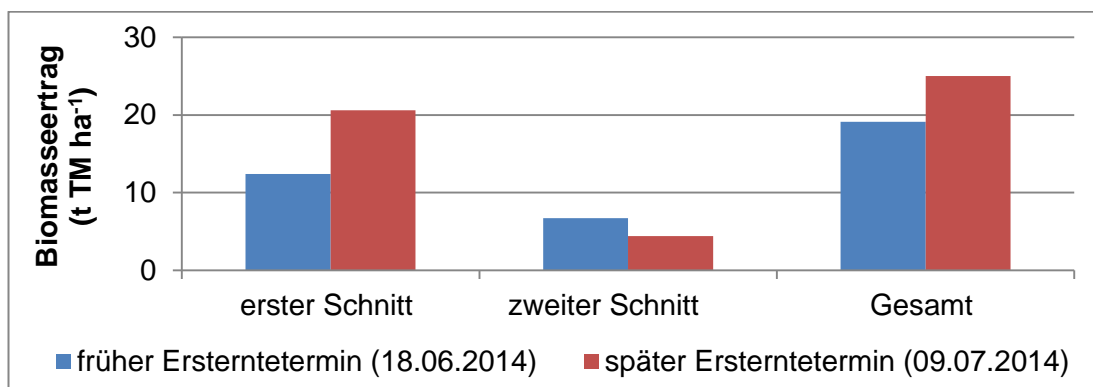


Abbildung 9: TM-Erträge bei einem früheren und einem späteren Ersterntetermin bei der Zweischnitt-Variante (Grabenegg 2014)

In Strem wurden zudem eine Ernte im absätzigen Verfahren sowie eine Ernte in einem Arbeitsschritt mit der herkömmlichen Maiserntetechnik mit einem Feldhäcksler durchgeführt. Beide Verfahren waren problemlos möglich.

Bei einem frühen Erntezeitpunkt mit niedrigeren TS-Gehalten des Erntegutes ist das absätzige Verfahren vorteilhaft. Durch die Anwelkphase wird der TS-Gehalt erhöht, die Sickersaftverluste bei der Lagerung reduziert und die Konservierung verbessert. Da bei beiden Ernteverfahren keine Probleme aufgetreten waren steht den Betrieben eine Flexibilität bei der Erntetechnik zur Verfügung.

3.4 Energetische Verwertung

3.4.1 Biogaserzeugung

Das Methanpotential von *S. perfoliatum* lag zwischen 204 und 330 Normliter (NI) CH₄ kg⁻¹ oTS, im Durchschnitt bei 274 NI CH₄ kg⁻¹ oTS. Das Methanpotential von *S. perfoliatum* blieb über den Zeitraum von drei Jahren sowie über die drei Erntetermine relativ stabil. Bei der Juliernte war das Methanpotential aufgrund der geringeren Lignifizierung meist höher.

Die zum Vergleich beprobte Maissilage hatte 2013 ein durchschnittliches Methanpotential von 360 NI CH₄ kg⁻¹ oTS (laut DÖHLER et al. (2013) 340 NI CH₄ kg⁻¹ oTS). *S. perfoliatum* hat somit gegenüber Mais ein um 24% geringeres Methanpotential (Abbildung 10).

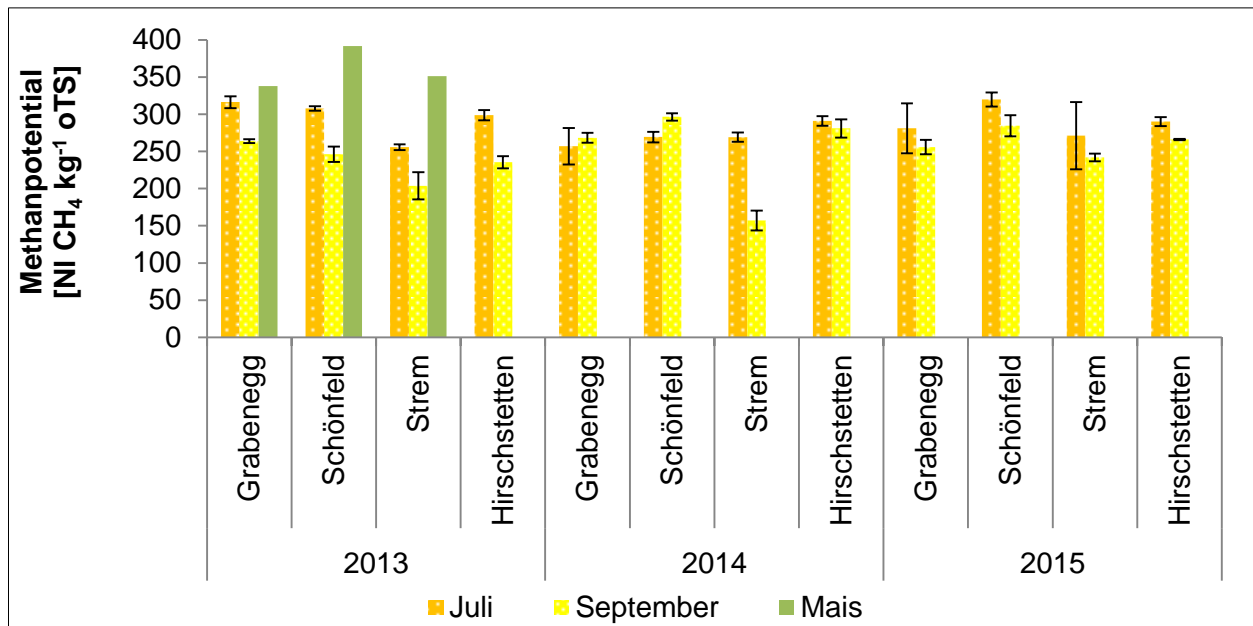


Abbildung 10: Methanpotential je Kilogramm organischer Trockensubstanz von *S. perfoliatum* in Abhängigkeit unterschiedlicher Erntezeitpunkte.

Das Gärverfahren lief stabil über 180 Tage. Die durchschnittliche Methanausbeute lag bei 203 ± 57 NI CH₄ kg⁻¹ oTS. Der um ca. 20% niedrigere Wert gegenüber den üblichen Methanpotentialtests ist bei solchen Versuchen üblich.

Der Ausgangszuckergehalt der *S. perfoliatum* Probe, welche für die Vorbehandlungsversuche verwendet wurde, betrug 3 g kg⁻¹.

- Eine thermische Behandlung setzte im Durchschnitt 13 g kg⁻¹ Zucker frei. Die Temperatur und der Wassergehalt hatten nur einen sehr geringen Effekt auf die Freisetzung des Zuckers.
- Die optimale thermochemische Vorbehandlung lag bei einer Temperatur von 160 °C, einem TS-Gehalt von 10% und einer Säurekonzentration von 0,75 mMol g⁻¹ TS, wie in Abbildung 11 zu sehen ist. Bei 180 °C war die Konzentration von thermischen Nebenprodukten wie Furfural und Hydroxymethylfurfural sehr hoch.

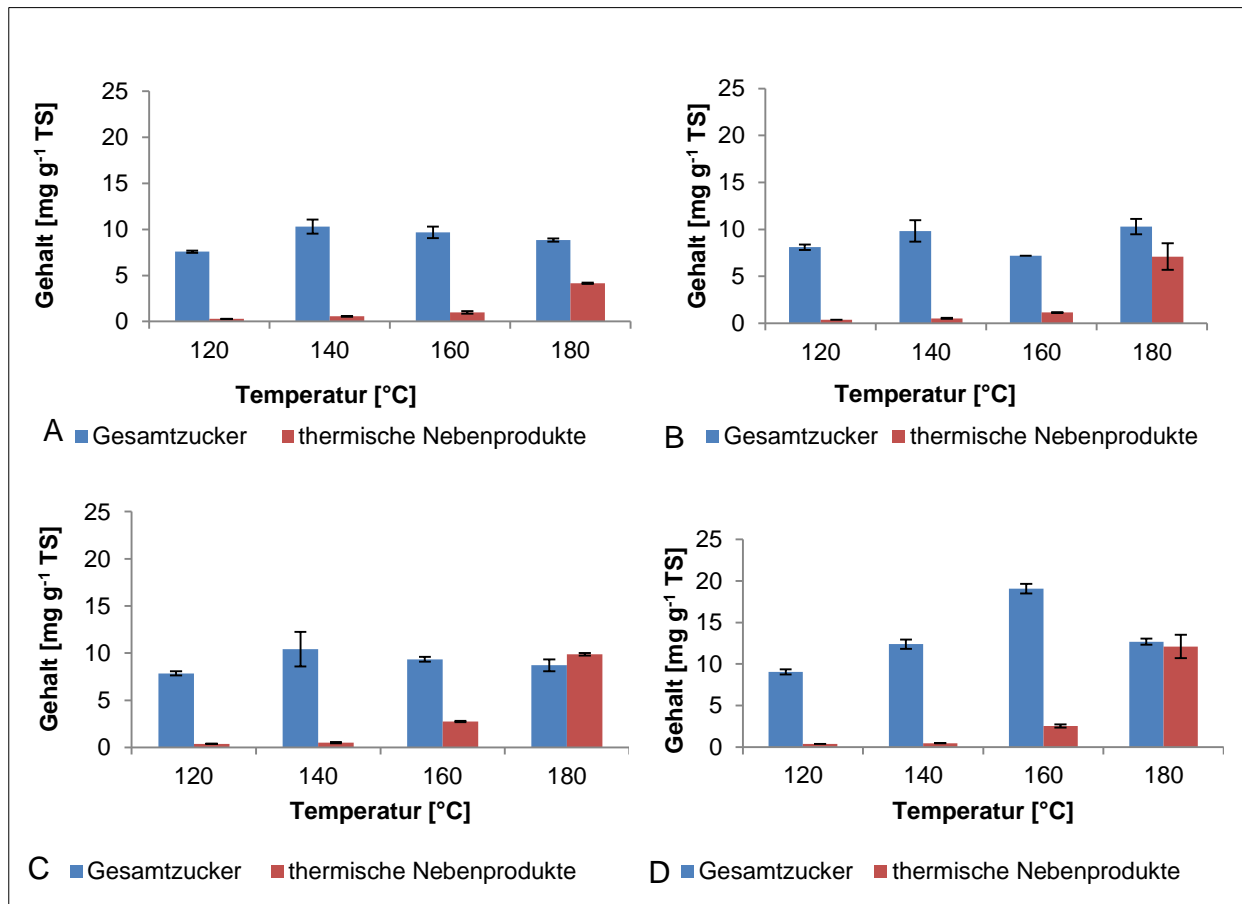


Abbildung 11: Vergleich des Gesamtzuckergehalts und der thermischen Nebenprodukte bei 0 mMol g⁻¹ TS (A); 0,25 mMol g⁻¹ TS (B); 0,5 mMol g⁻¹ TS (C); 0,75 mMol g⁻¹ TS (D)

- Eine mikrobiologische Vorbehandlung, Vorversäuerung oder Hydrolyse genannt, konnte nicht erfolgreich durchgeführt werden, da der Faseranteil der Pflanzen zu hoch ist und nicht schnell genug abgebaut werden konnte. Stattdessen wurden Enzyme mit einer 100x höheren Konzentration als der empfohlenen Menge eingesetzt.

Von den drei besten Vorbehandlungsmethoden (thermisch bei 160 °C, thermochemisch bei 160 °C und enzymatisch) wurde der Effekt auf das Biomethanpotential ermittelt. Entgegen den Erwartungen gab es keinen signifikanten Unterschied im Methanertrag oder in der Produktionsrate zwischen den vorbehandelten und unbehandelten Proben mit Ausnahme der thermochemisch-vorbehandelten Proben, bei der weniger Methan produziert wurde (Abbildung 12). Der Grund dafür ist nicht eindeutig feststellbar. Möglicherweise gehen bei der Vorbehandlung Teile vom Kohlenstoffgehalt des Pflanzenmaterials verloren. Auch könnten die Cellulose und die Hemicellulose in *S. perfoliatum* gut abbaubar sein, sodass keine Zuckerfreisetzung erfolgt. Möglich sind auch hemmende Wirkungen der thermischen Nebenprodukte, die dem positiven Einfluss der Zuckerfreisetzung entgegen wirken.

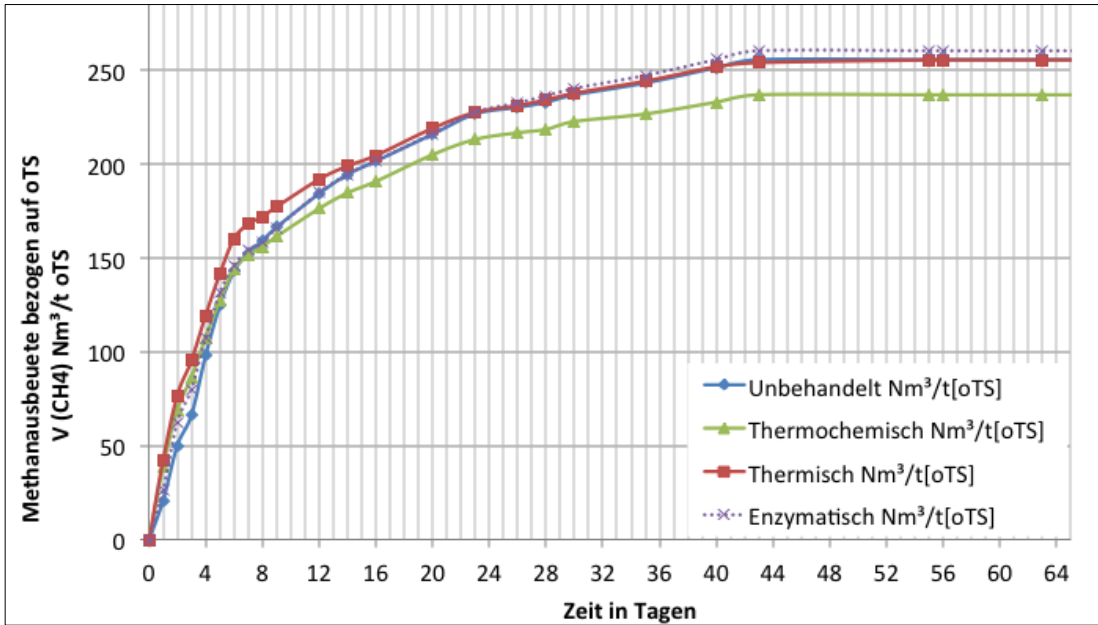


Abbildung 12: Methanerträge von *S. perfoliatum* aus Schönfeld in September 2013 mit drei Vorbehandlungen in Vergleich zu unbehandeltem *S. perfoliatum*

Ergänzend wurden die Methanerträge pro Fläche von den Schnitten im Juli und im September verglichen (Abbildung 13). In Grabenegg ergaben die Ernten im September höhere Methanerträge pro Fläche als die Ernten im Juli. Auf den Standorten Schönfeld, Strem und Hirschstetten war das gegensätzlich. Wobei die Unterschiede des Methanertrages pro Hektar zum größten Teil durch die Biomasseerträge entstehen. Die Biomasseerträge werden im vorherigen Kapitel gegenübergestellt.

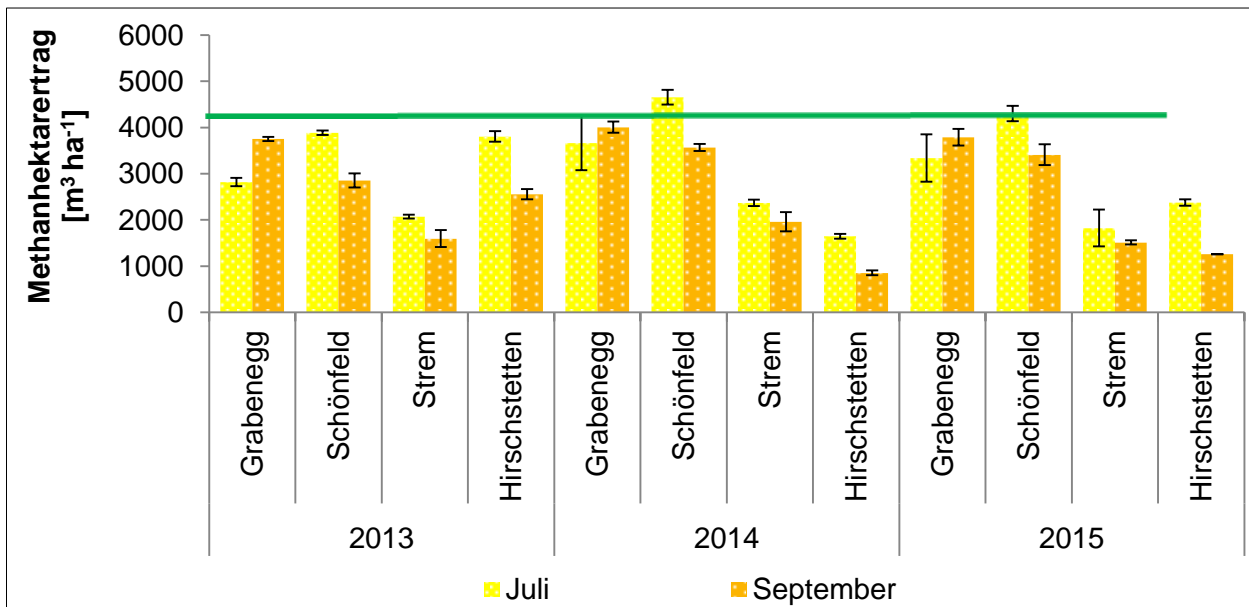


Abbildung 13: Methanertrag pro Fläche von *S. perfoliatum* (Juli- und Septemberernten).

Die Methanerträge pro Hektar waren standortbedingt sehr unterschiedlich (Abbildung 13). Die Standorte Grabenegg und Schönfeld erreichten in allen Jahren aufgrund der höheren Biomasseerträge einen höheren Methanertrag pro Fläche als die beiden anderen Versuchsstandorte. Die Methanerträge

reichten an den Standorten Grabenegg und Schönfeld an bzw. annähernd an den Durchschnittsmethanertrag des Maises von $4221 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (laut Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, grüne Linie in Abbildung 13) heran.

Der Praxisversuch zur Verwertung des Erntegutes in der Biogasanlage in Strem verlief positiv. Die Silagequalität wies nach siebenmonatiger Lagerung trotz nicht optimaler Rahmenbedingungen durch Witterung und der Abdeckung mit Gärresten (ohne Folie) eine augenscheinlich gute Qualität in Bezug auf Geruch, Farbe und Zustand auf und war auch bei allen anderen Ernteversuchen zufriedenstellend.

Die mit dem Querstromzerkleinerer mechanisch zerkleinerten Silagen von *S. perfoliatum* ergaben keine höhere Biogausausbeute als die unbehandelten. Das vorbehandelte Material konnte problemlos mit anderen Substraten gemischt und in den Fermenter eingebracht werden.

Bei der energetischen Verwertung im Fermenter wurden keinerlei Schwierigkeiten festgestellt. Weder bei der Einbringung noch bei der Mischbarkeit des frischen *S. perfoliatum* Substrates mit dem vorhanden (vergorenen) Substrat konnten Schwierigkeiten festgestellt werden. Im Fermenter selbst wurden Sink- bzw. Schwimmschichten gebildet und somit kein Verstopfungsrisiko festgestellt.

3.4.2 Bioethanolerzeugung

Die Untersuchungen zur Ethanolgewinnung ergaben unterschiedliche Erträge. Mittels der in der Literatur empfohlenen Methode für Maisblätter konnten aus 1 kg getrockneter *S. perfoliatum* Biomasse (0,315 kg Cellulose und 0,195 kg Hemicellulose) nur 32 ml Ethanol produziert werden. Ein Grund für den niedrigen Ethanolertrag könnte der stärkere Lignozellulose-Komplex, der sich schlechter verzuckern lässt, sein. Eine weitere Ursache dafür könnte die angewendete Methode für Maisblätter und Maisstängel sein, die nicht für Biomasse von *S. perfoliatum* geeignet ist. Mit dem gleichen Verfahren konnten hingegen 94 ml Ethanol aus Maisstroh produziert werden. Diese Methode müsste adaptiert werden. Bei weiteren Untersuchungen verschiedener Hydrolysebedingungen konnte der Ethanolertrag von *S. perfoliatum* auf 46 ml erhöht werden. Die Verarbeitung zu Ethanol wird aufgrund der niedrigen Ethanolausbeute nicht empfohlen.

3.4.3 Thermische Verwertung

Bei der thermisch energetischen Verwertung werden im Vergleich zur Biogasproduktion und Ethanolerzeugung an die Biomasse andere Anforderungen gestellt.

Der hohe Aschegehalt von *S. perfoliatum* (Tabelle 10) führt zu erhöhter Staubemission, eine Entstaubung des anfallenden Rauchgases ist daher erforderlich. Das Erntegut weist im Weiteren relativ hohe Schwefel- und Chlorgehaltswerte (Tabelle 11) auf und bringt nachteilige Auswirkungen auf Brennraum und Wärmetauscherflächen von Heizanlagen.

Der Wassergehalt lag, abhängig von Erntetermin und Standort, unterschiedlich hoch. Bei spätestmöglicher Ernte für eine Verbrennung des Erntegutes, dieser Zeitraum liegt zwischen Anfang und Ende Oktober, beträgt der Wassergehalt immer noch mindestens 50%. Da die Pflanzen (auch nicht die Stängel) nicht frosthart sind, ist eine Frühjahrsernte mit entsprechend geringem Wassergehalt ausgeschlossen. Der Brennwert von $17,90 \text{ H}_{\text{S,WF}}$ ist gegenüber Holzpellets oder *Miscanthus giganteus* deutlich niedriger (Tabelle 10). Durch den hohen Wassergehalt wird der Heizwert gesenkt.

Ein Verbrennen (= thermisch energetische Verwertung) des Erntegutes von *S. perfoliatum*, auch bei Spätherbsternte, ist daher sowohl aus ökonomischen wie auch ökologischen Gründen abzulehnen.

Tabelle 10: Brennwert von *S. perfoliatum* im Vergleich zu Holz Pellets und *Miscanthus x giganteus*

Biomasse	% TS Frischmasse	Brennwert H _{s,WF}	Asche in % der TS bei 815 °C
Holz Pellets (ÖNORM M7 135)	90	20,20	< 0,5
<i>Miscanthus x giganteus</i>	80	19,10	ca. 3,0
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	45	17,90	ca. 5,5

Tabelle 11: Makro- und Mikroelementanalyse von *S. perfoliatum* Erntegut (= Mischprobe aus fünf Pflanzen für die Verbrennung (Bestand Mitte September 2014))

Standort	Element							
	Kohlenstoff Masse %	Schwefel mg kg ⁻¹	Chlorid mg kg ⁻¹	Bor mg kg ⁻¹	Blei mg kg ⁻¹	Cadmium mg kg ⁻¹	Molybdän mg kg ⁻¹	Nickel mg kg ⁻¹
Grabenegg	41,6	857	3970	25,4	0,223	0,011	0,112	1,12
	42,1	707	2149	28,2	0,584	0,019	0,107	1,01
Schönfeld	39,4	1886	3586	32,9	0,449	0,269	0,059	4,08
	40,9	1319	1911	23,1	0,536	0,174	0,062	3,34
Hirschstetten	40,8	658	7694	24,2	0,736	0,036	0,178	0,60
	40,2	1008	9360	50,6	2,300	0,050	0,343	1,34
Strem	42,0	722	2428	26,8	0,171	0,011	0,974	1,31
	42,0	565	1560	21,4	1,130	0,023	0,125	2,03
Bestimmungsgrenze (BG)								
Blei	0,020 mg kg ⁻¹	Molybdän	0,010 mg kg ⁻¹	Quecksilber	0,012 mg kg ⁻¹			
Nickel	0,030 mg kg ⁻¹	Cadmium	0,006 mg kg ⁻¹					

3.5 Evaluierung ausgewählter Umweltparameter

3.5.1 Beurteilung des Potentials als CO₂-Senke

Die Tendenz von steigenden Humuswerten (Total org. C) im Oberboden auf allen Standorten nach drei Jahren lassen ein Potential als CO₂-Senke erkennen (Tabelle 12). Diese Tendenz muss durch weitere Bodenuntersuchungen in den Folgejahren abgesichert werden.

Tabelle 12: Organisch gebundener Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff (TOC)

Standort	Bodentiefe	Probenahme	Humus [%]	Total org. C [%]
Grabeneegg	0-25 cm	Sept. 2012	2,2	1,30
		Sept. 2014	2,6	1,54
	25-50 cm	Sept. 2012	2,0	1,17
		Sept. 2014	1,6	0,93
Schönfeld	0-25 cm	Sept. 2012	1,8	1,07
		Sept. 2014	2,0	1,19
	25-50 cm	Sept. 2012	1,7	0,99
		Sept. 2014	1,6	0,95
Hirschstetten	0-25 cm	Sept. 2012	2,1	1,22
		Sept. 2014	3,6	2,1
	25-50 cm	Sept. 2012	2,0	2,1
		Sept. 2014	3,3	1,92
Strem	0-25 cm	Sept. 2012	0,5	0,28
		Sept. 2014	2,1	1,2
	25-50 cm	Sept. 2012	3,6	2,1
		Sept. 2014	1,2	0,69

3.5.2 Beurteilung der bodenbürtigen Emissionen (Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas)

Die Kohlenstoffdioxid Ausgasungsmessungen 2013 und 2014 zeigten keine signifikant höheren Ausgasungen bei den Beprobungen von *S. perfoliatum* verglichen mit Mais. Unter den drei unterschiedlichen Düngungsvarianten am Standort Grabeneegg 2014 (ungedüngt, mineralisch gedüngt, Biogasgülle gedüngt) zeigte die biogasgülle gedüngte Variante die geringste Ausgasung an Kohlenstoffdioxid (Abbildung 14).

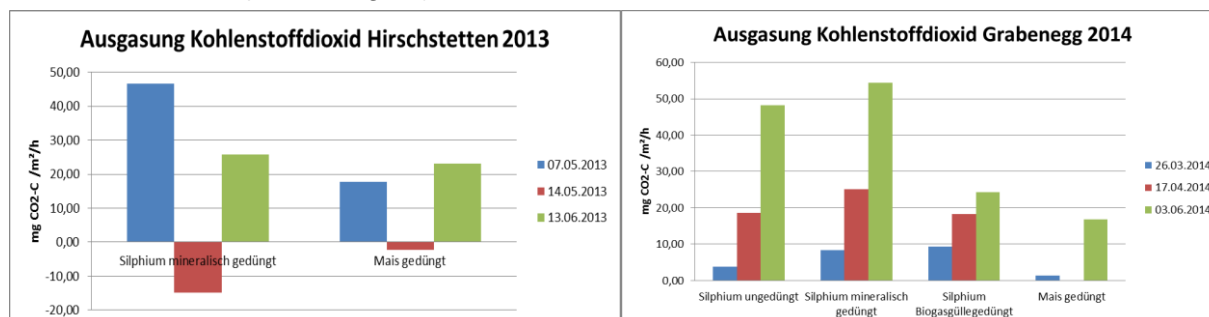


Abbildung 14: Bodenausgasung Kohlenstoffdioxid - Standorte Hirschstetten 2013, Grabenegg 2014

Keine Methan-Ausgasungen konnten im Jahr 2013 bei *S. perfoliatum* festgestellt werden. Bei Mais allerdings schon, welche durch eine Bodenbearbeitung vor dem Anbau verursacht wurden. Im Jahr 2014

kam es am Standort Grabenegg bei *S. perfoliatum* bei den beiden gedüngten Varianten (mineralisch, Biogasgülle) zu Methanausgasungen, wobei hier die Ausgasung nach der Biogasgülleausbringung signifikant angestiegen ist (Abbildung 15).

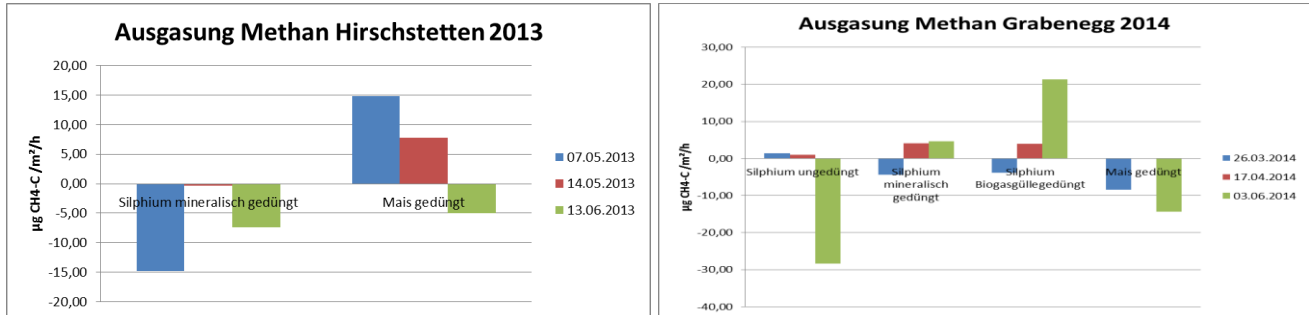


Abbildung 15: Bodenausgasung Methan - Standorte Hirschstetten 2013, Grabenegg 2014

Das Entweichen von Lachgas in die Atmosphäre konnte in beiden Beobachtungsjahren jeweils bei Mais in erhöhten Mengen festgestellt werden. Bei *S. perfoliatum* wurde dies nicht bzw. in geringeren Mengen festgestellt (Abbildung 16).

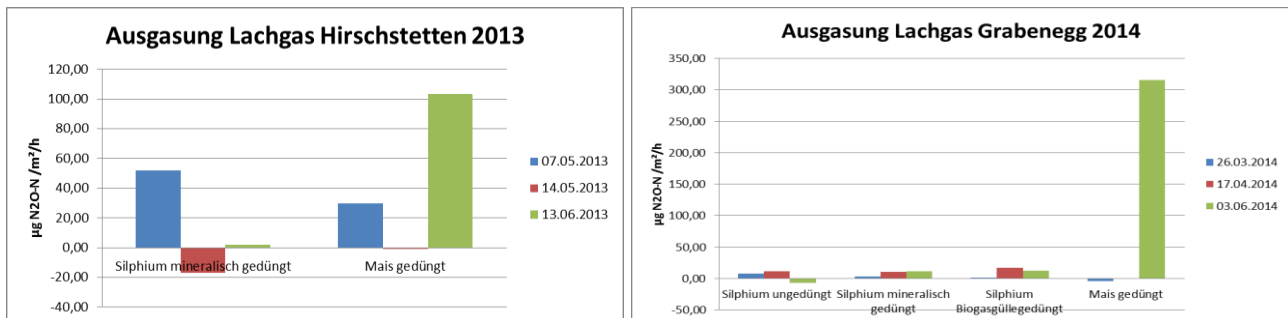


Abbildung 16: Bodenausgasung Lachgas – Standorte Hirschstetten 2013, Grabenegg 2014

3.5.3 N_{min}-Gehaltsertermittlung, Stickstoffaustrag in Grund- und Oberflächenwasser

In den Ertragsjahren von *S. perfoliatum* wurden die Stickstoff-Düngemengen auf allen Standorten rasch umgesetzt. Auf keinem der Versuchsstandorte kam es zu NO₃-Stickstoffverlagerungen in tiefere Bodenschichten. Ein standortbezogener N-Düngerversuch mit unterschiedlichen Gesamtmengen und unterschiedlicher Gabenverteilung sowie mit Biogasgülle ist nach den vorliegenden Projektergebnissen ein notwendiger Schritt zur Ausschöpfung des Ertragspotentials von *S. perfoliatum*.

Am Versuchsstandort in Grabenegg lag zu Vegetationsende des Anlagejahres (September) eine besonders hohe Versorgung an NO₃-Stickstoff vor. Auch auf den weiteren Standorten waren zu diesem Zeitpunkt zwischen 150 und bis zu 400 kg NO₃-Stickstoff im Boden verfügbar (Abbildung 17). Diese liegen in Bereichen, in denen der Stickstoff stark auswaschungsgefährdet ist. Ursache war der geringe Stickstoffentzug der aufwachsenden Pflanzen während der gesamten Vegetationsperiode im Jahr 2012 und die noch warme Witterung bei relativ günstigem Bodenwassergehalt bis 1,00 m Bodentiefe. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse sollte daher im Anlagejahr von *S. perfoliatum* kein Stickstoff (weder mineralisch noch in organischer Form) gedüngt werden.

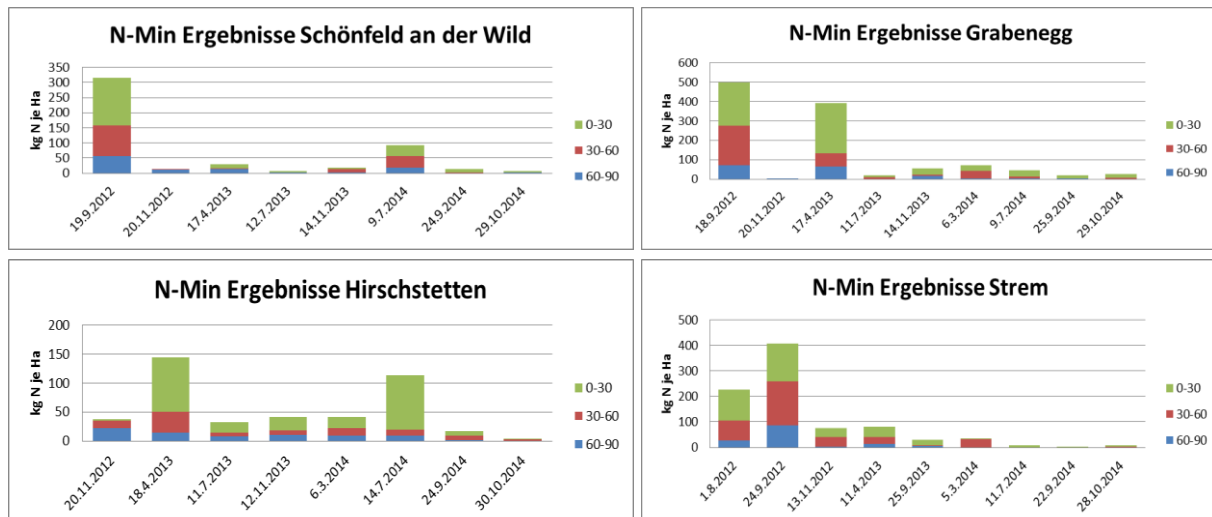


Abbildung 17: Ergebnisse der N_{min} Analysen bei *S. perfoliatum*

3.5.4 Beurteilung der Bodenerosion (inkl. der Wassererosionsgefährdung)

S. perfoliatum weist als perennierende Pflanze im Vergleich zu den annuellen Pflanzen (einjährig) einen großen Vorteil in der Bodenbearbeitung auf. Sie benötigt nur im Pflanzjahr (bzw. im Saatjahr) eine Bodenbearbeitung. Nachfolgend bleibt der Boden beinahe ganzjährig bedeckt. Die dicht wachsenden Blätter lassen Niederschläge erst ab einer Intensität von über 5 mm allmählich zum Boden durchdringen und bewirken mit der ganzjährig hohen Bodenrauigkeit, mit hohem Anteil an Makroporen (Grob- oder Bioporen) im Boden, eine hohe Regenverdaulichkeit. Dadurch kann eine Wassererosion durch Starkregenereignisse ausgeschlossen werden.

Auch eine Winderosion ist ausgeschlossen. Es gibt ganzjährig keinen offenen Boden, bei dem eine Verfrachtung von Feinerde möglich wäre. Während des Winters bedecken Ernterückständen den Boden. Eine höhere Menge an leicht und schwerer verrottbaren (= abbaubaren = mineralisierbaren) Bestandesabfällen (abgestorbene Blätter, grüne Blätter, dünne Triebe, Fruchtstände, verholzte Stängel = Stoppeln,...), wie sie bei *S. perfoliatum* anfallen (von Juli bis zur Ernte), gekoppelt mit der fehlenden Bodenbearbeitung, führt zu einer hohen biologischen Aktivität im Oberboden. In der Folge kommt es zur Bildung von wasserstabilen Aggregaten im Oberboden. Die Hochwertigkeit des Bodengefüges (= hohe Aggregatstabilität) in den *S. perfoliatum* Beständen wurde durch die Ergebnisse der mehrjährigen flächendeckenden Penetrometermessungen eindeutig bestätigt.

3.5.5 Blühphänologische Daten und Beflugzählungen

Die Blütenbesuchszählungen am Standort Hirschstetten 2013 (GREISTDORFER und WILDZEISS, 2013) und 2014 (COUTINHO-SZINOVATZ et al., 2014) ergaben bei *S. perfoliatum* einen Honigbienenbesuch zwischen 80% (2013) und 75% (2014). Diese hohen Werte wurden bei *Helianthus annuus* nur 2014 (79%) erreicht. Blüten von *Medicago sativa* wurden von Honigbienen deutlich weniger oft besucht (Abbildung 18).

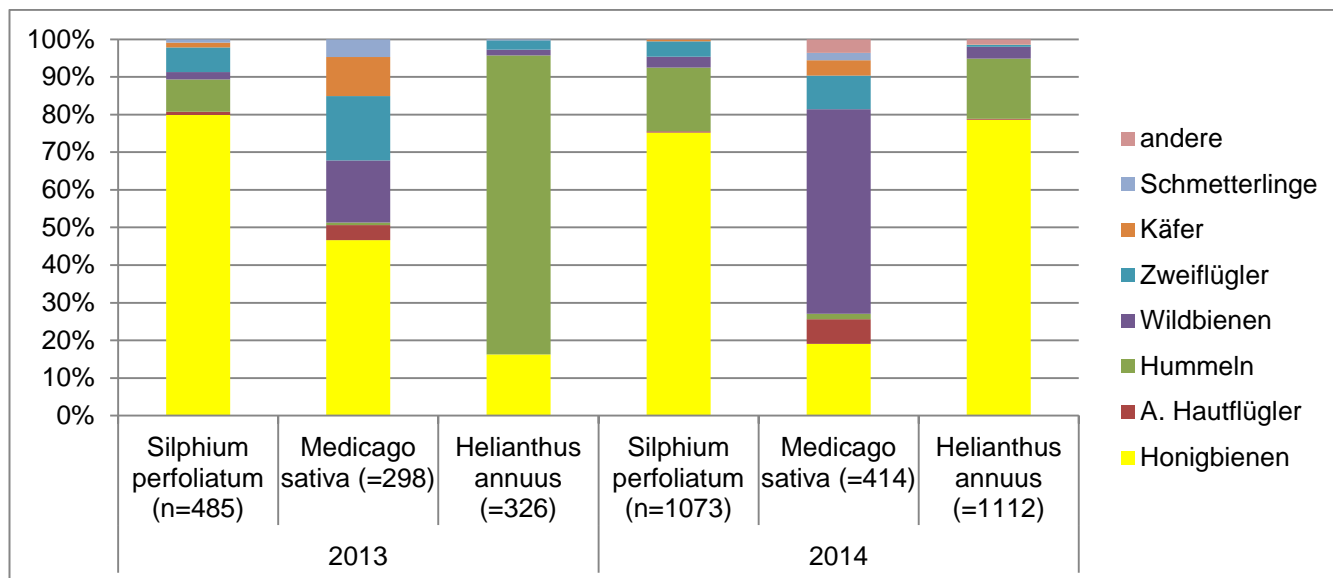


Abbildung 18: Beflug von *S. perfoliatum*, *Medicago sativa* und *Helianthus annuus* (2013/14)

3.6 Ökonomische Bewertung

In der Tabelle 13 ist der durchschnittliche jährliche **Deckungsbeitrag** (inkl. Düngerkosten, Bewertung der Leistung mit 100 € je t TM) für den Standort **Grabenegg** dargestellt. Der Mittelwert bzw. Erwartungswert für den Deckungsbeitrag aus der Simulation ist für alle *S. perfoliatum* Erntezeitvarianten gegenüber dem Mais deutlich geringer. Dies liegt vor allem an den hohen Bestandesbegründungskosten, die von den darauffolgenden neun Erntejahren getragen werden müssen. Die Kosten für die Bestandesbegründung müssten um ca. 50% geringer sein, um gegenüber dem Mais konkurrenzfähig zu sein.

Eine späte Ernte bei *S. perfoliatum* erzielt gegenüber einer frühen Ernte ein geringfügig besseres Ergebnis. Eine frühe Ernte ermöglicht allerdings noch eine zweite Ernte im Herbst. Der Erwartungswert für den zusätzlichen Deckungsbeitrag durch diese Ernte liegt allerdings nur im schwach positiven Bereich. Die Diagramme in der Tabelle stellen die Schwankungsbreiten der Deckungsbeiträge bei 10.000 Simulationen dar.

Tabelle 13: Deckungsbeiträge (inkl. Düngerkosten) aus der Simulation für den Standort Grabenegg

Kultur	Diagramm	Min.	Mittelwert	Max.	5%	95%
Silphium EV_Spät		-157	-66	14	-109	-26
Silphium EV_Früh		-230	-128	4	-177	-76
Silphium ZV - 2. Ernte		26	31	36	28	33
Mais		374	442	491	414	468

Die Ergebnisse unter der Annahme, dass die Düngerkosten nicht berücksichtigt werden, sind in der Tabelle 14 ersichtlich. Die Tendenz ist ähnlich, nur ist bei zweimaliger Ernte (EV_früh + ZV - 2. Ernte) der Erwartungswert in Summe etwas höher als bei der Einschnitt-Variante.

Tabelle 14: Deckungsbeiträge (ohne Düngerkosten) aus der Simulation für den Standort Grabenegg

Kultur	Diagramm	Min.	Mittelwert	Max.	5%	95%
Silphium EV_Spät		141	264	371	206	318
Silphium EV_Früh		54	191	366	124	259
Silphium ZV - 2. Ernte		107	114	122	111	118
Mais		980	1 095	1 176	1 047	1 138

Die Kennzahl **Kosten je m³ Methan** wurde einerseits ohne Kosten für die Bestandesbegründung von *S. perfoliatum* gerechnet und andererseits ist die geringere Methanausbeute bei der Vergärung von *S. perfoliatum* berücksichtigt. Diese Kennzahl soll Aussagen über die Konkurrenzfähigkeit einer bestehenden Anlage (Grenzkosten) zulassen. Es werden somit nur die variablen Kosten der Erntejahre simuliert. Die Tabelle 15 zeigt diesbezüglich die Ergebnisse (ohne Düngerkosten) für den Standort Grabenegg. Es zeigt deutlich, dass die variablen Kosten einer Einschnitt-Variante von *S. perfoliatum* unter denen von Mais liegen. Der späte Erntetermin weist geringfügig niedrigere Kosten als der frühe Erntetermin auf. Eine zweite Ernte nach dem frühen Erntetermin verursacht hingegen Kosten in dreifacher Höhe.

Tabelle 15: Kosten je m³ Methan aus der Simulation für den Standort Grabenegg

Kultur	Diagramm	Min.	Mittelwert	Max.	5%	95%
Silphium EV_Spät		0,100	0,104	0,111	0,102	0,107
Silphium EV_Früh		0,101	0,111	0,120	0,107	0,115
Silphium ZV - 2. Ernte		0,327	0,333	0,340	0,330	0,336
Mais		0,131	0,137	0,146	0,134	0,141

Am Standort **Schönfeld** sind die errechneten Differenzen im **Deckungsbeitrag** ohne Düngerkosten (Abbildung 19) um einiges geringer, bedingt durch die im Vergleich zum Standort Grabenegg niedrigeren Maiserträge. Auf diesem Standort erzielt die Ernte von *S. perfoliatum* im Juli wesentlich bessere Ergebnisse als die Ernte im September. In diesem Fall müssten die Bestandesbegründungskosten nur um rund 20% geringer sein, um mit Mais konkurrenzfähig zu sein. Die Simulation einer zweiten Ernte nach der Ernte im Juli lässt keine bzw. nur eine geringfügige Erhöhung des Deckungsbeitrages

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

erwarten. Die **Kosten je m³ Methan** liegen bei *S. perfoliatum* mit 8,6 bis 10,4 €Cent in ähnlicher Höhe wie beim Standort Grabenegg, bei Mais mit 15,2 bis 16,8 €Cent dagegen höher.

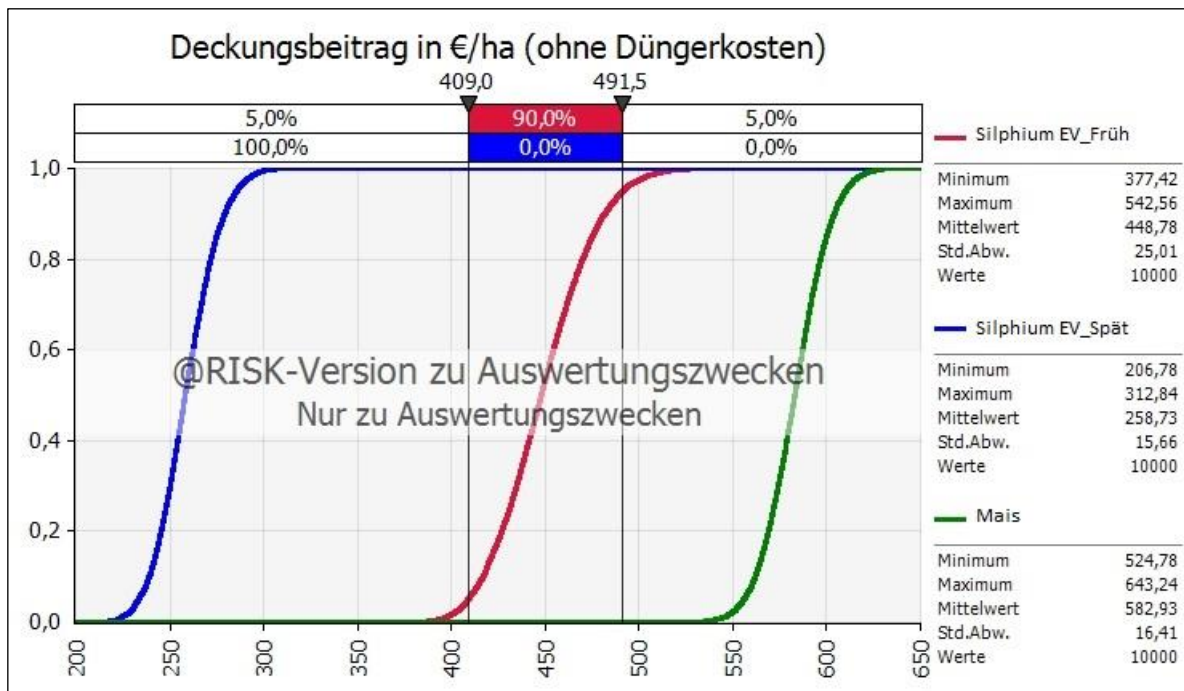


Abbildung 19: Verteilungsfunktion der Deckungsbeiträge von *S. perfoliatum* frühe Ernte, *S. perfoliatum* späte Ernte und Mais

4. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse des Projektes Bioenergy-*Silphium* zeigen auf, dass *S. perfoliatum* eine vielversprechende alternative Energiepflanze für die Biogaserzeugung ist. Die Pflanze erreicht auf guten Standorten annähernd das Biomasse- und Biogasertragspotential der dominierenden Energiepflanze Mais. Der Pflegeaufwand und die Produktionskosten reduzieren sich ab dem zweiten Vegetationsjahr auf die Düngung. Zusätzlich bringen *S. perfoliatum*-Beständen viele ökologische Vorzüge mit sich. Bei einer Weiterentwicklung der angeführten Optimierungsbereiche (siehe Ausblick) hat die Pflanze sehr gute Chancen, um zukünftig in der Biogasproduktion vermehrt genutzt zu werden.

Das Hemmnis der arbeits- und kostenintensiven Bestandesbegründung durch Pflanzung konnte mit der Entwicklung der Saattechnologie deutlich reduziert werden. Die Saatgutqualität wurde durch eine gezielte Aufbereitung des geernteten Saatgutes verbessert, der Feldaufgang und die Säbarkeit wurden durch Vorbehandlung und Pillierung gesteigert, sodass in Zukunft eine Saat mit einer herkömmlichen Sämaschine zur Erzielung zufriedenstellender Feldaufgänge möglich ist.

Eine Düngung im ersten Vegetationsjahr (Anlagejahr) ist nicht erforderlich, da die Jungpflanzen sehr langsam wachsen und Nährstoffe nur in geringem Ausmaß benötigen. Für optimale Bestände sind bis zu fünf mechanische Unkrautbekämpfungen erforderlich. Eine zweimalige händische Unkrautbekämpfung, wie sie am Praxisstandort Strem durchgeführt wurde, ist für eine optimale Entwicklung der Bestände zu wenig. Bei unzureichender Unkrautbekämpfung im Anlagejahr ist diese im darauffolgenden Frühjahr entsprechend zu wiederholen. Die Untersuchungen auf Pflanzenschädlinge und Pathogene ergaben 2012 am Versuchsstandort Schönfeld einen leichten Befall durch den Echten Mehltau. An allen vier Standorten wurde 2012 und 2013 ein Pilz aus der Gattung *Ascochyta* gefunden. Dabei liegt hier eine neue Spezies vor, welche nach der genauen Bestimmung den Namen *Ascochyta silphii* Bedlan sp. nov. erhielt. Aus heutiger Sicht sind keine wirtschaftlichen Schäden aufgrund von Pflanzenschädlingen und Pathogenen zu erwarten, da die Befallshäufigkeit sehr gering ist und durch die Ernte der Ganzpflanze das Inokulumpotential wesentlich reduziert wird. Deshalb beschränken sich, bei gelungener Unkrautbekämpfung im Anlagejahr, die weiteren Kulturführungsmaßnahmen nur mehr auf die Düngung. Die Biomasseerträge in den Ertragsjahren (ab dem zweitem Vegetationsjahr) waren standörtlich unterschiedlich und bewegten sich zwischen 7,88 und 24,94 t TM ha⁻¹ Jahr⁻¹. Die höchsten Biomasseerträge wurden auf den günstigen Standorten Grabenegg und Schönfeld gemessen. Die erhobenen Werte waren vergleichbar mit den ermittelten Maiserträgen am selben Standort. Hirschstetten und Strem erreichten standortbedingt geringere Biomasseerträge. Zurückzuführen ist das auf die vorherrschende ungenügende Wasserführung auf diesen Böden. Die auf diesen Standorten stark erhöhten Bodeneindringwiderstände in den oberen Bodenschichten (0 - 15 cm) im Frühjahr könnten einen zusätzlichen Einfluss auf den Ertrag genommen haben.

Auf Standorten mit hohen Biomasseerträgen (Grabenegg, Schönfeld) und bei der Wahl des optimalen Erntezeitpunktes reicht der Methanertrag pro Hektar an jenen des Mais heran. Eine Vorbehandlung des Erntegutes von *S. perfoliatum* zur Biogaserzeugung ist nicht sinnvoll, da dadurch weder die Abbaugeschwindigkeit noch das Methanpotential je kg oTS gesteigert werden kann. Die Verarbeitung zu Bioethanol wird, wegen der um 64% geringeren Ausbeute als bei Maisstroh, nicht empfohlen. Der hohe Aschegehalt von *S. perfoliatum* führt zu erhöhter Staubemission wodurch eine Entstaubung des anfallenden Rauchgases erforderlich wäre. Das Erntegut weist im Weiteren hohe bzw. relativ hohe Stickstoff-, Schwefel- und Chlorgehaltswerte auf, und wirkt sich nachteilig auf Brennraum und

Wärmetauscherflächen von Heizanlagen aus. Daher ist eine thermisch energetische Verwertung des Erntegutes abzulehnen.

Die Erntetechniken mit einem Feldhäcksler in einem Arbeitsschritt und des absätzigen Verfahrens (getrenntes Mähen, Aufbereiten und Schwaden sowie Abtransportieren) mit herkömmlichen Erntemaschinen sind problemlos möglich. Weder beim Silieren des Erntegutes, noch bei der Verarbeitung im Fermenter traten Probleme auf. Beim Befahren des Feldes mit schweren Maschinen konnten beim nachfolgenden Wiederaustrieb keine Schäden an den Pflanzen festgestellt werden.

Die Deckungsbeiträge von Mais sind derzeit höher als bei *S. perfoliatum*. Die Gründe dafür liegen in den hohen Kosten der Bestandesbegründung durch Pflanzung. Um mit Mais konkurrenzfähig sein zu können, müssen Kosten für die Bestandesbegründung um je nach Standort mehr als 50% reduziert werden. Mit der Bestandesbegründung durch Saat wird dieses Ziel weitgehend erreicht.

Besonders hervorzuheben sind die umweltrelevanten Vorzüge von *S. perfoliatum*-Beständen wie die deutlich geringe Erosionsgefahr in den Ertragsjahren, die Möglichkeit der Kultivierung ohne chemische Pflanzenschutzmittel, die rasche Aufnahme des Stickstoffes und der damit unterbundenen Auswaschung in Grund- und Oberflächenwässer, die Tendenz der CO₂-Bindung im Boden, die Erhöhung der Biodiversität infolge der zusätzlichen Alternativkultur sowie die Attraktivität der Blüten für Honigbienen über die lange Blühperiode von 2,5 Monaten.

5. Ausblick und Empfehlungen

Die Vorteile der Gewinnung an Biomasse durch *S. perfoliatum* sind im geringen Pflegebedarf in den Ertragsjahren und in den umweltrelevanten Vorzügen zu sehen. Die derzeit hohen Kosten der Bestandesbegründung durch Pflanzung können durch Saat gesenkt werden. Somit ist *S. perfoliatum* in Zukunft gegenüber den üblichen Energiepflanzen konkurrenzfähig.

Optimierungsmöglichkeiten sind noch in der Nährstoffversorgung und im Pflanzenschutz gegenüber Unkräutern möglich. Düngeversuche mit unterschiedlichen Düngemengen und Zeitpunkten zur Optimierung des Biomasseertragspotentials sind dafür notwendig. Eine geeignete, noch zu erforschende Pflanzenschutzstrategie (mechanisch, chemisch oder durch Untersaaten mit Mais, Getreide oder anderen Fruchtarten mit zusätzlichem Erlös) würde die Kosten weiter senken, und so den Anbau und damit die Energieversorgung mit nachwachsenden Rohstoffen fördern.

Die derzeitige Nutzungsdauer wurde aufgrund von Literaturrecherchen mit zehn Jahren angenommen. Ein Ausschöpfen des Biomasseertragspotentials über mehr als zehn Jahre hinaus würde die Kosten der Bestandesbegründung auf die Nutzungsjahre gerechnet verringern und die Konkurrenzfähigkeit nochmals steigern. Daher sind Ernteveruche weit über zehn Jahre hinaus von großem Interesse.

Der Biogasertrag ist abhängig vom TS-Gehalt des Erntegutes und somit vom Erntezeitpunkt und könnte durch die Wahl des optimalen Erntezeitpunktes noch gesteigert werden. Dazu sind weitere Ernteveruche mit unterschiedlichen Ernteterminen von Anfang Juni bis Mitte September notwendig. Neue, bisher noch nicht eingesetzte Technologien (z. B.: H₂-Injektion) zur Erhöhung des Biogaspotentials sollten untersucht werden.

Zusätzlich zur energetischen Nutzung sollten alternative Verwertungsstrategien der Biomasse hinsichtlich höherwertiger Produkte erforscht werden. Hierbei steht die Verfütterung an Nutztieren im Vordergrund. Zusätzliche wäre die Verfütterung an Tierarten mit speziellen Anforderungen wie z. B. an Ziervögel zu untersuchen. Alternative Verwendungsmöglichkeiten beispielsweise als Einstreu bei speziellen Tierarten (Pferden, u. a.) sollten ebenfalls untersucht werden.

Das inhomogene Erscheinungsbild der Pflanzen zeigt, dass bisher noch keine züchterische Selektion durchgeführt wurde. Eine Selektion einzelner Pflanzen nach ausgewählten Nutzungszielen unterschiedlicher Züchtungskriterien, wie z. B. größere Blütenköpfe zur Samennutzung oder homogene Bestände von *S. perfoliatum* zur Vermeidung unterschiedlicher Entwicklungsstadien sind erforderlich.

In Zukunft ist eine Ausweitung der Anbaufläche von *S. perfoliatum*, vor allem in Gebieten mit bestehenden Biogasanlagen, trotz der angespannten Lage am Biogassektor zu erwarten. Eine Anfrage bezüglich des Anbaues von *S. perfoliatum* im Bezirk Krems-Land ist bei uns bereits eingetroffen. In der Deutschen Imkerzeitung (ADIZ) ist ein Artikel mit dem Titel „Silphie vor dem Durchbruch“ (JANZING, 2016) publiziert, indem ein erfolgreiches Konzept zur Biogasnutzung von *S. perfoliatum* vorgestellt wird. Ähnliche Konzepte könnten auch in Österreich Erfolg haben.

6. Literaturverzeichnis

BEDLAN, G., 2014. *Ascochyta silphii* sp. nov. – A new *Ascochyta* species on *Silphium perfoliatum* – . Journal of Cultivated Plants. 66, 281-283.

CONRAD, M., BIERTÜMPFEL, A., VETTER, V., 2009. Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) - von der Futterpflanze zum Koferment. 281-289. In FNR (ed.), Gülzower Fachgespräche. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.

COUTINHO-SZINOFATZ, Z.K., JAUKE, E., TRIMMEL, P., 2014. Blütenbesucher auf Durchwachsener Silphie, Luzerne und Sonnenblume: Ein Vergleich. Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.

DÖHLER, H., ECKEL, H., FRÖBA, N., GREBE, S., GRUBE, J., HARTMANN, S., HAUPTMANN, A., HOR-LACHER, D., HORN, C., HOFMANN, M., HÄUßERMANN, U., MÖLLER, K., KLAGES, S., SAUER, N., NAKAZI, S., NIEBAUM, A., PATERSON, M., ROTH, U., SCHULTHEIß, U., STADELMANN, M., VANDRÉ, R., WIRTH, B., WITZEL, E., WULF, S., 2013. Faustzahlen Biogas, 3rd ed. KTBL, Darmstadt.

GANSBERGER, M., MONTGOMERY, L.F.R., LIEBHARD, P., 2015. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review. Industrial Crops and Products 63, 362-372.

GREISTORFER, S., WILDZEISS, S., 2013. Attraktivität von Durchwachsener Silphie, Luzerne und Sonnenblume für heimische Bestäuber. Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.

KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT), 2012. KTBL-Datensammlung: Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/13- Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft, 23. Auflage, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.

KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT), 2015a. Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. [URL: <http://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html;jsessionid=4C64C56D2621DEAAEE0DC108330E14AB>] (09.03.2015).

KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT), 2015b. MaKost Maschinenkosten und Reparaturkosten. [URL: <http://daten.ktbl.de/makost/startseite.do#start>] (09.03.2015).

KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT), 2015c. Verfahrensrechner Pflanze. [URL: <http://daten.ktbl.de/vrpflanze/prodverfahren/loadWirtschaftsart.action#auswahl>] (09.03.2015).

LFL (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT), s.a. LfL Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. [URL: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>] (09.03.2015).

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

MASCHINENRING KLAGENFURT, 2013. Agrarpreisliste 2013/2014. [URL: http://www.maschinenring.at/1/MR_KTN_6/141178/artikel/kaernten/mr_klagenfurt/141178.html] (13.03.2015).

ÖKL (ÖSTERREICHISCHES KURATORIUM FÜR LANDTECHNIK UND LANDENTWICKLUNG), 2014. ÖKL-Richtwerte. [URL: <http://oekl.at/richtwerte-online/>] (09.03.2015).

SCHOO, B., WITTICH, K.P., BÖTTCHER, U., KAGE, H., SCHITTENHELM, S., 2016. Drought Tolerance and Water Use Efficiency of Biogas Crops: A Comparison of Cup Plant, Maize and Lucerne Grass. Journal of Agronomy and Crop Science.

VON GEHREN, P., GANSBERGER, M., MAYR, J., LIEBHARD, P., 2016. The effect of sowing date and seed pre-treatments on establishment of the energy plant *Silphium perfoliatum* L. by sowing. Seed Science and Technology. 44, 1-10.

WENDLAND, M., DIEPOLDER, M., CAPRIEL, P., 2012. Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, 10. Auflage, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan.

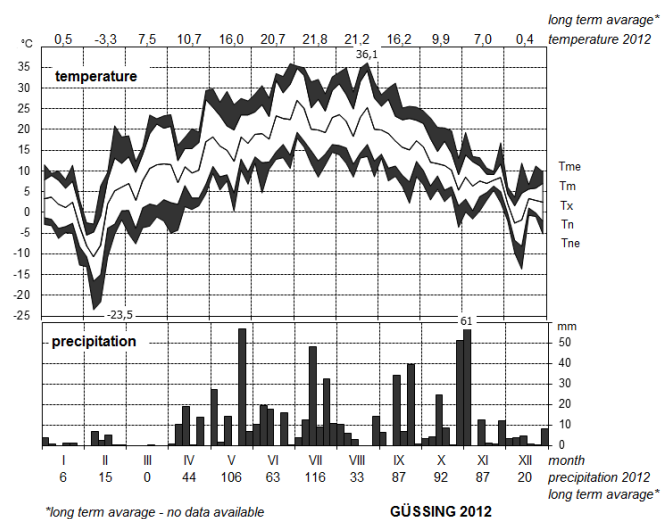
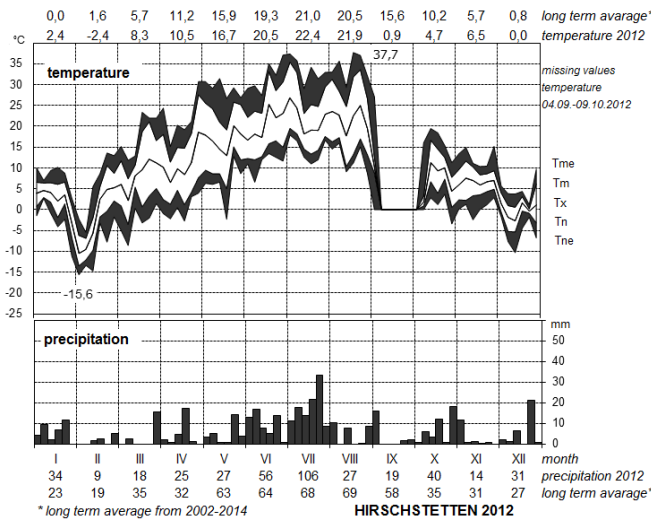
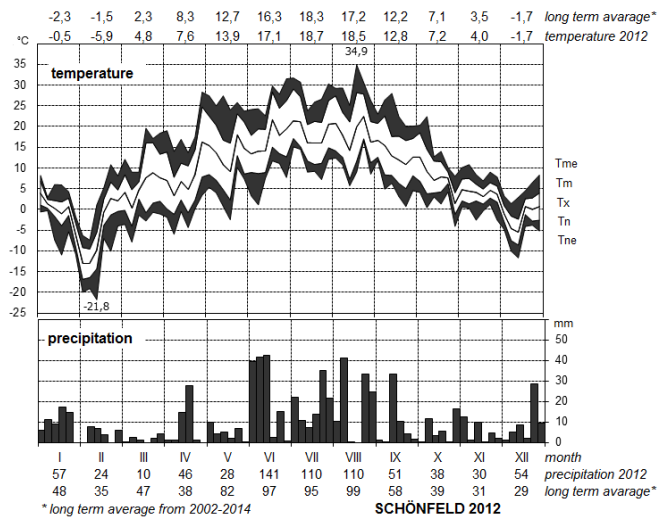
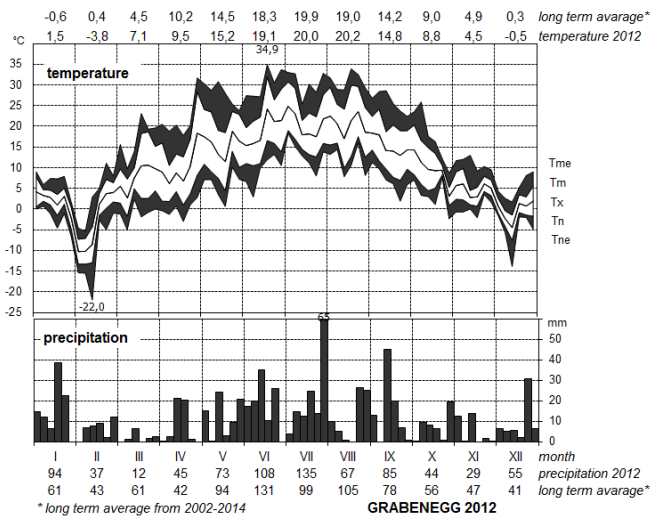
JANZING, B., 2016. Silphie vor dem Durchbruch. – Praktiker ebnen der bienenfreundlichen energiepflanze den Weg – . Allgemeine Deutsche Imkerzeitung, 06.2016, 14-15.

7. Anhang

7.1 Temperatur- und Niederschlagsgrafiken von 2012 bis 2015 der Versuchsstandorte

Die Daten von Grabenegg, Schönfeld, Güssing stammen von den AGES Wetterstationen. Für Strem wurden die Daten von der Wetterstation in Güssing genutzt, welche von der ZAMG zur Verfügung gestellt wurden.

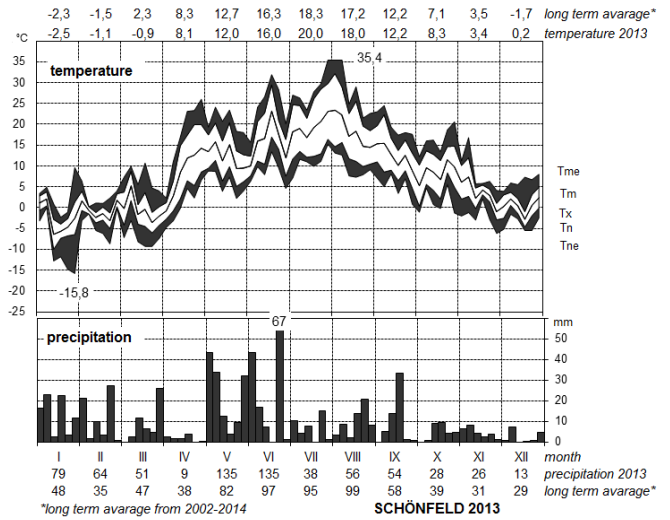
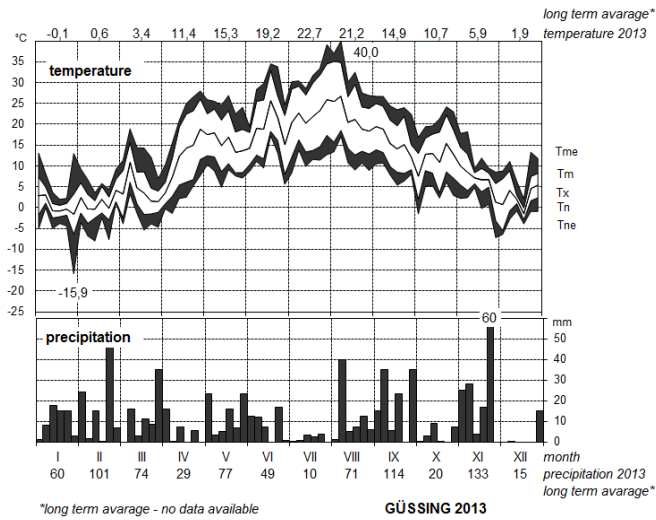
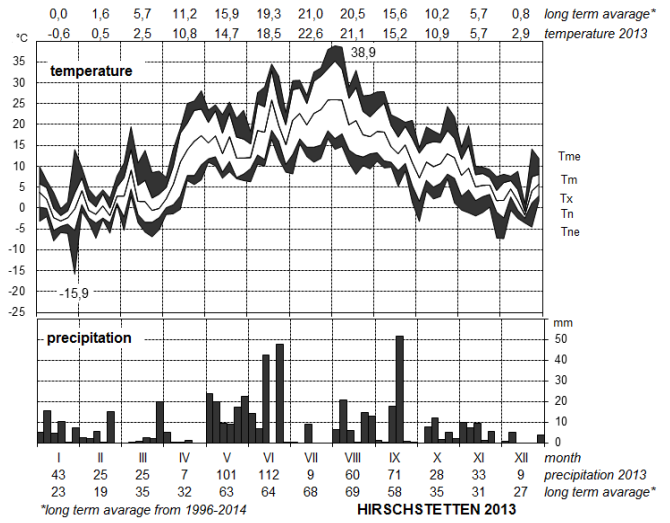
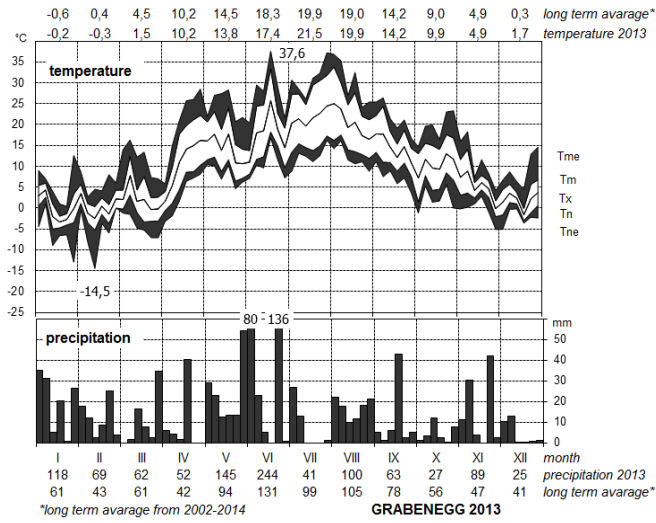
2012



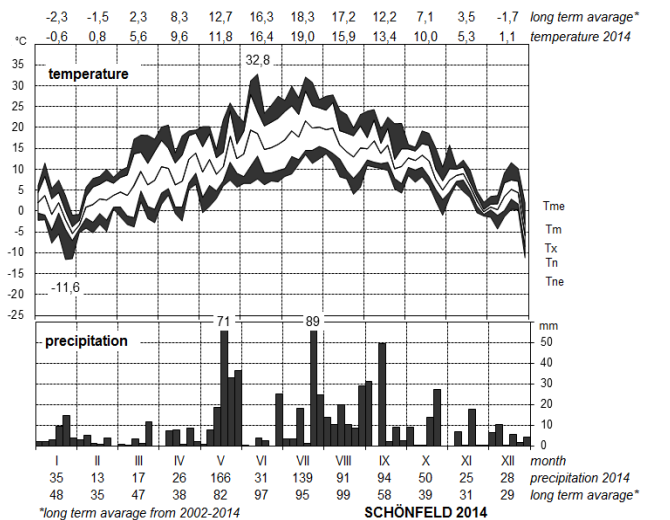
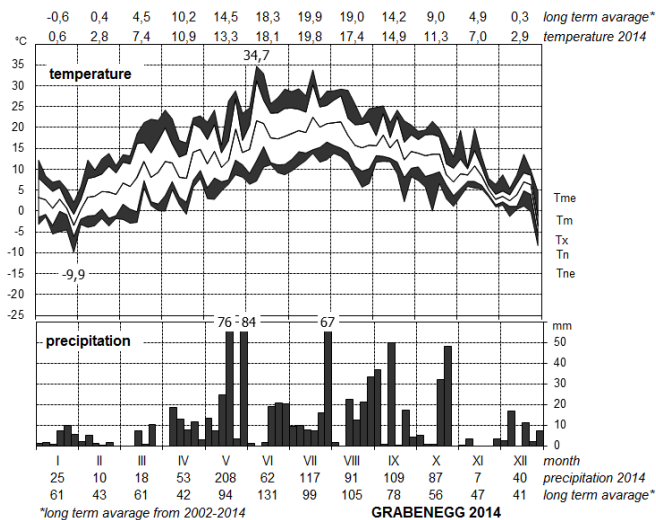
Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

2013

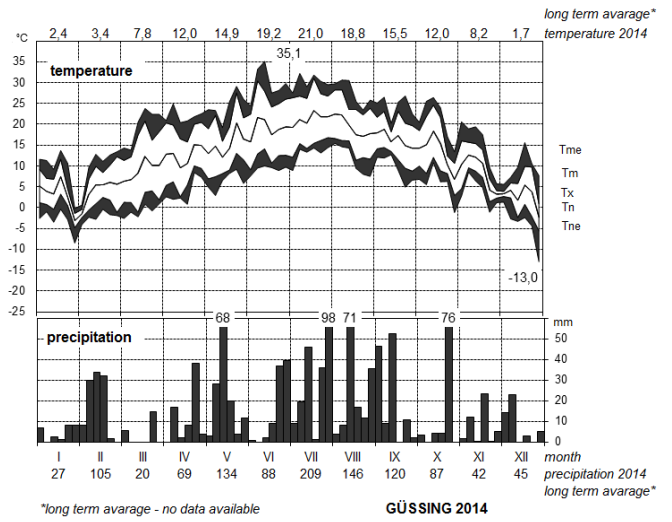
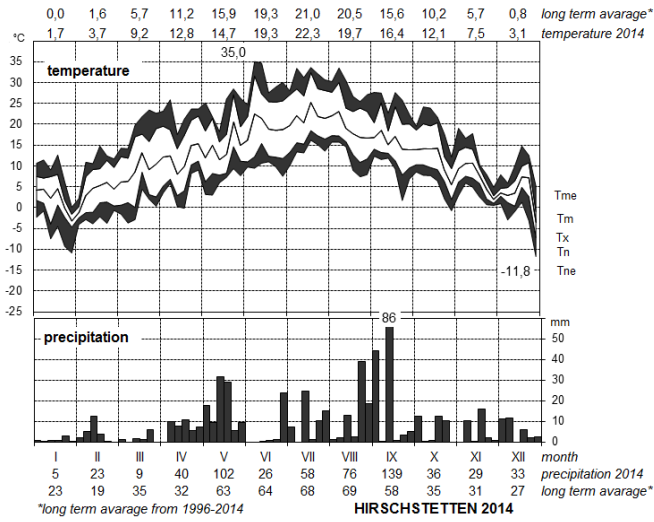


2014

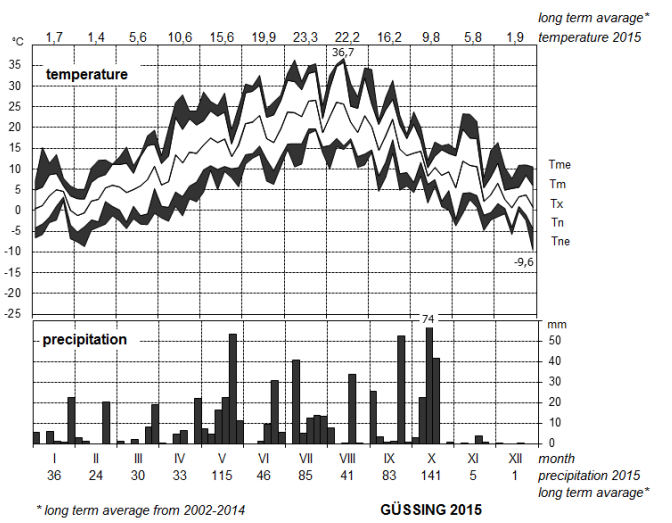
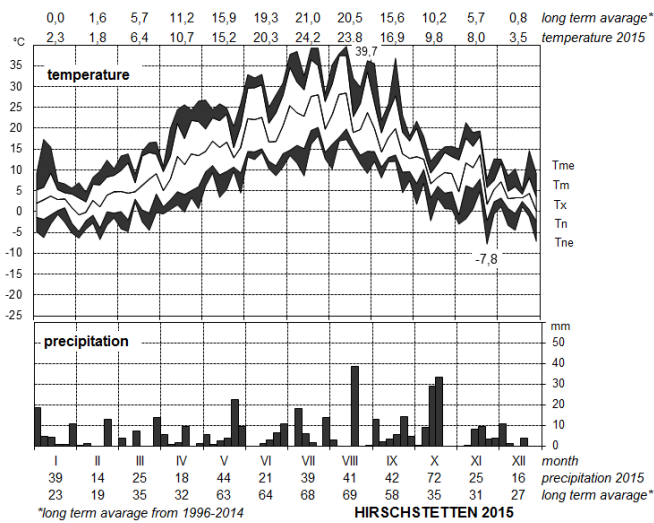
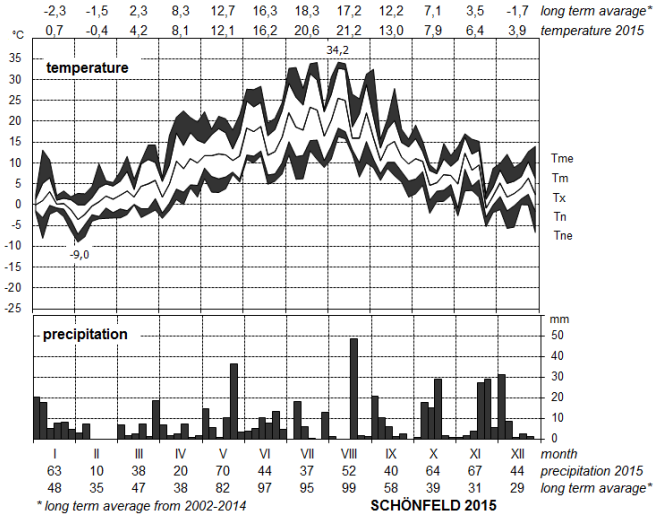
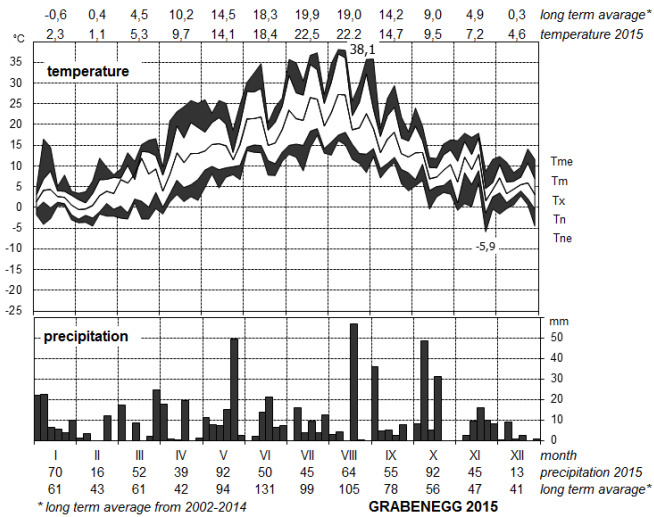


Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



2015



7.2 Ergänzende Tabellen

Tabelle 16: Ausgewählte bodenchemische Kennzahlen (a) (*nicht plausibel erklärbarer Wert)

Standort	Bodentiefe	Probenahme	pH-Wert [CaCl ₂ - MW]	pH-Wert [im Acetat]	CaCO ₃ [%]	Elektr. Leitf.	Gesamt-N [%]	P205 und K20 nach CAL [mg kg ⁻¹]		nach Schacht- schabl [mg kg ⁻¹]
								P	K	Mg
Grabenegg	0-25 cm	Sept. 2012	5,98	0	0	92	0,158	69	127	197
		Sept. 2014	6,85	0	0,1	67	0,186	101	114	244
	25-50 cm	Sept. 2012	5,93	0	0	77	0,143	67	105	194
		Sept. 2014	7,16	0	0,5	69	0,108	56	68	218
Schönfeld	0-25 cm	Sept. 2012	4,72	6,40	0	102	0,121	91	102	72
		Sept. 2014	4,96	6,32	0	1053	0,126	108	141	86
	25-50 cm	Sept. 2012	4,80	6,40	0	74	0,111	79	102	72
		Sept. 2014	4,67	6,33	0	592	0,099	70	55	71
Hirschstetten	0-25 cm	Sept. 2012	6,27	6,42	3,9	82	0,132	58	114	173
		Sept. 2014	7,44	0	22	148	0,187	38	197	229
	25-50 cm	Sept. 2012	6,33	6,40	0,1	79	0,135	59	102	198
		Sept. 2014	7,51	0	19,9	146	0,164	21	81	220
Strem	0-25 cm	Sept. 2012	4,67	6,32	0	26	0,038	2	41	58
		Sept. 2014	5,58	0	0	61	0,135	14	57	303
	25-50 cm	Sept. 2012	7,52	6,55	22	148	0,187	108*	250	379
		Sept. 2014	6,51	0	1	55	0,088	2	41	379

Tabelle 17: Ausgewählte Elemente der Bodenuntersuchungen (b)

Standort	Bodentiefe	Probenahme	Elemente [mg kg ⁻¹ in Königswasser]							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	Co	Mo
Grabenegg	0-25 cm	Sept. 2012	30,5	61,4	33,3	30,2	16,4	0,4	9,8	0,6
		Sept. 2014	20,1	59,4	33,9	30,0	18,0	0,5	9,4	0,5
	25-50 cm	Sept. 2012	40,3	66,3	36,1	32,4	18,2	0,4	10,2	0,7
		Sept. 2014	19,2	55,6	30,9	30,9	14,4	0,4	9,6	0,6
Schönfeld	0-25 cm	Sept. 2012	15,3	55,8	28,7	15,1	27,8	0,3	7,8	0,3
		Sept. 2014	11,3	53,7	29,3	15,0	22,9	0,3	8,6	0,3
	25-50 cm	Sept. 2012	18,1	55,6	28,1	15,0	21,3	0,3	7,5	0,3
		Sept. 2014	11,2	54,4	28,6	15,2	31,3	0,2	7,7	0,3
Hirschstetten	0-25 cm	Sept. 2012	19,3	54,3	32,4	24,6	18,0	0,3	9,1	0,4
		Sept. 2014	22,6	48,0	30,8	26,2	13,7	0,3	7,5	0,2
	25-50 cm	Sept. 2012	19,6	54,1	32,0	26,5	16,8	0,3	8,9	0,3
		Sept. 2014	23,2	48,1	32,5	27,7	20,2	0,3	7,7	0,2
Strem	0-25 cm	Sept. 2012	9,7	45,1	27,8	15,0	12,0	0,1	7,5	0,2
		Sept. 2014	15,4	49,6	40,4	23,6	21,2	0,2	14,1	0,3
	25-50 cm	Sept. 2012	40,3	66,3	42,0	33,2	31,3	0,5	14,1	0,7
		Sept. 2014	16,0	48,4	42,0	24,9	18,1	0,2	13,7	0,2

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 18: Ausgewählte Elemente der Bodenuntersuchungen (c)

Standort	Bodentiefe	Probenahme	Elemente [mg kg ⁻¹] EDTA Spuren			
			Cu	Zn	Mn	Fe
Grabenegg	0-25 cm	Sept. 2012	1,4	4,4	93	231
		Sept. 2014	1,1	5,1	136	267
	25-50 cm	Sept. 2012	1,3	3,8	187	302
		Sept. 2014	1,0	5,0	123	265
Schönfeld	0-25 cm	Sept. 2012	0,8	7,7	153	299
		Sept. 2014	0,9	7,3	133	239
	25-50 cm	Sept. 2012	1	2,9	128	229
		Sept. 2014	0,9	3,9	93	223
Hirschstetten	0-25 cm	Sept. 2012	1,5	5,3	122	296
		Sept. 2014	1,3	6,6	118	235
	25-50 cm	Sept. 2012	1,2	5,1	124	266
		Sept. 2014	1,2	4,9	125	245
Strem	0-25 cm	Sept. 2012	0,8	2,3	79	196
		Sept. 2014	5,7	8,5	79	581
	25-50 cm	Sept. 2012	5,7	7,3	78	633
		Sept. 2014	3,7	5,2	118	633

Tabelle 19: Ausgewählte Elemente der Bodenuntersuchungen (d)

Standort	Bodentiefe	Probenahme	Elemente in [cmolc kg ⁻¹ % effektive Austauschkapazität]								Austauschkapazität
			Ca	Mg	Al	Fe	Mn	H-Wert	K	Na	
Grabenegg	0-25 cm	Sept. 2012	13,6	2,36	0,04	0	0,20	0,002	0,46	0,06	16,73
		Sept. 2014	18,2	3,38	0	0	0,01	0,002	0,41	0,05	22,05
	25-50 cm	Sept. 2012	14,8	246	0,03	0	0,17	0,002	0,41	0,07	17,94
		Sept. 2014	18,4	2,93	0	0	0	0,002	0,25	0,05	21,63
Schönfeld	0-25 cm	Sept. 2012	5,37	0,74	0,63	0,02	0,32	0,078	0,39	0,03	7,57
		Sept. 2014	4,98	0,92	0,5	0	0,14	0,073	0,51	0,03	7,15
	25-50 cm	Sept. 2012	5,14	0,69	0,46	0	0,23	0,073	0,36	0,02	6,98
		Sept. 2014	5,57	0,76	0,57	0	0,09	0,084	0,23	0,03	7,34
Strem	0-25 cm	Sept. 2012	4,74	0,67	0	0	0	0,002	0,17	0,02	6,13
		Sept. 2014	10,9	3,64	0,02	0	0,2	0,002	0,23	0,04	15,03
	25-50 cm	Sept. 2012	27,2	4,94	0,63	0,2	0,32	0,084	0,87	0,12	31,12
		Sept. 2014	13,0	4,94	0,01	0	0,04	0,002	0,17	0,09	18,25
Hirschstetten	0-25 cm	Sept. 2012	14,3	2,29	0,12	0	0,08	0,016	0,41	0,05	17,28
		Sept. 2014	24,2	3,28	0,01	0	0	0,002	0,68	0,10	28,27
	25-50 cm	Sept. 2012	14,2	2,82	0,01	0	0,04	0,002	0,37	0,04	18,1
		Sept. 2014	27,2	3,46	0,01	0	0	0,002	0,32	0,12	31,12

7.3 Publikationen im Zuge des Forschungsprojektes:

Tabelle 20: Übersicht Publikationen

Art der Publikation	Anzahl
Peer Review Publikationen	4
Dissertation	1
Masterarbeit	1
Beiträge in Konferenz- und Tagungsbänden	12
Vorträge	16
Poster-Präsentationen	16
Populärwissenschaftliche Beiträge / Beiträge in Fachzeitschriften	4
Homepagebeiträge	4
Pressemeldungen	11
Social Media	9

Peer Review Publikationen:

2016

- GANSBERGER, M. 2016. Seed morphology, germination process, seed processing and assessment of the viability of *Silphium perfoliatum* L. seeds. Journal of Cultivated Plants. (accepted).
- VON GEHREN, P., GANSBERGER, M., MAYR, J., LIEBHARD, P., 2016. The effect of sowing date and seed pre-treatments on establishment of the energy plant *Silphium perfoliatum* L. by sowing. Seed Science and Technology. 44 (2), 1-10.

2015

- GANSBERGER, M., MONTGOMERY, LFR., LIEBHARD, P., 2015. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review. Ind. Crops Prod. 63, 362–372, <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.047>.

2014

- BEDLAN, G. 2014. *Ascochyta silphii* sp. nov. – a new *Ascochyta* species on *Silphium perfoliatum*. Journal of Cultivated Plants. 66 (8), 281-283.

Masterarbeiten und Dissertationen

2016

- GANSBERGER, M., 2016. *Silphium perfoliatum* L. – Crop establishment and Potential as a Renewable Resource for Biogas Production. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien.

2015

- VON GEHREN, P., 2015. Erarbeitung von Aussaatstrategien und Einflussfaktoren auf den Feldaufgang unter Praxisbedingungen von *Silphium perfoliatum* L. (Durchwachsene Silphie), Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

Beiträge in Konferenz- und Tagungsbänden

2016

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Mayr J., GANSBERGER, M., VON GEHREN, P., MONTGOMERY, L., LIEBHARD, P., HÖSCH, J. 2016. *Silphium perfoliatum* L. (Durchwachsene Silphie): Saatgutentwicklung, Biomasseproduktion, Biogaserträge sowie ökologische Aspekte. ; 84-86; 30/Mai/2016; Klagenfurt; 71. ALVA-Tagung; ISSN: 1606-612X.

2015

- MAYR, J., VON GEHREN, P., GANSBERGER, M., HÖSCH, J., LIEBHARD, P., MONTGOMERY, L., PACHINGER, B., GAUTAM, I., 2015. The potential of the energy crop *Silphium perfoliatum* L. In: Papers of the 23rd European Biomass Conference. Vienna. 01.-04.06.2015. 1831-1834.
- MONTGOMERY, L., KAMARAD, L., GANSBERGER, M., MAYR, J., BOCHMANN, G., LIEBHARD, P. 2015. Biogas production from the alternative crop *Silphium perfoliatum* L. In: Papers of the 23rd European Biomass Conference. Vienna. 01.-04.06.2015. 616-618.
- MAYR, J., GANSBERGER, M., HÖSCH, J., MONTGOMERY, L., LIEBHARD, P., PACHINGER, B. 2015. *Silphium perfoliatum* L. als alternative Energiepflanze in Österreich; 139-141; 2/Juni/2015; Steiermarkhof; 70. ALVA-Tagung; ISSN: 1606-612X.
- GANSBERGER, M., WEINHAPPEL, M., VON GEHREN, P., RATZENBÖCK, A., LIEBHARD, P., MAYR, J., 2015. Seed germination of *Silphium perfoliatum* L. and *Sida hermaphrodita* L., and technological measures for its improvement. In: Zukünftiges Saatgut – Produktion, Vermarktung, Nutzung und Konservierung (Future Seed – production, marketing, use and conservation). Presented at the 65. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2014. ISBN: 978-3-902849-22-9. 21.
- VON GEHREN, P., GANSBERGER, M., WEINHAPPEL, M., LIEBHARD, P., RATZENBÖCK, A., MAYR, J., 2015. Establishment of *Silphium perfoliatum* L. by sowing. In: Zukünftiges Saatgut – Produktion, Vermarktung, Nutzung und Konservierung (Future Seed – production, marketing, use and conservation). Presented at the 65. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2014. ISBN: 978-3-902849-22-9. 23.
- MAYR, J., MORAWETZ, L., PACHINGER, B., MOOSBECKHOFER, R., GANSBERGER, M., RIBARITS A. 2015. *Silphium perfoliatum* L. – A flowering energy crop (*Silphium perfoliatum* L. – Eine blühende Energiepflanze). 62. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung e.V. 24.-26.03.2015. 59.

2014

- GANSBERGER, M., LIEBHARD, P., VON GEHREN, P., WEINHAPPEL, M., Mayr, J., 2014. Bestandesetablierung von *Silphium perfoliatum* L. – Saat versus Pflanzung. In: Technik in der Pflanzenproduktion, Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. Presented at the Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., Liddy Halm, Wien, 184–185.
- DEIM, FS., LIEBHARD, P., 2014. *Silphium perfoliatum* - Herausforderungen und Potential für Österreich. In: ALVA (Ed.), Angewandte Forschung – Gibt es neue Wege?, ALVA-Jahrestagung. Presented at the 69. ALVA-Tagung, ALVA, Wieselburg-Land, 57–59.
- GANSBERGER, M., WEINHAPPEL, M., RATZENBÖCK, A., MAYR, J., LIEBHARD, P., 2014. Keimverhalten und Jungpflanzenentwicklung von *Silphium perfoliatum* L. (Durchwachsene Silphie). In: ALVA (Ed.), Angewandte Forschung – Gibt es neue Wege?, ALVA-Jahrestagung. Presented at the 69. ALVA-Tagung, ALVA, Wieselburg-Land, 60–62.
- MAYR, J., GANSBERGER, M., LIEBHARD, P., 2014. First results of the research project “Increasing biomass production by *Silphium perfoliatum* L. for energy recovery in Austria”. In: Tagungsband / Proceedings. Presented at the 4. Mitteleuropäische Biomassekonferenz, Österreichischer Biomasse-Verband, Graz, 217.

2013

- MAYR, J., GANSBERGER, M., LEONHARDT, C., MOOSBECKHOFER, R., LIEBHARD, P., 2013. Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) eine neue Energiepflanze in Österreich. In: ALVA (Ed.), Pflanzenschutz Als Beitrag Zur Ernährungssicherung, ALVA-Jahrestagung. Presented at the 68. ALVA-Tagung, ALVA, Klosterneuburg, 150–152.

Vorträge

2016

- MAYR, J., 2016. Biomasse und Bienenweide. Abschlussbericht Projekt BIOENERGY-SILPHIUM, Zwischenbericht Projekt SIDecA. Österreichischer Erwerbsimkerbund – Fachtagung (OEIB), Graz: 20.02.2016.
- MAYR, J. 2016. *Silphium perfoliatum* L. (Durchwachsene Silphie): Saatgutentwicklung, Biomasseproduktion, Biogaserträge sowie ökologische Aspekte; 30/Mai/2016; Klagenfurt; 71. ALVA-Tagung.
- MAYR, J. 2016. Das Projekt Bioenergy-Silphium; 15/MÄR/2016; Linz; AGES Landwirtschaftsforum.
- MAYR, J. 2016. Das Projekt Bioenergy-Silphium; 10/MÄR/2016; Wien; AGES Landwirtschaftsforum.
- VON GEHREN, P. 2016. Potential of non-domesticated perennial energy crops in Central Europe: *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum*. 18/MAI/2016. Vienna, Austria; Meeting of the Heads of the EU and the EFTA/EEA Certifying Agencies for Seed (ESCAA).

2015

- MAYR J., GANSBERGER, M., HÖSCH, J., MONTGOMERY, L., LIEBHARD, L., PACHINGER, B. 2015. *Silphium perfoliatum* L. als alternative Energiepflanze in Österreich. 02.06.2015; Steiermarkhof. 70. ALVA-Tagung.
- MAYR, J., 2015. „Biomasse und Bienenweide aus *Silphium* - Ergebnisse des Projekts Bioenergy-Silphium“, Österreichischer Erwerbsimkerbund – Fachtagung (OEIB), Graz: 22.02.2015.

2014

- MAYR, J., 2014. Biomasseproduktion durch *Silphium perfoliatum* L. zur energetischen Verwertung. Science Brunch – pascal² Biogas 2.0, Wien: 11.12.2014.
- MONTGOMERY, LFR., 2014. Biogas from *Silphium perfoliatum* L. Biogas Science 2014, Wien: 26.-30.10.2014.
- GANSBERGER, M., 2014. Keimfähigkeitsbeeinflussende Faktoren und saatguttechnologischer Maßnahmen bei *Silphium perfoliatum* L. & *Sida hermaphrodita* L. 65. Pflanzenzüchertagung, Irnding/Gumpenstein: 24.-26.11.2014.
- GANSBERGER, M., 2014. Keimverhalten und Jungpflanzenentwicklung von *Silphium perfoliatum* L. (Durchwachsene Silphie). ALVA - Jahrestagung 2014, Wieselburg-Land: 19.-20.05.2014.
- MAYR, J., 2014. Erste Ergebnisse des Forschungsprojekts „Erhöhung der Biomasseproduktion durch *Silphium perfoliatum* L. zur energetischen Verwertung in Österreich“ Bienenschutzkonferenz Meet the Bees, Wien: 03.-04.04.2014.
- Bedlan, G.: Zwei neue Ascochyta-Arten, an Silphie und Soja, 55. Öst. Pflanzenschutztag, Seggau, 26.11.2014.

2013

- MAYR, J., 2013. "Bioenergy-Silphium" - ein Projekt für Landwirte und Biene. Österreichischer Erwerbsimkerbund – Fachtagung (OEIB), Graz: 23.02.2013.
- MAYR, J., 2013. Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) eine neue Energiepflanze in Österreich. 68. ALVA-Tagung, Klosterneuburg: 23.05.2013.
- MAYR, J., 2013. Bioenergy-Silphium - ein Projekt für Landwirte und Bienen. Wanderlehrerfortbildungstagung 2013, Linz: 17.08.2013.

Poster

2016

- Gansberger, M., LIEBHARD, L., WEINHAPPEL, M., RATZENBÖCK, A., STÜGER, H.P., MODER, K., Mayr, J. 2016. Dormancy and germination of *Silphium perfoliatum* L. seeds.; Poster; Durchwachsene Silphie: Eine Energiepflanze der Zukunft? - Perspektiven von der Pflanze bis zur Landschaft; 09/MAI - 10/MAI/2016; Thünen-Institut, Braunschweig, Deutschland.
- Mayr, J., Von Gehren, P., Gansberger, M., Hösch, J., Montgomery, L.F. 2016. The potential of the energy crop *Silphium perfoliatum* L.; Poster; Durchwachsene Silphie: Eine Energiepflanze der Zukunft? -

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Perspektiven von der Pflanze bis zur Landschaft; 09/MAI - 10/MAI/2016; Thünen-Institut, Braunschweig, Deutschland.

- Mayr, J., Von Gehren, P., Gansberger, M., Pachinger, B. 2016. Blütenbesucher auf *Silphium perfoliatum* L. am Standort Hirschstetten (Wien); Poster; Durchwachsene Silphie: Eine Energiepflanze der Zukunft? - Perspektiven von der Pflanze bis zur Landschaft; 09/MAI - 10/MAI/2016; Thünen-Institut, Braunschweig, Deutschland.
- Mayr, J., Von Gehren, P., Gansberger, M., 2016. Projekt "Bioenergy-Silphium"; Poster; Durchwachsene Silphie: Eine Energiepflanze der Zukunft? - Perspektiven von der Pflanze bis zur Landschaft; 09/MAI - 10/MAI/2016; Thünen-Institut, Braunschweig, Deutschland.
- Von Gehren, P., Gansberger, M., Mayr, J. 2016. Sowing date and seed pre-treatment influence the stand establishment of *Silphium perfoliatum* L. by sowing; Poster; Durchwachsene Silphie: Eine Energiepflanze der Zukunft? - Perspektiven von der Pflanze bis zur Landschaft; 09/MAI - 10/MAI/2016; Thünen-Institut, Braunschweig, Deutschland.

2015

- MAYR, J., VON GEHREN, P., GANSBERGER, M., HÖSCH, H, LIEBHARD, P., PACHINGER, B., MONTGOMERY, L., GAUTAM, I. 2015. *Silphium perfoliatum* L. – Its potential as an energy crop. EUBCE 2015 – 23rd European Biomass Conference and Exhibition, Vienna/Austria, 01.-04.06.2015.
- Gansberger, M., Mayr, J. 2015. Das Projekt: Bioenergy-*Silphium*. Biomassekonferenz. Wieselburg. 29.01.2015.
- Mayr, J., Morawetz, L., Pachinger, B., Gansberger, M., Ribarits, A., Mossbeckhofer, R. 2015. *Silphium perfoliatum* L. – Eine blühende Energiepflanze. 62. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung e.V. Münster/Deutschland. 24.-26.03.2015.

2014

- VON GEHREN, P., GANSBERGER, M., WEINHAPPEL, M., LIEBHARD, P., RATZENBÖCK, A., MAYR, J., 2014. Bestandesetablierung der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) durch Aussaat. 65. Pflanzenzüchtertagung, Irnding/Gumpenstein. 24.-26.11.2014.
- GANSBERGER, M., LIEBHARD, P., VON GEHREN, P., WEINHAPPEL, A., Mayr, J., 2014. Bestandesetablierung von *Silphium perfoliatum* L. – Saat versus Pflanzung. 57. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V., Wien. 16.-18.09.2014.
- Mayr, J., 2014. Projekt: „Bioenergy-*Silphium*“. AGES forscht! Bioenergie(pflanzen) für Österreich, Ruprechtshofen. 11.09.2014.
- VON GEHREN, P., GANSBERGER, M., LIEBHARD, P., WEINHAPPEL, M., Mayr, J., 2014. Bestandesetablierung von *Silphium perfoliatum* L. – Saat versus Pflanzung. AGES forscht! Bioenergie(pflanzen) für Österreich, Ruprechtshofen. 11.09.2014.
- LIEBHARD, P., DEIM, F., Mayr, J., 2014. Ertragspotential von *Silphium perfoliatum* L. und *Sida hermaphrodita* L. für die kaskadische Nutzung. AGES forscht! Bioenergie(pflanzen) für Österreich, Ruprechtshofen. 11.09.2014.
- MONTGOMERY, LFR., KAMARAD, L., Miller, L., Bochmann, G., 2014. Biogas und Biomethan aus *Silphium perfoliatum* L.. AGES forscht! Bioenergie(pflanzen) für Österreich, Ruprechtshofen. 11.09.2014.
- MAYR, J., GANSBERGER, M., LIEBHARD, P., 2014. Erste Ergebnisse des Forschungsprojekts "Bioenergy-*Silphium*". 4. Mitteleuropäische Biomassekonferenz, Graz. 15.-18.01.2014.

2013

- MAYR, J., MOOSBECKHOFER, R., GANSBERGER, M., DERAKHSHIFAR, I., KÖGLBERGER, H., RIBARITS, A., ETTER, K., 2013. Projekt "Bioenergy-*Silphium*". 60. Tagung der Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung, Würzburg/Deutschland. 19.-21.03.2013.

Populärwissenschaftliche Beiträge / Beiträge in Fachzeitschriften

2015

- GANSBERGER, M., MAYR, J., MONTGOMERY, LFR., VON GEHREN, P., LIEBHARD, P. 2015. Eine „Low Input-Kultur“ vom Anbau bis zum Biogas. Der Pflanzenarzt – 68. Jahrgang, 11-12/2015, 15-17.

2014

- MAYR, J., 2014. Biomasseproduktion durch *Silphium perfoliatum* L. zur energetischen Verwertung. Klima- und Energiefonds, Booklet zum Science Brunch – pascal² Biogas 2.0, Wien. 12/2014. 4-9.

2013

- MAYR, J., MOOSBECKHOFER, R., GANSBERGER, M., LIEBHARD, P., 2013. "Bioenergy-Silphium" - ein Projekt für Landwirte und Bienen. Bienen aktuell 7 (2) 13-15.
- MAYR, J., MOOSBECKHOFER, R., GANSBERGER, M., LIEBHARD, P., 2013. Alternative Energiepflanze: Die Durchwachsene Silphie. Der fortschrittliche Landwirt, Nr. 6 (3), 74-75.

Homepagebeiträge:

2015

- Präsentation des Projektes sowie von Aktivitäten auf der AGES Homepage [URL: <http://www.ages.at/themen/landwirtschaft/saat-und-pflanzgut/forschung/projekt-bioenergy-silphium/>] (11.01.2015).

2014

- AGES, 2014. AGES forscht! - BioEnergie(pflanzen) für Österreich. [URL: <http://www.ages.at/ages/presse/pressemeldungen/ages-forscht-bioenergiepflanzen-fuer-oesterreich/>] (11.09.2014).

2013

- BIOGAS RESEARCH & CONSULTING GROUP IFA TULLN, 2013. Bioenergy-Silphium. [URL: <http://www.codigestion.com/index.php?id=753&L=1#c1833>] (13.09.2013).

2012

- AGES, 2012. Das Projekt "Bioenergy-Silphium" (Erhöhung der Biomasseproduktion durch *Silphium perfoliatum* L. zur energetischen Verwertung in Österreich). [URL: <http://www.ages.at/landwirtschaft/landwirtschaftliche-sachgebiete/saat-und-pflanzgut/projekte-und-studien/bioenergy-silphium/>] (13.12.2012).

Pressemeldungen

Zeitungen und Zeitschriften

- N.N., 2014. Ernährungszukunft in Grabenegg gezeigt. Bezirksblatt Niederösterreich/Melk. 24.09.2014. S.12.
- STRNADL, S., 2014. Wuchernde Energiequellen: Pflanzen zum Anzapfen. Der Standard, Forschung Spezial, 17.09.2014. S. 20.
- STRNADL, S., 2013. Antike Wunderblume und Bienentrost. Der Standard, Forschung Spezial, 22.05.2013.

Online

- N.N., 2014. Exkursion ans Versuchsfeld Grabenegg. [URL: <http://www.meinbezirk.at/melk/chronik/exkursion-ans-versuchsfeld-grabenegg-d1088046.html>] (30.09.2014).
- N.N., 2014. Gelbe Hoffnungsträger in Sachen Ökoenergie. [URL: <http://www.meinbezirk.at/ollersdorf-im-burgenland/wirtschaft/gelbe-hoffnungstraeger-in-sachen-oekoenergie-d1040686.html>] (08.10.2014).

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- STRNADL, S., 2014. Wuchernde Energiequellen: Pflanzen zum Anzapfen. [URL: <http://mobil.derstandard.at/2000005672109/Wuchernde-Energiequellen-Pflanzen-zum-Anzapfen>] (30.09.2014).
- AGES, 2014. News aus der Forschung - Bioenergiepflanzen Sida & *Silphium* für Österreich. AGES-Newsletter 12/14 -18.09.2014. [URL: <http://www.ages.at/ages/presse/newsletter/kalenderjahr-2014/newsletter-1214-18092014/>] (20.09.2014).
- ORF online, 2014. Silphie: Neue Alternative zu Mais. [URL: <http://noe.orf.at/news/stories/2668701/>] (16.09.2014).
- DLZ Agrarmagazin, 2014. Österreich: AGES testet Maisalternative. [URL: <http://dlz.agrarheute.com/durchwachsene-silphie>] (16.09.2014).

Fernsehen

- ORF2 – NÖ heute, 2014. Silphie: Neue Alternative zu Mais. Fernsehbeitrag. 19 Uhr, 16.09.2014. [URL: <http://tvthek.orf.at/program/Niederoesterreich-heute/70017/Niederoesterreich-heute/8446273/Maiswurzelbohrer-Neue-Pflanze-als-Alternative/8448832>] (16.09.2014).

Radio

- Radio NÖ, 2014. Silphie: Neue Alternative zu Mais. 16.09.2014.

Social Media

Facebook

- AGES News, 2014. Energiegewinnung aus Pflanzen? Die AGES erforscht das Potential von BioEnergie(Pflanzen), z. B. *Silphium*, als Alternative zu Mais als Brennstoff. Positive Nebeneffekte: dem invasiven Maiswurzelbohrer schmeckt sie nicht und für Bienen bietet sie mit ihrer langen Blütezeit eine wichtige Nahrungsquelle. Facebook. [URL: <https://www.facebook.com/agesnews#!/agesnews/photos/a.511084302275209.138398.510580938992212/882374151812887/?type=1&theater>] (16.09.2014).

Twitter

- AGES News, 2016. BioEnergie aus Pflanzen: @agesnews forscht an nachwachsendem Rohstoff #*Silphium* <http://www.ages.at/themen/landwirtschaft/saat-und-pflanzgut/forschung/projekt-bioenergy-silphium/> ... Twitter. [URL: <https://twitter.com/agesnews/status/733547841952485376>] (20.05.2016).
- AGES NEWS, 2014. #Forschung - @ORF NÖ zu #Energie-#Pflanze #*Silphium* Radio <http://noe.orf.at/news/stories/2668701/> ... & TV <http://tvthek.orf.at/program/Niederoesterreich-heute/70017/Niederoesterreich-heute/8446273/Maiswurzelbohrer-Neue-Pflanze-als-Alternative/8448832> ... #Bienen. Twitter. [URL: <https://twitter.com/agesnews/status/511744859200573440>] (16.09.2014).
- AGES NEWS, 2014. Bioenergy-#*Silphium* & SIDecA-Projektpartner #Sida am #AGES-Versuchsfeld Grabenegg, NÖ <http://klimafonds.gv.at> & ffg.at. Twitter. [URL: <https://twitter.com/agesnews/status/510098643039551489>] (11.09.2014).
- AGES NEWS, 2014. AGES forscht- #Bioenergie-Pflanze #*Silphium* <http://www.ages.at/ages/presse/pressemeldungen/ages-forscht-bioenergiepflanzen-fuer-oesterreich/> ... @agesnews Philipp von Gehren & Josef Mayr am Feld. Twitter. [URL: <https://twitter.com/agesnews/status/510064877504057344>] (11.09.2014).
- AGES NEWS, 2014. #BioEnergie(pflanzen) für Österreich @agesnews forscht: Bestandaufnahme + Potentialanalysen <http://www.ages.at/ages/presse/pressemeldungen/ages-forscht-bioenergiepflanzen-fuer-oesterreich/> ... Twitter. [URL: <https://twitter.com/agesnews/status/510003017660497920>] (11.09.2014).
- AGES NEWS, 2014. Exkursion: AGES forscht! BioEnergie(pflanzen) für Österreich, 11. Sept. - Infos & Anmeldung: <http://www.ages.at/ages/landwirtschaftliche-sachgebiete/saat-und-pflanzgut/aktuelles/exkursion-ages-forscht-bioenergiepflanzen-fuer-oesterreich/> ... Twitter. [URL: <https://twitter.com/agesnews/status/506384891597320193>] (01.09.2014).

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- AGES NEWS, 2014. Exkursion: #AGES forscht! - #Bio-#Energie-#Pflanzen #Sida #*Silphium* für Österreich <http://www.ages.at/ages/landwirtschaftliche-sachgebiete/saat-und-pflanzgut/aktuelles/exkursion-ages-forscht-bioenergiepflanzen-fuer-oesterreich/> ... #Forschung. Twitter. [URL: <https://twitter.com/agesnews/status/502844595844415488>] (22.08.2014).
- AGES NEWS, 2014. @agesnews-Experte Josef Mayr stellt erste Ergebnisse d Forschungsprojekts BioEnergy #*Silphium* vor <http://www.slideshare.net/agesnews/prsentation-dr-josef-mayr> ... via @SlideShare. Twitter. [URL: <https://twitter.com/agesnews/status/501999945948610560>; <http://de.slideshare.net/agesnews/prsentation-dr-josef-mayr>] (20.08.2014).

7.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Etablierter <i>S. perfoliatum</i> Bestand im Sommer des zweiten Vegetationsjahres mit zahlreichen Blüten als Nahrungsquelle für blütenbesuchende Insekten.....	6
Abbildung 2: Lage der Versuchsstandorte	9
Abbildung 3: Bestandesbegründung durch Pflanzung mit einer Becherpflanzmaschine	11
Abbildung 4: Bestandesbegründung durch Saat mit einer Parzellen-Einzelkornsämaschine	13
Abbildung 5: Durchschnittlicher Feldaufgang der neun ausgesäten Saatgutvarianten von <i>S. perfoliatum</i> (n = 36), durchschnittlicher Bodenbedeckungsgrad der Parzellen der Saatgutvariante 8 (n = 4) und durchschnittlicher TM-Ertrag am Ende des zweiten Vegetationsjahres (die Buchstaben a, b, c kennzeichnen die homogenen Untergruppen)	22
Abbildung 6: Boxplot der Keimfähigkeiten (%) der unterschiedlichen Saatgutvarianten	23
Abbildung 7: Wachstumsverlauf von <i>S. perfoliatum</i> anhand der Blattflächenindizes im Jahr 2014 an allen vier Standorten	25
Abbildung 8: Biomasseerträge von <i>S. perfoliatum</i> bei ein- und zweimaligem Schnitt im Vergleich zu Mais von 2013 bis 2015.....	26
Abbildung 9: TM-Erträge bei einem früheren und einem späteren Ersterntetermin bei der Zweischnitt-Variante (Grabenegg 2014).....	28
Abbildung 10: Methanpotential je Kilogramm organischer Trockensubstanz von <i>S. perfoliatum</i> in Abhängigkeit unterschiedlicher Erntezeitpunkte.....	29
Abbildung 11: Vergleich des Gesamtzuckergehalts und der thermischen Nebenprodukte bei 0 mMol g ⁻¹ TS (A); 0,25 mMol g ⁻¹ TS (B); 0,5 mMol g ⁻¹ TS (C); 0,75 mMol g ⁻¹ TS (D).....	30
Abbildung 12: Methanerträge von <i>S. perfoliatum</i> aus Schönfeld in September 2013 mit drei Vorbehandlungen in Vergleich zu unbehandeltem <i>S. perfoliatum</i>	31
Abbildung 13: Methanertrag pro Fläche von <i>S. perfoliatum</i> (Juli- und Septemberernten).....	31
Abbildung 14: Bodenausgasung Kohlenstoffdioxid - Standorte Hirschstetten 2013, Grabenegg 2014	34
Abbildung 15: Bodenausgasung Methan - Standorte Hirschstetten 2013, Grabenegg 2014.....	35
Abbildung 16: Bodenausgasung Lachgas – Standorte Hirschstetten 2013, Grabenegg 2014	35
Abbildung 17: Ergebnisse der N _{min} Analysen bei <i>S. perfoliatum</i>	36
Abbildung 18: Beflug von <i>S. perfoliatum</i> , <i>Medicago sativa</i> und <i>Helianthus annuus</i> (2013/14)	37
Abbildung 19: Verteilungsfunktion der Deckungsbeiträge von <i>S. perfoliatum</i> frühe Ernte, <i>S. perfoliatum</i> späte Ernte und Mais	39

7.5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusatzberechnung	11
Tabelle 2: Prüffaktoren und Faktorstufen des Saatversuchs	12
Tabelle 3: Düngungstermine (2012-2015); *zweite Düngung bei der Zweischnitt-Variante.....	14
Tabelle 4: Düngetabelle der <i>S. perfoliatum</i> Flächen 2012-2015	14
Tabelle 5: Termine der Exakternterversuche	15
Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichung der gekeimten Samen der Faktoren und Faktorlevel Saatgutvarianten unter Angabe der homogenen Untergruppen (a, b, c, d) lt. Tukey-Test.....	20
Tabelle 7: Keimruheverlauf des <i>S. perfoliatum</i> Saatgutes (Samenherkunft A, Ernte 2012)	20
Tabelle 8: Durchschnittlicher Feldaufgang aller neun ausgesäten Saatgutvarianten zusammengefasst für alle fünf Saattermine. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen dem mittleren Feldaufgang der Saatgutvarianten an.....	23
Tabelle 9: Vergleich des ersten und zweiten Vegetationsjahres bezogen auf die Stängelanzahl pro Pflanze	25
Tabelle 10: Brennwert von <i>S. perfoliatum</i> im Vergleich zu Holz Pellets und <i>Miscanthus x giganteus</i>	33
Tabelle 11: Makro- und Mikroelementanalyse von <i>S. perfoliatum</i> Erntegut (= Mischprobe aus fünf Pflanzen für die Verbrennung (Bestand Mitte September 2014)	33
Tabelle 12: Organisch gebundener Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff (TOC).....	34
Tabelle 13: Deckungsbeiträge (inkl. Düngerkosten) aus der Simulation für den Standort Grabenegg	37
Tabelle 14: Deckungsbeiträge (ohne Düngerkosten) aus der Simulation für den Standort Grabenegg	38
Tabelle 15: Kosten je m ³ Methan aus der Simulation für den Standort Grabenegg	38
Tabelle 16: Ausgewählte bodenchemische Kennzahlen (a) (*nicht plausibel erklärbarer Wert)	48
Tabelle 17: Ausgewählte Elemente der Bodenuntersuchungen (b).....	48
Tabelle 18: Ausgewählte Elemente der Bodenuntersuchungen (c)	49
Tabelle 19: Ausgewählte Elemente der Bodenuntersuchungen (d).....	49
Tabelle 20: Übersicht Publikationen	50