Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti

Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e.V.

Standortangepasster Anbau von Biomasse auf schwermetallkontaminierten Arealen der Region Freiberg unter Nutzung bewährter Anbausysteme auf Bergbaufolgelandschaften der Region Chomutov –

Begleitstudie zum Anbauversuch im Rahmen des Ziel3 Projektes ´RekultA´

Endbericht

Ziel 3 | Cíl 3
Ahoj sousede, Hallo Nachbar.
2007-2013. www.ziel3-cil3.eu

RekultA

Herausgeber:

Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e.V.
Hauptstr. 13
09623 Rechenberg-Bienenmühle OT Clausnitz

Kontaktbüro Freiberg
Im Fachschulzentrum Freiberg-Zug
Hauptstr. 150
09599 Freiberg

im Rahmen des Projektes

„RekultA“ -
"Rekultivierung großflächig schwermetallbelasteter Areale
und Bergbaufolgelandschaften der Euroregion Erzgebirge durch standortangepasste
Anbausysteme nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Verwertung"
(Förderzeitraum 2011 bis 2013)

**Gefördert durch das Ziel 3/Cíl 3-Programms der Europäischen Union zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit 2007-2013 zwischen
dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik**

Text:
Janine Pfeifer, Adriana Hotho

Stand:
Dezember 2013

Bilder:
Wenn kein Verweis am Bild vorhanden: Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e.V.

INHALTSVERZEICHNIS

1 Anlass und Zielsetzung 1

2 Versuchsanlage und angewandte Methoden 3

2.1 Versuchsstandort und Versuchsanlage 3
2.1.1 Standorte und Witterung 3
2.1.2 Versuchsaufbau 7
2.1.3 Versuchsfragen an den Standorten 9
2.1.4 Methoden zur Erfassung der Ertragsbildung und Schwermetallaufnahme 11

2.2 Steckbriefe der Energiepflanzen 12
2.2.1 Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*) 15
2.2.2 Chinaschilf (*Miscanthus giganteus*) 18
2.2.3 Rohrglanzgras(*Phalaris arundinacea*) 21
2.2.4 Riesenweizengras(*Elymus elongatus*) 24

3 Ergebnisse 28

3.1 Anbautechnische Versuche 28
3.1.1 Durchwachsene Silphie 28
3.1.2 Rohrglanzgras Sorte Palaton 33
3.1.3 Miscanthus 36
3.1.4 Rohrglanzgrassorte „Chrastava“ 38
3.1.5 Praxisanbau Riesenweizengras 40
3.1.6 Energiepflanzenerträge im Vergleich 42

3.2 Prüfung der Schwermetallaufnahme bezüglich des Wirkungspfades Boden-Pflanze 44

4 Ökonomische und ökologische Bewertung 48

4.1 Ökonomische Bewertung 48

4.2 Ökologische Bewertung 51

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 52

Abbildungsverzeichnis 55

Tabellenverzeichnis 57

Literatur- und Referenzverzeichnis 58

Anhang 64

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Ack.	Ackerland
dt	Dezitonne
FM	Frischmasse
ha	Hektar
KUP	Kurzumtriebsplantagen (z.B. Pappeln oder Weiden zur Energieholzproduktion)
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
oTS	Organische Trockensubstanz
TM	Trockenmasse

1 ANLASS UND ZIELSETZUNG

Hintergrund

Aufgrund der Diskussionen über Maismonokulturen und den vermehrten Anbau von Pflanzen zur Energieproduktion, anstatt zur Verwendung als Nahrungsmittel in Deutschland gibt es Flächen auf denen ein ausschließlicher Energiepflanzenanbau empfohlen wird.

Durch das Bergbau- und Hüttenwesen vor ca. 800 Jahren im Raum Freiberg erfolgten in dieser Region Schwermetallablagerungen im Boden. Diese Schwermetallbelastung ist bis heute in den Böden messbar und überschreitet vereinzelt die gesetzlichen Grenzwerte für Lebens- und teilweise auch für Futtermittel. Eine Nutzung der Böden zur Energiepflanzenproduktion ist, bei Ausbringung der Gärreste auf derselben Fläche, jedoch uneingeschränkt möglich.

Das deutsch-tschechische Projekt RekultA ("Rekultivierung großflächig schwermetallbelasteter Areale und Bergbaufolgelandschaften der Euroregion Erzgebirge durch standortangepaßte Anbausysteme nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Verwertung“) beschäftigt sich mit den Anbau von innovativen Energiepflanzen auf schwermetallbelasteten Standorten und Bergbaufolgelandschaften zur energetischen Nutzung und dem Aufbau von regionalen und grenzüberschreitenden Wertschöpfungsketten im Zeitraum von Oktober 2010 bis März 2014.

Neben den einjährigen Energiepflanzen im konventionellen Anbausystem[1] existiert das innovative Anbausystem mit mehrjährigen Energiepflanzen[2] Aufgrund der positiven Eigenschaften von mehrjährigen Energiepflanzen von unserem tschechischen Kooperationpartner, das Institut für Pflanzenbau Prag- Abteilung Ökotoxiologie in Chomutov, gegenüber den einjährigen landwirtschaftlichen Kulturen, wie z.B. Minderung der Erosionsgefahr, nach etablierten Bestand kein Herbizideinsatz, Verringerung der Treibhausgasemissionen, Erhöhung der Biodiversität, Bruthabitate und Nahrungsquellen für Vögel und Bienen, sind diese speziell für die Rekultivierung der Böden geeignet.

In Deutschland ist bisher das konventionelle Anbausystem etabliert und verbreitet. Nur vereinzelt werden mehrjährige Anbausysteme (z.B. KUP-Plantagen) zur energetischen

[1] Konventionelles Anbausystem= Ein Anbausystem ist ein landwirtschaftliches Produktionssystem für die Erzeugung von pflanzlichen Erzeugnissen (z.B. Energiepflanzen), die in Fruchtfolgen nacheinander angebaut werden (z.B. Raps-Weizen-Mais) (Mühlenhoff 2011)

[2] Mehrjährige Energiepflanzen= mehrjährige Kulturen verbleiben mehrere Jahre, ohne Fruchtfolge, auf der gleichen Fläche (Mühlenhoff 2011)

Verwertung, meist im Rahmen von Forschungs- oder Demonstrationsprojekten, angelegt. Im Jahr 2010 war dies auf ca. 4.000 ha (Mühlenhoff 2011:7) der Fall. Das Ziel der Forschungsprojekte ist, Alternativen zu den Maismonokulturen zur energetischen Nutzung anzubieten.

Ein Ziel vom Projekt „RekultA“ ist, die jahrelangen Anbauerfahrungen des Institutes für Pflanzenbau Prag mit mehrjährigen Anbausystemen auf Bergbaufolgelandschaften für die sächsischen schwermetallbelasteten Böden auf großflächigen Versuchsflächen unter Produktionsbedingungen (Praxisversuch) zu testen. Auf mehreren Versuchsflächen wurden die mehrjährigen Energiepflanzen durchwachsenen Silphie, Rohrglanzgras, Miscanthus, Pappel- u. Weidesorten und Riesenweizengras unter den klimatischen Standort- u. Klimabedingungen im Raum Freiberg getestet. Die Mitglieder des Biomasse-Vereins Freiberg (überwiegend regionale Agrargenossenschaft mit ca. 1.000-3.000 ha Ackerland im Raum Freiberg) könnten die Anbauempfehlungen nach Projektende vor Ort mit realistischen Ertrag- und Wachstumserwartungen umsetzen. Dies wäre bei kleinflächigen Topf- u. Parzellenversuchen nicht der Fall. Ein weiteres Ziel ist, dass die ausgewählten Energiepflanzen zur Phytostabilisierung bzw. -immobilisierung[3] der Schwermetalle im Boden beitragen[4].
Die Versuchsflächen wurden für öffentlichkeitswirksame Maßnahmen genutzt (z.B. Führungen und „RekultA“-Feldtag), damit sich die landwirtschaftlichen Berater und Lehrlinge sowie die Landwirte, welche eine solche Anlage direkt vor Ort planen, unter den gegebenen Bedingungen (Bodenart, Klima) über das Wachstumsverhalten der innovativen Energiepflanzen informieren können.

Zielstellung

Neben dem Ziel mit den Anbau von mehrjährigen Energiepflanzen die Klimaemissionen zu reduzieren werden u.a. folgende **wissenschaftliche Versuchsfragen** untersucht:

1. Welche Unterschiede ergeben sich bei den einzelnen innovativen Energiepflanzen hinsichtlich Bestandsentwicklung in den klimatischen Bedingungen im Raum Freiberg?
2. Nehmen diese innovativen Energiepflanzen Schwermetalle über den Wirkungspfad Boden-Pflanze im Raum Freiberg auf und in welcher Höhe?
3. Welche Ertragshöhe erreichen die Kulturen in der Euroregion Erzgebirge und wie ist die Ertragsdifferenz zum etablierten Mais?
4. Welche Energiepflanzen sind ökonomisch interessant?

[3] Phytostabilierung bzw. -immobilisierung dient vorrangig der Sicherung des Bodens durch eine Verringerung der Mobilität der Schadstoffe (Wind- u. Wassererosionsschutz, Verminderung Auswaschungen ins Grundwasser) und Stabilisierung des Treibhausklimas durch CO_2-Speicherung. Es werden Pflanzen ausgesucht, die möglichst wenige Schadstoffe aufnehmen.

[4] Ausführliche Erläuterung und Herleitung zur Zielstellung, Pflanzen zur Phytostabilisierung bzw. –immobilisierung einzusetzen, in der RekultA-Studie „Wissenschaftliche Primär- und Sekundärliteraturanalyse zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf schwermetallkontaminierten Arealen der Region Freiberg und Bergbaufolgeflächen der Region Chomutov“

2 VERSUCHSANLAGE UND ANGEWANDTE METHODEN

2.1 Versuchsstandort und Versuchsanlage

Im Hinblick auf die wissenschaftlichen Fragestellungen bzgl. des Schwermetallaufnahmevermögens der potentiellen Energiepflanzen wurden anhand einer Karte regionale Agrargenossenschaften identifiziert, welche schwermetallbelastete Flächen bewirtschaften. Das Ziel war mind. zwei Versuchsflächen mit einem unterschiedlichen Kontaminationsgrad anzulegen.
Die Auswahl der Versuchsflächen erfolgte mit den regionalen Agrargenossenschaften vor Ort.
Die Anforderungen an die Fläche ergaben sich aus den Standortansprüchen der ausgewählten Energiepflanzen (Bodenbeschaffenheit, Wasserangebot), der Erreichbarkeit des Standortes (Zugänglichkeit für Besucher), die Bewirtschaftungspläne und den Nutzungsmöglichkeiten des Landeigentümers für die Restfläche

2.1.1 Standorte und Witterung

Standorte

Die Versuchsflächen befinden sich an vier unterschiedlichen Standorten (Colmnitz, Weißenborn, Niederbobritzsch, Clausnitz) in der Nähe von Freiberg im Erzgebirge.
Die Unternehmen sind Mitglieder im Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e.V. und sind an einer nachhaltigen Nutzung der kontaminierten Flächen interessiert.
Die Versuchsflächen befinden sich im Erzgebirgsvorland, d.h. in 400 bis 900 m über NN mit einer teilweise starken Hangneigung. Aufgrund der Höhe beginnt die Vegetationszeit, durch die langsame Bodenerwärmung, etwas später als z.B. in den sächsischen Flachlandstandorten, das vermindert die Ertragsfähigkeit. Die Böden sind Verwitterungsböden mit einem hohen Steinanteil. Durch die Hangneigung besteht eine hohe Erosionsgefährdung (LfULG 2012: 9). Es handelt sich bei den Standorten um schwermetallbelastete Böden, aufgrund der Ablagerungen des ca. 800 Jahre andauernden Bergbau- und Hüttenwesens im Raum Freiberg.

Tabelle 1 Standortbedingungen

	Versuchsflächen			
	Colmnitz	Weißenborn	Niederbobritzsch	Clausnitz
Lage Meter über NN	420	458	420	600
Boden - Ackerzahl	38	38	38	24
Bodentyp	Sandiger Lehm	Sandiger Lehm	Sandiger Lehm	Sandiger Lehm
Besonderheiten	Verwitterungsböden	Verwitterungsböden	Verwitterungsböden	Verwitterungsböden

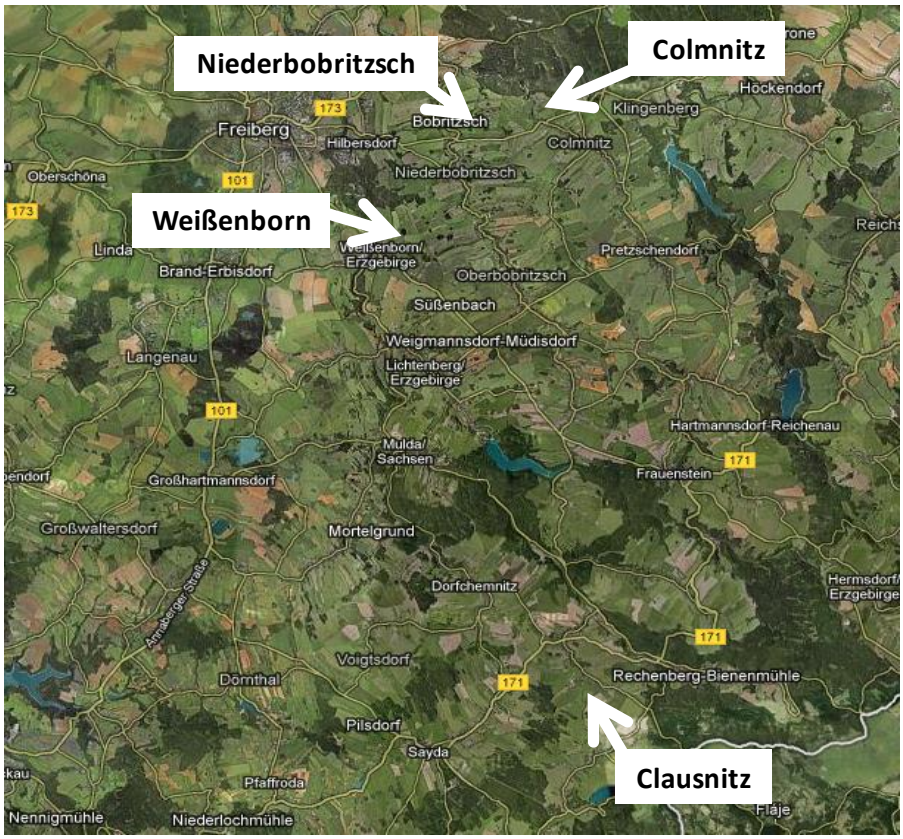


Abbildung 1 Lage der Feldversuche (Quelle: Google earth 2013)

Seit dem 10. Mai 2011 wurde die Verordnung „Bodenplanungsgebiet Freiberg“ in Kraft gesetzt, in welchem die RekultA-Versuchsflächen Niederbobritzsch und Colmnitz liegen. Das „Bodenplanungsgebiet Freiberg“ ist eine Datensammlung von zahlreichen Bodenproben im Umkreis von Freiberg mit der entsprechenden Aufarbeitung zu Karten, auf denen die unterschiedliche Schwermetallbelastung gekennzeichnet ist. Damit können Grundstückeigentümer oder Landwirte bei Nutzungserweiterungen oder –änderungen (z.B. Anlegen eines Kinderspielplatzes) anhand des vorliegenden Kartenmaterials die Handlungsoptionen erkennen. Bei einem Verdacht (z.B. für die Ackerfläche werden Arsen, Blei oder Cadmiumgrenzwerte überschritten) kann der Landwirt selbst eine Ernteprobe durchführen und dafür sorgen, dass keine Lebens- oder Futtermittel in Verkehr gebracht werden und/oder Alternativen anbauen (z.B. Energiepflanzen). Diese Methodik spart eigene preisintensive Untersuchungen und liefert Planungssicherheit bei z.B. Bauvorhaben (Landesdirektion Sachsen 2011).

Tabelle 2 Ergebnisse der Bodenprobenahme des Oberbodens nach der Methodik des Königswasseraufschlusses

Versuchsfläche 11.05.2011	Schwermetalle nach KW-Methode										
	Pb	V	Zn	Ni	Mo	Cu	Cr	Co	Cd	Be	As
	mg/kg Ts Boden										
Colmnitz	138	56,9	194	21,5	2,35	21,7	48	11,5	1,88	1,31	84,1
Weißenborn	226	43,7	215	12	2,02	20,7	24,9	9,09	2,16	1,46	31,2
Nieder-bobritzsch	228	50,8	279	19,7	1,67	41,7	40	11,6	1,64	1,34	36,8
Clausnitz 30.07.13	74/ 0,49*	56,9	155	18,0	1,01	33,3	43	9,5	0,48/ 0,17*	1,36	9,28
Prüfwert nach BBodSchV für Ackerflächen	0,1*								*0,04*/ 0,1**		200
Maßnahme-Wert für Grünl.	1200			1900		1300			20		50

*Methode: im Ammoniumnitratextrakt

Witterung

Direkt auf den Versuchsflächen sind keine Wetterstationen vorhanden, somit wurden die Daten von den nächstgelegenen Wetterstationen verwendet.

Eine Wetterstation befindet sich im Klingenberger Ortsteil Colmnitz, in der Nähe der Frauensteiner Straße 16 und wird von der TU Dresden betreut. Diese Wetterstation liegt ca. 5 km von der Versuchsfläche Colmnitz und ca. 8 km von der Versuchsfläche Niederbobritzsch entfernt. Eine zweite Wetterstation ist am Landwirtschaftlichen Fachschulzentrum Freiberg-Zug vorhanden. Diese liegt von der Versuchsfläche Weißenborn ca. 7 km und ca. 30 km von Clausnitz entfernt. Für den Standort Clausnitz, der in 550 m Höhe liegt, beträgt der Temperaturjahresdurchschnitt 5,8 °C mit einem jährlichen Niederschlag von 960 mm und einer Vegetationszeit von 210 Tagen (Eckardt 2011).

Im Folgenden sind die Witterungsdaten von den beiden Aufzeichnungsorten für den Zeitraum 2011 bis 2013 dargestellt.

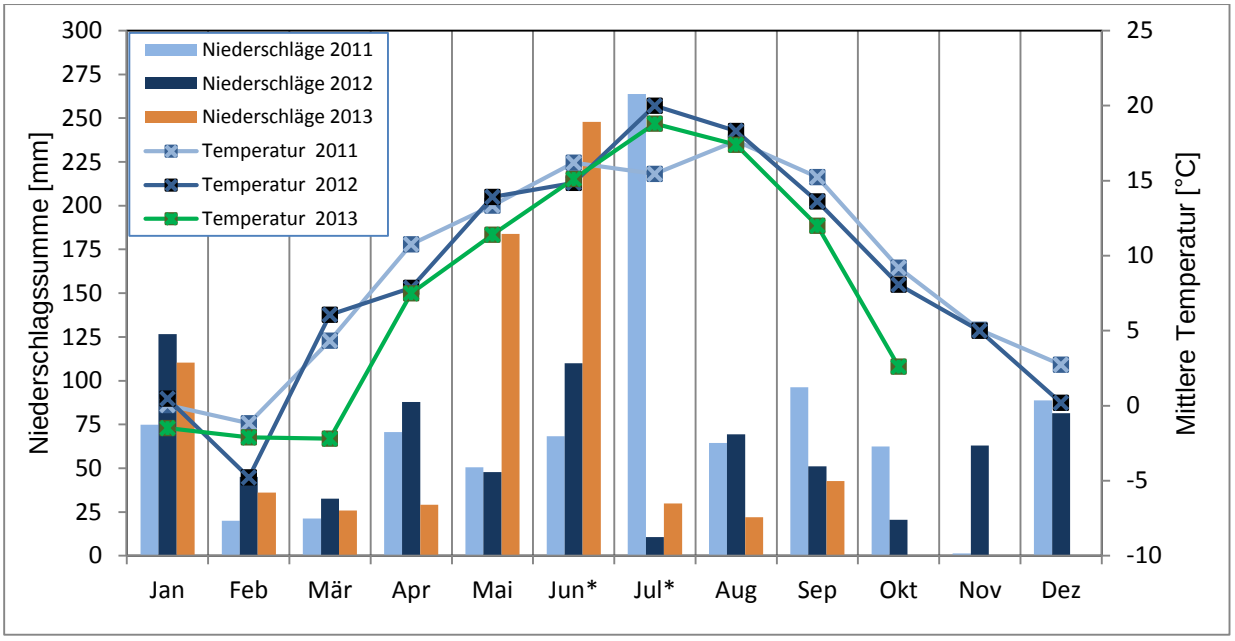


Abbildung 2 *Witterungsdaten 2011-2013 der Klimastation Fachschulzentrum Freiberg-Zug (* vom 30.06.2012 bis 27.07.2012 erfolgte aus technischen Gründen keine Messung von Temperatur und Niederschlag) (Fachschulzentrum Freiberg-Zug 2013)*

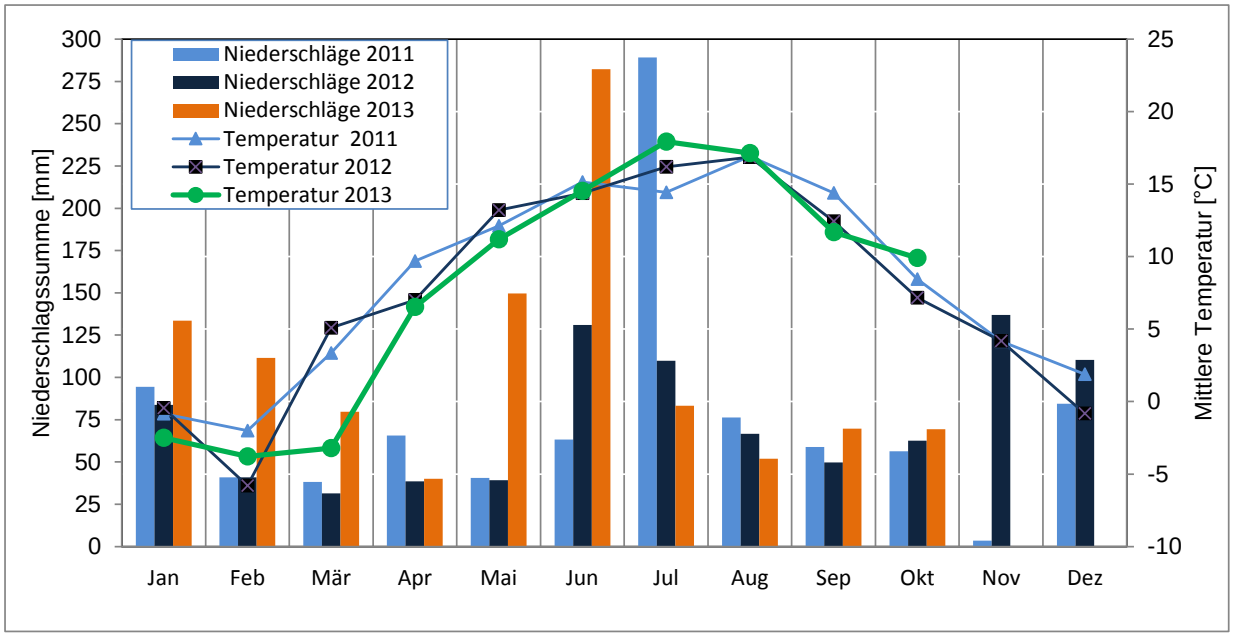


Abbildung 3 Witterungsdaten 2011-2012 der Klimastation Klingenberg, (Grünwald 2013) (Hinweis: Datenausfall bei Temperaturmessung von 1.-5.2.13, 17./18.4.13 und 28-31.7.13)

Die Energiepflanzen wurden im Zeitraum von 11. bis 15. Juli 2011 auf den Versuchsflächen gepflanzt bzw. gesät. Diese Maßnahmen waren bereits im Mai/Juni 2011 geplant, sind aber aufgrund der geringen Niederschläge und des trockenen Bodens auf Juli verlegt worden. Diese Entscheidung erwies sich als günstig für den weiteren Wachstumsverlauf der Energiepflanzen.

Im Juli 2011 war ein niederschlagsreicher Monat, somit wurden die Pflanzen ausreichend mit Wasser versorgt. Anfang Oktober 2011 sind teilweise Temperaturen von bis zu 19 °C aufgezeichnet worden. Erst am 11.11.2011 wurden an beiden Standorten die ersten Minusgrade von -2 °C gemessen. Damit ist eine ausreichende Vegetationsperiode, trotz des verschobenen Pflanztermins, für die Energiepflanze gewährleistet gewesen, um Reservestoffe einzulagern und einen Bestand zu bilden. Im Dezember 2011 und Januar 2012 waren feuchte Monate mit milden Temperaturen. Jedoch begann Ende Januar eine 14tägige Frostperiode mit Temperaturen von bis zu -18,25 °C am 6. Februar 2012, teilweise war der Boden unbedeckt. Es folgten im März, April und Mai 2012 ein Wechsel zwischen leichten Minus- und teilweisen Temperaturen von bis zu 21 °C. Im Juni waren hohe Niederschlagsmengen bei milden Temperaturen zu verzeichnen. Extreme Temperaturen von bis zu 29°C in Freiberg-Zug gab es im August 2012.
Der September bis Mitte Oktober 2012 war eine längere ideale Wetterperiode für die Ernte mit geringen Niederschlägen und relativ stabilen Temperaturen um die 13 °C. Erst ab dem 27. Oktober 2012 gab es erste Minusgrade und ab November 2012 bis Mitte April 2013 Schneefall, so dass die geplante Ernte des Rohrglanzgrases nicht durchgeführt werden konnte, da die Bestände unter der hohen Schneedecke verborgen waren. Auf den späten Vegetationsbeginn folgte ein nasskaltes Frühjahr und anschließend von 30. Mai 2013 bis ca. 4. Juni 2013 folgten Starkniederschlägen, die sachsenweit zu starken Überschwemmungen führten (u.a. entlang der Freiberger Mulde, Weißeritz). Somit waren die Versuchsflächen nicht befahrbar und somit konnten keine Ernte- u. Pflegemaßnahmen durchgeführt werden. Dies ist die zweite Flut innerhalb von elf Jahren nach 2002. Hingegen konnte für die Monate August und September 2013 eine eher unterdurchschnittliche Regenmenge verzeichnet werden. Ab September sanken die Temperaturen bis Mitte Oktober 203 die ersten Bodenfröste kamen. Aus landwirtschaftlicher Sicht war das Jahr 2013 somit problematisch.

2.1.2 Versuchsaufbau

Die RekultA-Versuchsflächen existieren von Juli 2011 bis Oktober 2013.
Es handelt sich um einen mehrjährigen angelegten Energiepflanzenpraxisversuch in Weißenborn, Colmnitz, Niederbobritzsch und Clausnitz.
Die Pappel- und Weidensorten sind auf 0,8 ha in Colmnitz angelegt. Anbauergebnisse und weitere Informationen sind in der RekultA-Studie „Sortengarten am Weidegut Colmnitz – Bericht zu Ernte und Ertragsmessung März 2011“ zu finden.
Jeder Parzellen-Versuchsstandort (Niederbobritzsch, Colmnitz und Weißenborn) hat eine ähnliche Versuchsanordnung. Es sind insgesamt 6 Parzellen, von jeder Energiepflanze (Durchwachsene Silphie, Rohrglanzgras, Chinaschilf) zwei Teilflächen, d.h. zwei Parzellen pro Standort (siehe Abbildung 4).

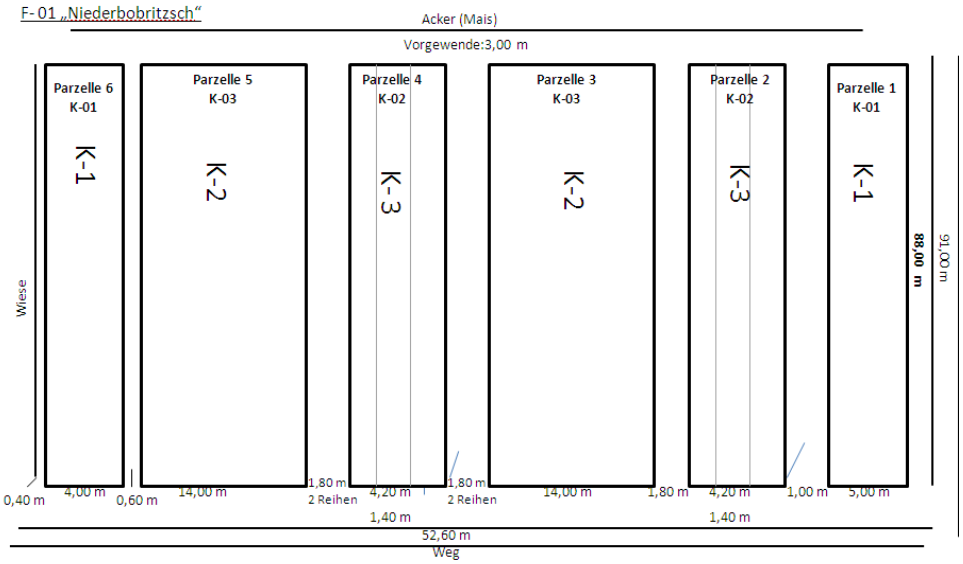


Abbildung 4 *Versuchsanordnung der Versuchsfläche Niederbobritzsch (K-1= Rohrglanzgrassorte „Palaton“, K2= Durchwachsenen Silphie, K-3= 3 unterschiedliche Sorten Miscanthus „Amuri“, „Naraga“, „Miscanthus giganteus“ nach Umbruch der Miscanthusfläche wurde die Rohrglanzgrassorte „Chrastava“ ab Juli 2012 angesät.)*

Die Parzellen haben an den jeweiligen Versuchsflächen eine unterschiedliche Größe, welche aus folgender Tabelle ersichtlich werden. Die Versuchsfläche in Clausnitz ist ein großflächiger Praxisversuch von 3,35 ha.

Tabelle 3 *Größe der Versuchsflächen (*= im Juli 2012 wurde die Miscanthusfläche umgebrochen und die Rohrglanzgrassorte „Chrastava“ gesät)*

Versuchsflächen in m²	Gesamt -fläche	Energiepflanzen		
		Silphie	Rohrglanzgras „Palaton“	Miscanthus*
Weißenborn	2.783	1.173	766	844
Niederbobritzsch	3.995	2.464	792	739
Colmnitz	3.386	2.366	500	520
Summe	**10.164**	**6.003**	**2.058**	**2.103**

Im Folgenden eine Übersicht zu den zwei angelegten Szarvasi-Versuchsflächen in Clausnitz:

Tabelle 4 *Übersicht von RekultA-Versuchsflächen in Rechenberg-Bienenmühle OT Clausnitz*

	Fläche 1	**Fläche 2**
Flächenstatus	Ackerland	Dauergrünland
Vorfrucht	Triticale	Grünland
Flächengröße	1,35 ha	2,00 ha
Bodenbearbeitung	Stoppelbearbeitung Saatbettvorbereitung	Abtötung Altnarbe 4 x Scheiben
Aussaattermin	01.09.2011	14.05.2012

2.1.3 Versuchsfragen an den Standorten

Die Bestandsentwicklung unter den klimatischen Bedingungen im Osterzgebirge, die Höhe des Ertrages, die Wirtschaftlichkeit und das Schwermetallaufnahmeverhalten der Energiepflanzen entscheiden darüber, ob die Landwirte diese innovativen mehrjährigen Kulturen zukünftig großflächig, z.B. als Alternative zum Mais zur Biogaserzeugung, anbauen oder ob diese im Forschungs- u. Demonstrationsstadium verharren. Die ansässigen Landwirte können sich direkt vor Ort auf den RekultA-Flächen über die Erfahrungen beim Anbaumanagement und den Ertrag bei den erfahrenen Landwirten informieren. Damit wird das Risiko von Managementfehlern bei einer neu angelegten Fläche unter ähnlichen klimatischen und topographischen Bedingungen minimiert. Ein weiteres Ziel ist die Skepsis von Landwirten und Bürgern u.a. vor langjähriger Flächenbindung abzubauen.
Die Auswahl der Energiepflanzen ist nach diesen Kriterien erfolgt:

- klimatische und bodenkundliche Eignung im Raum Freiberg (Frostresistenz, minimale Bodenansprüche)
- Mehrjährigkeit, um Erosionen an steile Hanglagen im Erzgebirge zu minimieren und Treibhausgase für das Klima einzusparen.
- Interessante Wirtschaftlichkeit
- Erste Ergebnisse aus anderen Forschungsprojekten sollten auf eine Energiepflanze hinweisen, welche das Ertragspotential besitzt sich als Alternative zum Mais zu etablieren
- Nutzung für eine energetische Verwertung für die Biogaserzeugung bzw. Verbrennung
- innovative mehrjährige Energiepflanze, die bisher nicht im Freiberger Raum getestet wurde und deren Saat- bzw. Pflanzgut in benötigter Menge verfügbar war.
- Eine Forderung seitens des Fördermittelgebers und der Landeigentümer war, dass es sich nicht um eine invasive Energiepflanze handelt
- Energiepflanze, die möglichst wenig Schwermetalle aufnimmt (Phytostabilisierung bzw. –immobilisierung)

Es wurden vier Energiepflanzen ausgewählt:

- **Durchwachsene Silphie *(Silphium perfoliatum)*** aufgrund der Standortansprüche und den Ergebnissen aus den Anbauversuchen von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL): Ertrag und Methanertrag in der Biogasanlage ist die Silphie vergleichbar mit dem Mais (Vetter 2010: 3), geringe Schwermetallaufnahme (Sauer 2013)

- **Rohrglanzgras *(Phalaris arundinacae)*** aufgrund der Standortansprüche und den langjährigen positiven Erfahrungen von unserem tschechischen Kooperationspartner – dem Institut für Ökotoxikologie in Chomutov – und der vielseitigen Möglichkeit Phalaris zu verbrennen, stofflich oder in einer Biogasanlage zu nutzen (Honzik 2011), nimmt keine Schadstoffe aus dem Boden auf und liefert somit saubere Biomasse (Pankratius 2010).
- **Miscanthus (*Miscanthus giganteus, weitere Sorten*)** aufgrund der jahrzehntelangen Ergebnisse von der LfULG und der Nutzung (stofflich/energetisch) (Röhricht 2008)
- **Szarvasi (*Elymus elongatus*)** aufgrund der Standortansprüche und der ersten Ergebnisse aus den Jahren 2010 und 2011 vom Landwirtschaftlichen Bildungszentrum Triesdorf, welche teilweise höhere Methanausbeuten- u. erträge bei der Biogaserzeugung als Mais aufwiesen und einen ähnlichen Frischmasse/ Trockenmasseertrag wie diese etablierte Energiepflanze hatte (Geißendörfer 2012a).

Folgende konkrete Fragestellungen werden untersucht:

1. Welche Unterschiede ergeben sich bei den einzelnen innovativen Energiepflanzen hinsichtlich Bestandsentwicklung in den klimatischen Bedingungen im Raum Freiberg?
2. Welche Ertragshöhe erreichen die Kulturen in der Euroregion Erzgebirge und wie ist die Ertragsdifferenz zum etablierten Mais?
3. Im Hinblick auf die unterschiedlichen Sorten bei Miscanthus (Miscanthus giganteus, Nagara und Amuri) und Rohrglanzgras („Palaton, Chrastava) ergeben sich die Fragen nach den Unterschieden bzgl. Bestandsentwicklung und des Ertrages?
4. Welches Anbaumanagement und -technik sind für die Bestandsetablierung, -entwicklung und –ernte notwendig?
5. Wie ist das Schwermetallaufnahmeverhalten über den Wirkungspfad Boden-Pflanze bei den innovativen Energiepflanzen? Kann eine Phytostabilisierung bzw. –Immobilisierung erreicht werden?
6. Welche Energiepflanze ist aus ökonomischer Sicht attraktiv?

Das Ziel ist, für die Landwirte Empfehlung zu formulieren, welche innovativen Energiepflanzen für einen Anbau unter den standort- und klimatischen Bedingungen am geeignetsten sind.

Aussaat und Bestandesführung an den einzelnen Versuchsstandorten

Die Termine von der Pflanzung erfolgten in Abhängigkeit von der Witterung und den Arbeitskapazitäten. Die N-Düngung erfolgte unter Berücksichtigung des pflanzenverfügbaren Stickstoffes von 0 bis 60 cm auf einen N-Sollwert von 100 kg/ha vor Vegetationsbeginn. Der Erntetermin erfolgte an drei unterschiedlichen Terminen abhängig vom Entwicklungsstadium

und Trockensubstanzgehalt (TS). Von jeder Ernte wurden Ernteproben für die Analyse des Schwermetallaufnahmeverhaltens genommen und vom Institut für Pflanzenbau Prag analysiert. Im Anhang sind zur Übersicht in tabellarischer Form die Pflanz- und Aussaattermine und die Pflegemaßnahmen zur Unkrautregulierung sowie alle weiteren Termine des Pflanzenbaus und der Erntemaßnahmen aufgelistet. Diese Daten sind wichtig um im Ergebnisteil dieser Studie die einzelnen Beobachtungen zur Bestandsentwicklung einordnen und bewerten zu können.

2.1.4 Methoden zur Erfassung der Ertragsbildung und Schwermetallaufnahme

Um die Versuchsfragen bzgl. der Bestandsentwicklung, der Ertragshöhe und des Schwermetallaufnahmeverhaltens der innovativen Energiepflanzen zu beantworten, wurden unterschiedliche Methodiken angewendet:

1. Feldaufgangskontrolle:
    - bei ausgesäten Energiepflanzen (Rohrglanzgras und Szarvasi) angewendet,
    - Rahmen mit der Größe von 0,05 m² an zehn beliebigen Stellen in der Parzelle gelegt und der Deckungsgrad der Energiepflanze in % geschätzt
2. Bestandesdichtenzählung:
    - betrifft Energiepflanzen, die als Jungpflanzen angelegt worden;
    - Zählung der abgestorbenen bzw. angewachsenen Pflanzen auf den Versuchsflächen (auch als Auswinterungsbonitur)
    - Schätzung des Bestandesschluss anhand einer Skala von 1-9 (Zahl 9 heißt kein Bestandsschluss erreicht, Zahl 5: Blätter berühren sich und bei der Zahl 1 ist der Bestand geschlossen)
    - Zählung von Blattanzahl je Pflanzen an 10 Pflanzen zufällig ausgewählten Pflanzen, anschließend Bildung des arithmetischen Mittel. Je mehr Blätter vorhanden sind, umso schneller kann ein Bestandsschluss erreicht werden und umso niedriger ist der Unkrautdruck.
3. Pflanzenlängenmessung:
    - Um die Bestandshöhe zu ermitteln wurden die Pflanzen mit einem Zollstock von der Bodenoberfläche bis zur Halmspitze gemessen. Von jeder Parzelle wurden 10 Pflanzen ausgewählt und danach das arithmetische Mittel ermittelt.
    - Die Pflanzenlänge hat einen wichtigen Einfluss auf den Ertrag und den Unkrautdruck. Je höher die Pflanzen sind, umso weniger Licht und Raum ist für das Unkrautwachstum vorhanden.
    - zur Dokumentation des Bestandes jeweils zu Bonituren und direkt vor jeder Ernte
4. Ertragsermittlung:
    - Von den einzelnen Parzellen wurde die geerntete Biomasse nach der Ernte direkt gewogen (FM-Gewicht). Eine Probe wurde genommen und mit dieser im Labor der TS- Gehalt ermittelt ,um den TM-Ertrag pro Hektar zu erhalten.

Boden- und Pflanzenproben

Das Ziel der Landwirte ist Energiepflanzen anzubauen, welche nur geringe Mengen an Schwermetallen aufnehmen. Eine Sanierung der Böden durch Phytoremediation ist nicht realistisch, weil die Schwermetallbelastung in Freiberg auch geogenen Ursprungs ist (SAXONIA 2010) und eine Sanierung ca. 1.500 Jahre dauern würde (Sauer 2013). Eine Anbauempfehlung soll aufgrund von Daten, welche durch Boden- und Pflanzenproben erhoben werden, gegeben werden.
Um das Schwermetallaufnahmeverhalten der innovativen Energiepflanzen zu ermitteln, wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten Boden- und Pflanzenproben von den RekultA-Versuchsflächen in Weißenborn, Niederbobritzsch und Colmnitz genommen. Die Versuchsfläche in Clausnitz wurde nur einmalig beprobt, weil nach den vorliegenden Daten von der LfULG eine niedrige Belastung vorhanden ist (Landesdirektion Sachsen 2011). Die Zeitpunkte der Bodenprobenahme waren vor dem Vegetationsbeginn im Frühjahr sowie jeweils nach der Ernte. Von dem Erntematerial wurde jeweils eine Pflanzenprobe genommen und von unserem tschechischen Kooperationspartner analysiert.
Bei den Bodenproben wurde an 20 verschiedenen Stellen gleichmäßig innerhalb einer Parzelle mittels eines Bodenprobenehmers in eine Tiefe von 20cm das Bodenprofil entnommen. Die Elementgehalte wurden ebenfalls im Königswasseraufschluss bestimmt und teilweise erfolgte die Bodenprobenanalyse für den Gehalt an Cadmium und Blei im Ammoniumnitratextrakt. Die Ergebnisse werden mit den gesetzlichen Normen in Deutschland verglichen und der Grad der Belastung ermittelt.
In den Pflanzenprobe-Ergebnissen ist sichtbar, ob und in welcher Höhe die Pflanze Schwermetalle aufgenommen hat.

2.2 Steckbriefe der Energiepflanzen

Auf 12,59 % (84.383 ha) der Anbaufläche in Sachsen wird Biomasse zur Biogaserzeugung angebaut, davon 51 % Mais (Körnermais, Corn-Cob-Mix und Silomais), 36 % Getreide (GPS und Korn) und 6 % Dauergrünland im Jahr 2011) (LfULG 2012: 6). Mais wird, neben tierischen Abfallprodukten (Gülle), aufgrund des hohen Feldertrages und der Methanausbeute in der Biogasanlage im Vergleich zu anderen etablierten Energiepflanzen, auch im Raum Freiberg eingesetzt.

Aufgrund des etablierten konventionellen Anbausystems von einjährigen Energiepflanzen (z.B. Mais, Raps) in Sachsen, ist ein Ziel im Rahmen des Projektes RekultA, dass seit Jahrzehnten getestete Anbausystem von mehrjährigen Energiepflanzen im Institut für Ökotoxikologie, auch auf Versuchsflächen im Klima des Freiberger Raumes zu untersuchen.

Dabei sollen innovative mehrjährige Energiepflanzen neben dem Wachstumsverhalten, dem Schwermetallaufnahmevermögen und die Ertragshöhe auf die Einsparung von Klimagasemissionen untersucht werden.

Die konkrete Höhe der Treibhausgasemissionen ist abhängig von der Energiepflanze, dem Anbau- u. Ernteverfahren, Betriebsmitteleinsatz (z.B. Kraftstoffe), Logistik, Lagerung und der Verwertung (Mühlenhoff 2011: 8).

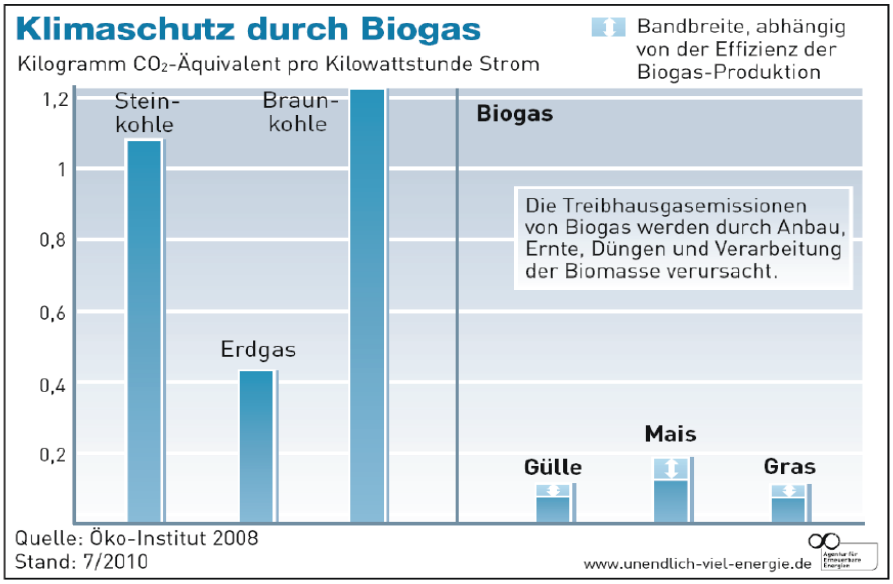


Abbildung 5 Vergleich fossiler Energieträger und Energiepflanzen bzgl. CO2-Äquvalent (Mühlenhoff 2011: 11)

Die Energiepflanze Mais hat jedoch, laut Abbildung 6, im Vergleich zu Gras ein höheres CO_2-Äquivalent. Ein bedeutender Einflussfaktor ist der Einsatz von mineralischem Dünger, welcher in der Herstellung sehr energieintensiv ist und mit einer hohen CO_2-Freisetzung verbunden ist. Bei einer mehrjährigen KUP-Plantage ist eine marginale Düngermenge notwendig und deshalb geringe Treibhausgasemissionen vorhanden (Lewandowski 2012). Bei einjährigen Energiepflanzen besteht im Vergleich zu den Mehrjährigen, aufgrund der intensiveren Bodenbearbeitung und damit Mineralisation sowie des erhöhten Kraftstoffeinsatzes, eine schlechtere CO_2-Äquivalente (Kern 2009:8-11).

Mit den erzielten Erträgen ist der Mais derzeit die wirtschaftlichste Energiepflanze zur energetischen Verwertung in einer Biogasanlage. Weiterhin ist Mais gut silierbar, kann sowohl als Nahrungs- als auch Futtermittelpflanze verwendet werden und ist damit gut zu vermarkten (Thiel 2011). Bei den etablierten konventionellen Anbausystem ist der Vorteil, dass die Landwirte mit dem Anbausystem u. der -technik dieser Energiepflanzen vertraut sind und diese in den meisten Landwirtschaftsbetrieben einen festen Bestandteil im Pflanzenbaumanagement haben.

In den letzten Jahren ist ein Anstieg der Maisanbauflächen in einigen Regionen Deutschlands zu verzeichnen (LfULG 2012: 6). Mit dem Anstieg sind Nachteile verbunden (u.a. erhöhte Ausbreitung von Schädlingen/Krankheiten, hohes Wildschadenrisiko, Minderung der Biodiversität, hoher Einsatz von Düngemitteln/Pestiziden, Nitratauswaschung im Grundwasser und erhöhte Erosionsgefahr), dadurch wird vermehrt eine Diskussion über den Einsatz von alternativen Energiepflanzen geführt. Im Bannewitzer Raum (bei Dresden) besteht aufgrund des Auftretens des Westlichen Maiswurzelbohrers in einer Befallszone (einen Kilometer um den Fundort herum) ein zweijähriges Anbauverbot von Mais (Hollenbach 2012: 13). Dies führt zu erhöhten Kosten (Hollenbach 2012: 13).
Die Regierung hat auch ihre Förderinstrumente an die aktuelle Maisflächenentwicklung angepasst und im EEG 2012 einen sog. „Maisdeckel“ eingeführt. Unter bestimmten Bedingungen darf bei neuen Biogasanlagen Mais nicht mehr als 60 % Anteil an den Einsatzstoffen haben (EEG 2012). Weiterhin wird im Rahmen des EEG 2012 in der neuen Biomasseverordnung ein Aufschlag bei der Einspeisevergütung erreicht, wenn bestimmte Pflanzen für die Biogaserzeugung angebaut und eingesetzt werden, wie z.B. die Durchwachsene Silphie. Diese wird in die Einsatzvergütungsklasse II eingeteilt und bei Einsatz in der Biogasanlage wird damit ein Zuschlag von 2 Cent/kWh erreicht (Biomasseverordnung 2012).

Mehrjährige Energiepflanzen sind für die energetische Verwertung in den Fokus gerückt, weil einige Nachteile vom Maismonokulturanbau nicht vorhanden sind. Die mehrjährigen innovativen Energiepflanzen (z.B. Weide- u. Pappelplantagen oder Durchwachsene Silphie) können meist auch auf marginalen Flächen angebaut werden und tragen damit zu einer geringen Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion bei. Schädlinge und Pflanzenkrankheiten beispielsweise sind nur vereinzelt bekannt, somit ist vergleichsweise wenig Einsatz von Pestiziden notwendig (Kuhn et al. 2009).
Zwar kann der Aufwand und die Anlagekosten im Aussaat- bzw. Pflanzjahr höher sein als bei einjährigen Pflanzen, auch um alle notwendigen pflanzenbaulichen Maßnahmen (Saatgut/Pflanzgutbeschaffung, Pflanzung, Düngung, stetige Unkrautkontrolle u. Unkrautregulierung) in das bestehende Management einzuordnen und zusätzliche Arbeitskräfte bereitzustellen, um Bestandsausfälle zu vermeiden. Jedoch ist bei einem etablierten mehrjährigen Bestand ein geringer Herbizideinsatz ausreichend und Ernten mehrere Jahre lang möglich. Die einmalige Ernte im Jahr bzw. aller drei-vier Jahre bietet Vögeln und anderen Tieren genügend Lebensraum als Bruthabitat und Nahrungsquelle und ermöglicht eine höhere Biodiversität, z.B. auch als Bienenweide (Thiel 2011). Die tendenziell extensivere Bewirtschaftung führt aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung zu einem tiefgreifenden weitverbreitenden Wurzelsystem, welches die Erosionsgefahr beispielsweise in Hanglagen vermindert (Lewandowski 2012). Zukünftig können durch intensivere Züchtung, wie z.B. der durchwachsenen Silphie, die Energieerträge erhöht, Trockentoleranz und Nährstoffeinsatz

verbessert werden und damit bis zu 30 % mehr Ertrag in den nächsten 10 Jahren erzielt werden (Lewandowski 2012).

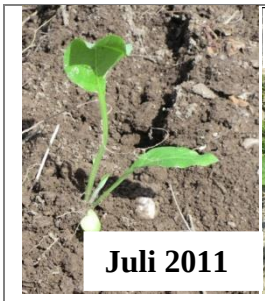
Bei innovativen Energiepflanzen ist es wichtig, sich schon vor der Neuanlage eines Bestandes über die Verwertung und die damit verbundenen regionalen Märkte sowie Abnehmer zu informieren. Bei Kurzumtriebsplantagen und Miscanthus war es teilweise in den letzten Jahren schwierig Verwerter zu finden, welche bereit sind einen angemessenen Preis zu zahlen, um mindestens die Kosten zu decken (Stange 2013). Bei der energetischen Verwertung von lignocellulosehaltigen Biomasse zu flüssigen und gasförmigen Brennstoffen sind die technischen Verfahren bisher aufwendig und teuer.). Am idealsten wird das Ernteprodukt im eigenen Betrieb verwertet.
Im Folgenden werden die angebauten Energiepflanzen (Durchwachsene Silphie, Rohrglanzgras, Miscanthus und Szarvasi) detaillierter in Steckbriefen erläutert:

2.2.1 Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*)

Aufgrund der ersten Forschungsergebnisse von der TLL (Ertrag und Methanertrag in der Biogasanlage vergleichbar mit Mais) rückte die Durchwachsene Silphie in den Fokus der Energiepflanzenzüchtung und des -anbaus für die Biogaserzeugung (Vetter u.a. 2010: 15).
Für die Agrargenossenschaften im Raum Mittelsachsen bietet diese Energiepflanze eine potentielle Alternative zum Maismonokulturanbau durch geeignete Standortansprüche (trockentolerant, frosthart), vergleichbaren Ertrag, geringe Schwermetallaufnahme und als Erosionsschutz aufgrund des tiefreichenden Wurzelwerkes mit Speicherwurzeln (Geißendörfer 2012a, Sauer 2011).

Tabelle 5 Kurzcharakteristik der angebauten Energiepflanzen

Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*)	
Botanik	Ausdauernder Korbblütler
Wachstumsverlauf	Nach Pflanzung/Aussaat bildet die mehrjährige Silphie im Anpflanzjahr langsam eine bodenständige Rosette mit 3-10 Stängeln, deshalb sollte auf unkrautunterdrückende Maßnahmen geachtet werden. Das oberirdische Pflanzenmaterial stirbt im Winter ab und treibt im Frühjahr neu aus. Ab dem 2. Standjahr hochwachsende Staude, ab April-Juni, 1,80-3,00m hohe Stängel, leuchtend gelbe ca. 6-8 cm breite Blütenköpfe ab Juli bis September, im September beginnt die Samenreife, Ernte im August/September mit Häcksler, danach erneuter Austrieb der Pflanze
Wachstumsverlauf der Durchwachsenen Silphie auf den RekultA-Versuchsflächen	



Standortansprüche	Ist anspruchslos (bis 600 NN und ab AZ 25), winterfest und trockentolerant, durch die becherförmige Blattstellung ist es möglich Wasser zu speichern (Silphie wird auch als Becherpflanze bezeichnet)
Bodenvorbereitung	Tiefgehende Bodenbearbeitung, feinkrümeliges Saatbett
Fruchtfolge (Verträglichkeit)	Vorfrucht Raps wegen erhöhtem Sklerotinia-Risiko nicht empfehlenswert. Durch den späten Pflanztermin ist es möglich ein früh erntebares Wintergetreide anzubauen, als Nachfrucht sollte Getreide gesät werden um Durchwuchs zu bekämpfen
Aussaat	
Aussaattermin	Mitte April bis Mitte Mai

Bestandsdichte	12 bis 15 keimfähige Samen/m²
Pflanzung	
Pflanzzeit der Jungpflanzen	Mitte Mai/Anfang Juni
Pflanzung	Gartenbau-Pflanzmaschine /Pflanzenrillenfräse oder händisch
Pflanztiefe	Ballentiefe
Bestandsdichte	4 Pflanze/m²
Reihenabstand	0,5 m
Abstand in der Reihe	0,5 m
Bestandsführung	
Düngung	130-160 kg/N/ha, 25-30 kg/ha P_2O_5, 150-200 kg/ha K_20, 50-70 kg/ha MgO,200 -250 kg/ha Ca, Einsatz von Gülle und ausgefaulten Substraten ist möglich
Pflanzenschutz	-Im 1. Standjahr hohes Verunkrautungspotential durch langsame Jugendentwicklung (bildet nur eine grundständige Blattrosette) -Derzeit keine Zulassung von Pflanzenschutzmitteln
Pflanzenhöhe	Hochwachsende Staude ab dem 2. Standjahr:(1,80-3,00 m)
Krankheiten/Schädlinge	Keine bekannt, Pflanzenkrankheiten: in Abhängigkeit der Vorfrucht Raps event. Sclerotinia, Cladosporium-Arten traten ohne Einfluss auf den Ertrag auf, Botrytis kann durch Wasser in den Kelchblättern auftreten.
Unkrautbekämpfung	Derzeit liegt der Fokus auf der bedarfsgerechten mechanischen Unkrautbekämpfung z.B. durch Maschinenhacke Chemische Unkrautbekämpfung: keine Pflanzenschutzmittel zugelassen, nach Genehmigung bei Pflanzung: Boxer als Vorauflauf + Stomp SC als Nachauflauf bzw. beide Pflanzenschutzmittel im Nachauflauf und dann noch die Maschinenhacke ca. 14 Tage später Nach Aussaat (noch nicht ausreichende Erkenntnisse): „Kerb 400 SC“ sehr gute Wirkung (TLL Studie 2010, Seite 28), im Nachauflauf Stomp aqua (4,0l/ha)
Ernte und Nutzung	
Nutzungsdauer	Ca. 15-20 Jahre
Ernte	Ab einem TS-Gehalt zwischen 26-28 %, Jährlich ab dem zweiten Standjahr mit einen gewöhnlichen Mais-Feldhäcksler
Qualität des Erntegutes	TS-Gehalt: 25-30 % (Zeitraum: September)
Erträge	130- 200 dt TM/ha
Verwertung	Als Silage in der Tierfütterung z.B. für Rinder oder Hasen (bei zweimaliger Beerntung pro Jahr), als Silage in der Biogasanlage
Flächenbereinigung	
Vorgehensweise	Totalherbizid, tiefgreifende mechanische Bodenbearbeitung Geeignete Nachfrucht: Getreide (als Durchwuchsbekämpfung)

Quellen: (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2008), (Vetter 2010), (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2012), (LfULG 2012: 43-46), (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2013)

Die durchwachsene Silphie wurde im Jahr 2012 auf ca. 300 ha in Deutschland, aufgrund des Maisdeckels auf 60% im EEG 2012 und der höheren Vergütung der Silphie durch die Einordnung in Einsatzstoffklasse II, angebaut. (TLL 2013: 5). Im Jahr 2013 wird mit einem Anstieg von 80-100 ha gerechnet (TLL 2013: 70).

Für die Hanglagen im Erzgebirgsvorland ist die Silphie zur Verminderung der Bodenerosionen, aufgrund des tiefgreifenden Wurzelsystems geeignet. Die lange Blühdauer von bis zu zwei Monaten bietet eine gute Nahrungsquelle für Insekten und Bienen. Das Invasionspotential ist gering durch nicht vorhanden Rhizome oder Ausläufer (LfULG 2012: FNR: 43).

Derzeit wird die Silphie als Jungpflanze auf den Acker ausgebracht aufgrund des geringeren Risikos für die Bestandsetablierung. Der Vorteil liegt in der zügigen Etablierung der Pflanze, andererseits ist dieses Verfahren mit sehr hohen Kosten verbunden. Eine Pflanzmaschine ist nicht gewöhnlich auf einen Landwirtschaftsbetrieb vorhanden, so dass ein erhöhter Managementaufwand notwendig ist. Die Versuche mit Drillsaat von der TLL, in Kooperation mit der Firma Chrestensen, befinden sich noch im Forschungsstadium auf der Schwelle zu Marktetablierung. Dabei liegen die Probleme im Kältereiz der Samen als Voraussetzung für eine Keimung und die langsame Jugendentwicklung mit der Folge des hohen Verunkrautungspotentials. Zukünftig wird sich die kostengünstigere Drillsaat der durchwachsenen Silphie durchsetzen.

Weiterhin wird an neuen Anbausystemen mit Untersaat geforscht. Aufgrund der Tatsache, dass die durchwachsene Silphie im ersten Standjahr keinen Ertrag erbringt, ist die Untersaat mit einer Deckfrucht möglich. Die TLL hat Sudangras „Susu“ und Hirse „Friggo“ mit einem Reihenabstand von 75 cm gesät. Dieses Anbauverfahren erreichte, über drei Standjahre sowie an optimalen Standort- u. Klimastandorten gerechnet, einen höheren Gesamtertrag als eine reine Silphiepflanzung (Vetter 2010: 21)

2.2.2 Chinaschilf (*Miscanthus giganteus*)

Chinaschilf kann energetisch zur Verbrennung oder stofflich und damit vielseitig genutzt werden. In Sachsen hat die LfULG jahrzehntelange Erfahrungen und mehrere Versuchsflächen mit unterschiedlichen Sorten, jedoch nicht im Freiberger Raum (Röhricht 2008). Durch die positiven Ergebnisse von der LfULG sind RekultA-Versuchsflächen mit Chinaschilf angelegt wurden.

Tabelle 6 Kurzcharakteristik von Miscanthus

Chinaschilf (*Miscanthus giganteus*)

Botanik	Ausdauerndes Süßgras, C4-Pflanze, hohe photosynthetische Leistung bei optimaler Lichtsättigung, dabei trockentolerant (250 l Wasser/kg TS)
Wachstumsverlauf	Miscanthus wird als Rhizom oder Jungpflanze im April ausgebracht, um genügend Zeit für die Einlagerung von Reservestoffen für den Winter zu haben. Der erste Winter ist am kritischsten (bzgl. Ausfallrate), im 2. Standjahr ist Düngung wichtig um im Februar des 3. Standjahres das erste Mal den Miscanthus zu ernten. Danach ist eine jährliche Beerntung möglich.

Standortansprüche	Tiefgründige, gut durchwurzelbare humose Lehmböden mit guter Wasserführung und guten Nährstoffspeichervermögen, Niederschläge: 500-600 mm in der Vegetationszeit, mittlere Jahrestemperatur über 8 °C, Standorte mit häufigen Spätfrösten, Frühfrostgebiete, kältestauende Tallagen und Nordhänge scheiden aus, zügige, gleichmäßige Abreife im Herbst
Fruchtfolge (Verträglichkeit)	Keine Besonderheiten bekannt
Bodenvorbereitung	Tiefgehende Bodenbearbeitung, feinkrümeliges Saatbett
Rhizome	
Aussaatzeit	April
Bestandsdichte	1,2-1,5 Rhizome/m² (12.000-15.000 Rhizome pro ha)
Qualität	Sehr wichtig bei den Rhizomen ist eine sehr gute Qualität: Optischer Eindruck, Zahl der Augen (mind. 15 Augen die austreiben), Größe und Gewicht (44-98 g in frischem Zustand mit Erde), Alter des Bestandes, Bewurzelung der Rhizome
Pflanzung	
Pflanzzeit der Jungpflanzen	Mitte April bis Mitte Mai mit Niederschlägen innerhalb von zwei Tagen und optimaler Bodentemperatur von 10 °C
Pflanzung	1 Pflanze/m²
Pflanztiefe	Ca. 5-15 cm

Bestandsdichte	1 Pflanze/m²
Reihenabstand	0,8- 1,0 m
Abstand in der Reihe	0,7-1,0 m
Bestandsführung	
Düngung	Im Pflanzjahr: keine Düngung empfehlenswert, um die Abreife der Pflanzen nicht zu verzögern und die Auswinterungsgefahr zu erhöhen. Im ersten Standjahr vor dem Austrieb: 70 - 100 kg/ha N, 40 - 60 kg/ha P2O5, 80 - 150 kg/ha, K2O und bis zu 30 kg/ha MgO empfohlen um das Wachstum anzukurbeln. In den folgenden Jahren nach der Ernte und vor dem Austrieb ca. 60 – 80 kg N, 10 – 20 kg P2O5, 80 – 100 kg K2O je nach Entzug
Pflanzenhöhe	2,5-3,0 m
Krankheiten/Schädlinge	Keine bekannt
Unkrautbekämpfung	Mechanische Unkrautbekämpfung durch Rollhacke Chemische Unkrautbekämpfung: Pflanzenschutzmittel mit allgemeiner Zulassungsverordnung (seit 2012) oder über Einzelfallgenehmigung: Arelon Top (3,0 l/ha), Lentagran WP (2,0 l/ha), Certrol B (1,5 l/ha), U46 M-Fluid (1,5 l/ha), Cato (50 g/ha), Harmony (2 x 5 g/ha)
Ernte und Nutzung	
Nutzungsdauer	max. 25 Jahre
Ernte	Jährlich ab dem dritten Standjahr (Januar-März); Gerät: je nach Verwendung ein gewöhnlicher Maishäcksler
Qualität des Erntegutes	Feuchte unter 20%, TS: 80-85% (die Blätter sollten größtenteils abgefallen sein)
Erträge	realistisch ab dem dritten Standjahr sind 18-20 t TM/ha*a, für Kippenrekultivierungsböden 8-10 t TM/ha*a
Verwertung	Energetisch: Verbrennung der Miscanthus- Hackschnitzel (rechtliche Grundlagen wie Getreidestroh 1. BImSchV und 4.BImSchV für Feuerungswärmeleistungen 0,1-50 MW, Problem: Chlor (HCL- Emission) und Kaliumgehalt (Ascheschmelzen))
	Stofflich: Herstellung von Faser- und Spanplatten, Häckselgut als Bauzuschlagsstoff für Leichtbetonteile und Lehmputze (gute Wärmedämmwerte: 0,03-0,04 W/m*K), Miscanthusfaserbündel als Bauteile für Thermoplaste und Glasfasern, Stängel zur Eindeckung von Dächern, Herstellung von Torfersatzstoffen und Mulchsubstrat, hoher Siliziumgehalt (Rohstoff für hochreine Siliziumverbindungen), als Tiereinstreu
Flächenbereinigung	
Vorgehensweise	1-2 x Fräsen, Gerät: Tieffräse (40 cm, 1,2km/h), Spritzmittel anwenden, mehrmals mit Round Up bis keine Rhizome mehr treiben

Quellen: (Kühn 2011), (Thiel 2011), (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2010:52-54), (Röhricht 2006), (TFZ o.J.), (Eißrich 2011)

Im ersten Standjahr ist auf intensive Unkrautbekämpfung zu achten. Der erste Winter ist der kritischste, d.h. hohe Ausfälle durch langanhaltenden Frost und tiefen Temperaturen sind möglich. Vorbeugende Maßnahmen sind eine frühe Pflanzung um die Pflanzen ausreichend zu etablieren (April/Mai), eine geringe Düngung, Unkrautbeseitigung und ausreichend tiefe Pflanzung, damit sich die Wurzeln in tieferen Bodenschichten ausreichend ausbilden können (Eißrich 2011).
Im zweiten Standjahr ist eine ausreichende Düngung und Unkrautbekämpfung für einen optimalen Wachstumsverlauf notwendig. Im Winterhalbjahr des dritten Anbaujahres ist eine Ernte bei Bodenfrost sinnvoll, um die Befahrbarkeit des Ackers zu gewährleisten. Die Pflanzenstengel sollten abgestorben und entblättert sein sowie noch nicht wieder ausgetrieben (Röhricht 2006).

Im Rahmen des Projektes RekultA wurden drei unterschiedliche Miscanthussorten angebaut: Miscanthus Giganteum, die Mehrklonsorte Nagara und Ilka.
Die Sorte Miscanthus Giganteum wird als besonders ertragreich beschrieben. Sie bildet sehr hohe Bestände und kräftige Stengel mit hohen Lignin- und Zellulosegehalten und ist daher für die energetische Verwertung geradezu prädestiniert (Dany 2011).
Ähnliche Erträge sind bei der Sorte „Nagara“ laut Vermehrer mit Erträgen von 20-25 t TM/ha bei der Ernte am Ende des Winters bzw. zu Frühjahrsbeginn möglich. Eine Vermehrung erfolgt über Rhizome und Achselknospen und im Vergleich zu den anderen Sorten besitzt diese eine hohe Standfestigkeit und starke Halme (Tinplant Biotechnik und Pflanzenvermehrung GmbH 2011). Die Sorte Ilka ist in ihren Eigenschaften ebenfalls mit Gigantheum vergleichbar.

2.2.3 Rohrglanzgras(*Phalaris arundinacea*)

Im Rahmen des Projektes „RekultA“ ist ein Saat- bzw. Pflanzgutaustausch vorgesehen. Der Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e.V. hat dem Projektpartner–Institut für Pflanzenbau in Prag- die durchwachsene Silphie und drei Sorten von Miscanthus aus Deutschland zur Verfügung gestellt. Im Gegenzug wurde das Rohrglanzgras der Sorte „Palaton“ und „Chrastava“ zur Aussaat im Freiberger Raum getauscht.

Rohrglanzgras (lat. *Phalaris arundinacea*, engl. *Reed Canary Grass*)	
Botanik	Ausdauerndes Gras, Pflanzenfamilie: Poaceae (Süßgräser), bildet direkt unter der oberen Bodenschicht graugrüne, kriechende schuppige, segmentierte Rhizome. Langsame Jugendentwicklung. Die Halme sind aufrecht, fest, glatt und an der Basis schuppig. Die dunkelgrünen Blätter sind 10-35 cm lang und haben eine 0,6-2 cm breite, flache und lang zugespritzte Spreite. Die Samen sind ca. 1,7 mm groß und haben ein TKG von 0,8 g.
Wachstumsverlauf	Langsame Jugendentwicklung nach Aussaat im ersten Jahr, deshalb Herbizideinsatz notwendig. Frostresistent, nach Düngung

	im Frühjahr ein bis zweimalige Ernte, je nach Verwertungrichtung, im zweiten Standjahr möglich.
Juli 2011 August 2011 März 2011 Mai 2011	
Standortansprüche	wächst auf feuchten und nährstoffhaltigen Böden (mesoeutrophe Standorte z.B. Gewässerufern, auf feuchten Wiesen und Auenwäldern), ist überflutungstolerant. Es ist eine hygrophile Pflanze, die keine Trockenheit verträgt (Mesohygrophyt). Rohrglanzgras ist bis ins Hochgebirge vorhanden, weil es sehr widerstandsfähig gegenüber ungünstigen klimatischen Bedingungen ist (unempfindlich gegenüber Kahl- oder Spätfrösten), bevorzugt nährstoffreiche Böden mit pH-Werten von 4 bis 7,5
Fruchtfolge (Verträglichkeit)	Anspruchslos (bevorzugt u.a. mit Stahlmist gedüngte Hackfrüchte)
Bodenvorbereitung	feines Saatbett
Aussaat	
Zeitpunkt	Frühjahr bis Spätsommer (zeitiges Frühjahr ist der optimalste Aussaattermin), ist winterhart
Aussaatmenge	20-25kg/ha
Saattiefe	1-2 cm
Bestandsführung	
Düngung	Jährliche Düngung vor Vegetationsbeginn und nach Ernte im Juli, N-Düngung bis max. 100 kg/ha,10 kg P_2O_5, 30 kgK_20 (hoher Kaliumbedarf), 30 kg/ha P (bei einem Ertragszuwachs von 10 t TM/ha)
Krankheiten/Schädlinge	Pflanzenkrankheiten: ähnlich wie bei Gräsern Schneeschimmel, Rost oder Blattflecken, Schädlinge sind in der Schadwirkung unbedeutend
Unkrautbekämpfung	Mechanische Unkrautbekämpfung: Reihenhacke oder Striegel Chemische Unkrautbekämpfung: Herbizideinsatz im Etablierungsjahr möglich, nur Spritzmittel gegen

	zweikeimblättrige Pflanzen, in den folgenden Jahren nicht mehr notwendig
Ernte und Nutzung	
Pflanzenhöhe	50 – 300 cm
Maschinen	Gewöhnlicher Mais-Feldhäcksler (zur Biogasgewinnung/Futternutzung: danach silieren), nach der Blüte Ernte mit hohen mechanischen Verschleiß an Maschinen
Ernte	Je nach Verwendung - zur Verbrennung im Winter (Wassergehalt ca. 15 %) aber hohes Risiko von „umgekipptem“ Bestand durch Schneebedeckung, Wind oder Regen. -Zum Einsatz in Biogasanlagen oder als Futterpflanze bis zu dreimal jährlich (je einmal im Juli und im Ende August/September vor Blühbeginn, Wassergehalt 65-75%)
Qualität des Erntegutes	Je nach Verwertung TS- Gehalt [% FM] 25-30 oder 65-75
Erträge	3,5-22 t/TM/ha
Verwertung	-Energetisch: zur Verbrennung (Heizwert: Ø 16,9 MJ/kg TM), zur Verarbeitung als Pellet oder Brikett -Rohstoff in Biogasanlagen (490 – 570 l kg^{-1} oTM Biogas, 260–316 l kg^{-1} oTM Methan) -Tierfuttermittel - Einsatz in Retentionsbodenfiltern als Alternative zum Schilf
Nutzungsdauer	ca. 10 Jahre
Flächenbereinigung	
Vorgehensweise	Rohrglanzgras bildet unterirdische Ausläufer (deshalb Fräsen und geeignete Folgefrucht aussuchen), d.h. im ersten Schritt 1-2 x Fräsen mit einer Tieffräse (ca.40 cm tief bei 1,2 km/h), im darauffolgenden Schritt Pflanzenschutzmittel anwenden (Round up) und geeignete Nachfrucht (z.B. Gras oder Kleegras, welches oft geschnitten wird) wählen

Quellen: (LfL Pflanzenbau o.J.), (Honzik 2011), (Pankratius 2010), (Kaltschmitt 2009: 98), (Wichmann 2009), (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2011), (Gröblinghoff et al. 2007: 164), (Ust'ak et al. 2012), (Holthuis 2010), (Förster et al. 2013)

In den nordeuropäischen Ländern (insbesondere Finnland, Norwegen, Schweden und Irland) wird die Rohrglanzgrassorte „Palaton“, vorrangig für die Verbrennung oder Herstellung von Pellets/Briketts, in größerem Umfang von mehreren zehntausend Hektar angebaut. Dabei hat die Rohrglanzgrassorte „Palaton“ in Europa die stärkste Verbreitung (Ust'ak et al. 2012: 6, (Pankratius 2010).

In Deutschland finden der Anbau und die energetische Verwendung des Rohrglanzgrases bisher in keinem nennenswerten Umfang auf Ackerflächen statt. Forschungsprojekte hatten den Fokus auf feuchten Böden bzw. Grünland, wie z.B. Feuchtwiesen und Niedermoore. Aus diesem Grund sind fundierte Daten zum Anbau auf Ackerflächen und der Verwertung nicht verfügbar. Rohrglanzgras eignet sich für einen Anbau auf kontaminierten Böden sehr gut, weil es keine Schadstoffe aus dem Boden aufnimmt und somit einen sauberen Brennstoff liefert (Pankratius

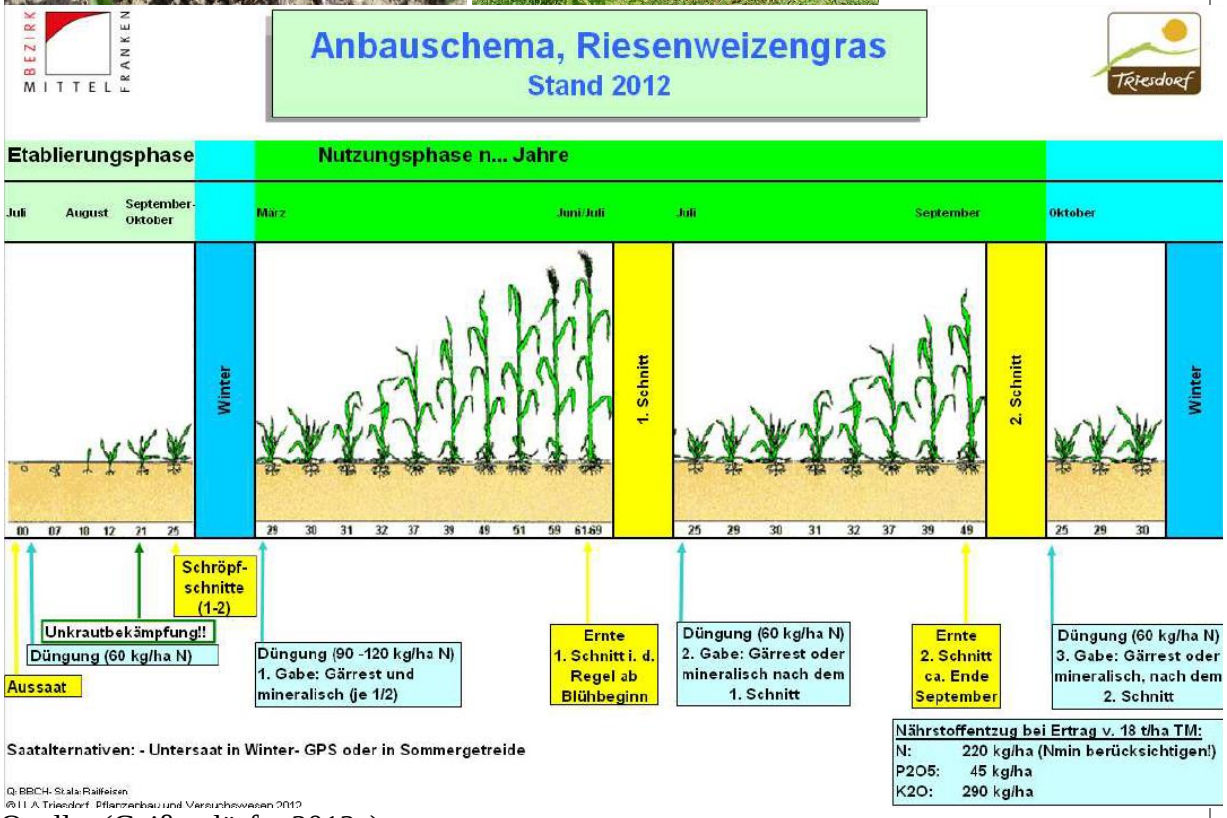
2010). Eine weitere Nutzungsmöglichkeit ist in Biogasanlagen oder als Futterpflanze möglich. Aufgrund der schädlichen Auswirkungen auf die Tiere als Futtermittel wurden Sorten mit einem sehr geringen DMT-Gehalt gezüchtet und in den letzten Jahren eingesetzt (Pankratius 2010). Rohrglanzgras wird über Saatgut vermehrt. Der Nachteil ist, dass weltweit keine stabile Saatgutvermehrung vorhanden ist. Das Korn sitzt sehr locker, somit ist die Ausfallgefahr hoch und durch die unterschiedliche Körnerabreife mit hohem Aufwand verbunden (Förster et al. 2013). Die EU-Sortenliste beinhaltet sieben rechtlich geschützte Sorten, weitere zehn Rohrglanzgrassorten sind in einzelnen nationalen Sortenlisten vorhanden (in Tschechien z.B. die Sorte „Chrastava“, die höchste Anzahl mit 5 Sorten in Norwegen und Russland). Die weltweite Sortenliste registriert 23 Rohrglanzgrassorten, davon wird u.a. Pedja (EST), Lakeside LA (NE-USA) und Ural (RU) am häufigsten angebaut. (Ust'ak et al. 2012: 6). In einem deutschen Verbundprojekt wird aktuell an der Uni Halle über „Rohrglanzgraszüchtung und –vermehrung“ geforscht, um optimale Rohrglanzgrassorten für eine energetische Nutzung in Biogasanlagen zu identifizieren (Förster et al. 2013). Besonders für Flächen mit hohen Überschwemmungsrisiko durch z.B. Fluten wie in 2002 und 2013 ist das Rohrglanzgras geeignet. Durch die hohen Erträge bei zwei Schnitten im Jahr und Toleranz gegenüber feuchten Standorten ist das Rohrglanzgras als Einsatzstoff bei Biogasanlagen interessant. Forschungsbedarf besteht beim Vergleich von Biogaserträgen unterschiedlicher Rohrglanzgrasherkünfte bei optimalen Schnittzeitpunkt und bei der Züchtung einer höheren Methanausbeute pro kg oTM (Förster et al. 2013)

2.2.4 Riesenweizengras(*Elymus elongatus*)

Erste Ergebnisse vom Riesenweizengrasanbau am Landwirtschaftlichen Bildungszentrum in Triesdorf sind bzgl. Methanausbeute- u. erträge bei der Biogaserzeugung im Vergleich zum Mais, vielversprechend (Geißendörfer 2012a). Die Ertragshöhe im Freiberger Raum wird auf den RekultA-Versuchsflächen geprüft.

Riesenweizengras (Elymus elongatus), weitere Bezeichnungen: Ungarisches Energiegras, Steppen-, Hirsch-,Szarvasigras	
Botanik	C3-Pflanze, mehrjährige Queckenart, Familie der Süßgräser mit elastischen Halmen, die jedoch zur Verholzung neigen, Verbreitungsgebiet: Südwesteuropa bis zu den Steppen in Westasien
Wachstumsverlauf	Das Saatgut des Riesenweizengrases wird durch Drillsaat im Frühjahr oder Spätsommer ausgebracht und benötigt einen Kältereiz (Vernalisation). Bei einer Aussaat im Frühjahr können nur Schröpfschnitte geerntet werden, welche die Bestockung anregen. Deshalb ist aus wirtschaftlicher Sicht eine Aussaat zwischen Juli und September zu empfehlen, denn dann ist vorher Rapsanbau- u. ernte möglich. Es besitzt eine sehr langsame Jugendentwicklung und ist empfindlich gegenüber Konkurrenz, deshalb sind mehrere

	Schröpfschnitte im Herbst oder Frühjahr vor der Schossphase zu empfehlen. In dieser Zeit ist das Gras auch bis zum 3-Blatt-Stadium frostempfindlich, danach winterhart und trockenresistent. Eine Pflanzenschutzmaßnahme ist erst ab dem vierten Blatt möglich, davor reagiert das Riesenweizengras überdurchschnittlich empfindlich gegenüber Herbizideinsätzen Im Frühjahr ist eine Düngung von 120 kg N/ha zu Vegetationsbeginn möglich. Ansonsten können zwei Ernten im Jahr (Juni - spätestens bei Blühbeginn) mit einem Feldhäcksler durchgeführt werden. Eine Düngung von ca. 60 kg/N nach jeder Ernte wird empfohlen.



Quelle: (Geißendörfer 2012a)

Standortansprüche	Anspruchslos, ist frost- und trockentolerant aufgrund des tiefgründigen und weitverzweigten Wurzelsystems, damit wird

	der Zugang zu den Wasserreserven des Bodens ermöglicht und Bodenerosionen vermindert; geeignet sind auch schwere Böden und raue Lagen
Fruchtfolge (Verträglichkeit)	Keine Besonderheiten bekannt
Bodenvorbereitung	Flache Bodenbearbeitung (aufgrund der geringen Saattiefe von 1 cm werden die Kapillaren nicht unterbrochen), feines krümeliges Saatbett
Aussaat	
Zeitpunkt	Frühjahr bis Spätsommer
Aussaatmenge	Frühjahrsaussaat:30 kg/ha, Spätsommeraussaat 20-25 kg/ha
Saattiefe	1-2 cm, Saatbett nach Aussaat walzen(Bodenschluss erzeugen)
Bestandsentwicklung	
Düngung	Im Frühjahr: Startgabe von 90-120 kg/ha (mineralischer Dünger, Gärrest oder Gülle) und 60-90 kg N/ha nach jeder Ernte möglich, im Herbst nochmal eine Gärrestgabe möglich Das Riesenweizengras hat einen hohen K-Bedarf von 290 kg/ha (wird meist durch Gärrest abgedeckt), auf zusätzliche P-Düngung kann verzichtet werden.
Pflanzenhöhe	hoch wachsendes Gras bis zu 2,5 m
Krankheiten/Schädlinge	Pflanzenkrankheiten: ähnlich wie bei Gräsern Schneeschimmel, Rost oder Blattflecken
Unkrautbekämpfung	- Herbizidmaßnahmen im Ansaatjahr sind unbedingt durchführen, Vor Spritzmitteleinsatz Ausnahmegenehmigung beim Landwirtschaftsamt holen! nach Auflauf: kein Pflanzenschutz vor 4-Blatt-Stadium, Auswahl verträglicher Herbizide: Tristar (1,0-1,5l/ha), Duplosan KV mit 2,0 l/ha + Primus (75 ml/ha), Ralon Super mit 0,8 l/ha + Concert SX (40 g/ha) gegen Hirse Traxos (1,2 l/ha): Wirkung gegen Ackerfuchsschwanz, Windhalm und Weidelgras - Schröpfschnitte: bei einer Wuchshöhe von ca. 12 cm um Bestockung anzuregen und den Unkrautdruck zu minimieren (im Herbst oder Frühjahr vor Schossen) bei 5 cm Schnitthöhe mit Mähtechnik (kein Mulchgerät)
Ernte und Nutzung	
Nutzungsdauer	ca. 10 Jahre, aufgrund der Beibehaltung des Ackerstatus sollte das Gras nach 5 Jahren umgebrochen werden
Ernte	Enges Erntefenster (28-31 %TS, 10 % TS-Zunahmen von einer Woche möglich), es sind 2 Ernten im Jahr möglich (Ende Juni und September) mit einem gewöhnlichen Feldhäcksler mit Schneidwerk (Schnitthöhe bei 8-10 cm) und einer Häcksellänge von 10-20 mm.
Qualität des Erntegutes	Bei voller Rispe, bei ca. 28-49 % TS
Erträge	Die Versuche in Triesdorf mit der Riesenweizengras-Sorte „Szarvasi 1“ haben einen Ertrag von Ø 18 t TM/ha und eine Methanausbeute von 324 l/kg oTS bei einem TS-Gehalt von

	35,7% erreicht (vergleichbar mit Mais Ø16 t TM/ha und einer Methanausbeute von 318,5 l/kg oTS bei einem TS-Gehalt von 33 %)
Verwertung	- Als Silage in der Biogasanlage, - stoffliche Nutzung z.B. in der Papierindustrie, auch als Futterpflanze geeignet
Flächenbereinigung	
Vorgehensweise	Mechanische Bodenbearbeitung und Herbizideinsatz

Quellen: (BSV-Saaten 2013), (LfULG 2012: 47), (Geißendörfer 2012a), (Geißendörfer 2012b), (Geißendörfer 2012c),

„Szarvasi 1“ ist eine geschützte Riesenweizengras-Sorte von der „ungarischen Gemeinnützigen Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft für Landwirtschaft“ und wird weltweit angebaut (Geißendörfer 2012 a). Somit sind Praxiserfahrungen vorhanden und die Empfehlungen wurden entsprechend der gewonnen Erkenntnisse angepasst. In den USA und Ungarn wurde das Riesenweizengras züchterisch bearbeitet, daraus sind unterschiedliche Sorten entstanden, wie z.B. „Alkar“ oder „Jose“, von denen noch eine im Zulassungsverfahren ist (Geißendörfer 2012c: 55). Durch Feldversuchprojekte, z.B. im Landwirtschaftlichen Bildungszentrum Triesdorf, werden in den nächsten Jahren noch mehr Erkenntnisse zum Anbauverfahren erwartet.

3 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse aus den Begleituntersuchungen auf den RekultA-Versuchsflächen in Weißenborn, Niederbobritzsch, Colmnitz und Clausnitz im Rahmen der Praxisversuche sind im Folgenden aufgeführt:

3.1 Anbautechnische Versuche

Für die Durchwachsenen Silphie, die Rohrglanzgrassorten „Chrastava“ und „Palaton“, die Miscanthussorten „Amuri“, „Miscanthus Gigantheus“ und „Nagara“ und die Riesenweizengrassorte „Szarvasi-1“ werden die Ergebnisse von Bonituren und Ertragserhebungen einzeln für die Versuchsflächen Weißenborn, Colmnitz, Niederbobritzsch und Clausnitz betrachtet.

3.1.1 Durchwachsene Silphie

Die Durchwachsene Silphie wurde Mitte Juli 2011 an den drei Standorten Weißenborn, Niederbobritzsch und Colmnitz als Jungpflanzen manuell ausgebracht. Die Abstände in der Reihe betrugen 40 cm und zwischen den Reihen 70 cm (aufgrund des Furchenziehers zur Vorbereitung der Pflanzung konnte kein geringerer Abstand realisiert werden). Empfehlenswert sind 50 cm um vor dem Winter einen Bestandsschluss zu erreichen (TLL 2008).
Pflegemaßnahmen erfolgten durch mechanische und manuelle Unkrautbeseitigung, weil keine Pflanzenschutzmittel offiziell zugelassen sind und eindeutige Empfehlungen nicht existieren (TLL 2008). Das Risiko von einem Totalausfall der Durchwachsenen Silphie durch den Einsatz bzw. falsche Anwendung eines ungünstigen Spritzmittels und aufgrund der hohen Investitionskosten für die Jungpflanzen war nicht tragbar. Ein Bestandesschluss konnte im Herbst 2011 und Mai 2012 nicht erreicht werden, deshalb war ein hoher Unkrautdruck auf den Versuchsflächen vorhanden.

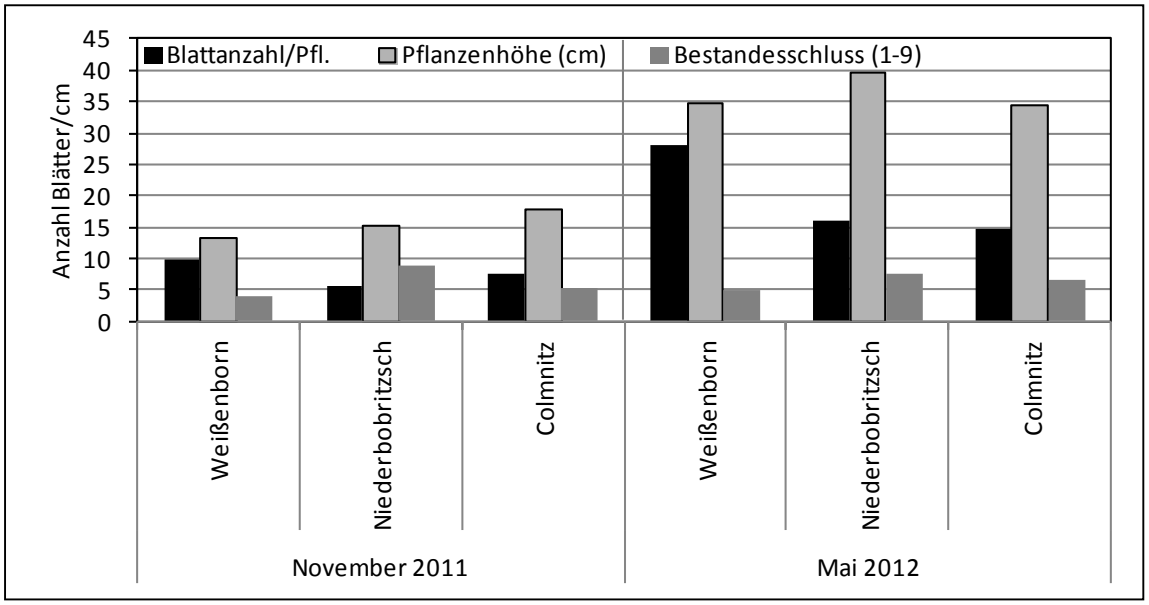


Abbildung 6 Bestandsentwicklung der Durchwachsenen Silphie auf den RekultA-Versuchsflächen (Bewertung Bestandsschluss: 1-9: 1= Bestand schließt sich, 5=Blätter berühren sich, 9:kein Bestandsschluss)

Der Bestand war auf allen Versuchsflächen inhomogen. Dies könnte an den unterschiedlichen Ursprüngen der Sorten liegen, denn es wurde eine Mischung geliefert (Müller 2012). Im Herbst 2011 wurde mit Stomp aqua ein Pflanzenschutzmittel angewendet, welches jedoch auf den Unkrautbesatz wenig Auswirkungen zeigte, weil dieser bereits außerhalb des optimalen Entwicklungsstadiums waren. Die Durchwachsene Silphie hat keine Schädigungen durch den Einsatz dieses Pflanzenschutzmittels erhalten.

Eine ausreichende Vegetationsperiode war vorhanden, denn erst am 11.11.2011 wurden die ersten Minustemperaturen gemessen. Die Silphieblätter sind mit dem ersten Frost schwarz geworden und alles Oberirdische abgestorben.

Im März 2012 sind dann die Silphiepflanzen wieder ausgetrieben. In Niederbobritzsch wurde Ausfallraps per Hand beseitigt, weil kein Spritzmittel bekannt war, was die Silphie schonte und den Ausfallraps zerstörte (beides zweikeimblättrige Pflanzen). Deshalb die Empfehlung einen Acker mit Durchwachsener Silphie nicht mit der Vorfrucht Raps bzw. bei hohem Druck an Ausfallraps zu bepflanzen.

Die meisten Blätter/Pflanzen und den höchsten Bestandsschluss hatte die Durchwachsene Silphie auf der Versuchsfläche in Weißenborn bei der Bonitur im November 2011, wie auch im Mai 2012. Damit ist eine effektive Beikrautregulierung die wichtigste Maßnahme im Pflanzjahr und bestätigt die Aussage, dass ein Bestand mit hohem Beikrautdruck im ersten Standjahr sich immer weniger entwickelt und damit weniger Ertrag bringt als ein Bestand mit weniger Unkräutern (Müller 2012). Eine ausschließlich mechanische Unkrautregulierung ist bei großflächigen Anbau nicht empfehlenswert und eine manuelle Unkrautbekämpfung vom Zeit- u. Personalkostenaufwand nicht wirtschaftlich. Nach neusten Erkenntnissen der TLL kann im

Vor- oder Nachauflauf, nach vorheriger Genehmigung, Stomp SC + Boxer gespritzt werden (TLL 2013: 29).

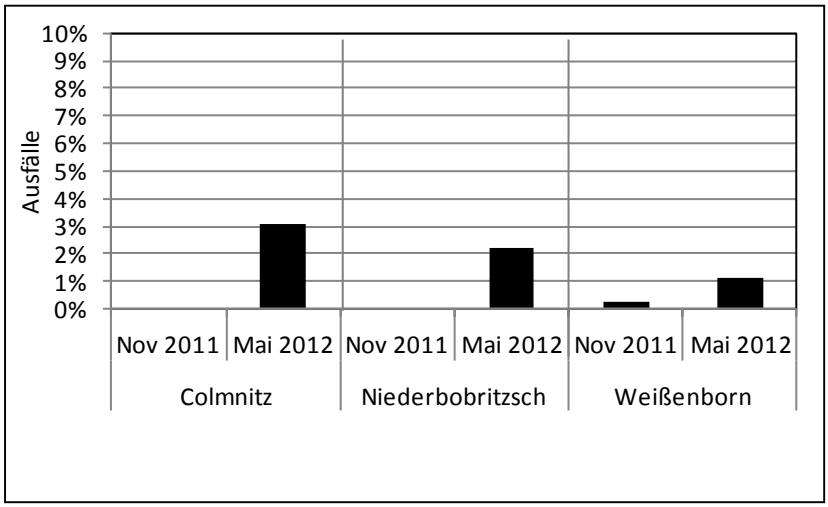


Abbildung 7 Pflanzenausfälle der Durchwachsenen Silphie auf den RekultA-Versuchsflächen (Bonitur auf den unterschiedlichen Versuchsflächen: am 3 und 4.11.2011 und 8/9/21.05.2012)

Bei der Bonitur im November 2011 war, trotz des hohen Beikrautdruckes, nur vereinzelter Ausfall der Durchwachsenen Silphie auf der Versuchsflächen vorhanden. Im Mai 2012 war durchschnittlich von allen Versuchsflächen mit 2 % eine geringe Ausfallrate zu verzeichnen. Einige Blätter waren angefressen. Ausfälle entstanden durch Wildschäden, z.B. haben Wildscheine teilweise die Silphiepflanzen aus dem Boden gewühlt bzw. es befanden sich Mäuselöcher direkt neben den Jungpflanzen, so dass diese abgestorben sind. Dies belegt, dass die Durchwachsene Silphie winterfest ist.

Abbildung 8 Mäuselöcher an Silphiepflanzen im April 2013

Eine Nachpflanzung wäre möglich, aber sehr zeitaufwendig und aufgrund der anfallenden Personal- u. Pflanzkosten teuer und wurde deshalb nicht durchgeführt (Thiel 2011).

Die erste Ernte der Silphie erfolgte im Zeitraum Ende September 2012 bis Anfang Oktober 2012 auf den Versuchsflächen. Die jeweiligen Agrargenossenschaften wurden mit der Durchführung beauftragt, damit die Landwirte Erfahrungen bzgl. der Pflanzenentwicklung – u. des optimalen Erntezeitpunktes sowie der Erntedurchführung sammeln konnten.
Die Erntezeitpunkte waren zu spät für einen idealen Ertrag auf allen drei Versuchsflächen. Eine Ursache war die Unerfahrenheit der Landwirte mit den Entwicklungsstadien der Durchwachsenen Silphie. Ein weiterer Grund lag im Pflanzenbaumanagement bei den jeweiligen Agrargenossenschaften, weil zeitgleich die zeitintensive Maisernte mit einem begrenzten Zeitfenster für die Einhaltung einer guten Qualität für Futtermittel- und Biogassubstrat stattfand. Von der TLL wird August-September mit einem TS-Gehalt von 25-27% empfohlen um die Silphie als Substrat für die Biogasgewinnung zu nutzen (TLL2012). Bei zu später Ernte hat die Silphie Einbußen auch hinsichtlich der Methanausbeute, aufgrund eines erhöhten Lignifizierungsgrads des Erntegutes (LfULG 2012:45). Die Blätter an den Pflanzen waren teilweise bereits schwarz und abgestorben. Unter diesen Pflanzen haben sich vereinzelt, bereits schon wieder neue grundständige Blattrosetten mit 3-5 Blättern gebildet, aufgrund des dadurch entstandenen erhöhten Lichteinfalls. Das Häckseln mit einem Feldhäcksler mit Vorsatz Maisgebiss verlief problemlos. Aufgrund der Qualität (hoher Anteil an abgestorbenen Pflanzenteilen) ist das Häckselgut als Mulch genutzt wurden. Die Erfahrungen auf den RekultA-Versuchsflächen zeigten, dass der optimale Erntezeitpunkt im Raum Mittelsachsen Anfang/Mitte September liegt.

Abbildung 9 Durchwachsene Silphie auf der Versuchsfläche Weißenborn am 1.10.2012

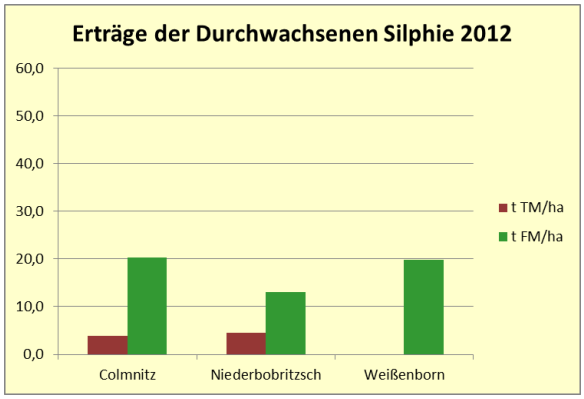
Tabelle 7 Ertragsdaten 2012 und 2013 von Durchwachsener Silphie

Versuchsflächen	Erntetermin	Wuchshöhe (cm)	Frischmassertrag (dt FM/ha)	TS (%)	Trockenmassertrag (dt TM/ha)
	2012	**2012**	**2012**	**2012**	**2012**
Weißenborn	05.10.2012	210,5	198,9	-	-
Niederbobritzsch	02.10.2012	156,1	130,7	34,4	44,9
Colmnitz	20.09.2012	177,1	202,9	19,1	38,8
	2013	**2013**	**2013**	**2013**	**2013**
Weißenborn	24.09.2013	249,7	310,6	28,6	88,7
Niederbobritzsch	24.09.2013	254,5	414,0	25,1	104,0
Colmnitz	24.09.2013	260,1	498,7	20,3	101,6

Mit erfassten Erträgen von 130 bis 203 dt FM/ha und TS-Gehalten von 19 bis 34 % (siehe Tabelle 9) sind die Ertragsdaten von der Ernte 2012 unter Vorbehalt zu betrachten. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um das 1. Standjahr handelt, in dem die Anlage noch im Aufbau begriffen ist. Hinzu kommen die erschwerten Witterungsverhältnisse im Winter mit anhaltenden Barfrösten sowie die niedrige Bodenzahl der Standorte von 38. Weiterhin lag ein später Erntezeitpunkt vor (u.a. abgestorbene Blätter), der nicht den Ertrag bei optimalen TS-Gehalten abbildet. Der Bestand muss sich also erst noch etablieren, wobei auch der Unkrautdruck in den folgenden Standjahren durch einen geschlossenen Bestand ohne zusätzliche Pflegemaßnahmen reguliert wird. 2012 konnte die Trockensubstanz für den Standort Weißenborn durch Fehler in der Probenlagerung nicht ermittelt werden.

Wie zu erwarten war konnte die Durchwachsene Silphie im Jahr 2013 durch die fortschreitende Bestandsetablierung höhere Erträge als im ersten Versuchsjahr erzielen. Dabei wurde für den Frischmasseertrag 1,6 bis 3,2fach höhere Erträge erreicht mit 499 bis 311 dt FM/ha und TS-Gehalten von 20 bis 27%.

Folgenden Abbildungen sind die Erträge nochmals zu entnehmen:



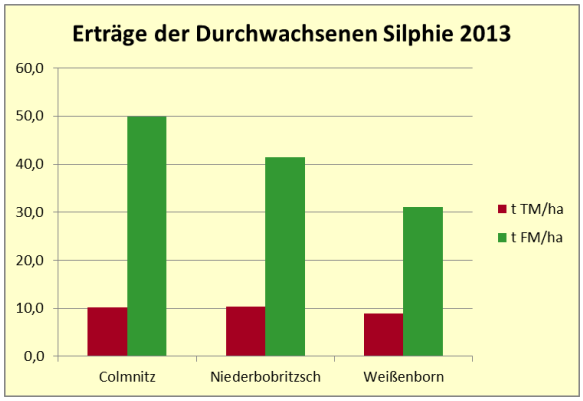


Abbildung 10 Erträge der Durchwachsenen Silphie für 2012 und 2013

3.1.2 Rohrglanzgras Sorte Palaton

Die kanadische Rohrglanzgrassorte „Palaton“ ist in Nordamerika und in den Nordeuropäischen Ländern, wie z.B. Finnland etabliert und wird auf mehreren Hektar zur energetischen Verbrennung angebaut (Ust'ak 2012). Im Folgenden werden die Bestandsentwicklung und der Ertrag auf den RekultA-Versuchsflächen unter den klimatischen und bodenkundlichen Bedingungen des Erzgebirgsvorlandes erläutert:

Bestandsentwicklung der Rohrglanzgrassorte „Palaton“

Die Rohrglanzgrassorte „Palaton“ wurde vom 07.07.2011 bis 13.07.2011 auf den Versuchsflächen mit einer Aussaatstärke von 20 kg/ha gesät.

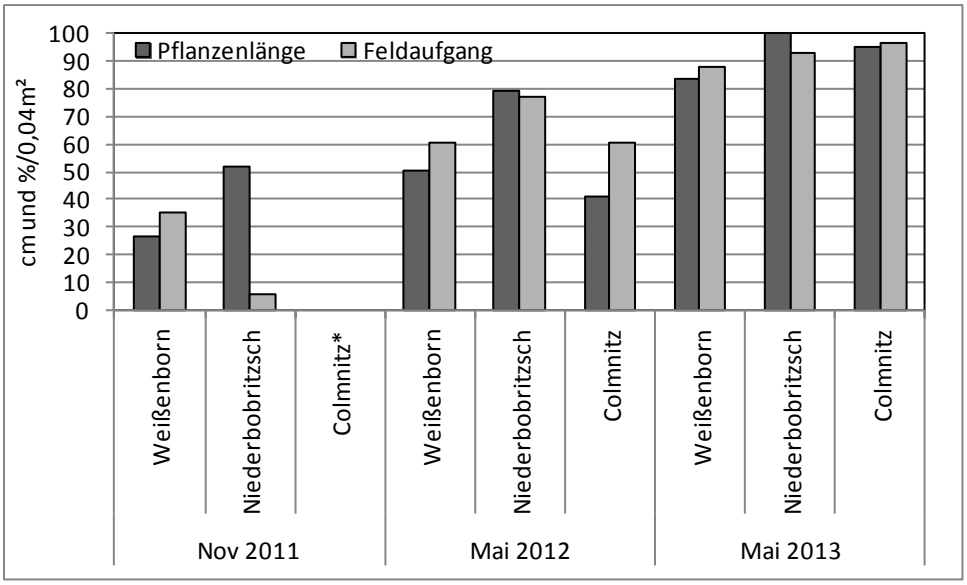


Abbildung 11 Bestandsentwicklung und Feldaufgangskontrolle der kanadischen Rohrglanzgrassorte "Palaton" (= bei der Versuchsfläche wurde leider aus Versehen die Parzellen vom Rohrglanzgras bei einer Pflegemaßnahme mit gemäht, daher war keine Bonitur im Herbst 2011 möglich)*

Bei der Bonitur im November 2011 waren auf den Versuchsflächen mit 5 bis 35 % wenig Rohrglanzgras aufgegangen. Damit hatte das Unkraut optimale Wachstumsbedingungen (viel Lichteinfall und Raum) zum Wachsen. In den Feldversuchsflächen waren Schneisen, in denen kein Rohrglanzgras wuchs und somit das Unkraut dominierte. Die Schneisen können vermutlich auf die Aussaat zurückzuführen sein, z.B. könnte das Saatgut zu tief gelegt worden sein oder die Saatgutmaschine hatte auf diesen Teilstücken kein Saatgut ausgebracht (durch Verstopfung). Im Herbst 2011 wurde eine Pflanzenschutzmaßnahme mit Stomp aqua durchgeführt. Diese zeigte jedoch wenig Wirkung aufgrund des fortgeschrittenen Entwicklungsstadiums der Unkräuter.
Nach dem ersten Winter und der anschließenden Auswinterungsbonitur im Mai 2012 war mit durchschnittlich 65 % Feldaufgang Rohrglanzgras auf den Versuchsflächen mit einer

Pflanzenlänge zwischen 40 und 78 cm vorhanden. Somit ist der Feldaufgang von November 2011 bis Mai 2012 gestiegen. Bei der Bonitur im dritten Standjahr 2013 war der Bestand mit durchschnittlich 93 % fast geschlossen und somit der Unkrautdruck gering.

Die Pflanzenlängendifferenz von 30 cm bei der Bonitur im Mai 2012 zeigen, dass der Bestand sehr inhomogen ist. In den Teilflächen mit Feldaufgang war der Unkrautdruck, aufgrund der Pflanzenhöhe und des weitgehend geschlossenen Bestandes, gering. Die vorhandenen Schneisen im Bestand, welche im November 2011 vorhanden war, sind auch bei der Bonitur im Mai 2012 vorhanden. In diesen dominiert das Unkraut. Im Mai ist bei der Bonitur auf der Versuchsfläche Niederbobritzsch an zwei einzelnen Pflanzen die Pilzkrankheit Mehltau beobachtet worden. In der weiteren Bestandsentwicklung sind keine weiteren Pflanzen mit dem Pilz aufgefallen. Bei der Bonitur im Jahr 2013 sind keine Schneisen mehr zu sehen, somit ist ein fast geschlossener Bestand vorhanden. Die Pflanzenlängen unterscheiden sich zwischen den Versuchsstandorten zwischen 5-8cm, somit ist ein homogener Bestand auf allen Versuchsparzellen vorhanden.

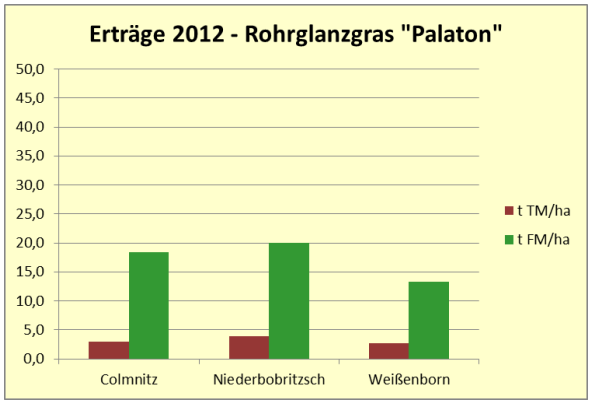
Im Mai 2012 wurde auf allen Versuchsflächen die erste Rohrglanzgrasernte durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Ernte war auf der Versuchsfläche in Weißenborn und Niederbobritzsch das Rohrglanzgras mit einer Bestandshöhe von ca. 80 cm (in Colmnitz ca. 60 cm) am höchsten.
Die Erträge liegen jedoch weit auseinander aufgrund des Standortes, denn in Weißenborn liegt eine der Versuchsparzellen in Waldnähe und erhält aufgrund der Äste nicht genügend Lichteinfall, dies führt zu einem durchschnittlich niedrigeren Ertrag. In Colmnitz liegt eine Parzelle direkt neben einer ehemaligen Kleinbahntrasse. Die Bedingungen mit einem hohen Steinanteil und einer geringen Bodenschicht führen zu einer niedrigen Wuchshöhe, einem nicht geschlossenen Bestand und damit zu einem niedrigen Ertrag (Wendel 2011).

Nach der Ernte Ende Mai 2012 ist das Rohrglanzgras in einer Biogasanlage verwertet worden.
Nach der ersten Ernte hat das Rohrglanzgras innerhalb von 4 Wochen eine Bestandshöhe von ca. 40 cm. Bei einer Bonitur auf der Versuchsfläche Colmnitz am 17.10.2012 hatte das Rohglanzgras eine Pflanzenlänge von durchschnittlich 91 cm.

Eine zweite Ernte von Rohrglanzgras zur Verbrennung war im Winter 2012 geplant. Aufgrund des Einsatzes von Rohrglanzgras in Nordeuropa zur Verbrennung sollte dieser Verwertungsweg bei diesen Untersuchungen mit berücksichtig werden um ihn ggf. weiter zu verfolgen. Der optimale Erntezeitraum von Rohrglanzgras zur Verbrennung liegt laut Literatur zwischen Juli und Dezember, weil zu diesem Zeitpunkt auch die Ertragsspitzen sind. Je später der Erntezeitpunkt, desto besser die Biomassequalität. Jedoch ist ab Oktober durch Schneebedeckung, Regen und Wind das Risiko größer, dass die Pflanze umkippt und lagert. Somit ist es schwierig die Versuchsfläche vollständig abzumähen (Wichmann et al. 2009: 48). Lager des Rohrglanzgrasbestands war ab Oktober auch auf den RekultA-Versuchsflächen

vorhanden. Durch einen niederschlagsreichen Winter, eine Schneebedeckung bis Mitte April 2013 und mit einem erneuten Austrieb des Rohrglanzgrases unter der Schneedecke war eine Ernte nicht möglich.

Aus Abbildung 21 können die Erträge von 2012 und 2013 entnommen werden. Dabei ist zu beachten, dass es sich im Versuchsjahr 2012 um eine einmalige Ernte handelt und im Versuchsjahr 2013 die Ernte zweimal durchgeführt wurde (12.06.13 und 27.09.13). Geht man von durchschnittlichen Erträgen von 10 bis 14 t TM/ha aus, so ist bei der einmaligen Ernte von 2012 weniger als die Hälfte des Erwartungswertes erreicht worden. Im Versuchsjahr 2013 wurden in Colmnitz mit 12,1 t TM/ha und in Niederbobritzsch mit 14,3 t TM/ha durchschnittliche bzw. leicht überdurchschnittliche Erträge erzielt. Weißenborn lag mit 9,3 t TM/ha etwas unter dem Mittel.



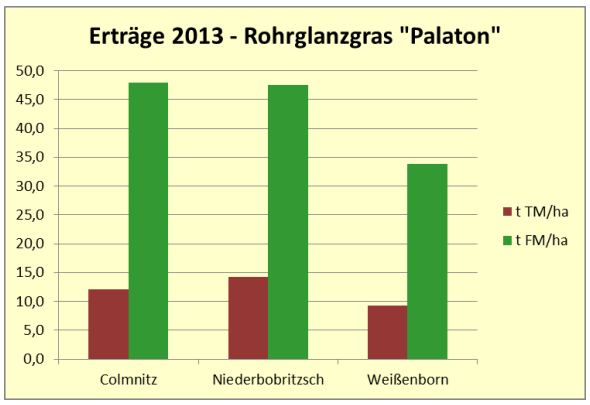


Abbildung 12 Erträge Rohrglanzgras „Palaton“ 2012 und 2013

3.1.3 Miscanthus

Die auf den RekultA-Versuchsflächen in Weißenborn, Niederbobritzsch und Colmnitz angebauten Miscanthussorten sind: Miscanthus x giganteus, Miscanthus Ilka und Miscanthus Nagara. Die Sorten wurden als Jungpflanzen von Anfang bis Mitte Juli 2011 aufgrund von organisatorischen und wetterbedingten Gründen auf die Flächen ausgebracht. Zur Vorbereitung der Pflanzung hat ein Gerät bis zu 30 cm tiefe Furchen gezogen. Die Jungpflanzen wurden manuell in die Erde gesetzt und die Erde um die Löcher festgedrückt. Der Pflanzenabstand in der Reihe und zwischen den Reihen betrug, aufgrund des eingesetzten Furchenziehers, 70 cm.

Anfang November 2011 fand eine erste Bonitur auf den Miscanthus-Versuchsflächen statt.

Tabelle 8 Boniturergebnisse der Miscanthushalmlänge- und Halmanzahl/Pflanze vom 3. und 4.11.2011von allen drei RekultA-Versuchsflächen

RekultA-Versuchsflächen	Colmnitz		Weißenborn		Niederbobritzsch	
	Halmlänge	Halmanzahl/Pfl.	Halmlänge	Halmanzahl/Pfl.	Halmlänge	Halmanzahl/Pfl.
Miscanthus x giganteus	48	4	47	6	63	9
Miscanthus Ilka	52	5	55	9	66	7
Miscanthus Nagara	54	10	57	16	66	7

Die Miscanthuspflanzen hatten eine Pflanzenlänge von ca. 50 cm bis ca. 65 cm erreicht. Bei einer Pflanzung im Mai wäre ein Bestand von ca. 1,20 m und 10-20 Halme/Pflanze optimal gewesen, um eine geringe Auswinterungsrate zu erreichen (C.S.P. GmbH 2012). Somit hat der späte Pflanztermin einen erheblichen Einfluss auf das Ausfallrisiko.
Die Sorte „Miscanthus Nagara“ hat auf allen drei Versuchsflächen die höchste Halmanzahl pro Pflanze erreicht, insgesamt sind aber keine großen Unterschiede in der Bestandsentwicklung zwischen den Sorten erkennbar.

Das Unkraut war auf allen Versuchsflächen dominant. Zwischen den einzelnen Sorten waren dadurch keine Unterschiede erkennbar. Es wurden mehrere mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen durchgeführt. Durch den dominierenden Unkrautbestand ist im Herbst 2011 in Colmnitz und Weißenborn das Pflanzenschutzmittel „Stomp aqua“ gespritzt worden, jedoch nur mit geringer Wirkung. Vor dem Winter betrug die Ausfallrate 1% bis 7 %, somit sind die meisten Jungpflanzen angewachsen. Bei der Bonitur im Herbst 2011 kamen die Ausfälle durch Schädlinge, z.B. umgewühlte Erde durch Wildschweine oder Mäuselöcher zustande.

Abbildung 13 Schädigungen an Miscanthuspflanzen u.a. durch Mäuselöcher an den Wurzeln (Bonitur am 04.11.2011 auf der Versuchsfläche in Colmnitz)

Bei einer Auswinterungsbonitur im Mai 2012 sind 61% bis 87 % der Miscanthuspflanzen nicht wieder ausgetrieben (siehe Abbildung 12).

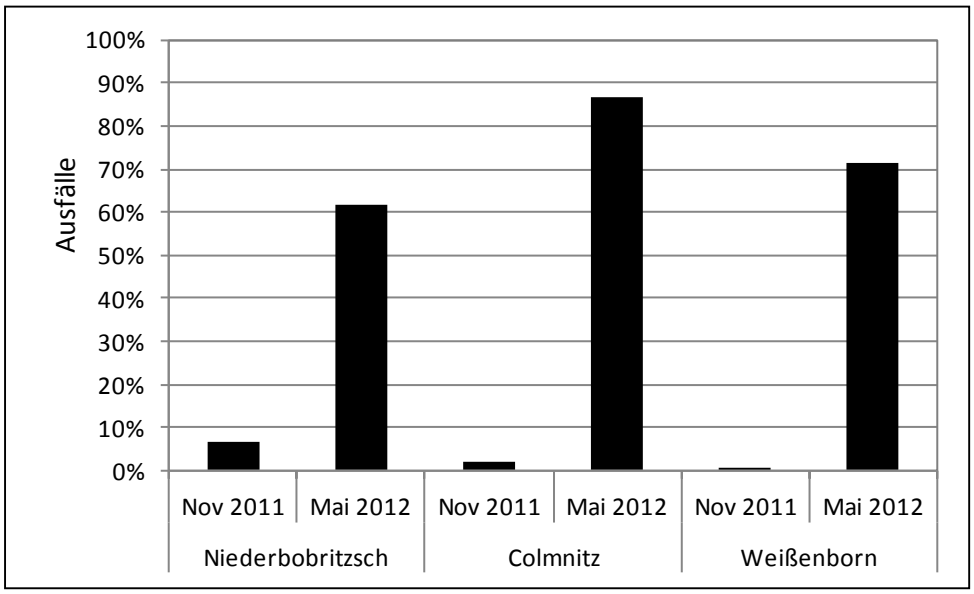


Abbildung 14 Ausfallquote von den drei getesteten Miscanthussorten auf den RekultA-Versuchsflächen

Im Mai 2012 sind vereinzelt optimale Pflanzen mi 40 Halmen/Pflanze vorhanden. Einige Pflanzen, die wieder ausgetrieben sind, haben Mehltaubefall. Die einzelnen Reihen der Sorten waren nicht mehr, durch die hohen Ausfälle und den damit verbundenen hohen Unkrautdruck, zu identifizieren, somit war kein Unterschied zwischen den Sorten erkennbar.

Die Ursache für die hohen Ausfälle lagen in der späten Pflanzung aus organisatorischen und wetterbedingten Gründen, u.a. waren der Mai und Juni 2011 niederschlagsarme Monate und an den Standorten Spätfröste möglich, auf welche der Miscanthus im Jugendstadium empfindlich reagiert. Weil für eine Pflanzung der Mai empfehlenswert ist, erfolgte eine verhältnismäßige späte Pflanzung im Juli 2011. Dennoch ermöglichten die Wetterbedingungen mit den ersten wenigen Minusgraden von -2°C am 11.11.2011 an allen RekultA-Versuchsflächenstandorten eine lange Vegetationsperiode für die Miscanthuspflanzen um Reservestoffe einzulagern und einen Bestand zu bilden. Die Jungpflanzen wurden in eine Tiefe von bis zu 30 cm gesetzt um die

Überwinterung im ersten Winter zu unterstützen (Eißrich 2011). Die Verschiebung der Pflanzung auf Mitte Juli erwies sich aus dieser Hinsicht als richtig, weil im Juli 2011 mit ca. 290 mm ein regenreicher Monat war und die Pflanzen ausreichend mit Wasser versorgt wurden. Ein weiterer Nachteil war der hohe Unkrautbedeckungsgrad, trotz mehrerer Pflegemaßnahmen, von bis zu 99% auf allen Versuchsflächen. Dies führte zu einer starken Konkurrenz um Licht und Wasser in den entscheidenden Wachstumsmonaten. Auf eine Düngung wurde im Pflanzjahr verzichtet um ein spätes Abreifen im Herbst und damit die Auswinterungsgefahr zu minimieren (Eißrich 2011).

Für die Miscanthuspflanzen ist der erste Winter der kritischste für die Bestandbildung (Röhricht 2006). Das Wetter hat darauf einen erheblichen Einfluss. Im Februars 2012 begann eine 14tägige Frostperiode mit Temperaturen bis zu minus 18 °C bei teilweise unbedecktem Boden. Dies kann, neben der späten Pflanzung, ein bedeutender Grund für die hohen Ausfallraten sein.
Eine Nachpflanzung wurde aufgrund der hohen Ausfallraten von über 80 % aus ökonomischen Gründen nicht mehr durchgeführt.
Die Miscanthus-Versuchsflächen in Weißenborn und Niederbobritzsch wurden im Sommer 2012 umgebrochen und dafür die Rohrglanzgrassorte „Chrastava“ gesät. Auf der RekultA-Versuchsfläche in Colmnitz wurden die Miscanthus-Versuchsflächen aufgrund fehlender technischer Saatbearbeitungsgeräte mit der geforderten Arbeitsbreite nicht weiter bearbeitet.

3.1.4 Rohrglanzgrassorte „Chrastava“

Aufgrund der positiven Erfahrung mit der kanadischen Rohrglanzgrassorte „Palaton“ sollte eine tschechische Rohrglanzgrassorte von unserem Kooperationspartner für den Anbau getestet werden. Die Sorte „Chrastava“ wurde auf den umgebrochenen Miscanthusflächen in Weißenborn und Niederbobritzsch angebaut.

Die Aussaat erfolgte sofort nach Erhalt der Samen im Juli 2012 bei durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlagssummen. Die Aussaatstärke betrug 2,8 g/m² mit einer Drillmaschine. Es wurde die Aussaatstärke erhöht, weil bei der Sämaschine eine zu tiefe Einsaat möglich ist und ein geschlossener Bestand angestrebt wurde.

Im Oktober 2012 wurde eine erste Bonitur durchgeführt, leider konnten auf den Versuchsflächen keine Daten zum Feldaufgang und Pflanzenlänge aufgenommen werden, weil kein Rohrglanzgras zu sehen war. Das Unkraut dominierte die gesamte Versuchsfläche mit einer Höhe bis zu 80 cm. Die Ursache liegt in der geringen Keimfähigkeit des Saatgutes im Vergleich zu der vom Saatguthändler angegeben. Das gleiche Saatgut wurde für Topfversuche im Rahmen des Projektes Greenland verwendet (Neu 2012). Im Topf mit Einheitserde wurde eine Keimungsrate von 11 % und im Topf mit schwermetallbelasteten Boden von 9,5 % erreicht. Bei

einer Laboruntersuchung bei unserem tschechischen Kooperationspartner dem Institut für Ökotoxikologie in Chomutov wurde eine Keimfähigkeit von 16 % ermittelt (Honzik 2013). Die Ursachen für die geringe Keimfähigkeit könnten an einer zu langen Lagerung, einem ungeeigneten Gefäß (z.B. Sack) und einer ungünstigen Umgebung (feucht, lichtvoll und geruchsreich, Insektenreich) liegen.
Im Mai 2012 wurde auf den RekultA-Versuchsflächen eine Auswinterungsbonitur durchgeführt. Die Feldaufgangsraten von 7 bzw. 11 % decken sich mit der Keimungsrate in den oben genannten Labor- u. Topfversuchen.

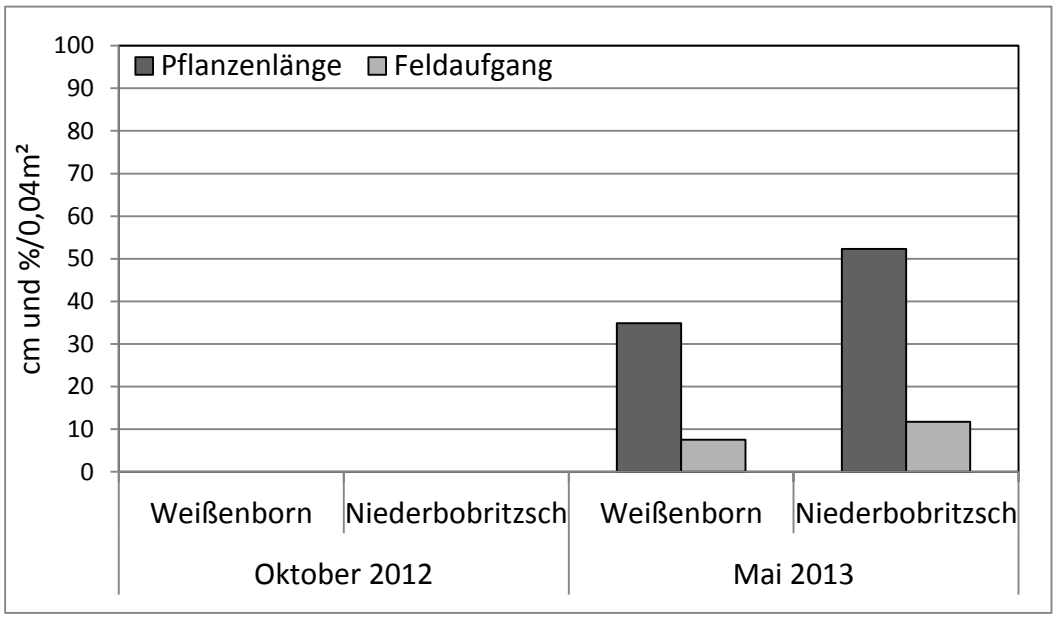


Abbildung 15 Bestandsentwicklung und Feldaufgangskontrolle der tschechischen Rohrglanzgrassorte „Chrastava“ (Anmerkung: auf der RekultA-Versuchsfläche Colmnitz wurde keine Rohrglanzgrassorte Chrastava ausgesät)

Aufgrund des lückenreichen Bestandes ist der Unkrautdruck auf den Versuchsflächen hoch. Entsprechende Pflegemaßnahmen werden durchgeführt. Die Pflanzen, welche aufgegangen sind, hatten eine Pflanzenlänge von ca. 35 bis 63 cm. Eine Aussage, ob diese tschechische Rohrglanzgrassorte für einen Anbau im Freiberger Raum zu empfehlen ist kann nicht getroffen werden. Die Hauptursache liegt in der geringen Keimungsrate.
Nach der RekultA-Projektlaufzeit bis 31.12.2013 wird auch Ende 2013 diese Versuchsfläche wieder umgebrochen.

3.1.5 Praxisanbau Riesenweizengras

In Clausnitz wurden auf zwei Versuchsflächen unter Praxisbedingungen im Spätsommer 2011 und Frühjahr 2012 die Riesenweizengrassorte „Szarvasi1“ auf insgesamt 3,35 ha angebaut (siehe Kapitel 2.1.2).

Bestandsentwicklung Fläche 1 (Aussaat im Spätsommer 2011):
Das Szarvasi-Gras ist nur zu ca. 60 % aufgegangen. Dies könnte unterschiedliche Gründe haben:

- Auf der Fläche 1 wurde Anfang September 2011 gesät. Das Gras hat eine langsame Jugendentwicklung (in zwei Monaten ca. 10 cm), in dieser Zeit bildet das Gras bis zu 3m lange Wurzeln aus (Geißendörfer 2012c). In dieser Wachstumsphase ist das Szarvasi-Gras sehr frostempfindlich und an diesen Standort ist der erste Frost bereits im Oktober vorhanden. Der späte Aussaattermin könnte vermutlich zu einem Ausfall geführt haben.
- Durch die langsame Jugendentwicklung und den lückenhaften Szarvasi-Bestand war die Energiepflanze nicht konkurrenzfähig und ideale Standortbedingungen (Raum, Licht, Wasser, Gülleeinsatz unmittelbar nach der Aussaat) für Unkräuter vorhanden. Weiterhin wurde ein Tag vor der Aussaat am 31. August 2011 Mineraldünger gestreut, dies hat die Entwicklung des Unkrautes nochmals gefördert. Dadurch entstand ein sehr hoher Unkrautdruck.
- Durch verschiedene Maßnahmen, wie z.B. zwei Schröpfschnitte (Mai 2012, Juni 2012), die unmittelbare zweimalige Düngung und den Einsatz von Herbiziden, sollte das Wachstum des Szarvasi-Grases angeregt und der Unkrautdruck minimiert werden. Diese Maßnahmen blieben erfolglos.
- Ungünstiger Standort: ein steiniger sehr lehmiger Standort ist ungünstig für die Wurzelbildung. Am idealsten ist ein Lößstandort.

Am 25.07.2012 wurde diese Fläche, aufgrund des lückenhaften Bestandes, umgebrochen. Es erfolgte ein Totalherbizideinsatz vor der darauf folgenden Rapsansaat. Danach war kein Durchwuchs auf dieser Versuchsfläche von Szarvasi-Gras mehr vorhanden.

Bestandsentwicklung Fläche 2 (Aussaat Frühjahr 2012):
Auf der Fläche 2 wurde das Szarvasi unmittelbar in der Nähe der Fläche 1 in 2012 ausgesät. Der Saatzeitpunkt wurde bereits im Mai gewählt, um Ausfälle durch Fröste in der Jugendentwicklung zu vermeiden, denn zu diesem Zeitpunkt ist das Szarvasi-Gras frostempfindlich. Ein weiterer Grund ist, dass der Ertrag im ersten Nutzungsjahr umso höher ist, je weiter die Pflanzenentwicklung vor dem Winter war. Aus wirtschaftlicher Sicht ist eine Aussaat im Juli-September günstig, denn so kann nach der Rapsernte gesät werden und im folgenden Jahr die erste Ernte stattfinden (Geißendörfer 2012 c).

Im Juni 2012 fand eine erste Bonitur zur Bestandsentwicklung statt. Das Szarvasi-Gras benötigt einen Kältereiz zum Schossen und Blühen, somit sind die Ergebnisse der Auswinterungsbonitur im Mai 2013 bzgl. der Bestandsentwicklung aufschlussreich.

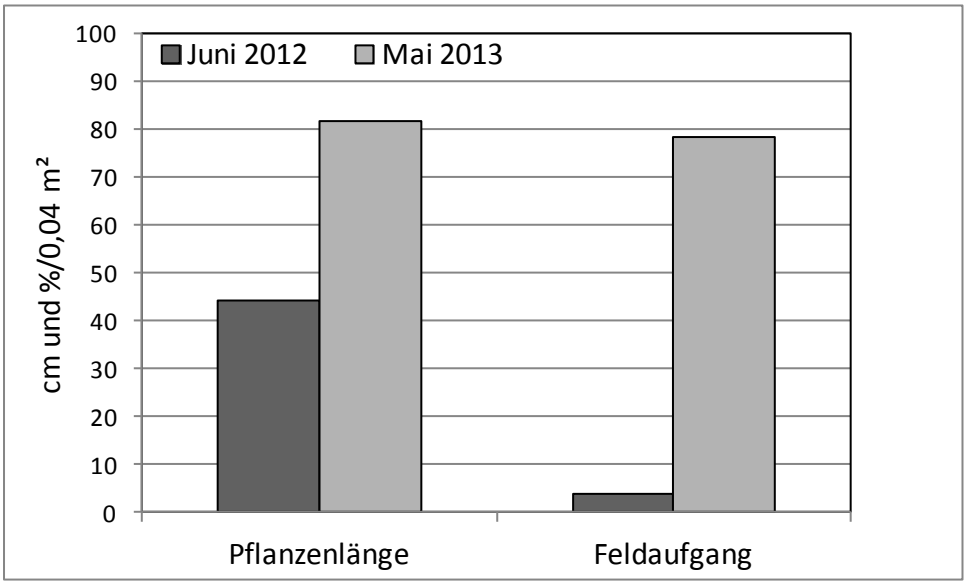


Abbildung 16 Bestandsentwicklung von Szarvasi-Gras auf der Fläche 2012 gesäten Fläche (Fläche2)in Rechenberg-Bienenmühle OT Clausnitz

Etwa 4 Wochen nach der Aussaat im Juni 2012 ist nur wenig Szarvasi-Gras vorhanden. Es erfolgten chemische Herbizidmaßnahmen und Düngung. Im folgenden Jahr sind 79 % des ausgesäten Bestandes erkennbar. Erstmalig beerntet wurde die Fläche 2 am 28.07.2013. Der relativ späte 1. Erntezeitpunkt wurde gewählt, da sich der Bestand durch Selbstaussaat weiter verdichten sollte. Anschließend wurde das Erntegut getrocknet und als Heu verwendet, da durch die späte Ernte die Qualität für die Verwertung in der Biogasanlage nicht mehr gegeben war. Die 2. Ernte erfolgte am 30. September. Die Biomasse wurde siliert und anschließend in der Biogasanlage mit vergärt.

Für den 1. Schnitt wurde eine Frischmasse von 14,8 t/ha geerntet bei einer Trockenmasse von 62,5%. Die 2. Ernte ergab weitere 5,48 t FM/ha mit 38% Trockensubstanz. Dem entsprechend beträgt die gesamte geerntete Trockenmasse des Jahres 2013 11,3 t TM/ha, was noch unter durchschnittlichen Erträgen liegt. Aber unter Berücksichtigung des nicht idealen 1. Schnitttermins, des noch ungenügend dichten Bestandes sowie der Höhenlage des Standortes können die Gesamterträge als gut bezeichnet werden.

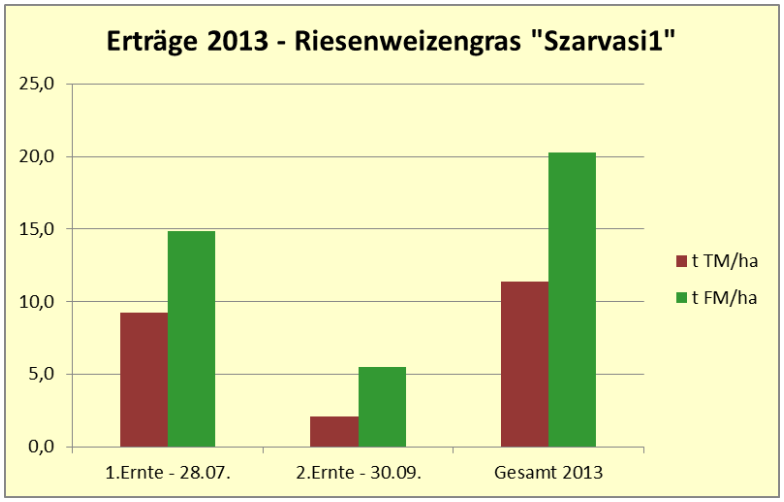


Abbildung 17 Erträge Riesenweizengras „Szarvasi1“ 2013

3.1.6 Energiepflanzenerträge im Vergleich

Die Erträge auf den einzelnen Standorten werden durch die Witterung aber auch die örtlichen Gegebenheiten (u.a. Ackerzahl) beeinflusst. Um einen relativen Vergleich von den unterschiedlichen Standorten zu ermöglichen wird ein Gegensatz zur Leitkultur Mais stattfinden, welcher als Standard gelten soll.

In nachfolgenden Grafiken sind die erzielten Trockenmasse- und Frischmasse-Erträge von Durchwachsener Silphie, Rohrglanzgras „Palaton“ sowie Riesenweizengras „Szarvasi1“ dargestellt. Zur Gegenüberstellung sind ebenso die regional typischen Erträge von Mais angeführt, zum einen als niedrige und zum anderen als hohe Ertragsvariante.

In Bezug auf die Trockenmasse erzielten in den Versuchsjahren alle untersuchten Energiepflanzen ein niedrigeres Ergebnis als Mais. Insbesondere 2012, dem ersten Erntejahr von Durchwachsener Silphie und Rohrglanzgras „Palaton“, blieben beide Kulturen deutlich unter den Mais-Werten. Bei der Durchwachsenen Silphie ist dies vor allem dadurch zu begründen, da der Bestand noch in der Aufbauphase war sowie durch die teilweise starke Verunkrautung während der Frühjahrsentwicklung. Für Rohrglanzgras gilt teils auch die Begründung des ersten Erntejahrs, aber vor allem das die Kultur in diesem Jahr nur einmalig beerntet wurde.

Bei Szarvasi-Gras, das 2012 gesät wurde, zeigt sich der deutliche Einfluss auf eine zweimalige Ernte auf die gesamte Trockenmasseernte. Diese Kultur reicht im Jahr 2013 fast an die niedrigen Mais-Erträge heran. Im Erntejahr 2013 erzielten sowohl die Durchwachsene Silphie als auch das Rohrglanzgras „Palaton“ wesentlich höhere Trockenmasse-Erträge auf allen Versuchsstandorten. Dabei wies die Durchwachsene Silphie etwa um ein Drittel geringer Erträge im Vergleich zu den mittleren Mais-Erträgen auf. Auch Rohrglanzgras zeigte sich im Versuchsjahr 2013 deutlich ertragsstärker als im ersten Jahr, vor allem da zwei Schnitte erfolgten. Auf einem Versuchsstandorte wurden dabei Erträge der niedrigen Maiserträge erreicht, während auf einem anderen Versuchsstandort die Erträge von mittleren Maiserträgen erlangt werden konnten.

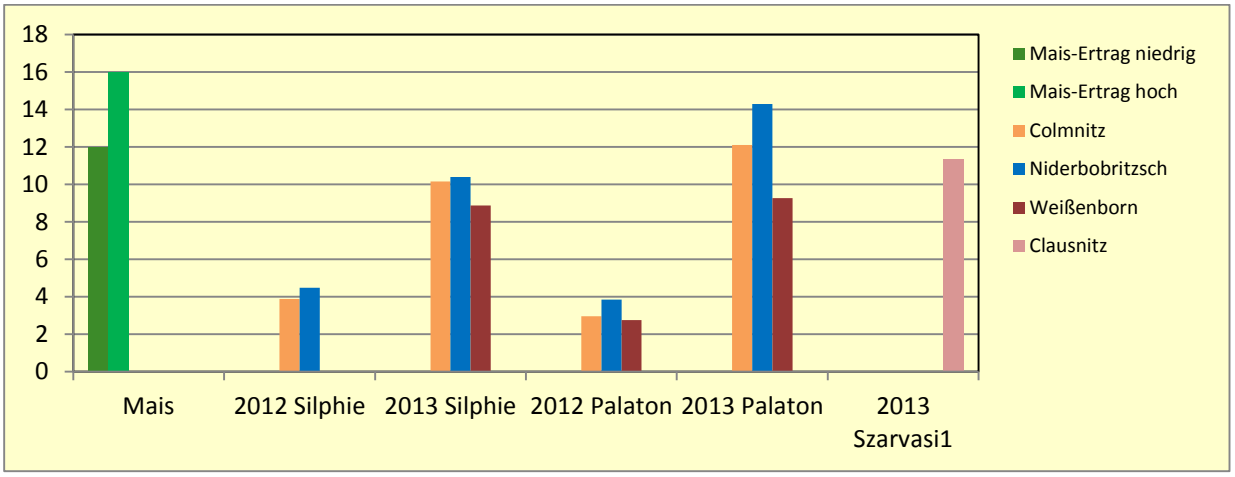


Abbildung 18 Übersicht der Trockenmasseerträge in t TM/ha im Vergleich zu regionalen Maiserträgen

Bei den Frischmasseerträgen konnten im Jahr 2012 sowohl bei der Durchwachsenen Silphie als auch beim Rohrglanzgras „Palaton“ überwiegend etwa die Hälfte der mittleren Maiserträge erzielt werden. Dies ist analog wie bei den Trockenmasseerträgen mit dem ersten Standjahr sowie dem einmaligen Schnitt des Rohrglanzgrases zu begründen. Für das Versuchsjahr 2013 fielen die Frischmasseerträge deutlich positiver aus und überschritten teils die höheren Maiserträge oder reichten zumindest an diese knapp heran. Lediglich auf einem Versuchsstandort wurden bei beiden Kulturen geringere Erträge erreicht, die jedoch noch höhe als die niedrigen Maiserträge waren.

Das Szarvasi-Gras lag im Frischmasseertrag deutlicher unter den Maiserträgen. Dies muss allerdings kritisch betrachtet werden, da die jeweiligen Schnittzeitpunkte nicht optimal aufeinander abgestimmt waren und bei sehr unterschiedlichen Trockensubstanzgehalten mit 62,5 bzw. 38% geerntet wurden.

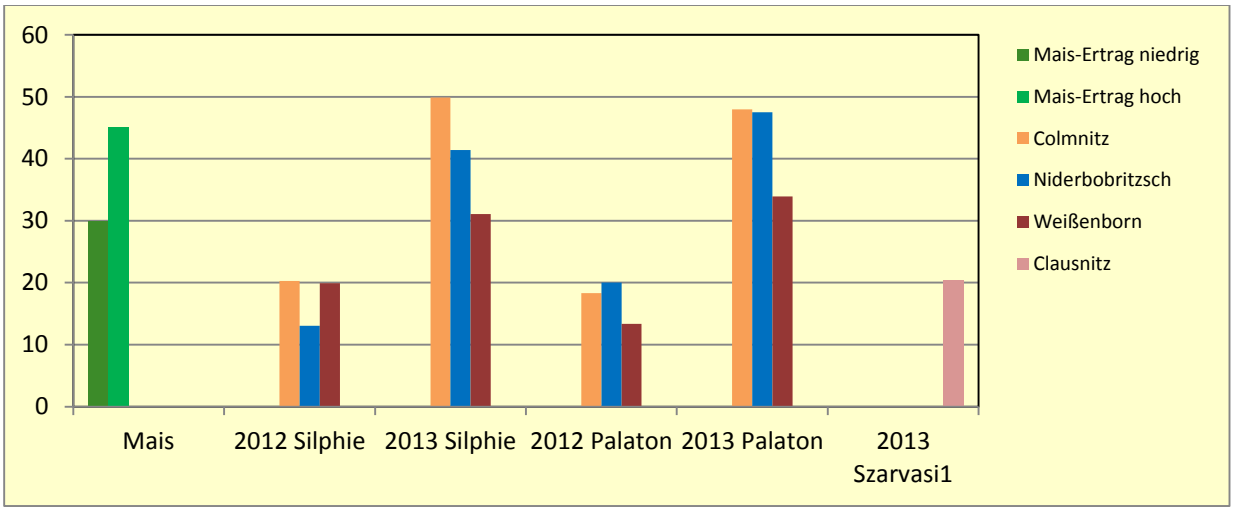


Abbildung 19 Übersicht der Frischmasseerträge in t FM/ha im Vergleich zu regionalen Maiserträgen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es darauf hinweist, dass die Durchwachsene Silphie ab dem 2. Erntejahr eine im Trockenmasse- und Frischmasse-Ertrag durchaus konkurrenzfähige,

innovative Energiepflanze darstellt. Auch für Rohrglanzgras „Palaton“ kann bei einer zumindest zweifachen jährlichen Nutzung diese Aussage angenommen werden. Szarvasi-Gras sollte weiter untersucht werden, da es durchaus noch Potentiale bieten könnte, wenn pflanzenbauliche Maßnahmen zur Bestandsentwicklung noch optimiert würden und die Erntezeitpunkte besser auf die Biogas-Nutzung als Silagequalität abgestimmt wären.

3.2 Prüfung der Schwermetallaufnahme bezüglich des Wirkungspfades Boden-Pflanze

Über Analysen der Inhaltstoffe von oberirdischer Pflanzenmasse sowie des Bodens sollte der Gehalt in den Pflanzen ermittelt werden.

Der Betrachtung vorrausgeschickt werden muss, dass die Untersuchungen zu den Elementgehalten von Schwermetallen und Arsen im Boden und in den Pflanzen stichprobenartig erfolgten, ähnlich wie sie auch in landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt werden. Daher können diesbezüglich keine statistisch abgesicherten Aussagen getroffen werden, was auch schon auf Grund der Anlage der Versuche als Praxisversuche nicht möglich ist.

Grenzwerte bezüglich Schwermetallen sind für Böden, Futter- und Lebensmittel festgelegt:

- BBodSchV
- Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln
- EG-Richtlinie 2002/32/EG, Höchstgehalte für unerwünschte Stoffe in Futtermitteln

Diese sind im Anhang als Übersicht in tabellarischer Form dargestellt.

Proben wurden zu Beginn der Versuche genommen, um die Ausgangswerte für die Bodengehalten zu ermitteln sowie zu den jeweiligen Erntezeitpunkten, um die aktuellen Werte an Gehalten für Boden und Pflanzen zu bestimmen.

Schwermetallanalyse im Boden

Nachfolgender Tabelle können die gemessenen Gehalte der Böden an Arsen, Cadmium, Blei und Zink für alle beernteten Kulturen und Versuchsstandorte entnommen werden.

Tabelle 9 Analyseergebnisse der Versuchsstandorte nach Königswasser-Extrakt-Methode und Ammoniumnitrat-Extrakt-Methode - Elementgehalte in mg/kg TS, Grenzwerte nach BBodSchV

	Parzellen	alle		Silphie		Rohrglanzgras "Palaton"		Grenz-wert
	Zeitpunkt	Mai 11	Mrz 12	Herbst 2012	Herbst 2013	Jun 13	Sep 13	
As	Colmnitz	84,1	83,7	46,5	90,76	16,6	57,5	**KW**:
	Niederbobritzsc	36,8	60,7	28,7	59,54	16,3	65,67	200 (Acker)
	Weißenborn	31,2	52,1	25,1	45,14	14,8	54,77	50 (Grün-land)
Cd	Colmnitz	1,88	1,41	1,53	1,33	1,56	1,76	**KW**:
					0,81*		1,12*	20
	Niederbobritzsc	1,64	1,55	1,84	1,74	1,46	1,64	(Grünland)
					0,58*		0,34*	**AN**:
	Weißenborn	2,16	1,12	1,54	1,18	1,22	1,39	0,1 (Acker)
					0,09*		0,09*	
Pb	Colmnitz	138	132	138	141,16	109	121,45	**KW**:
					1,67*		1,39*	1200
	Niederbobritzsc	228	180	188	204,3	182	219,55	(Grünl.)
					0,82*		0,5*	**AN**:
	Weißenborn	226	173	194	178,16	159	207,26	0,1 (Acker)
					0,23*		0,24*	
Zn	Colmnitz	194	178	177	159,08	182	193,25	Nur bei einge-schränk. Wachstum **AN**
	Niederbobritzsc	279	194	204	182,59	181	175,39	2
	Weißenborn	215	239	260	229,73	231	247.20	
As	**Szarvasi**	**KW**	9,28	**AN**				s.o.
Cd	Juli 201		0,479		0,17*			s.o.
Pb	Clausnitz		73,58		0,50*			s.o.
Zn			154,53					s.o.

Da alle Standorte Ackerflächen sind, wurden die Grenzwerte für Ackerland betrachtet. Unter Beachtung der Maßnahmewerte für Grünland überstiegen die Gehalte bei lediglich bei drei Proben den Höchstwert. Bei der letzten Messung lagen alle Gehalte unterhalb der Prüf- und Maßnahmewerte der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung bei der Messung im Königswasserextrakt.

Insgesamt war die Belastung am Szarvasi-Standort am niedrigsten. Die Arsen-Gehalte waren in Colmnitz zu Beginn am höchsten, sanken jedoch bei der letzten Probenahme auf ein ähnlich niedriges Niveau wie auch in Niederbobritzsch und Weißenborn. Für Cadmium sowie Zink ergab sich kein einheitliches Bild bei den verschiedenen Zeitpunkten der Beprobung, wobei in Colmnitz immer die niedrigsten Zink-Gehalte gemessen wurden. Bezüglich des Bleigehaltes erzielten sowohl Niederbobritzsch als auch Weißenborn ähnliche Messwerte, Colmnitz wies etwas niedrigere Bleigehalte auf. Weitere Grenzwertüberschreitungen wurden nicht ermittelt. Auch für andere Schwermetalle, wie Kupfer und Nickel, für welche Maßnahmewerte für Grünland existieren, wurden keine erhöhten Werte festgestellt.

Schwermetalle in Energiepflanzen

Die gemessenen Gehalte an Arsen, Cadmium, Blei und Zink sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 10 Analyseergebnisse der untersuchten Energiepflanzen - Elementgehalte in mg/kg TS

	Parzellen	Rohrglanzgras "Palaton"				Silphie	Silphie	Szarvasi
	Zeitpunkt	Mai 11	Jun 12	Jun 13	Sep 13	Herbst 2012	Herbst 2013	Jul 13
As	Colmnitz	0,18	0,18	0,18	0,362	0,47	0,307	-
	Niederbobritzsch	0,23	0,25	0,25	0,362	0,86	0,352	-
	Weißenborn	0,24	0,16	0,16	0,271	0,4	0,314	-
Cd	Colmnitz	1,34	0,09	0,09	0,099	1,16	0,253	-
	Niederbobritzsch	1,54	0,06	0,06	0,085	0,85	0,18	-
	Weißenborn	0,15	0,07	0,07	0,091	0,04	0,088	-
Pb	Colmnitz	0,18	0,31	0,31	0,398	3,12	2,178	-
	Niederbobritzsch	0,19	0,29	0,29	0,656	10,88	3,803	-
	Weißenborn	0,24	0,34	0,34	0,669	3,63	2,456	-
Zn	Colmnitz	70,2	80,9	80,94	89,01	45,9	37,57	-
	Niederbobritzsch	60,1	53,4	53,4	67,17	51,5	28,84	-
	Weißenborn	37,6	41	40,97	35,15	15,6	15,99	-
As	Clausnitz	-	-	-	-	-	-	0,08
Cd		-	-	-	-	-	-	0,1
Pb		-	-	-	-	-	-	0,75
Zn		-	-	-	-	-	-	13,1

Bei Arsen und Blei wurden für die Durchwachsene Silphie höhere Gehalte in der Pflanze bestimmt als für Rohrglanzgras. Ein Standort überschritt den Höchstgehalt für Blei als Alleinfuttermittel. Hingegen bei anderen Untersuchungen wurden für die Durchwachsene Silphie für Cadmium eher niedrigere Gehalte festgestellt (Sauer 2013) bei höheren Cadmium-Gehalten im Boden. Bei Cadmium fielen die Ergebnisse differenzierter aus. Teilweise wurden

Grenzwerte für Futtermittel überschritten. Die niedrigsten Werte für alle Proben wurden im Schnitt auf der Versuchsfläche Weißenborn ermittelt.

Betrachtet man die Unterschiede zwischen den Standorten gibt es keine Hinweise auf einen erkennbaren Zusammenhang zwischen den Gehalten im Boden und den Gehalten in den Pflanzen. Dies wurde auch bereits bei anderen Untersuchungen beobachtet.

Einen wesentlichen Teil zum Gesamtgehalt eines Schwermetalls in landwirtschaftlichen Produkten kann auch durch Verunreinigungen mit anhaftendem Boden verursacht werden. Diese Verunreinigungen können durch entsprechende pflanzenbauliche und technische Maßnahmen gemindert bzw. vermieden werden. Bei Klose (2013) sind Ursachen und Maßnahmen zur Verminderung der Verschmutzung des Futters mit Boden bei der Aufnahme von Grünland- und Ackerfutter aufgeführt.

4 ÖKONOMISCHE UND ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG

4.1 Ökonomische Bewertung

Um einzelne Energiepflanzen in ihrer wirtschaftlichen Effizienz zu bewerten, muss eine Reihe von Punkten beachtet werden. Die Wirtschaftlichkeit im Energiepflanzenanbau resultiert dabei aus den Anbau- und Nutzungskosten. Die Gesamtkosten sind abhängig von (Vetter 2010: 41):

- Kosten des Anbauverfahrens (Kosten für Saatgut/Pflanzung, mechanische Bearbeitungsvorgänge usw.)
- Ertragshöhe- und -stabilität
- Konservierbarkeit, Konservierungsverlusten sowie Eignung zur Vergärung (Methanausbeute)
- Verwertungsrichtung und Marktpreis der erzeugten Biomasse

Neben der Preisentwicklung und den Biogas- und Biomethanausbeuten, sollten auch die notwendige Lagerkapazität, die Humus- und Nährstoffbilanz sowie positive Fruchtfolgeeffekte in der Ermittlung des Gewinns beachtet werden. Entscheidend ist dabei nicht nur die Wirtschaftlichkeit der Frucht im Anbaujahr, sondern die betriebswirtschaftliche Betrachtung über die gesamte Fruchtfolge.

Für die durchwachsene Silphie und das Rohrglanzgras wird im Folgenden eine erste ökonomische Abschätzung durch Literaturrecherchen vorgenommen, weil diese mehrjährigen Energiepflanzen sich durch die geringen Ausfallraten und die optimale Bestandsentwicklung auf den RekultA-Versuchsflächen als geeignet für das Klima im Osterzgebirge identifiziert haben. Zum Vergleich sind die ökonomischen Parameter den Werten von Silomais im Energiepflanzenanbau gegenübergestellt, was eine übliche Vorgehensweise ist. So wird z.B. auch im Verbundprojekt EVA deutlich, dass es im Mittel keine Kultur gab, die höhere Flächenerträge als Mais zeigt. Jedoch wird auch gesagt, dass diese Ergebnisse differenziert zu betrachten sind je nach Witterungsverlauf des jeweiligen Anbaujahrs und des Standorts. So zeigte sich beispielsweise Wintergetreide-Ganzpflanzensilage teilweise überlegen (FNR 2008).

Bei mehrjährigen Kulturen können die Kosten bei der Anlage des Bestands höher sein. Zum Thema Dauerkulturen hat sich gezeigt, dass Landwirte zwar grundsätzlich bereit sind, alternative Energiepflanzen einzusetzen, aber die hohe Anfangsinvestition und die Festlegung auf lange Zeit (5 bis 15 Jahre) scheuen. Das wirtschaftliche Ergebnis kann aber bereits nah an den Silomais heran reichen oder teilweise auch übertreffen, weil bei einmaliger Ansaat bzw. Pflanzung und einer Standzeit von etwa 5 Jahren Arbeitsgänge und Produktionsmittel eingespart werden können.

Eine Spezifik des Projektes RekultA ergibt sich aus der potentiellen Belastung von Böden mit Schwermetallen sowie mit Arsen. Dabei ist es möglich, dass die Nutzung der Flächen für den Nahrungs- und Futtermittelanbau eingeschränkt ist, aber Energiepflanzen angebaut werden können. Diese Nutzungsalternative bietet Betrieben die Möglichkeit ihr Flächenpotential auszuschöpfen und das gesamtwirtschaftliche Ergebnis zu optimieren.

Durchwachsene Silphie

Für die Durchwachsene Silphie konnte in verschiedenen Projektuntersuchungen ein Potential zu höheren Frischmasseerträgen im Vergleich zum Mais ermittelt werden (TLL-Vetter 2010, Frommhagen 2013). Die Biogasausbeute bewegt sich dabei im Schnitt auf ähnlichem Niveau, was letztendlich zu einem höheren Bedarf an Lager- und Transportkapazitäten für die Durchwachsen Silphie führt.

Silphie-Kulturen müssen bisher gepflanzt werden. Allein für das Pflanzgut entstehen hohe Kosten. Hinzu kommt der Aufwand für Pflanzmaschine und Personal. Für die Anlage solcher Kulturen gibt es bisher keine Zuschüsse. Weitere Arbeitsgänge, wie z.B. Ernte, sind der Silomaisproduktion gleichwertig.

Im Vergleich zum Silomais hat die Durchwachsene Silphie ein günstigeres Ergebnis aufgrund des höheren Ertrages. Somit werden die hohen Aufwendungen für die Neuanpflanzungen eines Silphiebestands durch die wenigen pflanzenbaulichen Arbeitsgänge in den folgenden Jahren und der langen Nutzdauer fast ausgeglichen (Vetter 2010: 45).

In der Möglichkeit die Silphie durch Direktsaat auszubringen ist noch ein erhebliches Potential vorhanden. Jedoch ist dazu noch Forschungs- u. Entwicklungsarbeit notwendig, um eine ausreichende Samenanzahl und –behandlung und ein optimales Anbauverfahren und geeignete Herbizide, zu identifizieren.

Genauere Daten zu ökonomischen Betrachtungen und unter der Annahme von spezifischen Voraussetzungen existieren in verschiedenen Quellen (TLL 2013: 61ff., KTBL 2012, TLL-Vetter 2010, Frommhagen et al. 2013).

Rohrglanzgras

Rohrglanzgras ist eine Grasart mit hohem TM-Ertragspotential und geringer Methanausbeute pro kg oTM als züchterisch stärker bearbeitete Grasarten. Bisher wurden Ausbeuten für Biogas von 490 – 570 l/kg oTM und für Methan von 260 – 316/kg oT ermittelt. Ökonomisch und ökologisch positiv ist die Aufwertung schlecht nutzbarer Grünlandstandorte zu bewerten. Das System Rohrglanzgras – Nutzungszeitpunkt – Technologie der Biogaserzeugung bedarf dabei der Optimierung (Förster et.al. 2013).

Aus der Praxisempfehlung für Rohrglanzgras (Ust'ak et al. 2012) zeigt nachfolgende Tabelle einen Vergleich der Produktionskosten zum Mais. Dabei sind die Produktionskosten für Mais in zwei Varianten in Tschechien gezeigt. Auch für Rohrglanzgras sind zwei Varianten angeführt, allerdings handelt es sich hier vor allem um ein- oder zweimaliges Mähen, was sich auch in den Erträgen und Kosten unterscheidet. Aus den angeführten Ergebnissen ist zu sehen, dass das Rohrglanzgras in diesem Beispiel niedrigere Erträge in der gesamten potentiellen Biomasseproduktion als Mais hat. Hier wäre also für die Produktion der gleichen Biomassemenge ein größerer Flächenbedarf nötig. Bezüglich des Preises ist Rohrglanzgras sowohl in der berechneten Silagemasse als auch für Methan wesentlich günstiger. Für eine

genauere Darstellung wurde die korrigierten Kosten der Silageproduktion unter Einbeziehung der Methanerzeugung (d.h. Preis des Rohstoffs Methan) sowie der Verluste durch die Silierung dargestellt, die bei Rohrglanzgras vergleichbar mit Mais sind.

Tabelle 11 *Gesamtbewertung der Produktionskosten von Rohrglanzgras im Futterbau und zur Biogaserzeugung über Ertragsberechnung der oberirdischen Biomasse sowie der potentiellen Silage- und Methanproduktion als energetischer Hauptbestandteiles des Biogases (Ust'ak et al. 2012 - modifiziert)*

Bewertung der Industrie-pflanzen	Pflanzemasse-ertrag pro ha		Durchschnittliche CH_4-Ausbeute, (Nm^3/t TM)	Durchschnittlicher CH_4-Ertrag, (Nm^3/ha)	Gesamtproduktions kosten der Biomasse pro ha und Jahr (% Kosten/ha)		Gesamtkosten umgerechnet auf 1 t Biomasse (% Kosten/tTM)		Umgerechnete Kosten auf die Methanausbeute (% Kosten/Nm3 CH4)		Durchschnittliche Verluste durch Silierung (% TM)	Methanpreis korrigiert mit dem Verlust durch Silierung (% Kosten/Nm^3 CH4)
	FM (t)	TM (t)			Pflanzenbau	Insgesamt Konservierung und Lagerung	Pflanzenbau	Insgesamt Konservierung und Lagerung	Pflanz-enbau	Insgesamt Konservier-ung und Lagerung		
Mais (normaler Anbau)	40	12,8	282	3 610	100	100	100	100	100	100	4	100
Mais (intensiver Anbau)	55	17,6	282	4 963	115,0	115,0	83,7	83,6	83,6	83,6	4	83,6
Rohrglanz-gras (1.Mahd)	26	9	240	2 160	43,3	49,8	61,6	70,8	72,3	83,2	6	84,9
Rohrglanz-gras (2.Mahd)	40	10	260	2 600	54,7	70,4	70,1	90,0	76,0	97,7	6	99,7

Bemerkungen: TM=Trockenmasse, FM=Frischmasse

1. In der Tabelle sind keine Subventionen einkalkuliert.
2. Die Lebensdauer des Rohrglanzgrases wurde mit 10 Jahren kalkuliert und die Anlegungskosten auf die einzelnen Jahre verteilt (12000 tschechische Kronen)
3. Zur Vereinfachung wurde in die Kosten nur der Teil der Fixkosten für genutzte Maschinen einkalkuliert, ohne weitere Fixkosten (Gebäude, Administration, Mieten), die im Durchschnitt auf 3,5 – 4,5 Tausend Kronen pro Hektar geschätzt wurden.
4. Die Kosten der Variante Mais (normaler Anbau) wurden zum Vergleich auf 100% gesetzt

Im Gegensatz zu Mais hat Rohrglanzgras den entscheidenden Vorteil, dass durch dessen Anbau die Bodenerosionen verringert sowie eine bodenverbesserte Wirkung erzielt wird. Aus diesem Grund ist diese Energiepflanze günstig für den Anbau zur Biogas- oder Futtermittelerzeugung in Gebieten mit ungünstigeren bodenklimatischen Bedingungen sowie auf erosionsgefährdeten Flächen.

4.2 Ökologische Bewertung

Die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe kann grundsätzlich als positiver Beitrag zum Natur- und Klimaschutz betrachtet werden.

Die Vorteile mehrjähriger Kulturen aus Sicht der Ökologie bestehen vor allem in den Bereichen Erosionsminderung und Lebensraum für Tiere durch Bodenbedeckung im Winter, geringere Intensität durch keinen/ geringen Pflanzenschutzmittelbedarf zur Etablierung der Bestände und nur einmalige Bodenbearbeitungsmaßnahmen. Da diese Kulturen zum Teil Blüten mit hohen Nektar- u. Pollengehalt ausbilden sind sie eine Bereicherung für die Insekten und das Landschaftsbild.

Nach Ansicht des Fachverband Biogas e.V. haben auch diese Kulturen einen positiven Beitrag für Natur und Umwelt, erfahren jedoch noch keine ausreichende Wertschätzung. Der Verband hat deshalb das Projekt „Farbe ins Feld“ gestartet, um Landwirte aufzurufen, mehrjährige Energiepflanzen als ökologisch sinnvolle Blühsteifen anzulegen. Insbesondere in den Kategorien Feldvögel/Niederwild und Boden-Wasser-Synergien hat ein etablierter Bestand positiven Einfluss (Fachverband BIOGAS 2012).

Innovative Energiepflanzen erweitern das Spektrum landwirtschaftlicher Fruchtarten. Damit werden auch Ernte-, Pflege- und Düngungstermine variiert, was einen Einfluss auf die Biodiversität und auf Veränderungen der Zusammensetzung der auf den Anbauflächen vorkommenden Lebensgemeinschaften haben kann.

Positive Auswirkungen von mehrjährigen Energiepflanzen auf Boden und Umwelt können also in folgenden Bereichen erkannt werden (NABU 2013):

- Vermeidung von Bodenverdichtungen
- Humusbilanz
- Stickstoffhaushalt
- Erosionsschutz
- Auflockerung der landwirtschaftlich genutzten Flur
- landwirtschaftlich nutzbare Blühstreifen
- Nutzung von Splitterflächen
- Biodiversität und Lebensraum
- Bienenweide und Lebensraum für Insekten

Zur Verringerung bzw. Vermeidung von Gefahren, zählen dazu u.a. auch der Verzicht auf invasive Arten, die Erhöhung der Biodiversität durch vielseitigere Fruchtfolgen, eine effiziente Kraftwärmekopplung bei Biogas, die Vermeidung von Zielkonflikten und Nutzungskonkurrenzen (FNR 2013)

Nutzen und Risiken im Bereich Ökologie sind auch von der Struktur der jeweiligen Agrarlandschaft und der Größe der Felder abhängig ist. Je großflächiger und homogener die Landschaft, umso wichtiger ist auch der Erhalt von naturnahen hochdiversen Brachen und Ackerrandstreifen.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Auf schwermetallbelasteten Flächen und Folgelandschaften des Bergbaus wurden innovative Energiepflanzen untersucht, um Nutzungsalternativen zur Lebens- und Futtermittelproduktion zu beleuchten, wenn Grenzwert-Einschränkungen vorliegen.

Im Rahmen des deutsch-tschechischen Projektes RekultA wurden dazu Anbauversuche auf schwermetallbelasteten Standorten und Bergbaufolgelandschaften der Region Freiberg sowie der Region Chomutov durchgeführt.

Im Einzelnen wurden verschiedene Fragestellungen geprüft:

1. **Welche Unterschiede ergeben sich bei den einzelnen innovativen Energiepflanzen hinsichtlich Bestandsentwicklung bzw. letztendlich beim Ertrag in den klimatischen Bedingungen im Raum Freiberg??**

Unter den regionalen Bedingungen haben sich sowohl die Durchwachsene Silphie wie auch das Rohrglanzgras „Palaton“ hinsichtlich ihrer Bestandsentwicklung positiv dargestellt, obwohl nach der Aussaat bzw. der Pflanzung im anschließenden Winter langanhaltende Barfröste zu verzeichnen waren. Dies war vermutlich auch einer der Hauptgründe für die hohen Ausfallraten in der Miscanthus-Kultur. Auch das Rohrglanzgras „Chrastrava“ wies hohe Ausfallraten, aufgrund geringen Keimrate, in der Bestandesentwicklung auf. Die Jugendentwicklung der Durchwachsenen Silphie war teils durch starke Verunkrautung beeinflusst. Dennoch stellten sich bei Silphie und Palaton die Erträge im zweiten Erntejahr durchweg positiv dar. Für das Riesenweizengras „Szarvasi1“ gestaltete sich die Entwicklung des Bestands eher schwierig. Während eine Fläche im zweiten Jahr umgebrochen wurde, entwickelte sich die zweite Fläche besser. Szarvasi-Gras ist empfindlich in seiner Jugendentwicklung und schwach gegenüber Konkurrenz. Auf der zweiten Fläche konnten im ersten Erntejahr bereits gute Erträge erreicht werden.

2. **Wie schneiden die Energiepflanzen im Vergleich zum Mais ab und könnten Sie eine Alternative zur Biogasproduktion sein?**

Im Vergleich zum Mais zeigten sich die Durchwachsene Silphie und das Rohrglanzgras „Palaton“ ab dem zweiten Erntejahr einen ähnlichen Ertrag und können durchaus als alternative Kulturen zu Mais angesehen werden. Für Szarvasi-Gras kann noch keine Annahme getroffen werden, da nur eine Fläche einmal als Einsatzstoff für Biogasanlagen siliert und beerntet werden konnte. Es könnte aber durchaus ein Potential bestehen, was noch weiter untersucht werden müsste. Miscanthus stellt bisher, aufgrund der hohen Ausfallraten, keine Alternative dar. Ein mehrjähriger Anbauversuch mit qualitativ hochwertigen Saatgut der Sorte „Chrastrava“ müsste erfolgen, um fundierte Aussagen über die Rohrglanzgrassorte treffen zu können.

3. **Nehmen diese innovativen Energiepflanzen Schwermetalle über den Wirkungspfad Boden-Pflanze im Raum Freiberg auf und wie verhalten Sie sich auf den Bergbaufolgelandschaften?**

Die untersuchten mehrjährigen Energiepflanzen wurden im ersten und zweiten Standjahr zu ihren Gehalten an Schwermetallen nach deren Ernte geprüft. Grundsätzlich ist es schwierig diese

beiden Jahre auszuwerten und miteinander zu vergleichen, da sich die Bestände im ersten Erntejahr noch in der Aufbauphase befanden und bei den Praxisversuchen teilweise der Bestandsaufbau durch Verunkrautung beeinträchtigt wurde. Günstiger wäre es mindestens fünf Standjahre nach der Bestandsetablierung zu betrachten, um das Schwermetallverhalten besser einzuschätzen. Auch um Ursachen der der Standortunterschiede herauszufinden, sollten weitere Untersuchungen zu zusätzlichen Bodenparametern erfolgen. Daher wäre es wünschenswert, wenn die Versuche fortgeführt werden könnten.

Teilweise wurden bei den Versuchspflanzen Grenzwertüberschreitungen für Futtermittel festgestellt (Cadmium und Blei). Daher ist es eine Chance für Region, wenn erhöhte Schwermetallbelastungen auftreten, auf solchen Flächen Energiepflanzen anzubauen und somit Flächen sinnvoll nutzen zu können.

4. **Gibt es Unterschiede bei den Sorten bei Miscanthus und Rohrglanzgras?**

Da die Versuche zu Miscanthus abgebrochen werden mussten konnten Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten nicht untersucht werden. Bei Rohrglanzgras wurden sie Sorten „Palaton“ und „Chrastrava“ angebaut. Während die Sorte Palaton sich gut entwickelte, gab es bei der Sorte Crastrava hohe Ausfälle bzw. eine geringe Auflaufdichte. Daher war bei letzeren keine Ernte möglich und die beiden Sorten des Rohrglanzgrases konnten hinsichtlich ihrer Erträge nicht verglichen werden.

5. **Welches Anbaumanagement und welche Anbautechnik sind für Bestandsetablierung, -entwicklung und –ernte notwendig?**

Prinzipiell ist ein Anbau der ausgewählten Energiepflanzen mit herkömmlicher Anbautechnik möglich. Bei der Anlage der mehrjährigen Energiepflanzenkulturen ist besonders auf den Einfluss der Bodenbearbeitung und –vorbereitung zu achten, da so entscheidend der Unkrautdruck vermindert werden kann und optimale Keimbedingungen sichergestellt werden können. Entscheidend für die Entwicklung der Bestände ist eine gründliche Unkrautbekämpfung während der Jugendentwicklung. Während bei den Energiegräsern auf zugelassene Herbizide zurückgegriffen werden kann, ist bei der Durchwachsenen Silphie eine mechanische Bekämpfung möglich (offiziell sind bisher keine Pflanzenschutzmittel zugelassen). Vielleicht könnte man in Erwägung ziehen, die niedrigen Erträge des ersten Erntejahres von der Durchwachsenen Silphie durch eine Untersaat mit Leguminosen zu mildern, um zum einen zusätzlich zur N-Versorgung beizutragen und zum anderen auch den Unkrautdruck in der ersten Frühjahrsentwicklung zu verringern. Vor allem bei Silphie und Rohrglanzgras ist in späteren Jahren kaum noch bzw. keine Unkrautbekämpfung mehr nötig. Daher kann man von einer Reduzierung von Pflanzenschutzmitteln gegenüber anderen Kulturen ausgehen. Auch für die Düngung kann ein geringerer Bedarf angenommen werden. Ertragsbeeinträchtigungen durch Schädlinge und Krankheiten sind nicht erfolgt.

Weiterhin gilt für alle Kulturen, dass durch Variierung der Erntezeitpunkte noch der günstigste Termin für eine optimale Ertragsbildung ermittelt werden sollte. Für die Durchwachsene Silphie

zeigte sich beim Einsatz der Erntetechnik, dass deren Verfügbarkeit auch vom Zeitpunkt der Maisernte abhängig ist. Daher ist es günstig deren Ernte vor die Maisernte zu legen.

6. Wirtschaftliche Betrachtung: Welche Energiepflanze ist ökonomisch sinnvoll?

Der Anbau von mehrjährigen Energiepflanzen bietet u.a. die Möglichkeit Arbeitsspitzen zu senken, die Maschinenauslastung zu erhöhen sowie Produktionsmittel einzusparen. Dies schlägt sich in der Wirtschaftlichkeit solcher Kulturen positiv nieder. Von den angebauten Versuchspflanzen weisen bisher der Anbau der Durchwachsenen Silphie sowie des Rohrglanzgrases „Palaton“ nach einer Literaturrecherche auf eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zu Mais hin, vor allem durch ihre starken Erträge des zweiten Anbaujahrs. Für Szarvasi-Gras sollten die Versuche fortgeführt werden um dessen Konkurrenzstärke bewerten zu können. Da die vergleichsweise hohen Anfangsinvestitionen die Anlage von Dauerkulturen erschweren, insbesondere bei der Durchwachsenen Silphie, sollten diese teilweise durch einen Zuschuss gedeckt werden. Im Gegenzug könnten Landwirte zur Etablierung von neuartigen Energiepflanzen bei der Informations- und Öffentlichkeitsarbeit und der Ermittlung der Ernteerträge mitwirken. Somit könnten weitere Landwirte zum Anbau von Dauerkulturen gewonnen und die Akzeptanz des Energiepflanzenanbaus gesteigert werden.

Derzeit führen eher ordnungspolitische Regelungen dazu, dass auch alternative Biogaskulturen angebaut werden („Maisdeckel“, Fruchfolgebeschränkung durch Maiswurzelbohrer und Cross Compliance) (Aurbacher et.al. 2013). Die Rahmenbedingungen der neuen Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) für den Anbau von Energiepflanzen werden derzeit festgelegt. Zu klären ist in diesem Zusammenhang, ab welcher Nutzungsdauer von einer Dauerkultur ausgegangen wird, die nach Wunsch des Europäischen Parlaments vom Greening ausgenommen sind. Während bei Wildpflanzenmischungen oder Energiegräsern von bis zu fünf Jahren Nutzung ausgegangen wird, kann die Durchwachsene Silphie bis zu 15 Jahre auf einer Fläche genutzt werden (Fachverband BIOGAS 2013). Auch Wildpflanzenmischungen könnten unter den regionalen Bedingungen getestet werden, da sie sich in verschiedenen Versuchen als interessante Alternative gezeigt haben.

Entscheidend für den Erfolg des Energiepflanzenanbaus sind eine kostendeckende und nachhaltige Produktion sowie die Einordnung in das agrotechnische Regime des Betriebes (VETTER, 2006). Für Landwirtschaftsbetriebe, welche Ackerflächen mit einem hohem Schwermetallgehalt bewirtschaften und bereits Erneuerbaren-Energien-Anlagen (Biogasanlage, Holzverbrennungsanlagen) besitzen, ist der Anbau von mehrjährigen Energiepflanzen zur energetischen Verwertung eine ökonomisch sinnvolle Alternative zur Futter- u. Nahrungsmittelproduktion.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Lage der Feldversuche (Quelle: Google earth 2013).....4

Abbildung 2 Witterungsdaten 2011-2013 der Klimastation Fachschulzentrum Freiberg-Zug (* vom 30.06.2012 bis 27.07.2012 erfolgte aus technischen Gründen keine Messung von Temperatur und Niederschlag) (Fachschulzentrum Freiberg-Zug 2013) 6

Abbildung 3 Witterungsdaten 2011-2012 der Klimastation Klingenberg, (Grünwald 2013) (Hinweis: Datenausfall bei Temperaturmessung von 1.-5.2.13, 17./18.4.13 und 28-31.7.13) 6

Abbildung 4 Versuchsanordnung der Versuchsfläche Niederbobritzsch (K-1= Rohrglanzgrassorte „Palaton“, K2= Durchwachsenen Silphie, K-3= 3 unterschiedliche Sorten Miscanthus „Amuri“, „Naraga“, „Miscanthus giganteus“ nach Umbruch der Miscanthusfläche wurde die Rohrglanzgrassorte „Chrastava“ ab Juli 2012 angesät.).....8

Abbildung 5 Vergleich fossiler Energieträger und Energiepflanzen bzgl. CO2-Äquvalent (Mühlenhoff 2011: 11).....13

Abbildung 6 Bestandsentwicklung der Durchwachsenen Silphie auf den RekultA-Versuchsflächen (Bewertung Bestandsschluss: 1-9: 1= Bestand schließt sich, 5=Blätter berühren sich, 9:kein Bestandsschluss).....29

Abbildung 7 Pflanzenausfälle der Durchwachsenen Silphie auf den RekultA-Versuchsflächen (Bonitur auf den unterschiedlichen Versuchsflächen: am 3 und 4.11.2011 und 8/9/21.05.2012).....30

Abbildung 8 Mäuselöcher an Silphiepflanzen im April 2013 30

Abbildung 9 Durchwachsene Silphie auf der Versuchsfläche Weißenborn am 1.10.2012 31

Abbildung 10 Erträge der Durchwachsenen Silphie für 2012 und 2013.....32

Abbildung 11 Bestandsentwicklung und Feldaufgangskontrolle der kanadischen Rohrglanzgrassorte "Palaton" (*= bei der Versuchsfläche wurde leider aus Versehen die Parzellen vom Rohrglanzgras bei einer Pflegemaßnahme mit gemäht, daher war keine Bonitur im Herbst 2011 möglich).....33

Abbildung 12 Erträge Rohrglanzgras „Palaton“ 2012 und 2013.....35

Abbildung 13 Schädigungen an Miscanthuspflanzen u.a. durch Mäuselöcher an den Wurzeln (Bonitur am 04.11.2011 auf der Versuchsfläche in Colmnitz)....37

Abbildung 14 Ausfallquote von den drei getesteten Miscanthussorten auf den RekultA-Versuchsflächen.....37

Abbildung 15 Bestandsentwicklung und Feldaufgangskontrolle der tschechischen Rohrglanzgrassorte „Chrastava“ (Anmerkung: auf der RekultA-Versuchsfläche Colmnitz wurde keine Rohrglanzgrassorte Chrastava ausgesät) 39

Abbildung 16 Bestandsentwicklung von Szarvasi-Gras auf der Fläche 2012 gesäten Fläche (Fläche2)in Rechenberg-Bienenmühle OT Clausnitz.....41

Abbildung 17 Erträge Riesenweizengras „Szarvasi1“ 2013 42

Abbildung 18 Übersicht der Trockenmasseerträge in t TM/ha im Vergleich zu regionalen Maiserträgen 43

Abbildung 19 Übersicht der Frischmasseerträge in t FM/ha im Vergleich zu regionalen Maiserträgen 43

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Standortbedingungen 3

Tabelle 2 Ergebnisse der Bodenprobenahme des Oberbodens nach der Methodik des Königswasseraufschlusses 5

Tabelle 3 Größe der Versuchsflächen (*= im Juli 2012 wurde die Miscanthusfläche umgebrochen und die Rohrglanzgrassorte „Chrastava“ gesät) 8

Tabelle 4 Übersicht von RekultA-Versuchsflächen in Rechenberg-Bienenmühle OT Clausnitz 8

Tabelle 5 Kurzcharakteristik der angebauten Energiepflanzen 15

Tabelle 6 Kurzcharakteristik von Miscanthus 18

Tabelle 7 Ertragsdaten 2012 und 2013 von Durchwachsener Silphie 32

Tabelle 8 Boniturergebnisse der Miscanthushalmlänge- und Halmanzahl/Pflanze vom 3. und 4.11.2011von allen drei RekultA-Versuchsflächen 36

Tabelle 9 Analyseergebnisse der Versuchsstandorte nach Königswasser-Extrakt-Methode (außer AN = Ammoniumnitratextrakt bei Szarvasi) - Elementgehalte in mg/kg TS 45

Tabelle 10 Analyseergebnisse der untersuchten Energiepflanzen - Elementgehalte in mg/kg TS 46

Tabelle 11 Gesamtbewertung der Produktionskosten von Rohrglanzgras im Futterbau und zur Biogaserzeugung über Ertragsberechnung der oberirdischen Biomasse sowie der potentiellen Silage- und Methanproduktion als energetischer Hauptbestandteiles des Biogases (Ust’ak et al. 2012 - modifiziert) 50

LITERATUR- UND REFERENZVERZEICHNIS

Aurbacher, J. et.al. (2013): Ökonomie alternativer Energiepflanzen für Biogasanlagen; 4. Symposium Energiepflanzen; 23. Oktober 2013 in Berlin

BSV-Saaten (2013): Anbautelegramm SZARVASI 1. Online im Internet. URL: http://bsv-saaten.de/fileadmin/images/landgreen/landwirtschaft/Energiegras_Szarvasi.pdf (Stand: 25.02.2013)

C.S.P. GmbH (2012): Übersicht zur Bestandetablierung auf den Flächen der Neuanpflanzung des Jahres 2012, Dresden, November 2012. Online im Internet. URL: www.miscanthus-sachsen.de (Stand: 5.06.2013).

Conrad, M. (2011): mündliche Mitteilung von Michael Conrad (Projektverantwortlicher für die Silphie-Projekt bei der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft) zum 1. RekultA-Forum am 26.10.2011 in Colmnitz.

Dany, C. (2011): Miscanhus – Mit Nahwärme aus der Nische; Artikel aus Zeitschrift „Energie Pflanzen“ - 3/2011

Eckardt, L. (2011): Erfolgreiche Nutzung von Bioenergie in der landwirtschaftlichen Praxis; FNR Ländertour 2011 „Bioenergie-Erfolgsmodelle, Freiberg am 29.03.2011.

Eißrich, B. (2011): Mündliche Mitteilung von Bernd Eißrich (ehemaliger Vorstandsvorsitzender der Dresdner Vorerzgebirgs Agrar AG) vom 25.07.2011

Erhard, T. (2006): Feldversuchswesen; Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, Stuttgart (Hohenheim) (ISBN: 3-8252-8319-4).

Fachschulzentrum Freiberg-Zug (2012): Witterungsdaten zur Klimastation Freiberg-Zug. Verschlüsselter Zugang im Internet. URL: www.upgmbh.com (Stand: 10.12.2012).

Fachverband BIOGAS (2012): Projekt “Farbe ins Feld” (FiF). Online im Internet. URL: http://www.farbe-ins-feld.de/ (Stand: 10.10.2012)

Fachverband BIOGAS (2013): Weiterentwicklung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP): Alternative Energiepflanzen im Rahmen des Greenings; Positionspapier vom 09.08.2013

FNR (2008): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen – Verbundprojekt EVA

FNR (2013): http://energiepflanzen.fnr.de/anbausysteme/oekologie/, Zugriff vom 23.08.2013

Förster et.al. (2013): Energiepflanzen und Feuchtgrünland - Rohrglanzgras als Energiegras, 4. Symposium Energiepflanzen, Berlin, 22.10.2013

Frommhagen, K. et al. (2013): Nachhaltige Nutzung von Energiepflanzen für eine regionale Entwicklung im Landkreis Görlitz-Ein Handlungsleitfaden, Internationales Begegnungszentrum St. Marienthal. Online im Internet. URL: http://www.loebestein.de/documente/Handlungsleitfaden_web.pdf (Stand: 04.09.2013)

Geißendörfer, H. (2012a): Landwirtschaftliches Bildungszentrum Triesdorf; Energiepflanzentag 2012, Triesdorf am 12.07.2012. Online im Internet. URL:

http://www.triesdorf.de/images/stories/fachinfos/energiepflanzentag_trie_2012.pdf (Stand: 08.02.103)

Geißendörfer, H. (2012b): Anbauhinweise Riesenweizengras Stand 2012. LLA Pflanzenbau u. Versuchswesen, Triesdorf, 2012. Online im Internet. URL: http://www.triesdorf.de/images/stories/fachinfos/enpflszarv-anb2012-02.pdf (Stand: 08.02.2013)

Geißendörfer, H. (2012c): „Mehr Gas mit Riesengras“;DLZ-Agrarmagazin, Oktober 2012, S.54-57

Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG 2012) vom 2012. In: BGBI., Teil I, 31.10.2008, S. 2074, geändert

Google earth (2013), www.google.de, Google earth Europa Technologies. Online im Internet. URL: http://maps.google.de (Stand: 06.02.2013).

Gröblinghoff et al. (2007): Biogaserzeugung mit kurzlebigen und ausdauernden Gräsern, Workshop I Energie 2007. Online im Internet. URL: http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/27570/aggf_2007_groeblinghoff_et_al.pdf (Stand: 25.02.2013)

Grünwald, T. (2013): Witterungsdaten von der Klimastation Klingenberg, TU Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften, Professur für Meteorologie.

GTI Grunig Technologieberatung und Ingenieurbüro GmbH (2007): Schlussbericht Management für Sortengarten Weidegut Colmnitz.

Hollenbach, M. (2012): Dieser Käfer will dem Mais an die Wurzel; Sächsische Zeitung-Ausgabe Freital vom 09.10.2012, S.13.

Holthuis, J.-U. (2010): Kommentar zum Artikel von Pankratius: Rohrglanzgras – Phalaris arundinacea L. – reed canary grass – Havelmielitz. Online im Internet. URL: http://www.nachwachsende-rohstoffe.biz/glossar/rohrglanzgras-%E2%80%93-phalaris-arundinacea-l-%E2%80%93-reed-canary-grass-%E2%80%93-havelmielitz/ (Stand: 25.02.2013).

Honzik, R. (2011): Mündliche Mitteilung von Roman Honzik (RekultA-Projektpartner und Mitarbeiter am Institut für Ökotoxikologie in Chomutov) vom 16.05.2011

Honzik, R. (2013): Mündliche Mitteilung von Roman Honzik (RekultA-Projektpartner und Mitarbeiter am Institut für Ökotoxikologie in Chomutov) vom 15.01.2013

Kaltschmitt et al. (Hrsg.) (2009): Energie aus Biomasse, Springer Verlag, März 2009, 2. Auflage (ISBN 978-3-540-85094-6)

Kern, J. (2009): Klimaeffizienter Anbau von Energiepflanzen. In: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Forschungsreport 1/2009-Schwerpunkt Pflanzen als Nachwachsende Rohstoffe, S. 8-11.

Klose, . (2013): Landwirtschaftliche Böden - Arsen- und Schwermetallbelastung, Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden; Broschüre der Sächsischen BfUL

KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2012): ENERGIEPFLANZEN - Daten für die Planung im Energiepflanzenanbau, ISBN / Nr.: 978-3-941583-65-8, Band 19508, 2. Auflage 2012, Darmstadt

Kühn, U. (2010): Miscanthus (x giganteus) Erfahrungen aus 3,5 Jahren Miscanthusanbau. Miscanthus Fachgespräch, Leipzig, 04.10.2010.

Kühn, U. (2011): Miscanthusernte im kleinen Bestand. Online im Internet. URL: http://www.miscanthus-sachsen.de/ (Stand: 20.02.2013).

Kuhn, W.; Vollrath, B. (2009): Neophyten als Energiepflanzen – Chancen und Risiken; in: FNR (Hrsg.): 2. Symposium Energiepflanzen 2009, S.211-220 , Berlin, 2010, Band 34, Gülzower Fachgespräche.

Landesdirektion Sachsen (2011): Bodenplanungsgebiet „Raum Freiberg“. Online im Internet. URL: http://www.lds.sachsen.de/umwelt/index.asp?ID=5067&art_param=452 (Stand: 17.06.2013)

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2010): Energiepflanzen in Niedersachsen-Anbauhinweise und Wirtschaftlichkeit. Online im Internet. URL: http://www.eva-verbund.de/uploads/media/Broschuere_Nawaro_2010-.PDF (Stand: 20.04.2011)

Lewandowski, I.(2012): Potenziale von Energiepflanzen heute und morgen; 38. Umwelttagung- Im Spannungsfeld zwischen Energie, Ernährung, Klimaschutz und Biodiversität: Biomasseerzeugung nachhaltig entwickeln, Universität Hohenheim am 16. Februar 2012. Online im Internet. URL: http://www.um.baden-wuerttemberg.de/ servlet/is/91243/Iris% 20Lewandowski.pdf?command=downloadContent&filename= Iris%20Lewandowski.pdf (Stand: 07.02.2013).

LfL Pflanzenbau (o.J.): Rohrglanzgras-Phalaris arundinaceae. Online im Internet. URL: http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/09663/rohrglanzgras.pdf (Stand: 20.02.2013).

LfULG (2006): Nutzung von kontaminierten Böden; Schriftenreihe des LfULG, Heft 30/2008

LfULG (2012): Energiepflanzen für Biogasanlagen – Regionalbroschüre Sachsen. Online im Internet. URL: http://mediathek.fnr.de/energiepflanzen-fur-biogasanlagen-regionalbroschure-sachsen.html (Stand: 06.02.2013).

LfULG (2013): Geochemische Übersichtkarten (GcBÜK400) http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/weboffice/synserver?project=boden &language=de&view=gcbuek400 (Stand 28.08.2013)

LLA Triesdorf (2012): Anbauhinweise Riesenweizengras SZARVASI 1 (Ungarisches Energiegras). LLA Triesdorf, Pflanzenbau und Versuchswesen, 2012. Online im Internet. URL: http://www.triesdorf.de/images/stories/fachinfos/enpflszarv-anb2012-02.pdf (stand: 08.02.2013)

LLA Triesdorf (2012b): Wirtschaftlichkeit von Energiegras in Biogasfruchtfolgen; Präsentation

Mühlenhoff, J. (2011): Anbau von Energiepflanzen - Umweltauswirkungen, Nutzungskonkurrenzen und Potentiale; Renews Spezial Ausgabe 34/Juli 2011-Hintergrundinformationen der Agentur für Erneuerbare Energien, S. 5 und 7.

Müller, R. (2012): Mündliche Mitteilung von Ronald Müller (Außendienstmitarbeiter der Firma N.L. Chrestensen GmbH) vom 9. November 2012.

NABU-Naturschutzbund Deutschland e.V. (2013): Naturverträgliche Nutzung ökologischer Vorrangflächen-ein Mehrwert für Biodiversität und Landwirtschaft?; Schlußbericht vom 31.01.2013. Online im Internet. URL: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22007512.pdf (Stand: 09.09.2013)

Neu, S. (2012): Mündliche Mitteilung von Silke Neu (Sachbearbeiterin am LfULG im Projekt „Greenland“) vom 03.12.2012.

Pankratius, M. (2010): Rohrglanzgras – Phalaris arundinacea L. – reed canary grass – Havelmielitz. Online im Internet. URL: http://www.nachwachsende-rohstoffe.biz/glossar/rohrglanzgras-%E2%80%93-phalaris-arundinacea-l-%E2%80%93-reed-canary-grass-%E2%80%93-havelmielitz/ (Stand: 25.02.2013).

Röhricht, C. (2006): Miscanthus sinesis - Anbau und Verwertung von Chinaschilf. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, März 2006 (2.Auflage).

Röhricht, C. (2008): Miscanthusanbau; Bio Energy Europe, Forum Energietechnik, Hannover, 14.11.2008.

Sauer, B. (2011): Bioenergetische Nutzungskonzepte für kontaminierte Standorte im Rahmen des 1. RekultA-Forums im Weidegut Colmnitz am 26.10.2011. Online im Internet. URL: http://www.biomasse-freiberg.de/fileadmin/downloads/Sauer_Colmnitz_2011_10_26.pdf (Stand: 17.06.2013)

Sauer, B. (2013): Energiepflanzen auf kontaminierten Böden, Transfer und Belastungen; Präsentation, Abschlussforum RekultA am 07.11.2013

SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH (2010): „Optionen des Biomasseanbaus auf kontaminierten Flächen – eine Handlungsempfehlung zum Anbau und zur Verwertung von Biomasse im Raum Freiberg/Sachsen“ [Bearbeitung im Rahmen des Central Europe-Projekts ReSource – Siehe auch www.resource-ce.eu]

Stange, C. (2013): Mündliche Mitteilung von Carsten Stange (Projektmitarbeiter AgroForNet beim Landratsamt Mittelsachsen, Freiberg) vom 08.01.2013.

TFZ (o.J.): Miscanthus-Anbauhinweise. Online im Internet. URL: http://www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/16562/ (Stand: 10.05.2011).)

Thiel, M. (2011): Mehrjährige Energiepflanzen-Alternativen für die Praxis?; im Rahmen der Bioenergie-Ländertour 2011 der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., im Bioenergiedorf Lampertsweiler am 29.06.2011. Online in Internet. URL: http://www.bio-

energie.de/fileadmin/bioenergie-beratung/baden-wuerttemberg/dateien/2011_Vortr%C3%A4ge_L%C3%A4ndertour/Thiel_Mehrj%C3%A4hrige-Energiepflanzen.pdf (Stand: 07.02.2013).

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2008): Anbautelegramm Durchwachsene Silphie. Online im Internet. URL: http://www.tll.de/ainfo/pdf/silp0208.pdf (Stand: 14.12.2011).

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2011): Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die thermische Verwertung (GNUT-Verbrennung), Endbericht,, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft et al., Jena, 2011

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2012): Anbautelegramm Durchwachsene Silphie. Online im Internet. URL: http://www.tll.de/ainfo/pdf/silp0512.pdf (Stand: 20.02.2013).

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2013): Verbundvorhaben: Erhöhung des Leistungspotenzials und der Konkurrenzfähigkeit der Durchwachsenen Silphie als Energiepflanze durch Züchtung und Optimierung des An-bauverfahrens, Teilvorhaben 2: „Optimierung des Anbauverfahrens und Bereitstellung von Selektionsmaterial“, Endbericht, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 2013. Online im Internet. URL: http://www.tll.de/ainfo/pdf/silp1013.pdf (Stand: 19.02.2014)

Tinplant Biotechnik und Pflanzenvermehrung GmbH (2011): Miscanthus. Online im Internet. URL: http://www.tinplant-gmbh.de (Stand: 22.06.2011).

Usťak, S. et al (2012): Anbau von Rohrglanzgras Phalaris arundinacea L. für die Biogaserzeugung; Abschlussbericht, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Prag, 2012.

Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – BiomasseV 2001) vom 2012. In: BGBl, Teil I, 27. Juni 2001, S. 1234, zuletzt geändert durch die 1. Verordnung zur Änderung der Biomasseverordnung vom 9. August 2005, BGBl. Teil I, 17. August 2005, S. 2419.

Vetter, A. (2006): Betriebswirtschaftlicher Vergleich und Ertragsoptimierung bei Energiepflanzen

Vetter, A.; Conrad, M.; Biertümpfel, A. (2010): Optimierung des Anbauverfahrens für Durchwachsene Silphie (Silphium perfoliatum) als Koferment in Biogasanlagen sowie Überführung in die landwirtschaftliche Praxis; Abschlussbericht, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 2010.

Wendel, U. (2011): Sortengarten am Weidegut Colmnitz – Bericht zu Ernte und Ertragsmessung März 2011, Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e.V., Freiberg, 23.05.2011.

Wichmann, S.; Wichtmann, W (2009): Energiebiomasse aus Niedermoren- ENIM, .DUENE e.V., Greifswald, 2009. Online im Internet.URL: http://www.botanik.uni-

greifswald.de/fileadmin/laoek/pdf/projects/ENIM_Endbericht_2009.pdf (Stand: 25.02.2013)

ANHANG

Grenzwerte nach BBodSchV

BBodSchV Werte in mg/kg TM	**M**	**Ackerbau**		**M**	**Grünland**
		Prüfwert	**Maßn.-wert**		**Maßnahmewert**
Arsen	KW	200 (50 red.) *	-	KW-Extrakt	50
Cadmium	***AN***	-	0,1/ 0,04**		20
Blei	***AN***	0,1	-		1200
Quecksilber	KW	5			2
Thallium	***AN***	0,1	-		12
Kupfer	-				1300 (200 bei Schafen)
Nickel	-				1900

Aus BBodSchV (1999 - erneuert 2012)
Pfad Boden-Pflanze, Angaben in mg/kg TM;
M=Methode: KW = königswasserlöslich, AN = ammoniumnitratlöslich;
* für Böden mit zeitweise reduzierenden Bedingungen;
** für Brotweizen und stark cadmiumanreichernde Gemüsearten

Grenzwerte aus der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln:

		Höchstgehalt in mg/kg Frischgewicht
Cadmium	Getreide, ausgenommen:	0,10
	Kleie, Weizengetreide, Keime, Reis	0,20
	Gemüse und Obst, ausgenommen	0,05
	Blattgemüse, frische Kräuter, Knollensellerie, alle Kulturpilze	0,20
	Stängelgemüse, Wurzelgemüse, Kartoffeln (geschält), ausgenommen Knollensellerie	0,10
Blei	Getreide (einschl. Buchweizen) und Hülsenfrüchte	0,20
	Gemüse ausgenommen Kohlgemüse, Blattgemüse, frische Kräuter, Pilze (bei Kartoffeln für geschälte Kartoffeln)	0,10

Erläuterung: Die Höchstgehalte für die Elemente Cadmium und Blei beziehen sich auf den essbaren Teil von Lebensmitteln. Diese dürfen nur in Verkehr gebracht werden, wenn die Schwermetallhöchstgehalte nicht überschritten werden.

Höchstgehalte für unerwünschte Stoffe in Futtermitteln, EG-Richtlinie 2002/32/EG; in mg/kg, bezogen auf 88% v.H. Trockenmasse; (Stand 2013; Auszug)

Futtermittelart	**As**	**Pb**	**Cd**	**Hg**	**F**
FM-Ausgangserzeugnisse, wenn nicht anders angegeben	2	10	1	0,1	150
Grün-, Luzern-, Kleegrünmehl, getrocknete Zuckerrübenschnitzel, getrocknete melassierte ZR-Rübenschnitzel	4				
Grünfutter		30			
Alleinfuttermittel	2	5	0,5		150
Alleinfuttermittel für Fische und Pelztiere	10				
Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen (nicht Kälber, Lämmer, Ziegenlämmer)			1		50
Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe, Ziegen laktierend (nicht Kälber, Lämmer, Ziegenlämmer)					30
Ergänzungsfuttermittel	4	10	0,5		
Ergänzungsfuttermittel < 4% Phosphor					500
Ergänzungsfuttermittel > 4% Phosphor, je 1% Phosphor					125

Übersicht der Termine aller pflanzenbaulichen Maßnahmen und Erntemaßnahmen

Maßnahmen	**Versuchsflächen**		
	Weißenborn	Colmnitz	Niederbobritzsch
Vorfrucht	Mais	Silomais/Sommergerste	Mais
Bodenbearbeitungsmaßnahmen zur Saatbettvorbereitung			
Pflanzenschutzmittel	04.07.2012 (nur Miscanthusparzellen)	04.07.2012 (nur Miscanthusparzellen)	04.07.2012 (nur Miscanthusparzellen)
Grubbern	01.07.2011 26.07.2012 (Miscanthusparzellen)	07.07.2011	13.07.2011 26.07.2012
Mähen	25.07.2012 (Miscanthusparzellen, abgestorbenes Unkraut mähen und entsorgen)	22.05.2012 (Ackerrandpflege) 30.05.2012 (Anbaupflege)	12.07.2011 (Mulchen) 25.07.2012 (Miscanthusparzellen, abgestorbenes Unkraut mähen und entsorgen)
Pflanzung/Aussaat der Energiepflanzen			
durchwachsene Silphie	07.07.2011	08.07.2011	13./14./15.07.2011
Rohrglanzgras „Palaton“	07.07.2011	08.07.2011	13.07.2011
Miscanthus	11.07.2011	11.07.2011	14./15.07.2011
Rohrglanzgras „Chrastava“	27.07.2012	Keine Aussaat	27.07.2012
Pflegemaßnahmen zur Unkrautregulierung			
Grubbern (nur Silphie- u. Miscanthusparzellen)	09.08.2011, 12.08.2011, 09.09.2011	27.07.2011, 29.07.2011, 08.08.2011, 23.08.2011, 25.08.2011	08.08.2011, 09.08.2011, 30.08.2011
Manuelle Beseitigung	Keine	10.10.2011,22.09.2011, 13.10.2011,14.10.2011, 21.10.2011, 2/3/4.11.2011, 29.03.2012	20.03.2012, 28.03.2012, 29.03.2012
Mähen	26.05.2012 und 29.05.2012 (nur Miscanthusparzellen), 25.10.2012(nur Gras „Chrastava“-Parzellen)	23.10.2011*,24.10.2011*, 21.05.2012(nur Miscanthusparzellen)	24.11.2011, 22.05.2012 (nur Miscanthusparzellen), 25.10.2012 (nur Gras „Chrastava“-Parzellen)
Pflanzenschutzmittel Stomp aqua	10.11.2011	10.11.2011	Keine Durchführung
Düngung der Versuchsfläche			
Mineralischer Dünger (Harnstoff 46 %, NPK-Dünger, Kalkammonsalpeter)	12.04.2012, 08.05.2012; 14.06.2012 (nur Phalaris „Palaton“-Parzellen) 14.05.2013; 26.06.2013 (nur Phalaris-„Palaton“-Parzellen)	04.04.2012, 10.05.2012; 13.06.2012 (nur Phalaris „Palaton“-Parzellen) 30.04.2013	04.04.2012; 13.06.2012 (nur Phalaris „Palaton“-Parzellen) 02.05.2013; 03.07.2013 (nur Phalaris-„Palaton“-Parzellen)
Ernte			
Rohrglanzgras „Palaton“	26.05.2012 12.06.2013 27.09.2013	25.05.2012 12.06.2013 27.09.2013	25.05.2012 12.06.2013 27.09.2013
Durchwachsene Silphie	05.10.2012	20.09.2012	02.10.2012
	23.09.2013	17.09.2013	25.09.2013

*=es wurden durch einen Kommunikationsfehler neben den Weg- und Ackerrandstreifen, auch die Rohrglanzgrasparzellen abgemäht, dadurch war keine Bonitur und Ertragsermittlung möglich